

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΧΗΜΕΙΑΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΧΗΜΕΙΑΣ

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΕΣ ΑΣΚΗΣΕΙΣ
ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΧΗΜΕΙΑΣ

ΙΩΑΝΝΙΝΑ 2015

Στη συγγραφή των εργαστηριακών ασκήσεων της Βιομηχανικής Χημείας εργάστηκαν τα μέλη του Εργαστηρίου Βιομηχανικής Χημείας, Α.Σδούκος (Καθηγητής), Φ.Πομώνης (Καθηγητής), Τ.Αλμπάνης (Αναπλ.Καθηγητής), Τ.Βαϊμάκης (Επ.Καθηγητής), Ε.Οικονόμου (Επ.Καθηγητής), Ε.Μπόκαρης (Επ.Καθηγητής), Δ.Πετράκης (Επ.Καθηγητής), Λ.Λουκατζίκου (Λέκτορας) καθώς και ο συνεργάτης του Εργαστηρίου Δρ. Α.Λάνταβος.

Ιωάννινα 2003



Περιεχόμενα

Πρόλογος	- 1 -
Οδηγίες	- 5 -
Άσκηση 1. Μελέτη τριβών κατά τη ροή ρευστών	- 11 -
Άσκηση 2. Διήθηση	- 19 -
Άσκηση 3. Εναλλάκτης θερμότητας διπλού σωλήνα	- 29 -
Άσκηση 4. Επιφανειακή τάση διαλυμάτων	- 41 -
Άσκηση 5. Κατακάθιση (Aptheasen)	- 65 -
Άσκηση 6. Κατακάθιση ασυνεχούς λειτουργίας	- 73 -
Άσκηση 7. Ρεολογικά διαγράμματα	- 81 -
Άσκηση 8. Κατανομή μεγέθους σωματιδίων με κοσκίνιση	- 89 -
Άσκηση 9. Μελέτη απόδοσης κοσκίνου	- 109 -
Άσκηση 10. Απόσταξη	- 119 -
Άσκηση 11. Ποιότητα ατμού	- 129 -
Άσκηση 12. Αντιδραστήρας συνεχούς λειτουργίας μετά πλήρους αναδεύσεως	- 135 -
Άσκηση 13. Προσρόφηση σε στερεό	- 149 -
Άσκηση 14. Κινητική της ξήρανσης	- 161 -
Άσκηση 15. Μελέτη μονοβάθμιου φυγοκεντρικού ανεμιστήρα-Μετρητές παροχής αερίων	- 175 -
Άσκηση 16. Πολυμερή. Οριακό ιξώδες και μοριακό βάρος	- 189 -
Άσκηση 17. Επίπλευση	- 197 -
Άσκηση 18. Έλεγχος καυσίμων και λιπαντικών	- 205 -
Άσκηση 19. Διαχωρισμός στερεών με αεροκυκλώνα	- 219 -
Άσκηση 20. Εκχύλιση	- 227 -
Άσκηση 21. Ανάδευση	- 237 -
Άσκηση 22. Ρευστοποιημένη κλίνη	- 257 -
Άσκηση 23. Περιστροφικός ξηραντήρας	- 269 -
Άσκηση 24. Ελάττωση μεγέθους στερεών - Θραύση	- 279 -



ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η Βιομηχανική Χημεία και η Χημική Τεχνολογία, όπως και οι άλλοι κλάδοι των φυσικών επιστημών, περιέχει ένα σύνολο θεωρίας το οποίο προέκυψε από, και βασίζεται σε, ένα μεγάλο αριθμό πειραμάτων που προηγήθηκαν των θεωρητικών αρχών. Για τον λόγο αυτό η γνώση της Βιομηχανικής Χημείας και της Χημικής Τεχνολογίας προϋποθέτει την εξοικίωση με την πειραματική θεμελίωση των θεωρητικών αρχών.

Επί πλέον η Βιομηχανική Χημεία και η Χημική Τεχνολογία είναι εφαρμοσμένοι κλάδοι της επιστήμης και οι εφαρμογές του γίνονται προφανείς στη Χημική Βιομηχανία. Το πείραμα θα εξοικιώσει τον ασκούμενο ακριβώς και με αυτές τις εφαρμογές του κλάδου.

Σε ένα πρόγραμμα ασκήσεων όμως περιορισμένης χρονικής διάρκειας είναι αδύνατον να συμπεριληφθούν όλα τα πειράματα στα οποία βασίσθηκε η επιστήμη ή όλες οι εφαρμογές του κλάδου. Για το λόγο αυτό έχει γίνει προσπάθεια στη σειρά των ασκήσεων που ακολουθεί να συμπεριληφθούν όσο το δυνατόν αντιπροσωπευτικότερες ασκήσεις, λαμβανομένων πάντα υπ' όψιν των περιορισμών χρόνου, χώρου και εξοπλισμού.

Η σειρά αυτή των ασκήσεων έχει γραφτεί για τις ανάγκες των φοιτητών του Χημικού Τμήματος του Πανεπιστημίου Ιωαννίνων και ιδιαίτερη έμφαση δίνεται στα κεφάλαια της μηχανικής των ρευστών, της τεχνικής των σωματιδίων, της μετάδοσης θερμότητας, της μεταφοράς μάζας καθώς και στις χημικές διεργασίες.

Ο σχεδιασμός των ασκήσεων είναι τέτοιος, ώστε να είναι δυνατόν να εκτελεσθούν από έναν φοιτητή, αλλά είναι δυνατόν να εργασθούν και δύο ή τρία άτομα για την πειραματική αντιμετώπισή τους. Ο χρόνος γενικά που απαιτούν περιορίστηκε στο συνηθισμένο εργαστηριακό τετράωρο. Αυτό φυσικά έχει σαν προϋπόθεση ότι οι ασκούμενοι έχουν μελετήσει τις βασικές αρχές του πειράματος, καθώς και την πειραματική διάταξη, τα απαιτούμενα αντιδραστήρια και την διαδικασία διενέργειας του πειράματος. Αυτός είναι και ο μοναδικός τρόπος για μια επιτυχή και χρήσιμη εργαστηριακή εμπειρία.

Εργαστηριακοί κίνδυνοι

Οι ασκήσεις που ακολουθούν σχεδιάστηκαν έχοντας πάντα υπόψη την λιγότερη δυνατή έκθεση των ασκούμενων σε κινδύνους. Για το λόγο αυτό επιδιώχθηκε, όπου οι απαιτούμενες ουσίες είναι επικίνδυνες να χρησιμοποιηθούν αντί αυτών μοντέλα, δηλαδή μη διαβρωτικές ή τοξικές ενώσεις. Είναι όμως δύσκολο να προβλεφθούν όλες οι περιπτώσεις από τις οποίες μπορούν να προκύψουν ατυχήματα. Ειδικά για τις ασκήσεις που ακολουθούν μερικά ίσως σημεία πρέπει να τονιστούν ιδιαίτερα:

- Ο υδράργυρος είναι δηλητήριο και δεν πρέπει να έρχεται με κανένα τρόπο σε επαφή με το δέρμα. Ελεύθερες επιφάνειες υδραργύρου πρέπει να καλύπτονται με κάποιο ορυκτέλαιο για την αποφυγή δημιουργίας ατμών.
- Οι βαλβίδες πίεσεως ή κυκλοφορίας ρευστών πρέπει πάντα να ανοίγονται ή να κλείνονται σιγά-σιγά για την αποφυγή δημιουργίας αποτομών υποπίεσεων ή υπερπίεσεων που είναι δυνατόν να προκαλέσουν θραύση των συσκευών.
- Περιστρεφόμενα και γενικά κινούμενα τμήματα μηχανημάτων πρέπει να αντιμετωπίζονται με προσοχή. Ξεκούμπωτες εργαστηριακές μπλούζες ή λυτά μαλλιά ενέχουν πάντα τον κίνδυνο εμπλοκής με την συσκευή ή το μηχάνημα, με θλιβερές συνήθως συνέπειες.
- Οι ηλεκτρικές συνδέσεις πρέπει να είναι πάντα μονωμένες.
- Για οποιαδήποτε απορία ή επιφύλαξη σχετικά με τη λειτουργία ενός οργάνου πρέπει να ερωτάται κάποιος που γνωρίζει τη λειτουργία του. Με κανένα τρόπο δεν επιτρέπεται να ανοίγονται διακόπτες ή στρόφιγγες χωρίς να είναι ακριβώς γνωστή η λειτουργία τους και το αποτέλεσμα που θα προκύψει.

Καταγραφή και παρουσίαση των αποτελεσμάτων

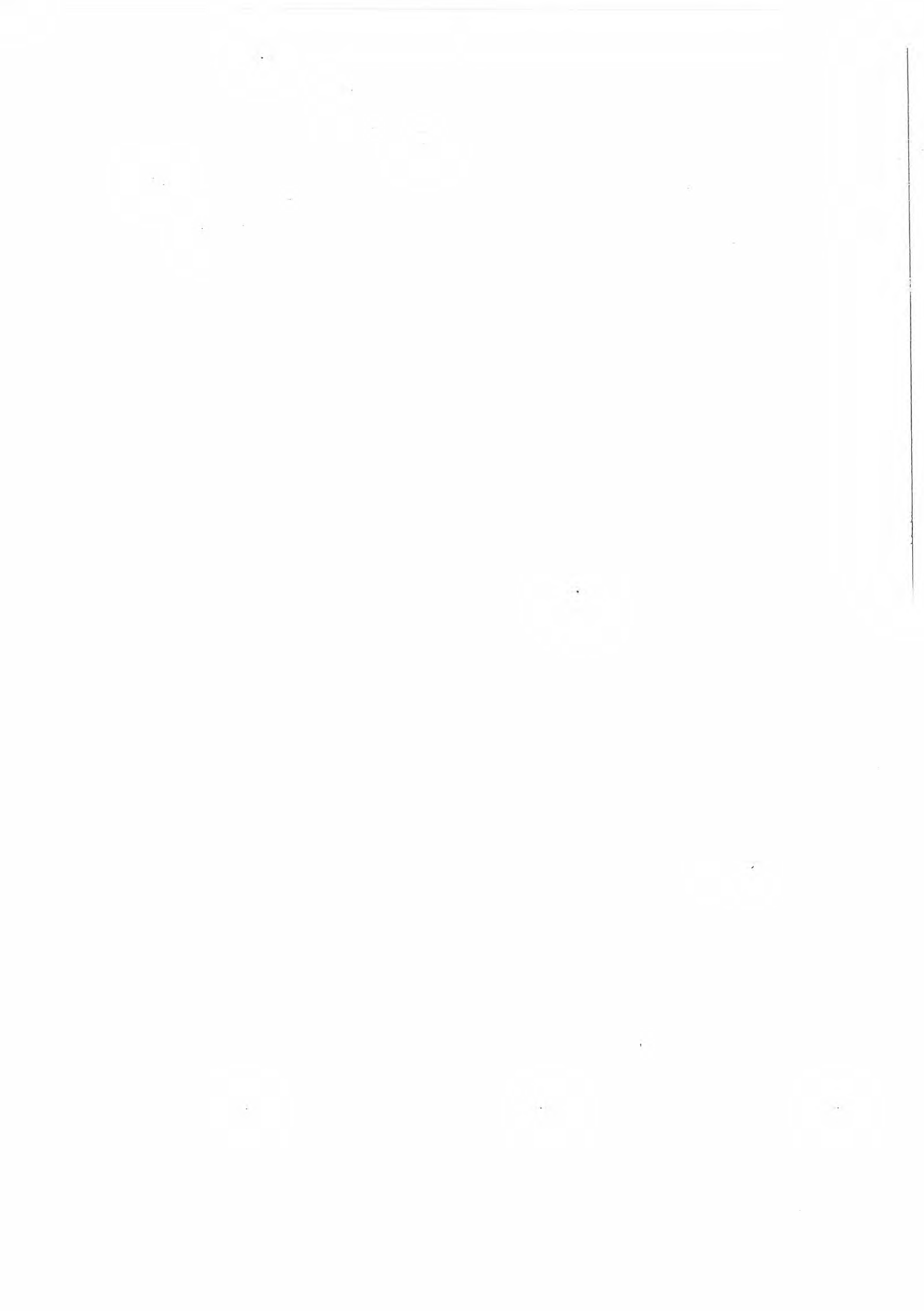
Είναι συνήθης τακτική οι πειραματικές μετρήσεις να σημειώνονται σε ένα τετράδιο 80-100 φύλλων και κατόπιν να επεξεργάζονται στην κατ' οίκον

συγγραφή της ασκήσεως σύμφωνα με τον υποδειγματικό τρόπο που εκτίθεται σε κάθε μια από αυτές και ο οποίος πρέπει να τηρείται σε κάθε περίπτωση. Κατά τη συγγραφή της ασκήσεως πρέπει να τηρούνται οι γενικές γραμμές που διέπουν ένα επιστημονικό κείμενο, δηλαδή η σαφήνεια, η ακριβολογία και η αποφυγή επαναλήψεων και απεραντολογιών. Η έκθεση πρέπει να αντικατοπτρίζει την επιστημονική προσωπικότητα του συγγραφέα.

Η γενική μορφή παρουσιάσεως της εργασίας αυτής πρέπει να είναι η εξής:

1. Τίτλος ασκήσεως (π.χ. Μελέτη κινητικής ξηράνσεως).
2. Σκοπός της ασκήσεως.
3. Θεωρητικό μέρος (βασικές αρχές και εξισώσεις).
4. Πειραματικό μέρος (χρησιμοποιούμενες συσκευές ή όργανα και τρόπος εργασίας).
5. Αποτελέσματα-πίνακες (σύμφωνα με τον τρόπο που υποδεικνύεται σε κάθε άσκηση).
6. Σχεδιαγράμματα (σε μιλλιμετρικό χαρτί).
7. Συζήτηση των αποτελεσμάτων.

Σχετικά με τα ευρεθέντα αποτελέσματα, και εφ' όσον αυτά παρουσιάζουν απόκλιση από τις παραδεκτές τιμές, πρέπει να δικαιολογούνται και να αιτιολογείται η απόκλιση αυτή.



ΟΔΗΓΙΕΣ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ

Οι οδηγίες και τα μέτρα ασφάλειας που ακολουθούν απευθύνονται στους φοιτητές και το διδακτικό προσωπικό των Εργαστηρίων με σκοπό να τους επιστήσουν την προσοχή σε ορισμένα επικίνδυνα σημεία της εργασίας τους. Στις οδηγίες αυτές περιλαμβάνονται οι ακόλουθες ενότητες προκειμένου να προληφθούν δυσάρεστες καταστάσεις που συμβαίνουν μερικές φορές στα χημικά εργαστήρια:

- i. Ενέργειες που απαγορεύονται
- ii. Ενέργειες που χρειάζονται ιδιαίτερη προσοχή
- iii. Αντιμετώπιση φωτιάς
- iv. Αντιμετώπιση δηλητηριάσεων
- iv. Κοψίματα
- iiν. Ατυχήματα οφθαλμών

Ο κατάλογος αυτός δεν εξαντλεί όλες τις περιπτώσεις από τις οποίες είναι δυνατόν να προέλθουν ατυχήματα. Για περισσότερη ενημέρωση οι ενδιαφερόμενοι πρέπει να ανατρέχουν στην βιβλιογραφία που παρατίθεται στο τέλος. Θα πρέπει όμως να καταστεί σαφές στους Χημικούς ότι εάν οι ίδιοι δεν δείχνουν την ανάλογη **ΠΡΟΣΟΧΗ** τηρώντας τα μέτρα ασφαλείας και τις απαγορεύσεις που ακολουθούν, η εργασία τους στο χημικό εργαστήριο καθίσταται **ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΗ** για τους ίδιους και τους συναδέλφους.

i. Ενέργειες που απαγορεύονται

1. Να εργάζεται κανείς μόνος στο εργαστήριο. Για λόγους ασφαλείας επιβάλλεται και η παρουσία δεύτερου προσώπου.
2. Το κάπνισμα κατά τη διάρκεια πειράματος.
3. Η θέρμανση των εξής υαλίνων οργάνων:
 - α. Ογκομετρικών κυλίνδρων
 - β. Ογκομετρικών φιαλών
 - γ. Φιαλιδίων αντιδραστηρίων.
4. Η απ' ευθείας θέρμανση με γυμνή φλόγα εύφλεκτων υγρών (αλκοόλη, αιθέρας, ακετόνη, βενζόλιο). Θέρμανση τέτοιων υγρών πρέπει να γίνεται σε μανδύα ή υδρόλουτρο.
5. Η αναρόφηση με το στόμα σε σιφώνιο πυκνών οξέων, βάσεων, δηλητηρίων κλπ. Για το σκοπό αυτό γίνεται χρήση πουάρ.
6. Η όσφρηση του περιεχομένου υπόπτου φιάλης κατ' ευθείαν από το στόμιο της επειδή υπάρχει κίνδυνος λιποθυμίας. Για να μυρίσουμε το περιεχόμενο δημιουργούμε ρεύμα αέρα με το χέρι.
7. Η εκτέλεση πειραμάτων που εκλύονται επικίνδυνοι ατμοί ή αέρια εκτός απαγωγών (π.χ. CO, Cl₂, H₂S, HCl, NO₂, SO₂, SO₃, Br₂, πτητικά άλατα υδραργυρου, αντιμονίου, αρσενικού, κασσιτέρου).
8. Η χρήση κυανιούχων αλάτων γιατί σε όξινο περιβάλλον σχηματίζεται HCN που είναι ισχυρότατο δηλητήριο.
9. Η διατήρηση τροφής σε εργαστηριακές θέσεις και η χρησιμοποίηση χημικών σκευών για παρασκευή καφέ, πόση υδατος κλπ.

ii. Ενέργειες που χρειάζονται ιδιαίτερη προσοχή

1. Χρειάζεται προσοχή κατά την χρησιμοποίηση πυρωμένων γυαλιών γιατί προκαλούν σοβαρά εγκαύματα.
2. Η αραιώση του H₂SO₄ γίνεται πάντα με προσθήκη οξέος σε μικρές δόσεις και υπό ανάδευση στο νερό και ποτέ αντίστροφα.
3. Η εισαγωγή υαλίνων σωλήνων σε φελλό ή λαστιχένιο πώμα πρέπει να γίνεται αφού τυλίξουμε το χέρι με μια πετσέτα, επειδή ο σωλήνας μπορεί να σπάσει και να κόψει βαθειά τα δάκτυλα.
4. Κατά τη θέρμανση δοκιμαστικού σωλήνα είναι δυνατόν το περιεχόμενό του να εκτιναχθεί. Για τον λόγο αυτό θερμαίνουμε φροντίζοντας ώστε το ανοικτό στόμιο να μην κατευθύνεται σε ανθρώπινο στόχο.

5. Χρειάζεται προσοχή κατά την λειτουργία των Labogaz ιδίως αν υπάρχουν σε μικρή απόσταση εύφλεκτες ύλες.
6. Το "Βρώμιον ύδωρ" και το HF απαιτούν ιδιαίτερη προσοχή γιατί καταστρέφουν τους ιστούς. Οι ουσίες αυτές φυλάσσονται σε απαγωγό και μεταφέρονται με την βοήθεια γαντιών.
7. Κύλινδροι με αέρια υπό πίεση πρέπει να είναι δεμένα σε τοίχο ή άλλο ακίνητο αντικείμενο γιατί πιθανή πτώση τους μπορεί να προκαλέσει θραύση τους και εκρηκτική εκτόνωση του υπό πίεση αερίου. Με τον ίδιο τρόπο φυλλάσσονται και οι άδειοι κύλινδροι.
8. Ο Hg είναι δηλητήριο και δεν πρέπει να έρχεται σε επαφή με το δέρμα. Οι ατμοί του είναι επικίνδυνοι γι' αυτό ελεύθερες επιφάνειες υδραργύρου πρέπει να καλύπτονται με κάποιο ορυκτέλαιο.
9. Απαιτείται ιδιαίτερη προσοχή κατά την χρησιμοποίηση εκρηκτικών ουσιών όπως νιτρικά, χλωρικά και υπερχλωρικά άλατα.
10. Η χρησιμοποίηση μιγμάτων αερίων υδρογονανθράκων (μεθάνιο, αιθάνιο κλπ) με αέρια ή οξυγόνο και μάλιστα σε αυξημένες θερμοκρασίες πρέπει να γίνεται εκτός των ορίων εκρήξεως αυτών τα οποία υπάρχουν σε ειδικούς πίνακες.
11. Οι βαλβίδες πίεσης και κυκλοφορίας ρευστών πρέπει να ανοίγονται και να κλείνονται σιγά-σιγά προς αποφυγή δημιουργίας απότομων υπερπίεσεων ή υποπίεσεων που είναι δυνατόν να προκαλέσουν θραύση των συσκευών.
12. Περιστρεφόμενα και κινούμενα τμήματα μηχανημάτων πρέπει να αντιμετωπίζονται με προσοχή. Ξεκούμπωτες εργαστηριακές μπλούζες και λυτά μαλιά ενέχουν τον κίνδυνο εμπλοκής με την συσκευή με λυπηρές συνέπειες.
13. Γυμνές ή αμφίβολα μονωμένες ηλεκτρικές συνδέσεις πρέπει να μην χρησιμοποιούνται πριν επιδιορθωθούν.
14. Για οποιαδήποτε απορία ή επιφυλαξη σχετικά με την λειτουργία ενός οργάνου πρέπει να ερωτάται κάποιος που γνωρίζει την λειτουργία του. Με κανένα τρόπο δεν επιτρέπεται να ανοίγονται διακόπτες ή στρόφιγγες χωρίς να είναι ακριβώς γνωστό το αποτέλεσμα που θα προκύψει.

iii. Αντιμετώπιση φωτιάς

1. Ανάφλεξη ενδυμασίας. Ατομο του οποίου ανεφλέγει η ενδυμασία πρέπει να μην τρέξει, γιατί τότε θα αερίσει τις φλόγες και η φωτιά θα δυναμώσει, αλλά πρέπει να ξαπλώσει και να κυλισθεί στο έδαφος ώστε να καλύψει τις φλόγες

που τότε θα σβήσουν. Σωτήρια ενέργεια θα είναι η κάλυψη του θύματος με αμιαντοκουβέρτα όσο γίνεται ταχύτερα ώστε να σβήσουν οι φλόγες.

2. Ανάφλεξη αντιδραστηρίων. Σβήνουμε αμέσως όλους τους αναμένους λύχνους αερίου και αποσυνδέουμε όλα τα ηλεκτρικά θερμαντικά σώματα. Απομακρύνουμε όλα τα εύφλεκτα. Ο έλεγχος της φωτιάς εξαρτάται από το είδος και το μέγεθός της. Ετσι περιορισμένη φωτιά π.χ. σε ποτήρι ζέσεως, ελαιόλουτρο κλπ. σβήνεται με κάλυψη του ανοίγματος του δοχείου με ένα μουσκεμένο πανί. Για φωτιές μεγαλύτερης έντασης χρησιμοποιούμε ξηρά άμμο που πρέπει να υπάρχει σε προσιτά μέρη του εργαστηρίου. Η άμμος αφού χρησιμοποιηθεί απορρίπτεται γιατί είναι δυνατόν να περιέχει εύφλεκτες ουσίες. Μικρές φωτιές σβήνουν και με τη χρήση πυροσβεστήρων διοξειδίου του άνθρακα ή τετραχλωράνθρακα.

ΠΡΟΣΟΧΗ: Αν υπάρχει K ή Na ή χρήση του CCl_4 προκαλεί έκρηξη.

Αμέσως δε μετά την κατάσβεση της φωτιάς με CCl_4 αερίζουμε το εργαστήριο για να απομακρύνουμε το πάντα σχηματιζόμενο δηλητηριώδες αέριο φωσγένιο.

Κατά την ανάφλεξη ελαίου ή οργανικών ουσιών δεν χρησιμοποιούμε νερό για την κατάσβεση επειδή η φωτιά δυναμώνει.

iv. Αντιμετώπιση εγκαυμάτων

1. Εγκαύματα από φλόγα και θεομά αντικείμενα: Σε ελαφρά εγκαύματα που το δέρμα ανοίγει τοποθετούμε στο έγκαυμα πικρή γαλλοταννίνης ή ακριφλαβίνης. Σε σοβαρά εγκαύματα κατά τα οποία το δέρμα κοκκινίζει ή εμφανίζει φουσκάλες τοποθετούμε αμέσως στο έγκαυμα διάλυμα NaHCO_3 1% και καλούμε το γιατρό.

2. Οξέα στο δέρμα: Πλένουμε με άφθονο νερό, κατόπιν με κεκορεσμένο διάλυμα NaHCO_3 και πάλι με νερό. Σε σοβαρά εγκαύματα μετά τα παραπάνω πλένουμε με αλκοόλη, ξηραίνουμε το δέρμα και καλύπτουμε το έγκαυμα με πικρή ακριβλαβίνης.

3. Βάσεις στο δέρμα: Πλένουμε με πολύ νερό, κατόπιν με 1% CH_3COOH και πάλι με νερό. Σε σοβαρά εγκαύματα μετά τα παραπάνω πλένουμε με αλκοόλη, ξηραίνουμε το δέρμα και καλύπτουμε το έγκαυμα με πικρή ακριβλαβίνης.

4. Βρώμιο στο δέρμα: Πλένουμε το προσβεβλημένο μέρος αμέσως με ελαφρή βενζίνη (σ.ξ. 80-100°C) και κατόπιν αλείφουμε με γλυκερίνη ώστε να καλυφθεί καλά το πληγωμένο μέρος. Σε λίγο απομακρύνουμε την γλυκερίνη και τοποθετούμε στο τραύμα πικρή ακριφλαβίνης ή αλοιφή πικρινού π-αμινοβενζοϊκού-η-βουτυλεστέρος (butesin picrate).

5. Νάτριο στο δέρμα: Αν υπάρχουν τεμαχίδια στο δέρμα τα απομακρύνουμε προσεκτικά με μεταλλική λαβίδα, κατόπιν πλένουμε με νερό κατόπιν με CH_3COOH 1% και καλύπτουμε την πληγή με μια γάζα μουσκεμένη σε ελαιόλαδο ή με πηκτική ακριβλαβίνης.

6. Φώσφορος στο δέρμα: Πλένουμε καλά με ψυχρό νερό και περιποιούμαστε την περιοχή με διάλυμα AgNO_3 1%.

7. Οργανικές ουσίες στο δέρμα: Πλένουμε καλά με αλκοόλη και κατόπιν με σαπούνι και ζεστό νερό.

v. Αντιμετώπιση δηλητηριάσεων

Αν το δηλητήριο, στερεό ή υγρό, έχει μείνει στο στόμα και δεν έχει καταποθεί, φτύνουμε και πλένουμε καλά το στόμα με νερό. Αν το δηλητήριο έχει φθάσει στο στομάχι η αντιμετώπιση εξαρτάται από την φύση του δηλητηρίου.

1. **Οξέα:** Πίνουμε άφθονο νερό και στη συνέχεια ασβέστιο ύδωρ ή υδροξείδιο του Mg. Γάλα μπορούμε να λάβουμε αλλά όχι εμετικά.

2. **Βάσεις:** Πίνουμε άφθονο νερό και κατόπιν ξύδι, ή χυμό λεμονιού ή διάλυμα κιτρικού οξέος. Γάλα επιτρέπεται αλλά όχι εμετικά.

3. **Αλατα βερέων μετάλλων:** Χορηγούμε γάλα ή ασπράδι αυγού.

4. **Ενώσεις του Ag ή Hg:** Χορηγούμε αμέσως εμετικό π.χ. ένα κουταλάκι του γλυκού μουστάρδας ή μια γεμάτη κουταλιά της σούπας NaCl ή ZnSO_4 σε ένα ποτήρι ζεστό νερό.

5. **Δηλητηριώδη αέρια:** Μεταφέρουμε το θύμα σε καθαρό αέρα και ξεσφίγγουμε τα ρούχα γύρω στο λαιμό του. Για την εξουδετέρωση Cl_2 και Br_2 χορηγούμε ατμούς NH_3 ή διάλυμα NaHCO_3 για γαργάρα. Κατόπιν δίνουμε στον ασθενή παστίλιες ευκάλυπτου ή αραιό θερμό εκχύλισμα δυόσμου ή κανέλλας για να ανακουφιστεί ο λάρυγγας και οι πνεύμονες. Αν έχει σταματήσει η αναπνοή εφαρμόζουμε τεχνητή.

iv. Κοψίματα

Αν το κόψιμο είναι μικρό το αφήνουμε για λίγο να αιμοραγήσει, αφαιρούμε κομμάτια γυαλιού που πιθανόν υπάρχουν στην πληγή (αν το κόψιμο είναι από σπασμένο γυαλί) και απολυμαίνουμε με αλκοόλη ή Dettol ή υδατικό διάλυμα χλωραμίνης 1% ή με σκόνη σουλφοπυριδίνης και δένουμε το τραύμα.

Αν το τραύμα είναι σοβαρό καλούμε αμέσως τον γιατρό. Εν τω μεταξύ πλένουμε με αλκοόλη και προσπαθούμε να περιορίσουμε την αιμοραγία με γάζα

ή βαμβάκι πιέζοντας στην πληγή. Πάντως δεν πρέπει να ασκούμε συνεχή πίεση άνω των πέντε λεπτών.

iiν. Ατυχήματα οφθαλμών

Σε όλες τις περιπτώσεις τον παθόντα πρέπει να παρακολουθήσει ο γιατρός. Αν το ατύχημα είναι σοβαρό καλούμε το γιατρό και ταυτόχρονα φροντίζουμε για την παροχή πρώτων βοηθειών.

1. Οξύ στα μάτια: Αν το οξύ είναι αραιό πλένουμε τα μάτια επανειλημμένα σε ειδική συσκευή με διάλυμα NaHCO_3 1%. Αν το οξύ είναι πυκνό πλένουμε αρχικά με άφθονο νερό και κατόπιν με διάλυμα NaHCO_3 1%.

2. Καυστικό αλκάλι στα μάτια: Αν το αλκάλι είναι αραιό πλένουμε με διάλυμα H_3BO_3 1%. Αν το αλκάλι είναι πυκνό πλένουμε με άφθονο νερό και κατόπιν με H_3BO_3 1%.

3. Βρώμιο στα μάτια: Πλένουμε με νερό και κατόπιν με διάλυμα NaHCO_3 1%.

4. Τεμάγια γυαλιού ή ρηνίσματα στα μάτια: Απομακρύνουμε προσεκτικά τα κομάτια του γυαλιού ή τα ρηνίσματα με λαβίδα ή πλένουμε τα μάτια σε υδρολόουτρο. Καλούμε τον γιατρό. Μώλωπες που είναι δυνατόν να προκύψουν από τα κομάτια του γυαλιού στο εσωτερικό του ματιού αποφεύγονται τοποθετώντας μια σταγόνα ρητινέλαιο στην γωνία του ματιού.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. "Guide for Safety in the Chemical Laboratory", Manufacturing Chemists Association, 2nd, Ed., Van Nostrand, (1972).
2. "A guide to Laboratory Design", K.Everett, D.Hughes, Butterworth, (1979).

Άσκηση 1: ΜΕΛΕΤΗ ΤΡΙΒΩΝ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΡΟΗ ΡΕΥΣΤΩΝ

Σκοπός

Η μεταφορά ρευστών (αέρια, υγρά) δια μέσου σωληνώσεων, βαλβίδων, ή και αντλιών είναι κάτι που γίνεται για πολλούς και διάφορους λόγους σε κάθε βιομηχανική μονάδα. Τα διάφορα εξαρτήματα, το είδος των σωληνώσεων, τα χαρακτηριστικά του ρευστού επηρεάζουν την ροή αυτού και αποτελούν αντικείμενο μελέτης της άσκησης αυτής. Ειδικότερα η άσκηση αυτή έχει σαν σκοπό:

- α. Την εξέταση μερικών παραμέτρων που επηρεάζουν το είδος της ροής σε οριζόντιο ευθύγραμμο αγωγό σταθερής διαμέτρου,
- β. Τον υπολογισμό απωλειών λόγω τριβής σαν συνάρτηση της μέσης γραμμικής ταχύτητας του ρευστού.

1. Θεωρητικό Μέρος

Ανάλογα με τις συνθήκες ροής ενός ρευστού μπορεί να παρουσιαστούν δύο βασικοί τύποι ροής, η νηματώδης ή αλλιώς στρωτή ροή και η στροβιλώδης.

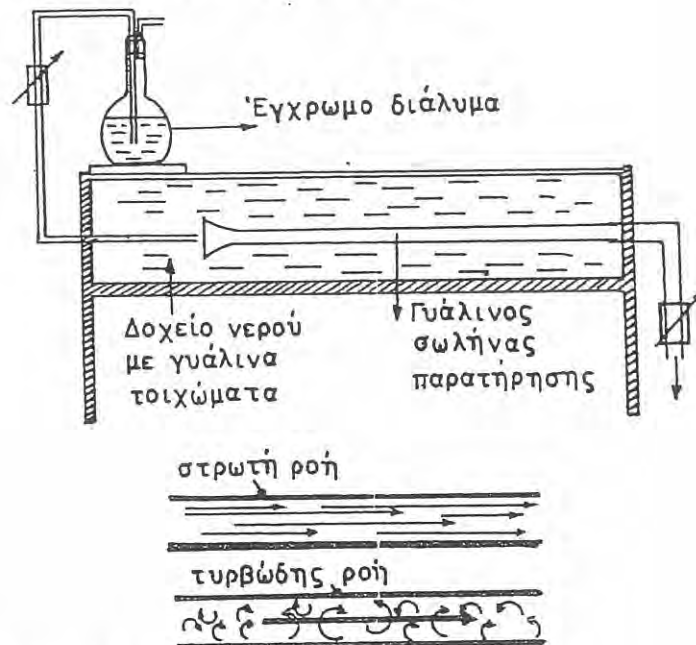
Όταν σε συγκεκριμένο αγωγό η ταχύτητα του ρευστού είναι μικρή τότε αυτό ρέει υπό μορφή παράλληλων μη αναμίξιμων στρωμάτων. Οι στοιβάδες κινούνται σχετικά η μία προς την άλλη χωρίς μεταξύ τους ανάμιξη. Όταν στον ίδιο αγωγό αυξηθεί η ταχύτητα ροής πέρα από μια ορισμένη οριακή τιμή η

στρωματική ροή καταστρέφεται και το ρευστό κινείται σχηματίζοντας στροβίλους. Η ροή αυτή χαρακτηρίζεται ως στροβιλώδης ή τυρβώδης. Αποτέλεσμα της τελευταίας είναι η ισχυρή ανάδευση του ρεύματος του ρευστού, με συνέπεια για την μεταφορά του να απαιτείται μεγαλύτερη κατανάλωση ενέργειας, σε σύγκριση με την στρωτή ροή, όπως απέδειξε ο Osborne Reynolds (1833) με το κλασσικό πείραμα του σχήματος 1-1.

Κριτήριο του τύπου ροής ενός ρευστού είναι η τιμή του αδιάστατου πηλίκου:

$$Re = \frac{d u \rho}{\eta} \quad (1-1)$$

το οποίο καλείται **κριτήριο Reynolds**, όπου: d- εσωτερική διάμετρος του σωλήνα (m), u- ταχύτητα ροής ($Q/\pi(d^2/4)$) (m/sec), ρ- πυκνότητα του ρευστού (kg/m^3), η- δυναμικό ιξώδες ($N \text{ sec}/m^2$)



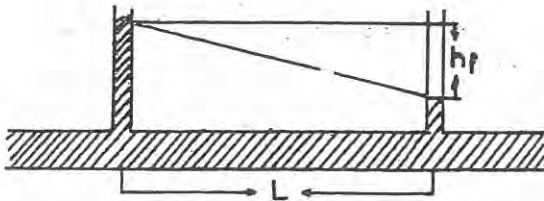
Σχήμα 1-1. Πείραμα Reynolds

Η τιμή του κριτηρίου Reynolds, όπου εμφανίζεται μετάπτωση από τη στρωτή στη στροβιλώδη ροή (ή και αντίστροφα) βρίσκεται ανάμεσα στις τιμές 2000-4000 ανάλογα με τις συνθήκες.

Reynolds < 2000 στρωτή ροή
Reynolds > 4000 τυρβώδης ροή

Κατά την ροή ρευστού μέσα σε σωλήνα το ρευστό υπερνικά την αντίσταση τριβής πράγμα που προκαλεί συνεχή απώλεια ενέργειας κατά μήκος του σωλήνα. Αυτό ισχύει με την προϋπόθεση ότι οι άλλοι όροι της εξίσωσης ενέργειας ρέοντος ρευστού δεν μεταβάλλονται. Αυτή η απώλεια ενέργειας λόγω τριβών φαίνεται από την πτώση πίεσης που ασκείται στα άκρα του σωλήνα. Η διαφορά πίεσης δείχνει την απώλεια ενέργειας εκφρασμένη σε ύψος στήλης υγρού και καλείται απώλεια ολικού ύψους h_f (m) μεταξύ δύο σημείων που απέχουν μεταξύ τους L (m).

Οι αντιστάσεις (τριβές) h_f μετρούμενες σε μανομετρικό ύψος, που αναπτύσσονται λόγω τριβών κατά την ροή του πραγματικού ρευστού καθ' όλο το μήκος του αγωγού εξαρτώνται από τον τύπο ροής (στρωτή, τυρβώδης) (σχήμα 1-2).



Σχήμα 1-2. Αύξηση τριβών κατά μήκος ροής ρευστού και δημιουργία πτώσης πίεσης.

Για την στρωτή ροή η βασική εξίσωση που χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό των αντιστάσεων h_f από τριβές είναι η εξίσωση Hagen-Poiseuille:

$$h_f = \frac{32 L \eta u}{\rho g d^2} \quad \text{Εξίσωση Hagen-Poiseuille} \quad (1-2)$$

όπου: L- μήκος του αγωγού (m), η - δυναμικό ιξώδες του ρευστού ($N \text{ sec/m}^2$), u- μέση γραμμική ταχύτητα (m/sec), d- διάμετρος αγωγού (m), ρ - πυκνότητα ρευστού (Kg/m^3), g- επιτάχυνση της βαρύτητας (m/sec^2).

Για τυρβώδη ροή δεν μπορεί θεωρητικά να εξαχθεί αντίστοιχη εξίσωση, γενικά σε αυτή την περίπτωση όμως ισχύει η εξίσωση Fanning:

$$h_f = \frac{4 f L u^2}{d 2g} \quad \text{Εξίσωση Fanning} \quad (1-3)$$

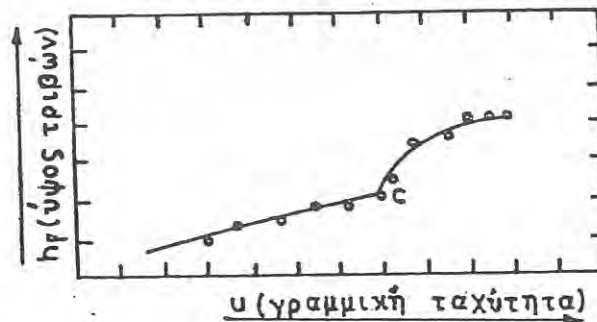
όπου: f είναι ο αδιάστατος συντελεστής τριβής Fanning. Μπορεί να αποδειχθεί ότι για στρωτή ροή ισχύει:

$$f = \frac{16}{Re} \quad Re < 2100 \quad (1-4)$$

Ο συντελεστής τριβής f για τυρβώδη ροή εξαρτάται τόσο από τον αριθμό Re όσο και από την τραχύτητα e των σωληνώσεων και βρίσκεται είτε από ειδικά διαγράμματα είτε από την εμπειρική εξίσωση (για μικρές τιμές Re):

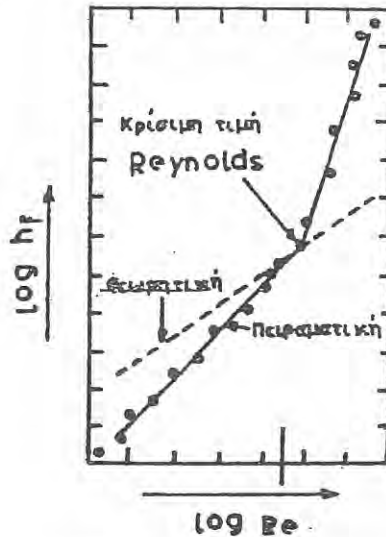
$$f = 0.079 Re^{-0.25} \quad Re > 4000 \quad (1-5)$$

Σύμφωνα με τα παραπάνω, από την πειραματική μελέτη των τριβών σαν συνάρτηση της τραχύτητας (σχήματα 1-4,1-5), είναι δυνατόν να μελετήσουμε την μεταβολή στον νόμο της αντίστασης λόγω τριβών και να βρούμε τον κρίσιμο αριθμό Reynolds ενώ μετρήσεις του h_f στην στροβιλώδη περιοχή μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την εύρεση του συντελεστή τριβής f από την εξίσωση (1-3).



Σχήμα 1-3. Μεταβολή του ύψους τριβών h_f σε συνάρτηση με την ταχύτητα ροής.

Η κρίσιμη τιμή του αριθμού Reynolds μπορεί να βρεθεί με μεγαλύτερη ακρίβεια από το διάγραμμα $\log h_f - \log Re$ (σχ. 1-4). Η τομή της πειραματικής καμπύλης με την θεωρητική δίνει το Re_{cr} .



Σχήμα 1-4. Μεταβολή του ύψους τριβών σε συνάρτηση του αριθμού Reynolds.

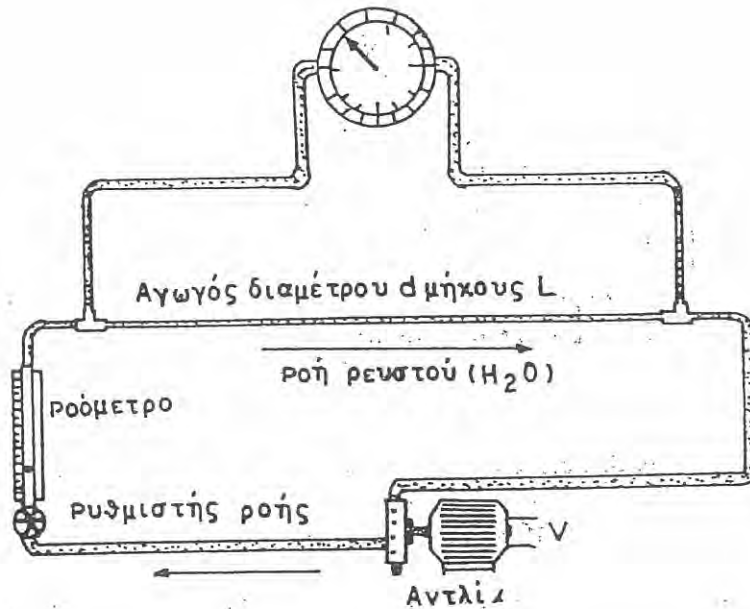
2. Πειραματικό Μέρος

Περιγραφή της συσκευής

Η πειραματική διάταξη που θα χρησιμοποιηθεί για το πείραμα φαίνεται παραστατικά στο σχήμα 1-5. Το ρευστό (νερό) ρέει υπό σταθερή πίεση με τη βοήθεια αντλίας δια μέσου γυάλινου σωλήνα γνωστής διαμέτρου. Η ογκομετρική παροχή μετράται με την βοήθεια ροομέτρου ενώ η πτώση πίεσης στα άκρα του σωλήνα με διαφορικό μανόμετρο.

Εκτέλεση του πειράματος

1. Θέτουμε την αντλία σε λειτουργία.
2. Ρυθμίζουμε κάποια χαμηλή ροή με την βοήθεια του ρυθμιστή ροής και μετράμε την πτώση πίεσης στα άκρα του αγωγού με το διαφορικό μανόμετρο.
3. Εκτελούμε 10 συνολικά μετρήσεις καλύπτοντας την κλίμακα του ροομέτρου.
4. Με την βοήθεια των εξισώσεων που περιγράφηκαν στο θεωρητικό μέρος της άσκησης συμπληρώνουμε τον πίνακα ως περιγράφεται στα επόμενα.



Σχήμα 1-5. Πειραματική διάταξη μελέτης τριβών κατά την ροή ρευστών.

Υπολογισμός των αποτελεσμάτων

- α) Από τις τιμές της ογκομετρικής ροής υπολογίζουμε την μέση γραμμική ταχύτητα ροής u (m/sec),
- β) Υπολογίζουμε τον αριθμό Reynolds που αντιστοιχεί σε κάθε ταχύτητα ροής και τον λογάριθμο αυτού.
- γ) Υπολογίζουμε τον συντελεστή τριβών Fanning από τις εξισώσεις (1-3) και (4).
- δ) Υπολογίζουμε την θεωρητική τιμή των τριβών $h_{f\text{θεωρ}}$ και τον λογάριθμο αυτής από την εξίσωση Fanning (1-2).

Με βάση τις τιμές του παραπάνω πίνακα κατασκευάζονται τα διαγράμματα:

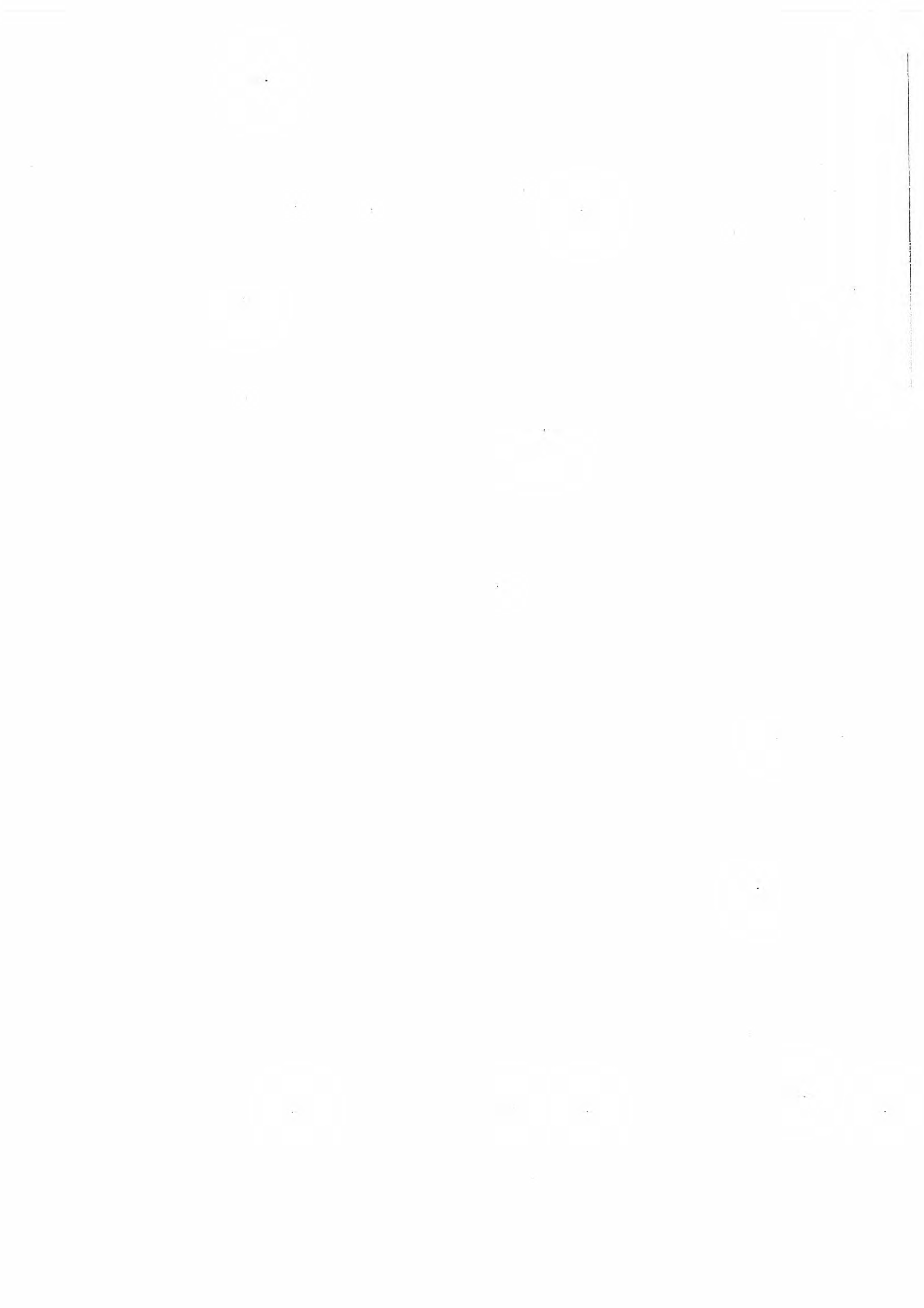
- i) h_f (πειραματικό) = $f(u)$,
- ii) $\log h_f$ (πειραματικό) = $f(\log Re)$ και $\log h_f$ (θεωρητικό) = $sf(\log Re)$.

Από τα διαγράμματα αυτά βρίσκεται η κρίσιμη τιμή Reynolds.

α.α	Παροχή (cm ³ /min)	h _f πειραμ. (m H ₂ O)	log h _f πειρ.	u (m/sec)	Re	logRe	f _{θεωρ.}	h _f θεωρ. m	log h _f θεωρ.
1.									
2.									
3.									
4.									
5.									
6.									
7.									
8.									
9.									
10.									

Βιβλιογραφία

1. Α.Θ. Σδούκος, "Φυσικές Διεργασίες της Χημικής Τεχνολογίας Μέρος Ι: Μηχανική των Ρευστών και Τεχνική Σωματιδίων" 3η έκδοση, Ιωάννινα, 1993.



Άσκηση 2. ΔΙΗΘΗΣΗ

Σκοπός

Σκοπός του πειράματος είναι η κατανόηση του διαχωρισμού στερεών-υγρών με την διεργασία της διήθησης υπό σταθερή πίεση. Για το σκοπό αυτό διηθείται υδατικό αιώρημα CaCO_3 και με τις βασικές εξισώσεις της διήθησης υπολογίζονται η αντίσταση του διηθητικού μέσου (R_m) καθώς και η αντίσταση (R_c) και η συμπιεστότητα (s) του σχηματιζόμενου πλακούντα.

1. Θεωρητικό μέρος

Η διήθηση είναι μια από τις πιο διαδεδομένες πρακτικές για τον διαχωρισμό στερεών-ρευστών (υγρά-αέρια). Με την μέθοδο αυτή διαχωρίζονται από την φάση του ρευστού τα στερεά με διάμετρο κόκκων μεγαλύτερη από την διάμετρο των πόρων του ηθμού.

Η ωθούσα δύναμη που επενεργεί για να λάβει χώρα η διήθηση είναι πάντα μια διαφορά πίεσης ΔP . Σαν αποτέλεσμα της συσσώρευσης του στερεού επί του ηθμού ο ρυθμός (ή ταχύτητα) της διήθησης ελαττώνεται με την πρόοδο του πειράματος και αν θέλουμε να διατηρήσουμε σταθερό ρυθμό διήθησης πρέπει να αυξήσουμε το ΔP . Διακρίνουμε λοιπόν δύο περιπτώσεις.

1. Την διήθηση υπό σταθερό ρυθμό, και τούτο επιτυγχάνεται με βαθμιαία αύξηση της ΔP .
2. Την διήθηση υπό σταθερή πίεση, οπότε ελαττώνεται ο ρυθμός διήθησης με την πρόοδο του πειράματος.

Και στις δύο περιπτώσεις ο ρυθμός, ή ταχύτητα διήθησης (u , m/sec), ορίζεται ως ο όγκος του διηθήματος (V , m³) που διέρχεται δια της μονάδας επιφανείας (A , m²) του διηθητικού μέσου ανά μονάδα χρόνου (τ , sec) και είναι ανάλογη της αντίστασης του διηθητικού μέσου (R_m) και του σχηματισθέντα πλακούντα (R_c), καθώς και του ιξώδους (η) της υγρής φάσης,

$$u = \frac{dV}{A d\tau} = \frac{\Delta P}{\eta(R_m + R_c)} \quad (2-1)$$

Η σχέση (2-1) αποτελεί την βασική εξίσωση της διηθήσεως. Για την αντίσταση R_c του πλακούντα ισχύει η σχέση

$$R_c = r_c \cdot C \cdot \frac{V}{A} \quad (2-2)$$

Στην διήθηση υπό σταθερή πίεση που θα εξετάσουμε εργαστηριακά μετασχηματισμός της (2-1) δίνει ότι

$$\frac{\tau}{V} = BV + K \quad (2-3)$$

με

$$B = \frac{\eta \cdot r_c \cdot C}{2 \cdot \Delta P \cdot A^2} \quad (2-4)$$

και

$$K = \frac{\eta \cdot R_f}{\Delta P \cdot A} \quad (2-5)$$

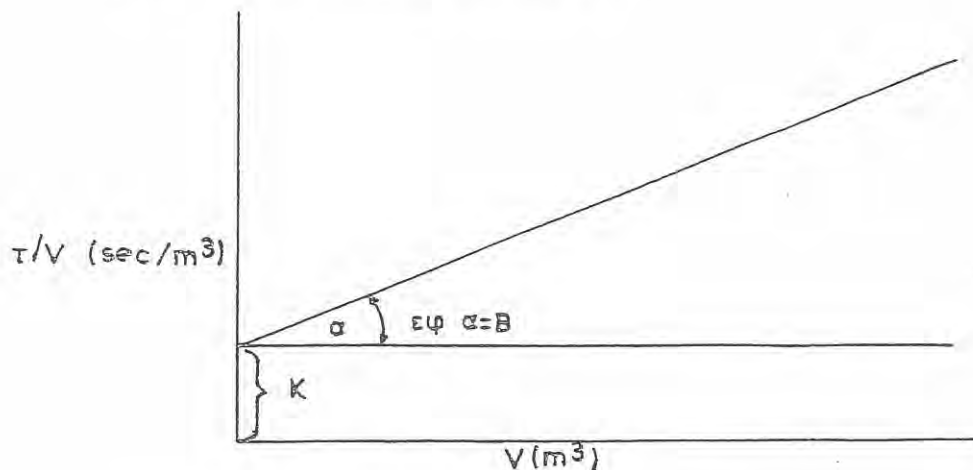
όπου: η = ιξώδες του υγρού (N.s/m²), r_c = ειδική αντίσταση του σχηματιζόμενου πλακούντα (m/Kgτ), C = συγκέντρωση του στερεού στο διάλυμα (Kgτ/m³), ΔP = διαφορά πίεσης (N/m²), A = επιφάνεια φίλτρου (m²), R_m = αντίσταση φίλτρου (m⁻¹), και το B δίδεται σε (sec/m³.m³), το K σε (sec/m³) και το τ/V σε (sec/m³).

Επομένως η γραφική παράσταση της εξίσωσης (2-3) (τ/V)= $f(V)$ θα δίδει μία ευθεία γραμμή με κλίση B και τομή με τον άξονα των τ/V στο σημείο K (σχήμα 1).

Η τ_c συνδέεται με την ΔP με την σχέση

$$\tau_c = \tau_{c0} (\Delta P)^s \quad (0 < s < 1) \quad (2-6)$$

Μικρές τιμές του s δείχνουν μη συμπίεσιμο πλακούντα ενώ αν το $s \rightarrow 1$ τότε ο πλακούντας είναι πολύ συμπίεσιμος. Παραστατικά για $\Delta P =$ σταθερά θα έχουμε την γραφική παράσταση του σχήματος 2-1.



Σχήμα 2-1. Γραφική παράσταση της εξίσωσης (2-3).

Στην πράξη συχνά χρησιμοποιείται η διαφορική μεταβολή $\Delta t / \Delta V = f(V)$, όπου $V = (V_1 + V_2) / 2$ και προσδιορίζουμε την σχέση

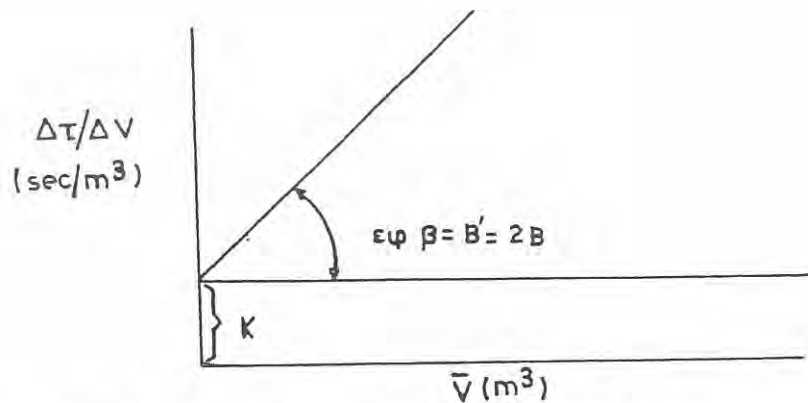
$$\Delta t / \Delta V = B' V + K \quad (2-7)$$

η οποία είναι παρόμοια της (2-3) με $B' = 2B$ (σχήμα 2-2).

2. Πειραματικό Μέρος

Περιγραφή της συσκευής και οδηγίες χειρισμού της

Η συσκευή η οποία θα χρησιμοποιηθεί για το πείραμα φαίνεται στο σχήμα 2-3. Ο τρόπος χειρισμού της κατά την διεξαγωγή του πειράματος είναι ως εξής:



Σχήμα 2-2. Γραφική παράσταση της σχέσης $\Delta t/\Delta V = f(V)$.

1. Αναστρέφουμε τον ηθμό Gooch μέσα στο δοχείο που περιέχει το αιώρημα του CaCO_3 σε βάθος ~20cm από την επιφάνεια του υγρού και τον στερεώνουμε με τις παρεχόμενες λαβίδες.
2. Καθαρίζουμε τον κύλινδρο Γ άν έχει νερό κλπ. και τον πωματίζουμε.
3. Κλείνουμε τις στρόφιγγες Β και Δ.
4. Τοποθετούμε τον αναδευτήρα στη υποδιαίρεση β για να αναδεύσει το αιώρημα.
5. Ανοίγουμε την αντλία ύδατος Α. Θα αρχίσει να δημιουργείται κενό το οποίο παρακολουθούμε στο μανόμετρο Μ.
6. Σταθεροποιούμε την ένδειξη του μανομέτρου Α σε προεπιλεγμένη τιμή πίεσης P_i ελέγχοντας συνεχώς την ροή αέρα από την στρόφιγγα Β.
7. Ανοίγουμε τη στρόφιγγα Δ συγχώνως με το χρονόμετρο και καταγράφουμε τις τιμές του χρόνου για την πρώτη σταγόνα τού διηθήματος και εν συνεχεία για κάθε 10 ή 20ml διηθήματος.
8. Μετά την συλλογή ~150ml διηθήματος κλείνουμε την στρόφιγγα Δ. Κατόπιν ανοίγουμε την στρόφιγγα Β και σιγά σιγά την αντλία ύδατος Α για να εισέλθει αέρας στο σύστημα. Η μεταβολή του κενού φαίνεται στο μανόμετρο. Σταματάμε τον αναδευτήρα Ζ.
9. Αδειάζουμε το διηθημένο H_2O από τον κύλινδρο Γ σε κωνική φιάλη και τοποθετούμε ξανά τον κύλινδρο στη θέση του.
10. Για να συλλέξουμε το νερό που έχει περάσει από τον ηθμό αλλά δεν έχει φθάσει στον κύλινδρο, αναστρέφουμε προσεκτικά τον ηθμό Gooch και ανοίγουμε την αντλία Α. Συλλέγουμε το υγρό στον κύλινδρο και ο όγκος του V_0

προστίθεται σε όλες τις μετρήσεις (δηλ. $V_{\text{διορθ}}=V_{\text{αρχ.}}+V_0$). Το διήθημα προστίθεται επίσης στη κωνική φιάλη.

11. Συλλέγεται το CaCO_3 που αποτέθηκε στον ηθμό Gooch με το H_2O που διηθήθηκε και το επιστρέφουμε στο αιώρημα. Κατόπιν, με την βοήθεια της γραμμής κενού περνάμε αραιό HCl και ξανά H_2O από τον ηθμό. Αυτό επαναλαμβάνεται σχολαστικά μετά από κάθε πείραμα για να απομακρυνθεί CaCO_3 που παρέμεινε στους πόρους του ηθμού.

12. Επαναλαμβάνουμε το πείραμα σε 3 διαφορετικές πιέσεις που διαλέγουμε τυχαία. Κάθε πίεση πρέπει να διαφέρει κατά 100 mbar περίπου από την επόμενη (π.χ. 400, 500 K 600 mbar).

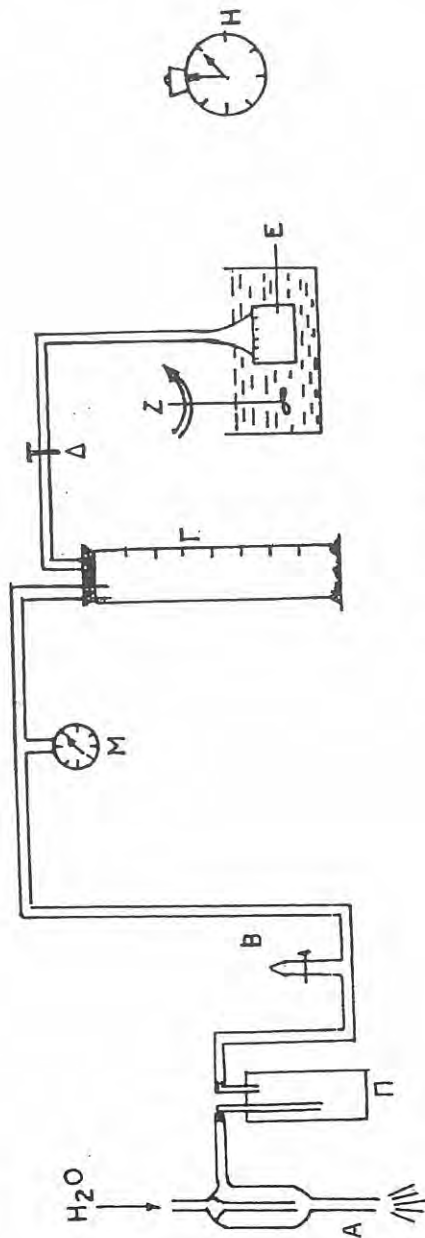
Επεξεργασία των αποτελεσμάτων

1. Εργαζόμαστε με την συσκευή διήθησης ακολουθώντας προσεκτικά τις οδηγίες που παρέχονται. Λαμβάνουμε 3 σειρές μετρήσεων σε διαφορετικές τιμές ΔP .
2. Σημειώνουμε τα αποτελέσματα στον πίνακα I.
3. Παρασταίνουμε γραφικά την σχέση $V= f(t)$ όπως στο σχήμα 2-4.
4. Προσδιορίζουμε γραφικά τη διαφορική μεταβολή $\Delta t/\Delta V= f(V)$ και την μεταβολή $t/V= f(V)$ από την παράσταση $V= f(t)$ και σύμφωνα με το υπόδειγμα του σχήματος 2-5. Η κλίση της ευθείας $\Delta t/\Delta V= f(V)$ θα προκύψει διπλάσια της κλίσης της ευθείας $(t/V)= f(V)$ ενώ η τομή τους με τον άξονα των ψ πρέπει να είναι η αυτή.
5. Από την κλίση B' της γραμμής $\Delta t/\Delta V= f(V)$ υπολογίζουμε το t_c για τα τρία διαφορετικά πειράματα με βάση την εξίσωση (2-4).
6. Από την τομή της ευθείας $\Delta t/\Delta V= f(V)$ ή $(t/V)= f(V)$ με τον άξονα των ψ βρούμε το K και υπολογίσουμε το R_m βάσει της εξίσωσης (2-5).
7. Λογαριθμίζουμε την εξίσωση (2-6) και παρασταίνουμε την σχέση $\log t_c= f(\log \Delta P)$ όπως στο σχήμα 2-6. Από την κλίση της γραμμής υπολογίζεται το s και από την τομή με τον άξονα των ψ υπολογίζεται το t_{c0} . Σχολιάζουμε την τιμή του s .
8. Υπολογίζουμε τον μέσο ρυθμό ροής, ήτοι την μέση ποσότητα υγρού που διέρχεται ανά μονάδα χρόνου και επιφανείας από το φίλτρο για διάφορες πιέσεις.
9. Σημειώνουμε τα τελικά αποτελέσματα στον πίνακα II.
10. ΔΕΔΟΜΕΝΑ: $n\text{H}_2\text{O}= 10^{-3} \text{ N.s/m}^2$

$A=$ εμβαδόν επιφανείας ηθμού Gooch σε m^2

$\Delta P= P_{\text{at}}-P_{\text{m}}$

Σχήμα 2-3. Συσκευή διήθησης υπό σταθερή πίεση.



Ζ.- Αναδευτήρας

Η.- Χρονόμετρο

Μ.- Μανόμετρο

Π.- Παγίδα

Α.- Υβραντλία κενού

Β.- Στρόφιγγα για έλεγχο κενού

Γ.- Κύλινδρος συλλογής διηθήματος

Δ.- Στρόφιγγα

Ε.- Ανεστραμμένος ηθμός Gooch

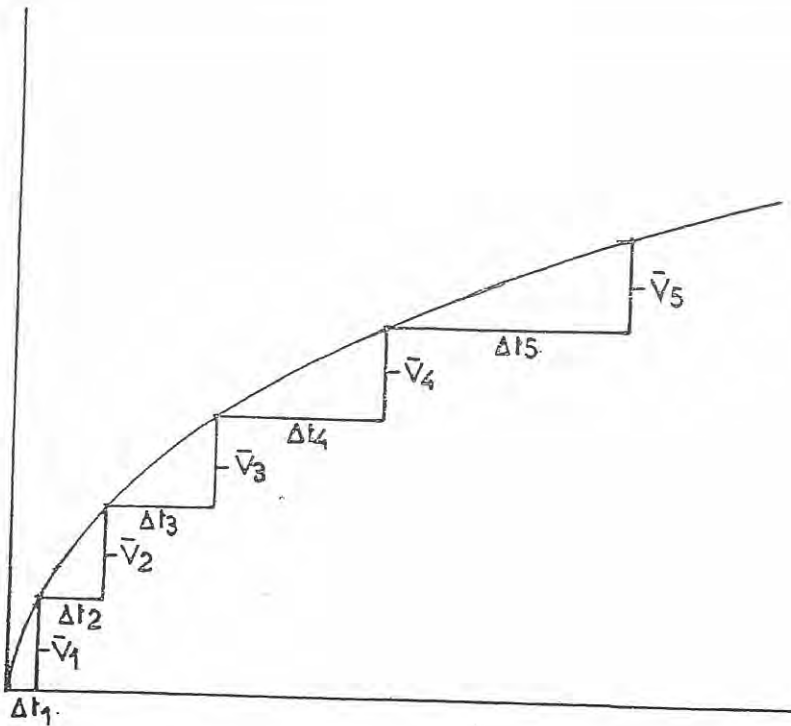
$\Delta P = H$ διαφορά πίεσης στην οποία γίνεται η διήθηση εκφρασμένη σε N/m^2 .

P_{at} = Η ατμοσφαιρική πίεση.

P_m = Η πίεση που υπάρχει στη γραμμή κενού.

ΠΙΝΑΚΑΣ Ι

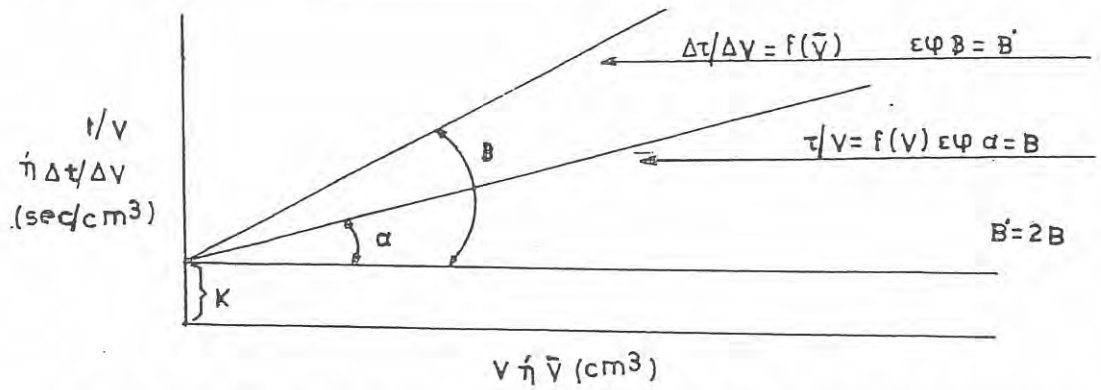
V cm3 αρχ.	V _{υδ} (cm3) διορθ.	τ/sec	Δτ (sec)	ΔV (cm3)	τ/V	V



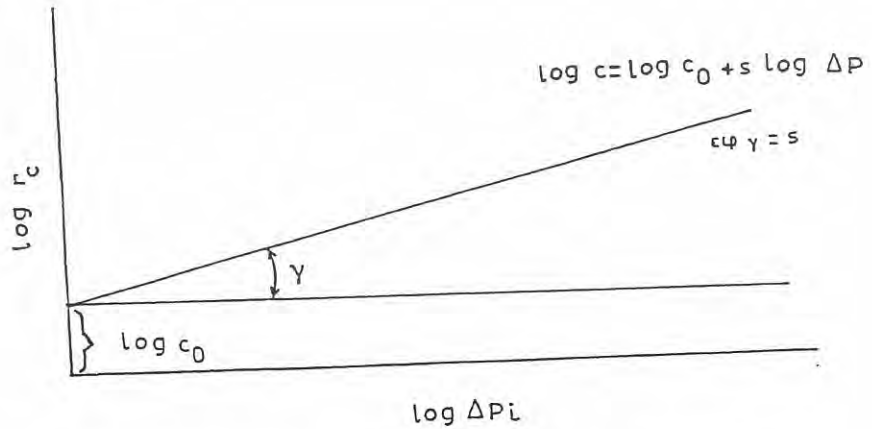
Σχήμα 2-4. Μεταβολή του όγκου και διηθήματος σαν συνάρτηση του χρόνου διήθησης για σταθερές ΔP .

ΠΙΝΑΚΑΣ ΙΙ

πείραμα	ΔP (N/m ²)	B (sec/m ³ .m ³)	K (sec/m ²)	r_c (m/kgf)	R_f (m ⁻¹)
1					
2					
3					



Σχήμα 2-5. Μεταβολή των λόγων τ/v και $\Delta\tau/\Delta V$ σαν συνάρτηση του όγκου του διηθήματος.



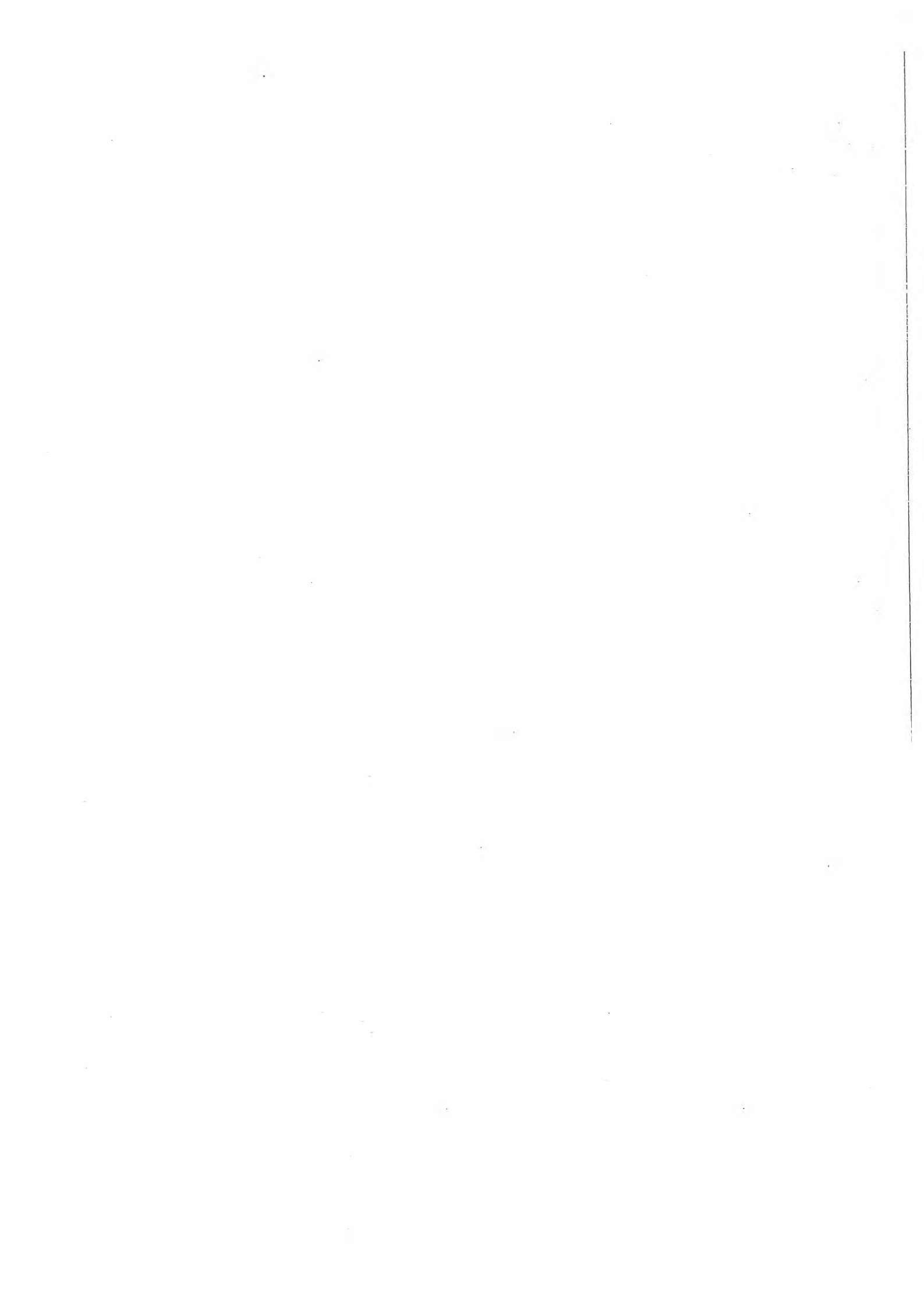
Σχήμα 2-6. Γραφική παράσταση της σχέσεως $\log r_c = f(\log \Delta P)$.

Απαιτούμενα όργανα και αντιδραστήρια

1. Συσκευή διήθησης (Σχήμα 2-3)
2. Αιώρημα ανθρακικού ασβεστίου συγκέντρωσης c (g/l) παρεχόμενο από το εργαστήριο.
3. Διάλυμα HCl 1N για τον καθαρισμό του ηθμού Gooch.
4. Χρονόμετρο
5. Κωνική φιάλη.

Βιβλιογραφία

1. Α.Θ. Σδούκου, "Φυσικές Διεργασίες της Χημικής Τεχνολογίας, Τόμος I-Μηχανική των Ρευστών και Τεχνική Σωματιδίων", Ιωάννινα, 1981.



Άσκηση 3: ΕΝΑΛΛΑΚΤΗΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ ΔΙΠΛΟΥ ΣΩΛΗΝΑ

Σκοπός

Σκοπός της άσκησης αυτής είναι:

- α. Η εξοικείωση με την λειτουργία θερμοεναλλάκτη διπλού σωλήνα απλής διαδρομής.
- β. Η μελέτη των ισοξυγίων θερμοότητας και των συντελεστών μεταφοράς θερμοότητας που υπεισέρχονται στον υπολογισμό της λειτουργίας του θερμοεναλλάκτη.
- γ. Ο τρόπος υπολογισμού των μονάδων μεταφοράς και της αποδοτικότητας του θερμοεναλλάκτη.

1. Θεωρητικό Μέρος

Βασική θεωρία θερμοεναλλάκτη διπλού σωλήνα

Στην περίπτωση εναλλαγής θερμοότητας μεταξύ δύο ρευστών, ενός θερμού και ενός ψυχρού, τα οποία διαχωρίζονται από ένα στερεό σώμα, οι μηχανισμοί μετάδοσης της θερμοότητας είναι:

- | | | | | |
|------------------------|---|------------------------|---|----------|
| Θερμό ρευστό | → | Στερεή θερμή Επιφάνεια | : | Μεταφορά |
| Στερεή θερμή επιφάνεια | → | Στερεή ψυχρή επιφάνεια | : | Αγωγή |
| Στερεή ψυχρή επιφάνεια | → | Ψυχρό ρευστό | : | Μεταφορά |

Τα ποσά θερμότητας Q που μεταφέρονται σε κάθε περίπτωση είναι ίσα έτσι ώστε να μην συμβαίνει συσσώρευση ενέργειας, δίδονται δε από τις σχέσεις:

Ποσότητα θερμότητας Q μεταφερόμενη από θερμό ρευστό στη θερμή επιφάνεια
 Ποσότητα θερμότητας Q μεταφερόμενη από την θερμή επιφάνεια στην ψυχρή επιφάνεια του στερεού
 Ποσότητα θερμότητας Q μεταφερόμενη από την ψυχρή επιφάνεια στο ψυχρό ρευστό

$$Q = h_o A_o (T_o - T_1) = \frac{\kappa}{x} A_m (T_1 - T_2) = h_i A_i (T_2 - T_1) \quad (3-1)$$

όπου: h_o, h_i - συντελεστές μεταφοράς θερμότητας εξωτερικής και εσωτερικής πλευράς, κ, x - θερμοκή αγωγιμότητα και πάχος της στερεής διαχωριστικής επιφάνειας, A_o, A_i - εξωτερική και εσωτερική επιφάνεια αντίστοιχα, A_m - Μέση λογαριθμική επιφάνεια μέσω της οποίας συμβαίνει η μετάδοση

$$A_m = \frac{(A_o - A_i)}{\ln(A_o/A_i)} = 2\pi r_m l = 2\pi \frac{r_o - r_i}{\ln(r_o/r_i)} l = 2\pi l \frac{x}{\ln(r_o/r_i)}$$

T_o, T_1, T_2, T_i - Θερμοκρασία εξωτερικά ευρισκόμενου ρευστού και επιφάνειας στην οποία εφάπτεται και εσωτερικά ευρισκόμενου υγρού και επιφάνειας που εφάπτεται αντίστοιχα.

Η σχέση (3-1) μπορεί να μετασχηματιστεί ως εξής:

$$\frac{QR_1}{A_o} + \frac{QR_2}{A_m} + \frac{QR_3}{A_i} = \Delta T_1 + \Delta T_2 + \Delta T_3 = T_o - T_i \quad (3-2)$$

όπου: $R_1 = \frac{1}{h_o}$, $R_2 = \frac{x}{\kappa}$, $R_3 = \frac{1}{h_i}$

και: $\Delta T_1 = T_o - T_1$, $\Delta T_2 = T_1 - T_2$, $\Delta T_3 = T_2 - T_i$

Από την (3-2) λαμβάνουμε

$$\frac{Q}{A_o} (R_1 + \frac{A_o}{A_m} R_2 + \frac{A_o}{A_i} R_3) = T_o - T_i \quad (3-3)$$

και αντικαθιστώντας

$$R_1 + \frac{A_o}{A_m} R_2 + \frac{A_o}{A_i} R_3 = \frac{1}{h_o} + \frac{A_o}{A_m} \frac{x}{k} + \frac{A_o}{A_i} \frac{1}{h_i} = \frac{1}{U_o} \quad (3-3\alpha)$$

έχουμε $Q = U_o A_o (T_o - T_i) \quad (3-4)$

Με παρόμοιο τρόπο ευρίσκεται ότι

$$Q = U_i A_i (T_o - T_i) \quad (3-5)$$

όπου:

$$\frac{1}{U_i} = \frac{1}{h_i} + \frac{A_i}{A_m} \frac{x}{k} + \frac{A_i}{A_o} \frac{1}{h_o} \quad (3-5\alpha)$$

Οι συντελεστές U_o και U_i λέγονται ολικό συντελεστές μεταφοράς θερμότητας βασιζόμενοι αντίστοιχα στην εξωτερική και εσωτερική επιφάνεια του στερεού. Γι' αυτούς ισχύει

$$U_o A_o = U_i A_i \quad (3-5\beta)$$

Αν οι επιφάνειες A_o, A_i είναι ίσες μεταξύ τους τότε η σχέση (3-1) γράφεται:

$$Q = \frac{A\Delta T_1}{R_1} = \frac{A\Delta T_2}{R_2} = \frac{A\Delta T_3}{R_3} \quad (3-6)$$

Η σχέση (3-6) μετασχηματίζεται

$$A \Delta T_1 = R_1 Q$$

$$A \Delta T_2 = R_2 Q$$

$$A \Delta T_3 = R_3 Q$$

και προσθέτοντας κατά μέλη

$$A(\Delta T_1 + \Delta T_2 + \Delta T_3) = Q (R_1 + R_2 + R_3)$$

$$Q = A (T_o - T_i) \frac{1}{R_1 + R_2 + R_3} \quad (3-7)$$

Θεωρώντας ότι ο ολικός συντελεστής μεταφοράς θερμότητας είναι

$$U = \frac{1}{R_1 + R_2 + R_3} \quad (3-8)$$

η σχέση (3-7) μετασχηματίζεται ως εξής

$$Q = U A \Delta T \quad (3-9)$$

όπου: $\Delta T = T_o - T_i$. Για σταθερές θερμοχωρητικότητες του θερμού και ψυχρού ρευστού η κινητήρια δύναμη μεταφοράς θερμότητας Q μπορεί ναδειχθεί ότι είναι η μέση λογαριθμική διαφορά θερμοκρασίας Θ_m , οπότε στην σχέση (3-9) ο όρος ΔT αντικαθίσταται με αυτόν.

$$Q = U A \Theta_m \quad (3-10)$$

όπου:
$$\Theta_m = \frac{\Theta_1 - \Theta_2}{\ln(\Theta_1/\Theta_2)}$$

και
$$\begin{aligned} \Theta_1 &= T_{h1} - T_{c1} \\ \Theta_2 &= T_{h2} - T_{c2} \end{aligned} \quad \text{για ομορροή}$$

και
$$\begin{aligned} \Theta_1 &= T_{h1} - T_{c2} \\ \Theta_2 &= T_{h2} - T_{c1} \end{aligned} \quad \text{για αντιρροή}$$

όπου T_{h1}, T_{h2} - οι θερμοκρασίες εισόδου και εξόδου του θερμού ρευστού, και T_{c1}, T_{c2} - οι θερμοκρασίες εισόδου και εξόδου του ψυχρού ρευστού.

Η ποσότητα θερμότητας Q η οποία μεταφέρεται ανά μονάδα χρόνου δια μεταφοράς \rightarrow αγωγής \rightarrow μεταφοράς από το θερμό ρευστό στην διαχωριστική στερεή επιφάνεια εν συνεχεία στο ψυχρό ρευστό, και η οποία δίνεται από τη σχέση (3-1), θα ισούται με την ποσότητα θερμότητας Q_h που θα αποδίδει το θερμό ρευστό

$$Q_h = M_h c_p (T_{h1} - T_{h2}) \quad (3-11)$$

ή με την ποσότητα θερμότητας Q_c που θα προσλαμβάνει το ψυχρό ρευστό

$$Q_c = M_c c_c (T_{c2} - T_{c1}) \quad (3-12)$$

όπου- M_h, M_c είναι οι μαζικές ροές του θερμού και ψυχρού ρεύματος. Τότε θα ισχύει

$$Q = Q_h = Q_c \quad (3-13)$$

αν δεν υπάρχουν απώλειες θερμότητας στο περιβάλλον. Αν το θερμό ύδωρ χάνει θερμότητα στο περιβάλλον, τότε

$$Q = Q_c > Q_h$$

ενώ αν το ψυχρό ύδωρ χάνει θερμότητα στο περιβάλλον

$$Q = Q_h > Q_c$$

Υπολογισμός συντελεστών μεταφοράς βάση των κοιτηρίων

Κατά την μεταφορά θερμότητας σε ρευστά χωρίς αλλαγή φάσεως και σε εξαναγκασμένη κυκλοφορία στο εσωτερικό των αγωγών ισχύει:

i) Για $Re > 8000$

$$Nu = 0,023 Re_{0,8} Pr_{0,33} \quad (\text{Εξίσωση Colburn}) \quad (3-16)$$

όπου:

$$Nu = \frac{U d}{\kappa} \quad \text{το κριτήριο Nusselt}$$

$$Re = \frac{u d \rho}{\mu} \quad \text{το κριτήριο Reynolds}$$

$$Pr = \frac{\mu c_p}{\kappa} \quad \text{το κριτήριο Prandtl}$$

και U - συντελεστής μεταφοράς θερμότητας στην εσωτερική επιφάνεια του αγωγού, (δηλ. $U = h_i$), d - εσωτερική διάμετρος του αγωγού, ρ, μ, c_p, κ - πυκνότητα, ιξώδες, ειδική θερμότητα και ειδική αγωγιμότητα του ρευστού.

ii) Για

$$Re > 2100 \quad Nu = 1,62 \left(Re Pr \frac{d}{l} \right)^{\frac{1}{3}} \quad \text{για} \quad \left(Re Pr \frac{d}{l} \right) > 12 \quad (3-17)$$

$$\text{και} \quad Nu = 4,1 \quad \text{για} \quad \left(Re Pr \frac{d}{l} \right) > 17 \quad (3-18)$$

Για ενδιάμεσες τιμές του Re ($8000 > Re > 2100$) χρησιμοποιούνται διάφορα διαγράμματα.

Μονάδες μεταφοράς και αποδοτικότητα θερμοεναλλάκτη διπλού σωλήνα

Η δυναμικότητα ενός εναλλάκτη θερμότητας μπορεί να υπολογιστεί με βάση τις μονάδες μεταφοράς TU (transfer units). Ο αριθμός των μονάδων μεταφοράς

NTU (number of transfer units) και το μήκος μιας μονάδας μεταφοράς (length of transfer unit) συνδέονται με το μήκος του αγωγού L σύμφωνα με τη σχέση

$$L = (LTU) (NTU) \quad (3-19)$$

Τα NTU και LTU δίδονται από τις σχέσεις

$$NTU = \frac{UA}{(m.c_p)_{\min}} \int_{T_1}^{T_2} \frac{dT}{T_h - T_c} \quad (3-20)$$

και

$$NTU = \frac{m.c_p}{\pi d U} \quad (3-21)$$

όπου- $A = \pi d L$. Οι NTU και LTU μπορούν να υπολογιστούν με βάση το θερμό ή το ψυχρό ρεύμα.

Η αποδοτικότητα ενός εναλλάκτη ορίζεται σαν ο λόγος του πραγματικού ρυθμού μεταφοράς θερμότητας

$$Q = (m.c_p)_c (T_{c2} - T_{c1}) = (m.c_p)_h (T_{h1} - T_{h2}) \quad (3-22)$$

προς το μέγιστο ρυθμό (Q_{\max}) που θα επιτυγχανόταν σε εναλλάκτη απείρου επιφάνειας κατ' αντιρροπή.

$$Q_{\max} = (m.c_p)_{\min} (T_{h1} - T_{c1}) \quad (3-23)$$

Αυτό σημαίνει ότι,

$$\varepsilon = \frac{Q}{Q_{\max}} = \frac{(m.c_p)_c (T_{c2} - T_{c1})}{(m.c_p)_{\min} (T_{h1} - T_{c1})} = \frac{(m.c_p)_h (T_{h1} - T_{h2})}{(m.c_p)_{\min} (T_{h1} - T_{c1})} \quad (3-24)$$

Η αποδοτικότητα ε του θερμοεναλλάκτη δίδεται από τις σχέσεις

$$\varepsilon_{\text{αντιρ}} = \frac{1 - \exp[-NTU(1-X)]}{1 - X \exp[-NTU(1-X)]} \quad (3-25)$$

όπου:

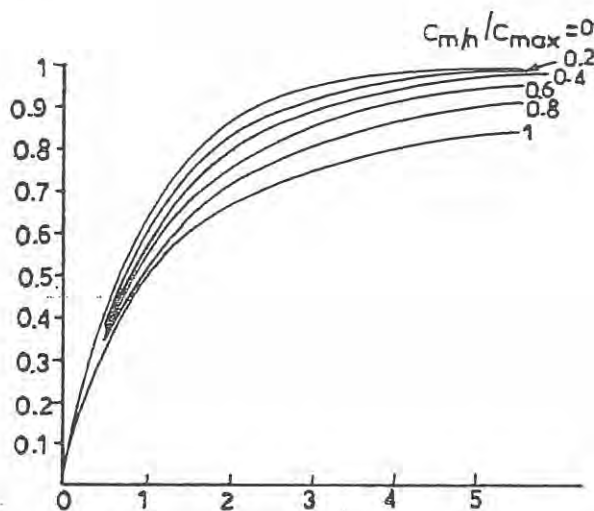
$$X = \frac{(m.c_p)_{\min}}{(m.c_p)_{\max}} \quad \text{και}$$

$$\epsilon_{\text{ομορ}} = \frac{1 - \exp[-NTU(1+X)]}{1+X} \quad (3-26)$$

Οι σχέσεις (3-25) και (3-26) μπορούν να εφαρμοστούν για το ρεύμα με την ελάχιστη θερμοότητα $(m\dot{c}_p)_{\text{min}}$ δεδομένου ότι ο NTU έχει υπολογιστεί βάσει αυτού από τη σχέση (3-20).

Η γραφική παράσταση της εξίσωσης (3-25) δίδεται στο σχήμα (3-1) από το οποίο είναι δυνατόν να υπολογιστεί η $\epsilon_{\text{αντιρ}}$ αν είναι γνωστός ο NTU.

Αν είναι γνωστή η $\epsilon_{\text{αντιρ}}$ (ή $\epsilon_{\text{ομορ}}$) τότε είναι δυνατόν να υπολογιστεί η $\epsilon_{\text{ομορ}}$ (ή $\epsilon_{\text{αντιρ}}$), από το διάγραμμα του σχήματος (3-2), αν είναι γνωστή η $(m\dot{c}_p)_{\text{min}}/(m\dot{c}_p)_{\text{max}}$.

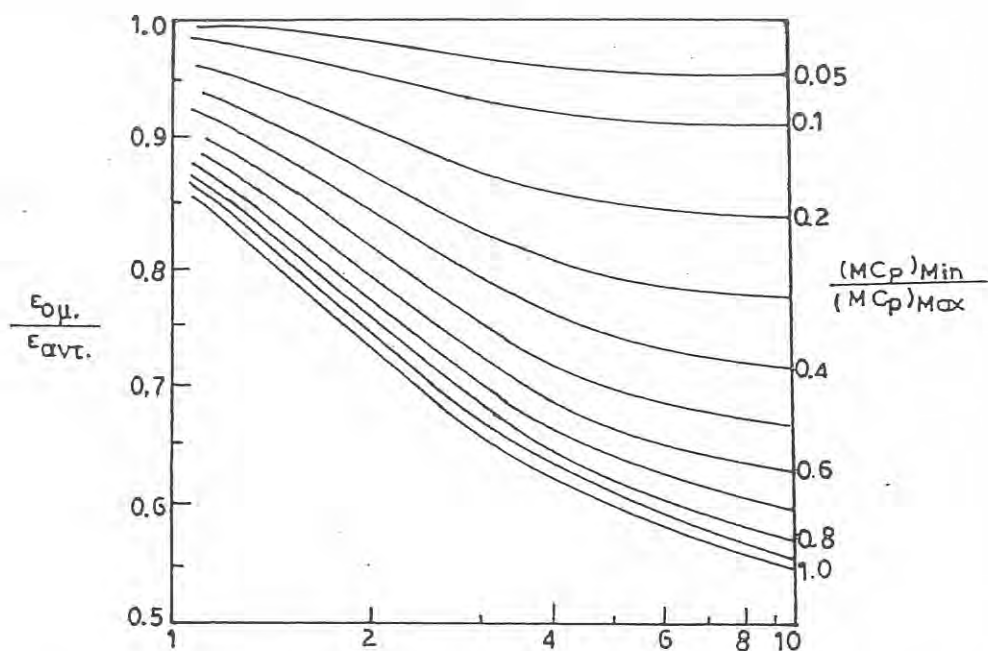


Σχήμα 3-1. Η απόδοση ϵ θερμοεναλλάκτη κατ' αντιρροή σαν συνάρτηση του αριθμού των μονάδων μεταφοράς NTU.

2. Πειραματικό Μέρος

Περιγραφή της συσκευής

Μ- Μίκτης. (Διατηρεί το θερμό νερό σε μια ορισμένη θερμοκρασία κατόπιν ανάμιξης με ψυχρό).



Σχήμα 3-2. Μεταβολή του όρου $\epsilon_{\text{ομ.}}/\epsilon_{\text{αντ.}}$ σαν συνάρτηση του NTU και του λόγου $(mC_p)_{\text{min}}/(mC_p)_{\text{max}}$.

P-Ροόμετρο. (Είναι κατασκευασμένο να μετρά σχετικά μεγάλες ροές. Επειδή το νερό του θερμοσίφωνα δεν επαρκεί για τέτοιες ροές, η άσκηση γίνεται με παροχές περίπου 1 lit/min και οι ροές ρυθμίζονται με ογκομετρικό δοχείο):

T₁, T₂, T₃, T₄, T₅, T₆- Θερμόμετρα.

Οι βάνες που είναι σημειωμένες με ζυγό αριθμό ρυθμίζουν την κυκλοφορία του ψυχρού ρευστού, ενώ αυτές που είναι σημειωμένες με μονό αριθμό ρυθμίζουν την κυκλοφορία του θερμού.

Εκτέλεση του πειράματος

1. Ρύθμιση παροχής ψυχρού ρευστού:

Οι βάνες 6,8,10 κλειστές. Η βάνα 4 τέρμα ανοικτή. Η ρύθμιση γίνεται με την βάνα 12 (τελευταία στην κυκλοφορία του ψυχρού). Η ροή του ψυχρού ρυθμίζεται έτσι ώστε να είναι περίπου 1,3 lit/min.

2. Ρύθμιση παροχής θερμού ρευστού:

Οι βάνες 3,9,13: κλειστές

Οι βάνες 5,7,11: ανοικτές

Η ρύθμιση γίνεται με τη βάνα 15 έτσι ώστε η ροή να είναι περίπου 0,9 lt/min.
3. Περιμένουμε 10' για να σταθεροποιηθούν οι θερμοκρασίες και μετράμε τη θερμόμετρα T_1, T_2, T_3, T_4 καθώς και τις ροές, που έχουν ήδη σταθεροποιηθεί.

Κατασκευαστικά δεδομένα

Μήκος εναλλάκτη: 200 cm

Εξωτερικός σωλήνας: Υλικό : Χαλκός. εξ. διαμ : 2,9 cm, πάχος : 0,11cm

Εσωτερικός σωλήνας: Υλικό : Χαλκός. εξ. διαμ : 1,56 cm, πάχος : 0,10 cm

Ειδική θερμική αγωγιμότητα χαλκού : 396 W/m °K.

Για το νερό θεωρούμε τις τιμές του c_p, ρ, k σταθερές για την παροχή λειτουργίας της άσκησης και συγκεκριμένα $c_p = 4,18 \text{ KJ/Kgr } ^\circ\text{K}$ και $\kappa = 0,63 \text{ J/m sec } ^\circ\text{K}$.

Σημειώνουμε τις μετρήσεις όπως φαίνεται στον επόμενο πίνακα.

ΠΙΝΑΚΑΣ I

1. Ομορροή ή αντιρροή	
2. $V_c = \dots\dots (\text{m}^3/\text{sec})$	$M_c = \dots\dots (\text{kg}/\text{sec})$
$V_h = \dots\dots (\text{m}^3/\text{sec})$	$M_h = \dots\dots (\text{kg}/\text{sec})$
3. $T_{c1} : \quad \quad \quad ^\circ\text{C}$	$\Theta_1:$
$T_{c2} : \quad \quad \quad ^\circ\text{C}$	$\Theta_2:$
$T_{h1} : \quad \quad \quad ^\circ\text{C}$	$\ln(\Theta_1/\Theta_2):$
$T_{h2} : \quad \quad \quad ^\circ\text{C}$	$\Theta_1 - \Theta_2:$
4. Μήκος θερμοεναλλάκτη εναλλάκτη (σημεία $T_1 - T_3$) : $\dots\dots (\text{m})$	
Εσωτερική επιφάνεια εσωτερικού σωλήνα $A_i \dots\dots (\text{m}^2)$	
Εξωτερική επιφάνεια εσωτερικού σωλήνα $A_o \dots\dots (\text{m}^2)$	

Υπολογισμός των αποτελεσμάτων

1. Βρίσκουμε την ποσότητα της απορροφούμενης θερμότητας Q_h ανά μονάδα χρόνου από το θερμό ύδωρ με βάση τον τύπο (3-11).
2. Βρίσκουμε την ποσότητα της απορροφούμενης θερμότητας Q_c ανά μονάδα χρόνου από το ψυχρό ύδωρ με βάση τον τύπο (3-12).
3. Υπολογίζουμε τις απώλειες % στο περιβάλλον και ποια θα έπρεπε να είναι η θερμοκρασία T_{c2} για να έχουμε απώλειες μηδέν.
4. Χρησιμοποιώντας την ευρεθείσα τιμή του Q_h βρίσκουμε με τον τύπο (3-10) τον ολικό συντελεστή μεταφοράς θερμότητας U_i χρησιμοποιώντας σαν βάση την

εσωτερική διάμετρο του θερμού σωλήνα και την ευρεθείσα τιμή T_{c2} για να μην υπάρξουν απώλειες.

5. Βρίσκουμε την τιμή του κριτηρίου Re και Pr και υπολογίζουμε το κριτήριο Nu και τον συντελεστή h_i μεταφοράς θερμότητας.

6. Με βάσει τις τιμές των U_i και h_i καθώς και τον τύπο (3-5α) υπολογίζουμε τον συντελεστή h_o μεταφοράς θερμότητας.

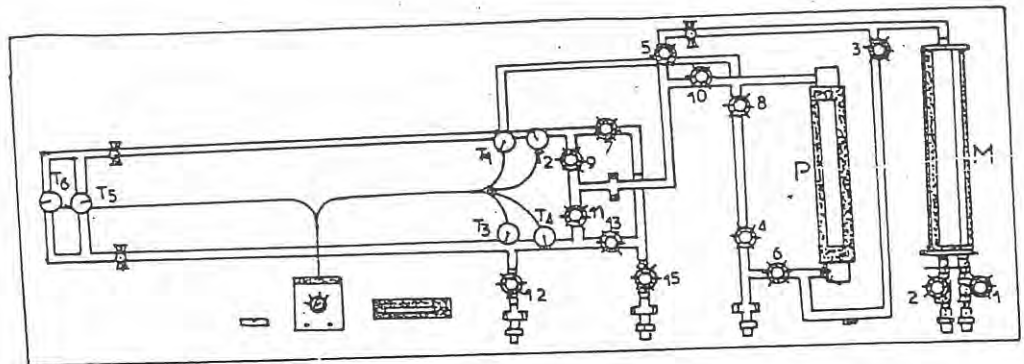
7. Υπολογίζουμε το πλήθος των μονάδων μεταφοράς (NTU) και το μήκος μιας μονάδας μεταφοράς (LTU) σύμφωνα με τα όσα αναφέρονται στην παράγραφο 1.2 και, με βάση το θερμό και το ψυχρό ρεύμα.

8. Υπολογίζουμε την αποδοτικότητα του θερμοεναλλάκτη με βάσει τα όσα αναφέρονται στην παράγραφο 1.2. Ο υπολογισμός πρέπει να γίνει με βάση τον τύπο (3-24), χρησιμοποιώντας τις θερμοκρασίες εισόδου-εξόδου, (Η T_{c2} πρέπει να ληφθεί σαν να μην υπήρχαν απώλειες), και τις μονάδες μεταφοράς NTU του ρεύματος με $(\text{np})_{\text{min}}$. Συγκρίνουμε τα αποτελέσματα με αυτά που προκύπτουν από το σχήμα (3-1).

9. Με βάση το σχήμα (3-2) υπολογίζεται η απόδοση του θερμοεναλλάκτη για την αντίθετη περίπτωση ροής από αυτήν που ήδη υπολογίστηκε.

Απαιτούμενες συσκευές και αντιδραστήρια

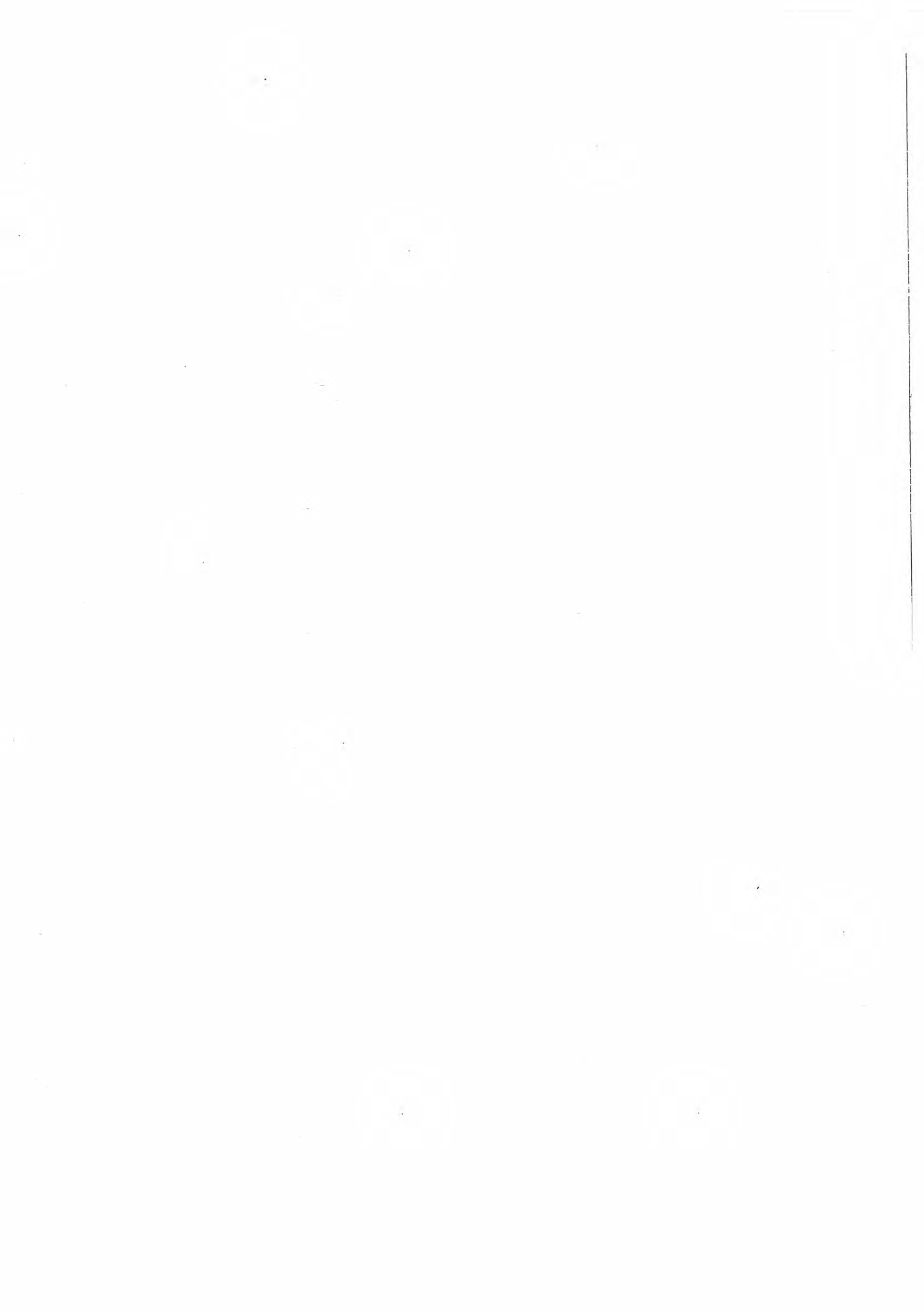
1. Θερμοεναλλάκτης διπλού σωλήνα συνδεδεμένος όπως στο σχήμα 3-3.



Σχήμα 3-3. Θερμοεναλλάκτης διπλού σωλήνα

Βιβλιογραφία

1. Α.Θ. Σδούκου, "Φυσικές Διεργασίες της Χημικής Τεχνολογίας, Τόμος Π-Μετάδοση Θερμότητας", Ιωάννινα, 1980.
2. Γ.Σαραβάκου, "Τεχνική Θερμικών διεργασιών", Αθήνα, 1973.



Άσκηση 4: ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΗ ΤΑΣΗ ΔΙΑΛΥΜΑΤΩΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΩΣ ΕΝΕΡΓΩΝ ΟΥΣΙΩΝ (ΕΕΟΥ)

Σκοπός

Τρεις είναι οι βασικοί σκοποί της άσκησης.

- α. Η κατανόηση της έννοιας και της φύσης των επιφανειακώς ενεργών ουσιών.
- β. Η εξοικείωση με την μέτρηση της επιφανειακής τάσης, με την μέθοδο ανυψώσεως του υγρού σε τριχοειδή σωλήνα καθώς και με τον μετρητή επιφανειακής τάσεως De Noüy.
- γ. Μελέτη του φαινομένου προσρόφησης στην διεπιφάνεια υγρό-αέρας και ο χαρακτηρισμός του μονομοριακού επιφανειακού στρώματος από τα δεδομένα της ισοθέρμου του Gibbs και των εξισώσεων του Langmuir και του Shishkovsky.

1. Θεωρητικό Μέρος

Γενικά περί επιφανειακής τάσεως

Είναι γνωστό ότι στα υγρά σώματα οι τιμές μιας οποιασδήποτε εκτατικής ιδιότητας Q στο εσωτερικό και στην επιφάνειά τους διαφέρουν. Το γεγονός αυτό μπορεί να εκφρασθεί με την σχέση:

$$Q = \bar{Q}_V \cdot V + \bar{Q}_A \cdot A \quad (4-1)$$

όπου: \bar{Q}_V - μέση τιμή της ιδιότητας στο εσωτερικό ανά μονάδα όγκου V και \bar{Q}_A - μέση τιμή της αυτής ιδιότητας στην επιφάνεια ανά μονάδα επιφάνειας A . Η μεταβολή της Q απεικονίζεται στο σχήμα 4-1 σαν συνάρτηση της απόστασης X από την επιφάνεια.

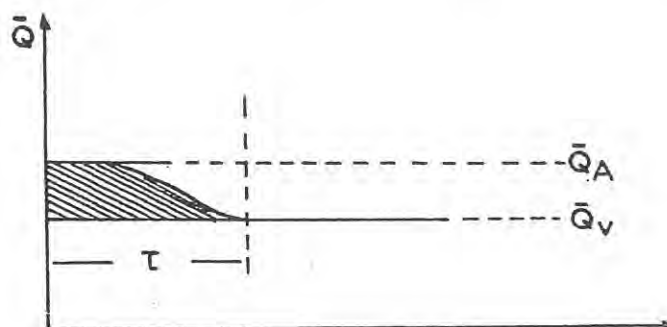
Σε περίπτωση που το υπό εξέταση σώμα έχει i διαφορετικές ως προς το είδος επιφάνειες (A_i) όπως π.χ. ένας κρύσταλλος, πρέπει να ληφθεί υπόψη η συνεισφορά της κάθε επιφάνειας Q_{A_i} και η σχέση (4-1) εκφράζεται ως εξής:

$$Q = Q_V \cdot V + \sum_{n=1}^{n=i} Q_{A_i} \cdot A_i \quad (4-2)$$

Από την άλλη πλευρά είναι επίσης γνωστό ότι κάτω από συνθήκες σταθερής πίεσης και θερμοκρασίας η πλέον σταθερή κατάσταση ισορροπίας ενός συστήματος είναι αυτή που έχει την ελάχιστη ελεύθερη ενέργεια Gibbs G . Θεωρώντας ως εκτατική ιδιότητα το κριτήριο αυτό G η εξίσωση (4-2) γράφεται:

$$G = G_0 + \sum \sigma_i \cdot A_i \quad (4-3)$$

όπου: $G_0 = \bar{G}_V \cdot V$ και $\sigma_i = Q_{A_i}$ είναι η επιφανειακή ελεύθερη ενέργεια ή επιφανειακή τάση για την διεπιφάνεια υγρού-υγρού ή υγρού-στερεού.



Σχήμα 4-1. Η εκτατική ιδιότητα Q έχει διαφορετική τιμή στο εσωτερικό (\bar{Q}_V) και στην επιφάνεια (\bar{Q}_A) του υλικού.

Σύμφωνα με το δεύτερο θερμοδυναμικό αξίωμα η ελάττωση της ελεύθερης ενέργειας πρέπει να συνοδεύεται με ελάττωση της επιφάνειας η οποία μάλιστα

αποτελεί ανθόρμητο φαινόμενο. Έτσι τα υγρά, προκειμένου να αποκτήσουν την μικρότερη δυνατή ελεύθερη ενέργεια τείνουν να λάβουν το κατάλληλο σχήμα που επιτρέπει την εξασφάλιση μικρότερης επιφάνειας.

Κάθε διεργασία αύξησης της επιφάνειας συνεπάγεται κατανάλωση έργου $W = - \Delta G$. Η επιφανειακή τάση σ παριστάνει το έργο που δαπανάται για την αύξηση της επιφάνειας κατά μια μονάδα και επομένως θα εκφράζεται σε μονάδες erg/cm^2 ή dyn/cm . Η επιφανειακή τάση είναι συνάρτηση της θερμοκρασίας, ο δε ρυθμός ελάττωσης αυτής με την αύξηση της θερμοκρασίας είναι αρκετά μεγάλος. Για το λόγο αυτό κατά την εκτέλεση παρόμοιων πειραμάτων η θερμοκρασία πρέπει να ελέγχεται με θερμοστάτη εντός μικρής περιοχής ($\pm 0,1^\circ\text{C}$). Ενδεικτικές τιμές της σ μερικών υγρών στην διεπιφάνεια υγρού-αέρος ή υγρού-ατμών του δίνονται στον πίνακα 4-1.

ΠΙΝΑΚΑΣ 4-1. Τιμές επιφανειακής τάσεως διαφόρων υγρών.

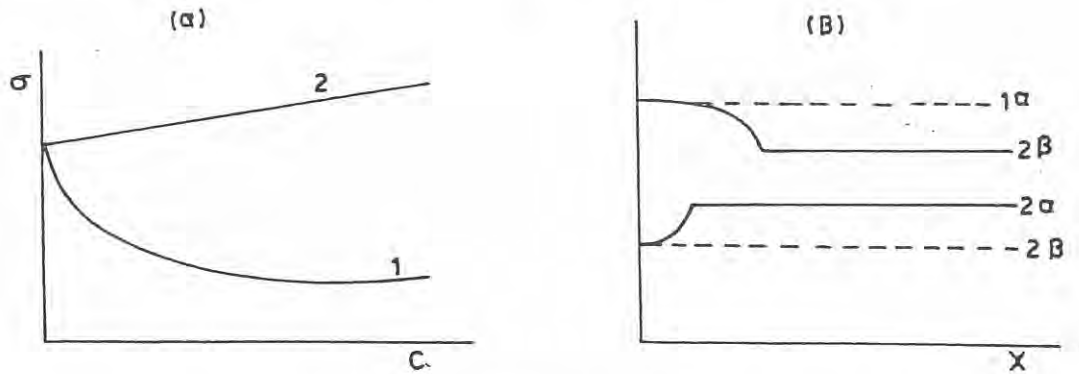
Υγρό	Θερμοκρασία ($^\circ\text{C}$)	σ (erg/cm^2)
Hg	20	485
H ₂ O	20	73
Γλυκερίνη	20	66
CHCl ₃	20	27
C ₂ H ₅ OH	20	22
Au	1200	1120
Sn	900	510
NaCl	811	113
O ₂	-198	17
H ₂	-252	2
He	-270	0,24

Οι επιφανειακά ενεργές ουσίες και η σημασία τους

Έχει παρατηρηθεί ότι στα διαλύματα μερικών ουσιών κύρια χαρακτηριστικά των οποίων είναι: i) η ασθενής αλληλεπίδραση των μορίων τους με τα μόρια του διαλύτη και ii) η μικρή τους επιφανειακή τάση, λαμβάνει χώρα το φαινόμενο της συγκέντρωσης αυτών στην διεπιφάνεια, με αποτέλεσμα την μείωση της επιφανειακής τάσεως του διαλύτη. Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται **θετική προσρόφηση**. Οι ουσίες που προσροφούνται στην επιφάνεια και

προκαλούν την θετική προσρόφηση ονομάζονται επιφανειακώς ενεργές ουσίες. Αυτές οι ουσίες περιέχουν στο μόριό τους μια υδρόφιλη πολική ομάδα όπως $-\text{COOH}$, $-\text{OH}$, $-\text{NH}_2$, $-\text{SH}$, $-\text{CN}$, $-\text{NO}_2$, $-\text{NCS}$, $-\text{CHO}$, $-\text{SO}_3\text{H}$ κ.λ.π. και ένα υδρόφοβο μη πολικό τμήμα που είναι συνήθως κάποιο αλκύλιο R ή κάποιο αρύλιο Ag. Ένα τέτοιο μόριο μπορεί να απεικονισθεί ως εξής: ---O όπου ο κύκλος παριστάνει την πολική και η γραμμή την μη πολική ομάδα.

Αντίστροφα, διαλυμένες ουσίες που αυξάνουν την επιφανειακή τάση του διαλύτη απομακρύνονται από την επιφάνεια. Τέτοια σώματα είναι συνήθως οι ανόργανοι ηλεκτρολύτες δηλαδή οξέα, βάσεις και άλατα. Οι ουσίες αυτές διαλύονται εύκολα στο νερό και τείνουν να διασπαρθούν σ' όλο τον όγκο και όχι μόνο στην επιφάνεια του, ονομάζονται δε επιφανειακώς αδρανείς. Στο σχήμα 4-2 φαίνεται η εξάρτηση της επιφανειακής τάσης σ από την συγκέντρωση C του διαλυμένου σώματος καθώς και η μεταβολή της συγκέντρωσης με την απόσταση από την επιφάνεια για ενεργές και μη ενεργές επιφανειακά ουσίες.



Σχήμα 4-2. (α) Η μεταβολή της επιφανειακής τάσης του διαλύματος σ από την συγκέντρωση μιας ενεργούς (1) και μιας μη ενεργούς (2) επιφανειακής ουσίας. (β) Η μεταβολή της συγκέντρωσης στην επιφάνεια (α) και στο εσωτερικό (β) του διαλύματος μιας ενεργούς (1) και μιας μη ενεργούς επιφανειακά ουσίας.

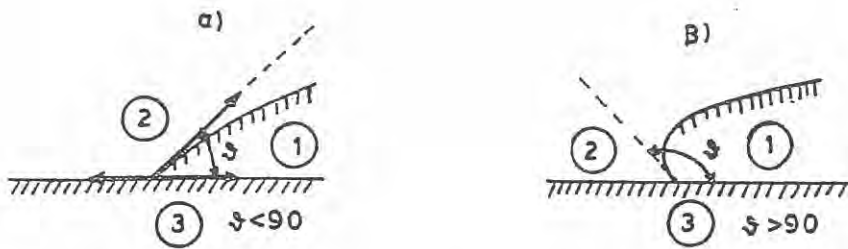
Οι επιφανειακά δραστικές ουσίες έχουν πολλές πρακτικές εφαρμογές οι οποίες σχετίζονται με τον τρόπο διαβροχής των επιφανειών από αυτές. Ο βαθμός διαβροχής μιας επιφάνειας από κάποιο υγρό εξαρτάται από την γωνία διαβροχής Θ (σχήμα 4-3).

Η γωνία διαβροχής εξαρτάται από τις διεπιφανειακές τάσεις μεταξύ υγρού-στερεού σ_{1s} , υγρού-αερίου σ_{1g} και αερίου-στερεού σ_{gs} . Στην ισορροπία θα πρέπει:

$$\sigma_{gs} = \sigma_{1s} + \sigma_{1g} \sin \Theta \tag{4-4a}$$

και

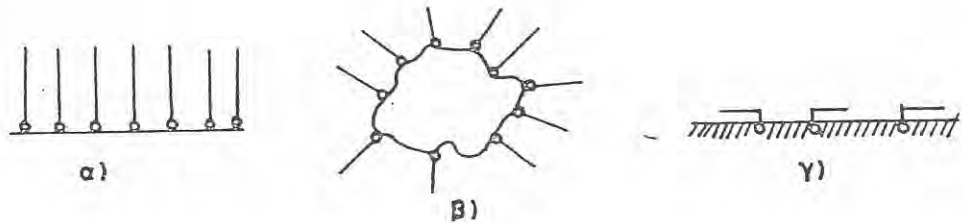
$$\sin \Theta = \frac{\sigma_{gs} - \sigma_{1s}}{\sigma_{1g}} \tag{4-4b}$$



Σχήμα 4-3: Γωνία διαβροχής Θ του γυαλιού με H_2O (α) και Hg (β).

Αν ληφθεί σαν βάση η διαβροχή των διαφόρων επιφανειών με νερό τότε η επιφάνεια καλείται υδρόφιλη όταν $\Theta < 90^\circ$, και υδρόφοβη όταν $\Theta > 90^\circ$. Τα υδρόφιλα πολικά άκρα των μορίων επιφανειακών δραστικών ουσιών προσανατολίζονται προς τις υδρόφιλες επιφάνειες. Ο προσανατολισμός τέτοιων μορίων στην επιφάνεια διαφόρων στερεών σωμάτων φαίνεται στο σχήμα 4-4. Η περίπτωση (β) του σχήματος αυτού είναι χαρακτηριστική του μηχανισμού εμπλουτισμού μεταλλευμάτων με τη μέθοδο επιπλεύσεως. Τα σωματίδια του ορυκτού επεξεργάζονται με ξανθογονικά άλατα $ROCS_2$ και σαν υδρόφιλα προσροφούν το υδρόφιλο άκρο ενώ το υδρόφοβο άκρο R απομακρύνεται από αυτά. Το όλο σύστημα είναι πλέον υδρόφοβο και δύναται να ανέλθει στην επιφάνεια προσκολλημένο π.χ. σε φυσαλίδες. Η αντίστροφη εικόνα από αυτήν που περιγράψαμε παρουσιάζεται στην απομάκρυνση υδρόφοβου ρύπου με σαπωνοδιάλυμα που περιέχει μόρια αλάτων λιπαρών οξέων $RCOOM$. Ο οργανικής προέλευσης ρύπος έλκει το υδρόφοβο οργανικό άκρο του μορίου R και το υδρόφιλο άκρο COO^- προσανατολίζεται προς το υδατικό περιβάλλον που απομακρύνει τον ρύπο.

Η διαβροχή των επιφανειών έχει επίσης πρακτική σημασία στην βαφή και γενικά στην επεξεργασία των υφασμάτων, στον ψεκάσμο των φυτών, στην τυπογραφία και στην διάνοιξη των πετρελαιοπηγών.



Σχήμα 4-4: (α) Συμπυκνωμένο μονομοριακό στρώμα επιφανειακά ενεργούς ουσίας στην επιφάνεια υγρού με το πολικό άκρο στην υδρόφιλη επιφάνεια. (β) Τα μόρια της ενεργούς ουσίας προσκολλημένα επί υδρόφιλου στερεού σωματιδίου με το πολικό άκρο. (γ) Μόρια ενεργούς ουσίας σε διαδιάστατη επιφάνεια πριν τον σχηματισμό μονοστρώματος.

Η ισόθερμος του Gibbs

Ο τρόπος που μεταβάλλεται η επιφανειακή τάση σ ενός αραιού διαλύματος όταν αλλάζει η συγκέντρωση c του διαλύματος αυτού δίδεται με την ισόθερμο του Gibbs.

$$\Gamma = - \frac{c}{RT} \cdot \frac{d\sigma}{dc} = \frac{c}{RT} \cdot G \quad (4-5)$$

όπου: Γ - επιφανειακή συγκέντρωση ουσίας, (mole/cm²), σ - επιφανειακή τάση του διαλύματος, (erg/cm²), c - συγκέντρωση διαλύματος, (mole/cm³), $d\sigma/dc=G$ - επιφανειακή ενεργότητα, R - 8,31.10⁷ (deg/mole.°K), T - απόλυτη θερμοκρασία, (°K). Η εξίσωση (4-5) συσχετίζει ουσιαστικά την επιφανειακή συγκέντρωση Γ με την ικανότητα της ουσίας να ελαττώνει την επιφανειακή τάση του διαλύματος. Ο πιο αυστηρός τρόπος εξαγωγής της εξίσωσης Gibbs είναι ο θερμοδυναμικός με βάση τα χημικά δυναμικά. Εδώ θα αναφέρουμε την εξαγωγή αυτής με βάση την ωσμωτική πίεση.

Θεωρούμε ένα διάλυμα όγκου V , επιφάνειας A , συγκεντρώσεως c και ωσμωτικής πίεσης Π , σε θερμοκρασία T . Έστω ακόμη ότι στο επιφανειακό στρώμα του διαλύματος βρίσκεται 1 mole ουσίας έτσι ώστε να ισχύει:

$$\Gamma \cdot \omega = 1 \quad \text{και} \quad \Gamma = 1 / \omega \quad (4-6)$$

όπου: ω - επιφάνεια διαθέσιμη ανά mole, (cm^2/mole). Υποθέτουμε επίσης ότι στον όγκο V του διαλύματος περιέχεται 1 mole ουσίας. Αν προσπαθήσουμε να μεταφέρουμε μια ποσότητα του διαλυμένου σώματος από το εσωτερικό του υγρού στην επιφάνεια πρέπει να καταναλώσουμε έργο ίσο προς $Vd\Pi$ όπου $d\Pi$ είναι η μεταβολή στην οσμωτική πίεση του διαλύματος που προκάλεσε αυτή η διεργασία. Η διεργασία αυτή μετέβαλε και την επιφανειακή τάση σ κατά $d\sigma$ και το έργο που καταναλώθηκε για την αλλαγή αυτή θα είναι $\omega d\sigma$. Για να υπάρξει ισορροπία θα πρέπει:

$$\omega d\sigma = - Vd\Pi \quad (4-7)$$

Έχοντας υπόψη ότι για αραιά διαλύματα ισχύει:

$$\Pi V = RT$$

η εξίσωση (4-7) γράφεται:

$$\omega d\sigma = - \frac{RT \cdot d\Pi}{\Pi} \quad (4-8)$$

Από την σχέση της οσμωτικής πίεσης έχουμε $\Pi = cRT$ και $d\Pi = RTdc$. Έτσι η εξίσωση (4-8) γράφεται:

$$\omega d\sigma = - R T \frac{dC}{C} \quad (4-9)$$

Συνδιασμός της (4-9) και (4-6) δίδει τελικά την εξίσωση:

$$\Gamma = - \frac{c}{RT} \frac{d\sigma}{dc} \quad (4-5)$$

Από την σχέση αυτή προκύπτει ότι αν $d\sigma/dc > 0$ τότε $\Gamma < 0$, αν δηλαδή η επιφανειακή τάση σ αυξάνεται με την συγκέντρωση c , τότε η συγκέντρωση Γ της διαλελυμένης ουσίας στο επιφανειακό στρώμα είναι μικρότερη από το εσωτερικό του υγρού, και αντιστρόφως αν $d\sigma/dc < 0$ τότε $\Gamma > 0$. Έτσι εξηγείται η μεταβολή

της συγκέντρωσης των επιφανειακά δραστικών ουσιών στην επιφάνεια των διαλυμάτων.

Η ισόθερμος του Langmuir

Η ισόθερμος εξίσωση προσροφήσεως του Langmuir εξάγεται με βάση κινητικές αρχές και αναφέρεται συνήθως στην προσρόφηση αερίων μορίων σε στερεή επιφάνεια. Εν τούτοις με τις κατάλληλες παραδοχές μπορεί να περιγράψει την αυξημένη συγκέντρωση των δραστικών ουσιών στις επιφάνειες υγρών, σημειώνουμε δε ότι η εξίσωση αυτή περιγράφει μονομοριακή προσρόφηση.

Τα μόρια τα οποία είναι προσροφημένα στην επιφάνεια βρίσκονται σε ισορροπία με τα μόρια στο εσωτερικό του διαλύματος. Η ταχύτητα προσρόφησης $R_{\pi\sigma}$ θα είναι

$$R_{\pi\sigma} = k_{\pi\sigma} c (1-\Gamma_0) \quad (4-10)$$

όπου: $k_{\pi\sigma}$ - σταθερά, c - η συγκέντρωση του διαλύματος, και $1-\Gamma_0$ είναι το κλάσμα της ολικής επιφάνειας, η οποία εδώ λαμβάνεται ίση προς την μονάδα, που δεν έχει προσροφήσει μόρια της δραστικής ουσίας. Αντίστοιχα, η ταχύτητα εκρόφησης $R_{\epsilon\kappa}$ θα είναι

$$R_{\epsilon\kappa} = k_{\epsilon\kappa} \Gamma_0 \quad (4-11)$$

όπου: $k_{\pi\sigma}$ - σταθερά εκρόφησης, Γ_0 είναι το κλάσμα της επιφάνειας που έχει προσροφήσει μόρια της ουσίας. Εξισώνοντας τις σχέσεις (4-10) και (4-11) για την περίπτωση ισορροπίας θα έχουμε:

$$k_{\pi\sigma} c (1-\Gamma_0) = k_{\epsilon\kappa} \Gamma_0 \quad \text{και} \quad \frac{k_{\pi\sigma}}{k_{\epsilon\kappa}} = K = \frac{\Gamma_0}{c(1-\Gamma_0)}$$

$$\text{ή} \quad \Gamma_0 = \frac{Kc}{1+Kc} \quad (4-12)$$

Η εξίσωση αυτή είναι η ισόθερμος του Langmuir και μας δείχνει το κλάσμα της επιφάνειας Γ_0 που καλύπτεται από τα μόρια της ενεργής ουσίας σε κάθε συγκέντρωση.

Αν θεωρήσουμε ότι όταν όλη η επιφάνεια έχει καλυφθεί από το μονομοριακό στρώμα η συγκέντρωση των μορίων της ουσίας είναι Γ_{\max} (mole/cm²) τότε το

κλάσμα της επιφάνειας που καλύπτεται από τα προσροφημένα μόρια θα είναι $\Gamma_0 = \Gamma/\Gamma_{\max}$ και η εξίσωση (4-12) γράφεται:

$$\Gamma = \Gamma_{\max} \cdot \frac{Kc}{1+Kc}$$

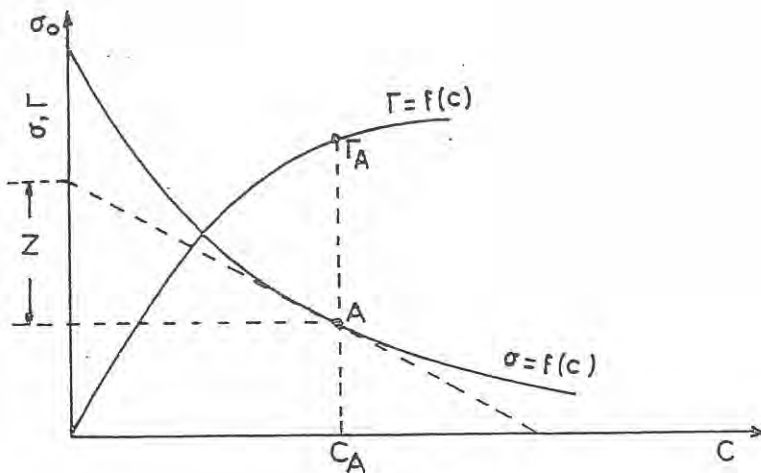
ή

$$\frac{c}{\Gamma} = \frac{1}{\Gamma_{\max} K} + \frac{c}{\Gamma_{\max}} \quad (4-13)$$

Ο γραφικός προσδιορισμός των ισόθερμων προσρόφησης γίνεται ως εξής: Μετρώντας με μια από τις μεθόδους που περιγράφονται στο πειραματικό μέρος την επιφανειακή τάση σ διαλυμάτων σε διάφορες συγκεντρώσεις λαμβάνεται η γραφική παράσταση $\sigma = f(c)$ (σχήμα 4-5).

Για την εφαπτόμενη σε ένα σημείο της ισόθερμου $\sigma = f(c)$ θα ισχύει:

$$\frac{z}{c_A} = - \frac{d\sigma}{\delta c} = G \quad (4-14)$$

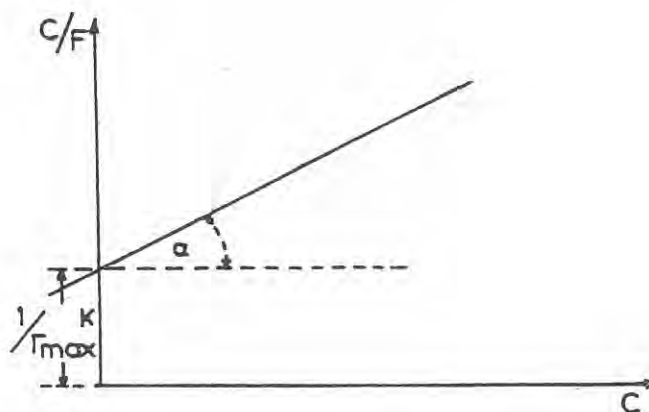


Σχήμα 4-5. Γραφικός προσδιορισμός της ισόθερμου προσρόφησης $\Gamma = f(c)$ από την ισόθερμο επιφανειακής τάσεως $\sigma = f(c)$.

Αντικαθιστώντας την $-\frac{d\sigma}{\delta c}$ στην εξίσωση Gibbs (4-5) λαμβάνουμε:

$$\Gamma_A = - \frac{C_A}{RT} \cdot \frac{d\sigma}{dc} = \frac{z}{RT} \quad (4-15)$$

Ετσι προσδιορίζοντας σε διάφορα σημεία της γραμμής $\sigma = f(c)$ τις τιμές των z δίνεται η δυνατότητα προσδιορισμού του Γ από την σχέση (4-15) με αποτέλεσμα τον σχεδιασμό της ισοθέρμου προσρόφησης $\Gamma = f(c)$. Από την άλλη πλευρά γνωρίζοντας τις τιμές των Γ με την βοήθεια της εξίσωσης Langmuir (4-13) μπορούμε να βρούμε την μέγιστη προσρόφηση Γ_{\max} που αντιστοιχεί στο σχηματισμό μονομοριακού επιφανειακού προσροφητικού στρώματος. Από την εξίσωση (4-13) είναι προφανές ότι ένα διάγραμμα με συντεταγμένες (c/Γ) και c θα δώσει ευθεία γραμμή με κλίση ίση με $1/\Gamma_{\max} = \epsilon\phi\alpha$ και τετμημένη $1/\Gamma_{\max} \cdot K$ (σχήμα 4-6).



Σχήμα 4-6. Γραφική παράσταση της εξίσωσης Langmuir $c/\Gamma = f(c)$

Υπολογίζοντας την Γ_{\max} από την κλίση της ευθείας του σχήματος 4-6 μπορεί να υπολογιστεί η επιφάνεια που καταλαμβάνει ένα mole (cm^2/mole)

$$\omega_{\text{mole}} = 1/\Gamma_{\max} \quad (4-15\alpha)$$

καθώς και την επιφάνεια που καταλαμβάνει ένα μόριο σε $\text{cm}^2/\text{μόριο}$:

$$\omega_{\text{μόριο}} = \frac{1}{\Gamma_{\max} \cdot N_A} \quad (4-15\beta)$$

όπου: N_A - αριθμός Avogadro = $6,023 \cdot 10^{23}$. Από την άλλη πλευρά έχοντας υπόψη την σχέση:

$$\Gamma_{\max} \cdot M = \delta \cdot \rho \quad (4-16)$$

όπου: M - μοριακό βάρος της ουσίας, ρ - πυκνότητα ουσίας, δ - πάχος επιφανειακού στρώματος που αναφέρεται στην μάζα ενός παραλληλεπίπεδου πλευράς 1cm^2 και πάχος δ μπορούμε να υπολογίσουμε το πάχος του στρώματος δ .

$$\delta = \frac{\Gamma_{\max} \cdot M}{\rho} \quad (4-17)$$

Συγκρίνοντας αυτό με τις διαστάσεις του μορίου από δεδομένα δομής μπορούμε να συμπεράνουμε περί προσανατολισμού των μορίων της επιφανειακά δραστηκής ουσίας στο προσροφημένο στρώμα. Αν πρόκειται περί κατακόρυφου προσανατολισμού τότε η δ συμπίπτει με το μήκος του μορίου.

Η εξίσωση του Shishkovsky και η μετάπτωση από την ισόθερμο του Gibbs στην ισόθερμο του Langmuir

Η μεταβολή της επιφανειακής τάσεως με την συγκέντρωση του διαλύματος περιγράφεται, εκτός από την ισόθερμο του Gibbs και από μια εμπειρικής προέλευσης εξίσωση του Shishkovsky. Η εξίσωση αυτή παρουσιάζει το ενδιαφέρον σημείο ότι μπορεί να μας οδηγήσει από την ισόθερμο του Gibbs στην ισόθερμο προσροφήσεως του Langmuir. Η εξίσωση Shishkovsky είναι

$$\Delta = \sigma_0 - \sigma = \sigma_0 B \cdot \ln \left(\frac{c}{A} + 1 \right) \quad (4-18)$$

όπου: Δ - είναι η μείωση της επιφανειακής τάσεως, σ_0 - η επιφανειακή τάση του καθαρού διαλύτη, σ - η επιφανειακή τάση του διαλύματος, B - είναι σταθερά περίπου ίση προς 0,2 στους 20°C και $1/A$ είναι ειδική τροχοειδής σταθερά χαρακτηριστική κάθε επιφανειακά δραστηκής ουσίας. Η παραπάνω σχέση γράφεται:

$$\sigma_0 - \sigma = \sigma_0 \cdot B \cdot \ln (c+A) - \sigma_0 \cdot B \cdot \ln . A$$

Διαφορίζοντας την σχέση αυτή προκύπτει:

$$-d\sigma = \sigma_0 \cdot B \cdot \frac{dc}{c+A} \quad (4-19)$$

άρα

$$-\frac{d\sigma}{dc} = \frac{B\sigma_0}{c+A} \quad (4-20)$$

Δεδομένου ότι η εξίσωση Gibbs έχει την μορφή

$$\Gamma = - \frac{c}{RT} \cdot \frac{d\sigma}{dc} \quad (4-5)$$

αντικαθιστώντας την (4-20) στην (4-5) προκύπτει

$$\Gamma = \frac{c}{RT} \cdot \frac{B\sigma_0}{c+A} = \frac{B\sigma_0}{RT} \frac{c/A}{1+c/A} \quad (4-21)$$

και θέτοντας $B\sigma_0/RT = \Gamma_{\max}$ και $1/A = k$ στην (4-21) λαμβάνουμε την σχέση Langmuir

$$\Gamma = \Gamma_{\max} \frac{kc}{1+kc} \quad (4-12)$$

Προσδιορισμός της ισοθέσιμου προσοόφησης με τη βοήθεια της εξίσωσης Shishkovsky.

Μία σύντομη ανάλυση της εξίσωσης Shishkovsky καταλήγει στα εξής συμπεράσματα:

- i) Στην αρχική περιοχή χαμηλών συγκεντρώσεων η συνάρτηση $\sigma = f(c)$ πρέπει να είναι γραμμική (βλ. σχήμα 4-5).
- ii) Στην περιοχή υψηλών συγκεντρώσεων $c/A \gg 1$ και η εξίσωση (4-18) γράφεται

$$\sigma = \sigma_0 - \sigma_0 B \ln \frac{c}{A} \quad (4-22)$$

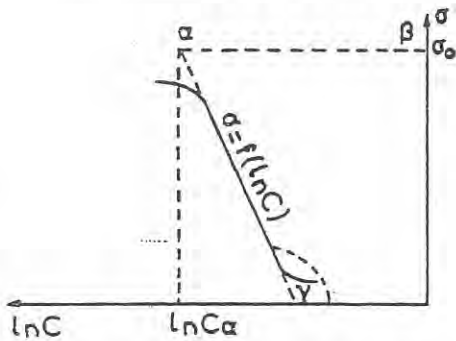
Επομένως σε άξονα $\ln c$ και σ πρέπει να εντοπιστεί κάποια περιοχή στην οποία η επιφανειακή τάση σ να είναι γραμμική συνάρτηση της $\ln c$ (σχήμα 4-7) να έχει δε κλίση $\text{εφ}(180-\alpha) = -\sigma_0 B$, ώστε να είναι δυνατός ο υπολογισμός των σταθερών B και της Γ_{\max} από την σχέση (4-21). Μια προέκταση της ευθείας γραμμής του σχήματος 4-7 μέχρι τη γραμμή $\sigma = \sigma_0$ δίνει τη δυνατότητα

προσδιορισμού της σταθεράς A έχοντας υπόψη ότι για $\sigma = \sigma_0$ από την (4-22) προκύπτει $\ln(c/A) = 0$ και $\ln A = \ln C$. Εξάλλου η ύπαρξη της γραμμικής συναρτήσεως $\sigma = f(\ln c)$ του σχήματος 4-7 θα προβλεπόταν και από την εξίσωση του Gibbs (5) με την προϋπόθεση ότι η προσρόφηση Γ δεν εξαρτάται από την συγκέντρωση. Με άλλα λόγια αν ολοκληρώσουμε την εξίσωση

$$d\sigma = -RT \Gamma \frac{dc}{c} \quad (4-5)$$

Θέτοντας $\Gamma = \Gamma_{\max} = \text{σταθερά}$, λαμβάνουμε

$$\sigma = -\Gamma_{\max} R T \ln C + \text{σταθερά} \quad (4-23)$$



Σχήμα 4-7. Γραφικός προσδιορισμός των σταθερών της εξίσωσης Shishkovsky.

Αυτό σημαίνει ότι στην περιοχή που η επιφανειακή τάση σ είναι γραμμική συνάρτηση της $\ln C$, η προσρόφηση αγγίζει την μέγιστη τιμή Γ_{\max} . Έτσι έχοντας τις τιμές Γ_{\max} , καθώς και την $K=(1/A)$, από την εξίσωση του Langmuir μπορούν να υπολογιστούν οι τιμές Γ για διάφορες συγκεντρώσεις c και να παρασταθεί η ισόθερμος προσρόφησης $\Gamma = f(c)$ του σχήματος 4-5. Από τα πειραματικά δεδομένα των ισόθερμων επιφανειακής τάσης $\sigma = f(c)$ καθώς και των ισόθερμων προσρόφησης $\Gamma = f(c)$ (σχήμα 4-5) μπορούμε να συμπεράνουμε περί των τιμών $\Delta = \sigma_0 - \sigma$ και $\omega = (1/\Gamma)$ και να παραστήσουμε την καλούμενη ισόθερμος της καταστάσεως του μονομοριακού στρώματος. $\Delta = f(\omega)$.

2. Πειραματικό Μέρος

Για την μέτρηση της επιφανειακής τάσης χρησιμοποιούνται διάφοροι μέθοδοι όπως:

- α) Η μέθοδος βάρους σταγόνας κατά την οποία μετράται το βάρος σταγόνας υγρού που εκφεύγει από σωλήνα γνωστής διαμέτρου.
- β) Η μέθοδος πίεσεως φυσαλίδων κατά την οποία μετράται η πίεση που απαιτείται για την δημιουργία φυσαλίδων σε ένα υγρό.
- γ) Η μέθοδος ανυψώσεως του υγρού σε τριχοειδή σωλήνα και
- δ) Η μέθοδος του ξυγού επιφανειακής τάσης de Noüy κατά την οποία μετράται η δύναμη που απαιτείται για την απομάκρυνση ενός μεταλλικού δακτυλίου που εφάπτεται στην επιφάνεια υγρού. θα αναφερθούμε λεπτομερώς στις δύο τελευταίες μεθόδους.

Προσδιορισμός επιφανειακής τάσεως δια της ανυψώσεως της στάθμης του υγρού σε τοιχοειδή σωλήνα

Εστω ένα υγρό με επιφανειακή τάση σ_1 σε επαφή με ένα στερεό με επιφανειακή τάση σ_2 , η δε σχηματιζόμενη διεπιφάνεια έχει επιφανειακή τάση σ_{12} . Για να διαβρέξει το υγρό την επιφάνεια θα αυξηθεί τόσο η επιφάνεια αυτού καθώς και η διεπιφάνεια, ενώ θα μειωθεί η επιφάνεια του στερεού. Αυτό σημαίνει ότι για να είναι αυθόρμητη αυτή η διεργασία η ολική ελεύθερη ενέργεια πρέπει να μειώνεται.

$$\Delta\sigma_1 - \Delta\sigma_2 + \Delta\sigma_{12} < 0$$

Η συνθήκη αυτή ισχύει επειδή συνήθως η επιφανειακή τάση των στερεών σ_2 είναι κατά πολύ μεγαλύτερη των υγρών σ_1 . Τότε αν τοποθετήσουμε ένα τριχοειδή σωλήνα μέσα σε ένα υγρό, αυτό θα τον διαβρέξει με ένα λεπτό στρώμα το οποίο θα τείνει να ανέλθει στο τοίχωμα του σωλήνα. Το υγρό για να μειώσει την επιφάνειά του θα τείνει να ακολουθήσει αυτό το λεπτό στρώμα και θα σχηματιστεί ένας μηνίσκος που θα ανέρχεται στον σωλήνα. Η άνοδος του μηνίσκου θα σταματήσει όταν το βάρος B της υγρής στήλης

$$B = \pi^2 h \rho g + \frac{1}{3} \pi r^3 \rho g = \pi r^2 (h + r/3) \rho g \quad (4-24)$$

είναι ίσο με την τάση A της επιφάνειας στην διατομή $2\pi r$ του σωλήνα η οποία είναι ίση προς

$$A = 2 \pi r \sigma \quad (4-25)$$

άρα από τις (4-24) και (4-25) προκύπτει

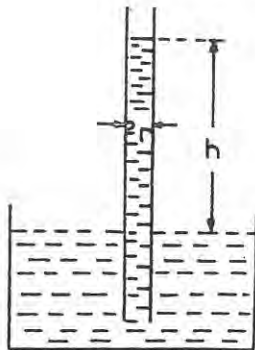
$$2\pi r \sigma = \pi r^2 (h + r/3) \rho g \quad \text{ή} \quad \sigma = \frac{1}{2} (h + r/3) \rho g \quad (4-26)$$

Η ανύψωση του υγρού στον τριχοειδή σωλήνα που περιγράψαμε φαίνεται στο σχήμα 4-8.

Διεξαγωγή του πειράματος

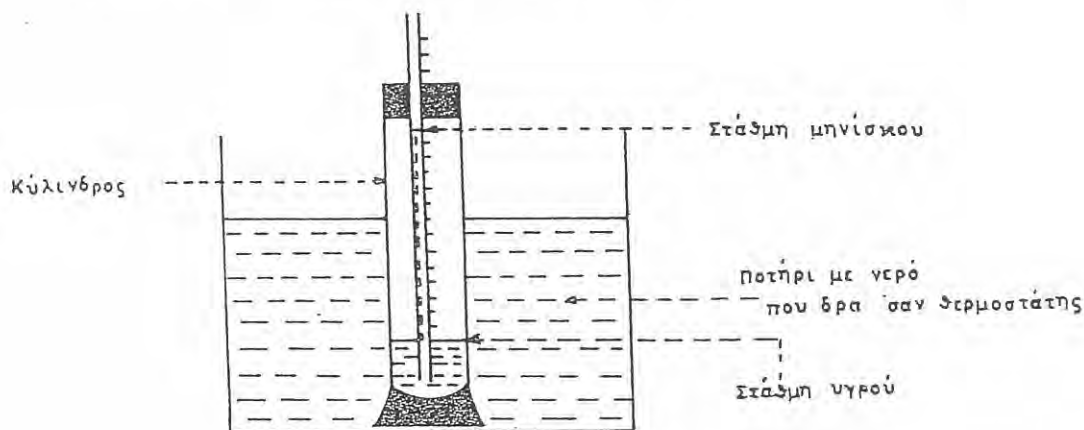
Καθαρίζουμε τον τριχοειδή σωλήνα με διάλυμα HNO_3 και ξεπλένουμε προσεκτικά με απεσταγμένο H_2O . Τοποθετούμε τον σωλήνα στην συσκευή όπως δείχνει το σχήμα 4-9 χρησιμοποιώντας για υγρό προσδιορισμού απεσταγμένο H_2O .

Μετράμε το ύψος h που ανυψώνεται το απεσταγμένο νερό τουλάχιστον τέσσερις φορές. Αν τα αποτελέσματα δεν συμφωνούν καθαρίζουμε ξανά το σωληνάκι.



Σχήμα 4-8. Ανύψωση υγρού σε τριχοειδή σωλήνα.

Από το ύψος h , την πυκνότητα του απεσταγμένου νερού ρ (1g/cm^3) και την επιφανειακή τάση του νερού από τον πίνακα 4-I βρίσκουμε την ακτίνα του τριχοειδούς σωλήνα χρησιμοποιώντας την εξίσωση (4-26).



Σχήμα 4-9. Τρόπος διεξαγωγής πειράματος με τριχοειδή σωλήνα.

Επαναλαμβάνουμε το πείραμα για 8 υδατικά διαλύματα βουτανόλης 0,8M, 0,7M, 0,6M, 0,5M, 0,4M, 0,4M, 0,3M, 0,2M και 0,1M. Κάθε φορά πριν πάρουμε την μέτρηση ξεπλένουμε το σωληνάκι 2 φορές με λίγο από το διάλυμα που θα χρησιμοποιήσουμε. Τα αποτελέσματα καταγράφονται και επεξεργάζονται σύμφωνα με τις οδηγίες που παρέχονται στην παράγραφο των οδηγιών.

Προσδιορισμός επιφανειακής τάσεως με την μέθοδο του μετροπή επιφανειακής τάσεως του de Noüy

Η μέθοδος αυτή βασίζεται στην εξής αρχή: Ένας δακτύλιος εσωτερικής ακτίνας R_1 και εξωτερικής R_2 συνδέεται από ένα ζυγό στρέψεως και μετράται η δύναμη F που απαιτείται για να απομακρυνθεί ο δακτύλιος από την επιφάνεια ενός υγρού. Η επιφανειακή τάση που αντιτίθεται στην απομάκρυνση του δακτυλίου από την επιφάνεια του υγρού δρα στην εσωτερική $2\pi R_1$ και εξωτερική $2\pi R_2$ περίμετρο του δακτυλίου. Ο δακτύλιος απομακρύνεται από την επιφάνεια όταν

$$F = 2\pi R_1\sigma + 2\pi R_2\sigma = 2\pi\sigma(R_1 + R_2) = 4\pi R\sigma \quad (4-27)$$

όπου: $R=(R_1+R_2/2)$ είναι η μέση τιμή της εσωτερικής και εξωτερικής ακτίνας του δακτυλίου. Από την σχέση 4-27 προκύπτει

$$\sigma = \frac{F}{4\pi R} = \frac{mg}{4\pi R} \quad (4-28)$$

Ο μετρητής επιφανειακής τάσης του de Nöuy δίδει απ' ευθείας την σ σε dyn/cm ή erg/cm².

Ρύθμιση του ζυγού (σχήμα 4-10)

Κρεμάμε τον δακτύλιο πλατίνας-ιριδίου από το άγγιστρο A στο αριστερό άκρο του βραχίονα. Κόβουμε ένα μικρό κομμάτι χαρτιού και τον τοποθετούμε στον δακτύλιο σαν πλατφόρμα για το βάρος που θα χρησιμοποιηθεί στην ρύθμιση. Ελευθερώνουμε τον βραχίονα και ρυθμίζουμε το κουμπί B στην δεξιά πλευρά της συσκευής μέχρις ότου ο δείκτης και το είδωλο αυτού βρίσκονται ακριβώς στην ίδια ευθεία στον καθρέπτη. Γυρνάμε το κουμπί Γ κάτω από τον κύριο δίσκο μπροστά από το όργανο μέχρις ότου ο βερνιέρος να διαβάσει μηδέν στην εξωτερική κλίμακα. Κρατάμε τον βραχίονα. Γυρνάμε το κουμπί B στη δεξιά πλευρά της συσκευής αντίθετα με την κατεύθυνση των δεικτών του ωρολογίου μέχρις ότου ο δείκτης και το είδωλό του συμπίπτουν ακριβώς με την γραμμή αναφοράς στον καθρέπτη. Καταγράφουμε την ένδειξη του δείκτη στην πλησιέστερη κλίμακα χρησιμοποιώντας βερνιέρο. Η επιφανειακή τάση παρέχεται από τον τύπο:

$$\sigma = \frac{F}{4\pi R} = \frac{mg}{4\pi R} = \frac{mg}{2L}$$

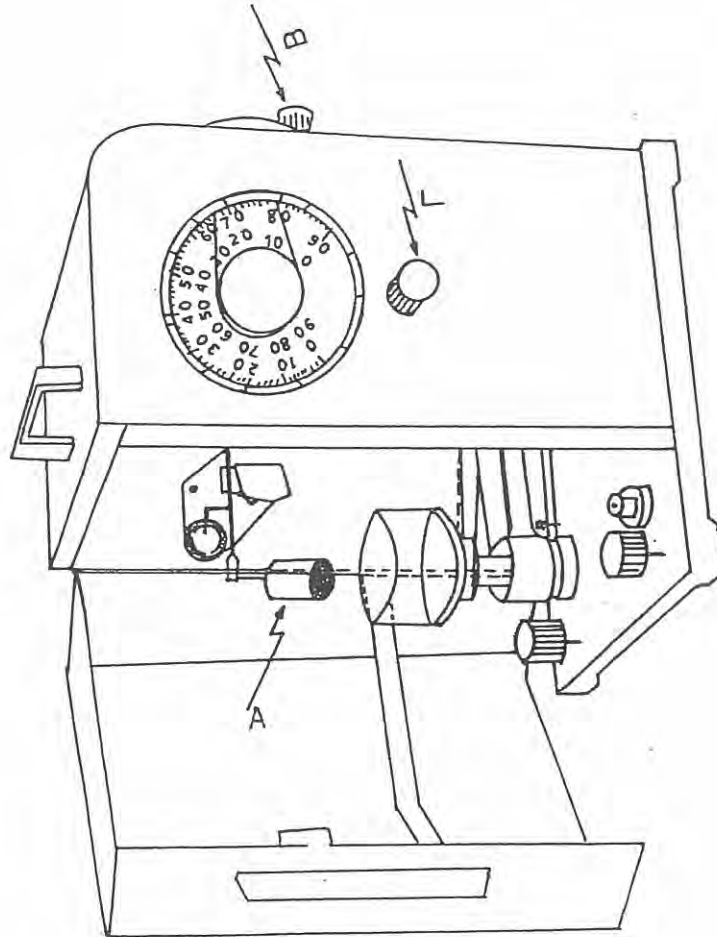
όπου: m = η μάζα εκφρασμένη σε gr και g = επιτάχυνση της βαρύτητας σε cm/sec², $L=2\pi R$ = μήκος περιφέρειας του δακτυλίου σε cm και σ = ένδειξη επιφανειακής τάσης σε dynes/cm.

Σαν παράδειγμα έστω βάρος 600mg. Η περιφέρεια του δακτυλίου έχει μήκος 6cm και τιμή του g είναι 980cm/sec². Έτσι βρίσκουμε

$$s = \frac{Mg}{2L} = \frac{0.6 \cdot 980}{2 \cdot 6} = 49,00 \text{ dynes/cm}$$

Εάν η ένδειξη διαφέρει από την υπολογιζόμενη τιμή το μήκος του βραχίονα πρέπει να ρυθμισθεί μέχρις ότου οι δύο τιμές να συμπίπτουν. Η ρύθμιση αυτή επιτυγχάνεται στρέφοντας το κουμπί στο αριστερό άκρο του μοχλού. Εάν η

καταγραφόμενη ένδειξη είναι μεγαλύτερη από την υπολογισμένη τιμή μετακινούμε το άγκιστρο ώστε να ελαττωθεί το μήκος του βραχίονα. Εάν η ένδειξη είναι μικρότερη από την υπολογισθείσα τιμή μετακινούμε το άγκιστρο ώστε να ελαττωθεί το μήκος του βραχίονα. Επαναλαμβάνουμε τη ρύθμιση μέχρις ότου η τιμή του βερνιέρου και η υπολογισθείσα τιμή να συμπέσουν.



Σχήμα 4-10. Ζυγός επιφανειακός τάσεως de Noüy

Λειτουργία του ζυγού για την μέτρηση επιφανειακής τάσης

Το δείγμα τοποθετείται σε ποτήρι ζέσεως ή κυλινδρικό δοχείο με διάμετρο τουλάχιστον 4,5cm. Το ποτήρι καθαρίζεται με ακετόνη και νερό, κατόπιν

εμβαπτίζεται σε θερμό διάλυμα χρωμοθειικού οξέος και εκπλύνεται με απεσταγμένο νερό. Πρέπει να ξηραθεί εκτός αν χρησιμοποιηθεί αμέσως. Ο δακτύλιος πλατίνας-ιριδίου πρέπει να καθαρισθεί με ακετόνη που αφήνεται να εξατμιστεί.

Ο καθαρισμένος δακτύλιος πρέπει να κρεμασθεί από το άγγιστρο στο άκρο του βραχίονα. Το υπό μέτρηση υγρό μεταφέρεται στο καθαρό δοχείο και τοποθετείται στο στήριγμα των δειγμάτων, το στήριγμα μετακινείται μέχρις ότου βρεθεί ακριβώς κάτω από το δακτύλιο. Σηκώνουμε το στήριγμα μέχρις ότου ο δακτύλιος βυθίζεται στο υγρό σε βάθος $-0,3\text{cm}$.

Ο βραχίονας ελευθερώνεται τώρα και η ένδειξη του οργάνου μηδενίζεται. Γυρίζουμε το κουμπί Β στην δεξιά πλευρά της συσκευής μέχρις ότου ο δείκτης και το είδωλό του βρίσκονται ακριβώς στην γραμμή αναφοράς στον καθρέπτη. Χρειάζεται προσοχή για να διατηρηθεί ο δακτύλιος μέσα στο υγρό κατά τη διάρκεια αυτού του χειρισμού υψώνοντας ή χαμηλώνοντας το στήριγμα των δειγμάτων αν είναι αναγκαίο. Τώρα στρέφουμε το κουμπί Γ κάτω από τον κύριο δείκτη μπροστά από την συσκευή μέχρις ότου ο βερνιέρος διαβάσει μηδέν στην έξω κλίμακα του δείκτη.

Χαμηλώνουμε το στήριγμα των δειγμάτων μέχρις ότου ο δακτύλιος βρεθεί στην επιφάνεια του υγρού ρυθμίζοντας το κουμπί Β στην δεξιά πλευρά της συσκευής για να διατηρηθεί ο δείκτης στην ίδια γραμμή με την ευθεία στον καθρέπτη. Η επιφάνεια του υγρού θα αρχίσει να εκτείνεται αλλά ο δείκτης πρέπει να παραμείνει σταθερός. Συνεχίζουμε τις δύο ταυτόχρονες ρυθμίσεις μέχρις ότου το εκτεινόμενο φιλμ στην επιφάνεια του υγρού σπάσει. Η κλίμακα ανάγνωσης στο σημείο θραύσεως του εκτεινόμενου φιλμ παρέχει την επιφανειακή τάση.

Μέτρηση διεπιφανειακής τάσεως υγρού-υγρού

Η διεπιφανειακή τάση μεταξύ υγρού-υγρού βρίσκεται εφαρμόζοντας μια προς τα πάνω δύναμη στον δακτύλιο. Η πορεία είναι παρόμοια για την μέτρηση της επιφανειακής τάσης. Ο καθαρισμός του δακτυλίου και του δοχείου του δείγματος γίνεται όπως ακριβώς στην προηγούμενη περίπτωση. Το πυκνότερο υγρό μεταφέρεται στο καθαρό δοχείο και τοποθετείται στο στήριγμα των δειγμάτων κάτω από το δακτύλιο πλατίνας-ιριδίου. Το στήριγμα ανυψώνεται έως ότου ο δακτύλιος να βυθιστεί περίπου $0,3\text{cm}$ και θα υγρανθεί από το βαρύτερο υγρό. Ο βραχίονας τώρα ελευθερώνεται και το όργανο ρυθμίζεται στην ένδειξη μηδέν. Ρυθμίζουμε το κουμπί Β στην δεξιά πλευρά της συσκευής μέχρις

όπου ο δείκτης και το είδωλό του να συμπίπτουν με την γραμμή αναφοράς. Στρέφουμε το κουμπί Γ κάτω από τον κύριο δείκτη μπροστά από τη συσκευή έως ότου ο βερνιέρος διαβάξει μηδέν στην έξω κλίμακα του δίσκου. Τοποθετούμε το ελαφρότερο υγρό στην επιφάνεια του βαρύτερου σε βάθος περίπου 0,6 έως 1,2cm πράγμα που εξαρτάται από τα δύο υγρά. Το στρώμα του ελαφρότερου υγρού πρέπει να είναι αρκετά βαθύ ώστε ο δακτύλιος να μην εξέρχεται από την επιφάνεια αυτού πριν από την απομάκρυνση από την μεσοεπιφάνεια.

Χαμηλώνουμε το στήριγμα μέχρις ότου ο δακτύλιος βρίσκεται στην μεσοεπιφάνεια μεταξύ των δύο υγρών, ρυθμίζουμε το κουμπί Β στην δεξιά πλευρά της συσκευής ώστε ο δείκτης να βρίσκεται ευθυγραμμισμένος με την διεύθυνση αναφοράς στον καθρέπτη. Η μεσοεπιφάνεια μεταξύ των δύο υγρών θα αρχίσει να εκτείνεται αλλά ο δείκτης πρέπει να διατηρηθεί σταθερός. Συνεχίζουμε τους δύο χειρισμούς μέχρις ότου το εκτεινόμενο φιλμ στην μεσοεπιφάνεια σπάσει. Η κλίμακα αναγνώσεως στο σημείο θραύσεως παρέχει την διεπιφανειακή τάση σε dynes/cm².

Διόρθωση των μετρήσεων

Η ανάγνωση της κλίμακας δίνει την επιφανειακή τάση σε dynes/cm². Για την εύρεση της πραγματικής επιφανειακής τάσης χρησιμοποιείται η σχέση

$$S = P \cdot F$$

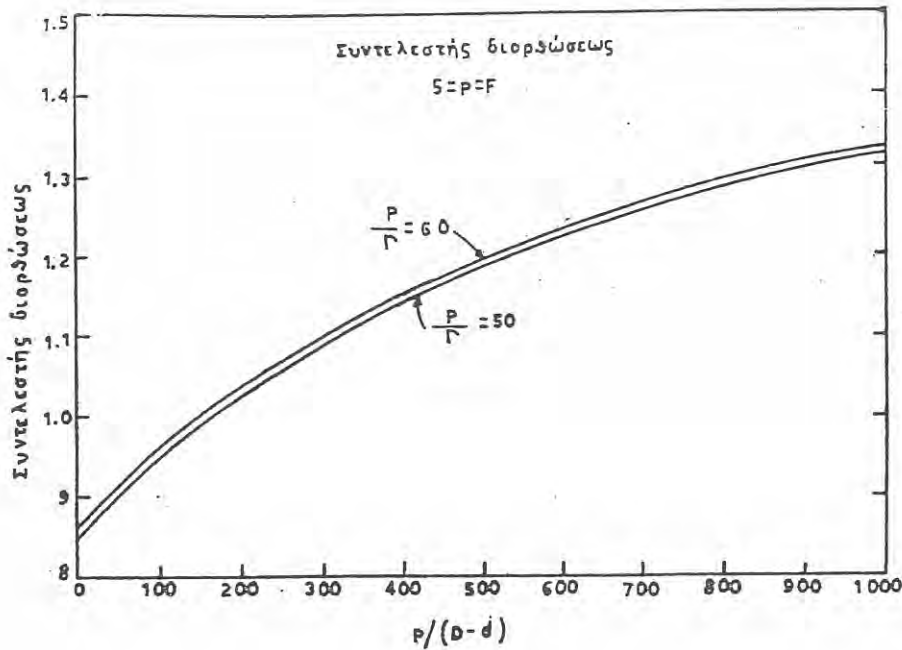
όπου: S- είναι η πραγματική τιμή, P- η τιμή που παρέχεται από την ανάγνωση της κλίμακας και F- ένας συντελεστής διορθώσεως.

Ο συντελεστής F εξαρτάται από το μέγεθος του δακτυλίου και το μέγεθος του σώματος, από την επιφανειακή τάση και τις πυκνότητες των δύο φάσεων που παρέχεται από το διάγραμμα του σχήματος 4-11.

Στο διάγραμμα αυτό ο συντελεστής F δίδεται σαν συνάρτηση της σχέσεως P(D-d) όπου P είναι η τιμή του δείκτη του ζυγού, D η πυκνότητα της κατώτερης φάσης και d η πυκνότητα της ανώτερης φάσης.

Διεξαγωγή του πειράματος

Ρυθμίζουμε τον ζυγό σύμφωνα με τις οδηγίες που παρέχονται στα προηγούμενα. Μετράμε την επιφανειακή τάση διαλυμάτων βουτανόλης 0,8M, 0,7M, 0,6M, 0,5M, 0,4M, 0,3M, 0,2M και 0,1M που παρέχονται στο



Σχήμα 4-11. Διάγραμμα συντελεστή διορθώσεως ζυγού de Noüy.

εργαστήριο. Τα αποτελέσματα καταγράφονται και επεξεργάζονται σύμφωνα με τις οδηγίες που παρέχονται στην επόμενη παράγραφο 2.3.

Γενικές οδηγίες

1. Παρασκευάζουμε διαλύματα μιας επιφανειακά ενεργούς ουσίας στο νερό.

Συγκέντρωση επιφανειακά ενεργούς ουσίας (mole/l)	Επιφανειακή τάση σ , (dynes/cm)	Θερμοκρασία (σταθερή)

2. Μετράμε με μια από τις μεθόδους που περιγράφονται παραπάνω την επιφανειακή τάση των διαλυμάτων αυτών καθώς και του καθαρού νερού και καταγράφουμε τα αποτελέσματα όπως στον επόμενο πίνακα.

3. Παριστάνουμε το διάγραμμα $\sigma = f(c)$ (βλ. σχ. 4-5). Στην συνέχεια ακολουθούμε μια από τις παρακάτω μεθόδους:

Μέθοδος I υπολογισμού αποτελεσμάτων

α. Επιλέγουμε διάφορα σημεία της καμπύλης $\sigma = f(c)$, σχεδιάζουμε την εφαπτόμενη στο κάθε σημείο προσδιορίζοντας τα z.

β. Από την εξίσωση (4-15) υπολογίζουμε τις τιμές του Γ και σχεδιάζουμε την ισόθερμο προσρόφησης $\Gamma = f(c)$ (βλ. σχ. 4-5).

γ. Υπολογίζουμε τα c/Γ και παριστάνουμε την συνάρτηση $c/\Gamma = f(c)$ (βλ. σχ. 4-6) που εκφράζει την εξίσωση Langmuir.

δ. Από την κλίση της $c/\Gamma = f(c)$, $\epsilon_{\text{φα}} = (1/\Gamma_{\text{max}})$ υπολογίζουμε την μέγιστη προσρόφηση Γ_{max} .

ε. Από την τετμημένη $1/\Gamma_{\text{max}}$ υπολογίζουμε την σταθερά k και δίδουμε ΦΚ συγκεκριμένη μορφή στην εξίσωση Langmuir.

στ. Υπολογίζουμε την επιφάνεια που καταλαμβάνει ένα mole ω_{mole} και ένα μόριο $\omega_{\text{μόριο}}$ από τις αντίστοιχες σχέσεις (4-15α) και (4-15β).

ζ. Υπολογίζουμε το πάχος του στρώματος δ από την σχέση (4-17) και συμπεραίνουμε περί του προσανατολισμού των μορίων της ενεργούς ουσίας στο μονομοριακό στρώμα έχοντας υπόψη τα δεδομένα δομής αυτής.

η. Υπολογίζουμε την επιφάνεια $\omega = (1/\Gamma)$ και την $\Delta = \sigma_0 - \sigma$ και καταστρώνουμε την ισόθερμο $\Delta = f(\omega)$.

θ. Καταγράφουμε τα αποτελέσματα όπως στον επόμενο πίνακα.

Συγκέντρωση mole/ lt	σ , dyne/cm	z dynes/cm	Γ moles/cm ²	c/ Γ	$\omega = 1/\Gamma$ cm ² /mole	$\Delta = \sigma_0 - \sigma$ dynes/cm

$\Gamma_{\max} = \dots \dots \text{mole/cm}^2 / \omega_{\text{mole}} = \dots \dots \text{cm}^2/\text{mole} / \omega_{\text{μόριο}} = \dots \dots$
 $\text{cm}^2/\text{μόριο}/$
 $\delta = \dots \dots \text{A}^\circ.$

Μέθοδος II υπολογισμού αποτελεσμάτων

- α. Επιλέγουμε διάφορα σημεία της καμπύλης $\sigma = f(c)$ και υπολογίζουμε τα $1nc$.
- β. Σχεδιάζουμε το διάγραμμα $\sigma = f(1nc)$ (βλ. σχ. 4-7).
- γ. Προεκτείνουμε την ευθεία γραμμή έως ότου αυτή αγγίξει την σ στο σημείο σ_0 και προσδιορίζουμε την $1/A$.
- δ. Από την κλίση της ευθείας προσδιορίζουμε την $\sigma_0 \cdot B$.
- ε. Υπολογίζουμε την Γ_{\max} και k και για διάφορες συγκεντρώσεις c υπολογίζουμε από την εξίσωση Langmuir την Γ καταγράφοντας τα δεδομένα στον επόμενο πίνακα.
- στ. Σχεδιάζουμε την ισόθερμο προσροφήσεως $\Gamma = f(c)$, ακολουθώντας τα στάδια 4.6, 4.6,
- ζ. και 4.8 της προηγούμενης μεθόδου.

Συγκέντρωση επιφ. ενεργούς ουσίας c (mole/l)	σ	$1+kc$	$\Gamma_{\max} =$	$k =$	$\sigma =$	$\Delta = \sigma_0 - \sigma$
			$\frac{kc}{1+kc}$	$\Gamma,$ mole/cm ²	$1/\Gamma = \omega$	

$\omega_{\text{mole}} = \dots \dots \text{cm}^2/\text{mole}, \omega_{\text{μόριο}} = \dots \dots \text{cm}^2/\text{μόριο}, \delta = \dots \dots \text{A}^\circ$

Απαιτούμενα όργανα και αντιδραστήρια

1. Σύστημα τριχοειδούς σωλήνα
2. Διαλύματα βουτανόλης 0,8-0,7-0,6-0,5-0,4-0,3-0,2 και 0,1M
3. Διάλυμα HNO₃
4. Ζυγός de Noüy

5. Γνωστό βάρος 600mg
6. Διάλυμα χρωμοθειϊκού οξέος
7. Ακετόνη.

Βιβλιογραφία

1. Α.Θ.Σδούκου, "Χημικές Διεργασίες της Χημικής Τεχνολογίας-Μέρος Ι: Μηχανική Ρευστών και Τεχνική Σωματιδίων", 2η έκδοση, Ιωάννινα, 1993.
2. S. Vovutsky, "Colloid Chemistry", Mir publishers, Moscow, (1978).
3. D. Shoemaker and C. Garland, "Experiments in Physical Chemistry", Mc Graw-Hill, Kogakusha, (1967).

Άσκηση 5: ΕΛΕΥΘΕΡΗ ΚΑΤΑΚΑΘΙΣΗ (Andreasen)

Σκοπός

Σκοπός της άσκησης αυτής είναι:

1. Η εξοικείωση με τις αρχές οι οποίες επιδρούν στην ελεύθερη κατακρήση λεπτόκοκκων υλικών.
2. Η εύρεση της κατανομής μεγέθους των σωματιδίων ενός υλικού, περιοχής μεγέθους 5-60 μ .

1. Θεωρητικό Μέρος

Όταν ένα σωματίδιο καταβυθίζεται ελεύθερα, δηλαδή χωρίς την επιβραδυντική επίδραση άλλων σωματιδίων, με σταθερή ταχύτητα u μέσα σε ένα υγρό, τότε επιδρούν σ' αυτό δύο δυνάμεις, η δύναμη βαρύτητας F_G , (στην οποία συμπεριλαμβάνεται η άνοση Αρχιμήδη) και η οπισθέλκουσα δύναμη, δηλαδή η αντίσταση του ρευστού F_D .

Σε κατάσταση δυναμικής ισορροπίας θα ισχύει:

$$F_D = F_G \quad (5-1)$$

δηλαδή
$$V g (\rho_s - \rho_f) = C_D A \rho_f \frac{u^2}{2} \quad (5-2)$$

όπου: V - είναι ο όγκος του σωματιδίου, A - η επιφάνεια προβολής του σωματιδίου κατά την διεύθυνση της ροής, ρ_s και ρ_f - η πυκνότητα του στερεού και του υγρού αντίστοιχα, u - η ταχύτητα καταβύθισης και C_D - ο συντελεστής της οπισθελκούσας δύναμης.

Άρα, η ταχύτητα καταβύθισης του σωματιδίου θα είναι ίση προς

$$u = \sqrt{\frac{2V(\rho_s - \rho_f)g}{C_D A \rho_f}} \quad (5-3)$$

Η σχέση 5-3 ισχύει για όλες τις περιοχές ροής και ανεξάρτητα από το σχήμα των σωματιδίων. Στην περίπτωση των σφαιρικών σωματιδίων έχουμε: $V = \pi d^3/6$, $A = \pi d^2/4$ όπου: d - η διάμετρος του σωματιδίου. Συνειπώς η 5-3 γράφεται:

$$u = \sqrt{\frac{4d(\rho_s - \rho_f)g}{3 C_D \rho_f}} \quad (5-4)$$

Στην περιοχή της στρωτής ροής Stokes ($Re < 0.2$) ισχύει

$$C_D = \frac{24}{Re} = \frac{24\eta}{u d \rho_f} \quad (5-5)$$

όπου: η - το ιξώδες του ρευστού. Συνδυασμός των (5-4) και (5-5) οδηγεί στην εξίσωση Stokes:

$$u = \frac{d^2(\rho_s - \rho_f)g}{18\eta} \quad (5-6)$$

Από την τελευταία προκύπτει η σχέση

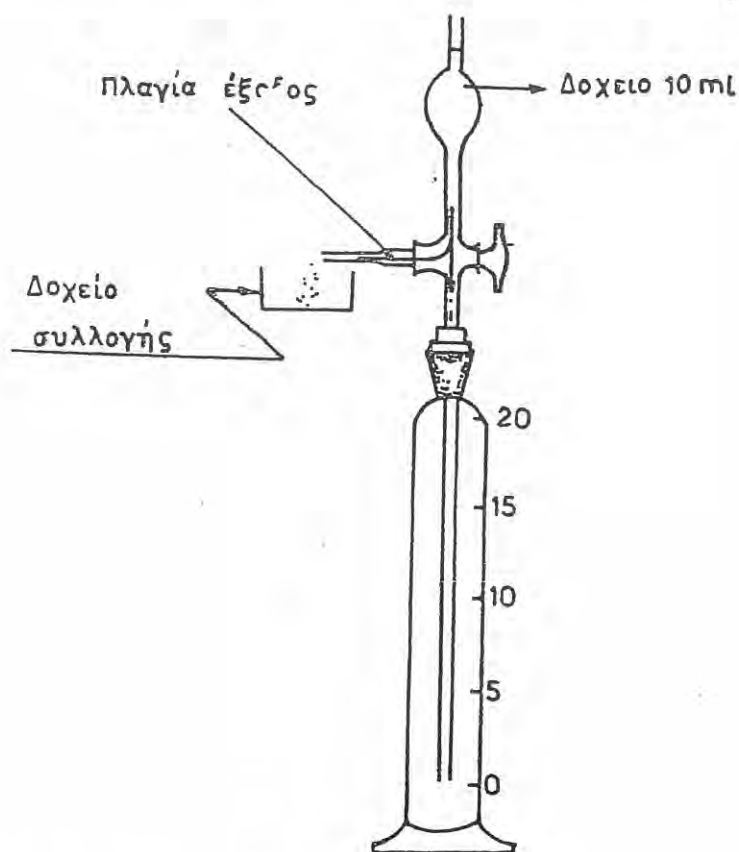
$$d = \sqrt{\frac{18 \eta u}{(\rho_s - \rho_f)g}} \quad (5-7)$$

από την οποία είναι δυνατόν να υπολογισθεί η διάμετρος ενός σωματιδίου γνωστής πυκνότητας, εφ' όσον μετρηθεί η ταχύτητα κατακάθισης αυτού σε υγρό γνωστού ιξώδους και πυκνότητας. Στην βιομηχανία η κατακάθιση αποσκοπεί στην διαύγηση των υγρών.

2. Πειραματικό Μέρος

Περιγραφή της συσκευής

Η συσκευή Andreasen, στην οποία διεξάγεται το πείραμα, φαίνεται στο σχήμα 5-1. Αποτελείται από ένα γυάλινο κυλινδρικό δοχείο αριθμημένο σε cm. Η αριθμηση αρχίζει από το σημείο 0 cm (επίπεδο αναφοράς, το οποίο βρίσκεται περίπου 5cm πάνω από τον πυθμένα της φιάλης) και φτάνει μέχρι ύψους 20 cm. Στο κυλινδρικό αυτό δοχείο είναι προσαρμοσμένο ένα σιφώνιο, χωρητικότητας 10 ml, το κάτω άκρο του οποίου εισχωρεί στον κύλινδρο έως ακριβώς το σημείο μηδέν. Στο άνω άκρο του σιφωνίου προσαρμόζεται ελαστικός σωλήνας για την αναρρόφηση του αιωρήματος. Η στρόφιγγα του σιφωνίου έχει



Σχήμα 5-1: Το σιφώνιο Andreasen

τρεις εξόδους, ώστε να είναι δυνατή τόσο η αναρρόφηση υγρού από τον κύλινδρο όσο και η εξαγωγή του προς την πλάγια έξοδο όπου συλλέγεται σε κατάλληλο δοχείο.

Διεξαγωγή του πειράματος

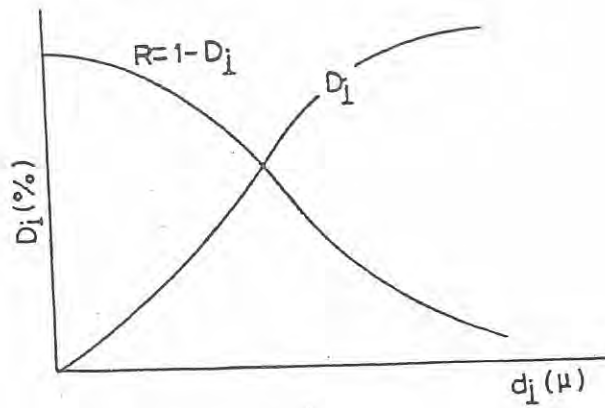
Δείγμα 6 γρ υλικού γνωστής πυκνότητας, ακριβώς ζυγισμένο, φέρεται εντός μικρού ποτηρίου όπου αναμιγνύεται με νερό και αναδεύεται ώστε να σχηματισθεί ομοιογενής πολτός. Ο πολτός μεταφέρεται ποσοτικά στο κυλινδρικό δοχείο της συσκευής Andreasen και συμπληρώνεται με H_2O έως την χαραγή των 20 cm.

Προκειμένου οι προσδιορισμοί να γίνουν σε σταθερή θερμοκρασία, η συσκευή πρέπει να τοποθετηθεί σε θερμοστάτη. Μετά την εξίσωση της θερμοκρασίας του αιωρήματος με την θερμοκρασία του θερμοστάτη, ο κύλινδρος αναταράσσεται καλά ώστε να ομοιογενοποιηθεί το αιώρημα και αφού τοποθετηθεί πάλι στο θερμοστάτη τίθεται σε λειτουργία το χρονόμετρο ($t=0$). Αμέσως αναρροφούνται 10 ml αιωρήματος (πλήρωση του σιφωνίου), για να ληφθεί το μηδενικό δείγμα αναφοράς, το οποίο μεταγγίζεται στη συνέχεια σε προζυγισμένη κάψα πορσελάνης. Αμέσως μετά, το άνω τμήμα του σιφωνίου πλένεται μια φορά με καθαρό νερό, με γρήγορο χειρισμό της στρόφιγγας εναλλαγής. Το ληφθέν δείγμα ξηραίνεται και ευρίσκεται η διαφορά μάζας που αντιπροσωπεύει το ξηρό υλικό. Μετά την λήψη του μηδενικού δείγματος, το αιώρημα ομοιογενοποιείται ξανά και τοποθετείται στο θερμοστάτη, ενώ ταυτόχρονα τίθεται σε λειτουργία το χρονόμετρο ($t=0$). Στο εξής, και σε τακτά χρονικά διαστήματα, λαμβάνονται παρόμοια δείγματα τα οποία επεξεργάζονται όπως προηγούμενα. Κάθε φορά σημειώνεται ο χρόνος λήψης t καθώς και το ύψος h του αιωρήματος. Ως χρόνος t λαμβάνεται η μέση τιμή μεταξύ αρχής και τέλους αναρόφησης, ενώ ως ύψος h η απόσταση από το κάτω άκρο του σιφωνίου ($h=0$). Ο χρόνος δειγματοληψίας πρέπει να κυμαίνεται μεταξύ 10-15 sec.

Επεξεργασία των αποτελεσμάτων

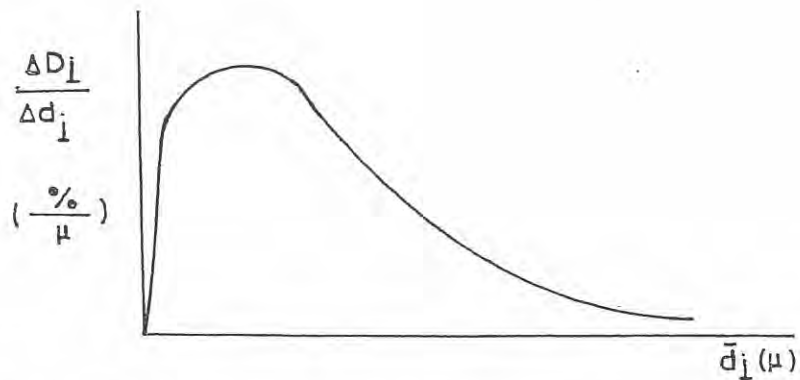
α. Καταγράφονται τα πειραματικά δεδομένα στον Πίνακα I.

β. Υπολογίζεται η ταχύτητα καταβύθισης των σωματιδίων u , ως ο λόγος του ύψους κατακάθισης h δια του χρόνου t ($u=h/t$) και στη συνέχεια με βάση τη σχέση (5-7) υπολογίζεται η μέση διάμετρος των κόκκων d_f για κάθε μέτρηση, σε μικρά (μ).



Σχήμα 5-2: Αθροιστική κατανομή κόκκων

ζ. Παρίσταται γραφικά η διαφορική κατανομή του υλικού, σύμφωνα με τη σχέση $\frac{\Delta D_i}{\Delta d_i} = f(d_i)$ όπως στο σχήμα 5-3, όπου $\Delta d_i = d_i - d_{i+1}$.



Σχήμα 5-3: Διαφορική κατανομή κόκκων.

Δεδομένα

Στους 20°C ισχύει: $\eta_{H_2O} = 10^{-3} \text{ kgf/ m.sec}$,

$\rho_{H_2O} = 10^3 \text{ kgf/ m}^3$,

Q_s : αναλογία με το υλικό,

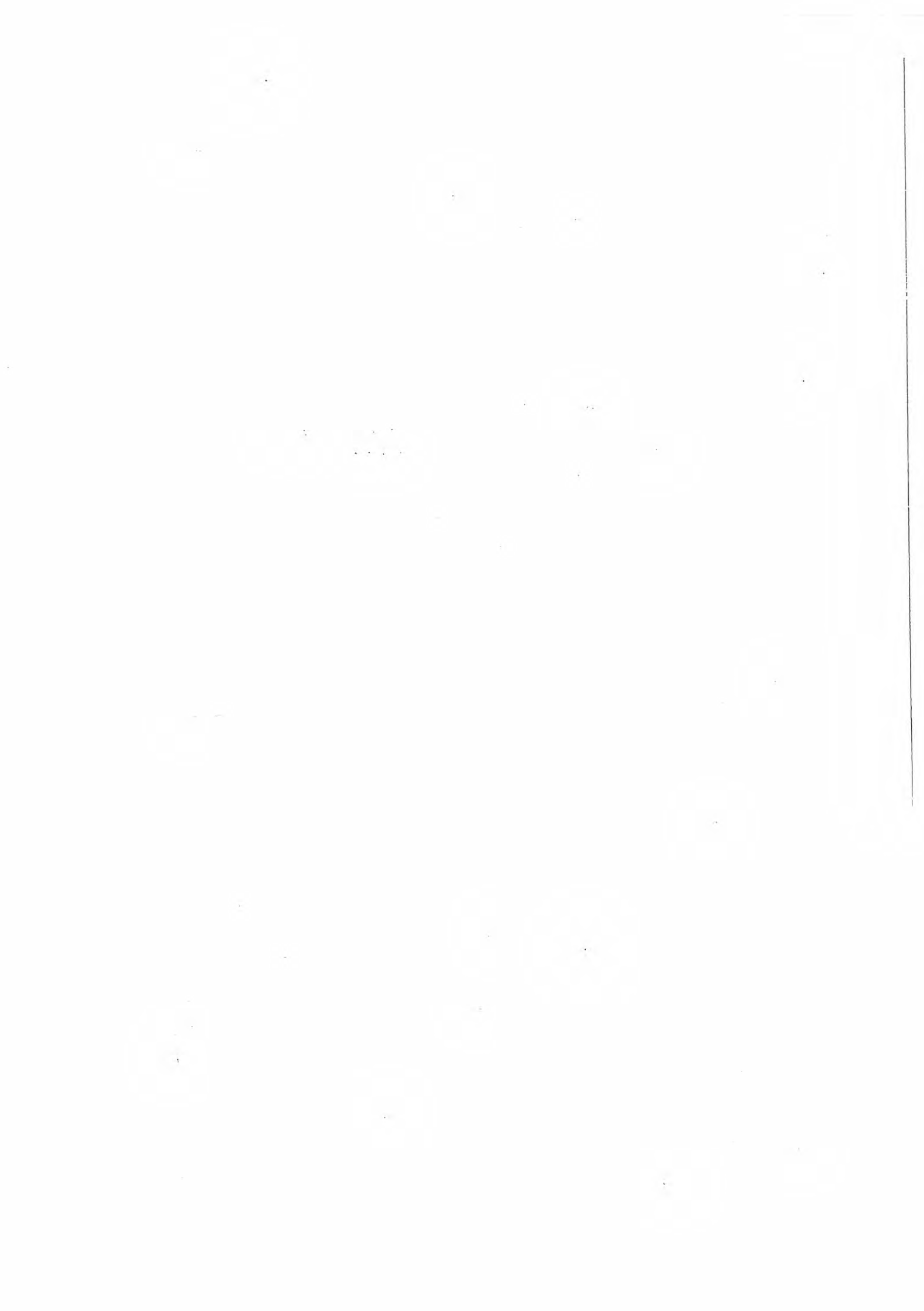
$g = 9.81 \text{ m/ sec}^2$.

Απαιτούμενα όργανα και αντιδραστήρια

1. Ποσότητα πυριτικής άμμου, διαμέτρου κόκκων 5-60 μ
2. Συσκευή Andreasen (σχήμα 5-1)
3. Αναλυτικός ζυγός
4. Πυριαντήριο
5. Θερμοστάτης
6. Χρονόμετρο
7. Δέκα (10) κάψες πορσελάνης διαμέτρου 7-10 cm

Βιβλιογραφία

1. Α.Θ. Σδούκου "Φυσικές Διεργασίες της Χημικής Τεχνολογίας, Τόμος I-Μηχανική των ρευστών και Τεχνική σωματιδίων" 3η έκδοση, Ιωάννινα, 1993.
2. Κ.Μ. Σιτηράνου "Τεχνική Εργαστηριακών Ασκήσεων Γενικής και Ανοργάνου Χημικής Τεχνολογίας" Θεσσαλονίκη, 1976.



Άσκηση 6: ΚΑΤΑΚΑΘΙΣΗ ΑΣΥΝΕΧΟΥΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ

Σκοπός

Σκοπός της άσκησης αυτής είναι η εξοικείωση με τις αρχές που επιδρούν στην εμποδιζόμενη κατακάθιση πυκνών αιωρημάτων, η χρησιμοποίηση των αποτελεσμάτων για την εξαγωγή συμπερασμάτων σχετικά με την ταχύτητα κατακάθισης και το ρυθμό ροής μάζας του μελετούμενου αιωρήματος σε δεξαμενή κατακάθισης.

1. Θεωρητικό μέρος

Με τον όρο κατακάθιση εννοούμε την διεργασία διαχωρισμού κατά την οποία τα αιωρούμενα σωματίδια στην υγρή (ή αέρια) φάση διαχωρίζονται υπό την επίδραση της βαρύτητας. Η κατακάθιση διακρίνεται σε ελεύθερη και εμποδιζόμενη.

Εστω ένα σωματίδιο που κινείται ελεύθερα (χωρίς την επίδραση άλλων σωματιδίων) με σταθερή τελική γραμμική ταχύτητα, u σ' ένα ορισμένο υγρό. Υπό τις συνθήκες αυτές έχουμε ελεύθερη κατακάθιση και στο σωματίδιο δρουν δύο δυνάμεις, η δύναμη της βαρύτητας F_G , που είναι η συνισταμένη των δυνάμεων βάρους και άνωσης, και η οπισθελκούμενη δύναμη F_D που οφείλεται στην αντίσταση του ρευστού στην κίνηση του σωματιδίου.

$$F_G = V (\rho_s - \rho_f) g \quad (6-1)$$

$$F_D = C_D \cdot A \cdot \rho_f \cdot \frac{u^2}{2} \quad (6-2)$$

όπου: ρ_s, ρ_f - οι πυκνότητες του σωματιδίου και του ρευστού αντίστοιχα, u - η σχετική ταχύτητα του σωματιδίου ως προς το ρευστό, V - ο όγκος του σωματιδίου, A - η επιφάνεια προβολής του σωματιδίου, C_D - συντελεστής οπισθέλκουσας που είναι συνάρτηση του αριθμού Reynolds, Re και της σφαιρικότητας Ψ του σωματιδίου. Στην περίπτωση της δυναμικής ισορροπίας θα έχουμε:

$$F_G = F_D \quad (6-3)$$

και η ταχύτητα κατακάθισης θα είναι:

$$u = \sqrt{\frac{2V(\rho_s - \rho_f)g}{C_D \cdot A \cdot \rho_f}} \quad (6-4)$$

Η σχέση (6-4) ισχύει για όλα τα σωματίδια, ανεξάρτητα από το σχήμα τους και από την περιοχή ροής. Για την ειδική περίπτωση των σφαιρικών σωματιδίων έχουμε

$$u = \sqrt{\frac{4g d (\rho_s - \rho_f)}{3C_D \rho_f}} \quad (6-5)$$

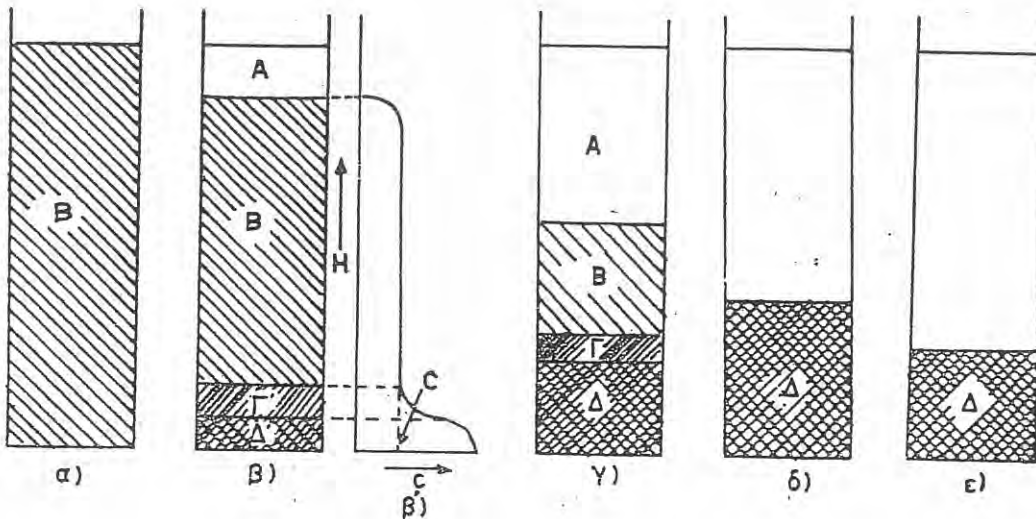
Στα πυκνά αιώρηματα όμως τα σωματίδια βρίσκονται πολύ κοντά μεταξύ τους, με συνέπεια η ταχύτητα του κάθε σωματιδίου να επηρεάζεται από την παρουσία των γειτονικών. Επίσης τα σωματίδια κατά την κατακάθισή τους εκτοπίζουν υγρό και έτσι δημιουργείται μια αισθητή ταχύτητα του ρευστού προς τα πάνω. Αυτή η κατακάθιση ονομάζεται παρεμποδιζόμενη.

Σ' αυτήν η οπισθέλκουσα δύναμη είναι μεγαλύτερη από αυτή που προβλέπει η σχέση (6-2) και συνεπώς η ταχύτητα κατακάθισης (u_h) είναι μικρότερη αυτής που δίνει η σχέση (6-4) για την ελεύθερη κατακάθιση.

Στην κατακάθιση ενός πολτού μετά από μια αρχική μικρή περίοδο επιτάχυνσης διακρίνουμε μια ποικιλία ζωνών στο αιώρημα (σχ.6-1β,β',γ). Στον πυθμένα του δοχείου κατακάθονται στερεά που αποτελούνται από θρόμβους που στηρίζονται το ένα στο άλλο ελαφρά και σχηματίζουν την στοιβάδα Δ. Πάνω από την ζώνη Δ υπάρχει μια μεταβατική στοιβάδα Γ, στην οποία η περιεκτικότητα σε στερεά αυξάνεται από την αρχική έως αυτήν της ζώνης Δ.

Πάνω από την ζώνη Γ είναι η ζώνη Β, στην οποία η περιεκτικότητα σε στερεά είναι σταθερή και ίση με την αρχική. Τέλος, πάνω από τη ζώνη Β είναι η ζώνη Α από καθαρό υγρό, εάν οι κόκκοι έχουν θρομβωθεί πλήρως. Στο σχήμα 6-1β' δίνεται η μεταβολή της περιεκτικότητας σε συνάρτηση με το ύψος για το σχήμα 6-1β.

Καθώς η κατακάθιση συνεχίζεται το πλάτος των ζωνών Δ και Α αυξάνει, της ζώνης Γ μένει στην αρχή σταθερό και της ζώνης Β ελαττώνεται. Μετά από ορισμένο χρόνο οι ζώνες Β και Γ εξαφανίζονται και όλα τα στερεά βρίσκονται στη ζώνη Δ (σχήμα 6-1δ). Τότε αρχίζει ένα άλλο φαινόμενο, η συμπίεση, κατά την οποία εκδιώκεται ένα τμήμα του υγρού που έχει συσσωρευθεί στους θρόμβους, λόγω καταστροφής της δομής τους. Κατά την διάρκεια της συμπίεσης το υγρό αναβλύζει από η ζώνη Δ σαν μικροί πίδακες και το πάχος αυτής ελαττώνεται.



Σχήμα 6-1. Στάδια της κατακάθισης

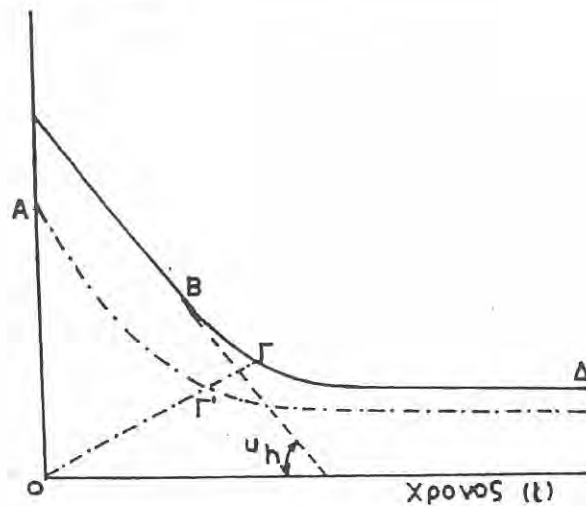
Η ταχύτητα της κατακάθισης πειραματικά δίνεται από την σχέση:

$$u_h = - \frac{dH}{dt} \quad (6-6)$$

και παριστάνεται από διάγραμμα με τεταγμένη το ύψος (H) της διαχωριστικής επιφάνειας μεταξύ των ζωνών A-B και τετμημένη τον χρόνο (t) (σχήμα 6-2). Στα πρώτα στάδια (σχήμα 6-1α,β,γ) η ταχύτητα είναι σταθερή, (ευθεία γραμμή AB) και η κλίση της μας δίνει την ταχύτητα κατακάθισης (u_h). Όταν τα στερεά συσσωρευτούν στην ζώνη Δ (συμπύκνωση) η ταχύτητα συνεχώς ελαττώνεται μέχρις ότου επιτευχθεί το τελικό ύψος, (καμπύλη ΒΔ).

Το ύψος του αιωρήματος δεν επιδρά στην ταχύτητα κατακάθισης. Έτσι αν βρούμε την καμπύλη ΑΒΔ (σχήμα 6-2) για ένα ορισμένο αρχικό ύψος αιωρήματος ΟΑ μπορούμε για άλλο ύψος ΟΑ', της ίδιας συγκέντρωσης αιωρήματος, να χαράξουμε την αντίστοιχη καμπύλη με την προϋπόθεση ότι ο λόγος ΟΓ/ΟΓ' είναι σταθερός και ίσος με ΟΑ/ΟΑ'.

Η διάμετρος του δοχείου εφ' όσον είναι τουλάχιστον 100 φορές μεγαλύτερη της διαμέτρου των κόκκων δεν επιδρά στην ταχύτητα κατακάθισης. Για μικρότερες τιμές η ταχύτητα κατακάθισης ελαττώνεται λόγω της επιβραδυντικής επίδρασης των τοιχωμάτων.



Σχήμα 6-2. Για τον υπολογισμό της ταχύτητας κατακάθισης.

Η αύξηση της συγκέντρωσης του αιωρήματος έχει σαν αποτέλεσμα την ελάττωση της ταχύτητας κατακάθισης λόγω της αύξησης προς τα άνω της ταχύτητας του ρευστού. Τυπικές καμπύλες κατακάθισης φαίνονται στο σχήμα 6-3 για αιωρήματα διαφόρων συγκεντρώσεων C_1, C_2, C_3, C_4 και C_5 . Ο ρυθμός κατακάθισης της μάζας ψ δίνεται από την σχέση

$$\psi = C \cdot u_h \text{ [kg/ m}^2 \cdot \text{s]} \tag{6-7}$$

όπου C - συγκέντρωση του αιωρήματος kg/m³. Η επίδραση της συγκέντρωσης του αιωρήματος στο ρυθμό κατακάθισης της μάζας δίνεται από το σχήμα 6-4. Σ' αυτό βλέπουμε ότι το μεγαλύτερο ρυθμό κατάθισης της μάζας δίνει το αιώρημα με συγκέντρωση C₂.

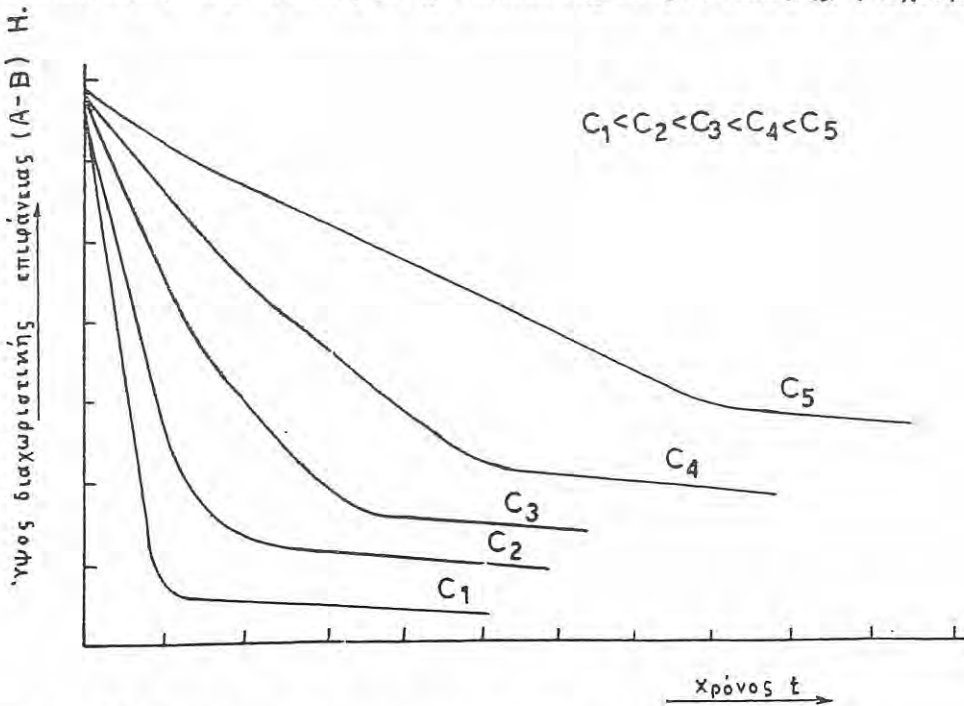
Για τον υπολογισμό της ταχύτητας κατακάθισης έχουν προταθεί οι εμπειρικές εξισώσεις:

$$u_h = u \cdot \epsilon^{4,65} = u \cdot (1-C)^{4,65} \quad \text{για } Re < 0,2$$

$$u_h = u \frac{0,12 \cdot 3 \cdot \epsilon^3}{1-\epsilon} \quad \text{για } 0,3 < \epsilon < 0,7$$

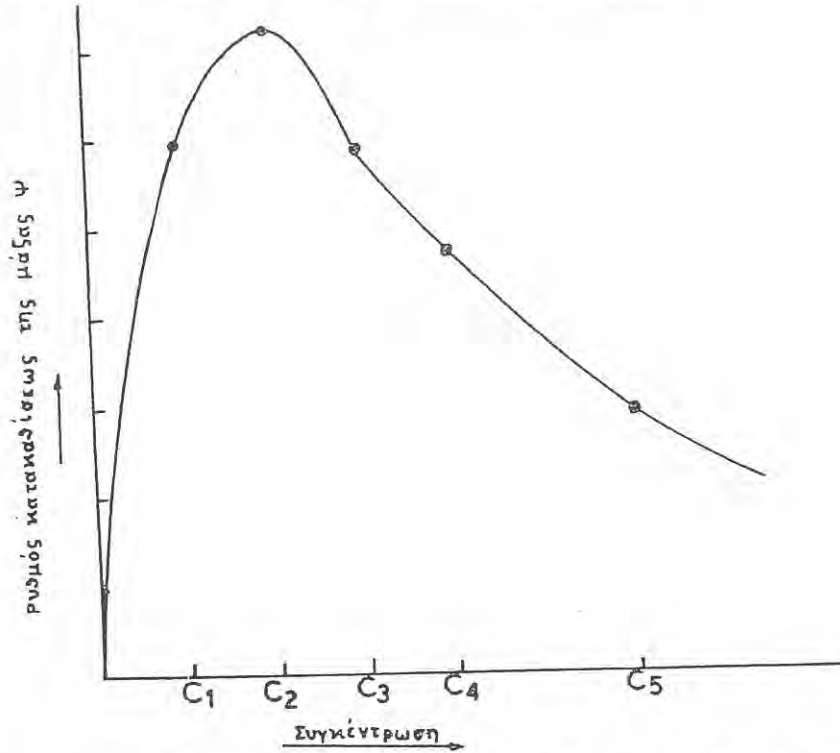
$$u_h = u \cdot \epsilon^2 \cdot 10^{-1,82(1-\epsilon)} \quad \text{για } \epsilon > 0,7$$

όπου ε- το πορώδες της κλίνης κατακάθισης. Λόγω της ύπαρξης υδρομηχανικής ομοιότητας μεταξύ εμποδιζόμενης κατακάθισης και ρευστοποίησης, η ταχύτητα



Σχήμα 6-3. Επίδραση της συγκέντρωσης στην ταχύτητα κατακάθισης.

της εμποδιζόμενης κατακάθισης πρέπει να είναι ίση με την ταχύτητα ρευστοποίησης κλίνης σωματιδίων του αυτού πορώδους (ε).



Σχήμα 6-4. Επίδραση της συγκέντρωσης στο ρυθμό κατακάθισης της μάζας.

2. Πειραματικό Μέρος

Περιγραφή διάταξης

Το όλο σύστημα αποτελείται από σειρά ογκομετρικών κυλίνδρων (δεξαμενές κατακάθισης) με πώμα στους οποίους έχει προστεθεί κλίμακα για την ανάγνωση του ύψους σε mm.

Για την μέτρηση του χρόνου χρησιμοποιείται χρονόμετρο.

Διεξαγωγή του πειράματος

1. Σε 5 ογκομετρικούς κυλίνδρους, των 1000 ml, με πώμα τοποθετούμε 10, 20, 30, 40 και 60 gr CaCO₃ αντίστοιχα. Συμπληρώνουμε τους κυλίνδρους μέχρι τα

1000 ml με νερό ώστε να παρασκευάσουμε αιωρήματα με συγκεντρώσεις αντίστοιχα 1, 2, 3, 4 και 6 gr/100 ml.

2. Ανακινούμε το κύλινδρο με συγκέντρωση 1% κατ' όγκο επί 5', τοποθετούμε αυτόν σε σταθερό μέρος και λαμβάνουμε μετρήσεις του ύψους της διαχωριστικής επιφάνειας μεταξύ καθαρού υγρού και αιωρήματος ανά 1' για 45'.

3. Επαναλαμβάνουμε το ίδιο πείραμα για τα αιωρήματα με 2%, 3%, 4% και 6% κατ' όγκον με αντίστοιχους χρόνους περάτωσης 50', 60', 80' και 100'. Για εξοικονόμηση χρόνου τα πειράματα με συγκεντρώσεις 2% και 3% καθώς επίσης 4% και 6% μπορούν να γίνουν ταυτόχρονα.

4. Σημειώνουμε τις πειραματικές μετρήσεις στον πίνακα I.

5. Κατασκευάζουμε τις καμπύλες $H = f(t)$ για κάθε συγκέντρωση (σχήμα 6-3).

6. Ευρίσκουμε την ταχύτητα κατακάθισης u_h (m/sec) σύμφωνα με το σχήμα 6-2 για κάθε συγκέντρωση καθώς και τον μαζικό ρυθμό κατακάθισης ψ (kg/m².sec) από την εξίσωση (6-7). Τα αποτελέσματα σημειώνονται στον πίνακα II.

7. Σχηματίζουμε το διάγραμμα $\psi = f(C)$ όπως φαίνεται στο σχήμα 4 και συμπεραίνουμε για το ποιά συγκέντρωση μας δίνει τον μέγιστο ρυθμό κατακάθισης της μάζας.

ΠΙΝΑΚΑΣ I

Αριθμός πειράματος		
Συγκέντρωση αιωρήματος		
Αριθμός πειράματος	H (mm)	t (min)

ΠΙΝΑΚΑΣ ΙΙ

Αριθμός πειράματος	C (g/ 100 ml)	μ_h (m/sec)	ψ (kg/ m ² .sec)

Απαιτούμενα όργανα και αντιδραστήρια

1. 5 ογκομετρικοί κύλινδροι των 1000 ml με πόμα
2. Χρόνομετρο
3. CaCO₃.

Βιβλιογραφία

1. Α.Θ. Σδούκου, "Φυσικές Διεργασίες της Χημικής Τεχνολογίας, Τόμος Ι, Μηχανική ρευστών και τεχνική σωματιδίων, 2η έκδοση, Ιωάννινα, 1994.
2. W.Mc Cabe, J.Smith, "Βασικά Φυσικά Διεργασία Χημικής Μηχανικής, έκδοση 2η Τ.Ε.Ε, Αθήναι, 1971.
3. J. Coulson, J.Richardson, Chemical Engineering, Volume 2, Pergamon Press, 1971.
4. Τ. Αλμπάνης, "Ρύπανση και Τεχνολογία Προστασίας Περιβάλλοντος", Ιωάννινα, 1991.

Άσκηση 7: ΡΕΟΛΟΓΙΚΑ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ

Σκοπός

Σκοποί της άσκησης αυτής είναι οι εξής:

- α. Η μελέτη των παραμέτρων που καθορίζουν τον τρόπο ροής των ρευστών και ιδιαίτερα της διατμήσεως σαν συνάρτηση της διατμητικής τάσεως.
- β. Η εξοικίωση με τους πειραματικούς τρόπους μετρήσεως του ιξώδους.

1. Θεωρητικό μέρος

Γενικά περί Ρεολογίας

Η Ρεολογία είναι επιστήμη που ασχολείται με τη ροή της ύλης και παρουσιάζει ιδιαίτερο τεχνολογικό ενδιαφέρον γιατί τα ρευστά τα οποία μελετά χρησιμοποιούνται καθημερινά, όπως τα χρώματα, τα πλαστικά, τα διάφορα κολλοειδή διαλύματα, τα πετρελαιοειδή κλπ. Η κλίμακα αυτών των υλικών, σύμφωνα με την ρεολογική συμπεριφορά τους, αρχίζει από τα συνήθη υγρά και φθάνει έως τα ελαστικά στερεά, ενώ ενδιάμεσα βρίσκονται τα λεγόμενα ιξωδοελαστικά σώματα. Χαρακτηριστική ιδιότητα των ρευστών είναι το ιξώδες τους η που δίνεται από τον τύπο

$$\tau = - \eta \left(\frac{du}{dx} \right) \quad (7-1)$$

όπου: u - η ταχύτητα με την οποία ρέει το ρευστό, x - είναι η ακτίνα του σωλήνα στον οποίο ρέει και το αρνητικό σημείο δείχνει ότι η διάτμηση du/dx εφαρμόζεται σε κατεύθυνση αντίθετη προς αυτή της κινήσεως του ρευστού, όπως φαίνεται στο επόμενο σχήμα 7-1.

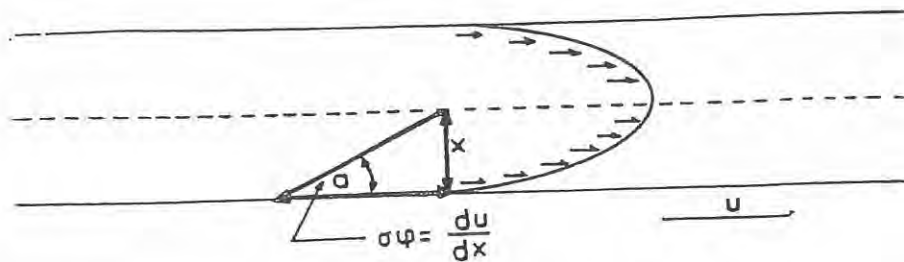
Η διατμητική τάση τ είναι ανάλογη της διαφοράς πίεσεως ΔP που εφαρμόζεται στα άκρα του σωλήνα που ρέει το ρευστό. Αυτό συμβαίνει επειδή $\Delta P = F/S_p = F/\pi r^2$ και $\tau = F/S_\tau = F/2\pi rL$ όπου r και L είναι η ακτίνα και το μήκος του αγωγού: Άρα

$$\tau = \frac{r}{2L} \Delta P = K \Delta P \quad (7-2)$$

όπου: $K = r/2L$ σταθερά. Η εξάρτηση της διατμητικής τάσης τ από την διάτμηση du/dx έχει την γενική μορφή

$$\tau = \tau_0 + \kappa \left(\frac{du}{dx} \right)^n \quad (7-3)$$

όπου: κ, n είναι ρεολογικές σταθερές



Σχήμα 7-1. Η διάτμηση $-du/dx$ εφαρμόζεται σε κατεύθυνση αντίθετη προς αυτήν της κινήσεως του ρευστού. Ο συντελεστής αναλογίας μεταξύ της διατμήσεως $-du/dx$ και της διατμητικής τάσεως τ είναι το ιξώδες η . Οι μονάδες του ιξώδους είναι $g \cdot cm^{-1} \cdot sec^{-1}$ ή Poise (P).

Αν $\tau_0 = 0$ και $n = 1$ το ρευστό λέγεται Νευτονικό (π.χ. νερό).

Αν $\tau_0 = 0$ και $n > 1$ το ρευστό λέγεται εκτατό (π.χ. αιώρημα αμύλου)

Αν $\tau_0 = 0$ και $n < 1$ το ρευστό λέγεται ψευδοπλαστικό (π.χ. τήγματα πολυμερών).

Αν $\tau_0 > 0$ και $n = 1$ το ρευστό λέγεται Bingham (π.χ. πηλός).

Τα ιξώδη διαφόρων ρευστών στους 20° δίδονται στον πίνακα 7.1.

Μελέτη ροής υγρών

Η μελέτη των ρεολογικών ιδιοτήτων των Νευτονικών υγρών γίνεται συνήθως με το ιξωδόμετρο Ostwald (Σχήμα 7-2). Στο ιξωδόμετρο αυτό μετράται ο χρόνος t που απαιτείται για να διαρεύσει το υγρό μεταξύ των σημείων Α και Β. Για ένα ασυμπιεστο υγρό, η ροή αυτή ρυθμίζεται από τον νόμο του Poisseuille.

$$\frac{dV}{dt} = \frac{\pi r^4 \Delta P}{8 \eta L} \quad (7-4)$$

όπου: dV/dt είναι η ογκομετρική ροή του ρευστού, ιξώδους η , διά μέσου κυλινδρικού σωλήνα μήκους L και ΔP είναι η διαφορά πιέσεως στα άκρα του σωλήνα. Ολοκλήρωση της σχέσεως (7-4) δίδει

$$V = \frac{\pi r^4 \Delta P}{8 \eta L} t \quad (7-5)$$

Πίνακας 7.1. Ιξώδη διαφόρων ρευστών σε 20°C

Ρευστό	Ιξώδες (centipoise)
H ₂ O	1,000
Γλυκερίνη	1,490
CH ₃ COOH	1,300
Βουτυρικό οξύ	1,540
CCl ₄	0,969
CH ₃ CHO	0,220
Ανιλίνη	4,400
Αέρας	182.10 ⁻³
Cl ₂	132.10 ⁻³
C ₂ H ₆	90.10 ⁻³
Αργό	222.10 ⁻³

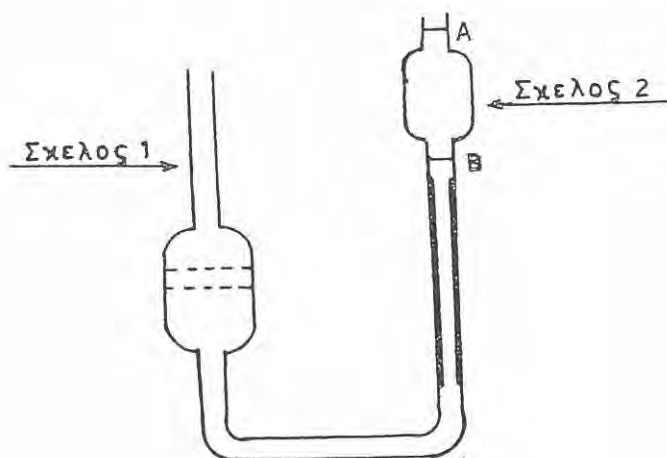
Τα μεγέθη π , γ , V και L είναι σταθερά για κάθε ιξωδόμετρο, συνεπώς η εξίσωση (7-5) γράφεται υπό την μορφή:

$$\frac{1}{t} = k \frac{\Delta P}{n} \quad (7-6)$$

όπου: $k = \pi^4/8VL$ είναι η σταθερά του ιξωδομέτρου.

Η διαφορά πίεσης ΔP είναι δυνατόν να προέρχεται αφ' ενός από το ύψος της βαρομετρικής στήλης του υγρού, $P_0 = \rho gh$, και αφ' ετέρου από εξωτερικά εφαρμοζόμενη διαφορά πίεσης P . Τότε η (7-6) γράφεται:

$$\frac{1}{t} = \frac{k}{n} (P_0 + P) = \frac{k}{n} (\rho gh + P) = \frac{1}{t_0} + \frac{k}{n} P = \text{σταθ.} + \frac{k}{n} P \quad (7-7)$$



Σχήμα 7-2. Ιξωδόμετρο Ostwald

Επομένως η γραφική παράσταση της εξίσωσης (7-7) σε άξονες $1/t$ και P θα έχει κλίση k και τομή με τον άξονα $1/t$ ίση προς, $kP_0/n = k\rho gh/n = 1/t_0$. Εναλλακτικά η γραφική παράσταση της εξίσωσης

$$\frac{1}{t} - \frac{1}{t_0} = k \frac{P}{n} \quad (7-8)$$

σε άξονες $1/t-1/t_0$ και P/η , θα έχει κλίση ίση προς k και θα αρχίζει από την αρχή των αξόνων. Αντικαθιστώντας την σχέση (7-2) και την σταθερά του ροομέτρου στην σχέση 7-8 προκύπτει,

$$\frac{1}{t} - \frac{1}{t_0} = \frac{\pi r^3 \tau}{4V\eta} \quad (7-9)$$

και χρησιμοποιώντας την σχέση (7-1) βρίσκουμε

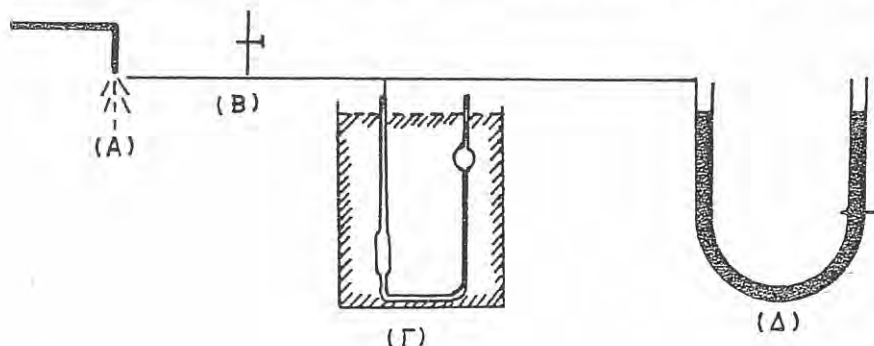
$$\frac{du}{dx} = \frac{4V}{\pi r^3} \left(\frac{1}{t} - \frac{1}{t_0} \right) = k \left(\frac{1}{t} - \frac{1}{t_0} \right) = a + k \frac{1}{t} \quad (7-10)$$

Οι εξισώσεις (7-2) και (7-10) είναι χρήσιμες για την γραφική παράσταση των ρεολογικών διαγραμμάτων τα οποία έχουν την μορφή $\tau = f(du/dx)$, και τα οποία σύμφωνα με τις σχέσεις που αναφέραμε μπορούν να παρασταθούν με την μορφή $\Delta P = f(1/t)$ (σχήμα 7-5).

2. Πειραματικό μέρος

Περιγραφή της συσκευής

Η συσκευή που θα χρησιμοποιηθεί για το πείραμα φαίνεται στο σχήμα 7-3. Η συσκευή επιτρέπει την δημιουργία υποπίεσεων στο σκέλος 1 του ιξωδόμετρου



Σχήμα 7-3. Συσκευή μέτρησης ρεολογικών ιδιοτήτων. Α- Αντλία κενού βρύσης, Β- ρυθμιζόμενη είσοδος στον αέρα, Γ- ιξωδόμετρο σε θερμοστατούμενο λουτρό, Δ- ανοικτό διαφορικό μανόμετρο.

Γ που συνδέεται με το σύστημα του κενού. Το κενό επιτυγχάνεται με την βοήθεια αντλίας βρύσης Α και ρυθμίζεται με την στροφή γιγα Β. Η διαφορά πίεσης υπό την οποία ρέει το ρευστό στο ιξωδόμετρο διαβάζεται κατ' ευθείαν στο ανοικτό διαφορικό μανόμετρο Δ.

Το ιξωδόμετρο θερμοστατείται σε λουτρό μεγάλης θερμοχωρητικότητας για να αποφευχθούν μεταβολές του ιξώδους με την θερμοκρασία.

Εκτέλεση του πειράματος

1. Ρυθμίζουμε τη θερμοκρασία του λουτρού μέσα στο οποίο βρίσκεται το ιξωδόμετρο.
2. Τοποθετούμε απεσταγμένο νερό στο ιξωδόμετρο από το σκέλος 1 αφού το αποσυνδέσουμε από το σύστημα κενού. Η στάθμη του νερού πρέπει να βρίσκεται μεταξύ των δύο χαραγών του οργάνου.
3. Συνδέουμε το σκέλος 1 στο σύστημα κενού. Αναροφάμε ελαφρά από το στόμιο 2 ώστε το νερό να ανέλθει πάνω από τη χαραγή Α (σχήμα 7-2). Κλείνουμε το στόμιο 2.
4. Ανοίγουμε προσεκτικά την βρύση ώστε να επιτευχθεί κενό στο σύστημα. Εκλέγουμε μια ωρισμένη διαφορά πίεσης μεταξύ 10 και 200 mm H₂O και σταθεροποιούμε την ροή της βρύσης Α και την βαλβίδα Β σε αυτό το σημείο.
5. Ανοίγουμε το στόμιο 2. Το νερό αρχίζει να ρέει μέσω του τριχοειδούς σωλήνα. Με το διαθέσιμο χρονόμετρο μετράμε τον χρόνο τ που απαιτείται για την εκροή του μεταξύ των σημείων Α και Β (σχήμα 7-2).
6. Λαμβάνουμε 5-6 παρόμοιες μετρήσεις για διαφορετικές πιέσεις. Τα αποτελέσματα καταγράφονται στον πίνακα ΙΙ και επεξεργάζονται όπως αναγράφεται στην επόμενη παράγραφο.
7. Επαναλαμβάνεται η ίδια διαδικασία μετρήσεων αλλά αντί νερού αυτή τη φορά χρησιμοποιούνται ~ 15 ml διαλύματος πολυμερούς υλικού που διατίθεται από το εργαστήριο. Τα αποτελέσματα σημειώνονται στον πίνακα ΙΙΙ και επεξεργάζονται παρόμοια και στις δύο περιπτώσεις, όπως αναφέρεται στην επόμενη παράγραφο.
8. Μετά το τέλος του πειράματος τα ιξωδόμετρα καθαρίζονται σχολαστικά.

Υπολογισμός των αποτελεσμάτων

- α. Βρίσκουμε το ιξώδες η του νερού από πίνακες για την θερμοκρασία του λουτρού.

Πίνακας II. $T = \dots^\circ\text{C}$, $\rho_{\text{H}_2\text{O}} = 10^{-3} \text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$, Τύπος ιξωδόμετρο U:

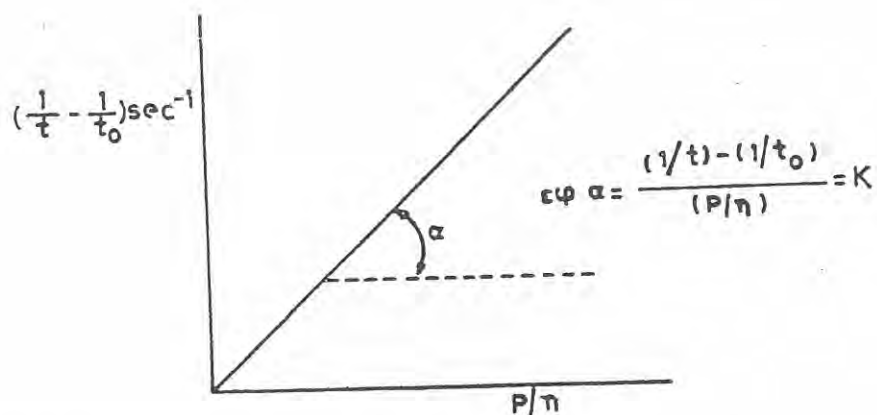
Αρ. πειρ.	$P(\text{N/m}^2)$	$P/\eta(\text{sec}^{-1})$	$t(\text{sec})$	$\frac{1}{t}(\text{sec}^{-1})$	$(\frac{1}{t} - \frac{1}{t_0})(\text{sec}^{-1})$	$du/dx(\text{sec}^{-1})$

β. Από τα δεδομένα του πίνακα II παριστάνουμε γραφικά την σχέση (7-8) $(1/t - 1/t_0) = f(P/\eta)$. Η κλίση της γραμμής μας δίνει το k (σχήμα 7-4).

γ. Από τα δεδομένα του πίνακα III παριστάνουμε γραφικά την σχέση (7-8) σε άξονες $(1/t - 1/t_0)$ και P . Από την μορφή της γραμμής αποφαινόμαστε για την συμπεριφορά του ρευστού, δηλαδή αν είναι Νευτωνικό, οπότε η γραμμή είναι ευθεία και αρχίζει από την αρχή των αξόνων, ή μη Νευτωνικό οπότε είναι άλλου είδους γραμμή.

Πίνακας III. $T = \dots^\circ\text{C}$, Τύπος ιξωδόμετρο U:

Αριθμός πειράματος	$t(\text{sec})$	P	$\frac{1}{t}(\text{sec}^{-1})$	$(\frac{1}{t} - \frac{1}{t_0})(\text{sec}^{-1})$



Σχήμα 7-4. Για την εύρεση της σταθεράς του ιξωδομέτρου

Απαιτούμενα όργανα και αντιδραστήρια

1. Ιξωδόμετρα
2. Θερμοστατικό λουτρό
3. Χρονόμετρο
4. Σύστημα σύνδεσης των ιξωδομέτρων με αντλία κενού (σχήμα 7-3)
5. Διάλυμα πολυμερούς.

Βιβλιογραφία

1. Α.Θ. Σδούκου, "Φυσικές Διεργασίες της Χημικής Τεχνολογίας-Μέρος Ι: Μηχανική των Ρευστών και Τεχνική Σωματιδίων", 3^η έκδοση, Ιωάννινα, 1993
2. D.J. Shaw, Surface Chemistry, Butterworths, London, (1970).

Ασκηση 8.ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΜΕΓΕΘΟΥΣ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ ΜΕ ΚΟΣΚΙΝΙΣΗ

Σκοπός

Σκοπός της ασκήσεως αυτής είναι:

1. Η εξοικείωση με την διεργασία της κοσκίνισης.
2. Η κατανομή του τρόπου με τον οποίο από μια απλή κοσκίνιση μπορούμε να βρούμε την στατιστική κατανομή μεγέθους των σωματιδίων στερεού υλικού και την ειδική επιφάνεια αυτού.

1. Θεωρητικό Μέρος

Βασικές έννοιες κατανομής μεγέθους σωματιδίων

Η ύλη μπορεί να υποδιαιρεθεί με διάφορα φυσικά φαινόμενα (π.χ. διάβρωση) ή με διάφορες μηχανικές διεργασίες (π.χ. άλεση), σε τεμάχια διαφόρου μεγέθους και σχήματος (σωματίδια) που διατηρούν τις φυσικές και χημικές ιδιότητές τους.

Η κατανομή μεγέθους των σωματιδίων ενός υλικού μπορεί να εκφραστεί με πολλούς τρόπους που μας επιτρέπουν να υπολογίσουμε τη μέση διάμετρο των κόκκων ή την επικρατέστερη τιμή μεγέθους.

Ενας τρόπος κοκκομετρικής ανάλυσης είναι η διαφορική κατανομή η οποία εκφράζεται με τα διαγράμματα $\Delta\Phi/\Delta x = f(x)$ και $\Delta\Phi/\Delta x = f(\log x)$, όπου: $\Delta\Phi$ -το κλάσμα μάζας ή πληθυσμού που ορίζεται από τη σχέση

$$\Delta\Phi = \frac{\text{Βάρος σωματιδίων μεταξύ περιοχής μεγέθους από } x_1 \text{ έως } x_2}{\text{Συνολικό βάρος του υλικού}} \quad (8-1)$$

Πρέπει φυσικά να ισχύει $\Sigma\Delta\Phi = \Delta\Phi_1 + \Delta\Phi_2 + \dots + \Delta\Phi_n = 1$ (8-2)

$$\Delta x = x_2 - x_1 \quad (8-3)$$

Το $\Delta\Phi/\Delta x$, παριστάνει την σχετική συχνότητα κατανομής ή την διαφορική κατανομή. Η μέση τιμή μεγέθους σωματιδίων δίνεται από τον τύπο

$$\bar{x} = \frac{\Sigma x \Delta\Phi}{\Sigma \Delta\Phi} \quad (8-4)$$

Στη διαφορική κατανομή γίνεται δεκτό ότι όλα τα σωματίδια σε ένα κλάσμα είναι ισομεγέθη και ότι το μέγεθος αυτό είναι ο αριθμητικός μέσος όρος όλων των μεγεθών μεταξύ x_1 και x_2 τα οποία ορίζουν το κλάσμα.

Ενας δεύτερος τρόπος κοκκομετρικής ανάλυσης είναι η αθροιστική κατανομή που παράγεται από την διαφορική κατανομή με πρόσθεση των επί μέρους διαφορικών κλασμάτων μάζας ή πληθυσμού. Αυτή εκφράζεται με διαγράμματα $\% D = f(x)$, $\% D = f(\log x)$, $\% R = f(x)$ και $\% R = f(\log x)$.

Το D καλείται πέρασμα και δίνεται από τη σχέση:

$$D = \frac{\text{Συνολικό βάρος σωματιδίων μεταξύ περιοχής μεγέθους από 0 έως } x_2}{\text{Συνολικό βάρος του υλικού}} \quad (8-6)$$

και αντιστοιχεί στο κλάσμα μάζας ή πληθυσμού που είναι μικρότερο ενός μεγέθους x_2 . Για το πέρασμα ισχύει:

$$D = \Phi = \sum_0^{x_2} \Delta\Phi = \int_0^{x_2} \frac{\Delta\Phi}{\Delta x} dx \quad (8-7)$$

Το R καλείται υπόλειμμα και δίνεται από τον τύπο

$$R = 1 - \sum_0^{x_2} \Delta\Phi = \int_{x_2}^N \frac{\Delta\Phi}{\Delta x} dx \quad (8-8)$$

Πρέπει δε να ισχύει:

$$D + R = 1 \quad \text{ή} \quad \% D + \% R = 100 \quad (8-9)$$

Στα διαγράμματα της αθροιστικής κατανομής για την τιμή % D ή %R = 50 αντιστοιχεί η μεσαία τιμή μεγέθους των σωματιδίων. Σημειώνεται ότι η αθροιστική κατανομή είναι ακριβέστερη της διαφορικής κατανομής γιατί δεν βασίζεται στην παραδοχή ότι όλα τα σωματίδια ενός κλάσματος είναι ισομεγέθη.

Ενας τρίτος τρόπος έκφρασης της κοκκομετρικής σύστασης του υλικού είναι με την βοήθεια της στατιστικής. Χρησιμοποιείται η κανονική κατανομή, γνωστή ως κατανομή Gauss, διακρίνουμε δε την αριθμητική κανονική κατανομή και την λογαριθμική κανονική κατανομή. Η αριθμητική κανονική κατανομή εκφράζεται με την εξίσωση:

$$y = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp - \frac{(x-\bar{x})^2}{2\sigma^2} \quad (8-10)$$

όπου: y- παριστά την σχετική συχνότητα κατανομής ή την διαφορική κατανομή

$$y = \Delta\Phi/\Delta x, \quad (8-11)$$

$$\bar{x} - \text{η μέση αριθμητική τιμή μεγέθους } \bar{x} = \sum x\Delta N / \sum \Delta N \quad (8-12)$$

$$\sigma - \text{η τυπική απόκλιση της κατανομής } \sigma = \sqrt{\sum (x-\bar{x})^2 / N - 1} \quad (8-13)$$

όπου ΔN το κλάσμα του πληθυσμού και N ο αριθμός μετρήσεων.

Εάν η κοκκομετρική σύσταση ενός υλικού εκφράζεται με την αριθμητική κανονική κατανομή τότε το διάγραμμα $x=f$ (%R ή %D σε κλίμακα πιθανοτήτων) θα δίνει ευθεία γραμμή, από αυτή δε μπορούμε να υπολογίσουμε το x_g ως η τιμή που αντιστοιχεί σε %R ή %D= 50 ($\bar{x}_g = x_{50}$) και την τυπική απόκλιση

$$\sigma = 1/2(x_{84} - x_{16}) \quad (8-14)$$

όπου: x_{84} και x_{16} οι τιμές του x που αντιστοιχούν σε %R ή %D = 84 και %R ή %D= 16. Το διάγραμμα που περιγράφει την κατανομή $\Delta\Phi/\Delta x = f(x)$ έχει συμμετρική μορφή ως προς την τιμή \bar{x}_g .

Εάν διαπιστώσουμε ότι η κοκκομετρική σύσταση του υλικού δεν περιγράφεται από την αριθμητική κανονική κατανομή τότε καταφεύγουμε στην λογαριθμική κανονική κατανομή που εκφράζεται με μια ανάλογη εξίσωση:

$$y = \frac{1}{\sigma_z 2\pi} \exp - \frac{(z - \bar{z})^2}{2\sigma_z^2} \quad (8-15)$$

όπου: y - παριστάνει την διαφορική κατανομή $y = \Delta\Phi/\Delta(\ln x)$ (8-16)
 $z = \ln x$, z - η γεωμετρική ή λογαριθμική παράμετρος μεγέθους

$$z = \ln \bar{x}_g = \frac{\sum z \Delta\Phi}{\sum \Delta\Phi} = \frac{\sum z \Delta\Phi}{\Phi} = \frac{\sum \ln x \Delta\Phi}{\Phi} \quad (8-17)$$

$\bar{x}_g = x_{50}$, σ_z = η γεωμετρική ή λογαριθμική παράμετρος της τυπικής απόκλισης κατανομής

$$\sigma_z = \ln \sigma_g \quad (8-18)$$

σ_g = η τυπική απόκλιση της κατανομής.

Εάν η κοκκομετρική σύσταση ενός υλικού εκφράζεται με την λογαριθμική κανονική κατανομή τότε το διάγραμμα $\log x = f$ (%R ή %D σε κλίμακα πιθανοτήτων) θα δίνει ευθεία γραμμή, από αυτή δε μπορούμε να υπολογίσουμε το \bar{x}_g ως η τιμή που αντιστοιχεί σε %R ή %D= 50 ($\bar{x}_g = x_{50}$) και την τυπική απόκλιση:

$$\sigma_g = \frac{x_{84}}{x_{50}} = \frac{x_{50}}{x_{16}} \quad (8-19)$$

όπου: x_{84} , x_{50} και x_{16} οι τιμές του x που αντιστοιχούν σε %R ή %D=84, %R ή %D= 50 και %R ή %D= 16. Το διάγραμμα που περιγράφει την κατανομή $\Delta\Phi/\Delta x = f(\log x)$ ή $\frac{\Delta\Phi}{\Delta(\log x)} = f(\log x)$ έχει συμμετρική μορφή ως προς την τιμή \bar{x}_g .

Η λογαριθμική κανονική κατανομή εκφράζει καλύτερα τα βιομηχανικά σωματίδια εν σχέση με την αριθμητική κανονική κατανομή. Εάν διαπιστώσουμε ότι η κοκκομετρική σύσταση του υλικού δεν περιγράφεται και από την λογαριθμική κανονική κατανομή καταφεύγουμε στην κατανομή Rosin-Rammler που εκφράζεται με την εξίσωση:

$$\frac{100}{R} = \exp \left(\frac{x}{x_R} \right)^n \quad (8-20)$$

όπου: R - το υπόλειμμα, n - ο συντελεστής ομοιομορφίας του υγρού, x_R - χαρακτηριστικού μεγέθους σωματιδίων. Όταν $n=1$ και $x = x_R$ τότε η εξίσωση (8-20) γίνεται:

$$\frac{100}{R} = e \quad \text{ή} \quad R = \frac{100}{e} = 36,8\% \quad (8-21)$$

Για την κατανομή Rosin-Rammler έχει κατασκευαστεί ειδικό νομογράφημα (σχήμα 9) με τεταγμένη το μέγεθος των κόκκων και τετμημένη το υπόλειμμα %R. Στο διάγραμμα αυτό παίρνουμε ευθεία γραμμή α από την οποία υπολογίζουμε το x_R που αντιστοιχεί στην τιμή %R= 36,8. Το ίδιο νομογράφημα συμπληρώθηκε με βοηθητικές κλίμακες από τις οποίες μπορούμε να βρούμε την γωνία κλίσης της ευθείας α, τον συντελεστή ομοιομορφίας του υλικού π, αν από τον πόλο του νομογραφήματος φέρουμε ευθεία παράλληλο προς την ευθεία α, καθώς επίσης και το γινόμενο $O'_x \cdot d$, όπου O'_x η ιδανική ειδική επιφάνεια σε m^2/kg και $d' = x_R$ σε mm.

Πρέπει να τονιστεί ότι όσο μεγαλύτερος είναι ο συντελεστής ομοιομορφίας του υλικού τόσο περισσότερο το μέγεθος των κόκκων είναι ομοιόμορφο δηλαδή η περιοχή μεγέθους των κόκκων είναι μικρότερη. Όταν δε το π τείνει στο άπειρο, η ευθεία α είναι παράλληλη προς τον άξονα των %R τότε έχουμε μόνο ένα μέγεθος x_R . Αν γνωρίζουμε ότι ένα υλικό ακολουθεί την κατανομή Rosin-Rammler τότε με δύο απλούς διαχωρισμούς σε περιοχές μεγέθους (δύο σημεία στο νομογράφημα Rosin-Rammler) μπορούμε να φέρουμε την ευθεία α. Αν επίσης γνωρίζουμε και τον συντελεστή ομοιομορφίας π που συνήθως δεν παρουσιάζει μεγάλες μεταβολές για ορισμένο υλικό, τότε με ένα απλό διαχωρισμό (ένα σημείο στο νομογράφημα) μπορούμε να χαρακτηρίσουμε πλήρως το υλικό. Την κατανομή Rosin-Rammler ακολουθούν συνήθως τα κονιοποιημένα στερεά.

Σε όλες τις παραπάνω κατανομές την μέση τιμή του μεγέθους των σωματιδίων x την υπολογίζουμε με βάση το κλάσμα μάζας (ΔW) ή πληθυσμού (ΔN), εάν θεωρήσουμε ότι τα σωματίδια μιας κατανομής είναι όμοια μεταξύ τους, πράγμα που σημαίνει ότι το σχήμα είναι ανεξάρτητο από το μέγεθός τους τότε θα έχουμε:

$$\text{Για την κατανομή πληθυσμού} \quad : \quad \Delta\Phi = \Delta N, \quad \Phi = \Sigma \Delta N \quad (8-22)$$

$$\text{"- " - " - μήκους} \quad : \quad \Delta\Phi = x \Delta N, \quad \Phi = \Sigma x \Delta N \quad (8-23)$$

$$\text{"- " - " - επιφανείας} \quad : \quad \Delta\Phi = x^2 \Delta N, \quad \Phi = \Sigma x^2 \Delta N \quad (8-24)$$

$$\text{"- " - " - όγκου ή μάζας:} \quad \Delta\Phi = x^3 \Delta N, \quad \Phi = \Sigma x^3 \Delta N \quad (8-25)$$

Για τον υπολογισμό των μέσων διαμέτρων ή μεγεθών πρέπει να συσχετίσουμε τις εξισώσεις 8-22, 8-23, 8-24, 8-25, με την εξίσωση 8-12 και θα έχουμε τις αντίστοιχες μέσες διαμέτρους:

$$\text{Βάσει του πληθυσμού : } \bar{x}_N = \frac{\sum x \Delta N}{\sum \Delta N} \quad (8-12)$$

$$\text{"- "- μήκους : } \bar{x}_L = \frac{\sum x^2 \Delta N}{\sum x \Delta N} \quad (8-26)$$

$$\text{"- "- επιφανείας: } \bar{x}_S = \frac{\sum x^3 \Delta N}{\sum x^2 \Delta N} \quad (8-27)$$

$$\text{"- "- όγκου ή μάζας: } \bar{x}_W = \bar{x}_V = \frac{\sum x^4 \Delta N}{\sum x^3 \Delta N} \quad (8-28)$$

$$\text{"- "- πληθυσμού-επιφανείας: } \bar{x}_{N,S} = \sqrt{\frac{\sum \Delta S}{\sum \Delta N}} = \sqrt{\frac{\sum x^2 \Delta N}{\sum \Delta N}} \quad (8-29)$$

$$\text{"- "- πληθυσμού όγκου : } \bar{x}_{V,S} = \sqrt[3]{\frac{\sum \Delta V}{\sum \Delta N}} = \sqrt[3]{\frac{\sum x^3 \Delta N}{\sum \Delta N}} \quad (8-30)$$

Η σχέση που συνδέει το κλάσμα πληθυσμού (ΔN) με το κλάσμα μάζας (ΔW) είναι:

$$\Delta N = \frac{\Delta W}{\rho \alpha_V x^3} \quad (8-31)$$

όπου: ρ - η απόλυτη πυκνότητα του υλικού, α_V - ο ογκομετρικός συντελεστής που ορίζεται από τη σχέση:

$$V = \alpha_V d^3 \quad (8-32)$$

Για σφαίρα έχουμε

$$V = \frac{\pi}{6} d^3 \quad (8-33)$$

$$\text{και } \alpha_V = \frac{\pi}{6} = 0,52 \quad (8-34)$$

Με τη βοήθεια του \bar{x}_S (εξίσωση 8-27), μπορεί να υπολογιστεί η ειδική επιφάνεια S ,

$$S = \frac{\alpha_S}{\rho \alpha_V \bar{x}_S} = \frac{\alpha_{SV}}{\rho \bar{x}_S} = \frac{\alpha_{SV} \Sigma x^2 \Delta N}{\rho \Sigma x^3 \Delta N} = \frac{\alpha_S \Sigma x^2 \Delta N}{\rho \alpha_V \Sigma x^3 \Delta N} \quad (8-35)$$

όπου: α_S - ο επιφανειακός συντελεστής που ορίζεται από τη σχέση

$$S = \alpha_S d^2 \quad (8-36)$$

Για σφαίρα δε

$$S = \pi d^2 \quad (8-37)$$

και

$$\alpha_S = \pi = 3,14 \quad (8-38)$$

$\alpha_{S,V}$ - ο ειδικός παράγοντας σχήματος που ορίζεται από τη σχέση

$$\alpha_{S,V} = \frac{\alpha_S}{\alpha_V} \quad (8-39)$$

Χρησιμοποιώντας αντί του κλάσματος πληθυσμού (ΔN) το κλάσμα μάζας (ΔW) από τη σχέση 8-31 έχουμε

$$S = \frac{\alpha_S \Sigma x^2 \Delta N}{\Sigma \Delta W} \quad (8-40)$$

Μέθοδοι προσδιορισμού μεγέθους και επιφανείας σωματιδίων

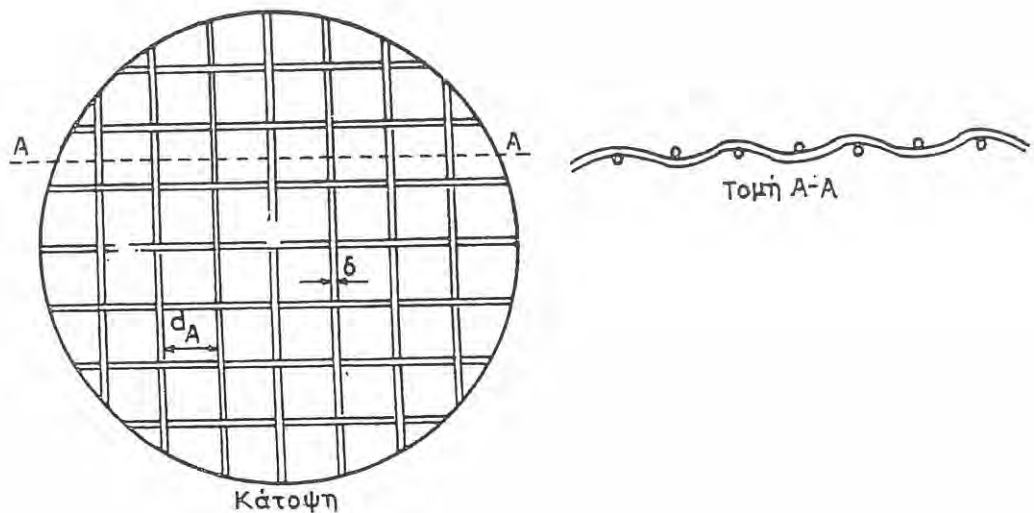
1. Κοσκίνιση η οποία βασίζεται στη διαφορά μεγέθους των σωματιδίων.
2. Μικροσκοπικές μέθοδοι οι οποίες βασίζονται στην παρακολούθηση και μέτρηση κάθε σωματιδίου χωριστά.
3. Φωτομετρικές μέθοδοι οι οποίες βασίζονται στην απορρόφηση ή στον σκεδασμό του φωτός.
4. Μετρητής Coulter, ο οποίος βασίζεται στην μέτρηση της ηλεκτρικής αντιστάσεως αιωρήματος σωματιδίων σε κατάλληλο υγρό παρουσία ηλεκτρολύτου.
5. Μέθοδος κατακαθίσεως δια της βαρύτητας και φυγοκεντρικής δυνάμεως, οι οποίες βασίζονται στην εξίσωση Stokes.
6. Προσορόφηση αερίων, η οποία βασίζεται στον υπολογισμό του όγκου μονομοριακού στρώματος προσροφημένου αερίου.

7. Διαπερατότητα κλίνης σωματιδίων, η οποία βασίζεται στις εξισώσεις Darcy, Carman-Kozeny.

Κοσκίνιση

Η κοσκίνιση είναι η απλούστερη και συνηθέστερη μέθοδος διαχωρισμού των σωμάτων μόνο ως προς το μέγεθος. Ο συνηθέστερος τύπος πλέγματος για κόσκινα είναι η απλή εναλλασσόμενη κάθετη ύφανση (σχήμα 8-1). Τα ανοίγματα (βροχίδες) είναι κανονικά τετράγωνα και η ύφανση αυτή είναι υποχρεωτική για τα πρότυπα κόσκινα. Τα μικρότερου μεγέθους σωματίδια ή "λεπτά" διέρχονται από τις βροχίδες του κοσκίνου ενώ τα μεγαλύτερου μεγέθους ή "χονδρά" δεν διέρχονται.

Σήμερα χρησιμοποιούνται οι ακόλουθες πρότυπες σειρές αναλυτικών κοσκίνων Γερμανικές DIN 1171 και DIN 4188, Γαλλικές A.F.N.O.R, Αμερικανικές Tyler και ASTM, Αγγλικές BSS 410 και Διεθνή ISO.



Σχήμα 8-1. Ύφανση πρότυπου κοσκίνου

Οι σειρές DIN 4188, BSS 410 και ISO μοιάζουν μεταξύ τους και χαρακτηρίζονται από το άνοιγμα των οπών d_A και το πάχος του σύρματος δ . Ο λόγος d_{A1}/d_{A2} μεταξύ δύο διαδοχικών κοσκίνων της σειράς DIN είναι 1,25.

Η σειρά Tyler όπως όλα τα αμερικανικά κόσκινα χαρακτηρίζονται από τον αριθμό mesh (N) που ορίζει τον αριθμό των βροχίδων (οπών) ανά 1 inch= 25,4 mm

$$N = 25400/(d_A + \delta) \quad (8-41)$$

Σαν βάση για την σειρά Tyler παίρνουμε το κόσκινο 200mesh με $\delta = 53\mu\text{m}$ και $d_A = 74\mu\text{m}$. Ο λόγος διαδοχικών κοσκινών d_{A1}/d_{A2} είναι $\sqrt{2} = 1,41$ ή $\sqrt[4]{2} = 1,18$.

Περισσότερες λεπτομέρειες και συσχέτιση μεταξύ των προτύπων σειρών δίνονται στον πίνακα 8-1.

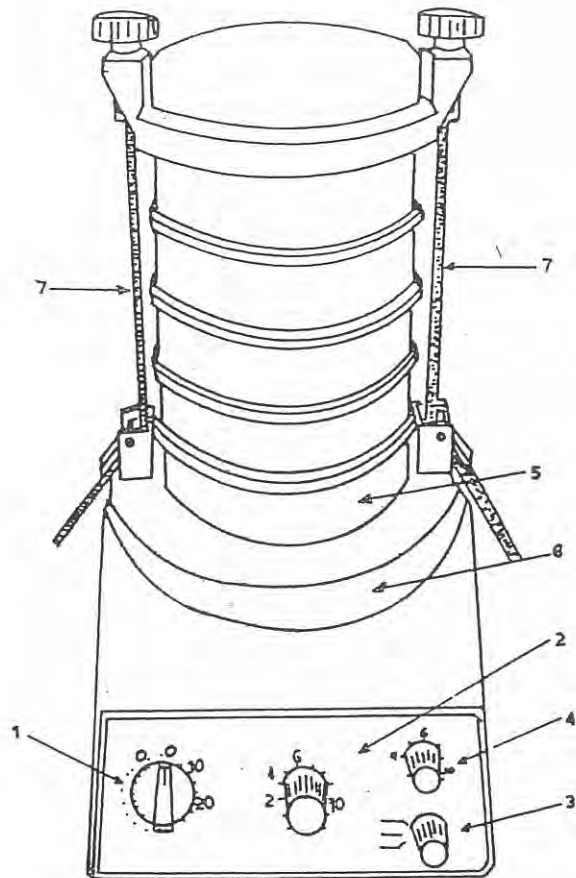
Πρακτικά ένα κόσκινο χωρίζει το υλικό σε δύο κλάσματα. Για να πάρουμε n κλάσματα πρέπει να κάνουμε (n-1) κοσκινίσεις. Τα πρότυπα κόσκινα είναι έτσι κατασκευασμένα ώστε να σχηματίζουν μια στήλη με ελαττούμενο άνοιγμα οπών (βροχίδων) από πάνω προς τα κάτω (σχήμα 8-2). Έτσι για να πάρουμε n κλάσματα απαιτούνται n-1 κόσκινα. Τα κλάσματα χαρακτηρίζονται από μια περιοχή μεγέθους σωματιδίων μεταξύ του ανοίγματος (d_{A1}) των οπών του κοσκινού που συγκρατείται και του ανοίγματος (d_{A2}) των οπών του αμέσως ανωτέρου κοσκινού που πέρασε.

Στα περισσότερα κόσκινα τα τεμαχίδια περνούν μέσω των οπών λόγω βαρύτητας με την βοήθεια ταχέων και με μικρό εύρος δονήσεων οι οποίες παράγονται είτε μηχανικά είτε ηλεκτρικά (σχήμα 8-2).

Ο χρόνος κοσκίνισης κυμαίνεται αναλόγως του υλικού μεταξύ 3 και 30 λεπτών. Ένα ικανοποιητικό τέλος κοσκίνισης θεωρείται ότι έχει επιτευχθεί όταν πρόσθετος χρόνος κοσκίνισης δεν μεταβάλλει τα αποτελέσματα αυτής κατά 0,4% ή το πολύ 1%.

Σε ορισμένα πολύ λεπτόκοκκα υλικά υπάρχει η τάση να προσκολλώνται οι λεπτότεροι κόκκοι σε μεγαλύτερους κόκκους πράγμα που μας οδηγεί σε εσφαλμένα αποτελέσματα. Τότε εφαρμόζεται η υγρή κοσκίνιση με ροή νερού δια των κοσκινών το οποίο παρασέρνει τους λεπτούς κόκκους.

Η παραλαβή του κλάσματος γίνεται με διήθηση και ξήρανση. Αν το υλικό είναι ευδιάλυτο στο νερό (άλατα) τότε αντί καθαρού νερού χρησιμοποιείται κορεσμένο διάλυμα του άλατος σε κατάλληλη θερμοκρασία.



Σχήμα 8-2. Πρότυπα κόσκινα με δονητή. 1- Χρονοδιακόπτης, στην ένδειξη 0 κλειστό, στην ένδειξη ο ανοικτό και για τις ενδείξεις 0-60min σαν αυτόματος χρονοδιακόπτης. 2- Ρυθμιστής πλάτους δονήσεως. 3- Επιλογέας δονήσεως, με ένδειξη "inter" και "perm" για 3000 ταλαντώσεις το λεπτό, για διακοπτόμενη ή συνεχή κοσκίνιση αντίστοιχα και "micro" για 6000 ταλαντώσεις το λεπτό χωρίς το πλάτος της ταλάντωσης να εξαρτάται από το κουμπί (2). 4- Ρυθμιστής εύρους διακοπής λειτουργίας (interval), τοποθετεί ένα διάλειμμα στη λειτουργία του οργάνου, όταν το κουμπί (3) είναι στην ένδειξη "inter", 0,5 sec για κάθε 3 έως 10 sec. 5- Λεκάνη που τοποθετείται στο κάτω μέρος της στήλης των κοσκίνων και το καπάκι με κατάλληλες υποδοχές για την στερέωση των κοσκίνων. 6- δονούμενος δίσκος στον οποίο τοποθετείται η στήλη των κοσκίνων. 7- Δύο μάντες με ειδικούς κοχλίες.

Επεξεργασία αποτελεσμάτων

Διαφορική κατανομή

1. Συμπληρώνουμε τον παρακάτω πίνακα I.

Πίνακας I

α/ α	Περιοχή μεγέθους από x_1 έως x_2 mm	Δx $x_2 - x_1$ mm	$x = \frac{x_1 + x_2}{2}$ mm	$\Delta \Phi$ %	$\Delta \Phi / \Delta x$ %/ mm	κ. $\Delta \Phi$ % mm
1.						
2.						
3.						
4.						
.						
.						
.				$\Sigma \Delta \Phi \% =$		$\Sigma x \Delta \Phi =$

Παρατήρηση: Πιθανώς κατά τη διεργασία να έχουμε απώλεια βάρους. Τότε σαν συνολικό βάρος δείγματος παίρνουμε το άθροισμα των ποσοτήτων που ζυγίσθηκε τελικά.

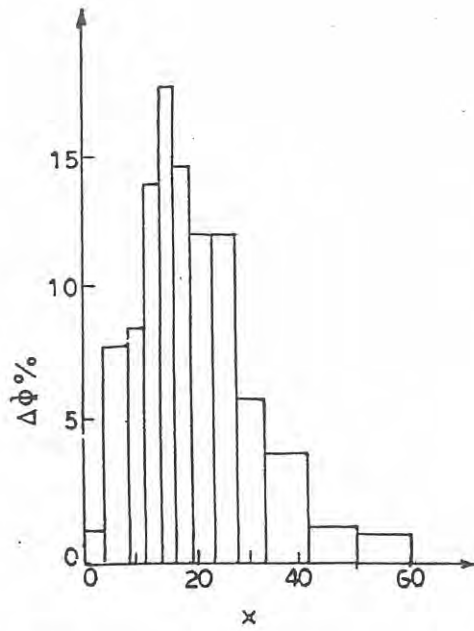
2. Βρίσκουμε την μέση τιμή μεγέθους σωματιδίων από τη σχέση 8-5. Κατασκευάζουμε τα διαγράμματα % $\Delta \Phi = f(x)$ (σχήμα 8-3), $\Delta \Phi / \Delta x = f(x)$ (σχήμα 8-4) και $\Delta \Phi / \Delta x = f(\log x)$ (σχήμα 8-5).

Αθροιστική κατανομή

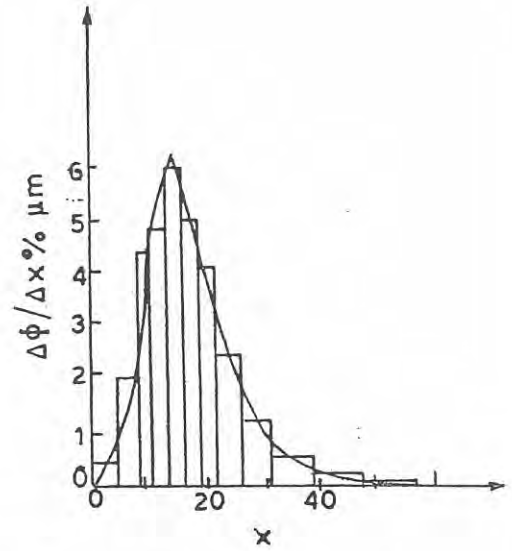
1. Συμπληρώνουμε τον παρακάτω πίνακα II.

Πίνακας II

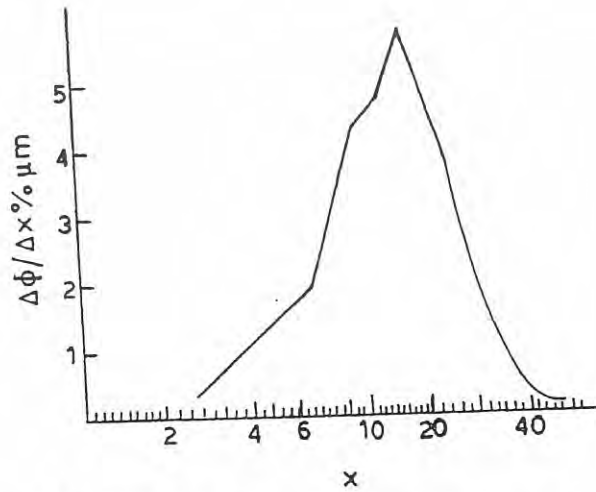
α/α	Περιοχή μεγέθους από x_1 έως x_2 mm	x_2 mm	$\Delta \Phi$ %	D %	R %
1.					
2.					
3.					
4.					
.					
.					
.					



Σχήμα 8-3. Γραφική παράσταση $\Delta\Phi\% = f(x)$



Σχήμα 8-4. Γραφική παράσταση $\Delta\Phi/\Delta x = f(x)$



Σχήμα 8-5. Γραφική παράσταση $\Delta\Phi/\Delta x = f(\log x)$.

Πίνακας 8-1. Συγκριτικός πίνακας των σειρών κόσκινων U.S.A., Αγγλίας, Γαλλίας, Γερμανίας με τα ισοδύναμα κόσκινα της σειράς Tyler.

TYLER(1)	Η.Π.Α.(2)		Αγγλικών (3)		Γαλλικών(4)		Γερμανικών DIN(5)		TYLER(1)
Ισοδύν. Mesh	Μέγεθος	Ανοιγμα mm	Νο	Ανοιγμα mm	Νο	Ανοιγμα mm	Ανοιγμα mm	Ανοιγμα mm	Ισοδύν. Mesh
	4.24"	107.6							
	4"	101.6							
	3 1/2"	90.5							
	3"	76.1							
	2 1/4"	64.0							
	2.12"	53.8							
	2"	50.8							
	1 3/4"	45.3							
	1 1/2"	38.1							
1.05"	1 1/4"	32.0							
	1.06"	26.9							
	1"	25.4						25.0	1.05"
.863"	3/4"	19.0						20.0	.863"
.742"									.742"
.624"	1/2"	15.0						15.0	.624"
.525"	.530"	13.5						16.0 *	.525"
	1/2"	12.7						12.5	
.441"	3/8"	11.2							.441"
.371"	3/8"	9.51						10.0	
.312"	3/8"	8.00						8.0 *	.312"
.263"	3/8"	6.35						6.3	.263"
	No. 3 1/2	5.66							
3 1/2"									3 1/2"
4"	4"	4.76			28	5.000		5.0	4"
5"	5"	4.00			37	4.000		4.0 *	5"
6"	6"	3.36	5	3.353					6"
7"	7"	2.83	6	2.812	36	3.150		3.15	7"
8"	8"	2.38	7	2.411	35	2.500		2.5	8"
9"	10"	2.00	8	2.057	34	2.000		2.0 *	9"
10"	12"	1.68	10	1.676	33	1.600		1.6	10"
12"	14"	1.41	12	1.405					12"
14"	16"	1.19	14	1.204	32	1.250		1.25	14"
16"	18"	1.00	16	1.003	31	1.000		1.0 *	16"
20"	20"	0.841	18	.853					20"
24"	25"	0.707	22	.698	30	.800	.800	.800	24"
28"	30"	0.595	25	.599	29	.630	.630	.630	28"
32"	35"	0.500	30	.500	28	.500	.500 *	.500 *	32"
35"	40"	0.420	36	.422					35"
42"	45"	0.354	44	.353	27	.400	.400	.400	42"
48"	50"	0.297	52	.295	26	.315	.315	.315	48"
60"	60"	0.250	60	.251	25	.250	.250 *	.250 *	60"
66"	70"	0.210	72	.211	24	.200	.200	.200	66"
80"	80"	0.177	85	.178	23	.180	.180	.180	80"
100"	100"	0.149	100	.152					100"
115"	120"	0.125	120	.124	22	.125	.125	.125 *	115"
150"	140"	0.105	150	.104					150"
170"	170"	0.098	170	.099	21	.100	.100	.100	170"
200"	200"	0.074	200	.076	20	.080	.080	.080	200"
250"	230"	0.063	240	.066	19	.063	.071	.061 *	250"
270"	270"	0.053	300	.053			.063	.056 *	270"
325"	325"	0.044			18	.050	.050	.045 *	325"
400"	400"	0.037			17	.040	.040	.040 *	400"

1. Κόσκινα σειράς Tyler.
 2. Κόσκινα σειράς Η.Π.Α. - Κατηγορία ASTM E-11-61
 3. Κόσκινα σειράς Αγγλίας, Λονδίνου BS-410
 4. Κόσκινα σειράς Γαλλίας, AFNOR X-11-501
 5. Κόσκινα σειράς Γερμανίας, DIN 4188
- * Κόσκινα σειράς ISO (Internasional Standard)

2. Πειραματικό Μέρος

Περιγραφή συσκευής

Η συσκευή που θα εκτελεσθεί το πείραμα αποτελείται από τον δονητή κοσκίνων, από τη σειρά προτύπων κοσκίνων με τα βοηθητικά σκεύη και από το σύστημα εκκενώσεως των κοσκίνων (σχήμα 8-2). Ο δονητής προσδίδει στα κόσκινα κάθετη δόνηση με ηλεκτρομαγνητικό μηχανισμό. Τα πρότυπα κόσκινα είναι κυλινδρικά με διάμετρο 200 mm και ύψος 50 mm, έχουν δε πλαστικό δακτύλιο για να σφραγίζουν μεταξύ τους.

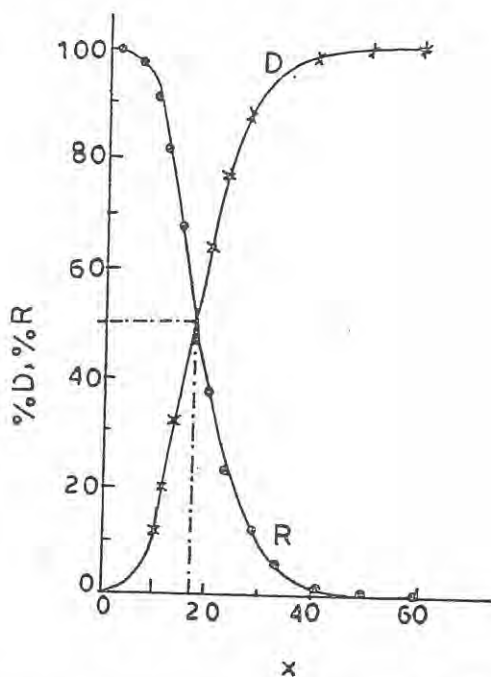
Ο δονητής έχει μια ειδική κλίμακα που μας επιτρέπει τον έλεγχο και την ρύθμιση του πλάτους ταλαντώσεως. Κατά την λειτουργία του οργάνου οι δύο γραμμές που σχηματίζουν γωνία φαίνονται σε κάποιο σημείο να ενώνονται, αυτή είναι και η ανάγνωση της κλίμακας.

Πάνω σε κάθε πλέγμα κοσκίνου τοποθετούνται 5 πλαστικές μπάλες διαμέτρου 20mm για την υποβοήθηση της κοσκίνησης. Μετά το τέλος της κοσκίνησης τα κόσκινα αδειάζονται σε προζυγισμένα φιαλίδια με την βοήθεια ειδικού χωνιού.

Εκτέλεση του πειράματος

1. Τοποθετούμε τα αναλυτικά κόσκινα στον δονητή με αυξανόμενη διάμετρο βρόγχων από κάτω προς τα πάνω.
2. Ζυγίζουμε ποσότητα σιδηροπυρίτη (ορίζεται κατά την διεξαγωγή του πειράματος) και μεταφέρουμε το υλικό στο πρώτο κόσκινο στη στήλη των αναλυτικών κοσκίνων.
3. Τοποθετούμε το καπάκι και σφίγγουμε τους μάντες ώστε να έχουν την ίδια τάση.
4. Τοποθετούμε το κουμπί (3) στην ένδειξη inter και το κουμπί (4) στην ένδειξη 0, τον χρονοδιακόπτη (1) στην ένδειξη 10 min και ρυθμίζουμε το πουμπί (2) στην ένδειξη 6-7.
5. Μετά το τέλος του χρόνου κοσκίνησης αδειάζουμε τα κόσκινα χωριστά σε προζυγισμένα φιαλίδια με την βοήθεια της διαχωριστικής χοάνης με ψήκτρα και ζυγίζουμε το βάρος του υλικού που συγκράτησε κάθε κόσκινο.
6. Καθαρίζουμε με αέρα υπό πίεση τα κόσκινα.
7. Αναγράφουμε τις μετρήσεις στον πίνακα I και τις επεξεργαζόμαστε όπως αναφέρεται στην επόμενη παράγραφο.

2. Κατασκευάζουμε το διάγραμμα $\% D = f(x_2)$ και $\% R = f(x_2)$ (σχήμα 8-6) και από την τιμή $\% D = 50$ ή $\% R = 50$ βρίσκουμε την μέση τιμή μεγέθους των σωματιδίων.



Σχήμα 8-6. Γραφική παράσταση του $\% D$ και $\% R$ ως συνάρτηση του x .

Λογαριθμική κανονική κατανομή

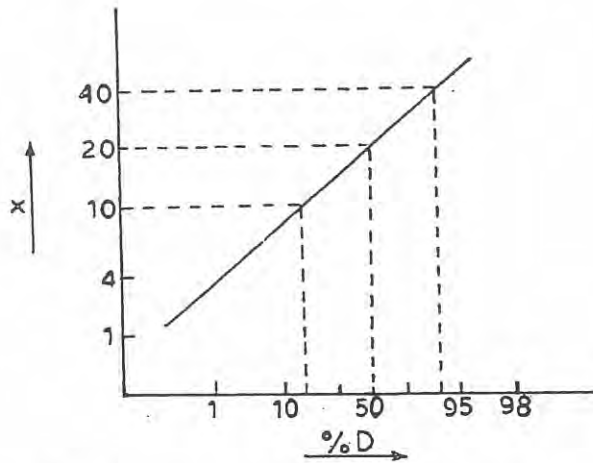
1. Κατασκευάζουμε το διάγραμμα $\log x = f(\% D)$ σε κλίμακα πιθανοτήτων (σχήμα 8-7).
2. Βρίσκουμε το $\bar{x}_g = x_{50}$ και το $\sigma_g = \frac{x_{84}}{x_{50}} = \frac{x_{50}}{x_{16}}$, υπολογίζουμε το $\bar{z} = \ln \bar{x}_g$ και $\sigma_z = \ln \sigma_g$.
3. Συμπληρώνουμε τον παρακάτω πίνακα III.
4. Κατασκευάζουμε το διάγραμμα $y' = f(\log x)$ (σχήμα 8-8).

Κατανομή Rosin-Rammler

1. Στο νομογράφημα Rosin-Rammler (σχήμα 8-9) κατασκευάζουμε την ευθεία a και από τη τιμή της γ για $R = 36,8$ βρίσκουμε την χαρακτηριστική διάμετρο x_{12}

Πίνακας III

α/α	x	z = ln x	y = $\frac{\Delta\Phi}{\Delta(\ln x)}$	y' = $\frac{\Delta\Phi}{\Delta(\log x)}$

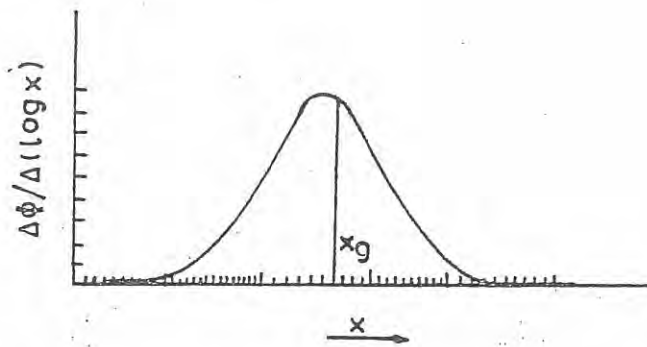


Σχήμα 8-7. Γραφική παράσταση $\log x = f(\%D)$

των κόκκων, τον συντελεστή ομοιομορφίας n και την ιδανική ειδική επιφάνεια του υλικού. Τα αποτελέσματα σημειώνονται στον πίνακα V.

Πίνακας IV

- α) Επικρατέστερη τιμή μεγέθους κόκκων m
- β) Συντελεστής ομοιομορφίας
- γ) Ιδανική ειδική επιφάνεια υλικού m^2/kg



Σχήμα 8-8. Γραφική παράσταση του $y' = \Delta\Phi/\Delta(\log x)$ ως συνάρτηση του $\log x$.

Εύρεση άλλων μέσων διαμέτρων κόκκων

1. Συμπληρώνουμε τον παρακάτω πίνακα V

Πίνακας V

Δεδομένα για σιδηροπυρίτη: $\alpha_V = 0,3$, $\alpha_S = 2,7$, $\rho = 5 \text{ gr/cm}^3$

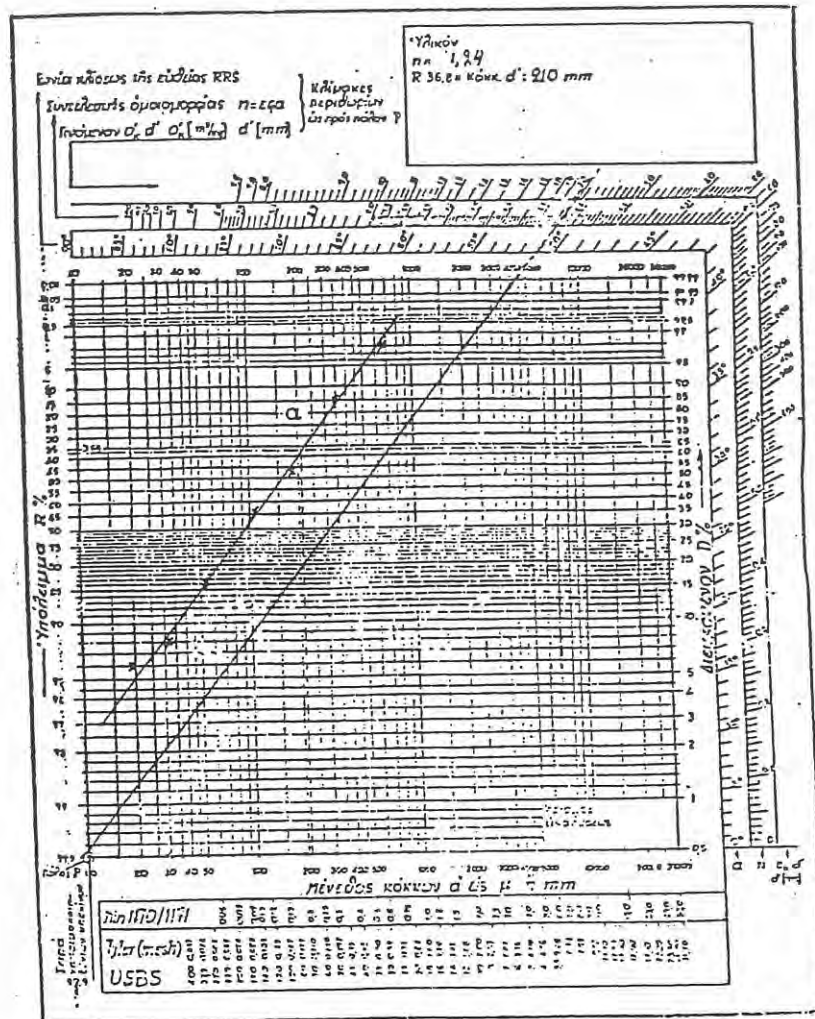
$x = \frac{x_1+x_2}{2}$ mm	ΔW gr	$\Delta N = \frac{\Delta \Sigma}{\rho \alpha_V x^3}$	$x \Delta N$	$x^2 \Delta N$	$x^3 \Delta N$	$x^4 \Delta N$
	$\Sigma \Delta W = \dots$	$\Sigma \Delta N = \dots$	$\Sigma x \Delta N = \dots$	$\Sigma x^2 \Delta N = \dots$	$\Sigma x^3 \Delta N = \dots$	$\Sigma x^4 \Delta N = \dots$

* $\Sigma \Delta W \sim 1$

- | | | | |
|---------------------|-----|-------------------------|-----|
| \bar{x}_N : | (m) | $\bar{x}_{N,S}$: | (m) |
| \bar{x}_L : | (m) | $\bar{x}_{V,S}$: | (m) |
| \bar{x}_S : | (m) | S: | (m) |
| \bar{x}_W : | (m) | t: | (m) |
| \bar{x}_V : | (m) | | |

ΝΟΜΟΓΡΑΦΗΜΑ

από το οποίο υπολογίζεται η χαρακτηριστική διάμετρος κόκκων d' , ο συντελεστής ομοιομορφίας n , και η ειδική επιφάνεια υλικού O'_x από την κοκκομετρική ανάλυση με κόσκινα κατά DIN 4190.



2. Υπολογίζουμε τις αντίστοιχες μέσες διαμέτρους βάσει του πληθυσμού \bar{N}_i (σχέση 8-12) βάσει του μήκους \bar{X}_L (σχέση 8-26), βάσει της επιφανείας \bar{X}_S (σχέση

8-27), βάσει του όγκου ή της μάζας \bar{x}_w ή \bar{x}_v (σχέση 8-28), βάσει πληθυσμού-επιφάνειας $\bar{x}_{N,S}$ (σχέση 8-29) και βάσει πληθυσμού-όγκου $\bar{x}_{V,S}$ (σχέση 8-30) και τις σημειώνουμε στον ίδιο πίνακα V.

3. Συγκρίνουμε αυτές τις τιμές με την μεσαία τιμή μεγέθους που υπολογίσαμε με την αθροιστική κατανομή.

4. Υπολογίζουμε την ειδική επιφάνεια S από τις σχέσεις 8-35 και 8-40 και τις συγκρίνουμε με την ιδανική ειδική επιφάνεια που υπολογίσαμε από το νομογράφημα Rosin-Rammler.

5. Υπολογίζουμε τον συντελεστή Heywood (f)

$$S = \frac{f}{\rho} \cdot O'K \quad (8-41)$$

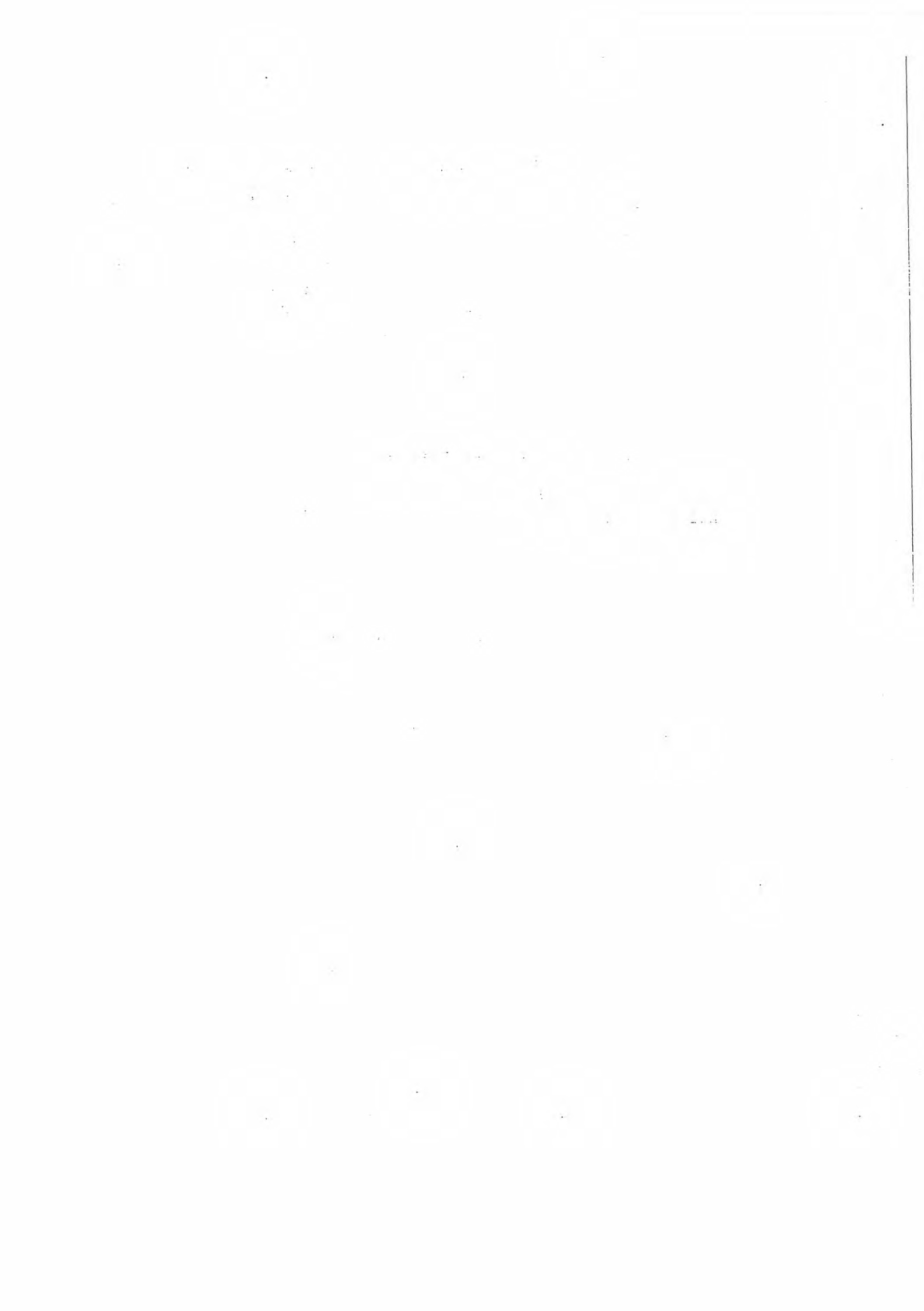
όπου: S- ειδική επιφάνεια, ρ - πυκνότητα, O'K- ιδανική ειδική επιφάνεια.

Απαιτούμενα όργανα και συσκευές

1. Σύστημα αναλυτικών κοσκίων ISO.
2. Υλικό για κοσκίνιση.

Βιβλιογραφία

1. Α.Θ.Σδούκου, "Φυσικές Διεργασίες της Χημικής Τεχνολογίας. Μέρος I-Μηχανική των Ρευστών και Τεχνική Σωματιδίων", 3η έκδοση, Ιωάννινα, 1993.
2. Κ.Μ.Σιπητάνου, "Τεχνική Εργαστηριακών Ασκήσεων Γενικής και Ανοργάνου Τεχνολογίας", Θεσσαλονίκη, 1979.
3. Α.Θ. Δεληγιάννη, "Χημική Μηχανολογία, Τεύχος I, Τεχνική των Στερεών", Αθήνα, 1958.
4. W.L.Mc Cabe, J.C.Smith, "Βασικές Φυσικές Διεργασίες Χημικής Μηχανικής", Έκδοση Τ.Ε.Ε. Αθήνα, 1971.



Άσκηση 9: ΜΕΛΕΤΗ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΚΟΣΚΙΝΟΥ

Σκοπός

Σκοπός της άσκησης είναι:

1. Η κατανόηση των αρχών λειτουργίας των βιομηχανικών κοσκίνων.
2. Η μελέτη της κοσκίνισης σε κεκλιμένο στάσιμο κόσκινο ασυνεχούς λειτουργίας, δηλαδή η εύρεση του βαθμού απόδοσης και της δυναμικότητας του κοσκίνου.

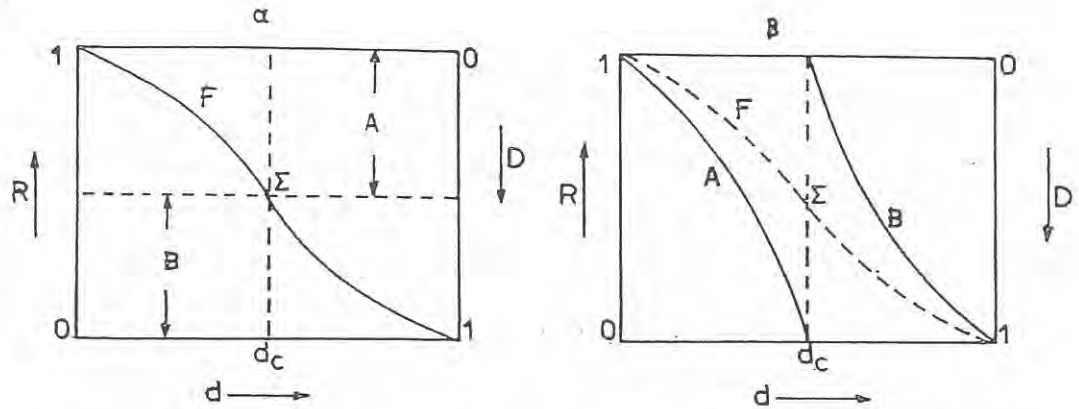
1. Θεωρητικό Μέρος

Βασικές αρχές κοσκίνισης

Η κοσκίνιση είναι μέθοδος διαχωρισμού στερεών μόνο ως προς το μέγεθος. Στη βιομηχανική κοσκίνιση τα στερεά ρίπτονται στην επιφάνεια του κοσκίνου η οποία φέρει ομοιόμορφες οπές (βροχίδες). Με την σχετική κίνηση του υλικού ως προς την επιφάνεια του κοσκίνου παίρνουμε δύο προϊόντα το πέρασμα D και το υπόλειμμα R .

Μια ιδανική κοσκίνιση θα διαχώριζε με ακρίβεια το υλικό τροφοδοσίας κατά τρόπο ώστε το μικρότερο μέγεθος κόκκων του υπολείμματος να είναι λίγο μεγαλύτερο από το άνοιγμα των οπών του κοσκίνου και το μεγαλύτερο μέγεθος των κόκκων του περάσματος να είναι λίγο μικρότερο ή ίσο με το άνοιγμα των οπών του κοσκίνου.

Η σύγκριση της κοκκομετρικής ανάλυσης του υλικού του περάσματος και του υπολείμματος για την ιδανική κοσκίνιση σε κόσκινο με άνοιγμα βροχίδας d_c δίνεται στο σχήμα 9-1.



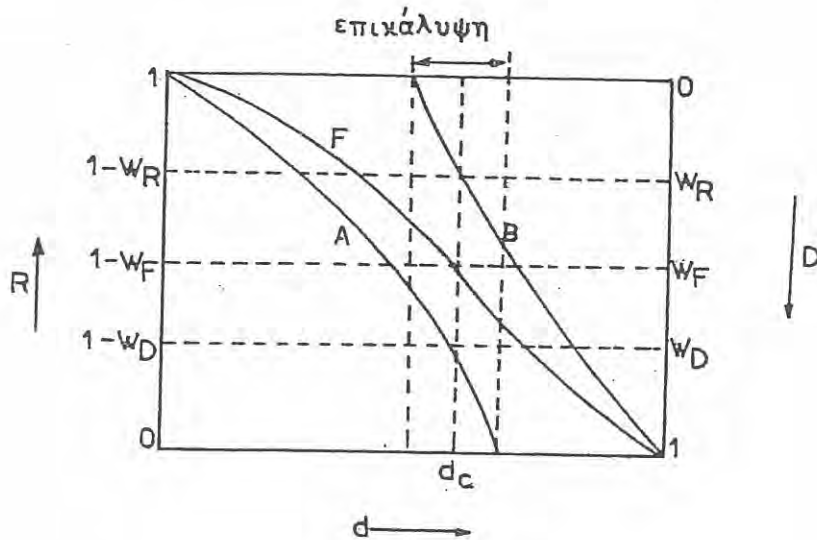
Σχήμα 9-1. Αθροιστικές κατανομές για ιδανική κοσκίνιση. (α): Αθροιστική κατανομή τροφοδοσίας. (β): Αθροιστικές κατανομές περάσματος A και υπολείμματος B.

Το σημείο Σ στην καμπύλη F είναι το σημείο διαχωρισμού. Το κλάσμα A αποτελείται από κόκκους μικρότερους της διαμέτρου διαχωρισμού (d_c) και το κλάσμα B αποτελείται από κόκκους μεγαλύτερους της διαμέτρου διαχωρισμού. Στο σχήμα 9-1β παρατηρούμε ότι το τελευταίο σημείο της καμπύλης A έχει την ίδια τετμημένη με το πρώτο σημείο της καμπύλης B και δεν υπάρχει επικάλυψη καμπυλών.

Στην πραγματική κοσκίνιση όμως δεν έχουμε ακριβή διαχωρισμό. Έτσι κόκκοι μεγαλύτερου μεγέθους της διαμέτρου διαχωρισμού υπάρχουν στο πέρασμα αλλά και κόκκοι μικρότερου μεγέθους της διαμέτρου διαχωρισμού υπάρχουν στο υπόλειμμα. Οι αθροιστικές κατανομές μιας πραγματικής κοσκίνισης δίνονται στο σχήμα 9-2. Οι δύο καμπύλες περάσματος (A) και υπολείμματος (B) επικαλύπτονται μερικώς.

Οι ακριβέστεροι διαχωρισμοί (μικρή επικάλυψη των καμπυλών) επιτυγχάνονται σε σφαιρικούς κόκκους. Η επικάλυψη των καμπυλών έχει μεγαλύτερο πλάτος σε κόκκους βελονοειδείς ή ινώδεις ή όταν οι κόκκοι έχουν

την τάση να συσσωματώνονται σε βύλους οι οποίοι συμπεριφέρονται σαν μεγαλύτεροι κόκκοι.



Σχήμα 9-2. Αθροιστικές κατανομές τροφοδοσίας (F) περάσματος (A), και υπολείμματος (B) για πραγματική κοσκίνιση.

Από το ισοζύγιο μάζας για το κόσκινο προκύπτει ότι για το σύνολο της τροφοδοσίας έχουμε:

$$F = D + R \quad (9-1)$$

για την τροφοδοσία του κλάσματος A (λεπτά) έχουμε:

$$FW_F = DW_D + RW_R \quad (9-2)$$

για την τροφοδοσία του κλάσματος B (χονδρά) έχουμε:

$$F(1 - W_F) = D(1 - W_D) + R(1 - W_R) \quad (9-3)$$

όπου: F - ρυθμός ροής (kg/s) τροφοδοσίας, D - ρυθμός ροής (kg/s) περάσματος, R - ρυθμός ροής (kg/s) υπολείμματος, W_F - κλάσμα μάζας λεπτών στην τροφοδοσία, $1-W_F$ - κλάσμα μάζας χονδρών στην τροφοδοσία, W_D - κλάσμα μάζας λεπτών στο πέρασμα, $1-W_D$ - κλάσμα μάζας χονδρών στο πέρασμα, W_R - κλάσμα μάζας λεπτών στο υπόλειμμα, $1-W_R$ - κλάσμα μάζας χονδρών στο υπόλειμμα,

Ο βαθμός ανάκτησης των λεπτών στο πέρασμα (η_D) δίνεται από τη σχέση:

$$\eta_D = \frac{DW_D}{FW_F} \quad (9-4)$$

Με απαλειφή του R από τις εξισώσεις 9-1 και 9-2 ή 9-1 και 9-3 προκύπτει:

$$\frac{D}{F} = \frac{W_F - W_R}{W_D - W_R} \quad (9-5)$$

και η σχέση 9-4 γίνεται:

$$\eta_D = \frac{W_D(W_F - W_R)}{W_F(W_D - W_R)} \quad (9-6)$$

Ο βαθμός ανάκτησης των χονδρών στο υπόλειμμα (η_R) δίνεται από τη σχέση

$$\eta_R = \frac{(1 - W_R)R}{(1 - W_F)F} \quad (9-7)$$

Με απαλειφή του D από τις εξισώσεις 9-1 και 9-2 ή 9-1 και 9-3 προκύπτει:

$$\frac{R}{F} = \frac{W_D - W_F}{W_D - W_R} \quad (9-8)$$

και η σχέση 9-7 γίνεται:

$$\eta_R = \frac{(1 - W_R)(W_D - W_F)}{(1 - W_F)(W_D - W_R)} \quad (9-9)$$

Ο συνολικός βαθμός απόδοσης του κοσκίνου (η) ορίζεται από το γινόμενο των βαθμών ανακτήσεως

$$\eta = \eta_D \cdot \eta_R = \frac{W_D(1-W_R)(W_F-W_R)(W_D-W_F)}{W_F(1-W_F)(W_D-W_R)^2} \quad (9-10)$$

Η δυναμικότητα ενός κοσκίνου υπολογίζεται με την μάζα του υλικού τροφοδοσίας ανά μονάδα χρόνου και ανά μονάδα επιφάνειας του κοσκίνου ($\text{kg}/\text{m}^2 \cdot \text{sec}$). Η δυναμικότητα ενός κόσκινου είναι ουσιώδης για την βιομηχανία και είναι παράγοντας αντίθετος της απόδοσης αυτού. Για να επιτευχθεί μεγάλη απόδοση η δυναμικότητα πρέπει να είναι μικρή και αντίστροφα.

Ο βαθμός κοσκίνισης ενός κόσκινου ρυθμίζεται απλά με τη μεταβολή της ταχύτητας τροφοδοσίας F (kg/sec) του κόσκινου. Ο ρυθμός κοσκίνισης δίνεται από τη σχέση:

$$\text{Ρυθμός κοσκίνισης} = (\text{Δυναμικότητα}) \times (\text{Επιφάνεια κοσκίνου}) \quad (9-11)$$

Η πιθανότητα να διέλθει ένας κόκκος, μικρότερου μεγέθους από το άνοιγμα των οπών του κόσκινου, εξαρτάται από το πόσες φορές θα βρεθεί στην επιφάνεια του κόσκινου, αν χτυπήσει την επιφάνεια κάθετα, αν είναι προσανατολισμένος ώστε η μικρότερη διάστασή του να είναι παράλληλη προς την κοσκινίζουσα επιφάνεια και την πιθανότητα να χτυπήσει ο κόκκος σε οπή ή σε στερεό μέρος του κόσκινου.

Στην πράξη η απόδοση ενός κόσκινου επηρεάζεται αρνητικά από την έμφραξη του κόσκινου, από την συνοχή των κόκκων, από την υγρασία του υλικού και από ένα στρώμα μεγάλων κόκκων οι οποίοι σχηματίζονται στην επιφάνεια του κόσκινου κατά την κίνησή του και εμποδίζουν τους μικρούς κόκκους να φτάσουν το κόσκινο.

Βιομηχανικά κόσκινα

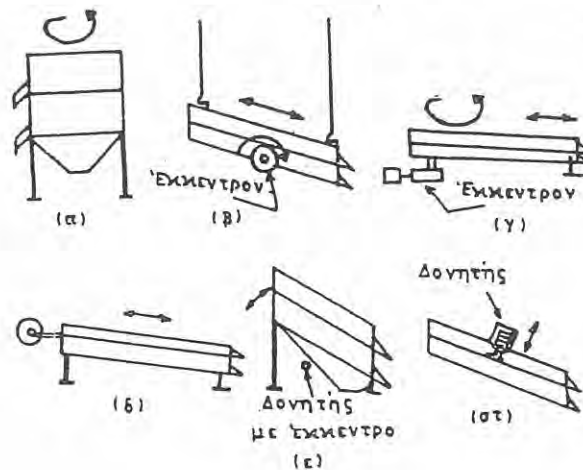
Τα βιομηχανικά κόσκινα κατασκευάζονται από μεταλλικές ράβδους, μεταλλικά ελάσματα διάτρητα ή με σχισμές, πλέγματα συρμάτινα ή από ύφασμα (μετάξι). Τα μέταλλα τα οποία χρησιμοποιούνται είναι απλός ή ανοξείδωτος χάλυβας, ορείχαλκος, χαλκός, νικέλιο και κράμα Monell κλπ.

Η κατασκευή της επιφάνειας ενός κόσκινου ποικίλει ανάλογα με την χρήση του. Διάτρητα χαλυβδόφυλλα έχουν μεγάλη αντοχή, μεγάλη διάρκεια ζωής και χρησιμοποιούνται για σκληρές εργασίες και συνήθως για μεγάλα μεγέθη κόκκων. Για μικρά μεγέθη χρησιμοποιούνται πλέγματα από σύρματα.

Στη βιομηχανία χρησιμοποιούνται συνήθως τέτοια πλέγματα με ορθογώνια ή ρομβικά ανοίγματα γιατί δεν βουλώνουν τόσο ευκολα όσο αυτά που έχουν κανονικά τετράγωνα. Αυτό οφείλεται στο ότι στα επιμήκη ανοίγματα οι κόκκοι έρχονται σε επαφή με τρεις το πολύ πλευρές του ανοίγματος και τις περισσότερες φορές μόνο με δύο, ενώ στα ανοίγματα με κανονικό τετράγωνο έρχονται σε επαφή με τρεις τουλάχιστον πλευρές.

Οι ράβδοι έχουν τραπεζοειδή διατομή με την μικρότερη έδρα προς τα κάτω, έτσι ώστε να μην σφηνώνουν οι κόκκοι μεταξύ δύο ράβδων. Αυτό το σχήμα των ράβδων μας επιτρέπει να τις κατασκευάσουμε με αρκετό πάχος και φυσικά αυξημένη αντοχή.

Τα βιομηχανικά κόσκινα διακρίνονται σε στάσιμα και κινητά. Ανάλογα με το σχήμα της επιφάνειάς τους διακρίνονται σε επίπεδα και κυλινδρικά (τύμπανα). Ανάλογα δε με την κίνησή τους σε οριζόντια και κεκλιμένα. Στα στάσιμα κόσκινα εκτελείται παλινδρομική κίνηση παράλληλη προς την επιφάνεια. Τα κινητά κόσκινα διακρίνονται σε περιστρεφόμενα και δονούμενα. Κινήσεις επίπεδων κόσκινων δίνονται στο σχήμα 9-3.

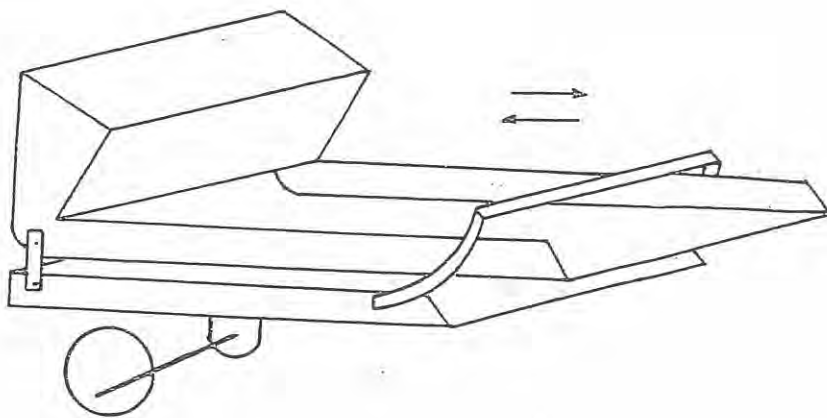


Σχήμα 9-3. Κινήσεις επίπεδων κόσκινων. α) περιστροφική σε οριζόντιο επίπεδο, β) παλινδρομική κοσκίνιση, γ) περιστροφική στο ένα άκρο και ανατάραξη στο άλλο, δ) μηχανική δόνηση, στ) ηλεκτρική δόνηση.

2. Πειραματικό Μέρος

Περιγραφή της συσκευής

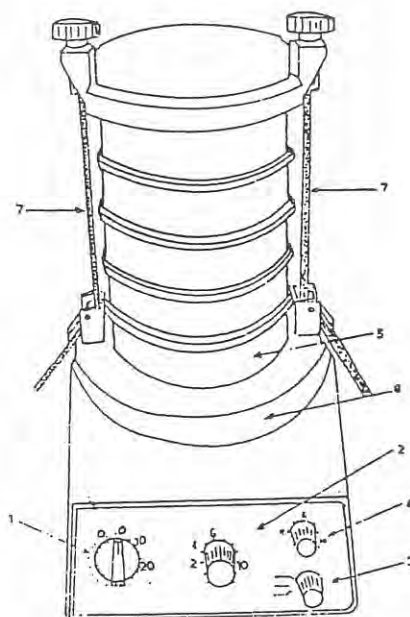
Η όλη διάταξη είναι ένα επίπεδο κεκλιμένο στάσιμο κόσκινο ασυνεχούς λειτουργίας. Αποτελείται από το καθαυτό κόσκινο, τους συλλέκτες του υπολείμματος και του περάσματος και την συσκευή ανατάραξης που προσδίδει στο κόσκινο παλινδρομική ταλάντωση (σχήμα 9-4). Στο πείραμα χρησιμοποιείται και διάταξη αναλυτικών κόσκινων για την εύρεση της κατανομής των κόκκων στην τροφοδοσία, στο πέρασμα και στο υπόλειμμα (σχήμα 9-5).



Σχήμα 9-4. Συσκευή κοσκίνησης

Διεξαγωγή του πειράματος

1. Καθαρίζουμε όλα τα κόσκινα που πρόκειται να χρησιμοποιηθούν για την διεξαγωγή του πειράματος.
2. Ζυγίζουμε ποσότητα υλικού, που προσδιορίζεται στο εργαστήριο, με ακρίβεια $\pm 0,01g$ και με την βοήθεια των αναλυτικών κόσκινων βρίσκουμε την αθροιστική κατανομή της τροφοδοσίας.
3. Ζυγίζουμε ορισμένη ποσότητα υλικού και την υποβάλλουμε σε κοσκίνιση για ορισμένο χρόνο. Η ποσότητα του υλικού και ο χρόνος κοσκίνισης θα ορισθούν κατά τη διάρκεια της άσκησης.



Σχήμα 9-5. Πρότυπα κόσκινα με δονητή.

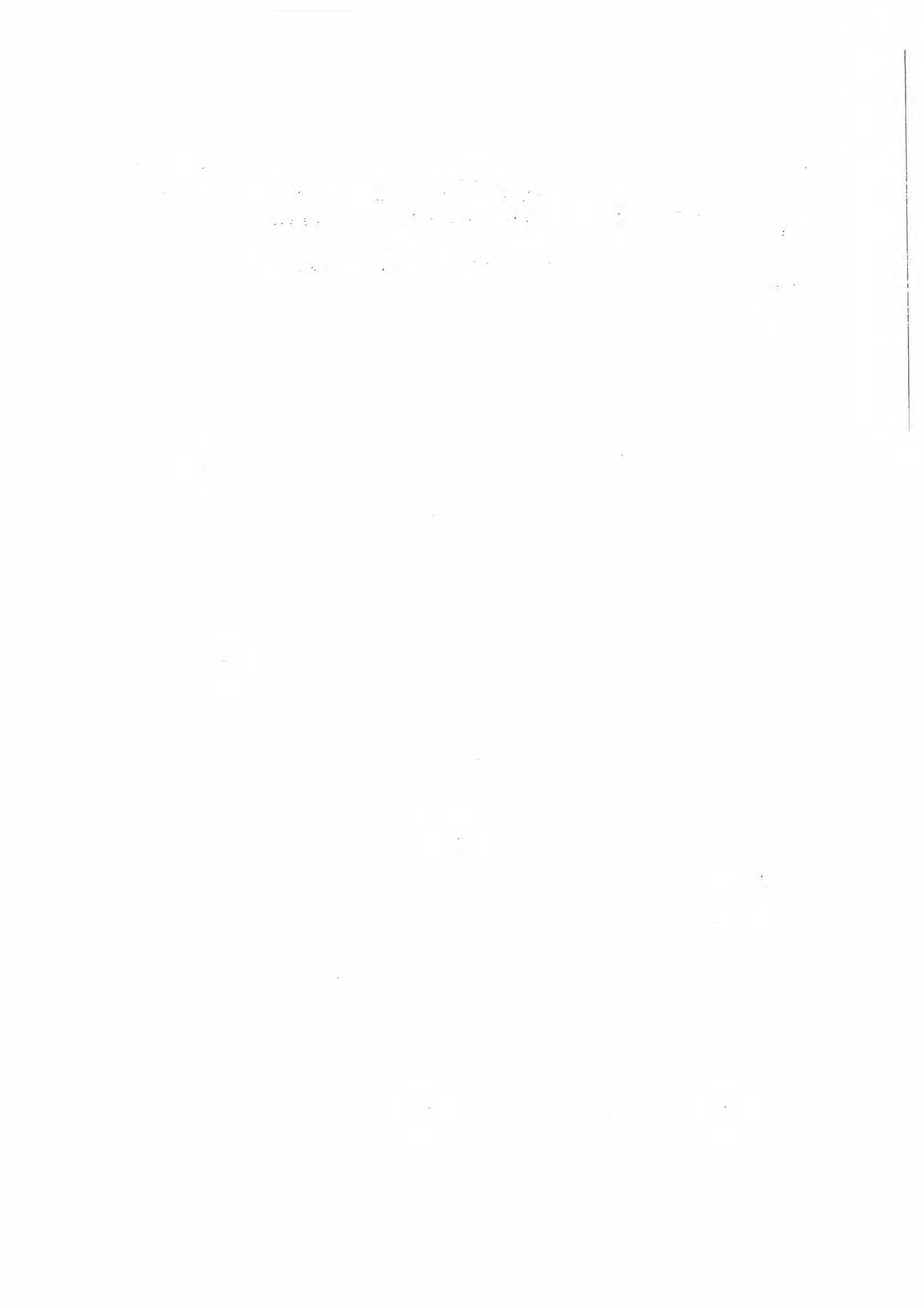
4. Από το πέρασμα με την μέθοδο δειγματοληψίας του "κώνου-τετάρτου" παίρνουμε περίπου 100gr και βρίσκουμε την αθροιστική κατανομή του περάσματος με τα αναλυτικά κόσκινα.
5. Κάνουμε το ίδιο στο υπόλειμμα και βρίσκουμε την αθροιστική κατανομή του υπολείμματος.
6. Με βάση το άνοιγμα του κόσκινου d_c που θα ορισθεί κατά την διάρκεια της άσκησης, υπολογίζουμε τα κλάσματα μάζης λεπτών-χονδρών στην τροφοδοσία, πέρασμα, υπόλειμμα (σχήμα 9-2).
7. Υπολογίζουμε τον βαθμό ανακτίσεως των λεπτών στο πέρασμα η_D (εξίσωση 9-4), τον βαθμό ανάκτησης των χονδρών στο υπόλειμμα η_R (εξίσωση 9-7) και τον συνολικό βαθμό αποδόσεως του κοσκίνου η (εξίσωση 9-10).
8. Καθαρίζουμε όλα τα χρησιμοποιηθέντα κόσκινα.

Απαιτούμενα όργανα και συσκευές

1. Συσκευή κοσκίνησης
2. Διάταξη αναλυτικών κοσκίνων
3. Υλικό για κοσκίνιση.

Βιβλιογραφία

1. Α.Θ.Σδούκου, "Φυσικές Διεργασίες της Χημικής Τεχνολογίας, Μέρος Ι-Μηχανική των Ρευστών και Τεχνική των Σωματιδίων", 3η έκδοση, Ιωάννινα, 1993.
2. W.L. McCabe, J.C. Smith, "Βασικές Φυσικές Διεργασίες Χημικής Μηχανικής", Έκδοση Τ.Ε.Ε, Αθήνα, 1971.



Άσκηση 10: ΑΠΟΣΤΑΞΗ

Σκοπός

Σκοπός της άσκησης αυτής είναι

1. Η εξοικείωση με τις φυσικές έννοιες στις οποίες στηρίζονται οι διεργασίες απόσταξης.
2. Ο πειραματικός υπολογισμός του ελαχίστου αριθμού θεωρητικών βαθμίδων αποτακτικής στήλης με πληρωτικό υλικό καθώς και το ύψος μιας θεωρητικής βαθμίδας.
3. Ο υπολογισμός των ισοζυγίων μάζας του αποσταζόμενου μίγματος.

1. Θεωρητικό Μέρος

Η απόσταξη είναι μια μέθοδος που χρησιμοποιείται πολύ συχνά για τον διαχωρισμό υγρών μιγμάτων των οποίων τα συστατικά παρουσιάζουν διαφορετικές πτητικότητες. Το αποσταζόμενο μίγμα είναι δυνατόν να αποτελείται από δύο ή περισσότερα συστατικά. Αν κατά την διεργασία καμία ποσότητα συμπυκνώματος δεν επιστρέψει στον αποστακτήρα η απόσταξη λέγεται απλή, ενώ στην αντίθετη περίπτωση ονομάζεται κλασματική απόσταξη.

Οι βασικές φυσικοχημικές αρχές της απόσταξης ανάγονται στην ισορροπία υγρού-ατμού. Οι ισορροπίες αυτές παριστάνονται σε διαγράμματα της μορφής

- Τάση ατμών $P=f$ (σύσταση μίγματος σε σταθερή θερμοκρασία)
- Σημείο ζέσεως μίγματος $T=f$ (σύσταση μίγματος σε σταθερή πίεση).

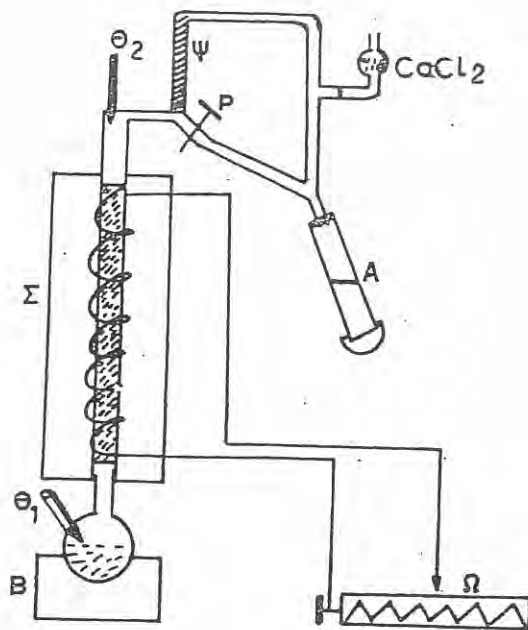
Οι παραπάνω αρχές εξετάζονται λεπτομερώς στα αντίστοιχα συγγράμματα Φυσικοχημείας καθώς και σε κείμενα Φυσικών Διεργασιών της Χημικής Τεχνολογίας.

Στην άσκηση αυτή μελετάται η κλασματική απόσταξη που είναι στην πραγματικότητα μια επαναλαμβανόμενη σειρά θερμάνσεων του προς απόσταξη μίγματος-συμπύκνωσης των ατμών-θέρμανσης του συμπυκνώματος κλπ. Σε μια συσκευή κλασματικής απόσταξης μεγάλη σημασία έχει ο αριθμός των επαναλαμβανόμενων διεργασιών θέρμανση/εξάτμιση-ψύξη/συμπύκνωση ο οποίος ονομάζεται **αριθμός θεωρητικών βαθμίδων**. Ο τρόπος υπολογισμού αυτών απαιτεί την γνώση της γραμμής ισορροπίας του προς απόσταξη μίγματος $y=f(x)$ καθώς και την γνώση των γραμμών λειτουργίας, εμπλουτισμού και εξάντλησης της συσκευής. Στην περίπτωση που η συσκευή λειτουργεί υπό πλήρη επαναρροή οι γραμμές εμπλουτισμού και εξάντλησης συμπίπτουν με την γραμμή λειτουργίας της συσκευής και ο αριθμός των θεωρητικών βαθμίδων είναι ο ελάχιστος δυνατός. Λεπτομέρειες για τον τρόπο υπολογισμού των εξισώσεων των γραμμών λειτουργίας, εμπλουτισμού και εξάντλησης των αποστακτικών συσκευών καθώς και για τον τρόπο υπολογισμού των θεωρητικών βαθμίδων δίνονται στο κεφάλαιο 5 της βιβλιογραφικής παρατομπής 1.

2. Πειραματικό Μέρος

Περιγραφή της αποστακτικής συσκευής

Η συσκευή η οποία θα χρησιμοποιηθεί για το πείραμα φαίνεται στο σχήμα 10-1. Το προς απόσταξη μίγμα τοποθετείται στον βραστήρα Β και η θερμοκρασία του ελέγχεται με το θερμόμετρο Θ_1 . Οι ατμοί εισέρχονται στην στήλη Σ η οποία είναι γεμάτη με πληρωτικό υλικό (υάλινες έλικες) η οποία θερμαίνεται με την ρυθμιστική αντίσταση Ω. Το θερμόμετρο Θ_2 χρησιμεύει για τον έλεγχο της θερμοκρασίας των ατμών οι οποίοι ψύχονται στον ψυκτήρα Ψ και συμπυκνώνονται. Το συμπύκνωμα επαναρροεί, ολικά ή μερικά, στην αποστακτική στήλη, ανάλογα με το εάν η στρόφιγγα επαναρροής Ρ είναι κλειστή ή ανοικτή. Το απόσταγμα συλλέγεται σε κύλινδρο Α και το όλο σύστημα είναι ανοικτό στον αέρα, μέσω ενός σωλήνα $CaCl_2$ προς αποφυγή υπερπίεσεων. Το προς απόσταξη μίγμα είναι νερό και αιθανόλη.



Σχήμα 10-1. Συσκευή απόσταξης: Β- βραστήρας, Θ_1, Θ_2 - θερμοόμετρα, Ψ- ψυκτήρας, Σ- στήλη με πληρωτικό υλικό, Ω- ρυθμιστική αντίσταση, Α- απόσταγμα, Ρ- ρυθμιστής επαναρροής.

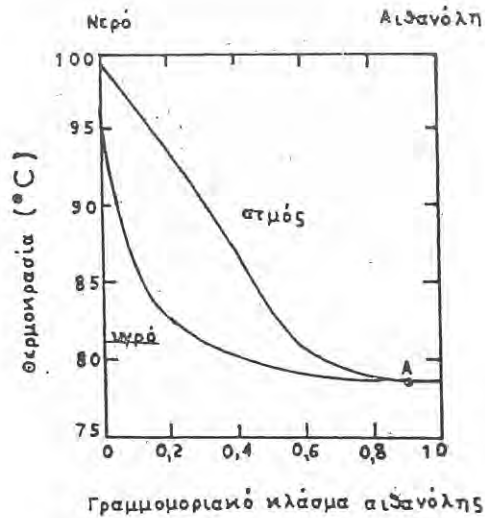
Το σύστημα νερό-αιθανόλη

Το σύστημα $H_2O-C_2H_5OH$ παρουσιάζει αζεοτροπικό μίγμα σε συγκέντρωση 95,57% κ.β αλκοόλη ή $X_{C_2H_5OH} = 0,89$ με ελάχιστο σημείο ζέσεως ($78^\circ C$). Οι ιδιότητες του συστήματος περιγράφονται πλήρως στα διαγράμματα θερμοκρασίας = $f(X_{C_2H_5OH})$ και $\Psi_{C_2H_5OH} = f(X_{C_2H_5OH})$ στα σχήματα 10-2 και 10-3 αντίστοιχα.

Εκτέλεση του πειράματος

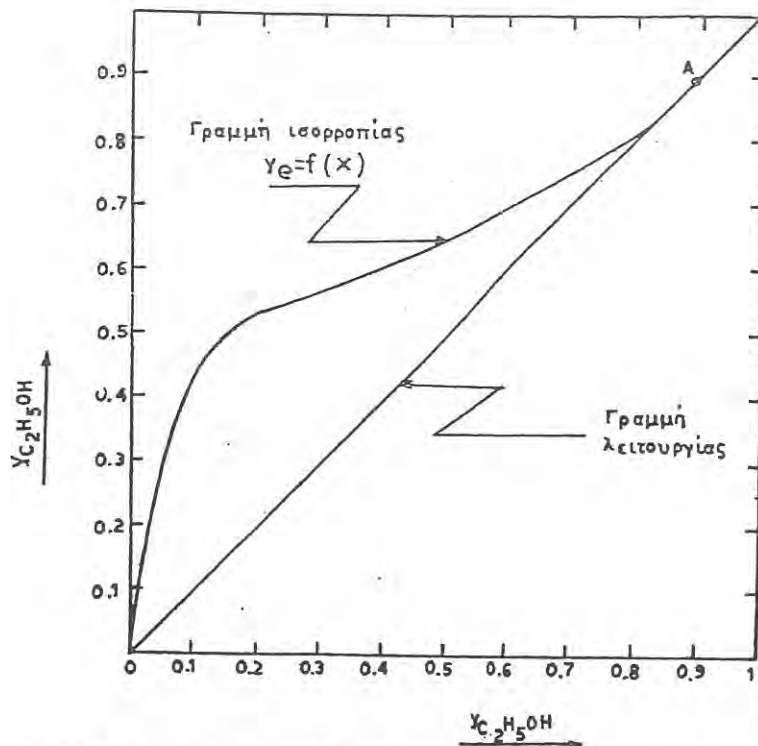
Πείραμα I

1. Παρασκευάζεται μίγμα $H_2O-C_2H_5OH$ σύστασης μεταξύ $X_{C_2H_5OH} = 0,1-0,4$ συνολικού όγκου ~500 ml και βρίσκεται το βάρος του. Το μίγμα τοποθετείται στον βραστήρα Β (σχήμα 10-1) από την πλάγια είσοδο Θ_1 .



Σχήμα 10-2. Διάγραμμα θερμοκρασίας-σύστασης του μίγματος H₂O-C₂H₅OH. Αζεotropικό μίγμα σχηματίζεται στο σημείο A (X_{C₂H₅OH} = 0,89).

2. Ρυθμίζεται η αντίσταση Ω στα 5/8 της κλίμακας και η στρόφιγγα P διατηρείται κλειστή ώστε $R \rightarrow \infty$.
3. Αρχίζει συνεχής απόσταξη με πλήρη επαναρροή. Μετά 30min λαμβάνονται 2-3ml αποστάγματος ανοίγοντας στιγμιαία την στρόφιγγα P. Σημειώνεται η θερμοκρασία Θ_1 και Θ_2 η οποία παρακολουθείται κατά την διάρκεια του πειράματος και η οποία, εφ' όσον η σύσταση του μίγματος δεν αλλάξει, πρέπει να παραμένει σταθερή. Όλα τα αποτελέσματα σημειώνονται στον πίνακα I.
4. Χρησιμοποιώντας το διαθέσιμο διαθλασίμετρο βρίσκουμε τον δείκτη διάθλασης n του δείγματος. Ευρίσκεται επίσης ο δείκτης διάθλασης n_0 του απεσταγμένου νερού ο οποίος χρησιμεύει σαν σημείο αναφοράς. Από τις τιμές $(n-n_0) \times 10^4$ βρίσκεται η γραμμομοριακή σύσταση X_D του μίγματος χρησιμοποιώντας τον πίνακα IV και το σχήμα 10-5.
5. Από την σύσταση του αποστάγματος X_D και την σύσταση του υπολείμματος X_W υπολογίζεται γραφικά ο ελάχιστος αριθμός θεωρητικών βαθμίδων N_{min} που απαιτούνται για τον πλήρη διαχωρισμό με βάση την γραμμή λειτουργίας της συσκευής και την γραμμή ισορροπίας του σχήματος 10-3.
6. Βρίσκεται το ύψος της μιας θεωρητικής βαθμίδας, θεωρώντας ότι ο βραστήρας αποτελεί μια ξεχωριστή βαθμίδα.



Σχήμα 10-3. Διάγραμμα ισορροπίας $y_e = f(x)$ ατμών-υγρού για το σύστημα $H_2O-C_2H_5OH$. Αζεοτροπικό μίγμα σχηματίζεται στο σημείο A ($X_{C_2H_5OH} = \Psi_{C_2H_5OH} = 0,89$). Σημειώνεται επίσης η γραμμή λειτουργίας της συσκευής.

ΠΙΝΑΚΑΣ Ι

$X_{C_2H_5OH}$ στο αρχικό μίγμα $H_2O-C_2H_5OH$:
Όγκος μίγματος	:
Βάρος μίγματος	:
Χρόνος απόσταξης με πλήρη επαναρροή	:
Θερμοκρασία αποστάγματος T_p	:
Θερμοκρασία υπολείμματος T_w	:
Δείκτης διάθλασης ύδατος n_0	:
Δείκτης διάθλασης αποστάγματος η	:
$\eta-n_0$:
% κατά βάρος σύσταση αποστάγματος	:
X_D	:
Αριθμός ελαχίστων θεωρητικών βαθμίδων N_{min}	:
Ύψος μιας βαθμίδας	:

Πείραμα II

Το πείραμα II εκτελείται στην ίδια συσκευή όπως και το πείραμα I. Τα αποτελέσματα σημειώνονται στον πίνακα II.

1. Τίθεται σε λειτουργία η συσκευή με την στρόφιγγα επαναρροής P τελείως ανοικτή.
2. Όταν παρουσιαστεί η πρώτη σταγόνα επαναρροής στο άκρο του ψυκτήρα σημειώνεται ο χρόνος $t=0$ και λαμβάνονται ταυτόχρονα μετρήσεις της θερμοκρασίας T_w του υγρού και των ατμών T_D . Επίσης λαμβάνονται δείγματα σε δοκιμαστικούς σωλήνες από το απόσταγμα X_D και το υπόλειμμα X_w .
3. Το πείραμα επαναλαμβάνεται έως ότου συλλεγούν ~ 120ml στον υποδοχέα του αποστάγματος, (~15min). Ανά διαστήματα 1-2min λαμβάνονται δείγματα σε δοκιμαστικούς σωλήνες από το απόσταγμα, το υπόλειμμα καθώς και οι θερμοκρασίες και σημειώνονται σύμφωνα με τον πίνακα II.
4. Διακόπτεται η λειτουργία της συσκευής και ζυγίζεται το υπόλειμμα και το απόσταγμα. Βρίσκεται η σύσταση X_D και X_w των ληφθέντων δειγμάτων με την βοήθεια διαθλασίμετρου καθώς και του πίνακα IV και του σχήματος 10-5.
5. Από τα πειραματικά δεδομένα του πίνακα II κατασκευάζονται τα διαγράμματα $X_w, X_D, T_w, T_D = f(V_D)$ όπως φαίνεται στο σχήμα 10-4.

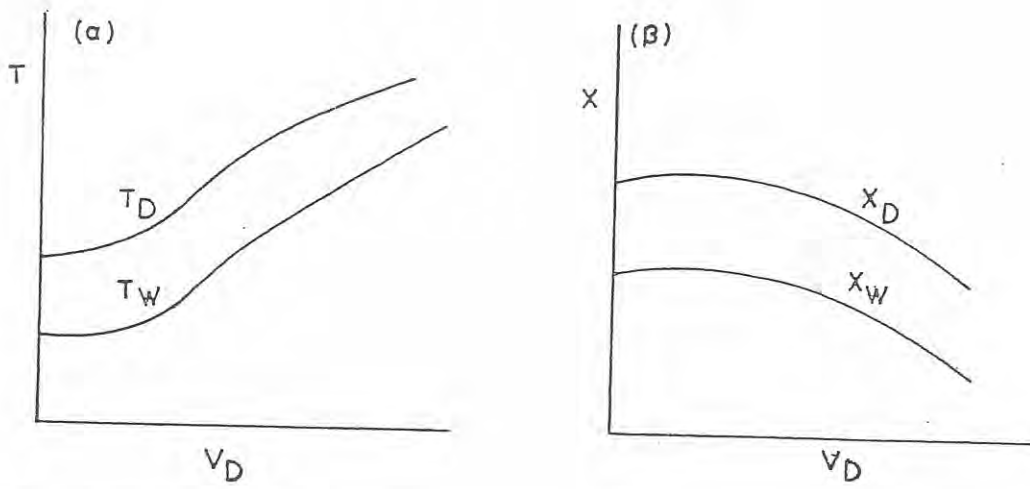
ΠΙΝΑΚΑΣ II

Βάρος αρχικού μίγματος:

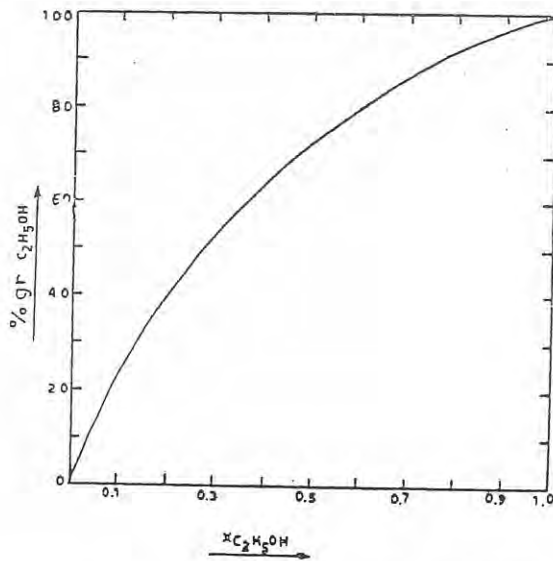
Βάρος αποστάγματος:

Βάρος υπολείμματος:

Αριθμός πειράματος	t (min)	T_w (°C)	T_D (°C)	X_D	X_w	V_D ml
1	0					
2	1					
3	3					
4	5					
5	7					
6	10					
7	12					
8	15					



Σχήμα 10-4. Μεταβολή (α) της θερμοκρασίας T και (β) της σύστασης X του αποστάγματος D και του υπολείμματος W με τον όγκο του αποσταζομένου μίγματος V_D .



Σχήμα 10-5. Μεταβολή του μοριακού κλάσματος της C_2H_5OH σαν συνάρτηση της % κατά βάρος περιεκτικότητας σε αλκοόλη του μίγματος $H_2O-C_2H_5OH$.

6. Από το βάρος του αρχικού μίγματος καθώς και από τα βάρη του υπολείμματος και του αποστάγματος και την σύσταση του υπολογίζονται τα ισοζύγια μάζας για το νερό και την αλκοόλη σύμφωνα με το υπόδειγμα του πίνακα III.

7. Υπολογίζεται η θερμότητα Q που απαιτήθηκε για την διεργασία από τον τύπο

$$Q = \lambda \cdot R \cdot D$$

όπου λ- η μέση λανθάνουσα θερμότητα εξάτμισης του μίγματος (-40kJ/gmole), R- ο λόγος επαναρροής ίσος προς 0,6 για τις συνθήκες του πειράματος και D- η αποσταχθείσα ποσότητα.

ΠΙΝΑΚΑΣ III

Υπολογισμός ισοζυγίων μάζας αποσταχθέντος μίγματος H₂O - C₂H₅OH.

B _{αρχικό}	:	.....	(1)
B _D	:	.....	(2)
B _X	:	.....	(3)
B _{C₂H₅OH αρχικό}	:	.....	(4)
B _{H₂O αρχικό}	:	.....	(5)
B _{C₂H₅OH αποστάγματος}	:	.....	(6)
B _{H₂O αποστάγματος}	:	.....	(7)
B _{C₂H₅OH υπολείμματος}	:	.....	(8)
B _{H₂O υπολείμματος}	:	.....	(9)
B ₁	=	B ₂ + B ₃	
B ₄	=	B ₆ + B ₈	
B ₅	=	B ₇ + B ₉	

ΠΙΝΑΚΑΣ IV

Εύρεση της % κ.β. σύστασης μίγματος $H_2O-C_2H_5OH$ από τον δείκτη διάθλασης n_D (n_D είναι ο δείκτης διάθλασης του ύδατος και χρησιμεύει για σημείο αναφοράς).

%βάρους C_2H_5OH	$n_{C_2H_5OH-H_2O}$	%βάρους C_2H_5OH	$n_{C_2H_5OH-H_2O}$	%βάρους C_2H_5OH	$n_{C_2H_5OH-H_2O}$
0,50	3	15,00	102	56,00	300
1,00	6	16,00	110	58,00	304
1,50	9	17,00	117	60,00	308
2,00	12	18,00	125	62,00	311
2,50	15	19,00	132	64,00	315
3,00	18	20,00	140	66,00	317
3,50	21	22,00	154	68,00	320
4,00	24	24,00	168	70,00	322
4,50	26	26,00	181	72,00	324
5,00	31	28,00	194	74,00	325
5,50	34	30,00	205	76,00	327
6,00	37	32,00	210	78,00	327
6,50	41	34,00	227	80,00	328
7,00	44	36,00	236	82,00	328
7,50	48	38,00	245	84,00	326
8,00	51	40,00	253	86,00	325
8,50	55	42,00	260	88,00	323
9,00	58	44,00	268	90,00	320
9,50	62	46,00	274	92,00	316
10,00	65	48,00	280	94,00	312
11,00	73	50,00	286	96,00	306
12,00	80	52,00	291	98,00	300
13,00	87	54,00	296	100,00	284
14,00	95				

Απαιτούμενα όργανα και αντιδραστήρια

1. Συσκευή απόσταξης (σχήμα 10-1)
2. Αιθυλική αλκοόλη
3. Διαθλασίμετρο
4. Δοκιμαστικοί σωλήνες

Βιβλιογραφία

1. Α.Θ.Σδούκου, "Φυσικές Διεργασίες της Χημικής Τεχνολογίας, Τόμος ΙΙΙ, Μεταφορά Μάζας", Ιωάννινα, 1982.

Άσκηση 11: ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΑΤΜΟΥ

Σκοπός

Σκοπός της άσκησης αυτής είναι:

- α. Η εξοικείωση με τον έλεγχο της ποιότητας υγρού κεκορεσμένου ατμού.
- β. Η εξοικείωση με τις αρχές της συμπυκνώσεως υδρατμών στους συμπυκνωτήρες επαφής.

1. Θεωρητικό Μέρος

Η κατάσταση του υγρού κεκορεσμένου ατμού χαρακτηρίζεται από την πίεση ή την θερμοκρασία και επί πλέον από την ποιότητα του ατμού. Ως ποιότητα χ ορίζεται ο βαθμός ξηρότητας του ατμού (kg ξηρού ατμού/kg υγρού ατμού). Για το υγρό αυτό ισχύουν οι σχέσεις.

$$H_g = (1 - \chi)H_f + \chi H_g = H_f + \chi(H_g - H_f) = H_f + \chi \Delta H_{fg} \quad (11-1)$$

οπότε η ποιότητα του ατμού χ εκφράζεται

$$\chi = \frac{H_g - H_f}{\Delta H_{fg}} \quad (11-2)$$

όπου: H_x - ειδική (ανά μονάδα μάζας) ενθαλπία υγρού κεκορεσμένου ατμού, kcal/kg, H_f - ειδική (ανά μονάδα μάζας) ενθαλπία κεκορεσμένου υγρού, kcal/kg, ΔH_{fg} - ειδική (ανά μονάδα μάζας) λανθάνουσα θερμότητα εξατμίσεως, kcal/kg. Η H_f μπορεί να εκφραστεί με την ειδική ενθαλπία του ξηρού κεκορεσμένου ατμού H_g από την σχέση.

$$H_g = H_f + \Delta H_{fg} \quad (11-3)$$

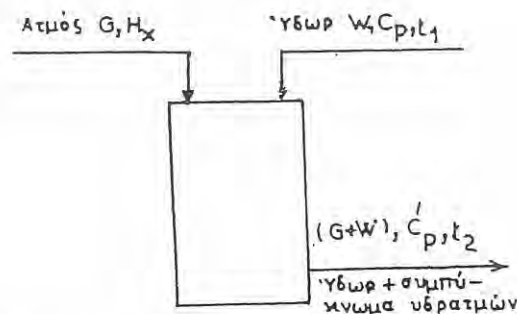
$$H_f = H_g + \Delta H_{fg} \quad (11-3a)$$

Έτσι η ποιότητα x θα ισούται (x %).

$$\%x = \left(\frac{H_y - H_g + \Delta H_{fg}}{\Delta H_{fg}} \right) \cdot 100 = \left(\frac{H_y - H_g}{\Delta H_{fg}} + 1 \right) \cdot 100 \quad (11-4)$$

Οι ποσότητες H_g και ΔH_{fg} είναι συναρτησεις της πίεσης και δίνονται στους πίνακες υδρατμών, απ' όπου και μπορούν να ληφθούν. Αν επομένως με κάποια κατάλληλη μέθοδο προσδιορίσουμε την ενθαλπία του υγρού κεκορεσμένου ατμού H_x τότε από την σχέση (11-4) εύκολα υπολογίζεται η ποιότητα x του τελευταίου.

Για τον προσδιορισμό της H_x θα εκτελέσουμε ένα πείραμα που βασίζεται στις αρχές της συμπυκνώσεως των υδρατμών σε συμπυκνωτήρα επαφής και συγκεκριμένα στα ισοζύγια μάζας και θερμότητας αυτού. Έστω ο συμπυκνωτήρας του σχήματος 11-1.



Σχήμα 11-1. Συμπυκνωτήρας. G- μάζα υδρατμού (kg), W- μάζα ύδατος (kg), (G+W)- μάζα ύδατος+συμπυκνώματος υδρατμού. T₁, T₂- θερμοκρασίες ύδατος και ύδατος+συμπυκνώματος αντίστοιχα (°C), C_p, C_p'- ειδικές θερμότητες ύδατος στην T₁ και T₂ αντίστοιχα.

Το ισοζύγιο θερμότητας του συμπυκνωτήρα αυτού είναι:

$$GH_x + WC_p T_1 = (G + W)C_p T_2 \quad (11-5)$$

Από την (11-5) λαμβάνουμε

$$H_x = \frac{(G + W)C_p T_2 - WC_p T_1}{G} \quad (11-6)$$

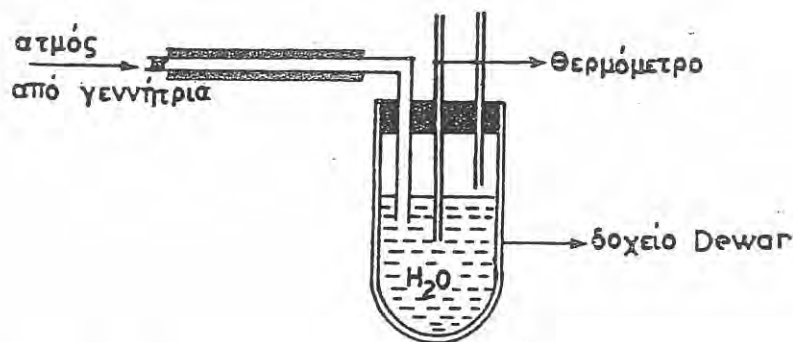
ή αν υποθέσουμε ότι στην περιοχή t_2-t_2 τα C_p και C_p' δεν διαφέρουν πολύ μεταξύ τους

$$H_x = C_p \frac{[(G + W)T_2 - WT_1]}{G} \quad (11-7)$$

2. Πειραματικό Μέρος

Πειραματική συσκευή και τρόπος εκτέλεσης του πειράματος

Η πειραματική συσκευή δίδεται στο σχήμα 11-2.



Σχήμα 11-2. Πειραματική συσκευή για την μελέτη της ποιότητας ατμού.

Ο τρόπος εργασίας για την εκτέλεση του πειράματος είναι ως εξής:

1. Φροντίζουμε για την παραγωγή ατμού.
2. Ζυγίζουμε το δοχείο Dewar με τα εξαρτήματά του.
3. Γεμίζουμε το δοχείο με 250 ml H₂O και ζυγίζουμε εκ νέου.
4. Παίρνουμε την ένδειξη της θερμοκρασίας T_1 .
5. Διαβιβάζουμε στο δοχείο Dewar ορισμένη ποσότητα υδρατμού, ώσπου η θερμοκρασία T_2 ανέλθει στους 60-70°C.

6. Διακόπτουμε τον ατμό, αναδεύουμε το περιεχόμενο και σημειώνουμε την ακριβή ένδειξη της T_2 .
7. Ζυγίζουμε το δοχείο Dewar με τα εξαρτήματα και περιεχόμενά του.
8. Επαναλαμβάνουμε το πείραμα 5 φορές.

Υπολογισμός των αποτελεσμάτων

Από τη διαφορά των ζυγίσεων 3 και 2 λαμβάνουμε την τιμή W (kg).

Από την διαφορά των ζυγίσεων 7 και 3 λαμβάνουμε την τιμή G (kg).

Από πίνακες λαμβάνουμε τις τιμές C_p και C_p' του ύδατος στις θερμοκρασίες T_1 και T_2 .

Από τη σχέση (11-7) ή (11-6) υπολογίζουμε την ενθαλία H_x του υγρού ατμού.

Από τους πίνακες των υδρατμών λαμβάνουμε τις τιμές H_g και ΔH_{fg} στην επικρατούσα ατμοσφαιρική πίεση (βλ. βαρόμετρο). Τέλος, από την εξίσωση (11-4) υπολογίζουμε την ποιότητα του υδρατμού x , %.

Εκφράζουμε τα αποτελέσματα στον πίνακα I.

ΠΙΝΑΚΑΣ I: $P_{atm}=\dots$, $H_g=\dots$, $\Delta H_{fg}=\dots$

Ν° πειράτος	Βάρος Dewar (kg)	Βάρος Dewar +H ₂ O (kg)	W, (kg)	Βάρος Dewar +H ₂ O+συμπύ- κνωμα (kg)	G, (kg)	t_1 , (°C)	C_p' , (kcal/ kg °C)	T_2 , °C	C_p , (kcal/ kg °C)	H_x kcal/kg	x, %
1											
2											
3											
4											
5											
-											
-											

Λαμβάνουμε την μέση αριθμητική τιμή της ποιότητας X από τις 5 μετρήσεις

$$x = \frac{\sum_{i=1}^5 x_i}{5}$$

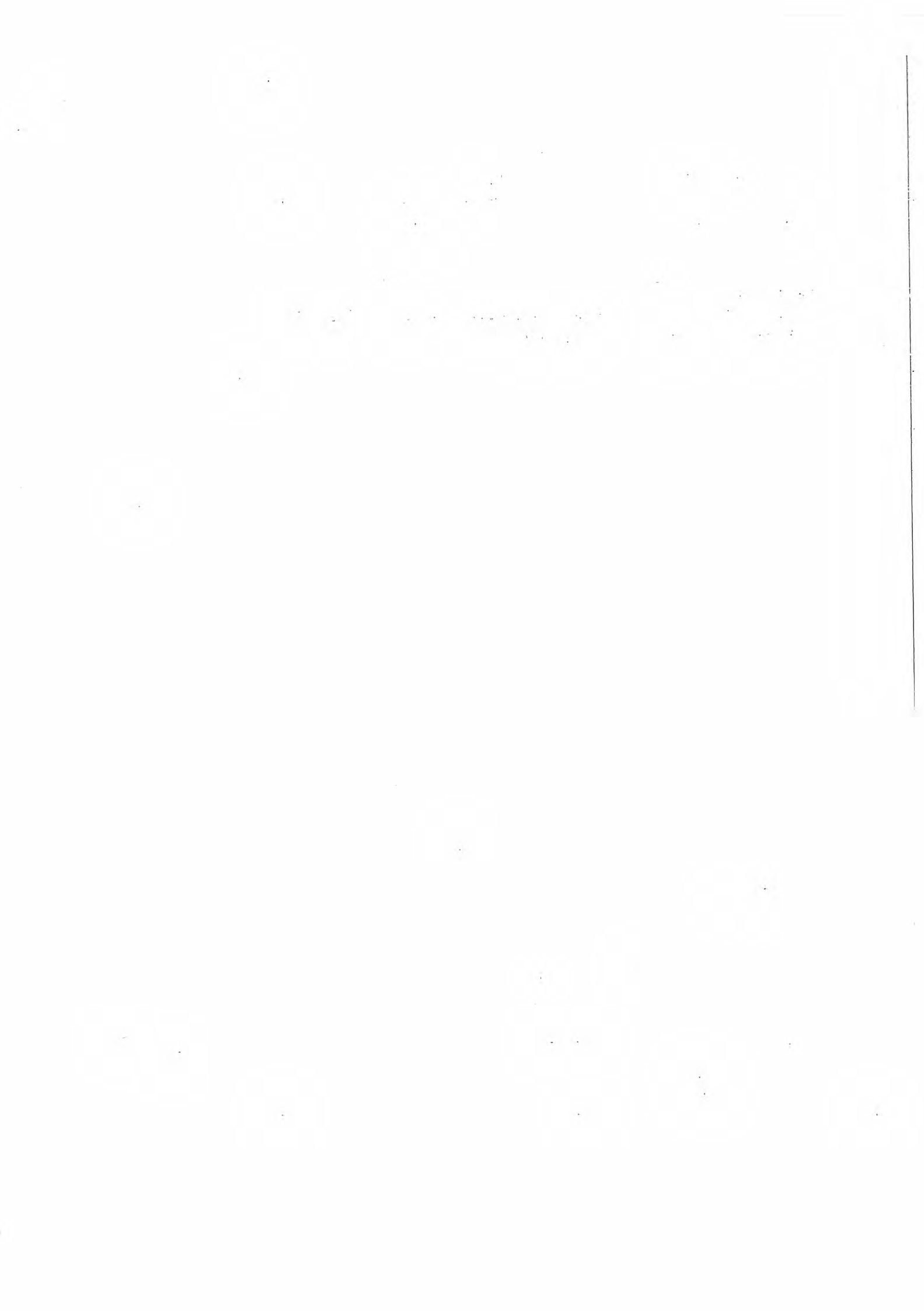
Συμπεραίνουμε περι του σφάλματος των μετρήσεων.

Απαιτούμενες συσκευές και αντιδραστήρια

1. Δοχείο Dewar εφοδιασμένο με θερμόμετρο καθώς και κατάλληλες προσαρμογές-συνδέσεις με την τροφοδοσία του ατμού και έξοδο.
2. Σύστημα παραγωγής ατμού.

Βιβλιογραφία

1. Α.Θ.Σδούκου, "Φυσικές Διεργασίες της Χημικής Τεχνολογίας, Τόμος II- Μετάδοση Θερμότητας", Ιωάννινα, 1980.



Άσκηση 12: ΑΝΤΙΔΡΑΣΤΗΡΑΣ ΑΝΑΔΕΥΟΜΕΝΩΝ ΔΟΧΕΙΩΝ ΣΥΝΕΧΟΥΣ ΡΟΗΣ

Σκοπός

Οι σκοποί της ασκήσεως αυτής είναι:

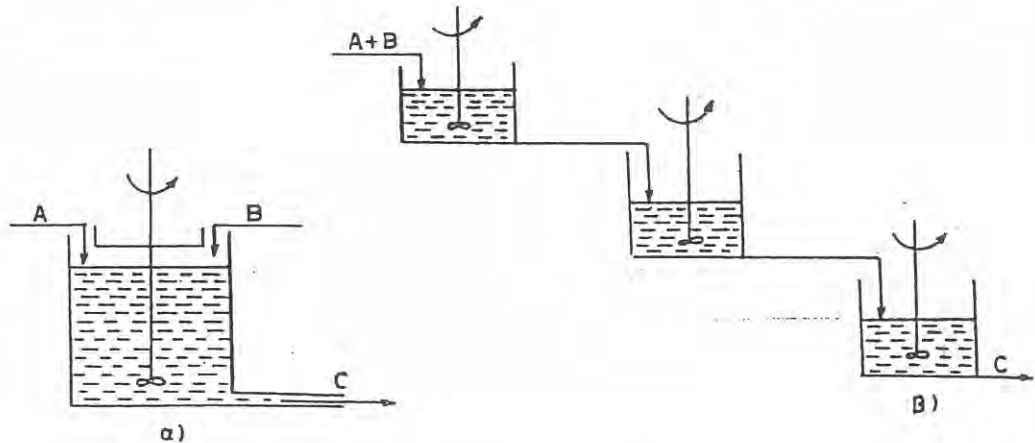
1. Η εξοικίωση με τις έννοιες των αντιδραστήρων αναδευομένων δοχείων συνεχούς ροής καθώς και των θεωρητικών εξισώσεων οι οποίες τους περιγράφουν.
2. Η πειραματική μέτρηση και επεξήγηση, βάσει των ανωτέρω εξισώσεων, των κυριότερων παραμέτρων των αντιδραστήρων αυτών σε απλά δοχεία και συστοιχίες αυτών.

1. Θεωρητικό μέρος

Περιγραφή του αντιδραστήρα

Οι χημικοί αντιδραστήρες αναδευομένου (ή αναδευομένων) δοχείου ή (δοχείων) συνεχούς ροής αποτελούνται από ένα ή περισσότερα αναδευόμενα δοχεία στα οποία εισρέουν τα αντιδρώντα σώματα και εκρέουν τα προϊόντα της αντίδρασης. Η εισροή και εκροή των αντιδρώντων και προϊόντων είναι συνεχής και το δοχείο αναδευεται πλήρως (σχ. 12-1α). Τα δοχεία αυτά χρησιμοποιούνται συνδεδεμένα σε σειρά όπως φαίνεται στο σχήμα 12-1β.

Οι αντιδραστήρες αυτοί χρησιμοποιούνται ευρέως στην χημική βιομηχανία γιατί είναι σχετικά φθηνοί, ελέγχονται εύκολα, απαιτούν λίγο προσωπικό για την λειτουργία τους και καθαρίζονται χωρίς πολλές δυσκολίες. Στα επόμενα θα συζητήσουμε τις θεωρητικές εξισώσεις συστοιχίας αντιδραστήρων συνεχούς ροής, ομοίων με αυτών του σχήματος 12-1. Είναι προφανές ότι η περίπτωση του ενός δοχείου είναι μια ακραία περίπτωση της συστοιχίας.

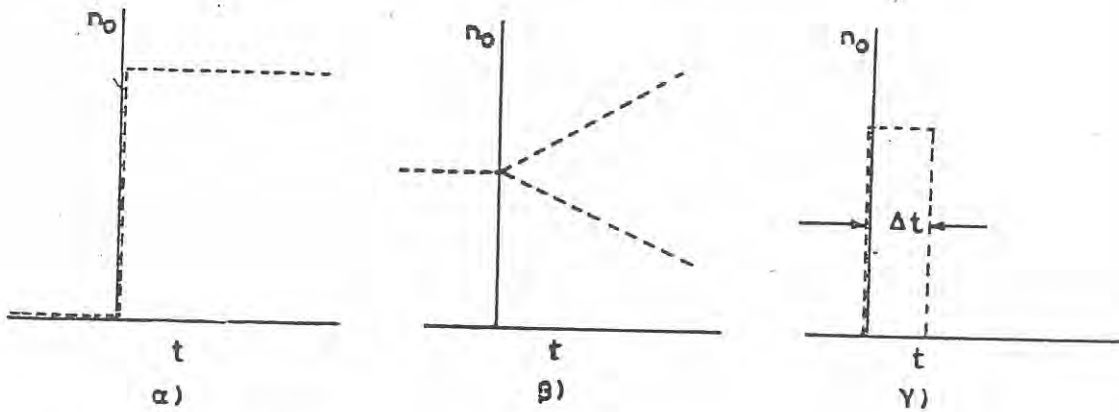


Σχήμα 12-1. (α) Αντιδραστήρας αναδευομένου δοχείου συνεχούς ροής, (β) Συστοιχία αναδευομένων δοχείων σε σειρά.

Εξισώσεις σχεδιασμού αντιδραστήρων συνεχούς ροής

Για την εξαγωγή των εξισώσεων σχεδιασμού θεωρούμε ότι το περιεχόμενο του δοχείου αναμιγνύεται πλήρως άρα η σύσταση του μίγματος σε κάθε σημείο του αντιδραστήρα είναι σταθερή. Ο μέσος χρόνος παραμονής ενός στοιχειώδους όγκου ρευστού μέσα σε έναν αντιδραστήρα όγκου V είναι V/Q όπου Q είναι η ογκομετρική τροφοδοσία. Στην πράξη βέβαια είναι δύσκολο να παρακολουθήσουμε την πορεία ενός τέτοιου στοιχειώδους όγκου και τότε είναι χρήσιμο να παρακολουθήσουμε την συγκέντρωση ενός ιχνηθέτη π.χ. κάποιου χρώματος που τοποθετούμε στον αντιδραστήρα. Στην περίπτωση αυτή μπορούμε να περιγράψουμε την συμπεριφορά ενός συστήματος όγκου V που αποτελείται από 1,2,3,... i ισόογκα δοχεία που συνδέονται μεταξύ τους όπως στο σχήμα 12-1β.

Η προσθήκη ή επιβολή ενός ιχνηθέτη στο σύστημά μπορεί να γίνει με διάφορους τρόπους όπως η βηματική επιβολή, η ευθύγραμμη επιβολή, η παλμική επιβολή κ.α. Οι σημαντικότερες μέθοδοι επιβολής n_0 πολε του ιχνηθέτη στον αντιδραστήρα ως συνάρτηση του χρόνου φαίνονται στο επόμενο σχήμα 12-2.



Σχήμα 12-2. (α) Βηματική, (β) ευθύγραμμος και (γ) παλμική επιβολή ιχνηθέτη σε αντιδραστήρα.

Εστω λοιπόν ότι ένα σύστημα αναδευομένων δοχείων σε σειρά λειτουργεί σε κατάσταση ισορροπίας και εισάγουμε στο πρώτο δοχείο με παλμική επιβολή n_0 πολε ενός ιχνηθέτη που αναμιγνύεται πλήρως με το αντιδρόν μίγμα. Θέλουμε να ελέγξουμε την μείωση του n_0 με το χρόνο. Το πρώτο δοχείο σε χρόνο t_1 περιέχει n_1 πολε του ιχνηθέτη, άρα η συγκέντρωσή του είναι:

$$c_1 = \frac{n_1}{(V/i)} \quad (i=1) \quad (12-1)$$

Η ταχύτητα εξόδου του ιχνηθέτη από το δοχείο 1 είναι $c_1Q = n_1Q/(v/i)$. Εφαρμόζοντας το ισοζύγιο μάζας για τον ιχνηθέτη στο δοχείο 1 έχουμε

Εισροή - Εκροή - Αντίδραση = Συσσώρευση

$$0 - \frac{n_1Q}{(V/i)} - 0 = \frac{dn_1}{dt} \quad (12-2)$$

άρα

$$\frac{dn_1}{n_1} = - \frac{Q}{V/i} dt$$

και

$$n_1 = n_0 \exp \left[\frac{-Qt}{(V/i)} \right] \quad (12-3)$$

Με όμοιο τρόπο για το δεύτερο δοχείο το ισοζύγιο μάζας θα είναι:

$$\frac{n_1 Q}{(V/i)} - \frac{n_2 Q}{(V/i)} - 0 = \frac{dn_2}{dt}$$

Αντικαθιστώντας το n_1 και ολοκληρώνοντας προκύπτει

$$n_2 = n_0 \left[\frac{Qt}{(V/i)} \right] \exp (-Qt/(V/i)) \quad (12-4)$$

Με τον ίδιο τρόπο προκύπτει για το τρίτο δοχείο

$$n_3 = \frac{n_0}{2} \left[\frac{Qt}{(V/i)} \right]^2 \exp (-Qt/V/i) \quad (12-5)$$

και γενικά για το v δοχείο

$$n_v = \frac{n_0}{(v-1)!} \left[\frac{Qt}{(V/i)} \right]^{v-1} \exp (-Qt/V/i) \quad (12-6)$$

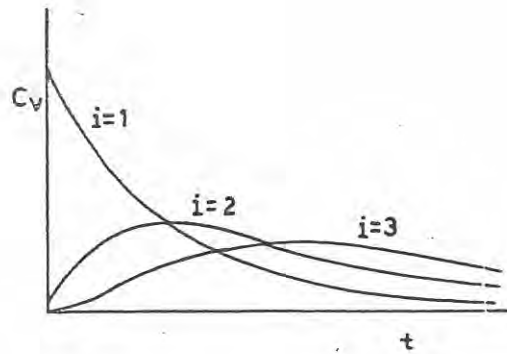
Δεδομένου ότι $c_v = n_v/(V/i)$, είναι δυνατόν να παρατηρήσουμε γραφικά την συγκέντρωση c του ιχνηθέτη ως συνάρτηση του χρόνου t για κάθε δοχείο του συστήματος. Η παράσταση $c_v = f(t)$ θα περιγράφεται από την σχέση (12-7).

$$c_v = \frac{1}{(V/i)} \frac{n_0}{(v-1)!} \left[\frac{Qt}{(V/i)} \right]^{v-1} \exp (-Qt/(V/i)) \quad (12-7)$$

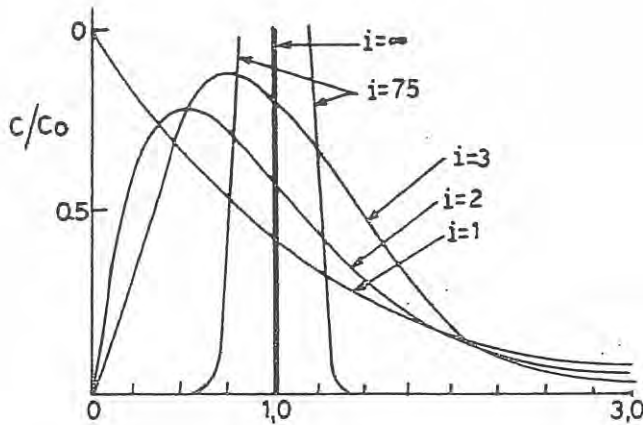
και παρίσταται γραφικά όπως στο σχήμα 12-3 για $v=1,2,3$.

Αν παραστήσουμε το μέγεθος c_i/c_0 , δηλαδή την ανηγμένη συγκέντρωση του ιχνηθέτη, ως συνάρτηση του ανηγμένου χρόνου Qt/V , τότε λαμβάνονται, για διάφορες τιμές του i , οι καμπύλες του σχήματος 12-4. Οι καμπύλες αυτές λέγονται καμπύλες c .

Μπορούμε επίσης να παραστήσουμε γραφικά το κλάσμα F του ιχνηθέτη που απομακρύνθηκε από το σύστημα των αντιδραστήρων ως συνάρτηση του ανηγμένου χρόνου Qt/V όπως στο σχήμα 12-5.



Σχήμα 12-3. Γραφική παράσταση της συγκέντρωσης c_v του ιχνηθέτη ως συνάρτηση του χρόνου t για το 1^ο, 2^ο και 3^ο δοχείο αντιδραστήρων συνεχούς ροής σε σειρά.



Σχήμα 12-4. Γραφική παράσταση της ανηγμένης συγκέντρωσης c_i/c_0 ως συνάρτηση του ανηγμένου χρόνου $Q\tau/V$ για συστήματα αντιδραστήρων αναδευομένων δοχείων σε σειρά με διαφορετικό αριθμό δοχείων.

Το F υπολογίζεται ως εξής: Σε χρόνο t τα moles που παραμένουν στο σύστημα είναι:

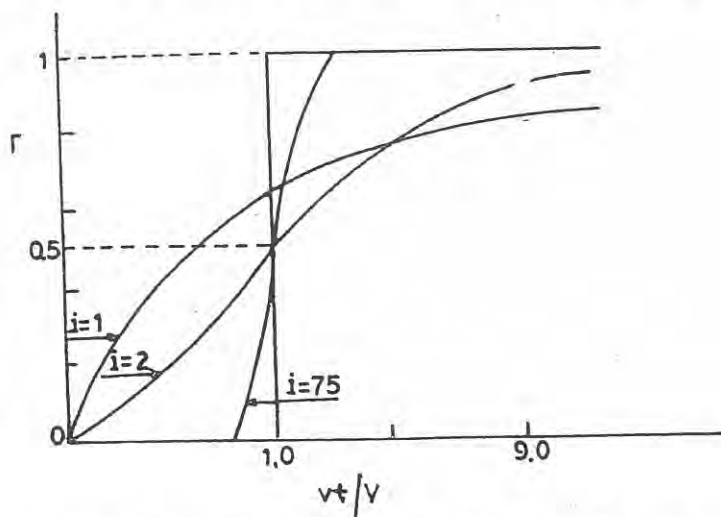
$$n_t = n_1 + n_2 + \dots + n_i \quad (12-8)$$

$$F = \frac{n_0 - n_t}{n_0} = 1 - \frac{1}{n_0} (n_1 + n_2 + \dots + n_i) \quad (12-9)$$

$$F = 1 - \exp\left(-\frac{Qt}{V/i}\right) \left[1 + \frac{Qt}{V/i} + \frac{1}{2!} \left(-\frac{Qt}{V/i}\right)^2 + \dots + \frac{1}{i-1!} \left(-\frac{Qt}{V/i}\right)^{i-1} \right] \quad (12-10)$$

Καθώς $i \rightarrow \infty$, $F \rightarrow$ μηδέν, δηλαδή για άπειρο αριθμό δοχείων, ο ιχνηθέτης απομακρύνεται εντελώς από το σύστημα μετά χρόνο V/Q .

Το απομακρυνθέν κλάσμα F του ιχνηθέτη μπορεί να υπολογιστεί και ως εξής στην περίπτωση της παλμικής επίβολής: Σε χρονική στιγμή dt η συγκέντρωση του ιχνηθέτη στον αντιδραστήρα είναι c και το απομακρυνόμενο κλάσμα του ιχνηθέτη από το σύστημα είναι cdt . Στο χρονικό διάστημα $t=0$ έως $t=\infty$ το απομακρυνθέν κλάσμα $F=1$ ενώ στο χρονικό διάστημα $t=0$ έως $t=t$, $F=F$.



Σχήμα 12-5. Γραφική παράσταση του κλάσματος F του ιχνηθέτη που απομακρύνεται από συστοιχία αναδευομένων δοχείων ως συνάρτηση του ανηγμένου χρόνου Qt/V .

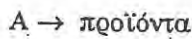
Άρα

$$F = \frac{\int_0^t c dt}{\int_0^{\infty} c dt}$$

Το ίδιο αποτέλεσμα μπορεί να ληφθεί αν χρησιμοποιήσουμε την ανηγμένη συγκέντρωση c_T και τον ανηγμένο χρόνο t_T αντί των c και t . Τότε

$$F = \frac{\int_0^t c_T dt_T}{\int_0^\infty c_T dt_T}$$

Ο μέσος όρος παραμονής του ιχνηθέτη στο σύστημα έχει πρακτική σημασία γιατί ρυθμίζει τον βαθμό αντίδρασης μίγματος που τοποθετείται μέσα σ' αυτό όπως φαίνεται χαρακτηριστικά στο επόμενο παράδειγμα. Εστω αντίδραση πρώτης τάξης της μορφής



η οποία λαμβάνει χώρα σε αντιδραστήρα αποτελούμενο από ένα δοχείο. Αν c είναι η συγκέντρωση του A κατά την εισροή, $c_0(1-x)$ η συγκέντρωση του A κατά την εκροή, V ο όγκος του αντιδραστήρα, Q η ογκομετρική ροή και k η σταθερά ταχύτητας της αντίδρασης, τότε το ισοζύγιο μάζας μας δίνει

$$\begin{aligned} \text{Εισροή} - \text{Εκροή} &= \text{Αντίδραση} \\ Qc_0 - Qc_0(1-x) &= Vk c_0(1-x) \end{aligned} \quad (12-1)$$

από την οποία εύκολα προκύπτει ο βαθμός μετατροπής x

$$x = \frac{k(V/Q)}{1+k(V/Q)} = \frac{k\bar{t}}{1+k\bar{t}} \quad (12-12)$$

όπου: \bar{t} - ο μέσος χρόνος παραμονής στο δοχείο. Η σχέση (12-12) μας δίνει τον τρόπο που μεταβάλλεται ο βαθμός μετατροπής του A με τον μέσο χρόνο παραμονής $(V/Q\bar{t})$ του μίγματος στον αντιδραστήρα ενός δοχείου. Για δύο δοχεία, όγκου V το καθένα, και για την ίδια αντίδραση τα ισοζύγια μάζας δίδουν

Για το πρώτο δοχείο:

$$Qc_0 - Qc_0(1-x_1) = Vk_1c_0(1-x_1) \quad (12-13)$$

Για το δεύτερο δοχείο:

$$Qc_0(1-x_1) - Qc_0(1-x_2) = Vkc_0(1-x_2) \quad (12-14)$$

όπου: x_1 και x_2 είναι ο βαθμός μετατροπής του A στο πρώτο και το δεύτερο δοχείο αντίστοιχα. Από τις εξισώσεις (12-13) και (12-14) προκύπτει

$$x_1 = \frac{k(V/Q)}{1+k(V/Q)} = \frac{k\bar{t}}{1+k\bar{t}} \quad (12-15)$$

και

$$x_2 = \frac{2k\bar{t}+(k\bar{t})^2}{(1+k\bar{t})^2} \quad (12-16)$$

Από τις εξισώσεις (12-15) και (12-16) είναι δυνατόν αν γνωρίζουμε την σταθερά αντίδρασης k να ρυθμίσουμε την ογκομετρική εισροή Q ώστε ο βαθμός μετατροπής των αντιδρώντων να φθάνει στο επιθυμητό επίπεδο.

Για αντιδράσεις τάξεως μεγαλύτερης της πρώτης η ανάλυση των σχέσεων μεταξύ βαθμού μετατροπής και χρόνου παραμονής αναλύεται με παρόμοιο τρόπο.

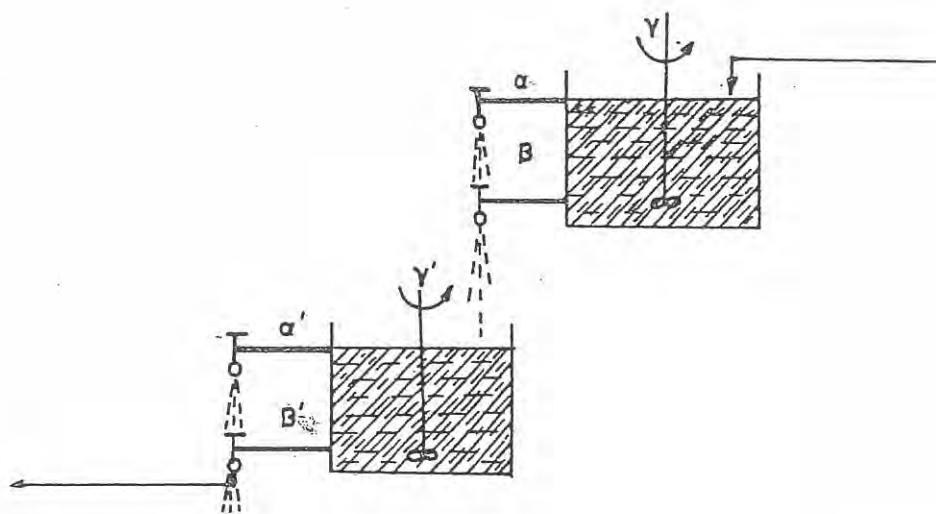
2. Πειραματικό μέρος

Περιγραφή της συσκευής

Το σύστημα αντιδραστήρων που θα μελετηθεί αποτελείται από δύο αναδεδόμενα δοχεία A και B που είναι συνδεδεμένα όπως στο σχήμα 12-6. Το σύστημα λειτουργεί υπό σταθερή εισροή και εκροή. Αυτό επιτυγχάνεται με την κατάλληλη ρύθμιση των στροφιγγών α , β και α' , β' . Η ομογενοποίηση του περιεχομένου των δοχείων επιτυγχάνεται με τους αναδευτήρες γ και γ' .

Διεξαγωγή του πειράματος

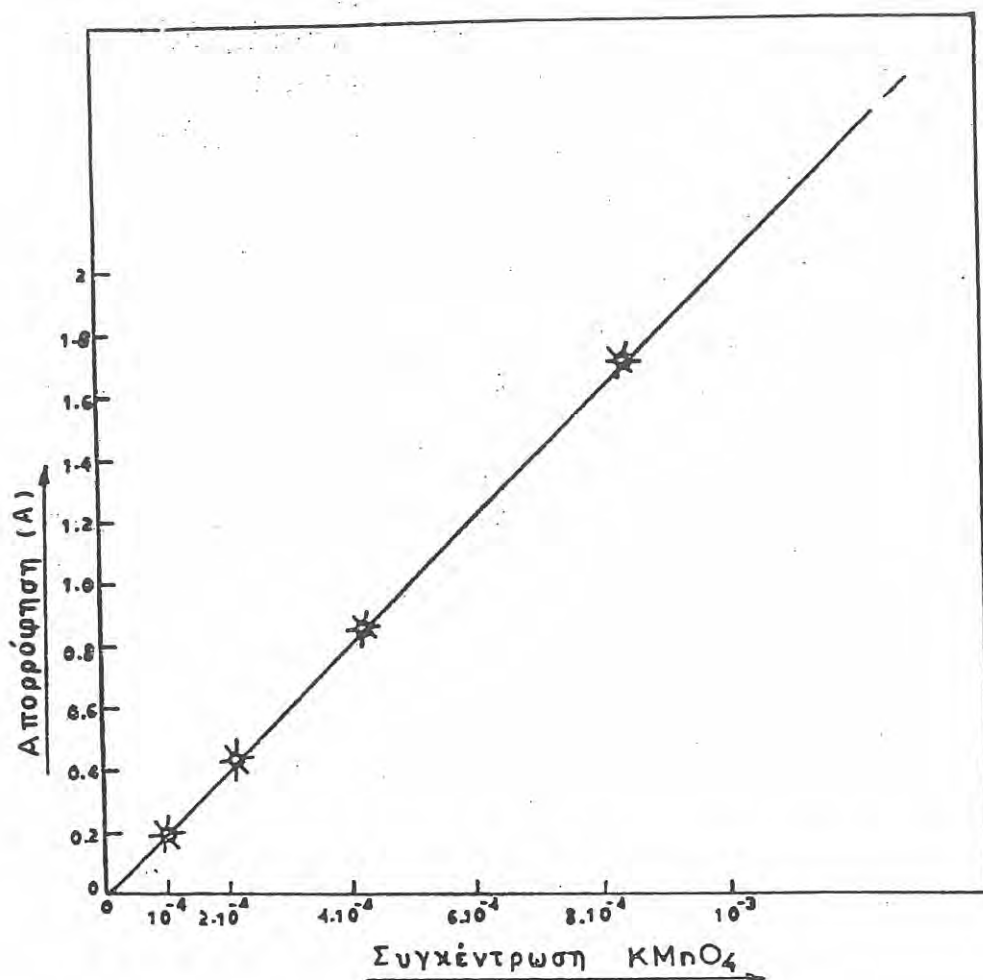
1. Το πείραμα διεξάγεται με υδατικό διάλυμα $KMnO_4$. Για το σκοπό αυτό προετοιμάζουμε 500ml διαλύματος $KMnO_4$ τα οποία περιέχουν ποσότητα που τοποθετούμενη στον πρώτο αντιδραστήρα δίδει συγκέντρωση $5 \cdot 10^{-4}M$.
2. Βρίσκουμε τον όγκο του δοχείου (A) V_A και (B) V_B έως την υπερχύλιση α και α' αντίστοιχα.



Σχήμα 12-6. Συστοιχία δύο αναδευομένων αντιδραστήρων συνεχούς λειτουργίας σε στερεά.

- Υπολογίζουμε τον συνολικό όγκο και των δύο δοχείων του αντιδραστήρα V (m^3). Κατόπιν γεμίζουμε και τα δύο δοχεία με νερό και ρυθμίζουμε την εισροή σε ρυθμό όγκομετρικής ροής $Q(m^3/sec)$ ώστε ο μέσος χρόνος παραμονής ($V_A = V_B)/Q(sec)$ να είναι περίπου 30min. Σταθεροποιούμε τις ροές, ώστε η εισροή του νερού στο πρώτο δοχείο, η μεταροή από το πρώτο στο δεύτερο και εκροή να είναι ίσες. Αυτό επιτυγχάνεται ρυθμίζοντας τις στροφίγγες α και α' που απάγουν την υπερχειλίζουσα ποσότητα του υγρού. Οι στροφίγγες β και β' παραμένουν κλειστές και χρησιμεύουν για να αδειάζουμε τα δοχεία.
- Θέτουμε τους αναδευτήρες γ και γ' σε λειτουργία.
- Αδειάζουμε γρήγορα το διάλυμα του $KMnO_4$ στο πρώτο δοχείο ($t=0$) και ταυτόχρονα θέτουμε το χρονόμετρο σε λειτουργία.
- Λαμβάνουμε δείγματα 2-3ml σε δοκιμαστικούς σωλήνες από την μεταροή του αντιδραστήρα A στον B καθώς και την εκροή στον νεροχύτη. Τα αποτελέσματα σημειώνονται στον πίνακα.
- Βρίσκουμε την συγκέντρωση στα δείγματα που ελήφθησαν με τις εκροές των αντιδραστήρων, χρησιμοποιώντας το διαθέσιμο φασματοφωτόμετρο και τις

αντίστοιχες καμπύλες απορρόφησης γνωστών δειγμάτων (σχήμα 12-7) μετρώντας στα 525nm την απορρόφηση των δειγμάτων του KMnO_4 .



Σχήμα 12-7. Καμπύλη απορρόφησης διαλυμάτων KMnO_4 .

Υπολογισμός των αποτελεσμάτων

α. Τα αποτελέσματα σημειώνονται στους επόμενους πίνακες I και II για τα δοχεία A και B αντίστοιχα.

ΠΙΝΑΚΑΣ I (Δοχείο A)

Όγκος δοχείου A, V_A	:	.....	m^3
Όγκος δοχείου B, V_B	:	.....	m^3
Συνολικός όγκος $V_A + V_B$	:	.....	m^3
Ογκομετρική ροή	:	.....	m^3/sec
Μέσος χρόνος παραμονής στα δοχεία A και B, $(V_A+V_B)/Q$:	.....		sec
Ποσότης ιχνηθέτη $KMnO_4$ προστιθέμενη στο δοχείο A	:	.....	gr
Αρχική συγκέντρωση ιχνηθέτη στο δοχείο A	:	.....	M

β. Παριστάνονται γραφικά οι συναρτήσεις

i) $c_i = f(t)$ ($i= 1,2$)

ii) $c_T = f(t_T)$

από τις τιμές των πινάκων I και II.

γ. Ευρίσκεται το κλάσμα F, που έχει απομακρυνθεί από τα δοχεία A και B με το γραφικό τρόπο όπως αναφέρεται στα προηγούμενα. Συγκεκριμένα ολοκληρώνουμε γραφικά την παράσταση $c_T = f(t_T)$ από 0 έως N και ευρίσκουμε τα κλάσματα

$$F = \frac{\int_0^t c_T dt_T}{\int_0^\infty c_T dt_T}$$

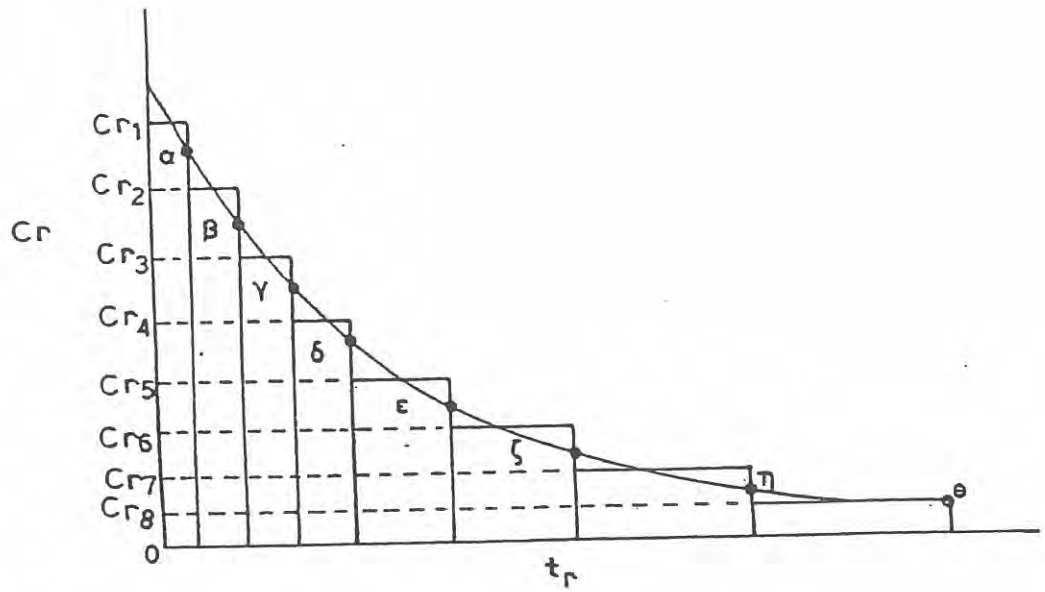
Αυτό φαίνεται αναλυτικά στο σχήμα 12-8 και τον πίνακα III για το δοχείο A. Η γραφική παράσταση λαμβάνει χώρα μεταξύ F_1 και t_T .

δ. Ευρίσκεται ο μέσος χρόνος παραμονής \bar{t} στον αντιδραστήρα στοιχειώδους όγκου ρευστού dV από την κάθετο στον άξονα του ανηγμένου χρόνου που χωρίζει σε ίσα εμβαδά τα τμήματα OAX και O' A' X (σχήμα 12-9).

Ο μέσος χρόνος παραμονής που βρίσκεται γραφικά (σχήμα 12-9) συγκρίνεται με τον μέσο χρόνο παραμονής που βρίσκεται λογιστικά από τον τύπο $\bar{t} = V/Q$.

Απαιτούμενες συσκευές και αντιδραστήρια

1. Αντιδραστήρας συνεχούς λειτουργίας αποτελούμενος από δύο δοχεία σε σειρά με σύστημα ανάδευσης.
2. Φασματοφωτόμετρο
3. Δοκιμαστικοί σωλήνες.
4. $KMnO_4$.



Σχήμα 12-8. Γραφική ολοκλήρωση για την εύρεση του κλάσματος που απομακρύνεται από το δοχείο Α.

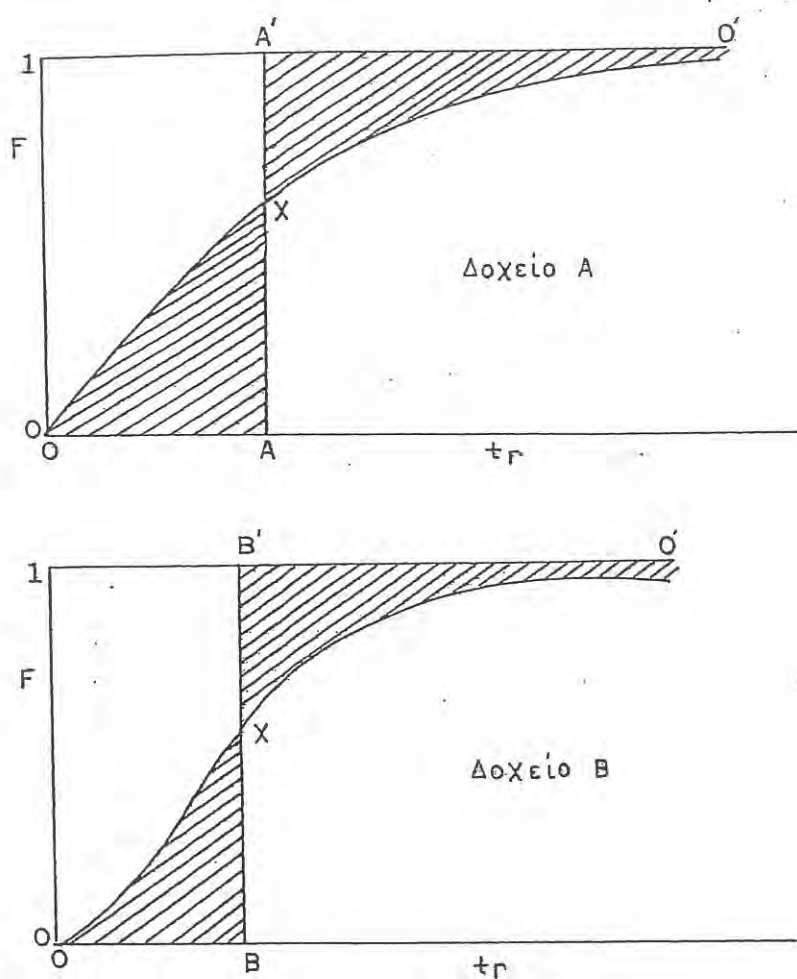
Δείγμα	t (min)	Απορρόφηση	c_i (M)	$c_i = \frac{c_1}{c_0}$	$\bar{t}_r = \frac{t}{(VA/Q)}$
1	1				
2	2				
3	3				
4	5				
5	10				
6	15				
7	30				
8	45				
9	60				
10	90				

ΠΙΝΑΚΑΣ ΙΙ. (Δοχείο Β)

Δείγμα	t (min)	Απορρόφηση	c_i (M)	$c_i = \frac{c_2}{c_0}$	$t_i = \frac{t}{(V_B/Q)}$
1	1				
2	2				
3	3				
4	5				
5	10				
6	15				
7	30				
8	45				
9	60				
10	90				

ΠΙΝΑΚΑΣ ΙΙΙ. Υπολογισμοί για την γραφική ολοκλήρωση του σχήματος 12-8.

dt_r	$S_i = \int_{t_i-1}^{t_i} c_r dt_r$	$S_i^o = \int_0^t c_r dt_r$	$F_i = \frac{S_i^o}{S_8^o}$
0-α	$S_1 = \alpha C_{r1}$	$S_1 = S_1^o$	S_1^o / S_8^o
α-β	$S_2 = \beta C_{r2}$	$S_1 + S_2 = S_2^o$	S_2^o / S_8^o
β-γ	$S_3 = \gamma C_{r3}$	$S_1 + S_2 + S_3 = S_3^o$	S_3^o / S_8^o
γ-δ	$S_4 = \delta C_{r4}$	$S_1 + S_2 + \dots S_4 = S_4^o$	S_4^o / S_8^o
δ-ε	$S_5 = \epsilon C_{r5}$	$S_1 + \dots S_5 = S_5^o$	S_5^o / S_8^o
ε-ζ	$S_6 = \zeta C_{r6}$	$S_1 + \dots S_6 = S_6^o$	S_6^o / S_8^o
ζ-η	$S_7 = \eta C_{r7}$	$S_1 + \dots S_7 = S_7^o$	S_7^o / S_8^o
η-θ	$S_8 = \theta C_{r8}$	$S_1 + \dots S_8 = S_8^o$	$S_8^o / S_8^o = 1$
		$(S_8^o = \int_0^\infty C_r dt_r)$	



Σχήμα 12-9. Εύρεση μέσου χρόνου παραμονής στους αντιδραστήρες ασυνεχούς ροής.

Βιβλιογραφία

1. J.M. Coulson, J.F. Richardson, "Chemical Engineering", Vol. III, Pergamon Press, 1971.
2. Ι. Μαραγκόζη, Τεχνική Χημικών δράσεων, Αθήνα 1971.
3. Α.Θ.Σδούκου, Φ.Ι.Πομώνη, "Χημικές Διεργασίες της Χημικής Τεχνολογίας", 3^η έκδοση, Ιωάννινα, 1992.

Άσκηση 14: ΚΙΝΗΤΙΚΗ ΤΗΣ ΞΗΡΑΝΣΗΣ

Σκοπός

Σκοπός της άσκησης είναι:

1. Η εξοικείωση με τις αρχές της ξήρανσης και τις βασικές μορφές Ξηραντήρων που χρησιμοποιούνται στη βιομηχανία.
2. Η μελέτη της κινητικής της Ξήρανσης και η κατασκευή της καμπύλης του ρυθμού Ξήρανσης.

1. Θεωρητικό Μέρος

Γενικά περί Ξήρανσης

Γενικά ως Ξήρανση ορίζουμε την απομάκρυνση μικρών σχετικά ποσοτήτων ύδατος ή άλλου πτητικού υγρού από στερεά υλικά. Η Ξήρανση είναι μια διεργασία ταυτόχρονης μεταφοράς θερμότητας και μάζας και χρησιμοποιείται συχνά ως τελευταίο στάδιο για την παρασκευή στερεών προϊόντων, την αφύγρανση του αέρα και τον κλιματισμό ουσιών ευαίσθητων στην υγρασία. Σαν Ξηραντικά μέσα χρησιμοποιούνται συνήθως αέρια και είναι χρήσιμο να γνωρίζουμε και να μπορούμε να περιγράψουμε εκείνες τις ιδιότητες του αερίου που σχετίζονται με την υγρασία που περιέχει, δηλαδή την μάζα, τον όγκο και το θερμικό περιεχόμενο των υδρατμών που υπάρχουν σε ορισμένο όγκο του.

Το μίγμα αέριο- υδρατμοί

Σε ατμοσφαιρική πίεση P ισχύει ο νόμος του Dalton

$$P = P_A + P_W \quad (14-1)$$

όπου: P_A - η μερική πίεση του αερίου και P_W - η μερική πίεση των υδρατμών.

Αν θεωρήσουμε ιδανική συμπεριφορά προκύπτει:

$$\frac{P_W}{P_A} = \frac{n_W RT/V}{n_A RT/V} = \frac{n_W}{n_A} = \frac{m_W}{m_A} = - \frac{M_A}{M_W} \quad (14-2)$$

όπου: n_W , m_W , M_W και n_A , m_A , M_A είναι τα γραμμομόρια, η μάζα και το μοριακό βάρος του ύδατος και του αερίου αντίστοιχα.

Ο λόγος

$$\mathcal{H} = \frac{m_W}{m_A} = \frac{M_W P_W}{M_A P_A} = \frac{M_W}{M_A} \frac{P_W}{P - P_W} \quad (14-3)$$

ορίζεται σαν **απόλυτη υγρασία** του αερίου. Η **απόλυτη υγρασία κορεσμού** \mathcal{H}_{st} ορίζεται από την σχέση (14-3) αν η μερική πίεση των ατμών του ύδατος P_W αντικατασταθεί από την τάση των ατμών του ύδατος P_W^0 σε ορισμένη θερμοκρασία.

Η **ποσοστιαία απόλυτη υγρασία** (% απόλυτη υγρασία) \mathcal{H} ορίζεται από την σχέση:

$$\mathcal{H}\% = \frac{W}{W_s} 100 = \frac{P_W/(P - P_W)}{P_W^0/(P - P_W^0)} \quad (14-4)$$

Η **σχετική ποσοστιαία υγρασία** (σχετική υγρασία) του αερίου $\mathcal{H}_R\%$ ορίζεται σαν λόγος της μερικής πίεσεως των υδρατμών P_W προς την τάση των ατμών του ύδατος P_W^0 σε ορισμένη θερμοκρασία.

$$\mathcal{H}_R\% = 100 \frac{P_W}{P_W^0} \quad (14-5)$$

Το **σημείο δρόσου ενός αερίου** T_g ορίζεται η θερμοκρασία εκείνη όπου μίγμα υδρατμών-αερίου γίνεται κεκορεσμένο, δηλαδή $P_W = P_W^0$ και επομένως $\mathcal{H}_R = 100\%$.

Ως υγρός όγκος V_H μίγματος ατμών-αερίου ορίζεται ο όγκος ενός kg ξηρού αερίου και των περιεχομένων υδρατμών, υπό πίεση 1 atm και στη θερμοκρασία του αέρα, δίνεται δε από την σχέση

$$V_H = 22,4 \frac{m_A}{M_A} \frac{T}{273} + 22,4 \frac{m_W}{M_W} \frac{T}{273} = \frac{22,4 T}{273} \left(\frac{1}{M_A} + \frac{m_W}{M_W} \right) \quad (14-6)$$

Ως υγρή θερμότητα C_s μίγματος αερίου υδρατμών ορίζεται το ποσό θερμότητας που απαιτείται για την ανύψωση κατά $1^\circ K$ ενός kg ξηρού αερίου και της περιεχομένης υγρασίας.

Η ολική ενθαλπία H μίγματος αερίου- υδρατμών σε θερμοκρασία T είναι η ενθαλπία 1 kg ξηρού αερίου και της περιεχομένης υγρασίας και ορίζεται από την σχέση

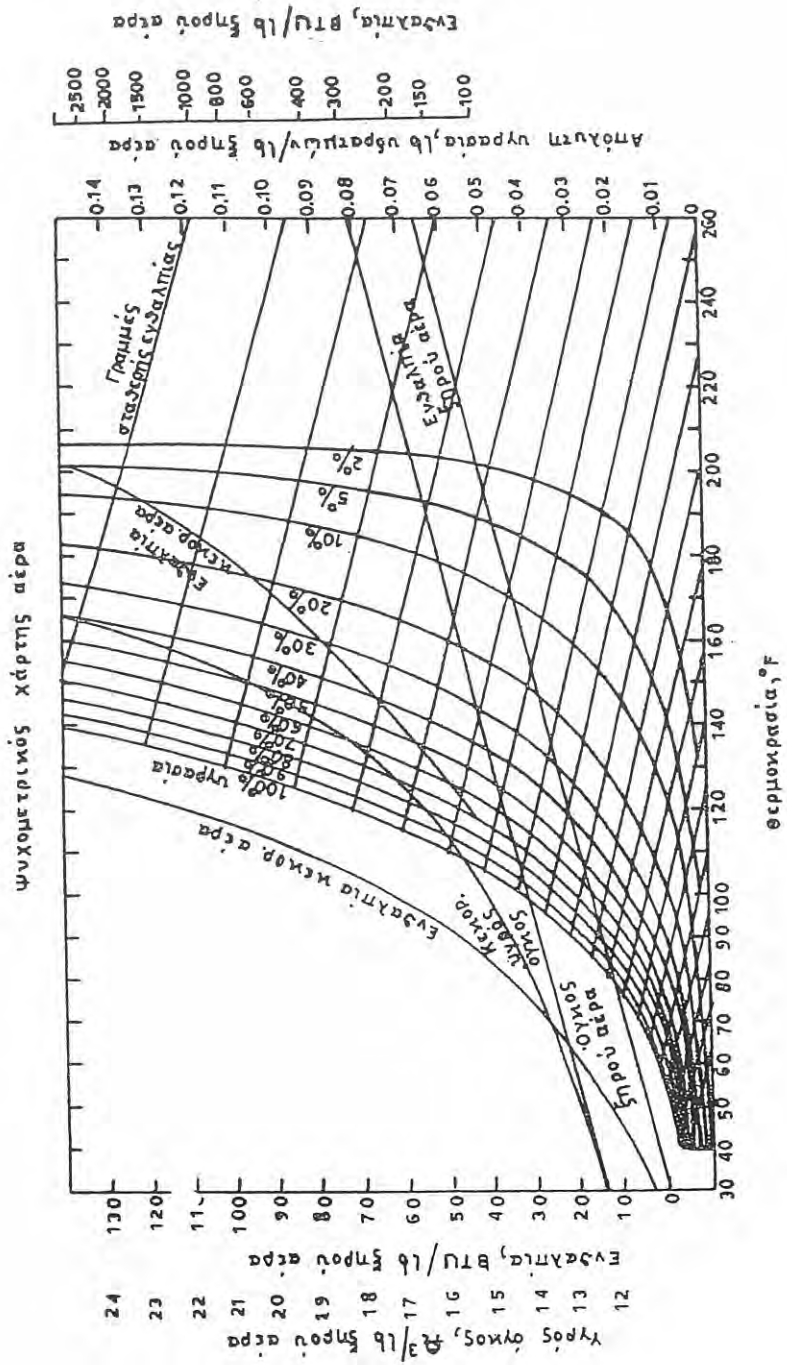
$$H = C_s (T-T_0) + \mathcal{H}\Delta H_g \quad (14-7)$$

όπου T_0 η θερμοκρασία αναφοράς και ΔH η θερμότητα εξατμίσεως του ύδατος στη θερμοκρασία αναφοράς T_0 . Στο σχήμα 14-1 δίδεται η μεταβολή 1g των μεγεθών που περιγράψαμε προηγουμένως για το σύστημα ατμοσφαιρικός αέρας-υδρατμός σαν συνάρτηση της θερμοκρασίας. Το διάγραμμα αυτό ονομάζεται ψυχομετρικός χάρτης. Στις μετρήσεις της υγρασίας των αερίων χρησιμοποιείται συνήθως ένα "υγρό θερμομέτρο" σε αντιπαράβολή με ένα "ξηρό θερμομέτρο". Σαν θερμοκρασία ξηρού θερμομέτρου ορίζεται η θερμοκρασία του αερίου μίγματος ευρισκόμενη με ένα συνηθισμένο θερμομέτρο. Σαν θερμοκρασία υγρού θερμομέτρου είναι η θερμοκρασία του ίδιου μίγματος ευρισκόμενη με ένα υγρό θερμομέτρο, δηλαδή ένα σύνθετο θερμομέτρο το οποίο γύρω από το δοχείο του υδράργυρου φέρει ένα έφυδρο κομμάτι ύφασμα. Αποδεικνύεται ότι η θερμοκρασία υγρού θερμομέτρου T_W συμπίπτει με την θερμοκρασία κορεσμού T_s του μίγματος, δηλαδή την θερμοκρασία ισορροπίας μίγματος αερίου-υδρατμών αν τούτο υποστεί πλήρη εφύγραση π.χ. με ψεκασμό. Από τις ενδείξεις ξηρού και ψυχρού θερμομέτρου και το ψυχομετρικό χάρτη είναι δυνατόν να προσδιοριστούν οι ιδιότητες ορισμένου μίγματος αέρα-υδρατμών.

Γενικά περί Ξήρανσης

Η υγρασία X που περιέχεται σε ένα ένυδρο στερεό εξαρτάται από την φύση του στερεού, από την τάση των ατμών πάνω από αυτό καθώς και την θερμοκρασία, ορίζεται δε συνήθως σαν υγρασία επί ξηρής βάσης %.

Σχήμα 14-1. Ψυχομετρικός χάρτης αέρα.

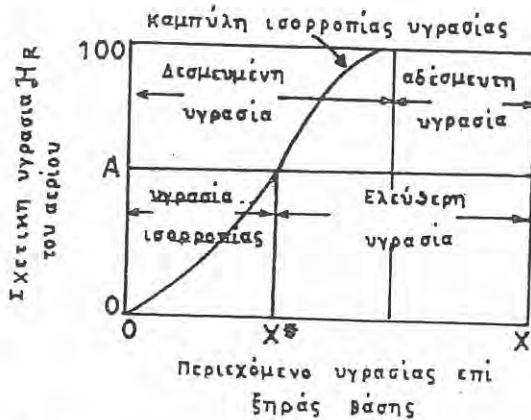


$$X\% = \frac{\text{Kgr H}_2\text{O}}{\text{Kgr ξηρού υλικού}} \cdot 100 \quad (14-8)$$

Αντίστοιχα ορίζεται ότι % υγρασία επί υγρής βάσεως = $100 (\text{kgH}_2\text{O}) / (\text{kgH}_2\text{O} + \text{kg στερεού})$.

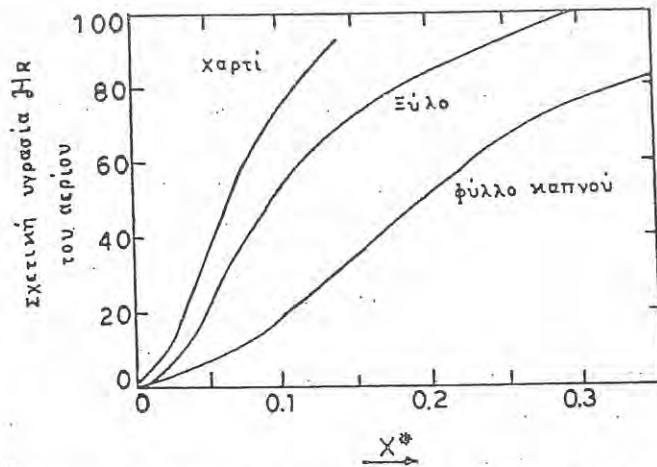
Σαν **δεσμευμένη υγρασία** ορίζεται η υγρασία που περιέχεται σε κάποιο σώμα και ασκεί πίεση ατμών μικρότερη από αυτήν του καθαρού υγρού στην ίδια θερμοκρασία, ενώ σαν **αδέσμευτη υγρασία** ορίζεται η περιεχόμενη υγρασία που ασκεί πίεση ατμών ίση προς του καθαρού υγρού.

Όταν το ένυδρο στερεό εκτεθεί σε συνεχές ρεύμα αερίου που έχει μερική πίεση ατμών ύδατος P_w , σε στερεό θα χάσει υγρασία μέχρις ότου η τάση P των υδρατμών που απομακρύνονται από το στερεό λάβει την τιμή P_w . Σ' αυτό το σημείο ισορροπίας η υγρασία που περιέχεται στο στερεό ορίζεται σαν υγρασία ισορροπίας X^* . Οι διάφοροι τύποι υγρασίας που αναφέραμε φαίνονται στο σχήμα 14-2. Στο σχήμα 14-3 φαίνεται η μεταβολή της υγρασίας ισορροπίας διαφόρων υλικών με την σχετική υγρασία του περιβάλλοντος.



Σχήμα 14-2. Διάφοροι τύποι υγρασίας.

Για την επίτευξη ελεγχόμενης ατμόσφαιρας σχετικής υγρασίας H_R χρησιμοποιούνται συχνά διαλύματα $\text{H}_2\text{SO}_4\text{-H}_2\text{O}$ τα οποία δημιουργούν ατμόσφαιρα σχετικής υγρασίας του αέρα όπως φαίνεται στον πίνακα 14-1.



Σχήμα 14-3. Μεταβολή της υγρασίας ισορροπίας X^* διαφόρων στερεών σωμάτων σαν συνάρτηση της σχετικής υγρασίας RH του αερίου σε επαφή.

ΠΙΝΑΚΑΣ 14-1. Σχετική υγρασία διαλυμάτων $H_2SO_4-H_2O$.

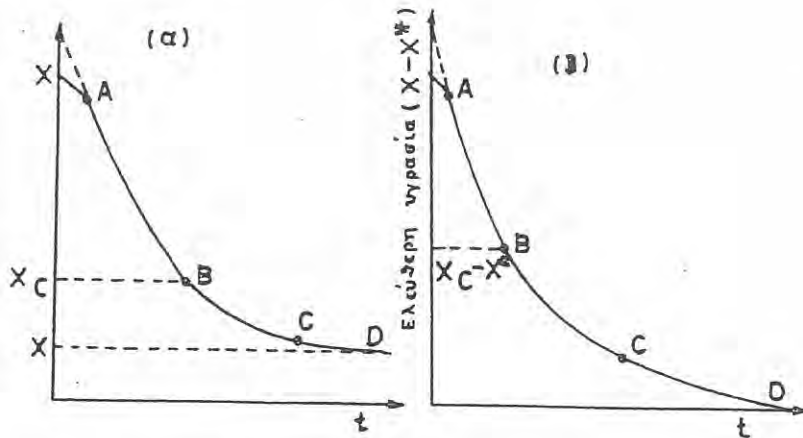
H_2SO_4 %	\mathcal{H}_R	H_2SO_4 %	\mathcal{H}_R	H_2SO_4 %	\mathcal{H}_R	H_2SO_4 %	\mathcal{H}_R
71,0	3,0	51,0	33,5	41,3	54,5	29,6	75,5
67,3	7,0	50,4	35,0	40,4	56,0	28,6	77,0
64,4	10,0	49,8	36,5	39,7	57,5	27,5	78,5
6-,1	15,0	49,0	38,0	38,9	59,0	26,3	80,0
58,5	18,5	48,5	39,5	38,1	60,5	25,2	81,5
57,7	20,0	47,4	41,0	37,4	62,0	23,5	83,0
57,0	21,5	46,7	42,5	36,5	63,5	22,4	84,5
56,2	23,0	45,8	44,0	35,8	65,0	21,0	86,0
55,4	24,5	45,2	45,5	34,8	66,5	19,6	87,5
54,7	26,0	44,5	47,0	34,0	68,0	17,9	89,0
54,0	27,5	43,9	48,5	33,2	69,5	16,1	90,0
53,3	29,0	43,3	50,5	32,3	71,0	14,0	92,5
52,5	30,5	42,5	51,5	31,4	72,5	11,4	93,5
51,8	32,0	41,9	53,5	30,5	74,0	9,4	95,0
						6,5	96,5

Καμπύλη ρυθμού ξήρανσης και μηχανισμός αυτής

Η καμπύλη ξήρανσης είναι η γραφική παράσταση της ολικής υγρασίας X ή της ελεύθερης υγρασίας $(X-X^*)$ σαν συνάρτηση του χρόνου (σχ.14-4). Περισσότερες όμως πληροφορίες για την ξήρανση παρέχονται από την γραφική παράσταση του ρυθμού ή ταχύτητας ξήρανσης N (σε kg εξατμιζόμενης υγρασίας ανά hr και m^2), σε συνάρτηση της ελεύθερης υγρασίας επί ξηράς βάσης (σχήμα 14-5). Ο ρυθμός ξήρανσης N δίνεται από τη σχέση

$$N = \frac{\Delta X}{\Delta t} \quad (14-9)$$

όπου: ΔX - είναι η ελάττωση του βάρους του ξηραίνόμενου υλικού, Δt - ο χρόνος που απαιτήθηκε γι' αυτή την ελάττωση, A - ξηραίνόμενη επιφάνεια.

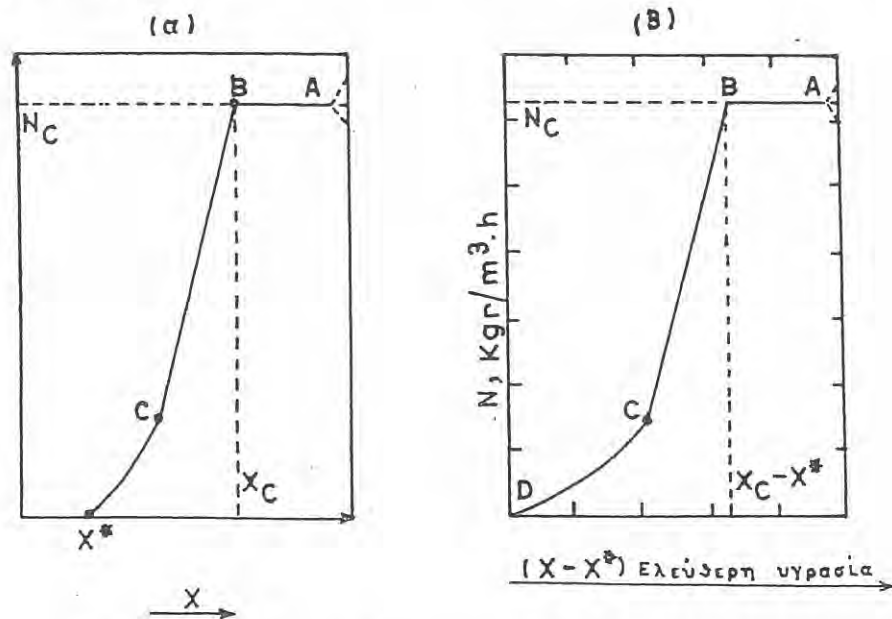


Σχήμα 14-4. Καμπύλη ξήρανσης. Μεταβολή της ολικής (α) και ελεύθερης (β) υγρασίας με τον χρόνο.

Μελετώντας την καμπύλη ρυθμού ξήρανσης παρατηρούμε δύο τμήματα της καμπύλης που αντιστοιχούν σε δύο περιόδους ξήρανσης μια σταθερού ρυθμού (τμήμα AB) και μια ελαττούμενου ρυθμού (τμήμα BCD). Οι δύο περίοδοι συνδέονται στο σημείο N_c της κρίσιμης περιεκτικότητας σε υγρασία X_c .

Γενικά ο μηχανισμός της ξήρανσης που διαγραμματικά φαίνεται στο σχήμα 14-4 έχει ως εξής: Η επιφάνεια ενός έφυδρου στερεού θα καλύπτεται αρχικά

από ένα λεπτό στρώμα υγρού. Όταν το στερεό αυτό εκτεθεί σε ένα σχετικά ξηρό ρεύμα αέρα το λεπτό στρώμα υγρού θα απομακρυνθεί βαθμιαία από την επιφάνεια και το διάστημα αυτό αντιστοιχεί στην περίοδο σταθερού ρυθμού ξήρανσης (τμήμα AB στο σχήμα 14-5). Όταν πλέον όλο το επιφανειακό στρώμα υγρασίας εξαντληθεί τότε υγρασία θα μεταφέρεται από το εσωτερικό του στερεού στην επιφάνεια μέσω τριχοειδών διακλαδώσεων και εκεί θα απομακρύνεται. Καθώς η υγρασία που περιέχει το στερεό ελαττώνεται αυτή η διαδικασία γίνεται βαθμιαία περισσότερο δύσκολη. Το διάστημα αυτό αντιστοιχεί στην περίοδο του ελαττούμενου ρυθμού ξήρανσης (τμήμα CD στο σχήμα 14-5).



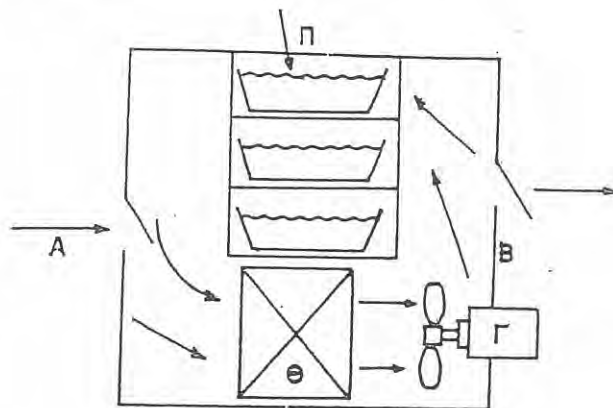
Σχήμα 14-5. Καμπύλη ρυθμού ξήρανσης. Μεταβολή του ρυθμού ξήρανσης σε συνάρτηση της ολικής (α) και ελεύθερης (β) υγρασίας.

Τύποι Ξήρανσης

Η λειτουργία της ξήρανσης μπορεί να διακριθεί σε συνεχή και ασυνεχή. Στην πρώτη περίπτωση η τροφοδοσία του ξηραντήρα με το προς ξήρανση υλικό και η απομάκρυνση του ξηρού υλικού γίνεται συνεχώς. Στην δεύτερη ο ξηραντήρας τροφοδοτείται με μια ποσότητα του προς ξήρανση στερεού που αφού ξηρανθεί απομακρύνεται και επανοτροφοδοτείται ο ξηραντήρας.

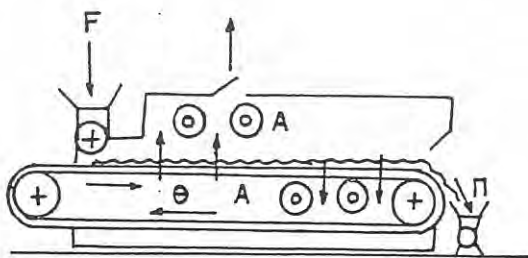
Η φύση της ουσίας που πρόκειται να ξηρανθεί και οι απαιτούμενες συνθήκες ξήρανσης παίζουν σημαντικό ρόλο στην εκλογή του τύπου του ξηραντήρα που πρέπει να χρησιμοποιηθεί.

Η απλούστερη περίπτωση ξηραντήρων σε ρεύμα αέρα είναι οι ξηραντήρες με ράφια. Είναι ασυνεχούς λειτουργίας και αποτελούνται από ένα θάλαμο με ράφια στα οποία τοποθετείται το προς ξήρανση υλικό. Ένας τέτοιος ξηραντήρας φαίνεται στο σχήμα 14-6.



Σχήμα 14-6. Ξηραντήρας με ράφια (Π)- προϊόν, (Θ)- εναλλάκτης θερμοτήτας, (Α)- εισόδος αέρα, (Β)- έξοδος αέρα, (Γ)- ανεμιστήρας.

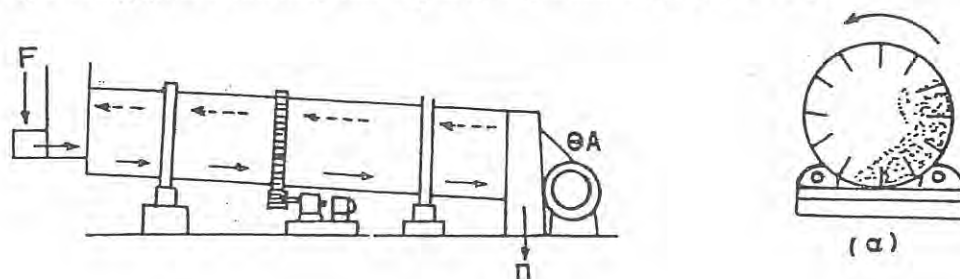
Παράδειγμα ξηραντήρα συνεχούς λειτουργίας φαίνεται στο σχήμα 14-7. Στην περίπτωση αυτή το ξηραίνόμενο υλικό μεταφέρεται συνεχώς σε μεταφορική



Σχήμα 14-7. Ξηραντήρας μεταφορικής ταινίας συνεχούς λειτουργίας. (Α)- ανεμιστήρας, (F)- τροφοδότηση, (Π)- προϊόν, (Θ)- κυλιόμενος εναλλάκτης θερμοτήτας.

ταινία μέσα σε ξηραντήρα ερχόμενο σε επαφή με θερμό αέρα που διαβιβάζεται κάθετα προς το στρώμα του υλικού.

Ενδιαφέρον παρουσιάζουν οι συνεχούς λειτουργίας περιστροφικοί ξηραντήρες λόγω του χαμηλού κόστους και της θερμικής απόδοσης (σχήμα 14-8).



Σχήμα 14-8. Περιστροφικός ξηραντήρας άμεσης θέρμανσης: (F)- τροφοδότηση, (Π)- προϊόν, (ΘΑ)- θερμός αέρας.

Αποτελούνται από περιστρεφόμενο κεκλιμένο κύλινδρο μέσα στον οποίο κινείται αργά το ξηραίνόμενο υλικό. Η θέρμανση σ' αυτούς μπορεί να γίνει με δύο τρόπους:

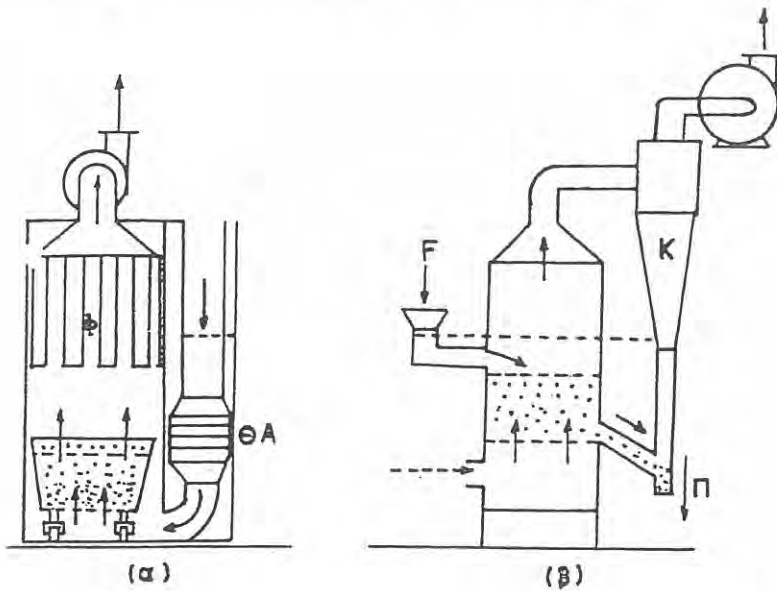
- α) Στους άμεσους το προϊόν έρχεται σε επαφή με ρεύμα θερμού αέρα και
- β) στους έμμεσους ή θερμότητα διοχετεύεται από τα κυλινδρικά τοιχώματα του περιστρεφόμενου δοχείου ή από θερμαινόμενους σωλήνες. Οι ξηραντήρες άμεσου τύπου χρησιμοποιούνται για ανθεκτικά στην οξείδωση προϊόντα ενώ οι ξηραντήρες έμμεσου τύπου για ευαίσθητα.

Μεγάλη εφαρμογή στην ξήρανση βρίσκουν και οι ξηραντήρες ρευστοποιημένης κλίνης. Οι ξηραντήρες αυτοί χρησιμοποιούνται για την ξήρανση τεμαχιδίων που μπορούν να αιωρηθούν σε ρεύμα αέρα μετά την ρευστοποίησή τους. Υπάρχουν σε δύο τύπους, συνεχούς και ασυνεχούς λειτουργίας (σχήμα 14-9).

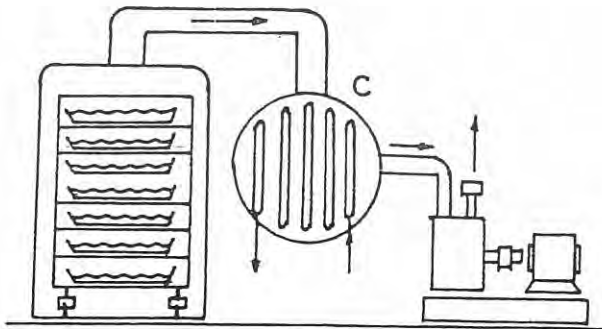
Συχνά για την ξήρανση ευπαθών βιολογικών και φαρμακευτικών παρασκευασμάτων αλλά και νωπών λαχανικών εφαρμόζεται η μέθοδος ξήρανσης με κατάψυξη (lyofilization). Πρόκειται για την ξήρανση ενός κατεψυγμένου προϊόντος με εξάχνωση του πάγου σε υψηλό κενό. Η ξήρανση διεξάγεται συνήθως σε ξηραντήρα ασυνεχούς λειτουργίας (σχήμα 14-10).

Τέλος σαν πηγή θέρμανσης για την ξήρανση μπορεί να χρησιμοποιηθεί η υπέρυθρος ακτινοβολία μήκους κύματος 0,7-7μ. Η θερμοκρασία των σωμάτων που παράγουν υπέρυθρες ακτινοβολίες κυμαίνεται μεταξύ 300-2000°C. Σαν πηγές υπέρυθρης ακτινοβολίας χρησιμοποιούνται λαμπτήρες κατάλληλης

θερμοκρασίας και μεταλλικές επιφάνειες θερμαίνονται με καύση αερίων. Οι πηγές αυτές τοποθετούνται στο εσωτερικό των κλιβάνων μέσα στους οποίους διέρχονται με μεταφορική ταινία τα προς ξήρανση υλικά.



Σχήμα 14-9. Ξηραντήρες ρευστοποιημένης κλίνης. (α) ασυνεχούς λειτουργίας και (β) συνεχούς λειτουργίας, (Π)- προϊόν, (F)- τροφοδότηση, (ΘΑ)- θερμός αέρας, (K)- κυκλώνας, (Φ)- φίλτρο αέρα.



Σχήμα 14-10. Ξηραντήρας διά καταψύξεως. (Π)- κατεψυγμένο προϊόν, (C)- συμπυκνωτήρας, (Ψ)- ψυκτικό κύκλωμα, (V)- αντλία κενού.

Χρόνος Ξήρανσης

Στην πράξη είναι συχνά απαραίτητο να γνωρίζουμε τον χρόνο που απαιτείται για την ξήρανση μιας ορισμένης ουσίας. Ο χρόνος αυτός μπορεί να υπολογιστεί από την εξίσωση (14-9) αν είναι γνωστός ο ρυθμός Ξήρανσης N. Από την σχέση (14-9) βρίσκουμε

$$dt = \frac{dX}{AN} \quad (14-10)$$

Ολοκληρώνοντας ως προς τον χρόνο κατά τον οποίο η υγρασία μεταβάλλεται από την αρχική τιμή X_1 στην τελική τιμή X_2 έχουμε

$$\int_0^t dt = t = \frac{1}{A} \int_{X_1}^{X_2} \frac{dX}{N} \quad (14-11)$$

Σύμφωνα με το σχήμα 14-4 διακρίνουμε δύο περιπτώσεις:

1) Περίοδος σταθερού ρυθμού. Στην περίπτωση αυτή $X_1, X_2 > X_c$ και $N = N_c$ οπότε η εξίσωση 14-11 γράφεται

$$t = \frac{X_1 - X_2}{AN_c} \quad (14-12)$$

2) Περίοδος ελαττωμένου ρυθμού. Στην περίπτωση αυτή τα $X_1, X_2 < X_c$ και το N μεταβάλλεται συνεχώς. Τότε το ολοκλήρωμα 14-11 μπορεί να υπολογιστεί με γραφική ολοκλήρωση. Καταρτίζεται δηλαδή το διάγραμμα με τεταγμένη $1/N$ και τετημένη το X και μετράται η επιφάνεια ολοκλήρωσης. Αν όμως συμβεί το N να είναι γραμμική συνάρτηση του X δηλαδή,

$$N = aX + b \quad (14-13)$$

τότε:

$$t = \frac{1}{A} \int_{X_1}^{X_2} \frac{dX}{aX + b} = \frac{1}{A} \frac{aX_1 + b}{aX_2 + b} \quad (14-14)$$

αλλά $N_1 = aX_1 + b, N_2 = aX_2 + b$ και $a = (N_1 - N_2) / (X_1 - X_2)$

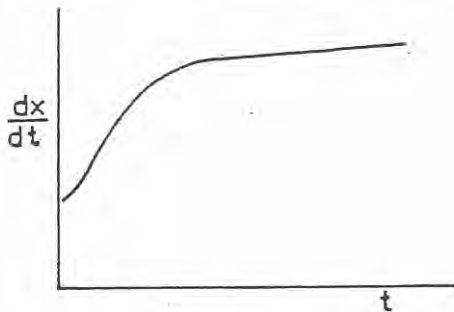
οπότε
$$t = \frac{1}{A} \frac{X_1 - X_2}{N_1 - N_2} \ln \frac{N_1}{N_2} = \frac{X_1 - X_2}{AN_m} \quad (14-15)$$

όπου: N_m - η μέση λογαριθμική τιμή του ρυθμού ξήρανσης $N = \frac{N_1 - N_2}{\ln(N_1/N_2)}$.

2. Πειραματικό Μέρος

Περιγραφή της συσκευής

Η διεργασία της ξήρανσης θα γίνει σε ξηραντήρα με ράφια. Ο ξηραντήρας αυτός περιγράφεται στην παράγραφο 1.5. (σχήμα 14-6). Την διάταξη συμπληρώνει ζυγός για την ζύγιση των δειγμάτων.



Σχήμα 14-11. Διαφορική καμπύλη ξήρανσης.

Διεξαγωγή του πειράματος

1. Ρυθμίζουμε την θερμοκρασία του ξηραντήρα στους 130°C.
2. Σε δέκα κάψες πορσελάνης ζυγίζουμε από 100 γρ ξηρής άμμου και προσθέτουμε 20 γρ νερού ώστε το δείγμα να περιέχει 20% υγρασία επί ξηρής βάσης (kg H₂O/kg ξηρής βάσης) και μετράμε την επιφάνεια A της έφυγρης άμμου.
3. Όταν η θερμοκρασία του πυριαντηρίου φθάσει στους 130°C, σημειώνουμε τον χρόνο και αμέσως εισάγουμε τα δείγματα σε αυτό.
4. Κάθε δέκα λεπτά εξάγουμε από ένα δείγμα και το ζυγίζουμε. Το τελευταίο δείγμα αφήνεται στο πυριαντήριο μέχρι αποκτήσεως σταθερού βάρους.

Επεξεργασία αποτελεσμάτων

1. Τα αποτελέσματα των μετρήσεων συγκεντρώνονται στον πίνακα I.

2. Υπολογίζεται η αποβληθείσα υγρασία και η μεταβολή του βάρους ΔB σε gr της υγρασίας για κάθε δείγμα.
3. Υπολογίζεται η ελεύθερη υγρασία $X-X^*$ όπου X^* είναι η υγρασία ισορροπίας, που λαμβάνεται από το τελευταίο δείγμα.
4. Κατασκευάζεται το διάγραμμα της ελεύθερης υγρασίας ($X-X^*$) σε συνάρτηση του χρόνου t (καμπύλης ξήρανσης) σύμφωνα με το σχήμα 14-4.
5. Με βάση την καμπύλη ξήρανσης που κατασκευάστηκε προηγουμένως υπολογίζονται γραφικά τα πηλικά dX/dX και κατασκευάζεται η διαφορική καμπύλη ξήρανσης dX/dt σε συνάρτηση του t σύμφωνα με το σχήμα 14-11.
6. Κατασκευάζεται η καμπύλη του ρυθμού ξήρανσης $N = \Delta X / \Delta t$ και παριστάνεται σαν συνάρτηση της ελεύθερης υγρασίας ($X-X^*$) σύμφωνα με το σχήμα 14-5.

ΠΙΝΑΚΑΣ I

Αριθμός δείγματος	Βάρος δείγματος (gr)		Δt (sec)	Αποβληθείσα υγρασία B (gr)	ΔB (gr) ($B_V - B_{V+1}$)	Ελεύθερη υγρασία ($X - X^*$)	Ρυθμός ξήρανσης N (Kg/h.m ²)
	Αρχικό	Μετά την ξήρανση					

Απαιτούμενες συσκευές και αντιδραστήρια

1. Ξηραντήριο με ράφια
2. Ζυγός
3. 10 κάψες πορσελάνης
4. Αμμος

Βιβλιογραφία

1. R.E. Treybol, "Mass Transfer Operations", Mc Graw Hill, 1968.
2. Γ.Δ. Σαραβάκου, "Τεχνική Θερμικών Διεργασιών", Αθήνα, 1973.
3. Κ.Μ. Σιπητάνου, "Τεχνική εργαστηριακών ασκήσεων Γενικής και Ανοργάνου Χημικής Τεχνολογίας," Θεσσαλονίκη, 1979.

Άσκηση 15: ΜΕΛΕΤΗ ΜΟΝΟΒΑΘΜΙΟΥ ΦΥΓΟΚΕΝΤΡΙΚΟΥ ΑΝΕΜΙΣΤΗΡΑ-ΜΕΤΡΗΤΕΣ ΠΑΡΟΧΗΣ ΑΕΡΙΩΝ

Σκοπός

Σκοπός της άσκησης είναι η εξοικείωση με την χρήση του ανεμιστήρα και η εύρεση των χαρακτηριστικών καμπυλών λειτουργίας αυτού.

1. Θεωρητικό Μέρος

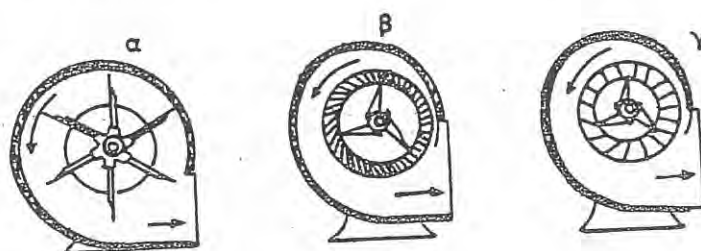
Οι φυγοκεντρικοί ανεμιστήρες είναι οι πλέον διαδεδομένες συσκευές μεταφοράς αερίων λόγω της απλής κατασκευής και της οικονομικής λειτουργίας τους. Το αέριο εισέρχεται μέσω σωλήνα ο οποίος είναι ομόκεντρος με τον άξονα περιστροφής του προωθητήρα. Ο προωθητήρας φέρει ακτινοειδώς τοποθετημένα πτερύγια τα οποία κατά την περιστροφή του αναγκάζουν το αέριο να κινηθεί από τον άξονα προς την εξωτερική περιφέρεια με μεγαλύτερη ταχύτητα αυτής της εισόδου του. Τέλος το αέριο εγκαταλείπει την εξωτερική περιφέρεια του προωθητήρα και συλλέγεται εντός ενός ελικοειδούς πλαισίου, το κέλυφος, και εγκαταλείπει την αντλία μέσω ενός σωλήνα εξόδου τοποθετημένου εφαπτομενικά.

Οι φυγοκεντρικοί ανεμιστήρες κατατάσσονται σε τρεις γενικούς τύπους ανάλογα με το σχήμα του προωθητήρα σε ανεμιστήρες με επίπεδα (σχ. 15-1α), με κοίλα (σχ. 15-1β) καθώς και με κυρτά (σχ. 15-1γ) πτερύγια.

Για την ελάττωση των στροβιλισμών του αερίου σε μερικούς φυγοκεντρικούς ανεμιστήρες τοποθετείται διαχυτήρας.

Λειτουργία φυγοκεντρικού ανεμιστήρα

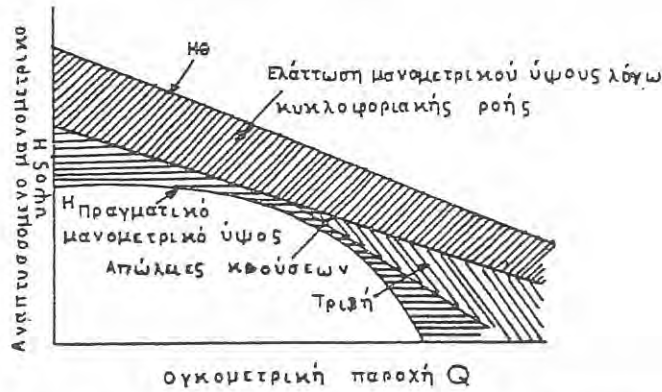
Στους φυγοκεντρικούς ανεμιστήρες η προσδιδόμενη μηχανική ενέργεια από τον προωθητήρα (αξονική ισχύς N_a) μετατρέπεται κυρίως σε κινητική ενέργεια, ενώ ένα ελάχιστο ποσό αυτής αναλώνεται για την αύξηση της πίεσης. Η μικρή αυτή αύξηση της πίεσης του αερίου επιφέρει αμελητέα μεταβολή της πυκνότητάς του. Έτσι μπορούν με επιτυχία, να εφαρμοσθούν οι εξισώσεις ροής των μη συμπιεστών ρευστών.



Σχήμα 15-1: Τύποι φυγοκεντρικών ανεμιστήρων: (α) με επίπεδα πτερύγια, (β) με κοίλα πτερύγια και (γ) με κυρτά πτερύγια.

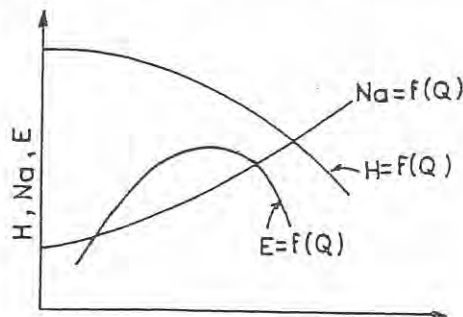
Κατά τη λειτουργία των φυγοκεντρικών ανεμιστήρων, και γενικότερα των φυγοκεντρικών αντλιών, το πραγματικά αναπτυσσόμενο μονομετρικό ύψος (H) είναι μικρότερο της παρεχόμενης αξονικής ισχύος, δηλαδή από το θεωρητικά αναπτυσσόμενο μανομετρικό ύψος (H_0). Οι απώλειες αυτές οφείλονται στην κυκλοφοριακή ροή του αερίου, σε απώλειες τριβών καθώς και σε απώλειες κρούσεων (σχ. 15-2). Αν εξετάσουμε μια εγκάρσια διατομή θα διαπιστώσουμε ότι οι δυναμικές γραμμές του αερίου δεν είναι ομοιόμορφες αλλά παρουσιάζεται μια ανακυκλοφορία αυτού. Αποτέλεσμα δε αυτού είναι η ταχύτητα και η γωνία διαφυγής του αερίου από τον προωθητήρα να είναι μικρότερες των θεωρητικών. Επίσης η κυκλοφορία του αερίου μέσω των μεταλλικών μερών του ανεμιστήρα θα έχει σαν αποτέλεσμα των απώλεια μανομετρικού ύψους λόγω τριβών οι οποίες θα είναι ανάλογες του τετραγώνου της ογκομετρικής παροχής. Τέλος η απότομη εισαγωγή του αερίου, όταν εγκαταλείπει τα πτερύγια του προωθητήρα, στο περιφερειακά κινούμενο ρεύμα (κρούση) έχει ως αποτέλεσμα την απότομη μεταβολή της διεύθυνσης, τη

δημιουργία στροβιλισμού και φυσικά την απώλεια μανομετρικού ύψους. Η απώλεια λόγω κρούσεων μπορεί να ελαχιστοποιηθεί με τη χρήση διαχυτήρων.



Σχήμα 15-2. Θεωρητικό μανομετρικό ύψος (H_0), πραγματικό μανομετρικό ύψος (H) και απώλειες φυγοκεντρικών ανεμιστήρων.

Οι καμπύλες των φυγοκεντρικών ανεμιστήρων, οι οποίες συνήθως χαρακτηρίζουν την λειτουργία αυτών για σταθερή ταχύτητα περιστροφής του προωθητήρα φαίνονται (σχήμα 15-3) υπό τις εξής μορφές.



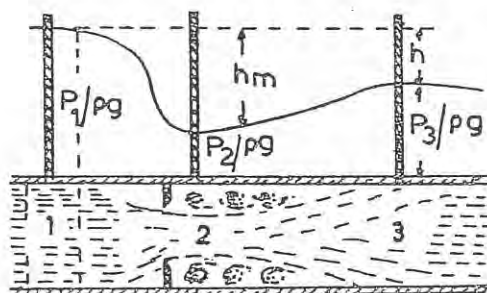
Σχήμα 15-3. Χαρακτηριστικές καμπύλες φυγοκεντρικού ανεμιστήρα.

- α. Το πραγματικό αναπτυσσόμενο μανομετρικό ύψος σαν συνάρτηση της παροχής, $H = f(Q)$.
- β. Η προσδιδόμενη αξονική ισχύς του προωθητήρα σαν συνάρτηση της παροχής, $N_a = f(Q)$

γ. Η απόδοση του ανεμιστήρα σαν συνάρτηση της παροχής, $E = f(Q)$.

Μέτρηση της παροχής

Ως παροχή (Q) ενός ανεμιστήρα ορίζεται σαν ο όγκος του αερίου που μεταφέρεται στη μονάδα του χρόνου (m^3/s). Η μέτρηση της παροχής αερίου γίνεται με ποικίλα όργανα τα οποία βασίζονται σε διάφορες αρχές της υδροδυναμικής. Εδώ θα εξετασθούν τρεις τύποι που είναι το διάφραγμα, ο μετρητής Venturii (Βεντουρίμετρο) και ο σωλήνας Pitot-Prandtl.



Σχήμα 15-4. Αρχή λειτουργίας διαφράγματος.

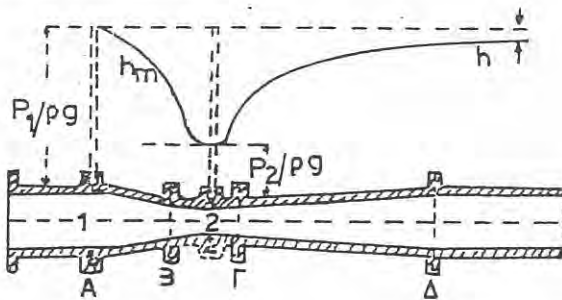
Το διάφραγμα αποτελείται από μια κυκλική μεταλλική πλάκα με μια κωνική οπή στο κέντρο της. Η μικρότερη διάμετρος αυτής αποτελεί την είσοδο του αερίου ενώ η μεγαλύτερη την έξοδο σχ. 15-4. Η φλέβα του αερίου αναγκάζεται κατά τη διόδό της από την οπή να συσταλεί. Η συστολή αυτή συνεχίζεται μέχρι το σημείο 2 (σχ. 15-4) μετά το οποίο αρχίζει σταδιακά να διαστέλεται η διατομή της φλέβας. Το τμήμα μεταξύ φλέβας και σωλήνα καταλαμβάνεται από στροβιλιζόμενο αέριο. Η διαστολή της φλέβας θα έχει σαν αποτέλεσμα την αύξηση του μανομετρικού ύψους ταχύτητας και την ελάττωση του μανομετρικού ύψους πίεσης. Η ελάττωση αυτή θα είναι ανάλογη της παροχής του αερίου. Μετά την πλήρη επαναφορά της φλέβας στην αρχική της διατομή (σημείο 3 σχ. 15-4) υπάρχει μια απώλεια μανομετρικού ύψους (h_f).

Η παροχή (Q) υπολογίζεται από το διάφραγμα με τη σχέση:

$$Q = C \frac{\pi d_o^2}{4} \sqrt{\frac{2gh_m}{1-(d_o/d_1)^4}} \tag{15-1}$$

όπου C - συντελεστής οργάνου, h_m - η διαφορά στατικής πίεσης στα σημεία 1 και 2, d_0, d_1 - διάμετρος οπής διαφράγματος και σωλήνος.

Στην ίδια αρχή βασίζεται και η μέτρηση της παροχής στο μετρητή Venturii με τη διαφορά ότι η συστολή της φλέβας γίνεται μέσω κωνικού συγκλίνοντος τμήματος (τμήμα Α-Β σχ. 15-5), "λαιμού" (Τμήμα Β-Γ σχ. 15-5) και κωνικού αποκλίνοντος τμήματος (τμήμα Γ-Δ σχ. 15-5). Η παροχή υπολογίζεται από το μετρητή Venturii από παρόμοια σχέση με την (1) και όπου d_0 είναι η διάμετρος της διατομής του "λαιμού".



Σχήμα 15-5. Αρχή λειτουργίας μετρητή Venturii.

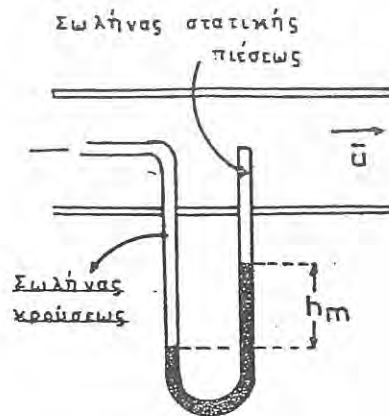
Ο σωλήνας Pitot-Prandtl (σχ. 15-6) αποτελείται από δύο σωλήνες, το στατικό σωλήνα με άνοιγμα παράλληλο προς τη διεύθυνση ροής, ο οποίος μετρά τη στατική πίεση, και το σωλήνα κρούσης, κάθετο προς τη ροή ο οποίος μετρά την αρχική πίεση του αερίου. Το μανόμετρο που συνδέει τους δύο σωλήνες μετρά τη διαφορά των δύο αυτών πιέσεων, δηλαδή την πίεση ταχύτητας

$$h_m = \frac{u^2}{2g} \quad (15-2)$$

και
$$u = \sqrt{2gh_m} \quad (15-3)$$

Επομένως η παροχή θα είναι:

$$Q = \frac{\pi d_0^2}{4} \sqrt{2gh_m} \quad (15-4)$$



Σχήμα 15-6. Σωλήνας Pitot-Prandtl.

Υπολογισμός των χαρακτηριστικών μεγεθών του φυγοκεντρικού ανεμιστήρα

Η παρεχομένη ισχύς στον προωθητήρα, σύμφωνα με τις αρχές της μηχανικής έτσι ώστε να διατηρηθεί η κυκλική κίνηση αυτού, είναι ίση με το γινόμενο της γωνιακής ταχύτητας ω επί τη ροπή στρέψης T .

$$N_a = \omega \cdot T \quad (15-5)$$

και επειδή $\omega = 2\pi n$ (15-6)

όπου n η συχνότητα περιστροφής

$$N_a = 2\pi n T \quad (15-7)$$

Το πραγματικό αποδιδόμενο έργο για τη μεταφορά του αέριου είναι το γινόμενο της αναπτυγμένης ολικής διαφοράς πίεσης στην είσοδο και έξοδο του ανεμιστήρα (ΔP_t) επί την ογκομετρική παροχή Q .

$$N_w = \Delta P_t \cdot Q \quad (15-8)$$

η ολική διαφορά πίεσης είναι το άθροισμα των διαφορών πίεσης στατικής (ΔP_s) και δυναμικής (ΔP_d).

$$\Delta P_t = \Delta P_s + \Delta P_d \quad (15-9)$$

Η ΔP_s συνήθως μετράται απ' ευθείας με τη χρήση διαφορικού μανομέτρου ενώ η ΔP_d μπορεί να υπολογισθεί από την ογκομετρική παροχή και τις εγκάρσιες διατομές της εισόδου (A_i) και εξόδου (A_o) του ανεμιστήρα.

$$\Delta P_d = \frac{u_o^2}{2g} - \frac{u_i^2}{2g} = \frac{1}{2g} (u_o^2 - u_i^2) \quad (15-10)$$

Η (15-10) σε συνδιασμό με τη σχέση $Q = Au$ γίνεται:

$$\Delta P_d = \frac{Q^2}{2g} \left(\frac{1}{A_o^2} - \frac{1}{A_i^2} \right) \quad (15-11)$$

Ο συντελεστής απόδοσης ορίζεται ο λόγος της ωφέλιμης ισχύς (N_ω) προς την αξονική ισχύ (N_α).

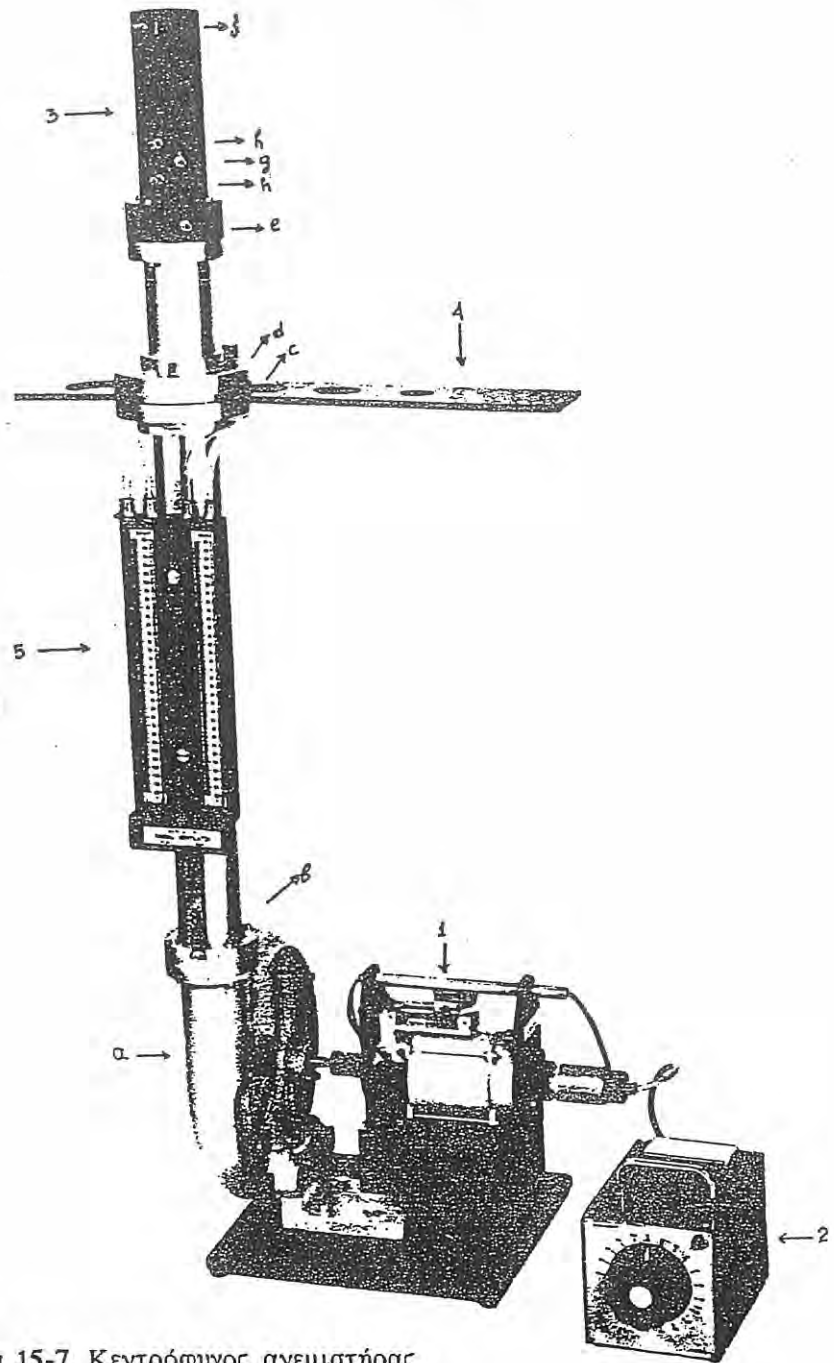
$$E = \frac{N_\omega}{N_\alpha} \quad (15-12)$$

2. Πειραματικό Μέρος

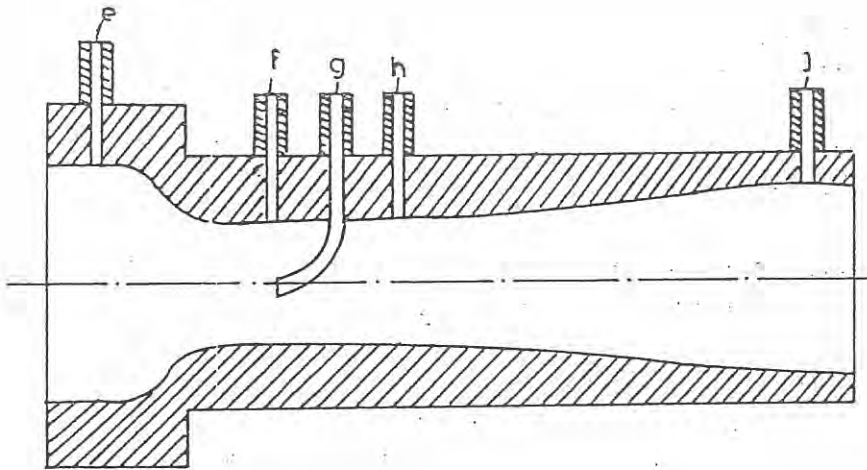
Περιγραφή της συσκευής

Ο κεντρόφυγος ανεμιστήρας (σχ. 15-7) που θα χρησιμοποιηθεί στην άσκηση αυτή είναι τύπου ακτινωτού με πτερύγια κεκλιμένα προς τα εμπρός (κυρτά). Αποτελείται από κινητήρα που δίνει την περιστροφική κίνηση στον ανεμιστήρα εφοδιασμένη με μετρητή της αναπτυσσόμενης ροπής στρέψης (δυναμόμετρο) (1) από μετρητή της ταχύτητας περιστροφής (2) και από μετρητή Venturii (3) προσαρμοσμένο στο άνω άκρο του ανεμιστήρα. Η συσκευή διαθέτει σειρά διαφραγμάτων διαφόρων διαμέτρων (4) καθώς επίσης και μανόμετρο υγρού (5). Με αυτό μετρούνται οι απόλυτες τιμές ή οι διαφορές πιέσεων συνδέοντας αντίστοιχα το ένα ή και τα δύο άκρα του μανόμετρου με διάφορα σημεία του οργάνου.

Όλα τα σημεία από το a έως το j, εκτός του g, αντιστοιχούν σε σωλήνες κάθετους στην ροή του ρευστού με τους οποίους μετρούνται στατικές πιέσεις (σχ. 15-8). Τα σημεία a και b είναι η είσοδος και η έξοδος του ανεμιστήρα, τα δε c και d χρησιμοποιούνται για μετρήσεις των πιέσεων πριν και μετά το διάφραγμα.



Σχήμα 15-7. Κεντρόφυγος ανεμιστήρας.



Σχήμα 15-8. Εγκάρσια τομή σωλήνα Venturiti της εργαστηριακής συσκευής.

Τα σημεία e και f χρησιμοποιούνται για μετρήσεις στο μετρητή Venturiti ενώ το ζεύγος σημείων f και g χρησιμοποιούνται για μετρήσεις στο σωλήνα Pitot-Prandtl. Τέλος τα σημεία h και j χρησιμοποιούνται για μετρήσεις του συντελεστή διαχυτότητας για τον αποκλίνοντα κώνο του μετρητή Venturiti.

Τεχνικά χαρακτηριστικά εργαστηριακής συσκευής

A. Φυγόκεντρος ανεμιστήρας

Διάμετρος εισόδου ανεμιστήρα	0,080 m
Διάμετρος εξόδου ανεμιστήρα	0,074 m
Εμβαδό διατομής εισόδου	$5.03 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$
Εμβαδό διατομής εξόδου	$4.30 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$

B. Διάφραγμα

Διάμετρος σωλήνα πριν το διάφραγμα	0,074m
Εμβαδό διατομής σωλήνα πριν το διάφραγμα	$4.30 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$

N_0 οπής	Διάμετρος οπής (mm)	Εμβαδόν οπής (m^2)	Λόγος επιφανειών (d_i/d_0)
1	0	0	0
2	24,5	$0,47 \cdot 10^{-3}$	0,110
3	36,3	$1,04 \cdot 10^{-3}$	0,241
4	45,6	$1,63 \cdot 10^{-3}$	0,380
5	59,2	$2,75 \cdot 10^{-3}$	0,640
6	74,0	$4,30 \cdot 10^{-3}$	1,000

Γ. Μετρητής Venturri

Διάμετρος σωλήνα πριν τη στένωση	0,074m
Εμβαδό διατομής σωλήνα πριν τη στένωση	$4.30 \cdot 10^{-3} \text{m}^2$
Διάμετρος "λαιμού"	0,040m
Εμβαδό διατομής "λαιμού"	$1,26 \cdot 10^{-3} \text{m}^2$

Δ. Επιτάχυνση της βαρύτητας

$$g = 9.81 \text{m/s}^2$$

Πυκνότητα αέρα σε κανονικές συνθήκες

$$\rho = 1.20 \text{kg/m}^3$$

Στο σχήμα 15-9 δίνονται οι συντελεστές των οργάνων για το σωλήνα Venturri καθώς και τα διάφορα διαφράγματα για τους διάφορους λόγους επιφανειών σαν συνάρτηση της ένδειξης του μανομέτρου h_m σε mm νερού. Η διόρθωση των μετρήσεων από τις συνθήκες των πειραμάτων (θερμοκρασία, πίεση) σε κανονικές συνθήκες μπορεί να γίνουν με τις σχέσεις

$$Q_n = \frac{Q}{\frac{273+T}{293} \cdot \frac{760}{B}} \quad (15-13)$$

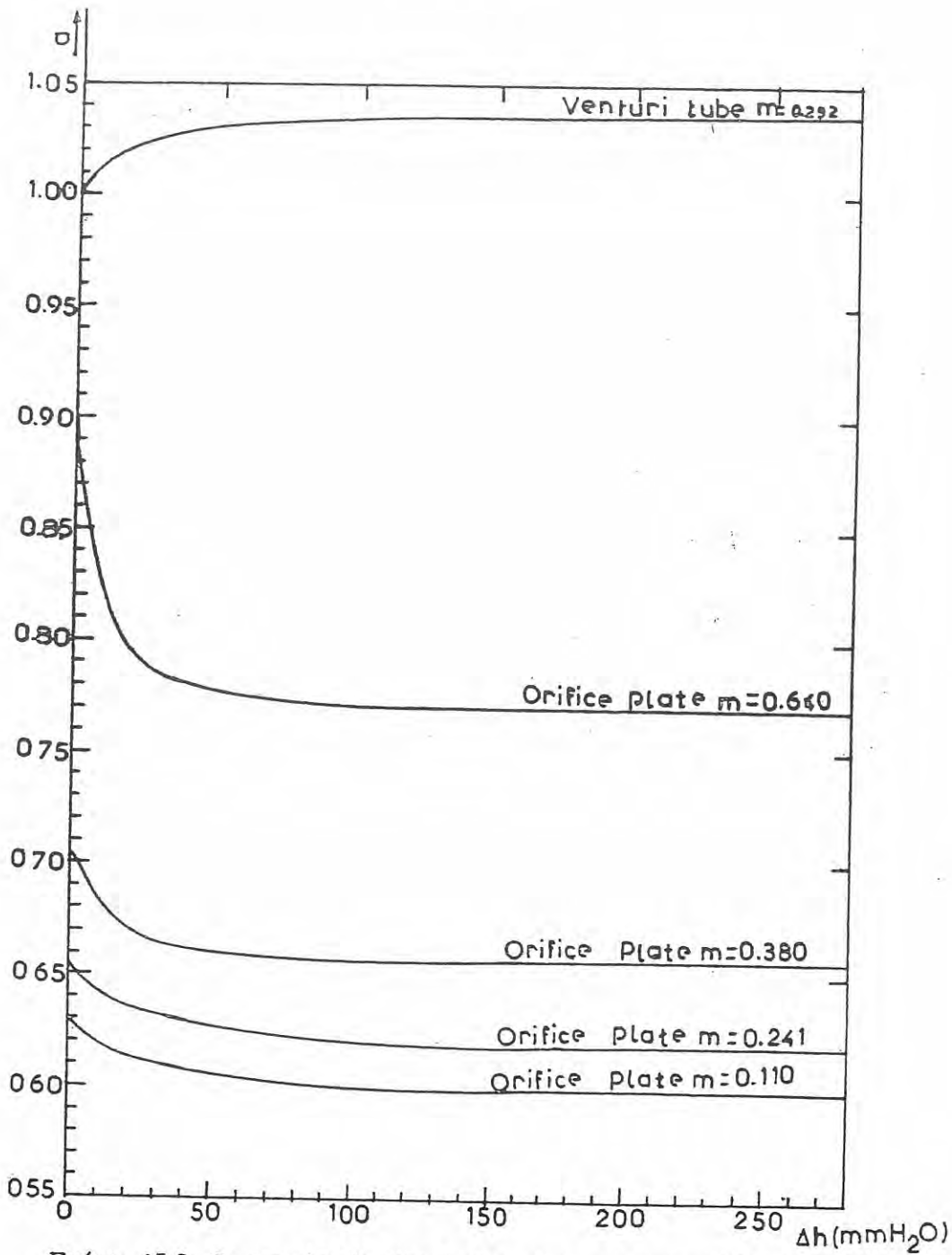
$$P_n = \frac{P}{\frac{273+T}{293} \cdot \frac{760}{B}} \quad (15-14)$$

όπου Q_n, P_n παροχή και πίεση σε κανονικές συνθήκες (20°C , 760mmHg) και T, B η θερμοκρασία ($^\circ\text{C}$) και η βαρομετρική πίεση (mmHg) στις συνθήκες του πειράματος.

Μέτρηση παροχής με διάφραγμα

Τοποθετείται το διάφραγμα Νο2. Συνδέεται το ένα μανόμετρο με τα σημεία c και d. Τίθεται σε λειτουργία ο φουσητήρας για διάφορους ρυθμούς περιστροφής ώστε να καλυφθεί η κλίμακα 0-3.000rpm. Τις αντίστοιχες μετρήσεις του στροφομέτρου και του μανομέτρου σημειώνονται στον πίνακα I. Υπολογίζονται τα Q και Q_n από τις σχέσεις 15-1 και 15-13.

Επαναλαμβάνεται η ίδια διαδικασία και για τα διαφράγματα Νο 3,4 και 5. Τέλος κατασκευάζονται τα διαγράμματα $Q_n=f(n)$ και $\Delta P_{s(c-d)}=f(Q_n)$ για όλα τα διαφράγματα και επιλέγονται οι περιοχές που μπορεί να εφαρμοσθεί το καθένα.



Σχήμα 15-9: Οι συντελεστές των διαφραγμάτων και του σωλήνα Venturri σαν συνάρτηση της ένδειξης του μανομέτρου h_m .

Πίνακας I: Μέτρηση της παροχής με τη βοήθεια διαφράγματος.

B= mmHg t= °C d_f= mm

α/α	n. (rpm)	h _{m(c-d)} (mmH ₂ O)	ΔP _{sc-d} (kPa)	c	Q (m ³ /s)	Q _n (m ³ /s)
1						
2						
3						
4						
5						
.						
.						
.						

Σημείωση: 1mmH₂O = 9.81Pa

Μέτρηση παροχής με μετροπή Venturi

Τοποθετείται η πλακέτα των διαφραγμάτων στη θέση 6 (ίδια διάμετρος, όπως με το σωλήνα) και συνδέεται ένα διαφορικό μανόμετρο με τα σημεία e και f. Επαναλαμβάνεται η διαδικασία όπως στα διαφράγματα και συμπληρώνεται όπως προηγουμένως ο πίνακας II.

Πίνακας II: Μέτρηση παροχής με μετροπή Venturi

B= mmHg t= °C

α/α	n (rpm)	h _{m(e-f)} (mmH ₂ O)	ΔP _{s(e-f)} kPa	c	Q (m ³ /s)	Q _n (m ³ /s)
1						
2						
3						
4						
.						
.						
.						

Κατασκευάζονται τα διαγράμματα Q_n=f(n) και ΔP_{s(e-f)}=f(Q_n) και επιλέγεται η περιοχή λειτουργίας του μετροπή Venturi.

Μέτρηση παροχής με το σωλήνα Pitot-Prandtl-Εύρεση συντελεστή οργάνου

Τοποθετείται η πλακέτα των διαφραγμάτων, σε μια από τις θέσεις 2,3,4 ή 5. Συνδέονται τα δύο μανόμετρα με τα σημεία c, d και f, g αντίστοιχα. Ακολουθείται η ίδια διαδικασία, όπως και για τα δύο μανόμετρα. Υπολογίζονται οι παροχές για τα δύο μανόμετρα από τις σχέσεις (15-1), (15-13) και (15-4), (15-13) αντίστοιχα και συμπληρώνεται ο πίνακας III. Κατασκευάζεται το διάφραγμα $C=f(h_m)$ και εξάγονται συμπεράσματα για τη λειτουργία του σωλήνα Pitot-Prandtl.

Χαρακτηριστικές καμπύλες ανεμιστήρα

Συνδέονται τα διαφορικά μανόμετρα με τα σημεία e-f του μετρητή Venturii και a-b στα άκρα του ανεμιστήρα. Εκλέγεται ένας ρυθμός περιστροφής του ανεμιστήρα μεταξύ 2.000 και 3.000r.p.m. Τοποθετείται η

Πίνακας III: Εύρεση συντελεστή διόρθωσης σωλήνα Pitot-Prandtl

B= Hg t= °C d_i= mm

Διαφράγματος					Σωλήνας Pitot-Prandtl					
α/ α	η (rpm)	h _{m(c-d)} (mmH ₂ O)	ΔP _{s(c-d)} kPa	C	Q (m ³ /s)	Q _n (m ³ /s)	h _m (mmH ₂ O)	Q (m ³ /s)	Q _n (m ³ /s)	Q
1										
2										
3										
4										
5										
.										
.										
.										

πλάκα των διαφραγμάτων στις ενδείξεις 1,2,3,4,5 και 6 διαδοχικά ενώ ταυτόχρονα σημειώνονται οι ενδείξεις των μανόμετρων h_{m(a-b)} και h_{m(e-f)} καθώς και οι ενδείξεις του δυναμόμετρου στον πίνακα IV. Υπολογίζεται η αξονική ισχύς (N_a) από τη σχέση (7) η διαφορά της στατικής πίεσης στην είσοδο και έξοδο του ανεμιστήρα [ΔP_{s(a-b)}] και στο μετρητή Venturii [ΔP_{s(e-f)}], η παροχή Q_n από το διάγραμμα του μετρητή Venturii ΔP_{s(e-f)}= f(Q_n) [παράγραφος 5.3.2], η ολική πτώση πίεσης ΔP_t από τη σχέση (15-9), η ωφέλιμη

ισχύς N_ω από τη σχέση (15-8) και τέλος ο συντελεστής απόδοσης E από τη σχέση (15-12).

Πίνακας IV: Χαρακτηριστικές καμπύλες του ανεμιστήρα

B= mm Hg t= °C n= rpm

di mm	T Nm	N_a kW	$h_{m(a-b)}$ mmH ₂ O	$\Delta P_{s(a-b)}$ kPa	$h_{m(e-f)}$ mmH ₂ O	$\Delta P_{s(e-f)}$ kPa	Q_n m ³ /s	ΔP_d kPa	N_ω kW	E	ΔP_t kPa
0											
26.5											
36.3											
45.6											
59.2											
74.0											

Κατασκευάζονται τα διαγράμματα $N_a=f(Q_n)$, $N_\omega=f(Q_n)$, $E=f(Q_n)$, $\Delta P_t=f(Q_n)$ και $\Delta P_d=f(Q_n)$ από τα οποία εξάγονται συμπεράσματα για τη βέλτιστη περιοχή λειτουργίας του φυγόκεντρου ανεμιστήρα.

Βιβλιογραφία

1. Α.Θ. Σδούκου, "Φυσικές διεργασίες της Χημικής Τεχνολογίας. Τόμος I-Μηχανική Ρευστών και Τεχνική Σωματιδίων", 3η Έκδοση, Ιωάννινα, 1993.
2. L. Bergavist, "Theory and Laboratory Exercises for the Centrifugal Fan MT253", Terco AB, Skarholmen, 1975.
3. W.L.Mc Cabe, J.C.Smith, "Βασικά φυσικά διεργασίες Χημικής Μηχανικής", Ελληνική μετάφραση υπό ΤΕΕ, Αθήναι, 1971.
4. R.H.Perry, C.H.Chilton, "Chemical Engineer's Handbook", 5th Ed., Mc Graw-Hill Book Co. New York, 1973.

Άσκηση 16. ΠΟΛΥΜΕΡΗ. ΟΡΙΑΚΟ ΙΣΩΔΕΣ ΚΑΙ ΜΟΡΙΑΚΟ ΒΑΡΟΣ

Σκοπός

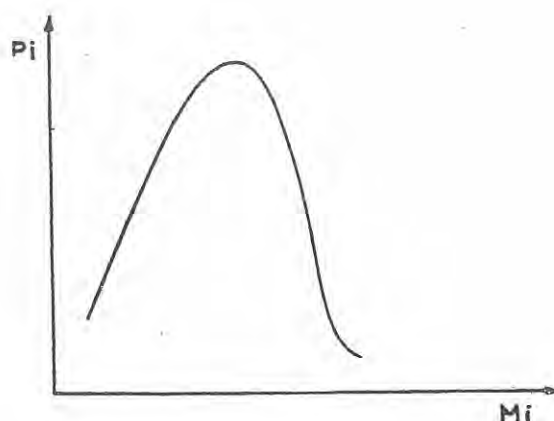
Σκοπός της άσκησης αυτής είναι αφ' ενός μεν η εξοικείωση με την μεθοδολογία έρευνας των πολυμερών ιξώδομετρικώς και αφ' ετέρου η χρήση του οριακού ιξώδους διαλύματος πολυμερούς για τον προσδιορισμό του μέσου μοριακού βάρους αυτού.

1. Θεωρητικό Μέρος

Κατά την σύνθεση των πολυμερών λαμβάνονται μακρομόρια παραπλήσιων μοριακών βαρών. Σε ένα τυπικό δείγμα πολυμερούς εάν παραστήσουμε γραφικά το ποσοστό $P_i = (N_i)/(\sum N_i)$ (N_i ο αριθμός των πολυμερών μοριακού βάρους M_i) ως συνάρτηση του μοριακού βάρους M_i λαμβάνουμε καμπύλη με ένα μέγιστο (σχήμα 16-1), το οποίο παριστάνει το πολυμερές με το μεγαλύτερο ποσοστό στο δείγμα.

Χαρακτηριστικές ιδιότητες της καμπύλης σύστασης των πολυμερών είναι και οι διάφορες μέσες τιμές του μοριακού βάρους, ανάλογα της ιδιότητας που χρησιμοποιούμε για τον προσδιορισμό αυτού. Έτσι έχουμε:

1. Το μέσο μοριακό βάρος $\bar{M}_N = (\sum N_i M_i)/(\sum N_i)$ λαμβανόμενο από μετρήσεις ωσμωτικών ιδιοτήτων και το οποίο βασίζεται στην κατανομή του αριθμού N_i των μακρομορίων.



Σχήμα 16-1. Κατανομή (P_i) ενός πολυμερούς ανάλογα με το μοριακό βάρος (M_i).

2. Το μέσο μοριακό βάρος $\bar{M}_w = (\sum p_i M_i) / (\sum p_i) = (\sum N_i M_i^2) / (\sum N_i M_i)$ βασισόμενο στην κατανομή της μάζας p_i των μακρομορίων, λαμβανόμενο από τα πειράματα σκέδασης (φωτός, ακτίνων X ή ακτίνων νετρονίων).
3. Το μέσο μοριακό βάρος $\bar{M}_z = (\sum p_i M_i^2) / (\sum p_i M_i) = (\sum N_i M_i^3) / (\sum N_i M_i^2)$ προσδιοριζόμενο από πειράματα κατακάθισης και τέλος
4. Το μέσο μοριακό βάρος $\bar{M} = [(\sum N_i M_i^{1+\alpha}) / (\sum N_i M_i)]^{1/\alpha}$ σχετιζόμενο με πειράματα μέτρησης ιξώδους (για τον ορισμό του α βλέπε σχέση 16-3).

Σε ένα μονομοριακό δείγμα η κατανομή του σχήματος 16-1 γίνεται μια κάθετη ευθεία και όλα τα πιο πάνω μέσα μοριακά βάρη συμπίπτουν με το μοριακό βάρος του δείγματος. Σε μια πραγματική κατανομή όμως λόγω της πολυδιασποράς των μορίων του πολυμερούς τα διάφορα μέσα μοριακά βάρη διαφοροποιούνται. Το συνηθέστερο μέτρο της πολυδιασποράς στα πολυμερή είναι ο λόγος $(\bar{M}_w) / (\bar{M}_n)$ που συνήθως λαμβάνει τιμές από 2 έως 50 και που μεγαλύτερη τιμή αυτού φανερώνει πιο πλατιά καμπύλη της κατανομής των πολυμερών.

Το ιξώδες η ενός πραγματικού ρευστού χαρακτηρίζει το πόσο δύσκολα ή εύκολα ρέει το ρευστό όταν εφαρμοστεί επ' αυτού διατμητική τάση [1]. Σε ένα πείραμα στρωτής ροής δια μέσου σωλήνος, και υπό την προϋπόθεση ότι το ρευστό θεωρείται ασυμπιεστο, το ιξώδες δίδεται από τον τύπο του Poiseuille [2, 3].

$$\eta = \frac{\pi R^4 \Delta P}{8LV} \cdot t \quad (16-1)$$

όπου ΔP - είναι η διαφορά πίεσεως στα δύο άκρα του σωλήνα, R - η ακτίνα του σωλήνα, L - το μήκος του, V - ο όγκος αυτού και t - ο χρόνος ροής.

Με την εισαγωγή πολυμερούς στο διάλυμα η αναγκαία διατμητική τάση προς επίτευξη ορισμένης ροής αυξάνεται, λόγω της παρουσίας των μακρομορίων [1,4]. Παρατηρείται δηλαδή μια σημαντική αύξηση του ιξώδους του διαλύματος ως προς το ιξώδες του καθαρού διαλύτη.

Όταν αυξάνεται η συγκέντρωση του πολυμερούς στο διάλυμα, τότε κατά κανόνα το ιξώδες του διαλύματος αυξάνεται. Προκειμένου να βρεθεί η επίδραση μεμονομένων μακρομορίων στο ιξώδες αυτά πρέπει να βρίσκονται σε τέτοια απόσταση το ένα από το άλλο ώστε να περιοριστούν στο ελάχιστο οι μεταξύ τους αλληλεπιδράσεις. Οι συνθήκες αυτές επιτυγχάνονται στα αραιά διαλύματα. Το μέγεθος που εκφράζει την επίδραση των μεμονομένων μακρομορίων είναι το **οριακό ιξώδες $[\eta]$** που ορίζεται σαν το όριο:

$$[\eta] = \lim_{c \rightarrow 0} \frac{\eta_c - \eta_0}{c \cdot \eta_0} = \lim_{c \rightarrow 0} \frac{1}{c} \left(\frac{\eta_c}{\eta_0} - 1 \right) \quad (16-2)$$

όπου: η_c - ιξώδες διαλύματος πολυμερούς συγκέντρωσης C , η_0 - ιξώδες του διαλύτη ($c=0$).

Το $[\eta]$ επειδή ακριβώς αναφέρεται σε μεμονωμένα μακρομόρια εξαρτάται από την φύση αυτών και μάλιστα από το μοριακό τους βάρος M . Θεωρητικά προβλέπεται, και πειραματικά ευρίσκεται, ότι το $[\eta]$ για γραμμικά μακρομόρια συνδέεται [4] με το \bar{M} με την απλή σχέση

$$[\eta] = K \bar{M}^a \quad (16-3)$$

όπου: K και a είναι σταθερές αναφερόμενες σε ένα ορισμένο ζεύγος πολυμερούς και διαλύτη και σε ορισμένη θερμοκρασία.

Η σχέση (16-3) μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη μελέτη της επίδρασης του μέσου μοριακού βάρους του πολυμερούς επί του φυσικού ιξώδους του διαλύματος ή, αντίστροφα για τον προσδιορισμό αγνώστου μοριακού βάρους με την μέτρηση του $[\eta]$. Λογαρίθμηση της σχέσης (16-3) δίνει:

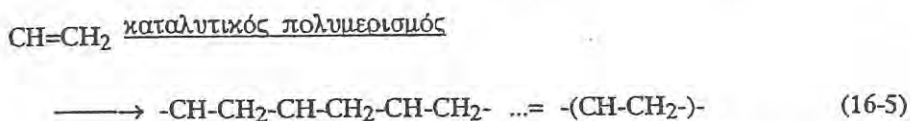
$$\log \eta = \log K + a \cdot \log \bar{M}$$

Η γραφική παράσταση του $\log (\eta)$ ως προς $\log \bar{M}$ δίνει ευθεία κλίσης a και τεταγμένης επί την αρχή ίση με $\log K$.

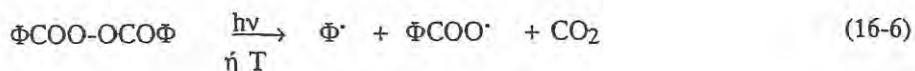
Η ευθεία αυτή μπορεί να προσδιοριστεί με τρία σημεία και στη συνέχεια να χρησιμοποιηθεί για τον προσδιορισμό αγνώστου \bar{M} πολυμερούς, σε διάλυμα γνωστού $[\eta]$.

2. Πειραματικό Μέρος

Για την μέτρηση του ιξώδους θα χρησιμοποιηθεί το ιξωδόμετρο Ostwald. Ως πολυμερές θα χρησιμοποιηθεί το πολυστυρένιο και ως διαλύτης το χλωροφόρμιο. Το πολυστυρένιο, το πολυμερές του στυρενίου $\text{CH}=\text{CH}_2$ παρασκευάζεται σύμφωνα με την παρακάτω αντίδραση:



Συνηθέστερος τρόπος πολυμερισμού είναι η μέθοδος των ελευθέρων ριζών όπου σαν εναρκτές (iniciators) της αντίδρασης πολυμερισμού χρησιμοποιούνται συνήθως ουσίες που δίνουν εύκολα ελεύθερες ρίζες. Τυπικό παράδειγμα είναι η διάσπαση του βενζοϊκού υπεροξειδίου:



Οι ελεύθερες ρίζες διασπούν στη συνέχεια τον διπλό δεσμό του στυρενίου. Το λαμβανόμενο προϊόν με την σειρά του αντιδρά με άλλα μόρια στυρενίου για να δώσει τελικά το πολυμερές. Ο πολυμερισμός του στυρενίου μπορεί να γίνει είτε σε διαλύματα στυρενίου είτε σε καθαρό στυρένιο στην υγρή φάση. Δύναται επίσης να γίνει με ετερογενείς αντιδράσεις από αιωρήματα ή γαλακτώματα του στυρενίου σε υγρό με το οποίο το στυρένιο δεν αναμιγνύεται, όπως είναι π.χ. το νερό.

Αρχικά προσδιορίζουμε τα οριακά ιξώδη $[\eta]_1$ και $[\eta]_2$ δύο δειγμάτων διαφορετικών μέσων μοριακών βαρών M_1 και M_2 . Προς τον σκοπό αυτό, για κάθε πολυμερές παρασκευάζονται τρία διαλύματα διαφορετικών συγκεντρώσεων της τάξης των 0,005g/ml και μετρούνται οι χρόνοι ροής t_c των διαλυμάτων συγκέντρωσης C καθώς και ο χρόνος ροής t_0 του καθαρού διαλύτη. Από τον νόμο του Poiseuille (σχέση 16-1) προκύπτει ότι ο λόγος των ιξωδών είναι ίσος προς τον λόγο των αντιστοίχων χρόνων.

$$\eta_c = \frac{\pi \Delta P \cdot R^4 \cdot t_c}{8 \cdot L \cdot V}$$

$$\frac{\eta_c}{\eta_0} = \frac{t_c}{t_0} \quad (16-7)$$

$$\eta_0 = \frac{\pi \Delta P \cdot R^4 \cdot t_0}{8 \cdot L \cdot V}$$

Τα αποτελέσματα καταγράφονται στους παρακάτω πίνακες.

Πίνακας I

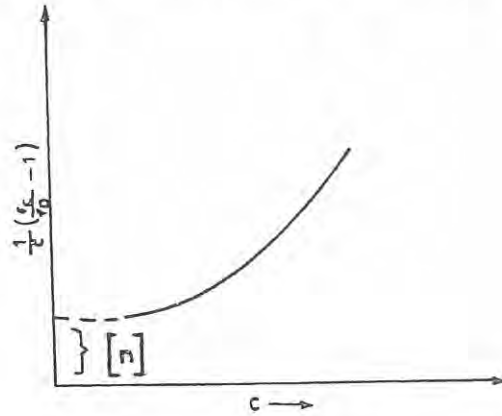
$M_1 =$	$t_0 =$
$C, (g/ml)$	$t_c, (sec) \frac{1}{C} \left(\frac{t_c}{t_0} - 1 \right) (ml/g)$

Πίνακας II

$M_2 =$	$t_0 =$
$C, (g/ml)$	$t_c, (sec) \frac{1}{C} \left(\frac{t_c}{t_0} - 1 \right)$

Στη συνέχεια για κάθε πολυμερές σχεδιάζουμε την συνάρτηση $\frac{1}{C} \left(\frac{t_c}{t_0} - 1 \right) = f(C)$ και προεκτείνουμε την καμπύλη για $C \rightarrow 0$ όπως φαίνεται στο σχήμα 16-2.

Η τεταγμένη επί την αρχή σύμφωνα με την σχέση (16-2) (βλέπε σχήμα 16-2) δίνει το οριακό ιξώδες $[\eta]$ του πολυμερούς. Τα ευρισκόμενα μ' αυτόν τον τρόπο οριακά ιξώδη $[\eta]_1$ και $[\eta]_2$ καταγράφονται στον πίνακα III.



Σχήμα 16-2. Για την εύρεση του οριακού ιξώδους $[\eta]$.

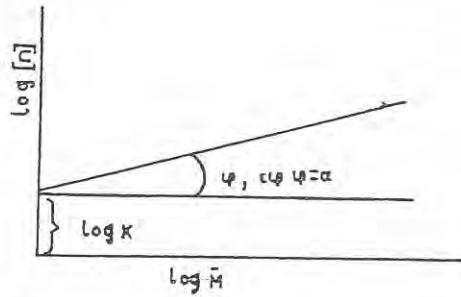
Πίνακας III

Πολυμ.	\bar{M}	$[\eta]$	$\log \bar{M}$	$\log[\eta]$
1				
2				
3				

Από τα δύο ζεύγη $(\log \bar{M}_1, \log [\eta]_1)$ και $(\log \bar{M}_2, \log [\eta]_2)$, κατασκευάζεται η ευθεία της σχέσης 16-4 (βλ. σχήμα 16-3) και υπολογίζονται οι σταθερές K και a . Έτσι η σχέση 16-3, είναι πλέον γνωστή και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον προσδιορισμό του αγνώστου \bar{M} από τα δεδομένα του οριακού ιξώδους $[\eta]$ αυτού.

Παρασκευάζουμε και πάλι τρία διαλύματα πολυμερούς του αγνώστου, της ίδιας τάξης συγκέντρωσης $0,005\text{g/ml}$ και καταγράφουμε τα αποτελέσματα στον πίνακα IV.

Βρίσκουμε το $[\eta]$ του αγνώστου από την τεταγμένη επί την αρχή της συνάρτησης $\frac{1}{C} \left(\frac{t_c}{t_0} - 1 \right) = f(C)$ και με τη βοήθεια της ευθείας της σχέσης 16-4 (σχήμα 16-3) προσδιορίζουμε το άγνωστο M , γνωρίζοντας το $[\eta]$ του αγνώστου διαλύματος.



Σχήμα 16-3. Για τον προσδιορισμό των σταθερών K και α της σχέσης (16-3).

Πίνακας IV

Αγνώστο M ,		$t_0 =$
C (g/ml)	t_c (sec)	$\frac{1}{C} \left(\frac{t_c}{t_0} - 1 \right)$ (ml/g)

Απαιτούμενα όργανα και αντιδραστήρια

1. Ίξωδόμετρο Ostwald
2. Ποσότητες πολυστυρενίου τριών διαφορετικών μοριακών βαρών
3. Χλωροφόρμιο.

3. Βιβλιογραφία

1. Α.Θ.Σδούκου, "Φυσικές Διεργασίες της Χημικής Τεχνολογίας Μέρος Ι-Μηχανική Ρευστών και Τεχνική Σωματιδίων", σελ. 3,4, 3η έκδοση, Ιωάννινα, 1993.
2. Η ίδια αναφορά 1, σελ. 17.
3. Ασκήση 7, "Ρεολογικά διαγράμματα", "Εργαστηριακές ασκήσεις της Βιομηχανικής Χημείας", Ιωάννινα, 1994.
4. A.Tager, Physical Chemistry of Polymers, Mir Publishers Moscow, p. 460.

Άσκηση 17. ΕΠΙΠΛΕΥΣΗ

Σκοπός

Σκοπός της άσκησης είναι:

1. Η κατανόηση των αρχών που διέπουν την επίπλευση και,
2. Η εύρεση των καλύτερων συνθηκών για τον εμπλουτισμό δοθέντος δείγματος.

1. Θεωρητικό μέρος

Η επίπλευση είναι φυσικοχημική μέθοδος διαχωρισμού και εμπλουτισμού μεταλλευμάτων και βιομηχανικών ορυκτών. Επίσης βρίσκει εφαρμογή στο διαχωρισμό μειγμάτων, στην επιτάχυνση της κατακάθισης των ιζημάτων και στην επεξεργασία βιομηχανικών λυμάτων.

Ο διαχωρισμός του χρήσιμου ορυκτού από το στείρο ή-ο διαχωρισμός των διαφόρων ορυκτών στηρίζεται στη διαφορά του υδρόφοβου χαρακτήρα των επιφανειών των ορυκτών. Η διαφορά είτε υπάρχει είτε δημιουργείται με τεχνητό τρόπο, συνήθως με τη δράση κατάλληλων αντιδραστηρίων.

Την επίπλευση την διακρίνουμε σε **απλή**, δηλαδή διαχωρισμό μεταλλεύματος ή βιομηχανικού ορυκτού από το στείρο και σε **διαφορική επίπλευση**, δηλαδή πρώτα διαχωρισμό των συνυπαρχόντων μεταλλευμάτων και στο τέλος διαχωρισμό του τελευταίου μεταλλεύματος από το στείρο (σαν στείρο

χαρκτηρίζομε τα συνοδεύοντα το χρήσιμο συστατικό άχρηστα συστατικά του μεταλλεύματος).

Αρχές λειτουργίας της επίπλευσης

Η όλη διεργασία της επίπλευσης είναι αρκετά σύνθετη και επηρεάζεται από πολλούς παράγοντες που πολλές φορές είναι αρκετά δύσκολα να ελεγχθούν. Ο μηχανισμός της επίπλευσης είναι σε γενικές γραμμές ο εξής:

Το μέταλλευμα ή βιομηχανικό ορυκτό θραύεται και λειοτριβείται. Η λειοτριβήση γίνεται ώστε οι κόκκοι του ορυκτού να έχουν μέγεθος μικρότερο των 200μμ. Το λειοτριβιμένο μέταλλευμα φέρεται σε κατάλληλη εργαστηριακή συσκευή επίπλευσης και προστίθεται ποσότητα νερού. Έτσι σχηματίζεται ο καλούμενος πολφός. Στη συνέχεια για να καταστούν οι κόκκοι του χρήσιμου ορυκτού υδρόφοβοι και ικανοί προς επίπλευση, στο αιώρημα προστίθενται υπό ανάδευση, μικρές ποσότητες κατάλληλων αντιδραστηρίων, τα καλούμενα αντιδραστήρια επίπλευσης. Αυτά είναι οι συλλέκτες, οι τροποποιητές και τα αφριστικά. Η ανάδευση γίνεται σε ορισμένο χρόνο ο οποίος καλείται χρόνος προοδοποίησης. Ακολουθεί η κυρίως διαδικασία της επίπλευσης με την εισαγωγή αέρα, στο χαμηλότερο σημείο της συσκευής επίπλευσης και σύγχρονη ανάδευση για να διευκολυνθεί η σύγκρουση των παραγόμενων φυσαλίδων με τους κόκκους του ορυκτού. Έτσι τώρα έχουμε προσκόλληση των υδρόφοβων πλέον κόκκων του μεταλλεύματος στις φυσαλίδες οι οποίες μεταφέρουν τα υδρόφοβα αυτά τεμαχίδια στην επιφάνεια του πολφού όπου και επιπλέουν, σχηματιζομένης έτσι μιας αφρώδους στιβάδας. Στη συνέχεια η αφρώδης στιβάδα απομακρύνεται με μηχανικά μέσα. Ο αποχωρισθείς αφρός καταστρέφεται με κατιονισμό νερού και ακολουθεί διήθηση υπό κενό και παραλαβή του εμπλουτίσματος. Τα μη επιπλεύσαντα σωματίδια (στείρο και τυχόν μη επιπλεύσαν ορυκτό) μπορούν να διοχετευτούν σε δεύτερη συσκευή επίπλευσης ή και σε τρίτη μέχρι που το τελικό απόρριμα να μη ενδιαφέρει πλέον.

Σημειώνεται ότι κατά τη λειοτριβήση, που βέβαια είναι προκαταρκτικό στάδιο της επίπλευσης, επιδιώκεται μέγεθος κόκκων μικρότερο των 200μμ για να μπορούν οι κόκκοι συγκρατούμενοι από τις φυσαλίδες του αέρα να επιπλέουν. Το απαιτούμενο μέγεθος είναι βέβαια διαφορετικό για κάθε μέταλλευμα ή βιομηχανικό ορυκτό όμως γενικά μεγέθη 10-100μμ επιφέρουν ικανοποιητικό βαθμό επίπλευσης. Πάντως μεγέθη μικρότερα των 10μμ καταναλώνουν μεγάλες ποσότητες αντιδραστηρίων λόγω της μεγάλης επιφάνειας των τεμαχιδίων του μεταλλεύματος και ακόμη προκαλούν μικρή επιπλευσιμότητα, λόγω της

μικρότερης πιθανότητας σύγκρουσης των κόκκων με τις φυσαλίδες επειδή οι κόκκοι λόγω της μικρής ορμής τους παρασύρονται από τη ροή του ρευστού που δημιουργείται γύρω από τις φυσαλίδες. Επί πλέον οι μικροί κόκκοι ελαττώνουν την επιπλευσιμότητα των μεγαλύτερων κόκκων επειδή προσκολλούνται στους μεγαλύτερους και έτσι εμποδίζουν τη δράση του συλλέκτη. Τέλος λεπτοί κόκκοι μπορεί να παρασυρθούν μηχανικά στην επιφάνεια του πολφού καίτοι δεν είναι υδρόφοβοι και έτσι να υποβιβαστεί η ποιότητα του εμπλουτίσματος.

Ως προς την ποιότητα του πολφού επιδιώκεται όσο το δυνατόν η λήψη πυκνότερου εμπλουτίσματος γιατί σε αραιό πολφό αυξάνεται η κατανάλωση των αντιδραστηρίων. Τέλος, ο απαιτούμενος χρόνος προοδοποίησης (προετοιμασίας) εξαρτάται από τη φύση του μεταλλεύματος ή βιομηχανικού ορυκτού, από το βαθμό της λειοτριβήσης και από τη δραστηριότητα των αντιδραστηρίων επίπλευσης.

Αντιδραστήρια Επίπλευσης

Για ορισμένο μέταλλευμα ή βιομηχανικό ορυκτό το είδος και η ποσότητα των προστιθεμένων αντιδραστηρίων επίπλευσης καθώς επίσης και ο μηχανισμός δράσης τους είναι σημαντικοί παράγοντες που επηρεάζουν την διαδικασία μιας επίπλευσης. Τα αντιδραστήρια της επίπλευσης είναι:

1. Οι συλλέκτες. Είναι τα σπουδαιότερα αντιδραστήρια στην όλη διαδικασία της επίπλευσης, αφού με την προσρόφησή τους σχηματίζουν εκλεκτικά την υδρόφοβο μεμβράνη στην επιφάνεια των προς επίπλευση τεμαχιδίων, αλλά και δημιουργούν τάση προς κροκίδωση των σωματιδίων του μεταλλεύματος. Η συγκέντρωση του συλλέκτη στον πολφό και επομένως και η υδροφοβία των προς επίπλευση κόκκων επηρεάζει άμεσα το αποτέλεσμα της επίπλευσης. Ακόμη και μικρή μεταβολή της συγκέντρωσης του συλλέκτη μπορεί να προκαλέσει σημαντική μεταβολή στην επίπλευση.

Η εκλογή του κατάλληλου συλλέκτη για την επίπλευση ενός συγκεκριμένου ορυκτού εξαρτάται από τις επιφανειακές ιδιότητες του ορυκτού. Οι συλλέκτες διακρίνονται σε ανιονικούς και κατιονικούς. Διαλύματα ξανθογονικών αλάτων της τάξεως 10-20% είναι οι συνήθως χρησιμοποιούμενοι συλλέκτες στην επίπλευση των θειούχων μεταλλευμάτων σε pH=8 και άνω. Λιπαρά οξέα χρησιμοποιούνται ως συλλέκτες στην επίπλευση φωσφορικών ορυκτών, ασβεστίτη, φθορίτη και βαρύτη. Αλατα αμινών με ευθεία υδρογονανθρακική αλυσίδα με 12-18 άτομα άνθρακα χρησιμοποιούνται στην επίπλευση πυριτικών ορυκτών, φωσφορικών ορυκτών, ασβεστολίθου και αστρίων.

2. Οι τροποποιητές. Η δημιουργία κατάλληλων συνθηκών για την επίτευξη υδροφοβίας ή η δημιουργία συνθηκών για διαφορική επίπλευση επιτυγχάνεται με την χρήση των καλουμένων τροποποιητών. Οι τροποποιητές είναι ουσίες που χρησιμοποιούνται για την προετοιμασία των τεμαχιδίων για την εκλεκτική ή όχι προσρόφηση του συλλέκτη. Στα αντιδραστήρια αυτά περιλαμβάνονται: α) οι ενεργοποιητές, β) οι καταβυθιστές και γ) οι ρυθμιστές του pH.

α) Οι ενεργοποιητές. Είναι αντιδραστήρια που ενεργοποιούν την επιφάνεια των προς επίπλευση σωματιδίων ώστε να καταστούν ικανά για την προσρόφηση του συλλέκτη. Η ενεργοποίηση γίνεται με αντικατάσταση στην επιφάνεια των τεμαχιδίων κατιόντων ή ανιόντων από κατιόντα ή ανιόντα αντίστοιχα του ενεργοποιητή. Για παράδειγμα η επίπλευση του σφαλερίτη (ZnS) δεν είναι ικανοποιητική με μόνη τη χρήση ξανθογονικών αλάτων. Βελτιώνεται όμως αισθητά με την χρήση $CuSO_4$ ως ενεργοποιητή οπότε στην επιφάνεια των τεμαχιδίων έχουμε αντικατάσταση των ιόντων Zn από ιόντα Cu , σχηματιζόμενου έτσι του CuS . Έτσι έχουμε ταχύτερη προσρόφηση του συλλέκτη. Ακόμη ο $CuSO_4$ σε διάλυμα περιεκτικότητας 20% σε $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ σε ποσότητες 250-1000gr $CuSO_4$ ανά τον μεταλλεύματος, μπορεί να ενεργοποιήσει τον σιδηροπυρίτη, τον αρσενοπυρίτη, τον αντιμονίτη και τον πυροτινή, σε όξινα pH.

Στα ευρύτατα χρησιμοποιούμενα ανιονικά αντιδραστήρια ανήκει το όξινο θειούχο νάτριο και το θειούχο νάτριο που χρησιμοποιούνται στην ενεργοποίηση οξειδωμένων μεταλλευμάτων Pb , που δεν μπορούν να επιπλεύσουν χωρίς προηγούμενα να έχουν υποστεί την διεργασία της θείωσης δηλαδή την αντικατάσταση του ανιόντος της επιφάνειας του μεταλλεύματος από το θειούχο ανιόν.

β) Οι καταβυθιστές. Είναι αντιδραστήρια που χρησιμοποιούνται για τον διαδοχικό διαχωρισμό ορυκτών ενός μεικτού μεταλλεύματος προκαλώντας προσωρινή ή και μόνιμη καταβύθιση (υδροφιλία) σε ορυκτά των οποίων σε πρώτη φορά δεν επιθυμούμε την επίπλευση. Δηλαδή στα μεικτά μεταλλεύματα προκαλούμε ενεργοποίηση του πρώτου ορυκτού και καταβύθιση του δεύτερου, οπότε το πρώτο επιπλέει και διαχωρίζεται. Ακολουθεί ενεργοποίηση του καταβυθισθέντος ορυκτού και έτσι διαχωρισμός αυτού από το στείρο. Με άλλα λόγια μέσω των καταβυθιστών επιδιώκεται η παρεμπόδιση της επίπλευσης των τυχόν υπάρχοντων συνδρόμων ορυκτών και του στείρου ενός μεταλλεύματος.

Ένα από τα πιο συνήθη καταβυθιστικά αντιδραστήρια είναι το $NaCN$ που χρησιμοποιείται στην καταβύθιση των θειούχων ορυκτών του Fe σε pH περίπου

7, των θειούχων ορυκτών του Cu σε $pH > 9$ και του χαλκοπυρίτη σε pH περίπου 7,5. Άλλα καταβυθιστικά αντιδραστήρια είναι το $Ca(OH)_2$, το άμυλο, η κυτταρίνη, η δεξτρίνη.

γ) Οι ρυθμιστές του pH. Είναι οξέα, βάσεις ή άλατα που χρησιμοποιούνται για τη ρύθμιση του pH του πολφού. Η ρύθμιση αυτή αποτελεί καθοριστικό παράγοντα για την επίπλευση ή όχι ενός ορυκτού, αφού η δράση των άλλων αντιδραστηρίων επίπλευσης εξαρτάται από την τιμή pH του πολφού. Ακόμη και με μόνη ρύθμιση του pH είναι δυνατόν να πετύχουμε επίπλευση ορυκτών όταν στο μετάλλευμα έχουμε ορυκτά που επιπλέουν σε μικρή περιοχή τιμών pH που είναι διαφορετική μεταξύ τους.

Ρυθμιστές pH που συνήθως χρησιμοποιούνται για την αλκαλική περιοχή είναι το Na_2CO_3 , το $NaOH$ και το $Ca(OH)_2$, ενώ για την όξινη περιοχή χρησιμοποιούνται συνήθως H_2SO_4 , HCl , CH_3COOH ή ακόμη και HF . Για την όξινη περιοχή το δοχείο επίπλευσης πρέπει να είναι ξύλινο ή επενδυμένο με ελαστικό.

3. Τα αφριστικά αντιδραστήρια. Είναι επιφανειακώς ενεργές ουσίες που ελαττώνουν την επιφανειακή τάση του νερού και δημιουργούν αφρό που συγκρατεί στην επιφάνεια του πολφού περισσότερο χρόνο τις φυσαλίδες με τους κόκκους του μεταλλεύματος. Σημειώνεται ότι ο αφρός πρέπει να καταστρέφεται εύκολα μετά την επίπλευση για να μην επηρεάζει τις παραπέρα διεργασίες διότι έτσι πιθανόν αυξάνει το κόστος της επίπλευσης.

Οι ουσίες που χρησιμοποιούνται ως αφριστικά είναι φυσικά προϊόντα όπως το πευκέλαιο, η κρεζόλη και συνθετικά προϊόντα όπως το θειοξυβουτάνιο.

4. Αντιδραστήρια αποσκλήρυνσης του νερού Για την αποφυγή κατανάλωσης σημαντικών ποσοτήτων λιπαρών οξέων απαιτείται η απομάκρυνση των ιόντων Ca , Mg και των ιόντων Fe επειδή τα ιόντα αυτά σχηματίζουν αδιάλυτα άλατα με τα ανιόντα των λιπαρών οξέων, ελαττώνοντας έτσι την συγκέντρωσή τους. Η απομάκρυνση των ιόντων αυτών γίνεται με την προσθήκη Na_2CO_3 , ενώ εάν υπάρχουν και όξινα ανθρακικά άλατα τότε το Na_2CO_3 μόνο του δεν είναι αρκετό και χρησιμοποιείται και άσβεστος. Εάν δεν γίνει αποσκλήρυνση τότε η παρουσία των προαναφερθέντων ιόντων απαιτεί αύξηση της συγκέντρωσης του λιπαρού οξέος.

Σημειώνουμε ότι σε γενικές γραμμές τα αποτελέσματα της επίπλευσης επηρεάζονται σημαντικά από το μέγεθος των κόκκων του μεταλλεύματος ή του

βιομηχανικού ορυκτού, την σκληρότητα του νερού, το χρόνο προετοιμασίας του δείγματος, την παροχή του αέρα, τις στροφές του αναδευτήρα, τη συγκέντρωση του συλλέκτη, την τιμή του pH, την ταχύτητα συλλογής του αφρού.

Εκφραση αποτελεσμάτων της επίπλευσης

Η αξιολόγηση των αποτελεσμάτων της επίπλευσης γίνεται με κριτήριο το λόγο συγκέντρωσης K και την ανάκτηση R που δίνονται από τις σχέσεις:

$$K = \frac{G}{g} \quad \text{και} \quad R = \frac{g \cdot F_g}{G \cdot F_G} \cdot 100 \quad (17-1)$$

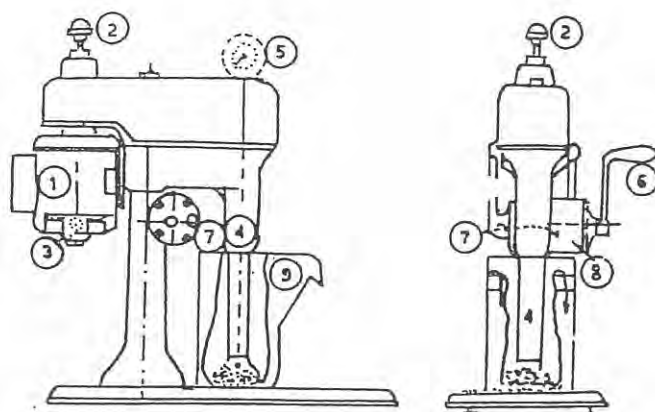
όπου: G και g αντίστοιχα τα βάρη μεταλλεύματος και εμπλουτίσματος και F_G και F_g η επί τοις % περιεκτικότητα του χρήσιμου ορυκτού στο μετάλλευμα και εμπλούτισμα αντίστοιχα.

2. Πειραματικό Μέρος

Η μελέτη της επίπλευσης στο εργαστήριο γίνεται με την συσκευή τύπου Denver, D 12 (σχ. 17-1). Στο εργαστήριο γίνονται τέσσερα πειράματα μεταβάλλοντας έναν από τους παράγοντες που επηρεάζουν την επίπλευση και διατηρώντας τους υπόλοιπους σταθερούς ως εξής:

1. Στο δοχείο εμπλουτισμού φέρομε ακώρημα το οποίο περιέχει 6% κ.β σε FeS_2 . Το δείγμα παρασκευάζεται με την προσθήκη 1 Kg μίγματος FeS_2 σε πυριτική άμμο σε 4 lit νερό.
2. Στη συνέχεια βάζομε σε λειτουργία τον κινητήρα και ρυθμίζομε τις στροφές στην περιοχή 1000-1600RPM.
3. Ακολούθως ρυθμίζομε το pH με την προσθήκη Na_2CO_3 . Ο έλεγχος της τιμής του pH γίνεται με πεχαμετρικό χαρτί.
4. Ρυθμίζομε κατόπιν την παροχή του αέρα και σταματάμε τον κινητήρα για να προσθέσομε 1ml συλλέκτη και 5 σταγόνες αφριστικού.
5. Ακολούθως βάζομε σε λειτουργία τον κινητήρα και αρχίζει ο χρόνος προετοιμασίας που κυμαίνεται από 1-15 min.
6. Κατόπιν ανοίγομε τον αέρα και συλλέγομε τον αφρό για ορισμένο χρόνο.
7. Το εμπλούτισμα διηθείται, ξηραίνεται και ζυγίζεται. Το βάρος του εμπλουτίσματος θεωρείται 100% καθαρότητας. Υπολογίζομαι έτσι το λόγο

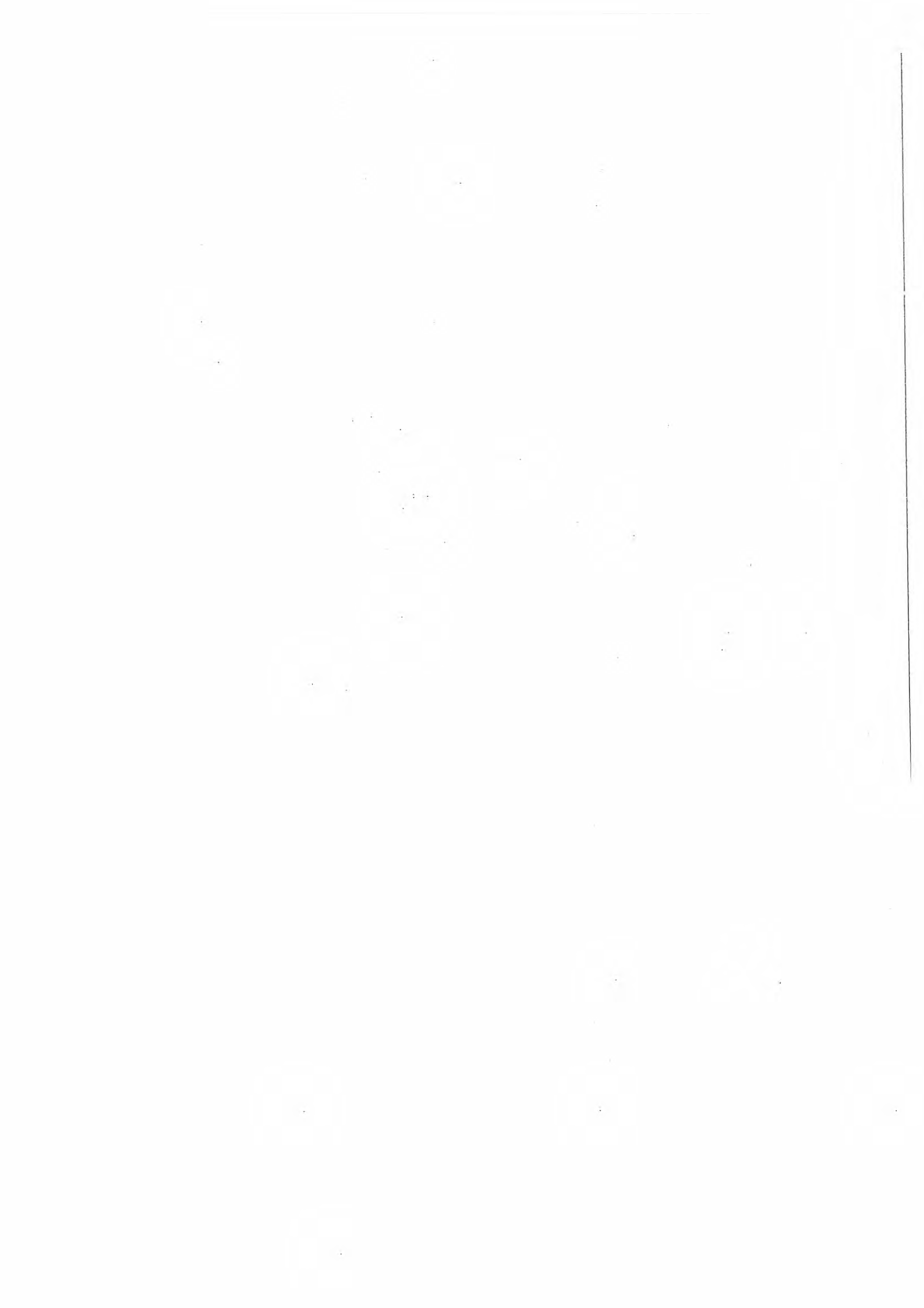
συγκέντρωσης K και την ανάκτηση R και σχεδιάζομε τα διαγράμματα μεταβολής των K και R συναρτήσει των παραγόντων που μεταβλήθηκαν.



Σχήμα 17-1: Εργαστηριακή συσκευή επίπλευσης τύπου Denver. 1- κινητήρας, 2- ρυθμιστής στροφών, 3- διακόπτες, 4- αναδευτήρας και μανδύας, 5- στροφόμετρο, 6- μοχλός ανήψωσης αναδευτήρα, 7- μοχλός απελευθέρωσης αναδευτήρα, 8- βαλβίδα ροής αέρος και 9- δοχείο εμπλουτισμού.

Βιβλιογραφία

1. Δ. Γιαννακουδάκη - Κ. Μάτη, "Εισαγωγή στη Χημική Τεχνολογία", Θεσσαλονίκη 1982.
2. Θ. Κουιμτζή - Κ. Μάτη, "Αρχές Τεχνολογίας Αντιρρύπανσης", Θεσσαλονίκη 1987.
3. Α.Θ. Σδούκου, "Φυσικές Διεργασίες της Χημικής Τεχνολογίας, Τόμος I- Μηχανική ρευστών και τεχνική σωματιδίων", Ιωάννινα 1981.
4. Κ.Μ. Σιπητάνου, "Τεχνική εργαστηριακών ασκήσεων Γενικής και Ανοργάνου Χημικής Τεχνολογίας", Θεσσαλονίκη 1979.
5. Α. Φραγκίσκου - Δ. Κατράκη, "Εισαγωγή εις τον εμπλουτισμό των μεταλλευμάτων και βιομηχανικών ορυκτών".



Άσκηση 18. ΕΛΕΓΧΟΣ ΚΑΥΣΙΜΩΝ ΚΑΙ ΛΙΠΑΝΤΙΚΩΝ

Σκοπός

Σκοπός της άσκησης αυτής είναι:

- 1) Η εξοικείωση με τις δοκιμές εργαστηριακού ελέγχου των καυσίμων και των λιπαντικών
- 2) Η εκτέλεση των δοκιμών της απλής απόσταξης, του σημείου ανάφλεξης και του ιξώδους των λιπαντικών.

1. Θεωρητικό Μέρος

α. Πετρελαιοειδή (γενικά)

Πετρελαιοειδή ονομάζονται τα προϊόντα της διύλισης του αργού πετρελαίου. Το αργό πετρέλαιο είναι ένα μαύρο παχύρευστο υγρό. Μετά την εξαγωγή του από τις πετρελαιοπηγές μεταφέρεται στα διύλιστήρια όπου μετατρέπεται σε χρήσιμα προϊόντα. Οι επεξεργασίες τις οποίες υφίσταται στα διύλιστήρια είναι φυσικές και χημικές. Στις πρώτες υπάγονται η απαέρωση, η αφαλάτωση, η αφυδάτωση και η απόσταξη. Στις δεύτερες υπάγονται η αποθείωση του αργού πετρελαίου, η διάσπαση (cracking) και αναμόρφωση (reforining). Οι δύο τελευταίες διεργασίες αποσκοπούν στην βελτίωση των κλασμάτων του πετρελαίου που λαμβάνονται κατά την απόσταξη, ώστε το τελικό προϊόν να παρουσιάζει καλή συμπεριφορά κατά την καύση του στους κινητήρες.

Η κυριότερη φυσική επεξεργασία την οποία υφίσταται το αργό πετρέλαιο μετά την εξαγωγή του από τη γη είναι η απόσταξη. Κατά την διεργασία αυτή οι διάφοροι υδρογονάνθρακες που συνιστούν το πετρέλαιο διαχωρίζονται ανάλογα με το σημείο ζέσεως αυτών. Τα προϊόντα που λαμβάνονται φαίνονται στον πίνακα 18-1. Από τα λαμβανόμενα κλάσματα η βενζίνη χρησιμοποιείται κυρίως σαν καύσιμο στις μηχανές αυτοκινήτων. Η νάφθα χρησιμοποιείται σε μηχανές αεροπλάνων ή υφίσταται αναμόρφωση προς βενζίνη. Η κηροζίνη, ή φωτιστικό πετρέλαιο, χρησιμοποιείται για καύσιμο σε μηχανές αφού υποστεί ανάμιξη με άλλα ελαφρότερα κλάσματα. Το ντήζελ χρησιμοποιείται για καύσιμο σε μηχανές εσωτερικής καύσης. Τέλος το μαζούτ είναι δυνατόν να υποστεί εκ νέου απόσταξη υπό κενό για να αποφευχθεί η διάσπαση των συστατικών του. Τα προϊόντα που λαμβάνονται έτσι είναι κυρίως λιπαντικά λάδια και σαν τελικό υπόλειμμα παραμένει η άσφαλτος.

Πίνακας 18-1. Κλάσματα που λαμβάνονται από την απόσταξη αργού πετρελαίου.

Κλάσμα	σ.ζ. / °C	% ποσότητα κ.β.*
Ελαφρή βενζίνη	170	≈15
	160-200	≈10
Νάφθα ή Λιγροΐνη	200-300	≈20
Κηροζίνη ή φωτιστικό πετρέλαιο	300-350	≈10
Αερίελλαιο ή Ντήζελ	350	≈50
Υπόλειμμα ή Μαζούτ		

(*) Μόνο ενδεικτικά επειδή εξαρτάται από το είδος του αργού πετρελαίου.

β. Δοκιμές ελέγχου.

Ο έλεγχος των πετρελαιοειδών βασίζεται αφ' ενός στον προσδιορισμό των χημικών και φυσικών ιδιοτήτων αυτών (ιξώδες, ειδικό βάρος, σημείο ανάφλεξης κ.λ.π.) και αφ' ετέρου στον προσδιορισμό ορισμένων σταθερών (αριθμός οκτανίου για την βενζίνη, αριθμός κετανίου για καύσιμα Diesel, κ.α.) που χαρακτηρίζουν την συμπεριφορά του καυσίμου κατά τη λειτουργία του κινητήρα.

Η ανάγκη να λαμβάνονται επαναλήψιμα και αναπαραγώγιμα αποτελέσματα κατά τον έλεγχο των πετρελαιοειδών καθώς και η πολυπλοκότητα των μιγμάτων από τα οποία αποτελείται ένα συγκεκριμένο καύσιμο ή λιπαντικό οδήγησε στην

δημιουργία προτύπων συμβατικών μεθόδων. Για το λόγο αυτό πάντοτε μαζί με το αποτέλεσμα της δοκιμής αναφέρεται και η χρησιμοποιηθείσα μέθοδος. Όλοι οι σχετικοί προσδιορισμοί γίνονται με βάση τις μεθόδους και τις προδιαγραφές της ASTM (American Society of Testing Materials). Η διαδικασία για μερικές από αυτές έχει ως εξής:

1. Απλή απόσταξη. Η μέθοδος της απλής απόσταξης περιγράφεται από την μέθοδο ASTM D-86 και εφαρμόζεται στις βενζίνες (Regular & Super) και στα πετρέλαια (φωτιστικό και Diesel).

Η δοκιμή βασίζεται στην απόσταξη 100 ml καυσίμου με σταθερό ρυθμό ανόδου θερμοκρασίας. Η θερμοκρασία στην οποία παραλαμβάνεται η πρώτη σταγόνα αποστάγματος καλείται "αρχή απόσταξης" ενώ η υψηλότερη θερμοκρασία στην οποία αποστάζει το καύσιμο καλείται "τέλος απόσταξης". Η θερμοκρασία στην οποία εμφανίζονται φαινόμενα θερμικής διάσπασης (λευκοί ατμοί ή πτώση της θερμοκρασίας παρά τη συνέχιση της θέρμανσης) καλείται "θερμοκρασία διάσπασης" και είναι δυνατόν να συμπίπτει με το τέλος της απόσταξης.

Ο όγκος του αποστάγματος σε μία ορισμένη θερμοκρασία π.χ. στους 80°C καλείται "επί τοις % απόσταγμα στους 80°C" ενώ ο ολικός όγκος μετά το τέλος της απόσταξης είναι το ολικό επί τοις % απόσταγμα. Ο όγκος που παραμένει στη φιάλη απόσταξης μας δίνει το επί τοις % υπόλειμμα της απόσταξης. Η διαφορά του αθροίσματος του επί τοις % αποστάγματος και του επί τοις % υπολείμματος από τα 100 ml δίνει την επί τοις % απώλεια της απόσταξης, το δε άθροισμα του ολικού επί τοις % αποστάγματος και της επί τοις % απώλειας μας δίνει την επί τοις % ανάκτηση.

Τα αποτελέσματα της δοκιμής είναι δυνατόν να δοθούν κατά τους εξής τρόπους:

- α) Επί τοις % απόσταγμα σε ορισμένη θερμοκρασία.
- β) Επί τοις % εξάτμιση σε ορισμένη θερμοκρασία.
- γ) Θερμοκρασίες στις οποίες έχουμε ορισμένα επί τοις % αποστάγματα.
- δ) Θερμοκρασίες στις οποίες έχουμε ορισμένη επί τοις % εξάτμιση.

Ο πρώτος και ο τρίτος τρόπος είναι απλούστεροι και συνήθως αυτοί χρησιμοποιούνται.

Η απλή απόσταξη καθώς και η μέτρηση της τάσης των ατμών της βενζίνης συνιστούν έναν έλεγχο της πτητικότητας αυτής. Η πτητικότητα της βενζίνης πρέπει να είναι τέτοια ώστε να δημιουργείται η επιθυμητή αναλογία ατμών/αέρα για τη λειτουργία του κινητήρα. Υπερβολική πτητικότητα

δημιουργεί την ατμόφραξη δηλαδή έχουμε εξάτμιση των πτητικών συστατικών στον σωλήνα τροφοδοσίας, στην αντλία και στο καρμπυρατέρ και έτσι μεταφέρεται στον κινητήρα μικρότερη ποσότητα βενζίνης με αποτέλεσμα να σταματάει η λειτουργία του. Η ατμόφραξη εμφανίζεται κυρίως το καλοκαίρι.

2. Σημείο ανάφλεξης. Η μέθοδος περιγράφεται από την μέθοδο ASTM D-93 και εφαρμόζεται σε καύσιμα Diesel, φωτιστικό πετρέλαιο μαζούτ, στην ασφαλτο και στα λιπαντικά.

Σημείο ανάφλεξης ονομάζεται η ελάχιστη θερμοκρασία στην οποία το μίγμα ατμών καυσίμου/αέρα, υπεράνω του καυσίμου, αναφλέγεται με την προσέγγιση φλόγας ή σπινθήρα. Η αναλογία ατμών/αέρα στο σημείο ανάφλεξης ονομάζεται **κατώτατο όριο ανάφλεξης**. Η θερμοκρασία στην οποία το μίγμα ατμού/αέρα καίγεται επί 5 δευτερόλεπτα ονομάζεται **σημείο καύσης** ενώ η θερμοκρασία στην οποία έχουμε ανάφλεξη χωρίς την προσέγγιση φλόγας ή σπινθήρα ονομάζεται **σημείο αυτοανάφλεξης**.

Ο προσδιορισμός του σημείου ανάφλεξης είναι δυνατόν να γίνει σε κλειστό ή ανοιχτό δοχείο. Με τις δύο αυτές μεθόδους λαμβάνονται διαφορετικά αποτελέσματα για το ίδιο καύσιμο. Η πιο απλή μέθοδος είναι αυτή του ανοιχτού δοχείου. Η μέθοδος όμως του κλειστού δοχείου δίνει χαμηλότερες τιμές και έχει καλύτερη επαναληψιμότητα.

Ο προσδιορισμός του σημείου ανάφλεξης γίνεται για λόγους ασφαλείας, δηλαδή για τον καθορισμό των συνθηκών μεταφοράς και αποθήκευσης του καυσίμου.

3. Ξώδες. Το ξώδες (η) είναι χαρακτηριστική ιδιότητα των ρευστών. Για την ερμηνεία ή τον προσδιορισμό της μηχανικής συμπεριφοράς των υγρών χρησιμοποιείται το κινηματικό ξώδες (ν).

Ο προσδιορισμός του ξώδους βασίζεται στην μέτρηση του χρόνου που απαιτείται για να περάσει μια ορισμένη ποσότητα (όγκος) υγρού από ένα σωλήνα εκροής. Τα διάφορα ξωδόμετρα διαφέρουν ως προς την ποσότητα του υγρού και την διάμετρο του σωλήνα εκροής και χρησιμοποιούνται για τον προσδιορισμό του ξώδους σε συμβατικές για κάθε μέθοδο μονάδες. Έτσι στην Αμερική χρησιμοποιούνται τα ξωδόμετρα SAYBOLT που περιγράφονται από την μέθοδο ASTM D88-56 και μας προσδιορίζουν το ξώδες κατά SAYBOLT το οποίο μετατρέπεται σε κινηματικό ξώδες με τη βοήθεια των υπόλοιπων τύπων. Στην Αγγλία χρησιμοποιούνται τα ξωδόμετρα REDWOOD με τα οποία προσδιορίζεται το ξώδες κατά REDWOOD το οποίο μετατρέπεται σε κινηματικό ξώδες με βάση πίνακες. Στην Γερμανία τέλος χρησιμοποιείται το

Ιξωδόμετρο ENGLER που καλύπτεται από την μέθοδο DIN 51560 και μας δίνει το ιξώδες σε βαθμούς ENGLER.

Τα ιξωδόμετρα που τελευταία χρησιμοποιούνται είναι τα ιξωδόμετρα προσδιορισμού του κινηματικού ιξώδους (ιξωδόμετρα τριχοειδούς τύπου) που αναφέρονται στην μέθοδο ASTM D2515-74, ο δε προσδιορισμός του ιξώδους στην μέθοδο ASTM D445-75. Τα ιξωδόμετρα αυτά είναι ευκολότερα στη χρήση και έχουν μεγαλύτερη ακρίβεια.

Η λειτουργία του ιξωδομέτρου βασίζεται στον νόμο Poiseuille.

$$\eta = \pi R^4 \Delta P t / 8 L Q, \quad \nu = \eta / \rho = \pi R^4 \Delta P t / 8 L Q \rho, \quad \pi R^4 \Delta P / 8 L Q \rho = C, \quad \nu = C t$$

όπου R =ακτίνα αγωγού, ΔP =διαφορά πίεσης στα άκρα του αγωγού, t =χρόνος, L =μήκος αγωγού, ρ =πυκνότητα υγρού και Q =παροχή.

Μονάδες του η είναι : 1Ns/m^2 ή 1kg/ms στο σύστημα SI, 1dyn/cm^2 ή 1g/cms ή 1P(Poise) προς τιμήν του Poiseuille και 1cp στο σύστημα CGS, 1kps/m^2 στο σύστημα Μ.Τ.Σ. Μονάδες του ν είναι $1 \text{Stokes} = 1 \text{cm}^2/\text{s}$ και 1centistokes στο σύστημα CGS, $1 \text{m}^2/\text{s}$ στο σύστημα S.I. και Μ.Τ.Σ.

Η παράσταση $\pi R^4 \Delta P / 8 L Q \rho$ είναι η σταθερά του οργάνου. Μετρώντας το χρόνο σε sec προσδιορίζουμε απ' ευθείας το κινηματικό ιξώδες σε centistokes. Στον προσδιορισμό διαλέγουμε τέτοιο ιξωδόμετρο ώστε ο χρόνος ροής για το συγκεκριμένο υγρό να μην είναι μικρότερος από 200 sec.

Η σταθερά του οργάνου C βρίσκεται με δύο τρόπους.

- α) Με μέτρηση του χρόνου ροής υγρού γνωστού ιξώδους
- β) Με σύγκριση του χρόνου ροής του ίδιου υγρού με όργανο γνωστού C με βάση τη σχέση : $\nu = C_1 t_1 = C_2 t_2$.

Το ιξώδες είναι ο πλέον καθοριστικός παράγοντας για την χρήση ενός λιπαντικού. Ανάλογα των συνθηκών λειτουργίας της μηχανής εκλέγεται και το κατάλληλο λιπαντικό ώστε να έχουμε συνεχή ροή και λίπανση δηλ. δημιουργία λεπτού στρώματος λιπαντικού μεταξύ των προς λίπανση επιφανειών. Έτσι για μεγάλες ταχύτητες σε υψηλές πιέσεις και θερμοκρασίες χρησιμοποιείται λιπαντικό με μεγάλο ιξώδες. Η χρήση στην προκειμένη περίπτωση λιπαντικού με χαμηλό ιξώδες έχει σαν αποτέλεσμα τη δημιουργία ανεπαρκούς πάχους στρώματος λιπαντικού και σαν αποτέλεσμα τη φθορά της μηχανής. Για μεγάλες όμως ταχύτητες σε χαμηλές θερμοκρασίες και πιέσεις χρησιμοποιείται λιπαντικό χαμηλού ιξώδους επειδή το λιπαντικό με μεγάλο ιξώδες σ' αυτές τις συνθήκες έχει μικρότερη ταχύτητα ροής και δεν λιπαίνει όλα τα τμήματα της μηχανής

κανονικά και αφ' ετέρου δημιουργεί στρώματα μεγάλου πάχους που συνεπάγονται αύξηση των απωλειών λόγω τριβών, άρα απώλεια ισχύος.

Τα ορυκτέλαια τέλος χαρακτηρίζονται με διάφορα νούμερα ανάλογα με το ιξώδες τους. Ο χαρακτηρισμός αυτός επινοήθηκε από την SAE (SOCIETY OF AUTOMOTIVE ENGENIERS) και βασίζεται στα ιξώδη στους 0°F και στους 210°F. Το γράμμα w είναι ένδειξη του χαρακτηρισμού για το ιξώδες σε 0°F ενώ η απουσία του για το ιξώδες στους 210°F. Έτσι ένα ορυκτέλαιο χαρακτηρισμένο SAE 20w-40 σημαίνει ότι στους 0°F έχει ιξώδες της κατηγορίας 20 (2600cst-10500cst) ενώ στους 210°F της κατηγορίας 40 (12,9cst-16,8cst). Η κατάσταση των ορυκτελαίων κατά SAE αναγράφεται υποχρεωτικά στα κουτιά συσκευασίας. Στον πίνακα 18-2 δίνονται οι αντιστοιχίες των αριθμών ιξώδους SAE και του κινηματικού ιξώδους των ορυκτελαίων.

Πίνακας 18-2. Αντιστοιχία του αριθμού ιξώδους SAE του κινηματικού ιξώδους.

Αριθμός ιξώδους SAE	Ιξώδες στους 0°F(-18°C)		Ιξώδες στους 210°F(99°C)	
	Ελάχιστο	Ελάχιστο	Ελάχιστο	Ελάχιστο
5w	-	1300cst	-	-
10w	1300cst	2600cst	-	-
20w	2600cst	10500cst	-	-
20	-	-	5,7cst	9,6cst
30	-	-	9,6cst	12,9cst
40	-	-	12,9cst	16,8cst
50	-	-	16,8cst	22,7cst

4. Θερμογόνος δύναμη καυσίμου. Θερμογόνος δύναμη καυσίμου ονομάζεται το ποσό θερμότητας που εκλείεται από την καύση μάζας καυσίμου ίση προς τη μονάδα μάζας.

Ο πειραματικός προσδιορισμός γίνεται στο θερμιδόμετρο. Εκτός όμως από τον πειραματικό προσδιορισμό έχουν βρεθεί εμπειρικές σχέσεις που μας δίνουν τη θερμογόνο δύναμη ενός καυσίμου, κυρίως για τα υγρά καύσιμα, με μεγάλη ακρίβεια. Έτσι έχουμε:

Για τη βενζίνη $Q=18320 + 40 \text{ (API-10)}$

Για την κηροζίνη $Q=18440 + 40 \text{ (API-10)}$

όπου API το ειδικό βάρος σε βαθμούς API 60/60°F. Η Q μετρείται σε BTU/LB.

5. Ειδικό βάρος. Ο προσδιορισμός του ειδικού βάρους (ε.β.) περιγράφεται από την μέθοδο ASTM D-1298 και εφαρμόζεται στις βενζίνες, πετρέλαια και λιπαντικά.

Το ε.β. των πετρελαιοειδών ευρίσκεται μεταξύ 0,6-1,0 g/ml και επομένως για ακριβή αποτελέσματα αναγράφεται μέχρι και το τέταρτο δεκαδικό ψηφίο. Για την απλούστερη έκφραση των αποτελεσμάτων το Αμερικάνικο Ινστιτούτο πετρελαιοειδών χρησιμοποιεί την κλίμακα, εύρους 90 μονάδων, του ε.β. κατά API ή API (βάρος) το οποίο βρίσκεται με βάση τη σχέση:

$$\text{API (βάρος)} = [141,5 / (\text{ε.β.} \cdot 15,6/15,6^{\circ}\text{C})] - 131,5$$

6. Αριθμός οκτανίου. Ο προσδιορισμός στις βενζίνες γίνεται σε πρότυπο μονοκύλινδρο κινητήρα βάσει της μεθόδου ASTM D-908.

Όταν η βενζίνη δεν είναι κατάλληλη για τον κινητήρα, εμφανίζεται η λεγόμενη κρουστική καύση. Ενώ δηλαδή η καύση αρχίζει με το σπινθηριστή και εξαπλώνεται μέχρι ενός σημείου κανονικά, σε κάποια στιγμή παίρνει τη μορφή της έκρηξης, δηλαδή της ακαριαίας καύσης όλου του καυσίμου, το οποίο ως τώρα είχε παραμείνει άκαυστο. Η έκρηξη αυτή συνοδεύεται από κτύπους, οι οποίοι ακούγονται καθαρά έξω από τη μηχανή και μοιάζουν με μεταλλικούς κτύπους, τους οποίους οι οδηγοί χαρακτηριστικά προσδιορίζουν με τη φράση "κτυπούν πειράκια". Εκρηκτικότητα της βενζίνης είναι ακριβώς η τάση αυτή της βενζίνης να αυτοαναφλέγεται πρόωρα και εκδηλώνεται με την κρουστική καύση. Η αντοχή της βενζίνης, δηλαδή η αντίσταση, που παρουσιάζει στη συμπίεση και στην κρουστική καύση, λέγεται αντικρηκτικότητα και προσδιορίζεται με το λεγόμενο αριθμό οκτανίου.

Πρέπει να έχουμε υπ' όψη μας ότι κάθε κινητήρας είναι κατασκευασμένος για να εργάζεται με βενζίνη μιας ορισμένης αντοχής στην κρουστική καύση, γι αυτό και οι βενζίνες διακρίνονται σε κατηγορίες ανάλογα με την αντοχή τους και φέρονται στο εμπόριο με διαφορετικό αριθμό οκτανίου.

Η βαθμολόγηση των διάφορων βενζινών και ο προσδιορισμός του αριθμού οκτανίου τους γίνεται με σύγκριση με πρότυπα μίγματα, που αποτελούνται από κανονικό επτάνιο, ουσία πολύ μικρής αντοχής στην κρουστική καύση, και ισοοκτάνιο, μια πολύ ανθεκτική ουσία. Η σύγκριση γίνεται με τη βοήθεια ενός ειδικού δοκιμαστικού κινητήρα, ο οποίος λέγεται μηχανή C.F.R. (Cooperative

Fuel Research). Στον κινητήρα αυτόν μπορούμε κατά τη λειτουργία του να μεταβάλλουμε τη συμπίεση μέχρι να εμφανισθεί η κρουστική καύση. Έτσι λέμε π.χ. ότι μια βενζίνη έχει αριθμό οκτανίου 72, όταν κατά τη δοκιμασία της με τη μηχανή C.F.R. παρουσιάζει την ίδια εκρηκτικότητα με μίγμα κανονικού επτανίου και -ισοοκτανίου, που περιέχει 72% κατ' όγκο ισοοκτάνιο. Αυτό σημαίνει ότι και το πρότυπο αυτό μίγμα και η υπό βαθμολόγηση βενζίνη εμφανίζουν το φαινόμενο της κρουστικής καύσης μέσα στο δοκιμαστικό κινητήρα στον ίδιο ακριβώς βαθμό συμπίεσης.

Για να αυξήσουμε τον αριθμό οκτανίου μιας βενζίνης χρησιμοποιούμε ορισμένα πρόσθετα, δηλαδή ουσίες όπως τετρααιθυλικό ή τετραμεθυλικό μόλυβδο ή αιθυλική αλκοόλη, τις οποίες αναμιγνύουμε μέσα στη βενζίνη σε πολύ μικρές αναλογίες μέχρι 1% κατ' άνω.

7. Δοκιμή ελάσματος χαλκού. Η δοκιμή βασίζεται στην μέθοδο ASTM-130 και γίνεται σε βενζίνες, πετρέλαια και λιπαντικά. Η δοκιμή αυτή αποτελεί μέτρο της διαβρωτικής ικανότητας των καυσίμων. Σύμφωνα με αυτή ένα έλασμα χαλκού τοποθετείται στο υγρό εντός δοκιμαστικού σωλήνα. Το σύστημα παραμένει σε ορισμένη θερμοκρασία (59°C ή 100°C) για ορισμένο χρόνο (3 ή 2 ώρες αντίστοιχα) και στη συνέχεια συγκρίνεται με πρότυπους χρωματικούς πίνακες διάβρωσης.

8. Ανόργανη οξύτητα. Ο προσδιορισμός γίνεται ογκομετρικά με αλκοολικό διάλυμα KOH και εκφράζεται σε mg KOH/g καυσίμου. Βασίζεται στην μέθοδο ASTM-974 και εφαρμόζεται στις βενζίνες, στα πετρέλαια και στα λιπαντικά.

9. Αριθμός κετανίου. Ο προσδιορισμός γίνεται σε πετρέλαιο Diesel με βάση την μέθοδο ASTM-623 στην οποία περιγράφεται και ο κινητήρας CFR που χρησιμοποιείται κατά τη δοκιμή. Η μέθοδος βασίζεται στην σύγκριση με μηχανική δοκιμή του καυσίμου με πρότυπο αναφοράς, μίγμα κετανίου (κανονικό δεκαεξάνιο) και α-μεθυλοναφθαλίνης. Η επί τοις % αναλογία του κετανίου στο πρότυπο μίγμα είναι ο αριθμός κετανίου.

10. Ανθρακούχο υπόλειμμα. Ο προσδιορισμός γίνεται με βάση την μέθοδο ASTM D-189-76 στα πετρέλαια και στα ορυκτέλαια. Ο προσδιορισμός βασίζεται στη θέρμανση ποσότητας καυσίμου, απουσία αέρα, με καύση των εκλυόμενων αερίων. Το υπόλειμμα που παραμένει ψύχεται και ζυγίζεται.

11. Τέφρα κατά βάρος. Η μέθοδος περιγράφεται από την μέθοδο ASTM D-482-74 και αφορά πετρέλαια και λιπαντικά. Ο προσδιορισμός της τέφρας γίνεται με καύση του καυσίμου και στη συνέχεια αποτέφρωση του στερεού υπολείμματος στους 775°C.

12. Νερό και υπόστημα. Ο προσδιορισμός νερού και υποστήματος στα πετρώλαια και στα λιπαντικά γίνεται με φυγοκέντρωση σύμφωνα με τη μέθοδο ASTM D-1796-68 ή την ASTM D-96-73.

13. Τάση ατμών. Η μέτρηση γίνεται με βάση την μέθοδο ASTM D-323 για τις βενζίνες. Η τάση των ατμών προσδιορίζεται από την αύξηση της πίεσης κατά την εξάτμιση ορισμένης ποσότητας βενζίνης σε κλειστό θάλαμο ο οποίος γίνεται στις βενζίνες με βάση την ASTM D-526.

14. Κωμιώδη συστατικά. Ο προσδιορισμός γίνεται στις βενζίνες με βάση την μέθοδο ASTM D-381, D-525 και D-873. Οι υδρογονάνθρακες με περισσότερους από ένα διπλούς δεσμούς αντιδρούν μεταξύ τους ή με τον αέρα και σχηματίζουν πολυμερή τα οποία καλούνται κωμιώδη.

15. Σημείο ροής. Είναι η ελάχιστη θερμοκρασία στην οποία ρέει ένα καύσιμο ή ένα λιπαντικό. Ο προσδιορισμός του χρησιμοποιείται κυρίως στα ορυκτέλαια.

16. Δοκιμή αφρισμού. Η δοκιμή γίνεται στα ορυκτέλαια με βάση την μέθοδο ASTM D-892-74. Κατά τον προσδιορισμό διοχετεύεται αέρας σταθερής ταχύτητας σε ορισμένη ποσότητα λιπαντικού υπό σταθερή θερμοκρασία και μετρείται ο όγκος του δημιουργηθέντος ατμού.

Στα λιπαντικά γίνονται, πλὴν των παραπάνω δοκιμών, προσδιορισμοί διαφόρων στοιχείων όπως μετάλλων (Ba, Zn, Sn, Al, Mg, K, Na κλπ) θείου, χλωρίου και φωσφόρου. Βέβαια οι στοιχειομετρικές αυτές αναλύσεις δεν μας προσδιορίζουν το είδος ή την ποσότητα των προσθέτων και χρησιμοποιούνται κυρίως για τον έλεγχο ορυκτέλαιων κρατικών συμβάσεων στα οποία είναι γνωστά το είδος του βασικού ελαίου, καθώς και το είδος και η ποσότητα του πρόσθετου.

Εκτός όλων αυτών των προσδιορισμών και των αναλύσεων χρησιμοποιούνται και μηχανικές δοκιμές με πρότυπους κινητήρες οι οποίοι μας δίνουν την πραγματική εικόνα της συμπεριφοράς του ορυκτέλαιου κατά τη λειτουργία του κινητήρα.

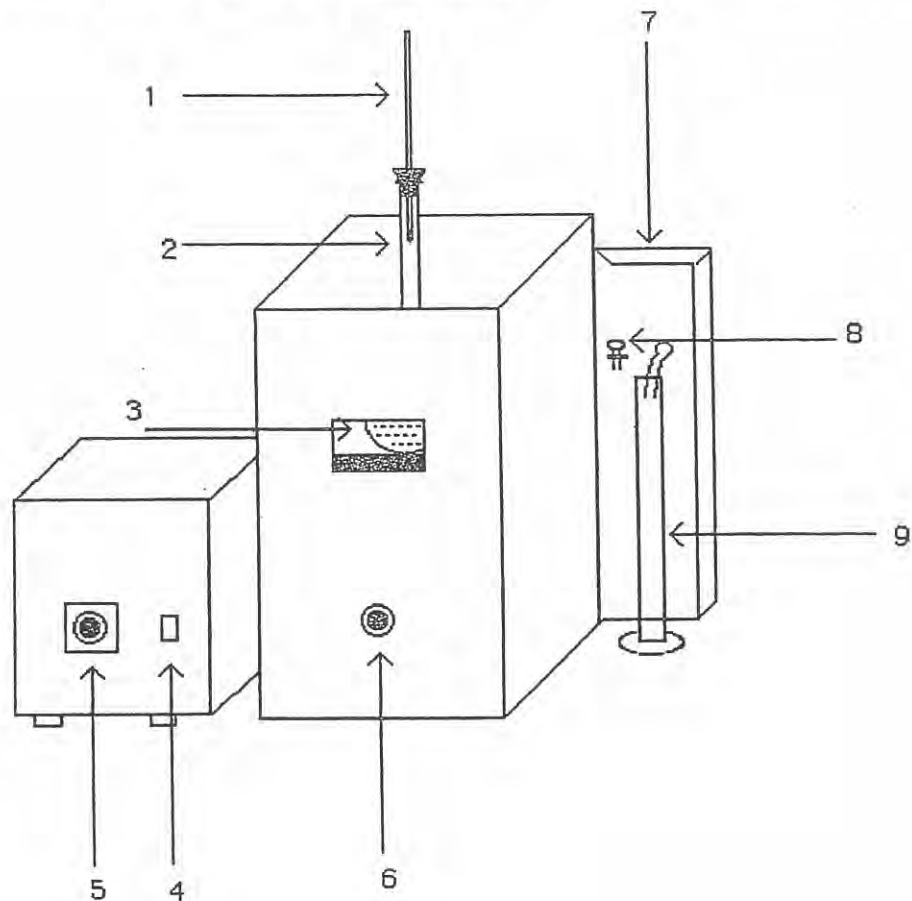
2. Πειραματικό Μέρος

α. Απλή απόσταξη

Περιγραφή της συσκευής

Η συσκευή φαίνεται στο σχήμα 18-1 και περιλαμβάνει: 1-θερμόμετρο, 2-φιάλη απόσταξης, 3-βάση με θερμαινόμενη αντίσταση, 4-διακόπτης, 5-ρυθμιστής

θερμοκρασίας, 6-ρυθμιστής θέσης της βάσης, 7-ψυκτήρας, 8-βρύση, 9-ογκομετρικός κύλινδρος συλλογής αποστάγματος.



Σχήμα 18-1. Συσκευή απόσταξης πετρελαιοειδών.

Εκτέλεση του πειράματος και αποτελέσματα

Αρχικά γεμίζουμε το λουτρό ψύξης με νερό και στη συνέχεια βάζουμε 100 ml βενζίνη στη φιάλη απόσταξης και ρυθμίζουμε τη θερμοκρασία.

Κρατάμε τις ενδείξεις της θερμοκρασίας : 1) για την αρχή της απόσταξης, 2) όταν έχουν αποστάξει 5 ml, 3) από 10-90 ml αποστάγματος σημειώνουμε τη θερμοκρασία ανά 10ml αποστάγματος, 4) σημειώνουμε την ένδειξη για το απόσταγμα 95ml και 5) το τέλος της απόσταξης και το ολικό απόσταγμα. Το

τέλος της απόσταξης πιθανόν να συμπίπτει με τη θερμική διάσπαση οπότε η απόσταξη διακόπτεται με την εμφάνιση λευκών ατμών ή με την πτώση της θερμοκρασίας παρά τη συνεχή θέρμανση.

Το ποσό του αποστάγματος μετρείται στον ογκομετρικό κύλινδρο που λαμβάνεται το απόσταγμα. Το υπόλειμμα αφήνεται να κρυώσει και μετρείται με τον ογκομετρικό κύλινδρο. Οι μετρήσεις δεν χρειάζονται επεξεργασία και δίνονται σε πίνακα θερμοκρασιών στις οποίες λαμβάνουμε το προκαθορισμένο επί τοις % απόσταγμα.

% Απόσταγμα	°C
0	T ₀ (αρχή)
5	T ₅
10	T ₁₀
-	-
-	-
-	-
90	T ₉₀
95	T ₉₅
x	T _x (τέλος)

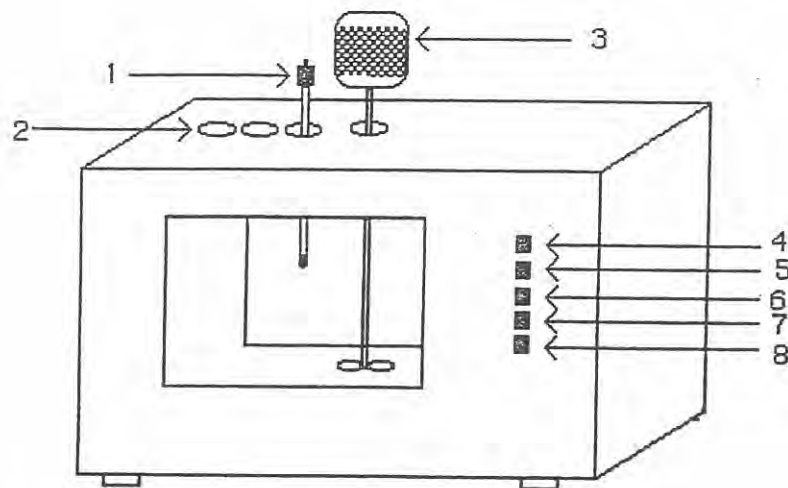
Επί τοις % υπόλειμμα = Επί τοις % απώλειες =

β. Σημείο ανάφλεξης

Περιγραφή της συσκευής

Η χρησιμοποιούμενη συσκευή φαίνεται στο σχήμα 18-2. Τη διάταξη συμπληρώνει μια φιάλη υγραερίου για την παραγωγή της φλόγας. Η συσκευή ανάφλεξης περιλαμβάνει : 1-διακόπτη, 2-ρυθμιστή ανόδου θερμοκρασίας, 3-είσοδο υγραερίου, 4-περιστρεφόμενο στέλεχος, 5-θερμόμετρο, 6-αναδευτήρα, 7-έξοδος υγραερίου (φλόγα), 8-κάλυμα.

2. Εκτέλεση του προσδιορισμού. Ο προσδιορισμός του ιξώδους γίνεται στους 37,8°C/100°F. Η θερμοκρασία του λουτρού ρυθμίζεται από το θερμοστάτη και διαβάζεται από το θερμόμετρο. Το χρησιμοποιούμενο ιξωδόμετρο έχει κινηλίδα γνωστής C και μετρώντας το χρόνο ροής του υγρού προσδιορίζουμε απ' ευθείας το κινηματικό ιξώδες ν από τη σχέση $\nu=Ct$. Ο χρόνος μετράται σε sec και το ιξώδες προσδιορίζεται απ' ευθείας σε cst.



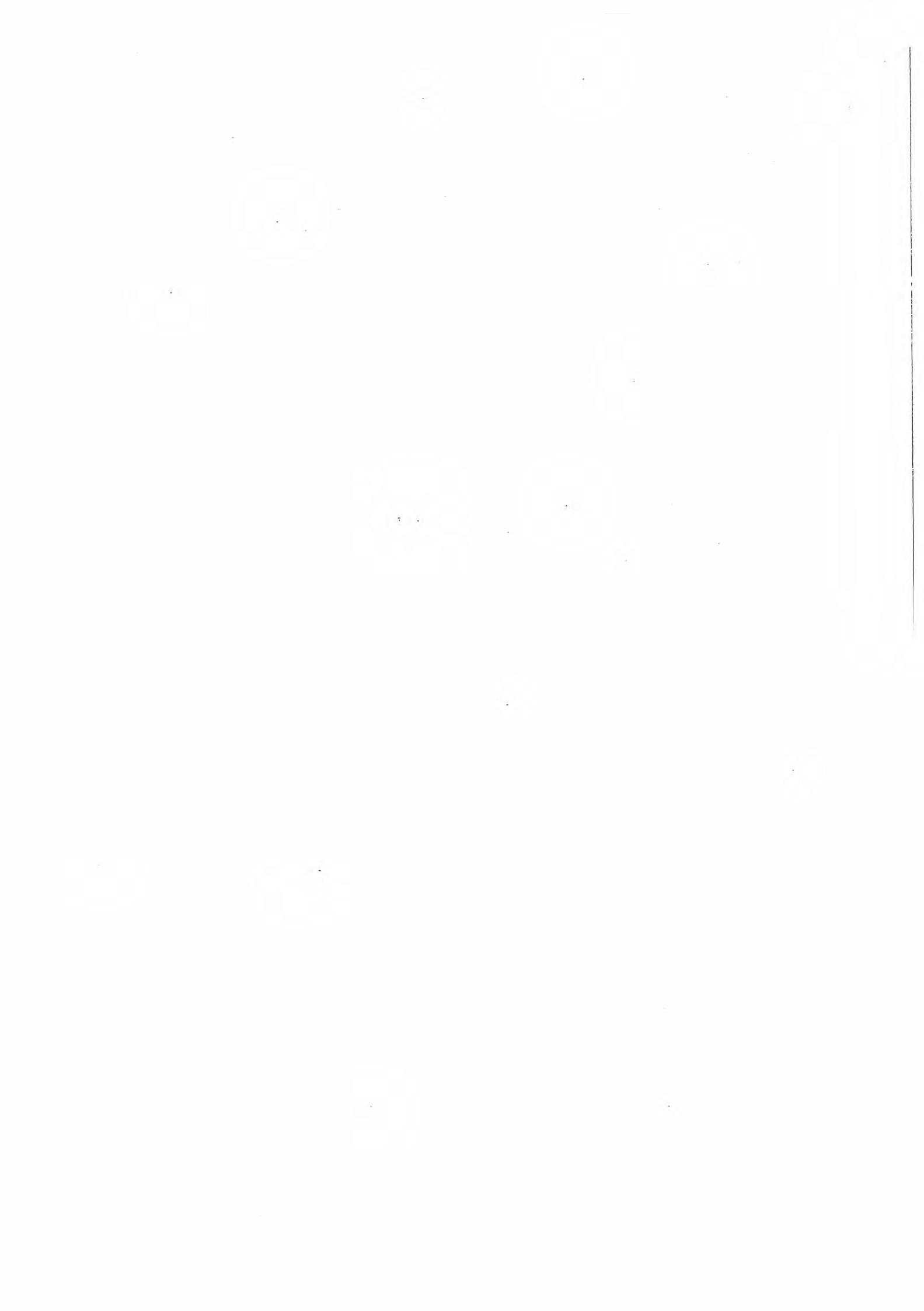
Σχήμα 18-3. Συσκευή μέτρησης ιξώδους.

Απαιτούμενα όργανα και αντιδραστήρια

Στην εκτέλεση των πειραμάτων χρησιμοποιούνται οι τρεις συσκευές (σχ. 18-1,2,3) και καύσιμα. Στην απλή απόσταξη χρησιμοποιείται βενζίνη απλή ή σούπερ, στο σημείο ανάφλεξης πετρέλαιο Diesel ή φωτιστικό και στον προσδιορισμό ιξώδους ορυκτέλαιο.

Βιβλιογραφία

1. Φ.Ι.Πομώνη, "Σημειώσεις Οργανικής Χημικής Τεχνολογίας", Ιωάννινα, 1986.
2. Οδηγίες κατασκευαστικού οίκου "WALTER HERZOG GMBH".
3. Α.Θ.Σδούκου, "Φυσικές Διεργασίες της Χημικής Τεχνολογίας Τόμος I, Μηχανική Ρευστών και Τεχνική Σωματιδίων" Ιωάννινα, 1981.



Άσκηση 19: ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΣ ΣΤΕΡΕΩΝ ΜΕ ΑΕΡΟΚΥΚΛΩΝΑ

Σκοπός

Σκοπός της άσκησης είναι:

1. Η εξοικείωση των ασκούμενων με τη λειτουργία του αεροκυκλώνα.
2. Ο διαχωρισμός κόνεως, μεγέθους σωματιδίων $d < 74 \mu$ και πυκνότητας $d > 2.5 \text{ gr/ml}$, σε διάφορα κοκκομετρικά κλάσματα ανάλογα με τις πειραμα-τικές συνθήκες.
3. Ο προσδιορισμός των ολικών αποδόσεων των διαφόρων κλασμάτων, καθώς και των μερικών αποδόσεων, ανά μέγεθος των σωματιδίων.

1. Θεωρητικό Μέρος

Ο διαχωρισμός στερεών-αερίων με αεροκυκλώνα βασίζεται στην αύξηση της επιτάχυνσης κατακάθισης των κόκκων με φυγοκέντρωση. Τα αέρια που περιέχουν αιωρούμενα στερεά, εισέρχονται εφαπτομενικά στο κυλινδρικό τοίχωμα του κυκλώνα με πίεση και κατέρχονται ελλικοειδώς, σχηματίζοντας δίνη. Εξ' αιτίας των αναπτυσσόμενων φυγοκεντρικών δυνάμεων τα στερεά σωματίδια οδηγούνται στην περιφέρεια του κυκλώνα. Εκεί, τα μεγαλύτερα σωματίδια προσκρούονται στα τοιχώματα, χάνουν την ταχύτητά τους και πέφτουν, λόγω βαρύτητας, στο δοχείο παραλαβής. Το ρεύμα του αερίου, αφού

φθάσει στο κάτω μέρος του κυκλώνα αλλάζει κατεύθυνση, και απαλλαγμένο πλέον από τα σωματίδια, ανέρχεται προς τον αγωγό εξόδου υπό μορφή δίνης, για να απομακρυνθεί από τον κυκλώνα.

Ανάλογα όμως με τις συνθήκες λειτουργίας του αεροκυκλώνα, δεν προλαβαίνουν όλα τα σωματίδια να φθάσουν στα τοιχώματα. Ετσι μόνο τα πιο χοντρά από αυτά απομακρύνονται στο δοχείο παραλαβής. Τα υπόλοιπα ακολουθούν το ανοδικό ρεύμα του αερίου και απομακρύνονται μαζί με αυτό από τον κυκλώνα. Ετσι διαφορετικό κλάσμα χοντρών ή λεπτών κόκκων απομακρύνεται κάθε φορά, ανάλογα με τις συνθήκες λειτουργίας του αεροκυκλώνα.

Οι αεροκυκλώνες χρησιμοποιούνται πολύ συχνά στην βιομηχανία ως κονιοσυλλέκτες, για την αποφυγή της ρύπανσης του περιβάλλοντος. Ακόμη, χρησιμοποιούνται για την παραγωγή προϊόντων επιθυμητής κοκκομετρικής σύστασης, τοποθετούμενοι σε σειρά σε κλειστά κυκλώματα εγκαταστάσεων κονιοποίησης υλικών.

Για τον χαρακτηρισμό της λειτουργίας μιας συσκευής διαχωρισμού στερεών από ρευστά χρησιμοποιούνται οι βαθμοί απόδοσης. Σε μια συσκευή διαχωρισμού όπου η τροφοδοσία εισέρχεται με ρυθμό ροής M (kg/s), ενώ τα προϊόντα εξέρχονται το μεν χοντρό με ρυθμό M_c (kg/s) στο υπόλειμμα, το δε λεπτό με ρυθμό M_f (kg/s) στην υπερχείλιση, οι ολικοί βαθμοί απόδοσης E_c και E_f , για το χοντρό και το λεπτό αντίστοιχα, ορίζονται από την σχέση:

$$E_c = \frac{M_c}{M} = 1 - \frac{M_f}{M} = 1 - E_f \quad (19-1)$$

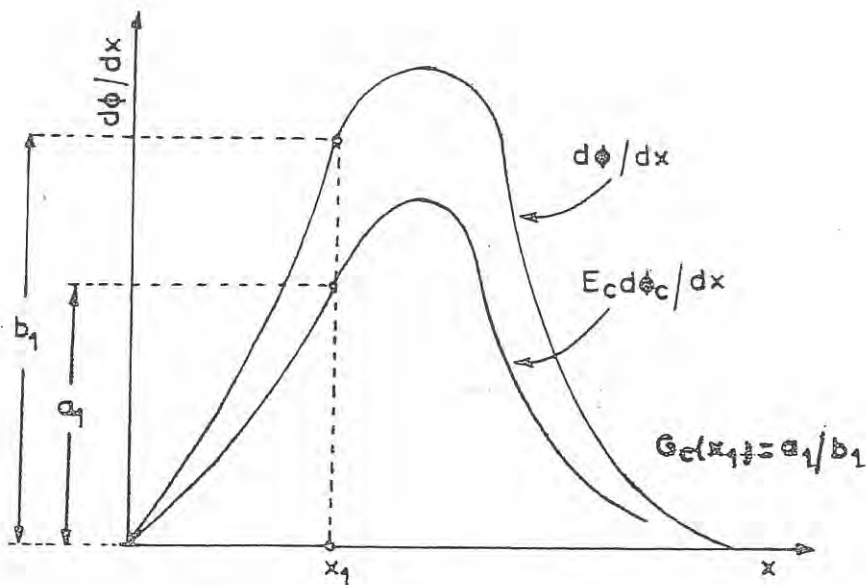
Οι μερικοί βαθμοί απόδοσης G_c και G_f αναφέρονται πάντα σε ορισμένο μέγεθος των σωματιδίων και δίνονται από τις σχέσεις (19-2) ή (19-3) αντίστοιχα:

$$G_c = \frac{M_c \frac{d\Phi_c}{dx}}{M \frac{d\Phi}{dx}} \quad \text{ή} \quad G_c = E_c \frac{d\Phi_c}{dx} \quad (19-1)$$

$$G_f = \frac{M_f \frac{d\Phi_f}{dx}}{M \frac{d\Phi}{dx}} \quad \text{ή} \quad G_f = E_f \frac{d\Phi_f}{dx} \quad (19-2)$$

όπου: $G_c + G_f = 1$.

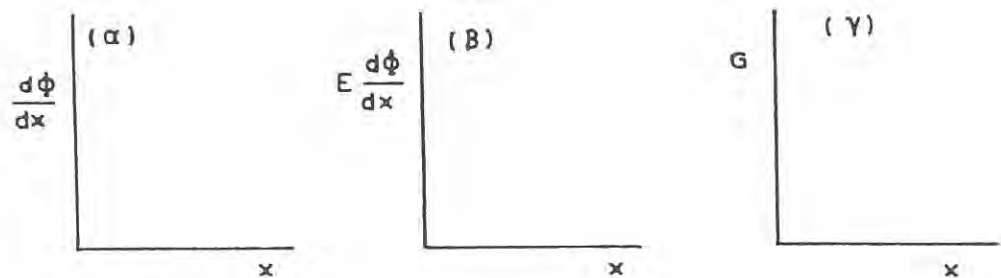
Ετσι, γνωρίζοντας τις ολικές αποδόσεις E_c ή E_f , τις διαφορικές κατανομές του χοντρού ($d\Phi_c/dx$) είτε του λεπτού ($d\Phi_f/dx$) υλικού, καθώς και την διαφορική κατανομή της τροφοδοσίας ($d\Phi/dx$), είναι δυνατόν να υπολογισθούν γραφικά οι G_c ή G_f , αφού σχεδιασθούν σε ένα διάγραμμα π.χ. οι κατανομές ($d\Phi/dx$) και $E_c (d\Phi_c/dx)$, όπως στο σχήμα 19-1.



Σχήμα 19-1: Προσδιορισμός της G_c από την $E_c(d\Phi_c/dx)$ και $(d\Phi_c/dx)$.

Οι μερικές αποδόσεις G_c και G_f εκφράζουν την πιθανότητα με την οποία μπορούν να διαχωρισθούν τα οποιουδήποτε μεγέθους σωματίδια του χοντρού και λεπτού προϊόντος αντίστοιχα, συνεπώς αποτελούν κριτήριο για την δυνατότητα περαιτέρω διαχωρισμού των επί μέρους προϊόντων.

Η οριακή τιμή x_{max} , ορίζεται ως το μέγεθος των σωματιδίων x άνω του οποίου η G είναι 100% για όλα τα $x > x_{max}$, (δηλ. που όλα τα σωματίδια με $x > x_{max}$, θα βρίσκονται στο υπόλειμμα). Έτσι, το μέγιστο μέγεθος των σωματιδίων που μπορούν να βρεθούν στο λεπτό προϊόν μετά από έναν δεύτερο διαχωρισμό του αρχικού χοντρού είτε λεπτού προϊόντος, μπορεί να βρεθεί αν κατασκευαστούν τα διαγράμματα $G = f(x)$ είτε $G_f f(x)$ αντίστοιχα, όπως στο σχήμα 19-2.



Σχήμα 19-2:Τυπική καμπύλη $G=f(x)$ στην κυλινδρική φυγόκεντρο κατακάθισης.

2. Πειραματικό Μέρος

Περιγραφή της συσκευής

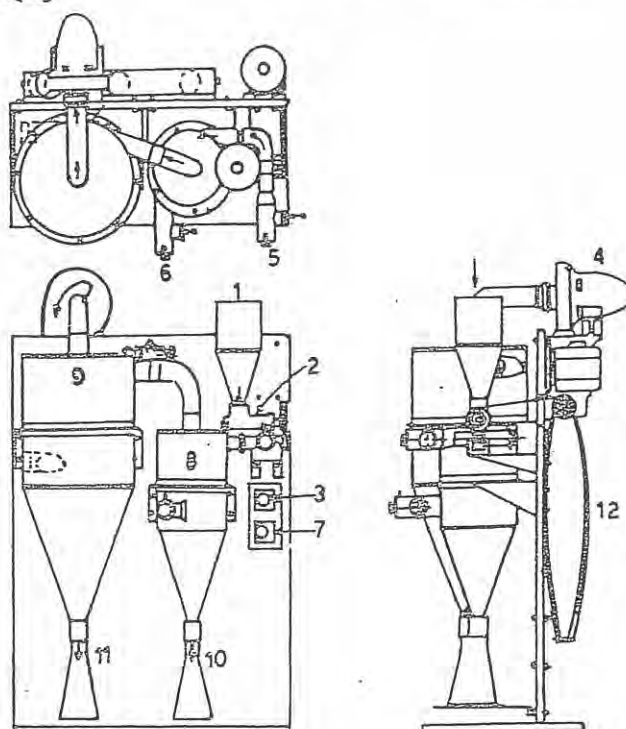
Η συσκευή του αεροκυκλώνα (σχ. 19-3) περιλαμβάνει σύστημα τροφοδοσίας, σύστημα δημιουργίας ρεύματος αέρα και σύστημα διαχωρισμού.

Το σύστημα τροφοδοσίας περιλαμβάνει τη χοάνη (1) και τον τροφοδοτικό κοχλία. Το μοτέρ που κινεί τον κοχλία (2) τίθεται σε λειτουργία με χρήση του διακόπτη (3).

Το σύστημα δημιουργίας ρεύματος αέρος περιλαμβάνει ένα απορροφητήρα (4) και δύο εισόδους αέρα (5) και (6) από τις οποίες ρυθμίζεται και η ροή του. Ο απορροφητήρας τίθεται σε λειτουργία με χρήση του διακόπτη (7).

Το σύστημα διαχωρισμού περιλαμβάνει δύο κυκλώνες, τον ταξινομητή (8) και τον συλλέκτη (9) καθώς και τις αντίστοιχες φιάλες συλλογής κλασμάτων (10)

και (11). Στην έξοδο του αέρα υπάρχουν σακόφιλτρα (12) για τη συγκράτηση της σκόνης που παρασύρει ο αέρας.



Σχήμα 19-3. Αεροκυκλώνας

Διεξαγωγή του πειράματος

Κοσκινίζονται 500 gr άμμου σε αναλυτικά κόσκινα και ζυγίζονται οι ποσότητες που συγκρατεί κάθε κόσκινο. Στη συνέχεια αναμιγνύονται όλα τα κλάσματα και τοποθετούνται στη χοάνη (1). Ρυθμίζονται τόσο η πρώτη (5) όσο και η δεύτερη (6) εισαγωγή του αέρα στην ένδειξη 15. Με την χρήση πρώτα του διακόπτη του ανεμιστήρα (7), και κατόπιν του διακόπτη τροφοδοσίας (3) και τίθεται σε λειτουργία ο αεροκυκλώνας για 5 λεπτά περίπου, δηλ. μέχρι να διαχωριστούν τα σωματίδια. Τότε, διακόπτεται η λειτουργία του τροφοδοτικού κοχλίου και του απορροφητήρα, και λαμβάνονται τα δύο κλάσματα από τις φιάλες (10) και (11) (χοντρά και λεπτά αντίστοιχα).

Κάθε κλάσμα χωριστά, κοσκινίζεται στα αναλυτικά κόσκινα και ζυγίζονται τα επί μέρους κλάσματα.

Στη συνέχεια αναμιγνύονται όλα τα κλάσματα, χοντρών και λεπτών, τοποθετούνται ξανά στη χοάνη και επαναλαμβάνεται το πείραμα με αυξημένη

την παροχή του αέρα στο δεύτερο κυκλώνα (ρύθμιση της ροής του αέρα (6) στη θέση 18). Στα καινούρια κλάσματα διεξάγεται επίσης κοκκομετρική ανάλυση στα πρότυπα κόσκινα.

Επεξεργασία των αποτελεσμάτων

α. Καταγράφονται στον πίνακα I τα αποτελέσματα της κοκκομετρικής ανάλυσης για την τροφοδοσία καθώς και για τα κλάσματα χοντρών και λεπτών σωματιδίων για τις δεδομένες συνθήκες διαχωρισμού. Το κλάσμα μάζας, π.χ. της τροφοδοσίας $d\Phi$ (%) των σωματιδίων μεγέθους στην περιοχή dx (όπου $dx = x_i - x_{i+1}$) βρίσκεται από τη σχέση: $d\Phi = \frac{W_i - W_{i+1}}{W_{ολ}} \cdot 100$ και υπολογίζονται οι διαφορικές κατανομές ($d\Phi/dx$) για κάθε περίπτωση.

β. Σχεδιάζονται οι συναρτήσεις διαφορικής κατανομής, $(d\Phi/dx)=f(dx)$ για την τροφοδοσία καθώς και για τα κλάσματα χοντρών και λεπτών που λαμβάνονται από τα πειράματα.

γ. Υπολογίζονται οι ολικές αποδόσεις E_c και E_f με βάση τη σχέση (19-1) και κατασκευάζονται τα διαγράμματα κατανομών $E_c \cdot (d\Phi/dx) = f(x)$ και $E_f \cdot (d\Phi/dx) = f(x)$. Στα ίδια διαγράμματα σχεδιάζεται και η κατανομή $(d\Phi/dx)$ της τροφοδοσίας. Με βάση τα διαγράμματα αυτά προσδιορίζονται γραφικά οι αντίστοιχες τιμές των μερικών βαθμών απόδοσης G_c και G_f , όπως φαίνεται στο σχήμα 19-1.

δ. Κατασκευάζονται τα διαγράμματα $G_c = f(x)$ και $G_f = f(x)$ (βλ. σχ. 19-2). Με βάση τα διαγράμματα αυτά υπολογίζεται το μέγιστο μέγεθος, x_{max} , των σωματιδίων που μπορούν να βρεθούν στο λεπτό προϊόν μετά από ένα δεύτερο διαχωρισμό κάθε κλάσματος με τις δεδομένες συνθήκες.

Παρατηρήσεις

1. Στους υπολογισμούς ως βάρος τροφοδοσίας σε κάθε πείραμα λαμβάνεται το άθροισμα των επί μέρους βαρών των διαφόρων κλασμάτων.
2. Αν και στο δεύτερο πείραμα έχουμε μικρότερο βάρος τροφοδοσίας λόγω των απωλειών, θεωρούμε ότι έχουμε την ίδια διαφορική κατανομή τροφοδοσίας.

Απαιτούμενα όργανα και αντιδραστήρια

1. Ποσότητα άμμου μεγέθους κόκκων $d < 74 \mu$
2. Αεροκυκλώνας
3. Αναλυτικά κόσκινα
4. Ζυγός

Βιβλιογραφία

1. Α.Θ.Σδούκου "Φυσικές Διεργασίες της Χημικής Τεχνολογίας Τόμος Ι, Μηχανική ρευστών και Τεχνική Σωματιδίων", 3η Έκδοση, Ιωάννινα, 1993.
2. Κ.Μ. Σιπητάνου "Τεχνική Εργαστηριακών Ασκήσεων Γενικής και Ανοργάνου Χημικής Τεχνολογίας", Θεσσαλονίκη, 1979.
3. Γ.Α. Σταλίδη και Κ.Α. Μάτη "Ασκήσεις Χημικής Τεχνολογίας", Θεσσαλονίκη, 1985.
4. Οδηγίες κατασκευαστικού οίκου "DENVER EQUIPMENT DIVISION".

Άσκηση 20: ΕΚΧΥΛΙΣΗ

Σκοπός

Σκοπός της άσκησης είναι:

1. Η εξοικείωση με τη χρήση των τριγωνικών διαγραμμάτων για τη μελέτη της ισορροπίας κατά την εκχύλιση συστήματος τριών υγρών με ένα ζεύγος μερικώς αναμίξιμων υγρών.
2. Η μελέτη της αποτελεσματικότητας της διεργασίας της εκχύλισης σε ένα ή πολλαπλά στάδια με σύγκριση των αντίστοιχων αποδόσεων.

1. Θεωρητικό Μέρος

Η μέθοδος διαχωρισμού με εκχύλιση εφαρμόζεται συνήθως στην πράξη για τις περιπτώσεις εκείνες όπου ο διαχωρισμός με απόσταξη είναι δύσκολος, δηλαδή για προϊόντα ευαίσθητα στη θερμοκρασία, για αζεοτροπικά μίγματα καθώς και για συστατικά με παραπλήσια σημεία ζέσεως. Πλεονέκτημα της διεργασίας της εκχύλισης είναι η χαμηλή θερμοκρασία λειτουργίας της αφού αυτή βασίζεται στις διαφορές των διαλυτοτήτων των προς διαχωρισμό συστατικών. Στη Χημική Τεχνολογία η εκχύλιση υγρών βρίσκει εφαρμογές στον καθαρισμό των βιομηχανικών αποβλήτων, στην φαρμακοβιομηχανία (π.χ. για

τον καθαρισμό της πενικιλίνης) για την ανάκτηση βασικών προϊόντων οργανικής συνθέσεως κ.λ.π.

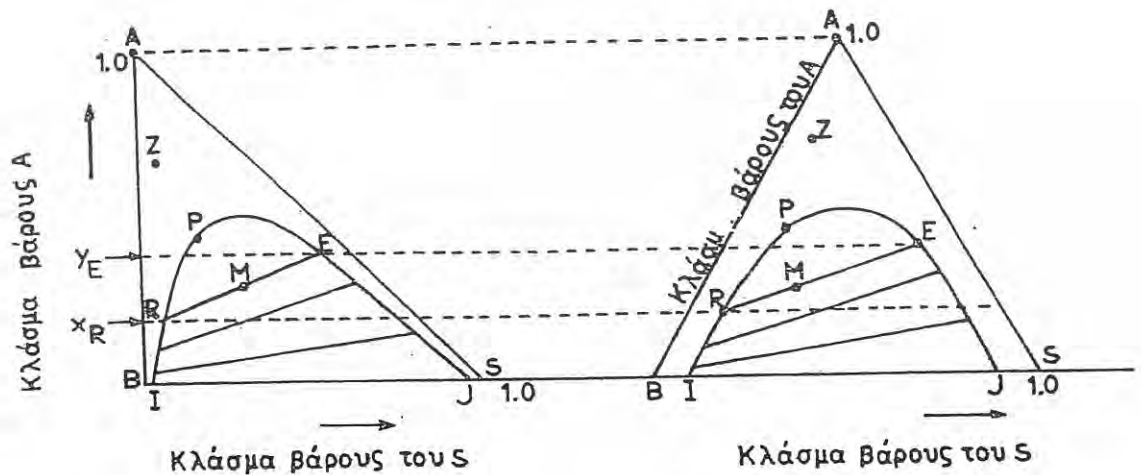
Αν σε ένα ομοιογενές δυαδικό σύστημα που αποτελείται από διάλυμα του Α στο αραιωτικό Β προστεθεί σαν τρίτο συστατικό ο διαλύτης S, μπορεί να προκύψει ένα από τα παρακάτω αποτελέσματα:

1. Ο διαλύτης S θα είναι τελείως μη αναμίξιμος με το αρχικό διαλύτη Β.
2. Ο διαλύτης S θα είναι μερικώς αναμίξιμος με το διαλύτη Β σχηματίζοντας μ' αυτόν ένα ζεύγος μερικώς αναμίξιμων υγρών.
3. Θα σχηματιστούν δύο ή τρία ζεύγη μερικώς αναμίξιμων υγρών.
4. Θα σχηματιστεί ομοιογενές τριαδικό σύστημα.

Η παρούσα άσκηση ασχολείται με την διεργασία της πολυβάθμιας (σε τρεις βαθμίδες) εκχύλισης με ομορροή σε σύγκριση με την εκχύλιση σε μια βαθμίδα, για την περίπτωση όπου ο διαλύτης S είναι μερικώς αναμίξιμος με τον αρχικό διαλύτη Β.

Σύστημα τριών υγρών-ένα ζεύγος μερικώς αναμίξιμων υγρών

Στο σχήμα 20-1 παρίσταται υπό μορφή ισόθερμων διαγραμμάτων με τριγωνικές συντεταγμένες η ισορροπία του συστήματος τριών υγρών, εκ των οποίων το Α είναι πλήρως διαλυτό στα Β και S, ενώ τα Β και S είναι μερικώς αναμίξιμα μεταξύ τους, σχηματίζοντας κεκορεσμένα διαλύματα του S στο Β



Σχήμα 20-1: Διαγράμματα ισορροπίας μερικώς αναμίξιμων υγρών (B και S).

(διάλυμα συστάσεως I) και του B στο S (διάλυμα συστάσεως J). Όσο μικρότερη είναι η απόσταση των I και J τόσο μεγαλύτερη είναι η αμοιβαία διαλυτότητα των B και S ενώ καθώς τα σημεία I και J απομακρύνονται προς τις κορυφές B και S του τριγώνου η αμοιβαία διαλυτότητα των B και S ελαττώνεται.

Η προσθήκη της ουσίας A μεταβάλλει την διαλυτότητα των B και S η οποία ακολουθεί την καμπύλη IRPEJ (καμπύλη ισορροπίας ή διαλυτότητας).

Τα σημεία που βρίσκονται έξω από την καμπύλη ισορροπίας (π.χ. σημείο Z) παριστάνουν τριαδικά μίγματα που είναι ομοιογενή διαλύματα (μία φάση) ενώ τα σημεία στον εσωτερικό χώρο της καμπύλης ισορροπίας παριστάνουν ετερογενή μίγματα που αποτελούνται από δύο μη αναμιξιμες φάσεις, μεταξύ των οποίων κατανέμεται το υγρό A. Έτσι, μίγμα συστάσεως M διαχωρίζεται σε δύο φάσεις συστάσεως R (πλουσιότερη στο B) και E (πλουσιότερη στο A) που βρίσκονται σε ισορροπία.

Οι ευθείες που συνδέουν τα σημεία που αντιστοιχούν στις συστάσεις των ισορροπούμενων φάσεων (π.χ. R και E) καλούνται γραμμές συνδέσεως και πρέπει να διέρχονται από τα σημεία που αντιστοιχούν στη σύσταση του όλου μίγματος (π.χ. M). Ο αριθμός των γραμμών συνδέσεως είναι άπειρος για ένα τριαδικό σύστημα.

Η τελευταία γραμμή σύνδεσης καταλήγει να είναι ένα σημείο (στο σχήμα το σημείο P) και αντιστοιχεί στη συνθήκη κατά την οποία οι δύο ισορροπούσες φάσεις θα έχουν την ίδια σύσταση (δηλαδή το μίγμα δεν διαχωρίζεται σε δύο φάσεις). Η καμπύλη ισορροπίας χωρίζεται από το σημείο P σε δύο τμήματα, το τμήμα του υπολείμματος ($\bar{I}\bar{R}\bar{P}$) και το τμήμα του εκχυλίσματος ($\bar{P}\bar{E}\bar{J}$). Παρατηρούμε ότι η συγκέντρωση y_E του A στη φάση του εκχυλίσματος (E) είναι μεγαλύτερη από τη συγκέντρωση X_R του A στη φάση του υπολείμματος (R).

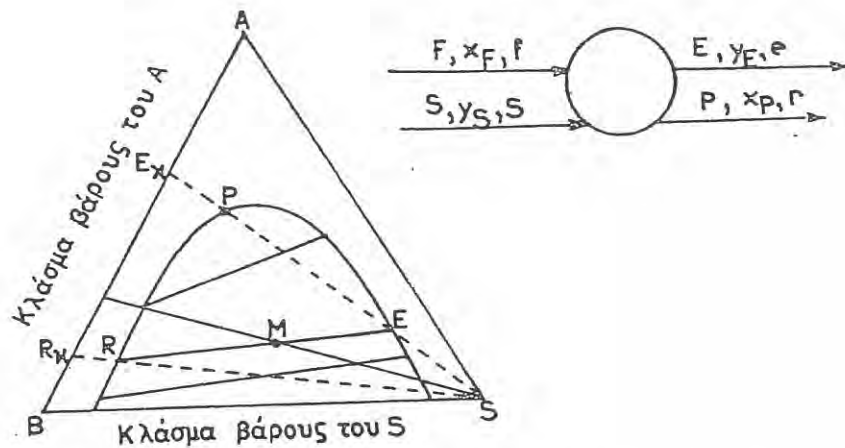
Εκχύλιση μιας βαθμίδας

Η εκχύλιση σε μια βαθμίδα (σχ. 20-2) συνίσταται σε:

1. Πλήρη ανάμιξη της τροφοδοσίας F με τον διαλύτη S. Το σημείο F βρίσκεται πάνω στην πλευρά $\bar{A}\bar{B}$ του τριγώνου εφ' όσον αυτό παριστάνει μίγμα της υπό κατανομή ουσίας A και του αραιωτικού B.
2. Διαχωρισμό του μίγματος σε δύο φάσεις, την φάση του εκχυλίσματος E (πλουσιότερη στο A) και στη φάση του υπολείμματος R (πλουσιότερη στο B).
3. Ανάκτηση του διαλύτη S από τις δύο φάσεις και παραλαβή των σχεδόν καθαρών συστατικών $E_x = A+B$ και $B_x = B+A$.

Προϋπόθεση για την ανάλυση αυτής της διεργασίας είναι ότι επέρχεται πλήρης θερμοδυναμική ισορροπία κατά την ανάμιξη των F και S.

Αν αναμίξουμε f kg ή f kg/s (για ασυνεχή ή συνεχή λειτουργία αντίστοιχα) τροφοδοσίας με s kg ή s kg/s διαλύτη, θα σχηματιστούν m kg ή m kg/s μίγματος, το οποίο θα διαχωριστεί στον αντιδραστήρα σε δύο φάσεις, δίνοντας e kg ή e kg/s εκχυλίσματος και r kg ή r kg/s υπολείμματος.



Σχήμα 20-2: Απεικόνιση της εκχύλισης μιάς βαθμίδας για σύστημα μερικής αναμίξιμων B-S υγρών σε τριγωνικό διάγραμμα.

Το ολικό ισοζύγιο μάζας θα είναι:

$$m = f + s = r + e \quad (20-1)$$

Για το ισοζύγιο του υπό κατανομή συστατικού A θα ισχύει:

$$mx_M = fx_F + sy_S = rx_R + ey_E \quad (20-2)$$

και για την περίπτωση καθαρού διαλύτη ($y_S = 0$)

$$mx_M = fx_F \quad (20-2a)$$

όπου: x_M , x_F και y_S είναι οι συγκεντρώσεις του Α στο μίγμα, στην τροφοδοσία, και στον διαλύτη αντίστοιχα.

Οι ποσότητες και οι συστάσεις του εκχυλίσματος Ε και του υπολείμματος R βρίσκονται με την βοήθεια των τριγωνικών διαγραμμάτων.

Εφαρμόζοντας τον κανόνα του μοχλού βρίσκουμε τις συντεταγμένες του σημείου Μ, το οποίο θα κείται πάνω στην ευθεία FS.

$$\frac{s}{f} = \frac{\bar{F}\bar{M}}{MS} = \frac{x_F - x_M}{x_M - y_S} \quad (20-3)$$

$$\text{ή} \quad \frac{s}{f} = \frac{x_F - x_M}{x_M} \quad (20-3\alpha)$$

για καθαρό διαλύτη.

Τα σημεία R και E καθορίζονται από την γραμμή συνδέσεως $\bar{R}\bar{M}\bar{E}$ και την καμπύλη ισορροπίας.

Σύμφωνα με τον κανόνα του μοχλού:

$$\frac{r}{e} = \frac{\bar{M}\bar{E}}{\bar{M}\bar{R}} \quad (20-4)$$

$$\frac{r}{e+r} = \frac{r}{m} = \frac{\bar{M}\bar{E}}{\bar{M}\bar{R} + \bar{M}\bar{E}} = \frac{\bar{M}\bar{E}}{\bar{R}\bar{E}} \quad (20-4\alpha)$$

και άρα

$$r = m \frac{\bar{M}\bar{E}}{\bar{R}\bar{E}} = m \frac{(y_E - x_M)}{(y_E - x_R)} \quad (20-4\beta)$$

και από την (1) για την ποσότητα του εκχυλίσματος:

$$e = m - r = m - m \frac{\bar{M}\bar{E}}{\bar{R}\bar{E}} = m \left(\frac{\bar{R}\bar{E} - \bar{M}\bar{E}}{\bar{R}\bar{E}} \right) = m \frac{\bar{R}\bar{M}}{\bar{R}\bar{E}} = m \frac{(y_M - x_R)}{(y_E - x_R)} \quad (20-4\gamma)$$

Οι συστάσεις των τελικών καθαρών προϊόντων E_x και R_x που θα προκύψουν μετά την ανάκτηση του διαλύτη s_E και s_R καθορίζονται από τα σημεία τομής των $\bar{S}\bar{E}$ και $\bar{S}\bar{R}$ με την πλευρά AB του τριγώνου αντίστοιχα, ενώ οι ποσότητες ϵ_x , s_E , r_x και s_R βρίσκονται με εφαρμογή του κανόνα του μοχλού για τις αντίστοιχες γραμμές $\bar{S}\bar{E}\bar{E}_x$ και $\bar{S}\bar{R}\bar{R}_x$.

Πολυβάθμια εκχύλιση με ομοροή

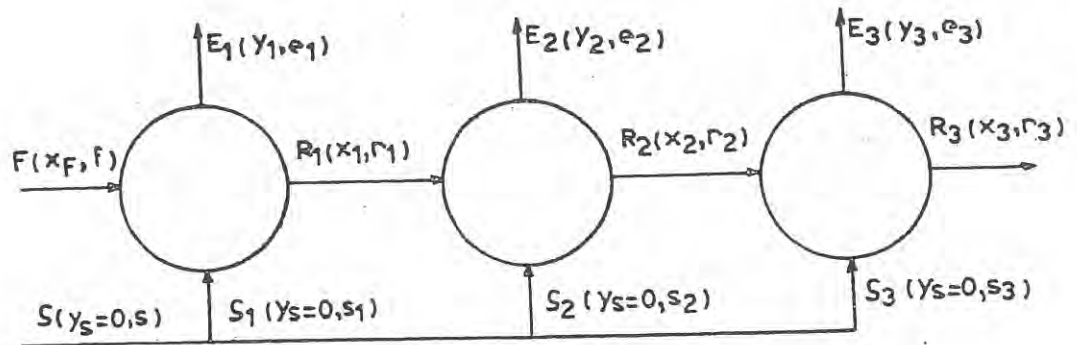
Κατά τη διεργασία αυτή, το υπόλειμμα που εξέρχεται από την προηγούμενη βαθμίδα επεξεργάζεται με καινούρια ποσότητα διαλύτη, συνεχώς ή ασυνεχώς. Το ολικό ισοζύγιο μάζας είναι

$$m_n = I_{n-1} + s_n = e_n + I_n \quad (20-5)$$

Ενώ για το ισοζύγιο μάζας του υπό κατανομή συστατικού A θα ισχύει

$$I_{n-1} \cdot x_{n-1} = e_n y_n + I_n \cdot x_n = m_n \cdot x_{m_n} \quad (20-6)$$

όπου: n- αυθαίρετος αύξοντας αριθμός βαθμίδας.



Σχήμα 20-3: Πολυβάθμια εκχύλιση με ομοροή για σύστημα μερικώς αναμίξιμων B και S υγρών.

2. Πειραματικό Μέρος

Πειραματική διάταξη

Η πειραματική διάταξη αποτελείται από τέσσερις διαχωριστικές χοάνες, στηριγμένες σε σιδηρά στηρίγματα. Στις τρεις πρώτες θα γίνει η εκχύλιση σε τρία στάδια ενώ στην τέταρτη η εκχύλιση σ' ένα στάδιο. Βοηθητικά χρειάζονται αναλυτικός ζυγός, κωνικές φιάλες, ογκομετρικοί κύλινδροι, σιφώνια και προχοΐδα.

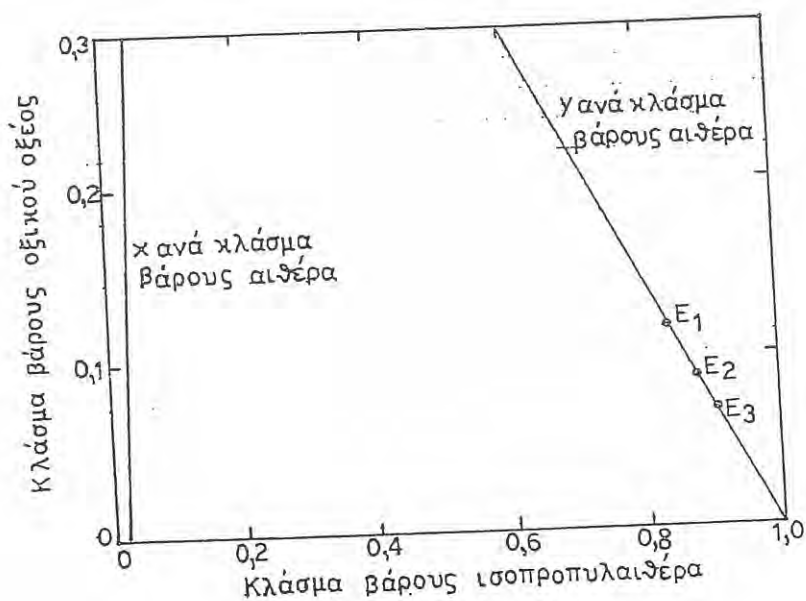
Στο πείραμα θα διαχωρισθεί το σύστημα $CH_3COOH-H_2O$, με την χρήση ισοπροπυλαιθέρα ως διαλύτη.

Επεξεργασία των αποτελεσμάτων

α) Βάσει των δεδομένων του πίνακα I, και με την βοήθεια των σχέσεων (20-1) και (20-2) υπολογίζονται οι συγκεντρώσεις του οξέος στα διάφορα κλάσματα και τοποθετούνται τα πειραματικώς ευρεθέντα σημεία $E_1, E_2, E_3, R_1, R_2, R_3, M_1, M_2, M_3, E, R$ και M πάνω στο διάγραμμα 20-4. Το διάγραμμα αυτό παριστάνει την ισορροπία του τριαδικού συστήματος οξεικό οξύ-νερό-ισοπροπυλαιθέρας.

β) Υπολογίζονται οι αποδόσεις των πειραμάτων για τις διεργασίες της εκχύλισης σε ένα και τρία στάδια αντίστοιχα και συγκρίνονται.

γ) Με τα δεδομένα του σχήματος 20-4 και με την βοήθεια των σχέσεων (20-1), (20-2) και (20-4β) υπολογίζονται θεωρητικά οι ποσότητες και οι συστάσεις των διαφόρων κλασμάτων και τοποθετούνται τα σημεία $R_1, R_2, R_3, M_1, M_2, M_3$ πάνω στο διάγραμμα 4.



Σχήμα 20-4: Καμπύλη ισορροπίας του συστήματος οξεικό οξύ-νερό-ισοπροπυλαιθέρας στους 20°C.

Πίνακας II

Μέγεθος	Θεωρητικό αποτέλεσμα	Πειραματικό αποτέλεσμα
e_1	.....(gr)	.....(gr)
e_2	.....(gr)	.....(gr)
e_3	.....(gr)	.....(gr)
Γ_1	.....(gr)	.....(gr)
Γ_2	.....(gr)	.....(gr)
Γ_3	.....(gr)	.....(gr)
x_{R1}	.... (gr οξέος/gr R_1)	.... (gr οξέος/gr R_1)
x_{R2}	.... (gr οξέος/gr R_2)	.... (gr οξέος/gr R_2)
x_{R3}	.... (gr οξέος/gr R_3)	.... (gr οξέος/gr R_3)
y_{E1}	.... (gr οξέος/gr E_1)	.... (gr οξέος/gr E_1)
y_{E2}	.... (gr οξέος/gr E_2)	.... (gr οξέος/gr E_2)
y_{E3}	.... (gr οξέος/gr E_3)	.... (gr οξέος/gr E_3)
Οξύ περιεχόμενο στο τελικό υπόλειμμα R_3	.....(gr)	.....(gr)
Συνολικό εκχύλισμα E_{01}	.....(gr)	.....(gr)
Περιεχόμενο οξύ στο E_{01}	.....(gr)	.....(gr)
Απόδοση διεργασίας % %
s_θ	.....(gr)	-
x_R	-	(gr οξέος/gr R)
y_E	-	(gr οξέος/gr E)
Περιεχόμενο οξύ στο R	-	.....(gr)
Περιεχόμενο οξύ στο E	-	.....(gr)
Απόδοση διεργασίας	- %

δ) Με την βοήθεια της σχέσης (20-2α) υπολογίζεται το ποσό του διαλύτη, s_θ , που απαιτείται θεωρητικά προκειμένου να ληφθεί η ίδια τελική συγκέντρωση υπολείμματος, x_{R3} , αν η διεργασία της εκχύλισης γίνει σε ένα στάδιο.

- ε) Υπολογίζεται η θεωρητική απόδοση της διεργασίας της εκχύλισης σε τρία στάδια.
ζ) Σχολιάζονται τα πειραματικά αποτελέσματα σε σχέση με τα αναμενόμενα θεωρητικά.

Πίνακας συμβόλων - δεδομένα

F:	τροφοδοσία	f:	βάρος τροφοδοσίας
S:	διαλύτης	s:	" διαλύτη
M:	μίγμα	m:	" μίγματος
R:	υπόλειμμα	r:	" υπολείμματος
E:	εκχύλισμα	e:	" εκχυλίσματος
x_F :	συγκέντρωση του A στην τροφοδοσία		
y_S :	" "		στον διαλύτη
x_M :	" "		στο μίγμα
x_R :	" "		στο υπόλειμμα
y_E :	" "		στο εκχύλισμα

Πυκνότητες: $d_{\text{CH}_3\text{COOH}} = 1.054$ (gr/ ml)
 $d_{\text{ισοπροπυλαιθέρα}} = 0.7258$ (gr/ ml).

Απαιτούμενα όργανα και αντιδραστήρια

1. Τέσσερις διαχωριστικές χοάνες
2. Αναλυτικός ζυγός
3. Ογκομετρικοί κύλινδροι
4. Εξ κανικές φιάλες των 50 ml
5. Σιφόνια
6. Προχοΐδα
7. Οξικό οξύ, ισοπροπυλαιθέρας, NaOH 1N, δείκτης φαινολοφθαλεΐνης

Βιβλιογραφία

1. Α.Θ. Σδούκου, "Φυσικές Διεργασίες της Χημικής Τεχνολογίας, Τόμος III-Μεταφορά Μάζας", Ιωάννινα, 1982.
2. R. Treyball, "Mass Transfer Operations", Academic Press, NY-London, 1975.

Άσκηση 21: ΑΝΑΔΕΥΣΗ

Σκοπός

Σκοπός της άσκησης αυτής είναι

1. Η εξοικείωση με τη διεργασία ανάδευσης.
2. Η μελέτη των αδιάστατων μεγεθών (κριτήριο ισχύος και Reynolds) τα οποία χρησιμοποιούν στην περιγραφή της διεργασίας.
3. Η εξέταση προβλημάτων μεγέθυνσης κατά την διεργασία αυτή.

1. Θεωρητικό Μέρος

Στη χημική βιομηχανία η ανάδευση των υγρών χρησιμοποιείται για τη δημιουργία αιωρημάτων και γαλακτωμάτων, για την παρασκευή ομοιογενών διαλυμάτων, για τον διασκορπισμό ενός αερίου ή συσσωματωμένων σωματιδίων σε υγρό, για την υποβοήθηση των διεργασιών μετάδοσης θερμότητας, μεταφοράς μάζας (διάχυσης), καθώς επίσης και των χημικών διεργασιών σε αντιδραστήρες αναδευομένου δοχείου.

Τα υγρά αναδεύονται συνήθως σε δεξαμενές ή δοχεία κυλινδρικού σχήματος με τη βοήθεια προωθητήρων, που είναι προσαρμοσμένοι σε άξονα ο οποίος συνδέεται σε ηλεκτροκινητήρα με μειωτή στροφών. Η συσκευή συμπεριλαμβάνει και άλλα εξαρτήματα, όπως τις σωληνώσεις εισόδου και εξόδου, το μανδύα, τους ανακλαστήρες, τις υποδοχές για θερμομέτρα κ.α. Ο πυθμένας της

δεξαμενής προτιμάται να είναι σφαιροειδής, ώστε να μη δημιουργούνται περιοχές στις οποίες να μη διεισδύουν τα ρεύματα του ρευστού (νεκρές ζώνες) όπως θα συνέβαινε στην περίπτωση επίπεδου πυθμένα.

Ο όγκος του κινούμενου ρευστού ανά μονάδα χρόνου καλείται "ρυθμός κυκλοφορίας" και είναι ανάλογος της διαμέτρου D_a του προωθητήρα. Πιο συγκεκριμένα ο ρυθμός αυτός εξαρτάται από τον όρο D_a^3 για τους στροβίλους και D_a^2 για τους έλικες. Ο προωθητήρας προσδίδει κινητική ενέργεια στο υγρό η οποία θα πρέπει να είναι τέτοια ώστε να διασκορπίζει αυτό προς όλες τις κατευθύνσεις και να το μεταφέρει στα πλέον απομακρυσμένα σημεία του δοχείου.

Η απαιτούμενη ενέργεια - ισχύς δεν είναι δυνατόν να υπολογισθεί θεωρητικά. Αυτή όμως θα εξαρτάται από την πυκνότητα και το ιξώδες του υγρού, τις διαστάσεις του δοχείου και του προωθητήρα, το σχήμα και τον αριθμό στροφών του προωθητήρα, την τοποθέτηση ή όχι ανακλαστήρων καθώς και τον αριθμό αυτών και άλλα. Ο μηχανισμός της ροής είναι πολύπλοκος συνδυασμός γραμμικής και στροβιλώδους ροής καθώς και αποκολλητικών περατωτικών στοιβάδων:

$$P = f(n, D_a, \mu, \xi, \xi_c, \rho) \quad (21-1)$$

Για την έκφραση της καταναλώμενης ενέργειας εισήχθει το κριτήριο ισχύος (Euler) K_N που αντιστοιχεί στον λόγο:

$$\begin{aligned} K_N = \text{κριτήριο Euler} &= \frac{\text{Απαιτούμενη εξωτερική δύναμη για ανάδευση}}{\text{Δυνάμεις αδρανείας}} = \\ &= \frac{P}{nD} \frac{1}{D^3} = \frac{P}{\rho n^3 D} \end{aligned} \quad (21-2)$$

όπου: P- απαιτούμενη ισχύς για ανάδευση, D- διάμετρος του αναδευτήρα, n- συχνότητα περιστροφής του αναδευτήρα (RPM) και ρ - πυκνότητα του ρευστού.

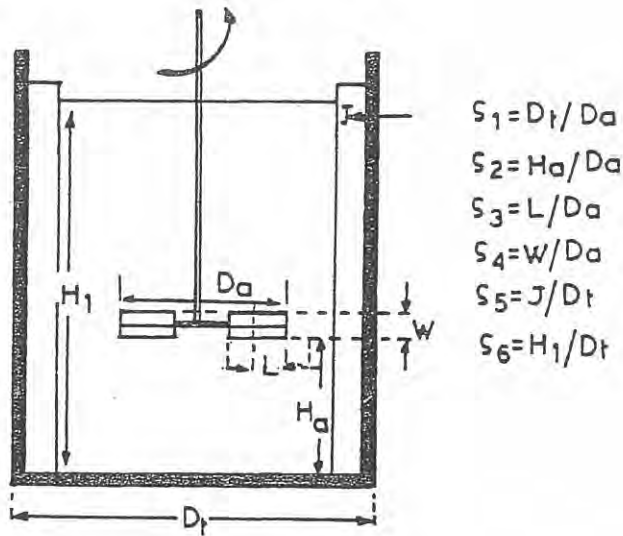
Το κριτήριο Euler είναι ανάλογο των αριθμών Reynolds και Froude:

$$K_N = f(Re, Fr) \quad (21-3)$$

αν λάβουμε υπ' όψη τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά τότε:

$$K_N = f(Re, Fr, S_1, S_2, \dots, S_n) \quad (21-4)$$

όπου: $S_1 = D_t/D_a$, $S_2 = H_a/D_a$, $S_3 = L/D_a$, $S_4 = W/D_a$, $S_5 = J/D_t$, $S_6 = H_1/D_t$
 και D_t - διάμετρος δοχείου, D_a - διάμετρος προωθητήρα, H_a - η απόσταση του
 προωθητήρα από τον πυθμένα, L - μήκος πτερυγίου, W - πλάτος πτερυγίου, J -
 πλάτος ανακλαστήρα, H_1 - ύψος στάθμης υγρού. (Βλέπε σχήμα 21-1).



Σχήμα 21-1: Γεωμετρικές διαστάσεις συσκευής ανάδευσης.

Το κριτήριο ισχύος είναι ο λόγος των δυνάμεων οπισθελκούσης (F_D) προς τις δυνάμεις αδρανείας:

$$F_D = C_D \frac{A u_o^2 \rho}{2} \quad (21-5)$$

Επειδή η u_o είναι ανάλογος της u_a , δηλαδή της γραμμικής ταχύτητας κίνησης του άκρου του προωθητήρα και η επιφάνεια A είναι ανάλογος της ποσότητας D_a^2 άρα:

$$F_D = C_D D_a^2 [n D_a]^2 \rho = C_D n^2 D_a^4 \rho \quad (21-6)$$

και $P = \pi n D_a F_D$ (21-7)

άρα $P = C_D n^3 D_a^5 \rho$ (21-8)

και $C_D = \frac{P}{n^3 D_a^5 \rho} = K_N$ (21-9)

δηλαδή το κριτήριο ισχύος K_N είναι ανάλογο του συντελεστή οπισθελκούσης C_D .

Το κριτήριο Reynolds είναι ο λόγος των δυνάμεων αδράνειας προς τις δυνάμεις τριβών:

$$Re = \frac{\text{δυνάμεις αδράνειας}}{\text{δυνάμεις τριβών}} = \frac{n_a D_a^2 \rho}{\mu} = \frac{[n D_a] D_a \rho}{\mu} \quad (21-10)$$

αλλά η γραμμική (περιφερειακή) ταχύτητα στο άκρο του προωθητήρα είναι:

$$u_a = \pi n D_a \quad (21-11)$$

άρα: $Re = \frac{u_a D_a \rho}{\mu}$ (21-12)

δηλαδή καταλήγουμε στον βασικό τύπο του Reynolds. Και στην ανάδευση ο αριθμός Re θα μας δείχνει το υπόδειγμα ροής. Για $Re < 10$ θα έχουμε γραμμική ροή, για την μεταβατική περιοχή ισχύει $10 < Re < 10^4$ και για $Re > 10^4$ θα έχουμε τυρβώδη ροή.

Ο αριθμός Froude είναι ο λόγος των δυνάμεων αδράνειας προς τις δυνάμεις βαρύτητας και η επίδρασή του εμφανίζεται μόνο όταν δημιουργούνται δίνες και για $Re > 300$.

Η μάζα του υγρού της δίνης, δηλαδή πάνω από το επίπεδο A-A (βλέπε Σχήμα 21-5α), θα είναι:

$$m = \rho S_t h \quad (21-13)$$

όπου S_t - επιφάνεια διατομής και h - μέσο ύψος της δίνης. Η δύναμη της βαρύτητας εξισορροπούμενη ανά μονάδα επιφάνειας θα είναι

$$\frac{B}{S_t} = \frac{\rho g S_t h}{S_t} = h \quad \rho g = D_a \quad \rho g \quad (21-14)$$

Η δύναμη αδράνειας είναι:

$$u_a^2 \rho = n^2 D_a^2 \rho \quad (21-15)$$

άρα:

$$Fr = \frac{n^2 D_a^2 \rho}{D_a \rho g} = \frac{n^2 D_a}{g} \quad (21-16)$$

Τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά της συσκευής ανάδευσης επηρεάζουν και αυτά ως ένα βαθμό την καταναλώμενη ισχύ. Το σχήμα της δεξαμενής έχει μικρή επίδραση στο κριτήριο ισχύος.

Η καταναλούμενη ισχύς σε μεγάλα δοχεία είναι δυνατόν να προβλεφθεί από τις καμπύλες που δείχνουν την μεταβολή της ισχύος σαν συνάρτηση του αριθμού Re. Για υγρά μικρού ιξώδους το ποσό της καταναλώμενης ισχύος ανά μονάδα όγκου είναι μέτρο της αποτελεσματικότητας της ανάμιξης και συνεπάγεται:

Μεγάλη ισχύς \Rightarrow Μεγάλος βαθμός στροβιλισμού \Rightarrow Καλύτερη ανάμιξη

Γενικά για τιμές καταναλώμενης ισχύος $< 0,25 \text{ hp/m}^3$ έχουμε ήπια ανάδευση, από $0,25$ έως 1 hp/m^3 ισχυρή ανάδευση και για τιμές $> 1 \text{ hp/m}^3$ έχουμε έντονη ανάδευση.

Από την παρεχόμενη ισχύ μόνο ένα μέρος αυτής καταναλώνεται για την ανάμιξη ενώ το υπόλοιπο καταναλώνεται σε κίνηση του ρευστού προς την αυτή κατεύθυνση, π.χ. περιδίνηση. Έτσι λοιπόν η καταναλώμενη ισχύς δεν αποτελεί μέτρο της ανάμιξης αλλά απλώς ένα μέσο για την σύγκριση των μεγεθών αυτών.

Στις χημικές διεργασίες και τις διεργασίες ανάμιξης μας ενδιαφέρει άμεσα να γνωρίζουμε τον χρόνο που απαιτείται για την πλήρη διάχυση του ενός υγρού στη μάζα του άλλου. Ο χρόνος αυτός ονομάζεται **χρόνος ανάμιξης των υγρών (t_r)** και ευρίσκεται πειραματικά σαν ο χρόνος που απαιτείται για την αλλαγή χρώματος ενός ιχνηθέτη, π.χ. ενός δείκτη οξέος-βάσεως, σ' όλο τον όγκο του δοχείου κατά την εξουδετέρωση. Παράλληλα υπάρχει και ο αδιάστατος χρόνος ανάμιξης t_t ο οποίος δίνεται από τη σχέση:

$$f_T = \frac{t_T [nD_a^2]^{2/3} g^{1/6} D_a^{1/2}}{H_1^{1/2} D_1^{3/2}} \quad (21-17)$$

Η ταχύτητα ανάμιξης εξαρτάται από το υπόδειγμα ροής, τον τύπο και τη θέση που τοποθετείται ο προωθητήρας.

Γενικά το καλύτερο σύστημα ανάδευσης είναι αυτό που εκτελεί την επιθυμητή διεργασία με το μικρότερο ποσό ισχύος στο μικρότερο δυνατό χρόνο.

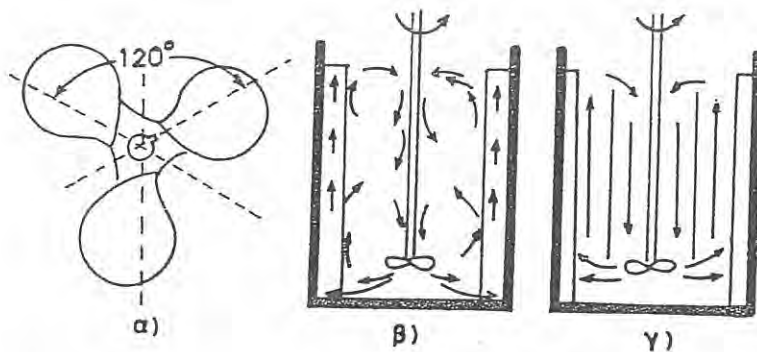
Τεχνολογικά χαρακτηριστικά συσκευών ανάδευσης

Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως ένα από τα βασικά εξαρτήματα των συσκευών ανάδευσης είναι ο προωθητήρας. Οι προωθητήρες κατά την περιστροφή τους είναι δυνατόν να δημιουργήσουν τριών ειδών ροές: την αξονική ή διαμήκη, παράλληλη προς το άξονα περιστροφής του προωθητήρα, την εφαπτομενική, η οποία ακολουθεί την εφαπτομένη στην κίνηση αυτού και την ακτινική ροή, με κατεύθυνση από το κέντρο προς την περιφέρεια του προωθητήρα.

Η ακτινική και η αξονική ροή προκαλούν σφοδρή ανάμιξη ενώ η εφαπτομενική ροή μειωμένη λόγω περιδίνησης του προς ανάμιξη συστήματος. Εάν μάλιστα υπάρχουν αιωρούμενα σωματίδια τότε αυτά φυγοκεντρώνονται με αποτέλεσμα να προσκολώνονται στα τοιχώματα και με τη βαρύτητα να κατακρημνίζονται στον πυθμένα, δηλαδή αντί ανάμιξη έχουμε διαχωρισμό. Η αποφυγή της περιδίνησης και του σχηματισμού χοάνης επιτυγχάνεται με την τοποθέτηση ανακλαστήρων και την χρησιμοποίηση κλειστών προωθητήρων με δακτύλιο διάχυσης.

Οι προωθητήρες είναι δυνατόν να υποδιαιρεθούν σε διάφορες κατηγορίες. Ανάλογα με τη ροή που δημιουργούν διακρίνουμε προωθητήρες αξονικής, εφαπτομενικής και ακτινικής ροής. Σύμφωνα δε με την κατασκευή τους, διακρίνουμε επίσης τρεις βασικούς τύπους προωθητήρων - τους έλικες, τους περυσιοφόρους τροχούς και τους στροβίλους.

Οι έλικες (σχ. 21-2) είναι προωθητήρες αξονικής κυρίως ροής, χρησιμοποιούμενοι στα λεπτόρευστα υγρά. Χρησιμοποιούνται για τη διάλυση, αιώρηση, ταχεία ανάδευση, σχηματισμό λεπτόρευστων γαλακτωμάτων και ομοιογενοποίηση μεγάλων όγκων υγρών, στις χημικές αντιδράσεις που τελούνται σε υγρό περιβάλλον.

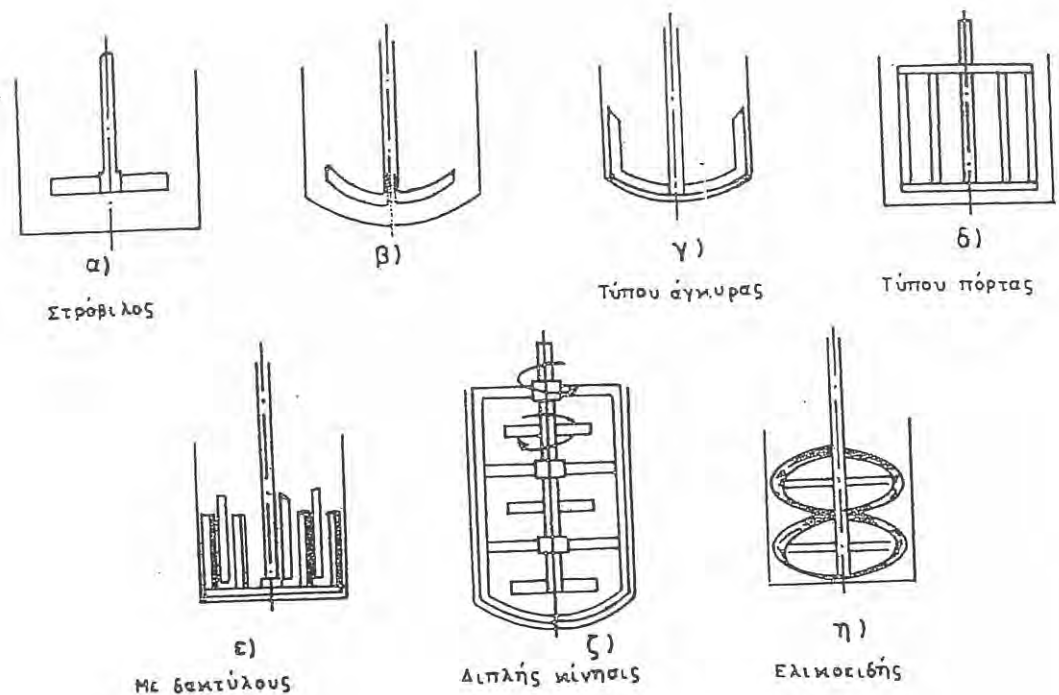


Σχήμα 21-2: Ελικας (α) και υποδείγματα ροής σε δεξαμενή με ανακλαστήρες (β,γ) και με αγωγό ρευμάτων (γ).

Οι πτερυγοφόροι τροχοί (σχ. 21-3) πλεονεκτούν ως προς την απλή κατασκευή και το χαμηλό κόστος. Βασικό μειονέκτημά τους είναι ότι δημιουργούν μόνο ακτινική και επαπτομενική ροή, με συνέπεια να αναδεύονται μόνο τα στρώματα που βρίσκονται κοντά στα πτερύγια. Καλύτερη ανάδευση επιτυγχάνεται όταν τα πτερύγια έχουν ελαφρά κλίση (30-40°) ως προς τον άξονα με την οποία δημιουργείται μερική αξονική ροή. Τα πτερύγια του αναδευτήρα τύπου άγκυρας (σχ. 21-3γ) έχουν το σχήμα της εσωτερικής επιφάνειας του δοχείου. Χρησιμοποιούνται βασικά για την παρεμπόδιση της εναπόθεσης στερεών πάνω στις επιφάνειες εναλλαγής θερμότητας.

Στους στρόβιλους (σχ. 21-4) τα πτερύγια μπορεί να είναι επίπεδα ή κυρτά, κεκλιμένα ή κατακόρυφα. Ο προωθητήρας μπορεί να είναι ανοικτός, ημίκλειστος ή κλειστός. Οι στρόβιλοι είναι αποτελεσματικοί για μεγάλες περιοχές ιξώδους. Δημιουργούν κυρίως ρεύματα ακτινικά. Σε υψηλές ταχύτητες είναι δυνατόν να δημιουργείται επαπτομενική ροή, με αποτέλεσμα να εμφανίζεται χοάνη περιδίνησης (σχ. 21-5α) η οποία αποφεύγεται με την τοποθέτηση ανακλαστήρων και αγωγών ρευμάτων (σχ. 21-5β).

Οι στρόβιλοι μπορεί να τοποθετηθούν μέσα σε δακτύλιο διάχυσης (σχ. 21-6) για την αποφυγή σχηματισμού δίνης. Δακτύλιοι διάχυσης χρησιμοποιούνται στην περίπτωση που απαιτείται ο διασκορπισμός αερίου σε υγρό, όπως στην περίπτωση των συσκευών επίπλευσης αφρού.



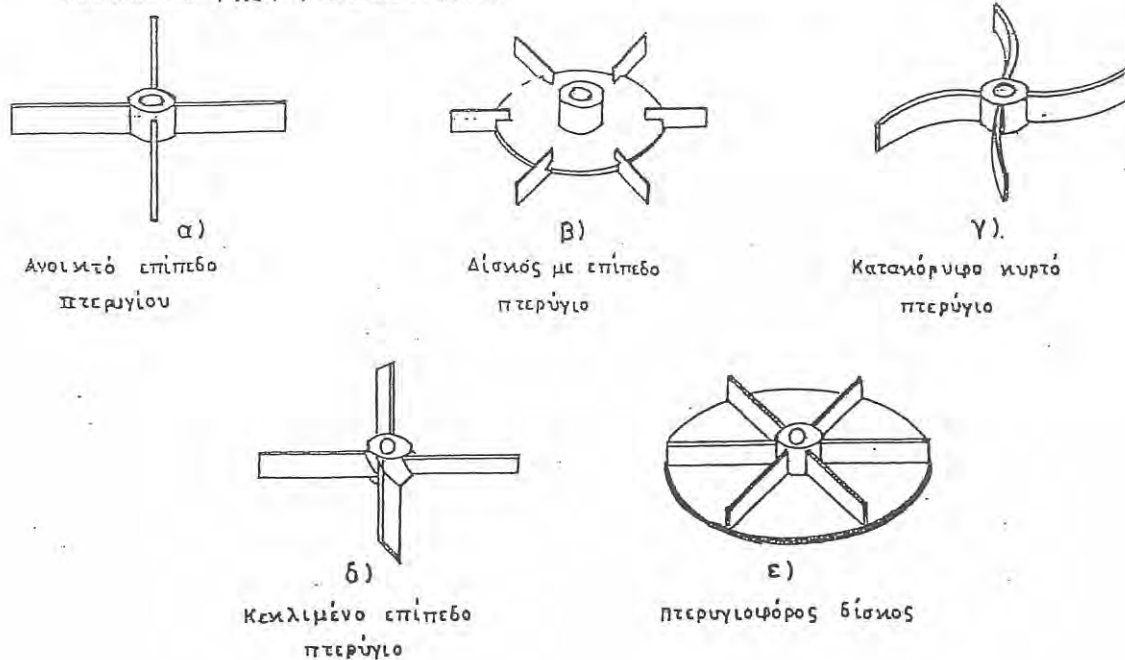
Σχήμα 21-3. Διάφορα είδη αναδευτήρων.

Το σχήμα και το μέγεθος του προωθητήρα αποτελούν σημαντικούς παράγοντες στην διεργασία της ανάδευσης. Στο σχήμα 21-7 δίνεται η μεταβολή του κριτηρίου ισχύος K_N με τον αριθμό Re για διάφορους προωθητήρες, απ' όπου φαίνεται ότι γενικά στην στρωτή ροή ($Re=10-100$) το K_N σταδιακά ελαττώνεται ενώ στην τυρβώδη ροή ($Re>10^4$) παραμένει πρακτικά σταθερό.

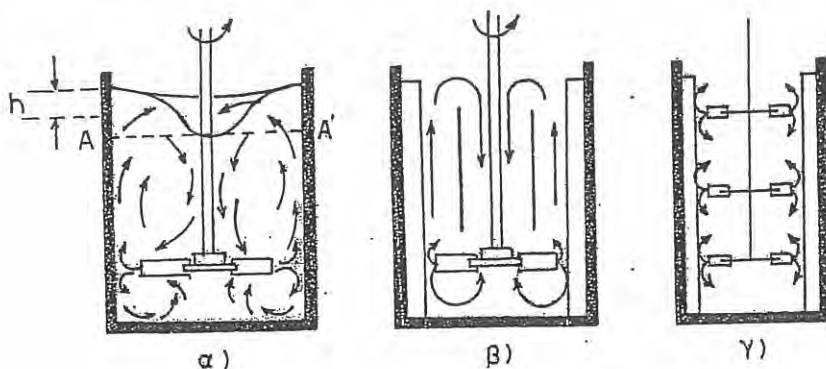
Στο σχήμα 21-8 δίνεται η επίδραση του μεγέθους και της ταχύτητας περιστροφής του προωθητήρα στη διασπορά αερίου σε υγρό. Αυτό δείχνει ότι αυξανόμενη τόσο της ταχύτητας περιστροφής ($\alpha \rightarrow \beta \rightarrow \gamma$) όσο και του μεγέθους του προωθητήρα ($\delta \rightarrow \gamma$) αυξάνεται και η αποτελεσματικότητα στη διασπορά του αερίου.

Η εκλογή του προωθητήρα που θα χρησιμοποιηθεί για την ανάδευση εξαρτάται τόσο από την συγκεκριμένη διεργασία που αποσκοπεί όσο και από το ιξώδες του υγρού. Στο σχήμα 21-9 δίνονται οι περιοχές λειτουργίας των βασικών τύπων προωθητήρων σαν συνάρτηση του ιξώδους του υγρού και

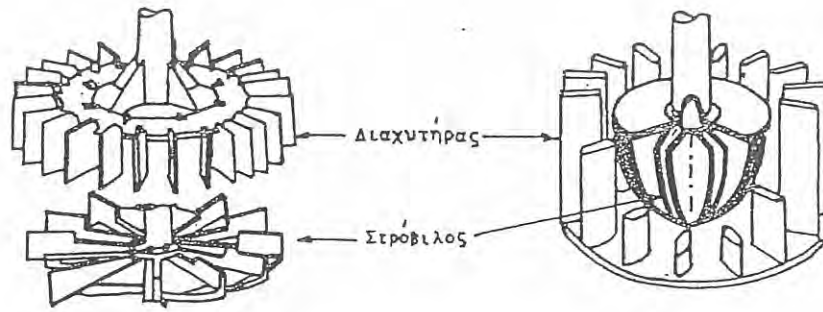
του όγκου του δοχείου αναδέυσεως. Επίσης σημειώνεται και η περιοχή όπου απαιτείται η χρήση ανακλαστήρων.



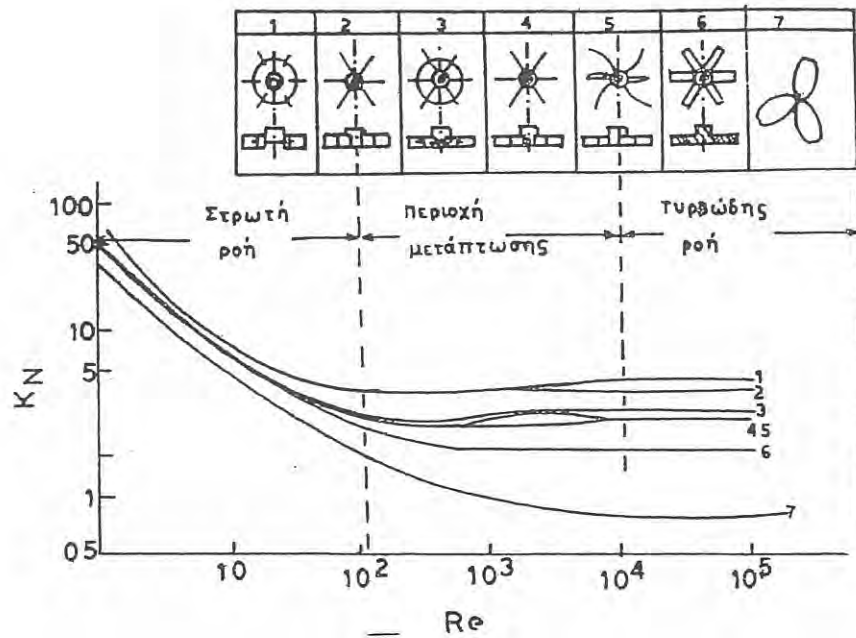
Σχήμα 21-4. Διάφορα είδη στροβίλων.



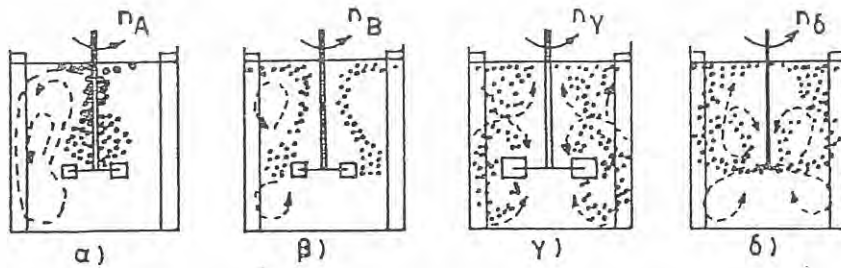
Σχήμα 21-5. Υποδείγματα σε δεξαμενές με στροβίλους: (α) χωρίς ανακλαστήρες, (β) με ανακλαστήρες και αγωγούς ρευμάτων, (γ) πολλαπλοί στροβίλοι σε υψηλή δεξαμενή με ανακλαστήρες.



Σχήμα 21-6. Διάφοροι τύποι στροβίλων με δακτύλιο διάχυσης.



Σχήμα 21-7. Μεταβολή του κριτηρίου ισχύος K_N με τον αριθμό Re για ανάδευση με διάφορους προωθητήρες.



Σχήμα 21-8. Η επίδραση της ταχύτητας περιστροφής (α→ γ) και του μεγέθους (δ→ γ) του προωθητήρα στην διασπορά αερίου σε υγρό.

Κριτήρια ομοιότητας στην ανάδευση

Για τη μεγέθυνση (scale-up) των διαφόρων φυσικών ή χημικών διεργασιών είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθεί η γεωμετρική, η κινηματική και η δυναμική ομοιότητα.

Κατά τη γεωμετρική ομοιότητα γίνεται προσπάθεια να διατηρηθούν σταθεροί οι συντελεστές σχήματος, δηλαδή η βιομηχανική συσκευή έχει τους ίδιους συντελεστές σχήματος με το μοντέλο. Στο σχήμα 21-10α για το μοντέλο και το ακόμα μικρότερης κλίμακας πρωτότυπο ισχύουν:

$$S_1 = D_t / D_a = 12 / 4 = \frac{60}{20} = 3 \quad (21-18)$$

$$S_2 = H_a / D_a = 2 / 4 = \frac{10}{20} = 0,5 \quad (21-19)$$

$$S_3 = L / D_a = 2 / 4 = \frac{10}{20} = 0,5 \quad (21-20)$$

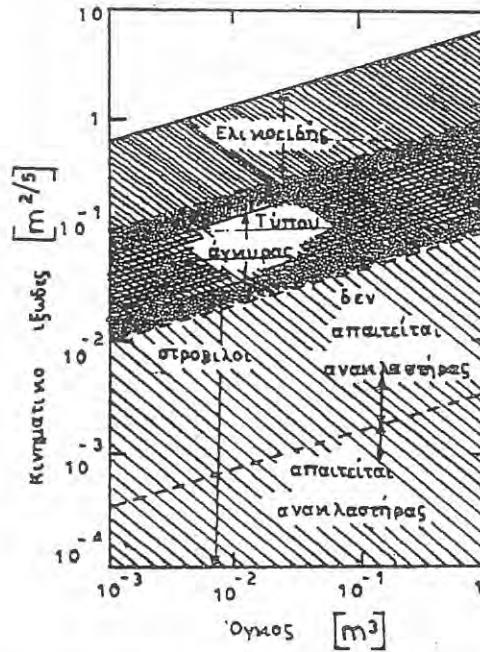
$$S_4 = W / D_a = 0,5 / 4 = \frac{2,5}{20} = 0,125 \quad (21-21)$$

$$S_5 = J / D_t = 0,5 / 12 = \frac{2,5}{60} = 0,04 \quad (21-22)$$

$$S_6 = H_t / D_t = 12 / 12 = \frac{60}{60} = 1 \quad (21-23)$$

Κατά την κινηματική ομοιότητα διατηρούνται σταθερές οι συνθήκες ροής του υγρού κατά την ανάδευση, δηλαδή οι σχετικές ταχύτητες ροής του υγρού στα διάφορα μέρη της συσκευής να είναι ίδια με αυτές του πρωτότυπου. Στο σχήμα 21-10β για το μοντέλο και το πρωτότυπο ισχύει:

$$\frac{\text{Ταχύτητα άκρου αναδευτήρα}}{\text{Ταχύτητα άκρου ανακλαστήρα}} = \frac{1.8 \text{ ft/sec}}{0.45 \text{ ft/sec}} = \frac{4 \text{ ft/sec}}{1 \text{ ft/sec}} = 4 \quad (21-24)$$

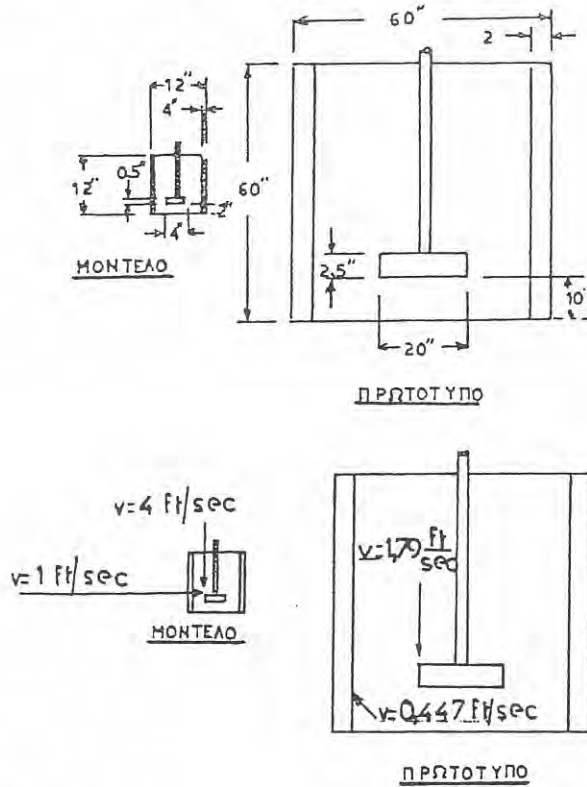


Σχήμα 21-9. Οι περιοχές λειτουργίας αναδευτήρων για διάφορα είδη προωθητήρων.

Κατά τη δυναμική ομοιότητα διατηρούνται σταθεροί οι λόγοι των δυνάμεων, δηλαδή τα κριτήρια Re , F_r , K_N και f_t να είναι στη συσκευή τα ίδια με το μοντέλο, σύμφωνα με το θεώρημα του Kirpichev: "Τα φαινόμενα είναι όμοια, όταν τα αντίστοιχα κριτήρια που καθορίζουν αυτά είναι αριθμητικά ίδια".

Για τον ίδιο αριθμό Re θα πρέπει να ισχύει:

$$Re_1 = Re_2 \Rightarrow \frac{n_1 D_1^2 \rho_1 Q}{\mu} = \frac{n_2 D_2^2 \rho_2 Q}{\mu} \Rightarrow \frac{n_1}{n_2} = \left[\frac{D_2}{D_1} \right]^2 \quad (21-25)$$



Σχήμα 21-10. Για την κατανόηση της γεωμετρικής (α) και κινηματικής (β) ομοιότητας.

Για τον ίδιο αριθμό Fr θα πρέπει να ισχύει:

$$Fr_1 = Fr_2 \Rightarrow \frac{n_1^2 D_1}{g} = \frac{n_2^2 D_2}{g} \Rightarrow \left[\frac{n_1}{n_2} \right]^2 = \frac{D_2}{D_1} \Rightarrow \frac{n_1}{n_2} = \left[\frac{D_2}{D_1} \right]^{1/2} \quad (21-26)$$

Για το ίδιο κριτήριο K_N θα πρέπει να ισχύει:

$$K_{N1} = K_{N2} \Rightarrow \frac{P_1 g}{n_1^3 D_1^5 \rho_1 Q} = \frac{P_2 g}{n_2^3 D_2^5 \rho_2 Q} \Rightarrow \frac{P_1}{P_2} = \left[\frac{n_1}{n_2} \right]^3 \left[\frac{D_1}{D_2} \right]^5 \quad (21-27)$$

Για την καταναλούμενη ισχύ ανά μονάδα όγκου η (21-27) θα γίνει:

$$\frac{P'_1}{P'_2} = \frac{P_1/D_1^3}{P_2/D_2^3} = \left[\frac{n_1}{n_2} \right]^3 \left[\frac{D_1}{D_2} \right]^2 \quad (21-28)$$

$$\text{αν } P'_1 = P'_2 \Rightarrow \frac{n_1}{n_2} = \left[\frac{D_2}{D_1} \right]^{2/3} \quad (21-29)$$

$$\text{αν } n_1 = n_2 \Rightarrow \frac{P'_1}{P'_2} = \left[\frac{D_1}{D_2} \right]^2 \quad (21-30)$$

$$\text{αν } D_1 = D_2 \Rightarrow \frac{P'_1}{P'_2} = \left[\frac{n_1}{n_2} \right]^3 \quad (21-31)$$

Για τον ίδιο αδιάστατο χρόνο ανάμιξης θα πρέπει να ισχύει:

$$t_{r1} = t_{r2} \quad (21-32)$$

$$\Rightarrow \frac{t_{r1} [n_1 D_1^2]^{2/3} g^{1/6} D_1^{1/2}}{H_1^{1/2} D_t^{3/2}} = \frac{t_{r2} [n_2 D_2^2]^{2/3} g^{1/6} D_2^{1/2}}{H_1^{1/2} D_t^{3/2}} \quad (21-33)$$

$$\Rightarrow \frac{t_{r1}}{t_{r2}} = \left[\frac{n_2}{n_1} \right]^{2/3} \left[\frac{D_2}{D_1} \right]^{11/6} \quad (21-34)$$

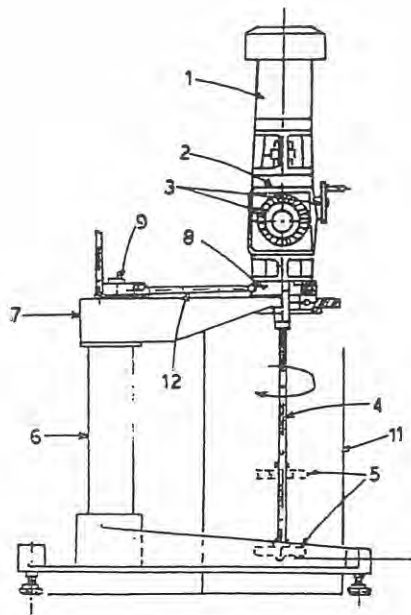
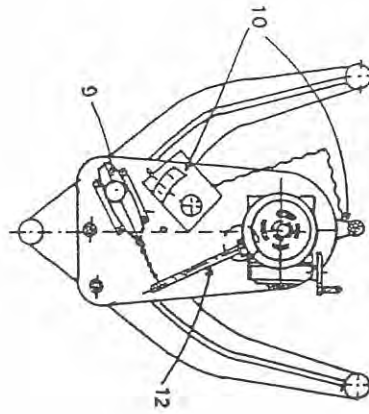
$$\text{αν } t_{r1} = t_{r2} \Rightarrow \left[\frac{n_1}{n_2} \right] \left[\frac{D_1}{D_2} \right]^{11/4} \quad (21-35)$$

2. Πειραματικό Μέρος

Περιγραφή της εργαστηριακής συσκευής.

Η συσκευή που θα χρησιμοποιηθεί στην άσκηση φαίνεται στο σχ. 21-11. Αυτή αποτελείται από το σύστημα κίνησης του προωθητήρα, το σύστημα στήριξης και το δοχείο ανάδευσης.

Το σύστημα κίνησης, αποτελείται από κινητήρα (1), μηχανικό μετατροπέα στροφών (2) με επιλογέα στροφών (3), άξονα περιστροφής (4) και τον προωθητήρα (5). Το σύστημα στήριξης αποτελείται από τη βάση (6) και την τράπεζα στήριξης των οργάνων (7) για το σύστημα κίνησης πάνω σε ένσφαιρο τριβέα (ρουλεμάν) (8), το δυναμόμετρο (9) και το στροφόμετρο (10). Τέλος



Σχήμα 21-11: Εργαστηριακή συσκευή μελέτης της ανάδευσης. 1- κινητήρας, 2- μηχανικός μετατροπέας στροφών, 3- επιλογέας στροφών, 4- άξονας περιστροφής, 5- προωθητήρας, 6- βάση, 7- τράπεζα, 8- ένσφαιρος τριβέας, 9- δυναμόμετρο, 10- στροφόμετρο, 11- δοχείο ανάδευσης και 12- βραχίονας.

το δοχείο ανάδευσης (11) είναι γυάλινο στο οποίο μπορούν να προσαρμοσθούν τέσσερις ανακλαστές. Στο σύστημα κινήσεως υπάρχει βραχίονας (12) στον οποίο συνδέεται το δυναμόμετρο. Κατά τη διεργασία της ανάδευσης στο σύστημα κίνησης εμφανίζεται μια ροπή στρέψης, λόγω της αντίστασης του υγρού, που έχει σαν αποτέλεσμα να εξασκείται στο δυναμόμετρο μια δύναμη από την οποία με βάση τη σχέση (21-36) μπορούμε να υπολογίσουμε την καταναλισκόμενη ισχύ:

$$W(\text{HP}) = \frac{F(\text{lb}) * x(\text{in}) * n(\text{RPM})}{63.000} \quad (21-36)$$

όπου: W(HP)- η ισχύς σε HP, F(lb) - η δύναμη σε lb, x(in)- το μήκος του βραχίονα σε in και n(RPM)- η ταχύτητα περιστροφής σε RPM.

Διεξαγωγή του πειράματος

Πληρούνται το δοχείο ανάδευσης με το ρευστό ή το μίγμα που θα μελετηθεί επιδιώκοντας το ύψος της στάθμης του ρευστού και η διάμετρος του δοχείου να έχουν σχέση μέσα στα όρια που δίνονται στο σχ. 21-12 και ανάλογα με τις συνθήκες που εκλέχθηκαν. Εάν απαιτεί το πείραμα τοποθετούνται οι ανακλαστές.

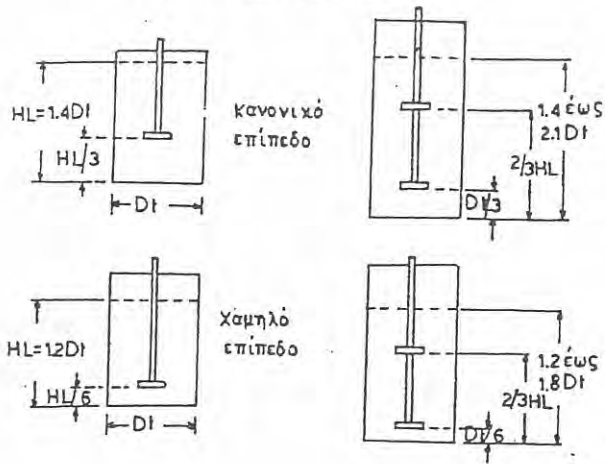
Προσαρμόζεται ο ή οι προωθητήρες που εκλέξαμε, σύμφωνα πάντα με το σχ. 21-12, στον άξονα ο οποίος στη συνέχεια προσαρμόζεται στο σύστημα κίνησης.

Ελέγχεται εάν ο επιλογέας στροφών είναι στο μηδέν και τίθεται σε λειτουργία ο κινητήρας. Επιλέγεται με τη βοήθεια του επιλογέα στροφών και του στροφομέτρου η επιθυμητή ταχύτητα περιστροφής του προωθητήρα προσέχοντας να έχουμε αναγνώσιμη ένδειξη στο δυναμόμετρο. Σημειώνονται οι ενδείξεις του στροφομέτρου και του δυναμομέτρου στον Πίνακα 21-1.

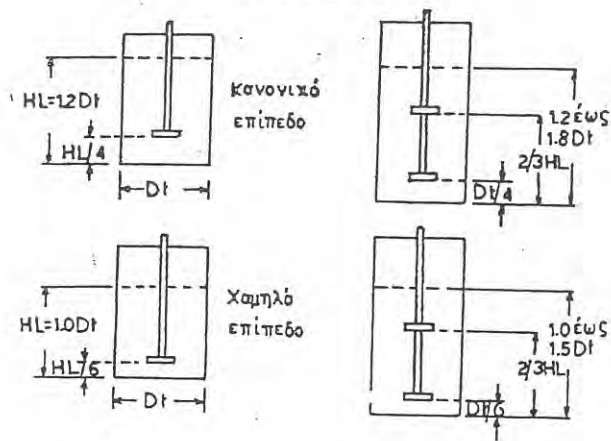
Διαλύεται στο υγρό του δοχείου μικρή ποσότητα δείκτη φαινολοφθαλείνης. Ακολούθως ρίχνονται 10ml διαλύματος NaOH, 1N και μετρείται ο χρόνος πλήρους ανάμιξης ο οποίος σημειώνεται στον Πίνακα 21-1. Εξουδετερώνεται το NaOH με διάλυμα HCl 1N έτσι ώστε το υγρό να είναι έτοιμο για την επόμενη μέτρηση.

Επαναλαμβάνεται το παραπάνω πείραμα επιλέγοντας νέες τιμές στην ταχύτητα περιστροφής του προωθητήρα. Υπολογίζεται η καταναλώμενη ισχύ W καθώς και οι αδιάστατοι αριθμοί K_R , Re , f_t και F_T (εφ' όσον δεν υπάρχουν ανακλαστές στο δοχείο ανάδευσης) από τις σχέσεις (21-36), (21-2), (21-10), (21-17) και (21-16) αντίστοιχα.

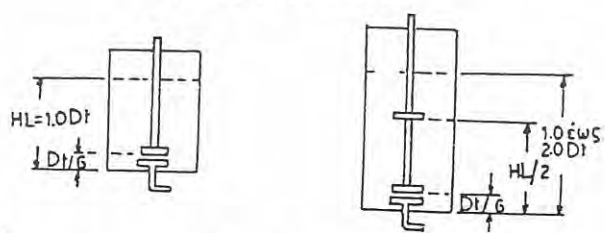
Υγρού-Υγρού ανάδευση



Στερεού-Υγρού ανάδευση



Αερίου-Υγρού ανάδευση



Σχήμα 21-12: Η τοποθέτηση του προωθητήρα για διάφορα συστήματα ανάδευσης.

Τα αποτελέσματα παρίστανται γραφικά στα διαγράμματα: $W=f(n)$, $K_N=f(Re)$ και $f_t=f(Re)$.

Πίνακας 21-1

Αριθμός προωθητήρων :

Σχήμα προωθητήρων :

Διάμετρος προωθητήρων : $\Rightarrow S_1 = D_2/D_t =$

Απόσταση προωθητήρα από τον πυθμένα:
 $\Rightarrow S_6 = H/D_t =$

Τοποθέτηση ανακλαστήρων: Ναί Όχι

Σύστημα προς μελέτη :

a/a	n RPM	F lb	t_r sec	W HP	K_N	Re	F_r	f_t
1								
2								
3								
.								
.								
.								

Προγραμματίζεται και εκτελείται νέα σειρά πειραμάτων μεταβάλλοντας την διάμετρο ή το σχήμα ή τον αριθμό ή τη θέση των προωθητήρων.

Από τους πίνακες και τα διαγράμματα εξάγονται τα συμπεράσματα για τη διεργασία της ανάδευσης στο συγκεκριμένο σύστημα.

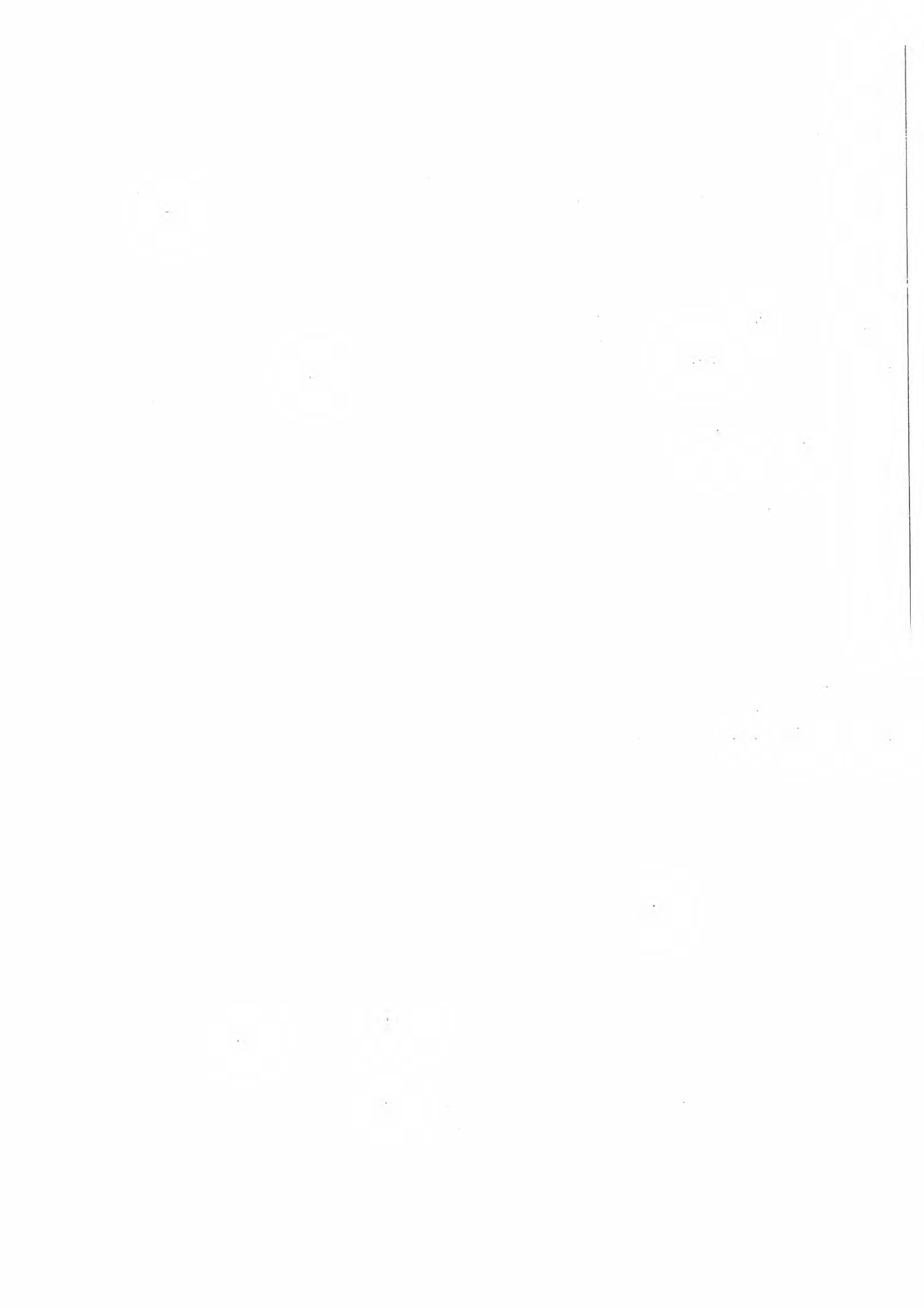
Σε διαφορετικού μεγέθους δοχείο ανάδευσης τοποθετείται προωθητήρας έτσι ώστε να υπάρχει γεωμετρική ομοιότητα της διάταξης αυτής με αυτή προηγούμενου πειράματος. Υπολογίζονται οι τιμές που πρέπει να έχει η ταχύτητα περιστροφής του προωθητήρα ώστε να έχουμε:

- α. Τον ίδιο αριθμό Re (σχέση 21-25) ή
- β. Τον ίδιο αριθμό F_r , εφ' όσον δεν υπάρχουν ανακλαστήρες (σχέση 21-26)
- ή γ. Την ίδια κατανάλωση ισχύος ανά μονάδα όγκου (σχέση 21-29).

Συμπληρώνεται ένας νέος πίνακας όμοιος με τον πίνακα 21-1 και συγκρίνονται οι τιμές με το προηγούμενο πείραμα αναφοράς. Εξάγονται τα κατάλληλα συμπεράσματα για την διαδικασία της μεγέθυνσης.

Βιβλιογραφία

1. Α.Θ.Σδούκου, "Φυσικές Διεργασίες της Χημικής Τεχνολογίας, Τόμος I-Μηχανική Ρευστών και Τεχνική Σωματιδίων", 8η έκδοση, Ιωάννινα 1983.
2. W.L. McCabe, J.C. Smith, "Βασικά Φυσικά Διεργασίες Χημικής Μηχανικής", 2^η έκδοση, Ελληνική Μετάφραση υπό Τεχνικού Επιμελητηρίου της Ελλάδος, Αθήνας 1971.
3. R.H. Perry, C.H. Chilton, "Chemical Engineers' Hand book", 5th Edition, Mc Graw-Hill Book Company, 1971.
4. P. Marros, "Mixing and Hydrodynamics in Flotation Cells", in "Innovations in Flotation Technology", P.Marros, K.A. Matis (ed), NATO ASI Series, Vol 208, 1992.



Άσκηση 22: ΡΕΥΣΤΟΠΟΙΗΜΕΝΗ ΚΛΙΝΗ

Σκοπός

Σκοπός της άσκησης αυτής είναι

- α. Η εξοικείωση με την ρευστοποιημένη (ρευστοστερεή) κλίνη στερεών σωματιδίων.
- β. Η μελέτη των συνθηκών ρευστοαιώρησης και των παραμέτρων από τις οποίες εξαρτάται αυτή.

1. Θεωρητικό Μέρος

Η ρευστοποιημένη κλίνη σωματιδίων αναφέρεται στην κατάσταση εκείνη κατά την οποία ένα στρώμα από σωματίδια αιωρείται με τη βοήθεια ρέοντος ρευστού. Η κατάσταση στην οποία βρίσκονται τα σωματίδια, αποκτά μερικές από τις ιδιότητες και τη συμπεριφορά του ρευστού, δεδομένου ότι μπορούν π.χ. να αναδευθούν ή αποχυθούν, όπως ένα υγρό. Μεταξύ των δύο φάσεων επιτυγχάνεται μεγάλη διεπιφάνεια με συνέπεια την αυξημένη αλληλεπίδραση αυτών.

Για την κατανόηση του μηχανισμού της ρευστοποίησης μιας κλίνης στερεών σωματιδίων θα πρέπει να εξετασθεί η διεργασία κατά τη σταδιακή αύξηση της παροχής του ρέοντος ρευστού μηδενική τιμή έως την παράσυρση από την κλίνη.

Όταν σε μία κλίνη στερεών σωματιδίων αναγκάζεται να διέλθει ρευστό με πολύ βραδύ ρυθμό (πολύ μικρή παροχή) αυτό θα διέλθει μέσω των μικρών ελικοειδών κενών χώρων που υπάρχουν μεταξύ των σωματιδίων. Κατά τη ροή μέσω των πόρων το ρευστό υφίσταται πτώση της πίεσής του (ΔP) η οποία δίνεται από τη σχέση Carman-Kozeny:

$$\Delta P = (k_c \eta h) \left[\frac{(1-\varepsilon)^2 \rho_s^2 S_M^2}{\varepsilon^3} \right] u \quad (22-1)$$

όπου: k_c = σταθερά Kozeny, η - ιξώδες ρευστού, h - ύψος (πάχος) της κλίνης, ε - το πορώδες της κλίνης που δίνεται από τη σχέση:

$$\varepsilon = \frac{V_B - V_s}{V_B} \quad (22-2)$$

V_B, V_s - όγκος κλίνης και σωματιδίων αντίστοιχα, ρ_s - η πυκνότητα των σωματιδίων, S_M - η ειδική επιφάνεια των σωματιδίων, u - η μέση γραμμική ή φαινόμενη ταχύτητα του ρευστού.

Η σχέση (22-1) δείχνει ότι για δεδομένη σταθερή κλίνη σωματιδίων (σταθερό πορώδες) η πτώση της πίεσης είναι ανάλογη της φαινόμενης ταχύτητας του ρευστού. Αυτό φαίνεται στο σχήμα 22-1α με το ευθύγραμμο τμήμα OA.

Όταν η ασκούμενη δύναμη επί των σωματιδίων από την ΔP εξισωθεί με τη δύναμη της βαρύτητας G_s (σημείο A) αυτά αρχίζουν να κινούνται και η κλίνη αρχίζει να διογκούται ελαφρώς ενώ η αύξηση της πτώσης πίεσης συναρτήσει της φαινόμενης ταχύτητας του ρευστού επιβραδύνεται (τμήμα AB της καμπύλης στο σχ. 22-1α).

Στο σημείο A η πτώση πίεσης είναι

$$\Delta P = \frac{G_s}{S} = \frac{h S_g \rho_s - h S_g \rho_f \varepsilon}{s} = l g (\rho_s - \rho_f) (1 - \varepsilon) \quad (22-3)$$

όπου: S - η εγκάρσια διατομή και ρ_f - η πυκνότητα του ρευστού.

Στο σημείο B η κλίνη είναι στην αραιότερη δυνατή κατάσταση της χωρίς τα σωματίδια να χάνουν την επαφή τους. Συνήθως η ΔP ελαττώνεται ελαφρά μετά το σημείο B (τμήμα BC της καμπύλης στο σχ. 22-1α). Στο σημείο C τα σωματίδια κινούνται εντονότερα περιδινούμενα εδώ και εκεί έχοντας χάσει τη

μόνιμη επαφή μεταξύ τους. Το σημείο αυτό θεωρείται και το σημείο έναρξης της ρευστοποίησης της κλίνης η δε φαινόμενη ταχύτητα που αντιστοιχεί σ' αυτό ονομάζεται κρίσιμη ταχύτητα ρευστοποίησης u_{cr} η τιμή της οποίας δίνεται με συνδυασμό των σχέσεων (22-1) και (22-2) για $k_c = 5$. Για σφαιρικά σωματίδια $S_m = 6/d\rho_s$ και $\varepsilon_{cr} = 0,4$ οπότε από την σχέση (22-4) και για τιμές του κριτηρίου $Re < 20$ ($Re = \rho u_{cr} d / \eta$) προκύπτει

$$u_{cr} = 5,93 \cdot 10^{-4} \frac{d^2 (\rho_s - \rho_f) g}{\eta} \quad (22-4)$$

όπου: d - η διάμετρος των σωματιδίων.

Εως ότου η φαινόμενη ταχύτητα του ρευστού φθάσει στην κρίσιμη τιμή το πορώδες, και φυσικά το πάχος της κλίνης, παραμένουν σταθερά εφ' όσον η κλίση παραμένει στατική (καμπύλη OA, σχ. 22-1α). Στην μεταβατική περιοχή (καμπύλη AC, σχ. 22-1α) η κλίση διογκούται ελαφρώς το δε ελάχιστο πορώδες όπου αρχίζει η ρευστοποίηση (σημείο C, σχ. 22-1α) δίνεται για περιοχή μεγέθους σωματιδίων 50 με 500 μm από τη σχέση:

$$\varepsilon_{cr} = 1 - 0,356 (\log d - 1) \quad (22-5)$$

Η συμπεριφορά της ρευστοποιημένης κλίνης εξαρτάται από το μέγεθος των σωματιδίων αυτής. Σε συνθήκες καλής ρευστοποίησης, όταν το ρευστό είναι αέριο, ένα μέρος αυτού κινείται μεταξύ των απομακρυσμένων σωματιδίων ενώ ένα άλλο μέρος κινείται υπό μορφή "φυσαλίδων" γύρω από τις οποίες τα σωματίδια μετατοπίζονται πλευρικά. Οι "φυσαλίδες" όταν φθάσουν στην επιφάνεια θραύονται εκτοξεύοντας σωματίδια τα οποία επιστρέφουν στην κλίση. Όταν το ύψος της κλίνης είναι αρκετά μεγάλο οι "φυσαλίδες" αρχίζουν να συνενώνονται μεταξύ τους αυξάνοντας το μέγεθός τους, ο δε ρυθμός αύξησης αυτών εξαρτάται από το μέγεθος αυτών και την πυκνότητα. Μεγάλο μέγεθος και μεγάλη πυκνότητα σωματιδίων συνεπάγεται μεγάλη ταχύτητα αύξησης του μεγέθους των "φυσαλίδων". Εάν μάλιστα η κλίση έχει μικρή διατομή τότε μια "φυσαλίδα" μπορεί κατά την αύξησή της να καταλάβει όλη τη διατομή της κλίνης και να διαχωρίσει τα σωματίδια σε στρώσεις.

Η πτώση της πίεσης, κατά την αρχή της ρευστοποίησης της κλίνης, θα ασκεί μια δύναμη σ' αυτή η οποία είναι ίση με το βάρος των σωματιδίων μείον την άνωση αυτών:

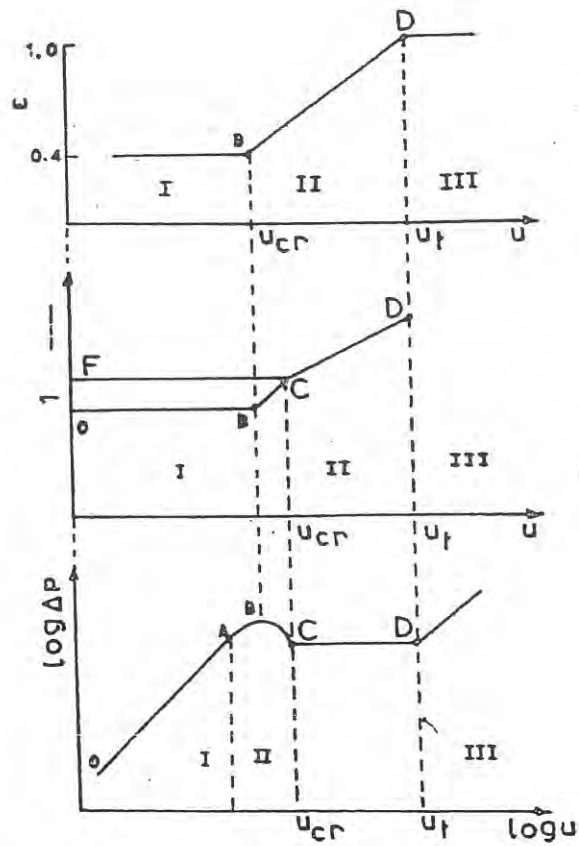
$$\Delta P_f \cdot S = \rho_s g (1 - \epsilon_{cr}) h_{min} S - \rho_f g (1 - \epsilon_{cr}) h_{min} S \quad (22-6)$$

ή

$$\Delta P_f = g h_{min} (1 - \epsilon_{cr}) (\rho_s - \rho_f) \quad (22-7)$$

όπου: S - η εγκάρσια διατομή και ρ_f - η πυκνότητα του ρευστού. Η σχέση (22-7) ισχύει ικανοποιητικά για όλη την περιοχή ρευστοποίησης όπως και η σχέση (22-3) και μπορεί να τροποποιηθεί στην μορφή:

$$\frac{\Delta P}{h(1 - \epsilon_{cr})} = g (\rho_s - \rho_f) = \text{σταθερό} \quad (22-8)$$



Σχήμα 22-1. Η μεταβολή της πτώσης της πίεσης ($\log \Delta P$) του ύψους (l) και του πορώδους (ϵ), κλίσης σωματιδίων συναρτήσει της ταχύτητας του ρευστού ($\log u$).

Όσο αυξάνει το πάχος της κλίνης (καμπύλη CD, σχ. 22-1β) τόσο αυξάνει και το πορώδες (καμπύλη BD, σχ. 22-1γ) και το γινόμενο $h(1-\varepsilon)$ μπορεί να θεωρηθεί σταθερό άρα και η ΔP η οποία κατά την διάρκεια της ρευστοποίησης παραμένει γενικά σταθερή.

Εάν η ταχύτητα του ρευστού αυξηθεί έως την τιμή της ταχύτητας κατακαθίσεως των σωματιδίων τότε τα σωματίδια παρασύρονται μαζί με το ρευστό, αυτή δε ονομάζεται **ταχύτητα παράσυρσης**:

$$u_t = \sqrt{\frac{2 V_o (\rho_s - \rho_f) g}{C_D A \rho_f}} \quad (22-9)$$

όπου: V_o - όγκος ενός σωματιδίου, $V_o = \pi d^3/6$, A - η επιφάνεια προβολής αυτών κατά τη ροή του ρευστού $A = \pi d^2/4$, C_D - ο συντελεστής οπισθελκούσης ο οποίος εξαρτάται από την τιμή του Re ,

$$Re = \rho_f u d / \eta \quad (22-10)$$

Για $Re < 0,2$ η ροή του ρευστού είναι στρωτή και ισχύει:

$$C_D = 24 / Re = \frac{24 \eta}{\rho_f u d} \quad (22-11)$$

και η σχέση (22-9) γράφεται:

$$u_t = (\rho_s - \rho_f) d^2 g / 18 \eta \quad (22-12)$$

Για την τυρβώδη περιοχή ροής $500 < Re < 200.000$ η τιμή του C_D είναι ανεξάρτητη του αριθμού Re και ίση με $C_D = 0,44$ ενώ για $Re > 200.000$, $C_D = 0,20$. Για την ενδιάμεση περιοχή τιμών Re προτάθηκαν διάφορες εξισώσεις.

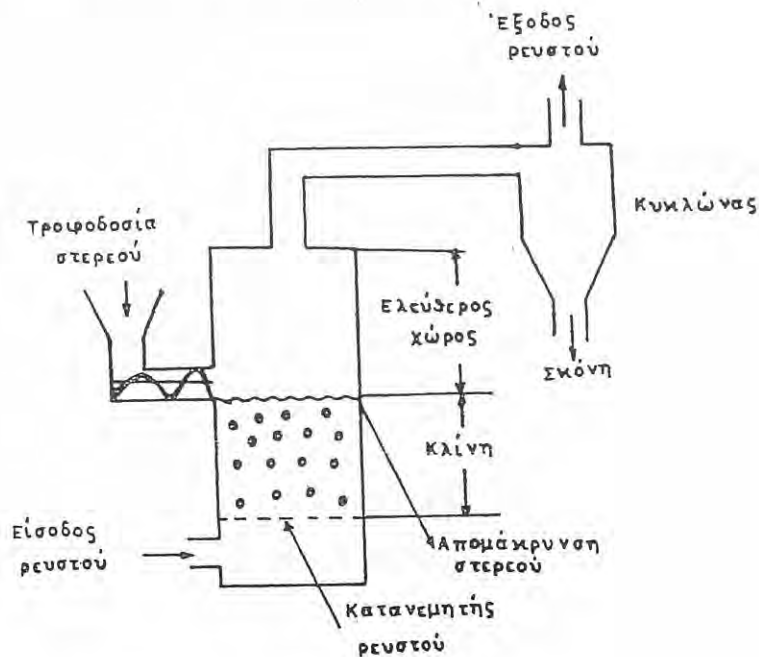
Στο σημείο της παράσυρσης των σωματιδίων το πορώδες προσεγγίζει τη μονάδα ($\varepsilon=1$). Η μέγιστη ένταση ανάμιξης των σωματιδίων της κλίνης αντιστοιχεί στην τιμή του λόγου $u_t / u_{cr} = 2$. Πέραν της τιμής αυτής παρατηρείται ο σχηματισμός μεγάλων φυσαλίδων. Λόγω της έντονης ανάμιξης που συμβαίνει κατά τη ρευστοποίηση υπάρχει μια ομοιόμορφη κατανομή σε όλο το ύψος και το πλάτος της κλίνης τόσο των θερμοκρασιών αυτής όσο και του ρυθμού φυσικών ή χημικών μετατροπών που θα συμβαίνουν σ' αυτήν.

Μειονεκτήματα των ρευστοποιημένων κλινών αποτελεί η απόξεση και η θραύση των σωματιδίων κατά τη διάρκεια της λειτουργίας της.

Συσκευές ρευστοποιημένων κλινών χρησιμοποιούνται σ' ένα ευρύ φάσμα των βιομηχανικών διαδικασιών όπως καταλυτικούς και μη καταλυτικούς ομογενείς και ετερογενείς χημικούς αντιδραστήρες, μεταφορά θερμότητας, ξήρανση, ανάμιξη στερεών και αερίων, απομάκρυνση λεπτών από στερεά σωματίδια, φιλτράρισμα αιωρούμενων σωματιδίων από αέρια, ελάττωση ή αύξηση μεγέθους σωματιδίων, απορρόφηση ή εκρόφηση και επικάλυψη σωματιδίων.

Τεχνικά χαρακτηριστικά συσκευών ρευστοποιημένης κλίνης

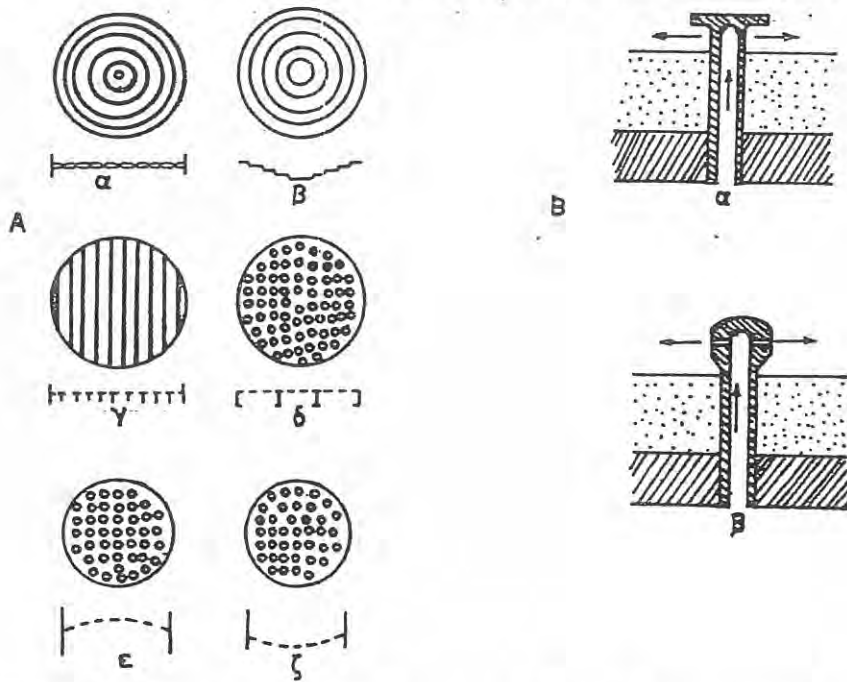
Τα κυριότερα μέρη ενός συστήματος ρευστοποιημένης κλίνης συνεχούς λειτουργίας (σχ. 22-2) είναι το δοχείο το οποίο περιέχει την κλίνη των σωματιδίων τοποθετημένη πάνω σε ένα κατανεμητή ρευστού, το σύστημα τροφοδοσίας της κλίνης σε στερεά σωματίδια, το σύστημα απομάκρυνσης των στερεών σωματιδίων, το σύστημα τροφοδοσίας του ρευστού και ο διαχωρισμός σκόνης για τον καθαρισμό του εξερχόμενου ρευστού.



Σχήμα 22-2. Συσκευή ρευστοποιημένης κλίνης.

Τα σωματίδια που μπορούν να ρευστοποιηθούν μπορεί να κυμαίνονται από μέγεθος 1μm έως 6cm η καλύτερη όμως περιοχή μεγέθους σωματιδίων είναι 50-100μm. Τα μεγάλα σωματίδια είναι ασταθή λόγω σχηματισμού μεγάλων φυσαλίδων. Τα μικρά σωματίδια συχνά, έστω και αν ακόμη είναι ξηρά, σχηματίζουν συσσωματώματα, ή σχισμές, ή κρατήρες στην κλίνη. Η προσθήκη λεπτών σωματιδίων σε κλίνη χοντρών ή και αντίστροφα δίνει καλύτερα αποτελέσματα ρευστοαιώρησης.

Η ροή του ρευστού μετράται με την ταχύτητα αυτού στον κενό αντιδραστήρα και κυμαίνεται μεταξύ 0,15-3m/sec. Για την ομοιόμορφη ροή του ρευστού στην κλίνη χρησιμοποιούνται κατανεμητές οι οποίοι ταυτοχρόνως δεν επιτρέπουν την διέλευση των σωματιδίων απ' αυτά. Αυτοί προκαλούν μια επιπρόσθετη πτώση

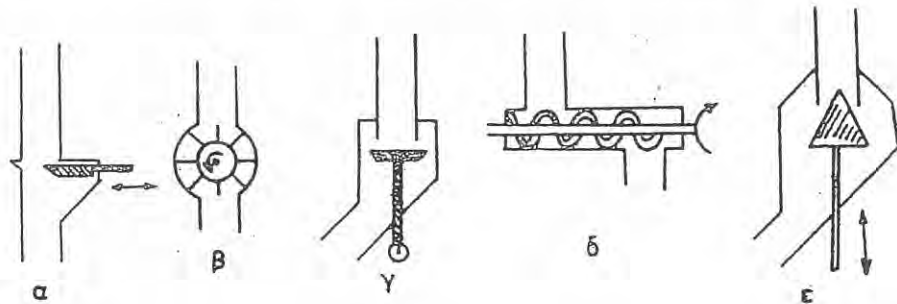


Σχήμα 22-3(A). Διάφορα είδη κατανεμητών αερίου α-ομόκεντρων δακτυλίων στο ίδιο επίπεδο, β- ομόκεντροι δακτύλιοι σε σχήμα κώνου, γ- εσχάρας με βέργες T τύπου, δ- επίπεδη διάτρητο φύλλο μετάλλου, ε- κυρτό προς τα επάνω διάτρητο φύλλο μετάλλου και ζ- κυρτό προς τα κάτω διάτρητο φύλλο μετάλλου. Σχήμα 22-3(β). Ακροφύσια αερίου κατασκευασμένα να αποτρέπουν την αντιρροή των στερεών σωματιδίων.

πίεσης η οποία δεν θα πρέπει να ξεπερνά τα 2 PSI. (περίπου 0,14atm). Στο σχ. 22-3Α φαίνονται μερικά είδη, κατανεμητών ρευστού σε προβολή και σε τομή.

Στο σχ. 22-3β φαίνονται ορισμένοι τύποι ακροφυσίων εισόδου αερίου που δεν επιτρέπουν τη διόδο των στερεών. Οι καλύτεροι κατανεμητές αερίων είναι οι πορώδεις μεμβράνες.

Η τροφοδοσία των στερεών σε μια συσκευή ρευστοποιημένης κλίνης συνεχούς λειτουργίας, και ιδιαίτερα σε καταλυτικές κλίμες όπου απαιτείται μικρός ρυθμός τροφοδοσίας, είναι σημαντική. Όταν το στερεό είναι και αντιδρόν, π.χ. κατά την φρύξη πυριτών, η τροφοδοσία πρέπει να παραμένει σταθερή έτσι ώστε να υπάρχουν σταθερές συνθήκες λειτουργίας στην συσκευή. Όταν το στερεό προέρχεται από διεργασίες διαχωρισμού και τροφοδοτείται στην κλίμη σε μορφή πολτού καλό είναι να αναμιγνύεται προηγουμένα με ξηρό για να μην συσσωματώνεται. Στο σχ. 22-4 φαίνονται ορισμένοι τύποι βαλβίδων που χρησιμοποιούνται σαν τροφοδότες στερεών που επιτρέπουν τη ρύθμιση του ρυθμού τροφοδοσίας και δεν επιτρέπουν τη διόδο του ρευστού.



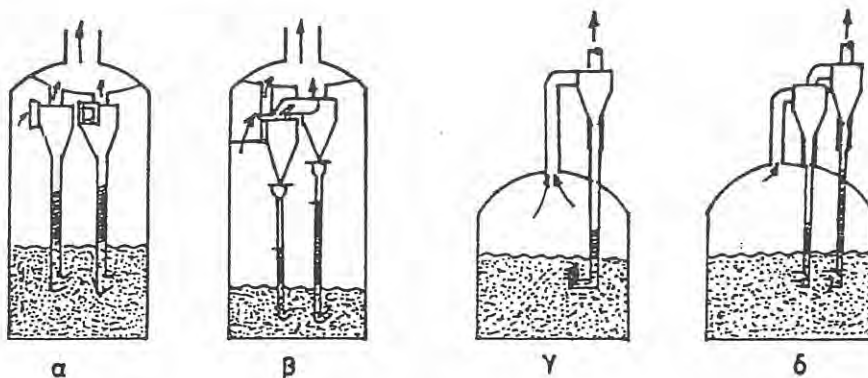
Σχήμα 22-4. Διάφορα είδη βαλβίδων τροφοδοσίας: α- βαλβίδα σύρτη, β- αστεροειδής βαλβίδα, γ- περιστρεφόμενος δίσκος τροφοδότης, δ- σπειροειδής τροφοδότης και ε- κωνική βαλβίδα.

Πάνω από την κλίμη των σωματιδίων θα πρέπει να υπάρχει ένας κενός χώρος στον οποίο θα εκτονώνονται οι φυσαλίδες και τα σωματίδια θα χάνουν την κινητική τους ενέργεια με αποτέλεσμα να επιστρέφουν στην κλίμη. Ορισμένα λεπτά σωματίδια θα παρασύρονται από το ρευστό. Αυτά θα πρέπει να συλλέγονται είτε για να καθαρισθεί το ρευστό είτε για να ανακυκλωθούν. Ο διαχωρισμός και η συλλογή γίνεται συνήθως με κυκλώνες.

Στην περίπτωση που απαιτείται ανακύκλωση αυτοί μπορεί να βρίσκονται είτε εντός του δοχείου. Ή εκτός αυτού με το κάτω μέρος του κυκλώνα να επικοινωνεί μέσω σωλήνα με την κλίνη. Εάν απαιτείται μεγάλη απόδοση στην ανάκτηση αυτή μπορεί να γίνει σε περισσότερα του ενός σταδίου ενώ σε ειδικές περιπτώσεις μπορεί να χρησιμοποιηθούν φίλτρα. Επίσης θα πρέπει η έξοδος του σωλήνα, ο οποίος ανακυκλώνει τα στερεά από τους κυκλώνες, να μην έρχεται απ' ευθείας σε επαφή με τη διεύθυνση της ροής του ρευστού ώστε να αποφεύγεται η είσοδος των φυσαλίδων. Στο σχ. 22-5 φαίνονται διατάξεις κυκλώνων σε συσκευές ρευστοποιημένης κλίνης εσωτερικές και εξωτερικές ενός και δύο σταδίων με ανακύκλωση. Επίσης φαίνονται διάφοροι τρόποι αποφυγής της εισόδου φυσαλίδων στους κυκλώνες.

Η μέτρηση της θερμοκρασίας στις ρευστοποιημένες κλίνες γίνεται με θερμοζεύγη. Η μέτρηση των πιέσεων γίνεται σε διάφορα σημεία της κλίνης και στο υπερκείμενο χώρο συνήθως με διαφορικά μανόμετρα σε σχέση με την πίεση εισόδου του ρευστού.

Η πρώτη εμπορική ρευστοποιημένη κλίνη λειτούργησε το 1947 στο Ontario των ΗΠΑ για φρύξη ορυκτών.

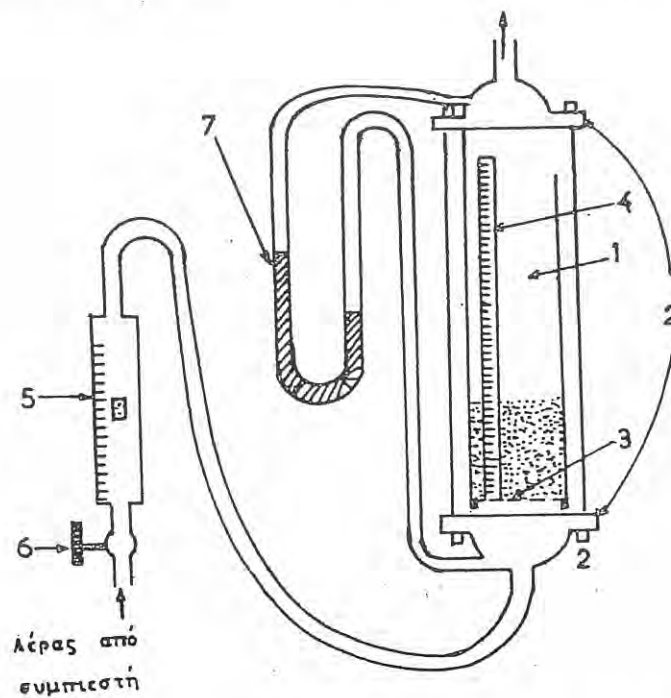


Σχήμα 22-5. Διατάξεις κυκλώνων για την ανάκτηση των στερεών από τα αέρια εξόδου των συσκευών ρευστοποιημένης κλίνης: α- εσωτερικοί ενός σταδίου, β- εσωτερικοί δύο σταδίων, γ- εξωτερικός ενός σταδίου με ανακύκλωση και δ- εξωτερικοί δύο σταδίων με ανακύκλωση.

2. Πειραματικό Μέρος

Περιγραφή της συσκευής

Η εργαστηριακή συσκευή μελέτης της ρευστοποίησης ενός υλικού φαίνεται στο σχ. 22-6. Αυτή αποτελείται από γάλινο κυλινδρικό σωλήνα (1) τοποθετημένο σε ειδικό μεταλλικό πλαίσιο (2). Η επαφή μετάλλου-γάλιου γίνεται μέσω ελαστικών δακτυλίων ενώ στο κάτω μέρος υπάρχει μεταλλικό πλέγμα (3) για την συγκράτηση των στερεών σωματιδίων και την ομοιόμορφη κατανομή του ρευστού. Στην επιφάνεια του γάλινου σωλήνα υπάρχει βαθμολογημένη κλίμακα (4) για τη μέτρηση του ύψους της κλίνης. Στο κάτω μέρος του πλαισίου διοχετεύεται αέρας με τη βοήθεια αεροσυμπιεστή η παροχή του οποίου ρυθμίζεται με το ροόμετρο (5) και τη βαλβίδα (6). Δύο σωληνάκια υπάρχουν στο άνω και κάτω μέρος του πλαισίου όπου συνδέεται ωσειδές διαφορικό μανόμετρο υγρού (7) για τη μέτρηση της πτώσης πίεσης στην είσοδο και έξοδο του ρευστού από το δοχείο.



Σχήμα 22-6. Εργαστηριακή συσκευή ρευστοποιημένης κλίνης.

Διεξαγωγή του πειράματος

Το προς μελέτη στερεό χωρίζεται σε κλάσματα τα οποία έχουν διαφορετική διάμετρο κόκκων με τη βοήθεια αναλυτικών κοσκίνων. Ζυγίζεται μια ποσότητα ενός κλάσματος απ' αυτά έτσι ώστε το ύψος της κλίνης να μην υπερβαίνει το 1/3 του ύψους του σωλήνα. Σημειώνεται το αρχικό ύψος της κλίνης (h_0). Με την βαλβίδα (6) και το ροόμετρο (5) ρυθμίζεται μια μικρή παροχή αέρα και σημειώνεται στον πίνακα I μαζί με τις ενδείξεις του διαφορικού μανόμετρου (7)

Πίνακας I. Πειραματικές μετρήσεις ρευστοποιημένης κλίνης.

Στερεό δείγμα: $\rho_s = \dots\dots\dots$ kg/m³

Διάμετρος σωματιδίων: $d_1 = \dots\dots\dots$ m, $d_2 = \dots\dots\dots$ m

Μέση διάμετρος: $d = \frac{d_1+d_2}{2} = \dots\dots\dots$ m

Βάρος στερεών : kg

Ρευστό : ρ $\mu_f = \dots\dots\dots$ kg/m³

Διάμετρος κλίνης: $D = \dots\dots\dots$ m $S = \pi D^2 / 4 = \dots\dots\dots$ m²

α/α	Q m ³ /S	ΔP mmH ₂ O	l m	u m/S	logu	ϵ_{rel}	ΔP Pa	log ΔP
1								
2								
3								
4								
5								
6								

Πίνακας II. Συγκριτικά στοιχεία

α/α	d (m)	u_{cr} (m/s)		ΔP_f (Pa)	
		Πειραματική	Θεωρητική	Πειραματική	Θεωρητική
1					
2					
3					
4					

και του ύψους της κλίνης (4). Αυξάνεται σταδιακά η παροχή του αέρα η οποία και σημειώνονται εκ νέου οι ενδείξεις των οργάνων. Οι μετρήσεις πρέπει να ληφθούν σε τρόπο ώστε να εξασφαλίζουν ικανοποιητικό αριθμό σημείων πριν την ρευστοποίηση, μεταξύ ρευστοποίησης και "βρασμού" της κλίνης (εμφάνιση μεγάλων φυσαλίδων) και μετά το "βρασμό".

Υπολογίζεται η ταχύτητα του αέρα στον κενό σωλήνα από τη σχέση:

$$u = \frac{Q}{S} \quad (22-13)$$

και το σχετικό πορώδες ϵ_{rel} από τη σχέση:

$$\epsilon_{rel} = \frac{V_{κλίνης} - V_{αρχ.κλίνης}}{V_{κλίνης}} = \frac{Sh - Sh_0}{Sl} = \frac{h - h_0}{h} \quad (22-14)$$

για κάθε μέτρηση και συμπληρώνονται οι αντίστοιχες στήλες στον πίνακα I. Μετατρέπονται οι ενδείξεις του διαφορικού μανομέτρου σε Pa και συμπληρώνονται αυτές καθώς και οι λογάριθμοί τους στον ίδιο πίνακα.

Κατασκευάζονται τα διαγράμματα $\log \Delta P = f(\log u)$, $h = f(\log u)$ και $\epsilon_{rel} = f(\log u)$ και υπολογίζεται γραφικά η κρίσιμη ταχύτητα ρευστοποίησης (u_{cr}).

Από τη σχέση (22-4) υπολογίζεται η θεωρητική κρίσιμη ταχύτητα ($u_{cr\text{θεωρ}}$) και συγκρίνεται με την πειραματική χρησιμοποιώντας σαν διάμετρο κόκκων την μέση τιμή. Από τις σχέσεις (22-5) και (22-7) υπολογίζεται θεωρητική ΔP στην αρχή της ρευστοποίησης και συγκρίνεται με την πειραματική.

Επαναλαμβάνονται τα πειράματα με διαφορετικές διαμέτρους κόκκων κατασκευάζοντας τους αντίστοιχους πίνακες και τα αντίστοιχα διαγράμματα. Τέλος κατασκευάζεται το διάγραμμα $u_{cr} = f(d)$, δηλαδή της εξάρτησης της κρίσιμης ταχύτητας ρευστοποίησης από τη διάμετρο των σωματιδίων.

Βιβλιογραφία

1. Α.Θ. Σδούκος, "Φυσικές Διεργασίες της Χημικής Τεχνολογίας, Τόμος I-Μηχανική Ρευστών και Τεχνική Σωματιδίων", Ιωάννινα 1981.
2. W.L. McCabe, J.C. Smith, "Βασικές Φυσικές Διεργασίες Χημικής Μηχανικής", 2^η έκδοση, Ελληνική Μετάφραση υπό Τεχνικού Επιμελητηρίου της Ελλάδας, Αθήνα 1971.
3. R.H. Perry, C.H. Chilton, "Chemical Engineers' Hand book", 5th Edition, Mc Graw-Hill Book Company, 1973.

Άσκηση 23: ΠΕΡΙΣΤΡΟΦΙΚΟΣ ΞΗΡΑΝΤΗΡΑΣ

Σκοπός

Σκοπός της άσκησης είναι:

1. Η εξοικείωση με τους ξηραντήρες που χρησιμοποιούνται στη βιομηχανία.
2. Η ξήρανση υγρής άμμου, σε διάφορες συνθήκες θερμοκρασίας και ταχύτητας αέρα εισόδου καθώς και ο υπολογισμός των σημαντικών παραμέτρων λειτουργίας του ξηραντήρα.
3. Η απεικόνιση της όλης διεργασίας στον ψυχομετρικό χάρτη αέρα.

1. Θεωρητικό Μέρος

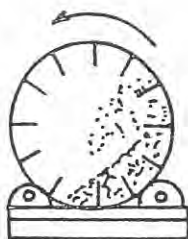
Οι περιστροφικοί ξηραντήρες συνεχούς λειτουργίας αποτελούνται από περιστρεφόμενο οριζόντιο ή ελαφρά κεκλιμένο κυλινδρικό κέλυφος. Το υγρό υλικό τροφοδοτείται από το ένα άκρο του κυλίνδρου και απομακρύνεται από το άλλο. Όταν το κέλυφος περιστρέφεται, εσωτερικά πτερύγια ανυψώνουν το υλικό και το κατακλινίζουν στο εσωτερικό του κελύφους (σχήμα 23-1).

Στα περιστροφικά ξηραντήρια η θέρμανση μπορεί να γίνει με δύο τρόπους:

- α. Άμεσα, οπότε το υλικό έρχεται σε επαφή με ρεύμα θερμού αέρα.

β. Εμμεσα, οπότε θερμά αέρια διέρχονται από εξωτερικό μανδύα του κελύφους, ή ατμός συμπυκνώνεται μέσα σε σειρά επιμήκων σωλήνων που βρίσκονται στην εσωτερική επιφάνεια του κελύφους.

Οι ξηραντήρες αμέσου θερμάνσεως χρησιμοποιούνται για ανθεκτικά στην οξείδωση προϊόντα ενώ οι ξηραντήρες εμμέσου θερμάνσεως για ευαίσθητα προϊόντα.



Σχήμα 23-1: Περιστροφικός ξηραντήρας

Ο αέρας κινείται στον ξηραντήρα με τη βοήθεια φυσητήρα. Ο φυσητήρας μπορεί να διοχετεύει τον αέρα στο κέλυφος, έτσι ώστε το σύστημα να είναι υπό θετική πίεση, ή να αναρροφά αέρα, έτσι ώστε το σύστημα είναι υπό ελαφρό κενό. Το δεύτερο επιδιώκεται σε υλικά που δημιουργούν σκόνη.

Η διεύθυνση των ροών υλικού-αέρα μπορεί να γίνει με ομορροή ή αντιρροή.

Η ταχύτητα της μάζας του αέρα στο εσωτερικό του κελύφους εξαρτάται από την δημιουργία σκόνης του ξηραινόμενου υλικού και κυμαίνεται από 2.000 kg/m².h για λεπτόκκοκα έως 25.000 kg/m².h για αδρομερή σωματίδια.

Η εσωτερική διάμετρος των ξηραντήρων ποικίλει από 0,3 έως 3 m. Οι περιστροφικοί ξηραντήρες συνεχούς λειτουργίας παρουσιάζουν ενδιαφέρον λόγω του χαμηλού κόστους και της μεγάλης θερμικής απόδοσης.

Η θεωρία της διεργασίας της ξήρανσης καθώς και στοιχεία της θεωρίας των μιγμάτων υδρατμών/αέρα, απαραίτητα για την κατανόηση της διεργασίας, δίνονται αναλυτικά στα κεφάλαια 8 και 9 της παραπομπής 1.

2. Πειραματικό Μέρος

Περιγραφή της συσκευής

Η συσκευή είναι ένας τυπικός περιστροφικός ξηραντήρας συνεχούς λειτουργίας αμέσου θερμάνσεως που λειτουργεί με ομορροή (σχήμα 23-2). Ο ξηραντήρας αποτελείται από τα εξής μέρη:

α. Φυσητήρα (1), στον οποίο προσαρμόζεται μετρητής ταχύτητας αέρα (23-2) και διάτρητες πλάκες (διαφράγματα) για τη ρύθμιση της ταχύτητας του αέρα (3).

β. Σύστημα θερμάνσεως του αέρα (4). Η θέρμανση γίνεται με ηλεκτρική αντίσταση (5).

γ. Σύστημα τροφοδοσίας του υλικού (6).

δ. Περιστρεφόμενο κέλυφος (7). Το κέλυφος φέρει εσωτερικά πτερύγια ανυψώσεως του υλικού (20) και είναι μονωμένο (21). Το μεν ξηραίνόμενο υλικό συλλέγεται μετά το κέλυφος σε δοχείο (8), τα δε αέρα καταλήγουν σε κυκλώνα (9) στον οποίο διαχωρίζεται η τυχόν παρασυρθείσα σκόνη και συλλέγεται στο δοχείο (10).

ε. Τον πίνακα ελέγχου (11) που φέρει τον γενικό διακόπτη (12), τον διακόπτη θερμάνσεως (13) και τον ρυθμιστή θερμοκρασίας των εισερχομένων αερίων (14) με το θερμοζεύγος (18), τον διακόπτη του φυσητήρα (15), τον ρυθμιστή κινήσεως του κελύφους (16) και τον ρυθμιστή τροφοδοσίας (17). Επίσης υπάρχει πυρόμετρο που μετρά τη θερμοκρασία των αερίων στην έξοδο του κελύφους με το θερμοζεύγος (19).

Διεξαγωγή του πειράματος

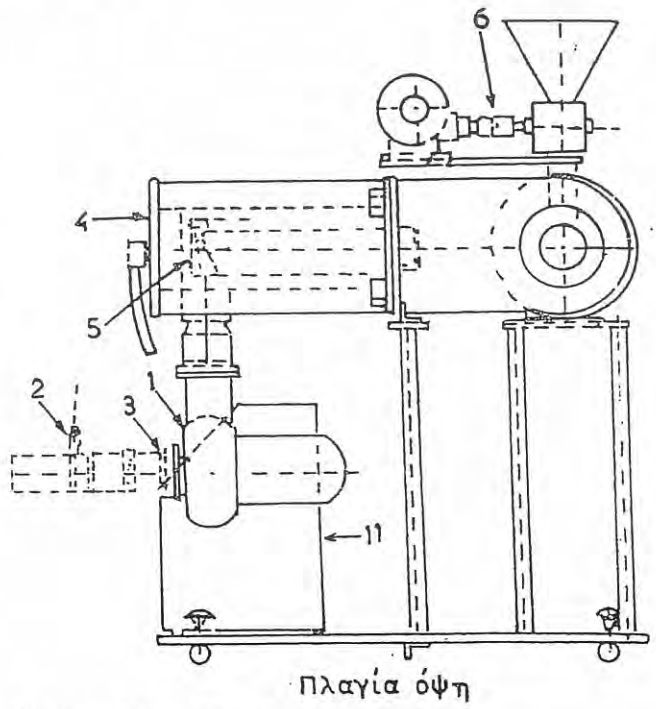
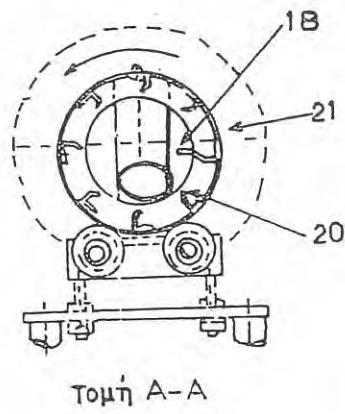
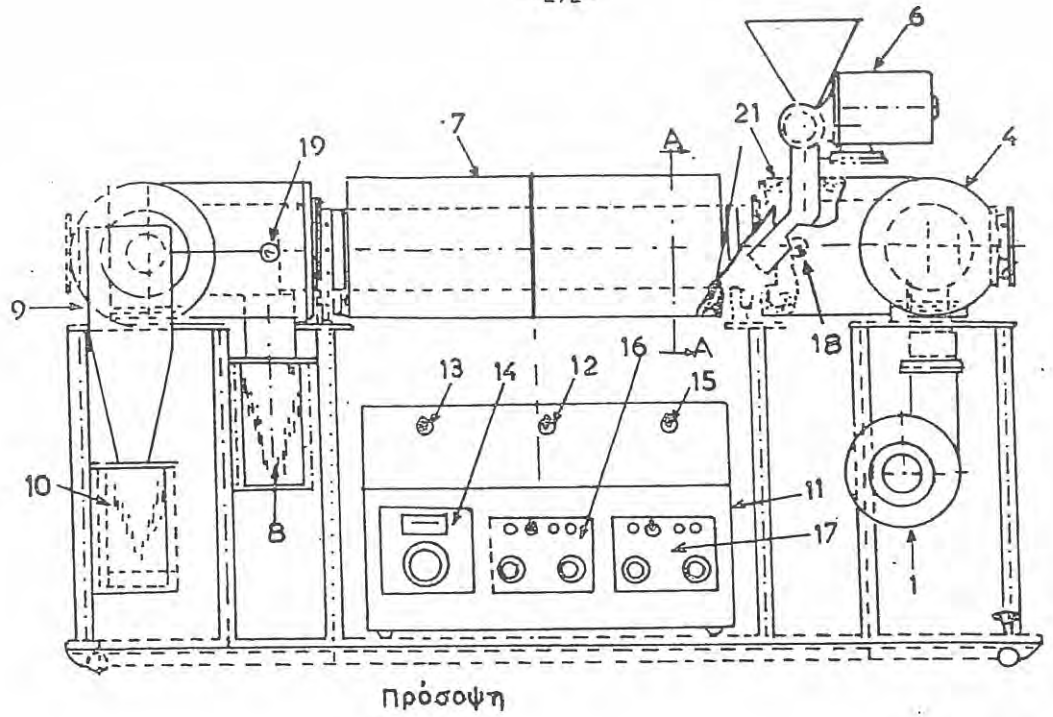
1. Τοποθετείται το κατάλληλο διάφραγμα, για την επιθυμητή παροχή του αέρα και μετρείται αυτή με τον μετρητή ταχύτητας του αέρα, αφού τεθεί σε λειτουργία ο φυσητήρας (διακόπτης (15) σχήμα 23-2).

2. Μετρείται με το ψυχρόμετρο και την βοήθεια του ψυχομετρικού χάρτη (σχήμα 23-3) η υγρασία του αέρα τροφοδοσίας, στην έξοδο του κυκλώνα.

3. Ρυθμίζεται η επιθυμητή θερμοκρασία του αέρα εισόδου στο κέλυφος (ρυθμιστής (14) σχήμα 23-2) και τίθεται σε λειτουργία ο διακόπτης θέρμανσης (13).

4. Τίθεται σε κίνηση το κέλυφος και ρυθμίζεται η επιθυμητή φορά κινήσεως και η ταχύτητα περιστροφής του (ρυθμιστής (16) σχήμα 23-2).

5. Αφήνεται η συσκευή να λειτουργήσει τουλάχιστον 15' για να σταθεροποιηθεί η θερμοκρασία.



Σχήμα 23-2: Περιστροφικός ξηραντήρας συνεχούς λειτουργίας.

6. Μετρείται με το ψυχρόμετρο και τον ψυχομετρικό χάρτη η υγρασία του θερμού αέρα τροφοδοσίας στην έξοδο του κυκλώνα.
7. Τροφοδοτείται η συσκευή με το προς ξήρανση υλικό (γνωστής υγρασίας).
8. Κατά το μέσον περίπου τροφοδοσίας μετρείται η υγρασία του αέρα εξόδου από το κέλυφος.
9. Μετά το τέλος της διεργασίας ζυγίζεται ποσότητα ξηραμένου υλικού και βρίσκεται η υγρασία του, με πλήρη ξήρανση του σε ξηραντήριο.

Επεξεργασία των αποτελεσμάτων

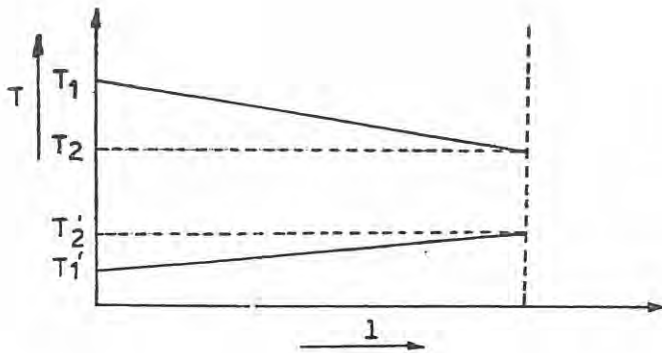
- α) Καταγράφονται τα πειραματικά αποτελέσματα όπως στον πίνακα I.
- β) Υπολογίζεται η κατανάλωση ξηρού αέρα G από τη σχέση:

$$G = \frac{G'}{1+H_0} \quad (\text{kgf ξηρού αέρα/ sec})$$

όπου: G' - η παροχή του αέρα (kgf/sec) που δίδεται από την σχέση:

$$G' = u \frac{\pi d^2}{4} \rho$$

- όπου: u- η ταχύτητα του αέρα στην είσοδο του φυσητήρα (m/sec),
d- η διάμετρος του σωλήνα στην είσοδο του φυσητήρα (m),
ρ- η πυκνότητα του αέρα (kg/m³) στην θερμοκρασία T₀.



Σχήμα 23-3: Διάγραμμα υγρασίας-θερμοκρασίας για το σύστημα υδρατμών/αέρα στην ατμοσφαιρική πίεση.

καθώς και η ειδική κατανάλωση θερμότητας

$$q = \frac{Q}{W} \quad (\text{kJ/kg}_{\text{H}_2\text{O}})$$

ε) Υπολογίζεται η θερμική απόδοση E του ξηραντήρα:

$$E = \frac{\Delta H_{lg}}{q}$$

όπου: ΔH_{lg} - η λανθάνουσα θερμότητα εξάτμισης του H_2O στη θερμοκρασία T_{2m} , ($\text{kJ/kg}_{\text{H}_2\text{O}}$)

ζ) Ευρίσκεται ο αριθμός μονάδων μεταφοράς, NTU (Number of Transfer Units) και το μήκος αντών, LTU (Length of Transfer Units), από τις σχέσεις:

$$\text{NTU} = \frac{T_1 - T_2}{\Delta T_{\ln}}$$

όπου:

$$\Delta T_{\ln} = \frac{(T_1 - T_1') - (T_2 - T_2')}{2.303 \log \frac{(T_1 - T_1')}{(T_2 - T_2')}}}$$

και

$$\text{LTU} = \frac{1}{\text{NTU}} \quad (\text{m})$$

όπου: l - το μήκος του ξηραντήρα, (m)

η) Υπολογίζεται ο ογκομετρικός συντελεστής μεταφοράς θερμότητας, V_a :

$$V_a = \frac{GC_s}{\text{LTU}} \quad (\text{kW/m}^2\text{K})$$

όπου: C_s : η μέση υγρή θερμότητα του αέρα για τις θερμοκρασίες $T_1 - T_2$, ($\text{kJ/kg}_{\text{ξηρ.αέρα}} \text{ } ^\circ\text{K}$)

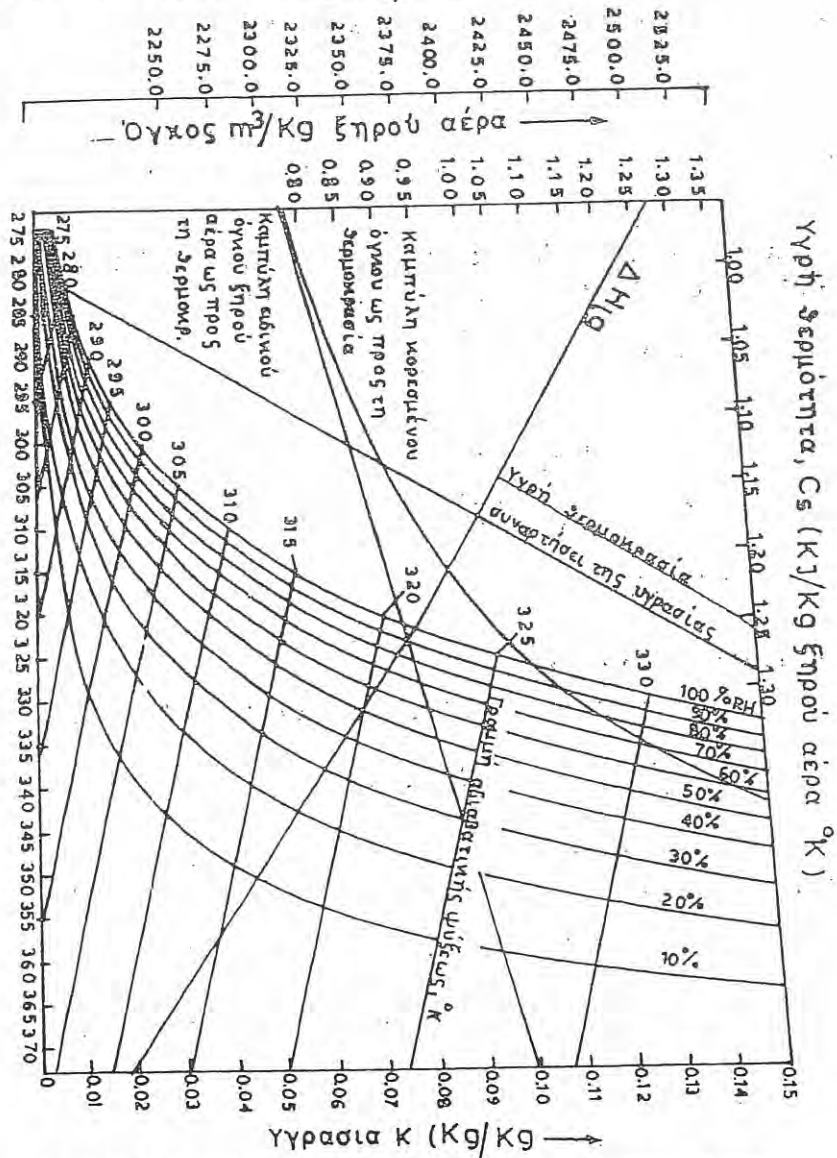
θ) Απεικονίζονται στον ψυχομετρικό χάρτη οι διεργασίες ξήρανσης και ύγρανσης του αέρα στον ξηραντήρα.

ι) Κατασκευάζονται τα διαγράμματα: $T_{(\text{αέρα})} = f(l)$ και $T_{(\text{υλικού})} = f(l)$ όπως στο σχήμα 23-4.

Δεδομένα

Η πυκνότητα του αέρα, ρ (kg/m^3) βρίσκεται με την βοήθεια του επόμενου πίνακα.

Λανθάνουσα θερμότητα εξατμίσεως ανά μονάδα βάρους του νερού ΔH_{lg} (Kj/Kg)



Σχήμα 23-4: Μεταβολή θερμοκρασιών αέρα-υλικού στο κέλυφος.

Πίνακας Ι. Πυκνότητα αέρα (οι τιμές δίνονται σε gr/l).

$\rho_{\text{αέρα}}$	600	610	620	630	640	650	660	670	680	690	700	710	720	730	740	750	760	770	780	790
5	1.0024	1.0191	1.0358	1.0525	1.0692	1.0859	1.1026	1.1193	1.1351	1.1528	1.1695	1.1862	1.2029	1.2196	1.2363	1.2530	1.2697	1.2864	1.3031	1.3198
6	1.0024	1.0154	1.0321	1.0487	1.0654	1.0820	1.0986	1.1153	1.1319	1.1486	1.1652	1.1819	1.1985	1.2152	1.2319	1.2485	1.2651	1.2817	1.2984	1.3150
7	1.0024	1.0118	1.0254	1.0420	1.0586	1.0751	1.0917	1.1083	1.1249	1.1415	1.1581	1.1747	1.1913	1.2079	1.2245	1.2411	1.2577	1.2743	1.2909	1.3075
8	1.0024	1.0055	1.0247	1.0412	1.0578	1.0743	1.0908	1.1074	1.1239	1.1404	1.1569	1.1735	1.1900	1.2065	1.2230	1.2395	1.2561	1.2726	1.2891	1.3057
9	1.0024	1.0047	1.0211	1.0376	1.0541	1.0705	1.0870	1.1035	1.1199	1.1364	1.1529	1.1694	1.1858	1.2023	1.2188	1.2352	1.2517	1.2682	1.2847	1.3011
10	1.0024	1.0010	1.0173	1.0338	1.0503	1.0667	1.0831	1.0995	1.1159	1.1323	1.1487	1.1651	1.1816	1.1980	1.2144	1.2308	1.2472	1.2636	1.2800	1.2964
11	1.0024	1.0015	1.0138	1.0302	1.0466	1.0630	1.0793	1.0956	1.1120	1.1283	1.1447	1.1610	1.1774	1.1937	1.2101	1.2264	1.2428	1.2592	1.2755	1.2919
12	1.0024	1.0010	1.0141	1.0272	1.0403	1.0534	1.0665	1.0796	1.0927	1.1058	1.1189	1.1320	1.1451	1.1582	1.1713	1.1844	1.1975	1.2106	1.2237	1.2368
13	1.0024	1.0000	1.0155	1.0310	1.0465	1.0620	1.0775	1.0930	1.1085	1.1240	1.1395	1.1550	1.1705	1.1860	1.2015	1.2170	1.2325	1.2480	1.2635	1.2790
14	1.0024	1.0000	1.0133	1.0266	1.0399	1.0532	1.0665	1.0798	1.0931	1.1064	1.1197	1.1330	1.1463	1.1596	1.1729	1.1862	1.1995	1.2128	1.2261	1.2394
15	1.0024	1.0000	1.0100	1.0200	1.0300	1.0400	1.0500	1.0600	1.0700	1.0800	1.0900	1.1000	1.1100	1.1200	1.1300	1.1400	1.1500	1.1600	1.1700	1.1800
16	1.0024	1.0000	1.0080	1.0160	1.0240	1.0320	1.0400	1.0480	1.0560	1.0640	1.0720	1.0800	1.0880	1.0960	1.1040	1.1120	1.1200	1.1280	1.1360	1.1440
17	1.0024	1.0000	1.0060	1.0120	1.0180	1.0240	1.0300	1.0360	1.0420	1.0480	1.0540	1.0600	1.0660	1.0720	1.0780	1.0840	1.0900	1.0960	1.1020	1.1080
18	1.0024	1.0000	1.0040	1.0080	1.0120	1.0160	1.0200	1.0240	1.0280	1.0320	1.0360	1.0400	1.0440	1.0480	1.0520	1.0560	1.0600	1.0640	1.0680	1.0720
19	1.0024	1.0000	1.0020	1.0040	1.0060	1.0080	1.0100	1.0120	1.0140	1.0160	1.0180	1.0200	1.0220	1.0240	1.0260	1.0280	1.0300	1.0320	1.0340	1.0360
20	1.0024	1.0000	1.0010	1.0020	1.0030	1.0040	1.0050	1.0060	1.0070	1.0080	1.0090	1.0100	1.0110	1.0120	1.0130	1.0140	1.0150	1.0160	1.0170	1.0180
21	1.0024	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
22	1.0024	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
23	1.0024	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
24	1.0024	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
25	1.0024	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
26	1.0024	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
27	1.0024	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
28	1.0024	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
29	1.0024	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
30	1.0024	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
31	1.0024	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
32	1.0024	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
33	1.0024	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
34	1.0024	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
35	1.0024	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000

Δίνονται ακόμη: $C_p(g) = 1.00 \text{ kJ/ kg}^\circ\text{C}$
 $C_p(H_2O) = 1.88 \text{ kJ/ kg}^\circ\text{C}$

$d = 5.4 \text{ cm}$

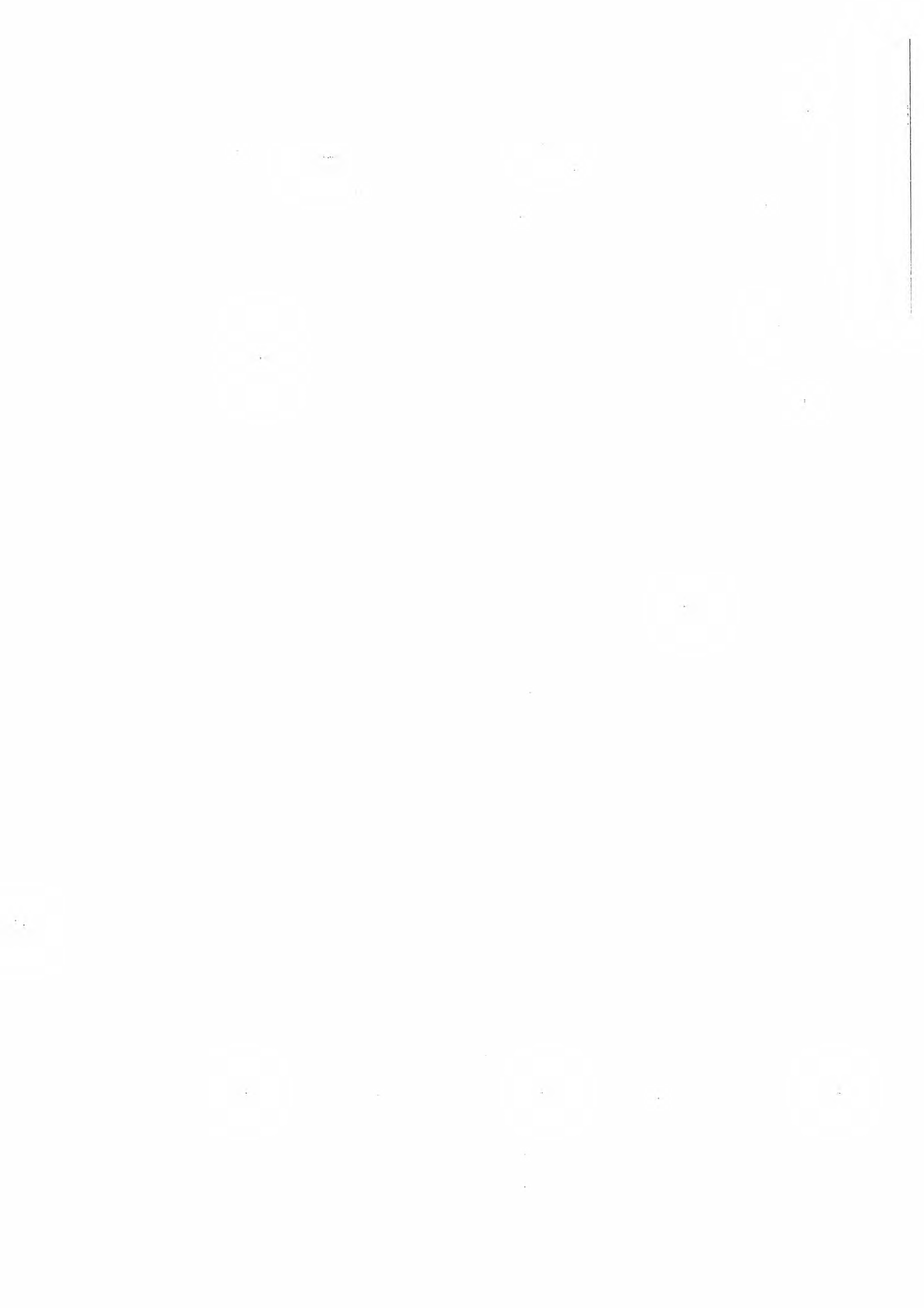
$l = 47 \text{ cm.}$

Απαιτούμενα όργανα και αντιδραστήρια

1. Ποσότητα άμμου
2. Περιστροφικός ξηραντήρας
3. Θερμόμετρα ξηρού-υγρού βολβού
4. Πυριαντήριο
5. Αναλυτικός ζυγός.

Βιβλιογραφία

1. Α.Θ. Σδούκου, "Φυσικές Διεργασίες της Χημικής Τεχνολογίας, Τόμος ΙΙΙ, Μεταφορά Μάζας", 3η Έκδοση, Ιωάννινα 1993, κεφ. 8,9.



Άσκηση 24: ΕΛΑΤΤΩΣΗ ΜΕΓΕΘΟΥΣ ΣΤΕΡΕΩΝ - ΘΡΑΥΣΗ

Σκοπός

Σκοπός της άσκησης αυτής είναι

1. Η εξοικείωση με τις διεργασίες ελάττωσης μεγέθους σωματιδίων.
2. Η μελέτη της θραύσης σε θραυστήρα με σιαγόνες, η εύρεση της κατανάλωσης ενέργειας ανά μονάδα δημιουργούμενης νέας επιφάνειας και των βαθμών απόδοσης της θραύσης και μηχανικής απόδοσης του θραυστήρα.

1. Θεωρητικό Μέρος

Βασικές έννοιες ελάττωσης μεγέθους

Με τον όρο "ελάττωση μεγέθους" εννοούμε τη μετατροπή στερεών υλικών σε μικρότερα τεμάχια με την εφαρμογή εξωτερικής δύναμης.

Η ελάττωση μεγέθους των στερεών έχει μεγάλη σημασία στις διάφορες βιομηχανικές μονάδες. Με τη διεργασία αυτή επιτυγχάνεται αύξηση της ειδικής επιφάνειας του στερεού, δηλαδή αύξηση της διεπιφάνειας στις ετερογενείς αντιδράσεις όπου συμμετέχουν στερεά σώματα, με αποτέλεσμα την αύξηση της ταχύτητας των αντιδράσεων. Επίσης η ελάττωση του μεγέθους των πετρωμάτων οδηγεί σε αποδέσμευση των ορυκτών μεταξύ τους και κατά συνέπεια σε πλέον αποδοτικό εμπλουτισμό τους.

Για την ελάττωση του μεγέθους των στερεών σωματιδίων απαιτείται η εφαρμογή μιας δύναμης επί αυτών ώστε να υπερνικηθούν οι δυνάμεις συνοχής. Οι δυνάμεις αυτές εφαρμόζονται με: α) κτύπημα-πρόσκρουση, β) συμπίεση (θραύση), γ) τριβή, δ) διάτμηση (κοπή), ε) τράβηγμα και στ) συστροφή. Από τις μεθόδους αυτές συνήθως οι τέσσερις πρώτες χρησιμοποιούνται στις μηχανές ελάττωσης μεγέθους. Παραδείγματα απλών μηχανών γι' αυτές τις τέσσερις μεθόδους είναι αντίστοιχα α) το σφυρί, β) ο καρυοθραύστης, γ) η λίμα, δ) το ψαλίδι.

Χαρακτηριστικό μέγεθος των μηχανών ελάττωσης μεγέθους είναι ο "λόγος κατάτμησης" δηλαδή ο λόγος μεταξύ μεγίστου αρχικού και τελικού μεγέθους των σωματιδίων ο οποίος για μεν τα χονδρά υλικά είναι μεταξύ 3 και 7 για δε τα λεπτά φθάνει το 100.

Στα προϊόντα θραύσης, δεν υπάρχει μια εννιαία συνάρτηση κατανομής των σωματιδίων. Για τα λεπτόκοκα κλάσματα έχει προκύψει εμπειρικά, ότι η κοκκομετρική σύσταση περιγράφεται από την εξίσωση:

$$- \frac{d\Phi}{dx} = B x^k \quad (24-1)$$

όπου: Φ - κλάσμα μάζας, x - μέγεθος σωματιδίων, B, k - σταθερές.

Κατά την κοκκομετρική ανάλυση με κοσκίνιση, χρησιμοποιείται μια σειρά κοσκίνων με σταθερό λόγο (r) διαμέτρου οπών (d_A) μεταξύ δύο διαδοχικών κοσκίνων n και $n-1$:

$$r = d_{A_n} / d_{A_{n-1}} \quad , \quad (r > 1) \quad (24-2)$$

Επομένως η σχέση (24-2) μετά από ολοκλήρωση και λογαρίθμηση γράφεται:

$$\log \Delta \Phi_n = (k + 1) \log x_1 + \log B' \quad (24-3)$$

όπου: $B' = B(r^{k+1}-1)/(k+1)$. Οι σταθερές B' και k μπορούν να υπολογισθούν από τη γραφική παράσταση της σχέσης (24-3) και στη συνέχεια η σταθερά B από τη σχέση (24-4).

Η επιφάνεια (S) σωματιδίου δίνεται γενικά από τη σχέση:

$$S = \frac{\alpha_{S,V} m}{\rho_S x} \quad (24-5)$$

όπου: $\alpha_{S,V}$ - ειδικός παράγοντας σχήματος, m - μάζα, ρ_S - πυκνότητα στερεού.

Για το μίγμα σωματιδίων και με βάση τα αποτελέσματα της κοκκομετρικής ανάλυσης αυτών η σχέση (24-5) με κατάλληλη επεξεργασία γράφεται:

$$S = \frac{\alpha_{S,V} B}{\rho_S k} (x_2^k - x_1^k) \quad (24-6)$$

Απαιτούμενη ενέργεια θραύσης

Κατά τη διάρκεια της διεργασίας ελάττωσης μεγέθους, τα σωματίδια του υλικού κατ' αρχήν παραμορφώνονται. Η ενέργεια που απαιτείται για την παραμόρφωση αποταμιεύεται πρόσκαιρα στα σωματίδια ως μηχανική ενέργεια τάσης και συστροφής. Πρόσθετη παρεχόμενη ενέργεια, η οποία θα παραμορφώνει τα σωματίδια πέρα από το όριο αντοχής, θα έχει σαν αποτέλεσμα τη θραύση αυτών.

Η ενέργεια που καταναλώνεται κατά την ελάττωση των σωματιδίων είναι πολύ μεγαλύτερη της προβλεπόμενης για την καθ' αυτό θραύση. Το μεγαλύτερο μέρος αυτής καταναλώνεται στις μεταβολές ελαστικότητας του υλικού, σε θερμότητα, λόγω τριβών μεταξύ των σωματιδίων, σωματιδίων-μηχανής και των εξαρτημάτων της μηχανής. Η δαπανώμενη ενέργεια για την καθ' αυτό ελάττωση του μεγέθους των σωματιδίων των στερεών είναι ανάλογη της νέας επιφάνειας που σχηματίζεται, μπορεί δε να εκφραστεί μαθηματικά από τη σχέση:

$$\text{Ενέργεια} = k(\text{νέα επιφάνεια}) = k(\text{τελική επιφάνεια} - \text{αρχική επιφάνεια}) \quad (24-7)$$

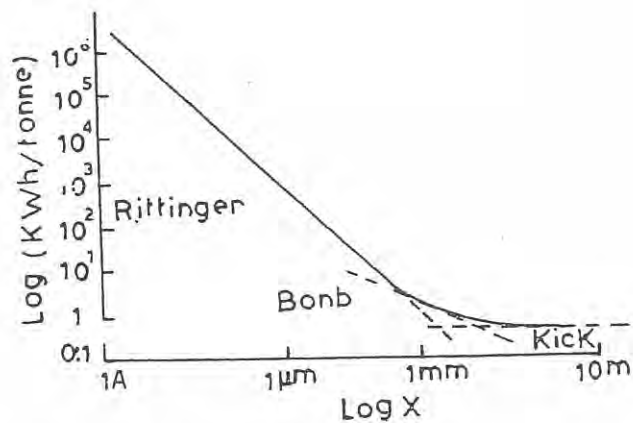
Η απαιτούμενη ισχύς για τη θραύση υλικού δίνονται από τις σχέσεις των Kick (24-8) για μεγάλα τεμάχια, Rittinger (24-9) για λεπτά σωματίδια και Bond (24-10) για την ενδιάμεση περιοχή (σχ. 24-1).

$$\frac{N}{Q} = k_K \log (x_{S1}/ x_{S2}) \quad (24-8)$$

$$\frac{N}{Q} = k_R \left(\frac{1}{x_{S2}} - \frac{1}{x_{S1}} \right) \quad (24-9)$$

$$\frac{N}{Q} = k_B \left(\frac{1}{\sqrt{x_{S2}}} - \frac{1}{\sqrt{x_{S1}}} \right) = 10W_i \left(\frac{1}{\sqrt{x_{S2}}} - \frac{1}{\sqrt{x_{S1}}} \right) \quad (24-10)$$

όπου: N- αξονική ισχύς της μηχανής, Q- ρυθμός τροφοδοσίας, k_K, k_R, k_B - σταθερές, W_i - δείκτης έργου που ευρίσκεται από πίνακες για κάθε υλικό, x_{S1}, x_{S2} - μέγεθος σωματιδίων πριν και μετά την θραύση.



Σχήμα 24-1. Γραφική παράσταση των νόμων Rittinger, Bond και Kick.

Ο βαθμός απόδοσης της θραύσης η_c δίνεται από τη σχέση:

$$\eta_c = \frac{\text{(ενέργεια για το σχηματισμό της νέας επιφάνειας)}}{\text{(απορροφηθείσα ενέργεια από το στερεό)}} \quad (24-11)$$

η οποία γράφεται:

$$\eta_c = \sigma (S_p - S_f) / E_s \quad (24-12)$$

όπου: σ - επιφανειακή ενέργεια που απαιτείται για το σχηματισμό της μονάδας επιφάνειας (βλ. πίνακα 24-1). S_p, S_f - επιφάνεια προϊόντος, τροφοδοσίας, E_s - απορροφηθείσα ενέργεια από το στερεό.

Πίνακας 24-1. Επιφανειακή ενέργεια διαφόρων στερεών.

Υλικό	Επιφανειακή ενέργεια, σ. erg/cm ²
Ασβεστίτης	29.000
Πυρίτες	60.000
Χαλαζία	107.000
Ορυκτό αλάτι	26.100

Ο βαθμός μηχανικής απόδοσης του θραυστήρα δίνεται από τη σχέση:

$$\eta_m = E_s / E = \sigma (S_p - S_f) / \rho_c E \quad (24-13)$$

όπου E- η παρεχόμενη ενέργεια στο θραυστήρα. Ο βαθμός απόδοσης της θραύσης είναι πολύ μικρός και κυμαίνεται, συνήθως, από 0,1 ως 2%.

Μηχανές ελάττωσης μεγέθους σωματιδίων

Οι μηχανές ελάττωσης μεγέθους σωματιδίων μπορούν να ταξινομηθούν σε τρεις μεγάλες κατηγορίες. Η πρώτη περιλαμβάνει μηχανές θραύσης (θραυστήρες) μεγάλων τεμαχιδίων (>5cm) και ελαττώνουν το μέγεθός τους μέχρι 1,5cm. Η δεύτερη κατηγορία είναι τα τριβεία. Σ' αυτά η τροφοδοσία υλικού γίνεται με τεμάχια 3-6cm που ελαττώνονται μέχρι 0,5cm και η τρίτη κατηγορία είναι οι μύλοι όπου το αρχικό μέγεθος των σωματιδίων είναι 0,6-1,2cm και το τελικό λεπτόκοκκο (σκόνη).

Από τις παραπάνω μηχανές θα ασχοληθούμε λεπτομερώς μόνο με τους σφαιρόμυλους και τους θραυστήρες με σιαγόνες.

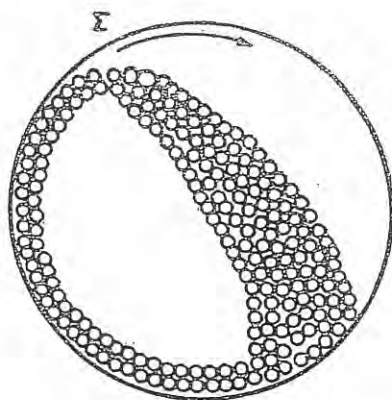
Σφαιρόμυλοι

Οι σφαιρόμυλοι αποτελούνται από ένα κυλινδρικό ή κυλινδρο-κωνικό κέλυφος, περιστρεφόμενο γύρω από τον άξονά του σε οριζόντια θέση. Το κέλυφος κατασκευάζεται συνήθως από επενδεδυμένο χάλυβα, πορσελάνη, ορυκτό διοξείδιο του πυριτίου (χαλαζία) ή καουτσούκ. Ως μέσα λειοτρίβησης χρησιμοποιούνται σφαίρες. Αυτές είναι μεταλλικές, πυριτικές, από πορσελάνη, από ξηρόκονια, από καουτσούκ ή ξύλινες διαμέτρου 20 έως 12,0cm. Οι σφαιρόμυλοι είναι δυνατόν να λειτουργούν συνεχώς ή ασυνεχώς.

Το φορτίο των σφαιρών είναι τέτοιο ώστε όταν δεν λειτουργεί ο σφαιρόμυλος οι σφαίρες καταλαμβάνουν περίπου το 50% του διαθέσιμου όγκου του κελύφους. Τα κενά μεταξύ των σφαιρών είναι 40% του όγκου των ή το 20% του διαθέσιμου όγκου του κελύφους. Σε ένα σφαιρόμυλο ασυνεχούς λειτουργίας το φορτίο σφαιρών-υλικού είναι το 70% του όγκου δηλαδή το φορτίο υλικού είναι το 40% του όγκου (20% μεταξύ των κόκκων των σφαιρών και 20% επί πλέον μέχρι το 70% του όγκου).

Κατά τη λειτουργία του σφαιρόμυλου οι σφαίρες εκτελούν κυκλική τροχιά μέχρι το σημείο Σ κοντά στην κορυφή οπότε χάνουν την επαφή τους με τα τοιχώματα του κελύφους και πέφτουν προς τον πυθμένα για να ανακυκλωθούν πάλι (σχήμα 24-2).

Η δύναμη που κρατά σε επαφή τις σφαίρες με τα τοιχώματα είναι η φυγόκεντρος. Κατά την επαφή αυτή οι σφαίρες κυλούν και ολισθαίνουν μεταξύ τους, προκαλώντας μερική άλεση του υλικού. Όταν χάσουν την επαφή τους πέφτουν στον "πυθμένα" όπου και γίνεται το μεγαλύτερο ποσοστό άλεσης. Όσο ταχύτερα περιστρέφεται ο μύλος τόσο ψηλότερα ανερχονται οι σφαίρες, τόσο μεγαλύτερη η κρούση και η δυναμικότητα του μύλου. Πέρα όμως από ορισμένη ταχύτητα περιστροφής οι σφαίρες δεν χάνουν την επαφή με το εσωτερικό του κελύφους. Τότε μιλάμε για "φυγοκέντρωση" στην οποία μόνο μικρό ποσοστό άλεσης λαμβάνει χώρα.



Σχήμα 24-2. Τροχιά σφαιρών κατά την λειτουργία σφαιρόμυλου.

Η ταχύτητα στην οποία οι σφαίρες χάνουν την επαφή τους με το ανώτερο σημείο του εσωτερικού του κελύφους ονομάζεται **κρίσιμη ταχύτητα (v_{cr})** και

εξαρτάται από την συνθήκη ισορροπίας μεταξύ των δυνάμεων βαρύτητας και φυγοκέντρου.

$$F = \frac{mu^2}{R-r} \quad (24-14)$$

όπου m - μάζα σφαίρας, u - γραμμική ταχύτητα, R - εσωτερική ακτίνα σφαιρό-μυλου, r - ακτίνα σφαίρας.

Αν G_1 είναι η κεντρομόλος συνιστώσα της βαρύτητας τότε $G_1=G \cdot \sin \alpha$ (σχήμα 24-3), όπου: α - γωνία μεταξύ κατακορύφου και φυγοκέντρου δύναμης.

Όταν $F > G_1$ τότε υπάρχει επαφή μεταξύ σφαίρας και τοιχώματος. Στο σημείο όπου $F = G_1$ και η σφαίρα είναι έτοιμη να χάσει την επαφή της και να πέσει προς τα κάτω. Όταν επιτευχθεί η κρίσιμη ταχύτητα περιστροφής (n_{cr}), όταν δηλαδή η σφαίρα βρίσκεται στο υψηλότερο σημείο, τότε $\alpha = 0$ ή $\sin \alpha = 1$, οπότε θα ισχύει:

$$\frac{mu^2}{R-r} = mg \quad (24-15)$$

Επειδή εξάλλου

$$u_{cr} = 2\pi n (R - r) \quad (24-16)$$

τότε συνδυασμός των (24-15) και (24-16) δίδει

$$n_{cr} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{g}{R-r}} \quad (24-17)$$

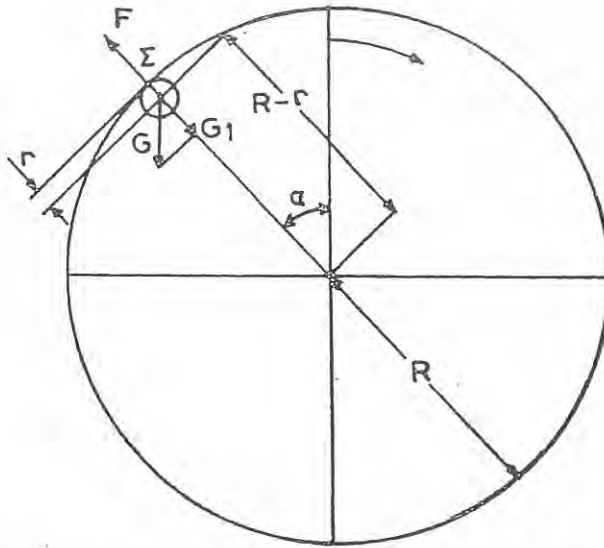
η οποία για $R \gg r$ γράφεται:

$$n_{cr} = \frac{42.4}{\sqrt{D}} \quad (24-18)$$

όταν η n_{cr} εκφρασθεί σε RPM, και D - διάμετρος σφαιρόμυλου σε μέτρα.

Για $n \geq n_{cr}$ έχουμε τις συνθήκες φυγοκέντρωσης. Στην πράξη προκειμένου να επιτύχουμε αποδοτική λειτουργία του σφαιρόμυλου λαμβάνεται:

$$n = 0,75 n_{cr} = 0,75 \frac{42.4}{\sqrt{D}} = 31.8 / \sqrt{D} \quad (24-19)$$



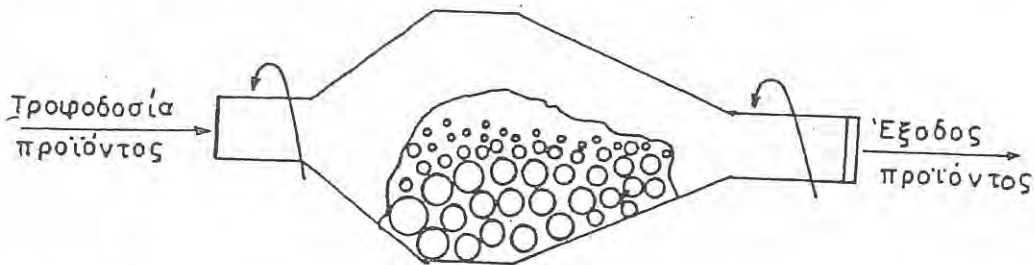
Σχήμα 24-3. Οι δυνάμεις οι οποίες εξασκούνται σε μια σφαίρα κατά τη λειτουργία του σφαιρόμυλου.

Ο ρυθμός άλεσης εξαρτάται από το βαθμό πλήρωσης (λόγος του βάρους των σφαιρών εντός του δοχείου προς το βάρος του μέγιστου αριθμού σφαιρών που μπορούν να τοποθετηθούν μέσα στο δοχείο). Είναι δε αυτή ανάλογη του ύψους πτώσης των σφαιρών, δηλαδή της κινητικής ενέργειας αυτών, καθώς επίσης και του αριθμού των σφαιρών, δηλαδή του αριθμού προσκρούσεων. Υπάρχει όμως ένας άριστος βαθμός πλήρωσης λόγω του ότι αυξανόμενου του βαθμού πλήρωσης ελαττούται το ύψος πτώσης. Η ταχύτητα άλεσης είναι εκθετική συνάρτηση της ποσότητας (φορτίου) του προς άλεση υλικού. Τέλος αυτή εξαρτάται και από την υγρασία του υλικού.

Στη βιομηχανία οι χρησιμοποιούμενοι σφαιρόμυλοι συνεχούς τροφοδοσίας έχουν σχήμα κόλουρου κώνου ή μικτό από κύλινδρο και κώνο όπως φαίνεται στο σχήμα 24-4.

Στο σφαιρόμυλο που φαίνεται στο σχήμα 24-4 το υλικό τροφοδοσίας εισέρχεται μέσω κώνου γωνίας 60° στην πρωταρχική ζώνη άλεσης όπου η διάμετρος του κελύφους είναι μέγιστη (κυλινδρικό τμήμα) και εξέρχεται από κώνο 30° . Ο μύλος περιέχει σφαίρες διαφορετικών μεγεθών. Καθώς το κέλυφος περιστρέφεται οι μεγάλες σφαίρες κινούνται στο κυλινδρικό τμήμα (μέγιστη διάμετρος) και οι μικρές σφαίρες στο τμήμα εκφόρτωσης. Με τη λειτουργία του

σφαιρόμυλου οι σφαίρες φθείρονται και γίνονται μικρότερες ενώ νέες ποσότητες σφαιρών προστίθενται περιοδικά.



Σχήμα 24-4. Κωνικός σφαιρόμυλος

Προοδευτική κωνιορτοποίηση επιτυγχάνεται και με σύστημα κυλινδρικών μύλων τοποθετούμενων σε σειρά, κάθε ένας από τους οποίους πληρούται με σφαίρες διαμέτρου μικρότερης του προηγούμενου (μύλοι μετά διαχωρισμάτων). Οι μύλοι χωρίζονται μεταξύ τους με κατάλληλα διαφράγματα τα οποία επιτρέπουν την διόδο του υλικού όχι όμως των σφαιρών από το ένα διαμέρισμα στο επόμενο.

Οι σφαιρόμυλοι χρησιμοποιούνται για κατεργασία υλικών όπως κεραμικά, χημικά, καλλυντικά, καρβίδια, τυπογραφικές μελάνες, μεταλλικές σκόνες, ορυκτά, βαφές, χρώματα, φάρμακα, πλαστικά κλπ.

Θραυστήρες με σιαγόνες

Οι θραυστήρες είναι μηχανές, μικρής ταχύτητας τροφοδοσίας, για χονδρομερή ελάττωση μεγέθους σωματιδίων. Στους θραυστήρες με σιαγόνες το υλικό τροφοδοτείται μεταξύ δύο σιαγόνων τοποθετημένων έτσι ώστε να σχηματίζουν V ανοικτό προς την κορυφή. Η μία σιαγόνα είναι σχεδόν κατακόρυφη και δεν κινείται η δε άλλη σιαγόνα σχηματίζει γωνία 15° έως 30° και κινείται με έκκεντρο.

Υπάρχουν δύο κυρίως τύποι θραυστήρων με σιαγόνες:

Ο θραυστήρας **Dodge** στον οποίο το σημείο περιστροφής της ταλαντευόμενης σιαγόνας είναι στη βάση του V, έτσι η κίνηση είναι κυρίως προς την κορυφή.

Ο θραυστήρας **Blake**, (ο συνηθέστερος τύπος θραυστήρων) (σχήμα 24-5) στον οποίο το σημείο περιστροφής (1) βρίσκεται στην κορυφή της κινούμενης σιαγόνος (2). Στον θραυστήρα Blake το έκκεντρο (4) κινεί ένα διωστήρα (5) ο

οποίος συνδέεται με δύο άξονες (6) οι οποίοι με τη σειρά τους είναι προσαρμοσμένοι στο πλαίσιο (7) και την κινητή σιαγόνα αντίστοιχα.

Σε σωματίδιο το οποίο έχει μόλις αρπαγεί από τις σιαγόνες του θραυστήρα τύπου Blake (σχήμα 24-6) επενεργούν, αν παραβλέψουμε τη δύναμη της βαρύτητας, δύο ίσες ακτινικές δυνάμεις F_R και δύο ίσες δυνάμεις τριβής F_T οι οποίες συνδέονται με τη σχέση:

$$F_T = \mu F_R \quad (24-20)$$

όπου μ - συντελεστής τριβής.

Κάθε ακτινική δύναμη έχει μια συνιστώσα κατά τη διεύθυνση της διχοτόμου της γωνίας μεταξύ των δύο σιαγόνων και με φορά προς τα πάνω ίση με $F_R \eta\mu\alpha$, ενώ κάθε δύναμη τριβής έχει επίσης μια συνιστώσα κατά τη διεύθυνση της διχοτόμου της γωνίας μεταξύ των δύο σιαγόνων και φορά προς τα κάτω ίση με $F_T \sigma\upsilon\nu\alpha = F_R \mu \sigma\upsilon\nu\alpha$. Συνολικά στο τεμαχίδιο επενεργεί μια δύναμη εξώθησης F_E ίση προς

$$F_E = 2 F_R \eta\mu\alpha \quad (24-21)$$

και μια δύναμη ώθησης F_I ίση με

$$F_I = 2 F_R \mu \sigma\upsilon\nu\alpha \quad (24-22)$$

Για να θραυστεί το τεμαχίδιο, παρά να εξωθηθεί, θα πρέπει:

$$F_I \geq F_E \quad (24-23)$$

$$\text{δηλαδή } 2 F_R \mu \sigma\upsilon\nu\alpha \geq 2 F_R \eta\mu\alpha \quad (24-24)$$

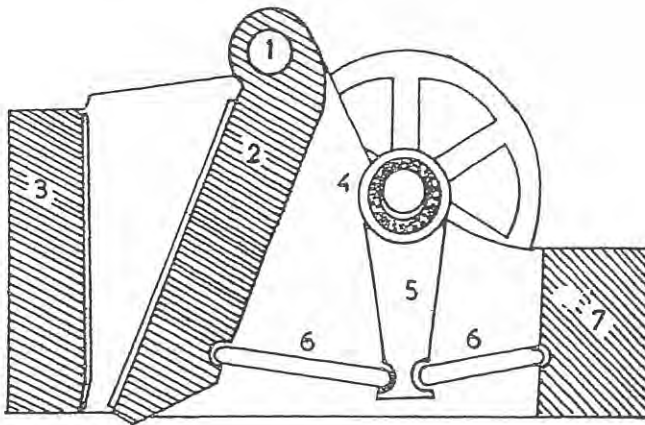
$$\text{και } \mu \geq \frac{\eta\mu\alpha}{\sigma\upsilon\nu\alpha} = \epsilon\phi\alpha \quad (24-25)$$

Το οριακό μέγεθος της γωνίας 2α μεταξύ των δύο σιαγόνων είναι αυτό που καθορίζεται από τη σχέση (24-25) και καλείται γωνία αρπαγής.

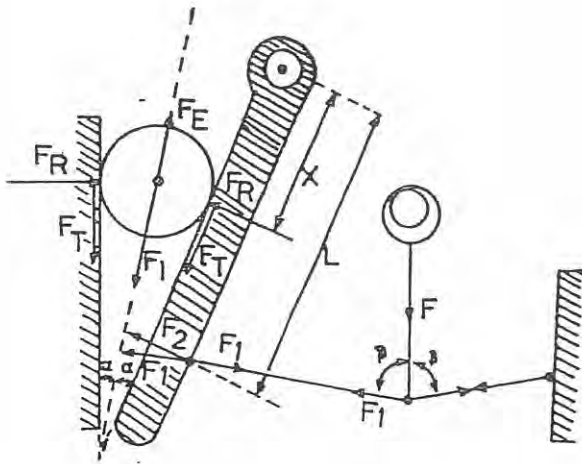
Αν F είναι η δύναμη που επενεργεί στο διωστήρα τότε η δύναμη F_I επί του κάθε βραχίονα θα είναι:

$$F_1 = \frac{F}{2 \text{ συν}\beta}$$

(24-26)



Σχήμα 24-5. Θραυστήρας με σιαγώνες τύπου Blake. 1- Αξονας περιστροφής, 2-κινητή σιαγόνα, 3- ακίνητη σιαγόνα, 4- έκκεντρο, 5- δωστήρας, 6- άξονες στήριξης, 7- πλαίσιο.



Σχήμα 24-6. Διάγραμμα δυνάμεων σε θραυστήρα τύπου Blake.

Αν εφαρμόσουμε το νόμο των μοχλών θα ισχύει

$$X \cdot F_R = L F_2 \quad (24-27)$$

$$F_2 = F_1 \eta \mu \beta = \frac{F \eta \mu \beta}{2 \sigma \nu \eta \beta} = \frac{F}{2} \epsilon \phi \beta \quad (24-28)$$

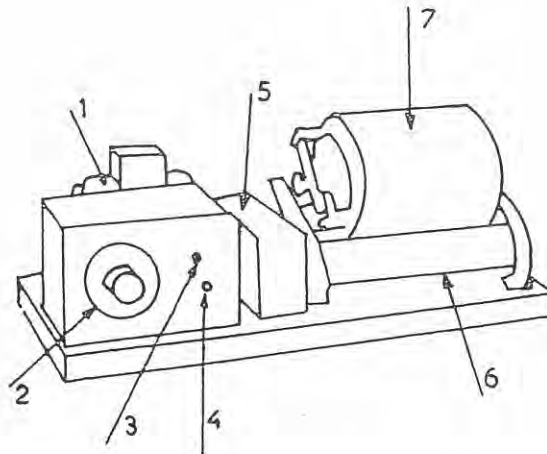
και $F_R = \frac{L F}{2 X} \epsilon \phi \beta \quad (24-29)$

Επειδή η γωνία β είναι σχεδόν 90° , άρα και η $\epsilon \phi \beta$ είναι πάρα πολύ μεγάλη. Δηλαδή μια μικρή δύναμη F , θα μας δώσει μια πολύ μεγαλύτερη δύναμη F_R , η οποία είναι τόσο μεγαλύτερη, όσο πλησιέστερα βρίσκεται στο σημείο στήριξης όπου θραύονται τα μεγαλύτερα τεμάχια.

2. Πειραματικό Μέρος

Πείραμα 1^ο - Χρήση εργαστηριακού σφαιρόμυλου

Ο σφαιρόμυλος που χρησιμοποιείται στο πείραμα φαίνεται στο σχήμα 24-7.



Σχήμα 24-7. Σφαιρόμυλος. 1- Μοτέρ, 2- ρυθμιστής ταχύτητας περιστροφής, 3- διακόπτης έναρξης, 4- διακόπτης, 5- σύστημα μεταδόσεως κίνησης, 6- περιστρεφόμενος κύλινδρος, 7- πορσελάνινα δοχεία άλεσης.

Για την ρύθμιση της ταχύτητας περιστροφής του σφαιρόμυλου χρησιμοποιείται στροφόμετρο με το οποίο μπορούμε να βρούμε την ταχύτητα περιστροφής του κυλίνδρου (n_0) και με τη σχέση (24-30) να υπολογίσουμε την ταχύτητα περιστροφής του δοχείου n .

$$n = n_0 \frac{63.5}{d} \quad (24-30)$$

όπου: d εξωτερική διάμετρος του δοχείου σε mm.

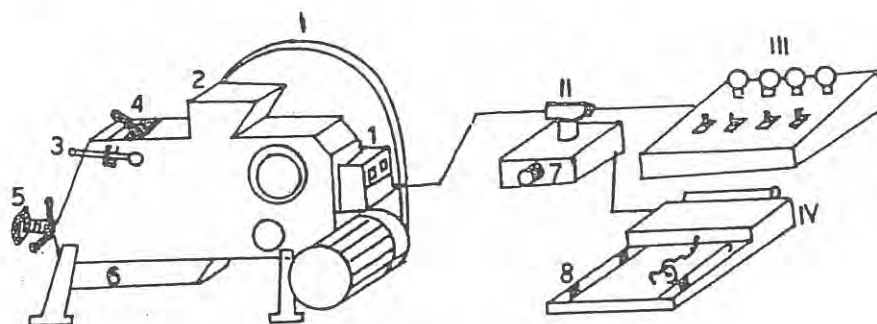
Διεξαγωγή του πειράματος

1. Κοσκινίζουμε την πρώτη ύλη με ορισμένο κόσκινο και χρησιμοποιούμε το υπόλειμμα (δείγμα) για τη διεξαγωγή του πειράματος.
2. Εκλέγουμε τον παράγοντα που θα μεταβληθεί, δηλαδή τον χρόνο άλεσης, ή το βαθμό πλήρωσης σε σφαίρες ή το φορτίο (βάρος υλικού προς βάρος σφαιρών).
3. Τοποθετούμε την κατάλληλη ποσότητα σφαιρών και υλικού στον κυλινδρικό κέλυφος και το σφραγίζουμε.
4. Μετρούμε την εξωτερική και εσωτερική διάμετρο του κυλινδρικού κελύφους και τη διάμετρο του ελαστικού κυλίνδρου περιστροφής και με τη βοήθεια των σχέσεων (24-19) και (24-30) υπολογίζουμε τις αντίστοιχες ταχύτητες περιστροφής.
5. Τοποθετούμε το πληρωμένο με σφαίρες και υλικό κέλυφος στη συσκευή και τη θέτουμε σε λειτουργία ρυθμίζοντας με το ρυθμιστή στροφών την ταχύτητα περιστροφής του κελύφους.
6. Μετά το πέρας του χρόνου άλεσης το αλεσμένο υλικό διαχωρίζεται από τις σφαίρες ποσοτικά και κοσκινίζεται ξανά με το ίδιο κόσκινο της παραγράφου 1. Το αποτέλεσμα εκφράζεται σε % παραγωγή λεπτών.
7. Επαναλαμβάνουμε την παραπάνω διαδικασία για νέες τιμές της μεταβλητής που έχουμε επιλέξει. Τα αποτελέσματα αναγράφονται στον πίνακα I και κατασκευάζεται το διάγραμμα της % παραγωγής λεπτών σαν συνάρτηση της μεταβλητής που επιλέχθηκε. Τέλος εξάγουμε τα συμπεράσματα από τα αποτελέσματα.

Πείραμα 2^ο - Χρήση του θραυστήρα Blake

Η πειραματική διάταξη απεικονίζεται στο σχήμα 24-8. Αυτή αποτελείται από θραυστήρα με σιαγόνες τύπου Blake I, η λειτουργία του οποίου ελέγχεται από

τους διακόπτες 1. Η τροφοδοσία του υλικού γίνεται από τη χοάνη 2. Η σταθερή σιαγόνα 4 έχει την δυνατότητα να αποσυνδέεται από τον κορμό με την εξαγωγή του πύρου 3. Το άνοιγμα των σιαγώνων ρυθμίζεται με τον κοχλία 5. Τέλος το προϊόν της θραύσης συλλέγεται στο δοχείο 6.



Σχήμα 24-8. Πειραματική διάταξη θραυστήρα τύπου Blake.

Πίνακας I. Αποτελέσματα άλεσης σε σφαιρόμυλο.

Υλικό : Διάμετρος κόκκων: (μπ)
 Βάρος Υλικού : (gr)
 Βάρος Σφαιρών:
 Φορτίο (Υλικό/σφαίρες) Χρόνος άλεσης:

α/α	Μεταβλητή	Παραγωγή λεπτών		Παρατηρήσεις
		Βάρος gr	%	
1				
2				
3				
4				
5				
6				

Ο θραυστήρας είναι συνδεδεμένος με μετρητή ισχύος II, ο οποίος φέρει ρυθμιστή ευαισθησίας 7. Παράλληλα προς το θραυστήρα συνδέεται επίσης και

Επεξεργασία αποτελεσμάτων

1. Τα αποτελέσματα της κοκκομετρικής ανάλυσης για κάθε πείραμα, σημειώνονται στον πίνακα II.

Πίνακα II. Κοκκομετρική ανάλυση προϊόντος θραύσης

Υλικό: Κατανάλωση ενέργειας:

Περιοχή μεγέθους από x_2 έως x_1 , μ	$x = \frac{x_1+x_2}{2}$ μ	$\Delta x = x_2 - x_1$ μ	Φ gr	$\Delta\Phi$, %	$\log x_1$	$\log \Delta w$	$x \cdot \Delta\Phi$ % . μ

2. Κάνουμε τη γραφική παράσταση: $\log \Delta\Phi = f(\log x_1)$ και για τα σημεία που τοποθετούνται επί ευθείας βρίσκουμε, με τη βοήθεια των σχέσεων (24-3) και (24-4) τις σταθερές B και k.

3. Με τη βοήθεια της σχέσης (24-6) και μόνο για τα κλάσματα που τοποθετούνται πάνω στην ευθεία της παραγράφου 2, υπολογίζουμε την επιφάνεια του προϊόντος. Για τα κλάσματα που δεν τοποθετούνται στην ευθεία, η επιφάνεια υπολογίζεται για το κάθε ένα από τη σχέση (24-5).

4. Υπολογίζουμε την κατανάλωση ενέργειας ανά μονάδα σχηματιζόμενης νέας επιφάνειας και κατασκευάζουμε τα διαγράμματα $E_S = f(S)$ και $(E_S/S) = f(S)$.

5. Υπολογίζουμε την κατανάλωση ενέργειας που προβλέπεται από τον νόμο του Bond:

$$N/M = 10w_i \left(\frac{1}{\sqrt{x_{S2}}} - \frac{1}{\sqrt{x_{S1}}} \right) \quad (24-31)$$

και συγκρίνουμε αυτή με τη μετρούμενη κατανάλωση ενέργειας.

Το x_s υπολογίζεται από τη σχέση:

$$\bar{x}_s = \Sigma x \cdot \Delta\Phi / \Sigma \Delta\Phi \quad (24-32)$$

6. Υπολογίζουμε το βαθμό απόδοσης της θραύσης, με τη βοήθεια της σχέσης (24-12) και το βαθμό μηχανικής απόδοσης του θραυστήρα με τη βοήθεια της σχέσης (24-14).

συστοιχία λαμπτήρων III με ισάριθμους διακόπτες για την επιλογή της επιθυμητής κατανάλωσης ισχύος.

Τέλος η καταναλόμενη ισχύς καταγράφεται με καταγραφικό IV το οποίο φέρει ρυθμιστή μηδενός 8 και ρυθμιστή ταχύτητας εγγραφής 9.

Βαθμολόγηση του οργάνου

1. Ανοίγουμε το καταγραφικό και ρυθμίζουμε το μηδέν της κλίμακας με το κομβίο 8.
2. Θέτουμε σε λειτουργία το θραυστήρα, χωρίς φορτίο και με το κομβίο 7 του μετρητή ισχύος φέρουμε την ένδειξη εντός της κλίμακας. Αφήνουμε να περάσουν 2-3min για να σταθεροποιηθεί η ένδειξη.
3. Βαθμολογούμε την κλίμακα του οργάνου, για τη δεδομένη ευαισθησία, με τη βοήθεια της συσκευής III, επιλέγοντας, για το σκοπό αυτό τουλάχιστον 8 συνδυασμούς μεταξύ των τεσσάρων λαμπτήρων.
4. Υπολογίζουμε την κατανάλωση ισχύος από το θραυστήρα χωρίς φορτίο.
5. Στρέφουμε το ρυθμιστή μηδενός του καταγραφικού τελείως αριστερά, θέτουμε σε λειτουργία εκ νέου το θραυστήρα, χωρίς φορτίο και με το κομβίο 7, του μετρητή ισχύος, επαναφέρουμε την ένδειξη εντός της κλίμακας του καταγραφικού.
6. Βαθμολογούμε εκ νέου την κλίμακα του οργάνου με τη νέα ευαισθησία, όπως στην παράγραφο 3.

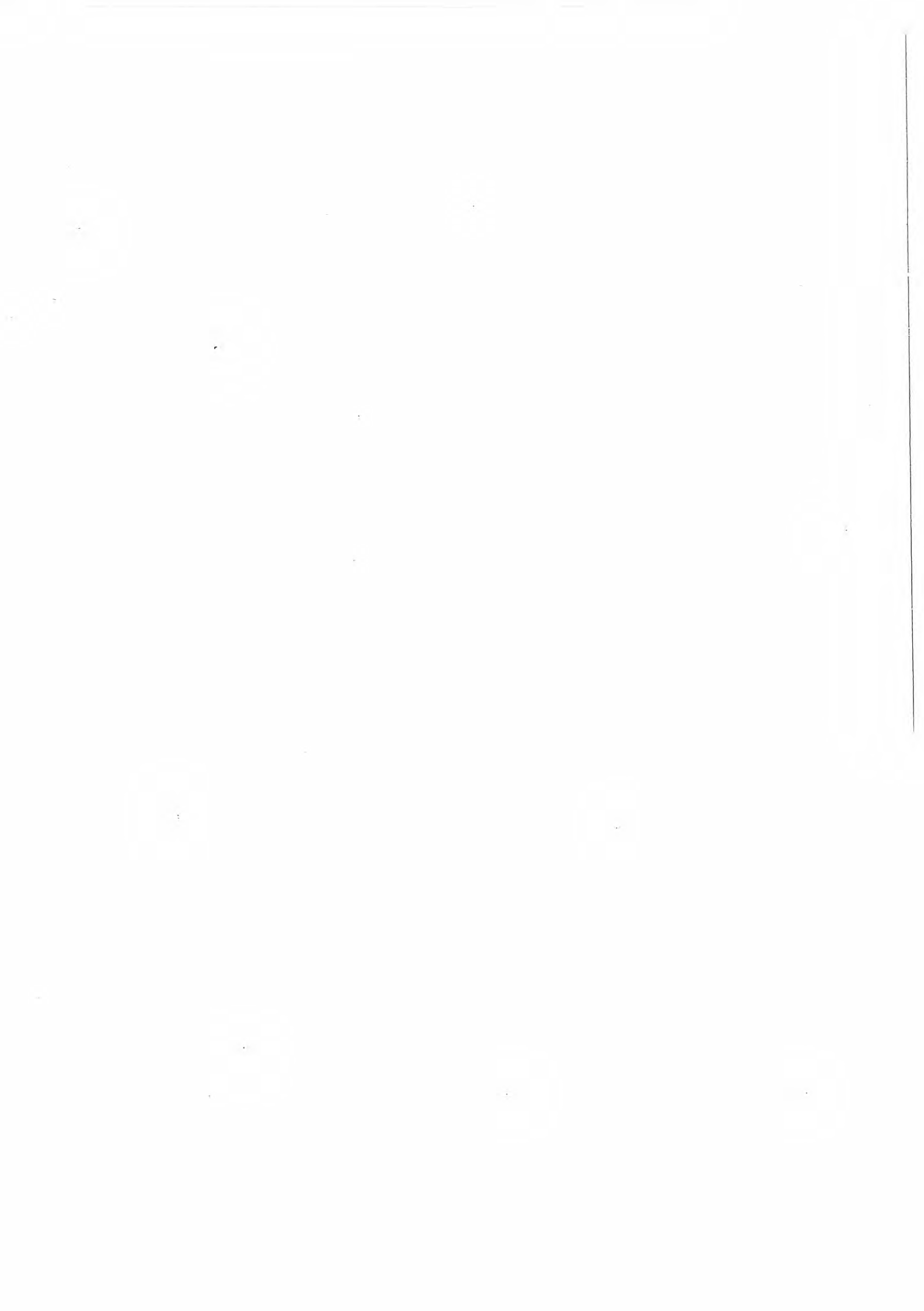
(Η διαδικασία της παραγράφου 5 γίνεται για να έχουμε αυξημένη την ευαισθησία του οργάνου κατά τη θραύση).

Θραύση του υλικού

1. Ζυγίζουμε 1Kg από το υλικό προς θραύση.
2. Ρυθμίζουμε το άνοιγμα των σιαγόνων με τη βοήθεια του κοιλία 5.
3. Θέτουμε σε λειτουργία το θραυστήρα. Περιμένουμε να περάσουν 2-3min, ώστε να θερμομανθούν τα μηχανικά μέρη αυτού και να σταθεροποιηθεί η ένδειξη και τροφοδοτούμε το θραυστήρα με το προζυγισμένο υλικό, από τη χοάνη 2.
4. Στο προϊόν θραύσης γίνεται κοκκομετρική ανάλυση με πρότυπη σειρά κοσκίνων, προσέχοντας ώστε η διάμετρος των οπών δύο διαδοχικών κοσκίνων να έχουν σταθερό λόγο.
5. Επαναλαμβάνουμε το πείραμα τέσσερις (4) φορές με διαφορετικό άνοιγμα σιαγόνων.

Βιβλιογραφία

1. Α.Θ.Σδούκου, "Φυσικές Διεργασίες της Χημικής Τεχνολογίας", Τόμος Ι-Μηχανική Ρευστών και Τεχνική Σωματιδίων, 3η έκδοση, Ιωάννινα, 1993.
2. M.L.Mc Cabe, J.C.Smith "Βασικά Φυσικά Διεργασίες Χημικής Μηχανικής". Έκδοση Τ.Ε.Ε., Αθήνα, 1971.
3. G.C.Lowrison, "Crushing and Grinding", Butterworths, London, 1974.
4. T.Allen, "Particle Size Measurement", 2^{ed}, Chapman and Hall, London, 1975.
5. R.H.Perry, C.H.Chilton, "Chemical Engineers Handbook", 5^{ed}, Mc Graw-Hill Book Company, New York, 1973.





Τυπώθηκε στο Πανεπιστημιακό Τυπογραφείο
με δαπάνη του Πανεπιστημίου Ιωαννίνων.

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΑΚΟ
Τυπογραφείο

Διανέμεται Δωρεάν στους φοιτητές.

