

4 ΕΚΠΛΥΣΗ

Κ. Α. Μάτης

4.1 ΓΕΝΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ

Η έκπλυση (leaching) αναφέρεται συνήθως στην **εκχύλιση** ενός διαλυτού συστατικού από ένα στερεό με τη χρήση ενός διαλύτη (Σ/Υ εκχύλιση). Η διεργασία εφαρμόζεται είτε στην παραγωγή ενός πυκνού διαλύματος ενός πολύτιμου στερεού υλικού είτε στην απελευθέρωση ενός αδιάλυτου στερεού, όπως π.χ. μια χρωστική ουσία, από ένα διαλυτό υλικό με το οποίο έχει μολυνθεί. Η μέθοδος που θα χρησιμοποιηθεί για την έκπλυση καθορίζεται από την αναλογία του διαλυτού συστατικού που είναι παρόν, την κατανομή του μέσα στο στερεό, τη φύση του στερεού και το μέγεθος των σωματιδίων.

Αν η διαλυτή ουσία είναι ομοιόμορφα διασπαρμένη στο στερεό, πρώτα θα διαλυθεί το υλικό κοντά στην επιφάνεια, αφήνοντας μια πορώδη δομή στο στερεό υπόλειμμα. Ο διαλύτης, μετά, θα πρέπει να διεισδύσει μέσα σε αυτή την εσωτερική στοιβάδα, πριν φθάσει στο υπόλοιπο διαλυόμενο συστατικό, έτσι η λειτουργία γίνεται προοδευτικά πιο δύσκολη και η ταχύτητα εκχύλισης πέφτει.

Αν η διαλυτή ουσία αποτελεί μεγάλο ποσοστό του στερεού, αυτή η πορώδης δομή θα σπάσει σχεδόν αμέσως, δίνοντας μια λεπτή απόθεση από αδιάλυτο υπόλειμμα και η πρόσβαση του διαλύτη στη διαλυόμενη ουσία δε θα εμποδίζεται. Γενικά, η διεργασία θεωρείται ότι αποτελείται από τρία στάδια :

- α) Την αλλαγή φάσης της διαλυτής ουσίας, καθώς διαλύεται στο διαλύτη.
- β) Τη διάχυσή της, μέσα από το διαλύτη στους πόρους του στερεού, προς την εξωτερική πλευρά του σωματιδίου, και
- γ) Τη μεταφορά της διαλυόμενης ουσίας, από το διάλυμα, που είναι σε επαφή με τα σωματίδια, προς τον κύριο όγκο (bulk) του διαλύματος.

Οποιαδήποτε από αυτές τις λειτουργίες μπορεί να είναι περιοριστική στην ταχύτητα έκπλυσης. Όμως, το πρώτο στάδιο συνήθως λαμβάνει χώρα τόσο γρήγορα, που η επίδρασή του στην ολική ταχύτητα είναι αμελητέα.

Η επιλογή της συσκευής για μια διεργασία έκπλυσης επηρεάζεται από τους παράγοντες που είναι υπεύθυνοι για τον περιορισμό στην ταχύτητα εκχύλισης. Έτσι, αν ρυθμιστικός παράγοντας είναι η διάχυση της διαλυτής ουσίας μέσα από την πορώδη δομή των υπολοίπων στερεών, τότε το υλικό θα πρέπει να έχει μικρό μέγεθος, ώστε η απόσταση που θα έχει να περάσει η διαλυτή ουσία να είναι μικρή. Από την άλλη πλευρά, αν η διάχυση της διαλυτής ουσίας από την επιφάνεια των σωματιδίων προς τη μάζα του διαλύματος είναι αρκετά μικρή, ώστε να ρυθμίζει τη διεργασία, τότε απαιτείται ανάδευση σε μεγάλο βαθμό του ρευστού.

Σε μερικές περιπτώσεις, η διαλυόμενη ουσία είναι κατανεμημένη σε μικρές, απομακρυσμένες θέσεις σε κάποιο υλικό αδιαπέραστο από το διαλύτη, όπως ο χρυσός σε πέτρωμα. Σε αυτές τις περιπτώσεις, το υλικό υποβάλλεται σε κατάτμηση (ελάττωση μεγέθους) ώστε όλο το διαλυτό υλικό να εκτεθεί στο διαλύτη. Αν το στερεό έχει κυτταρική δομή, η ταχύτητα εκχύλισης γενικά θα είναι σχετικά μικρή, γιατί τα τοιχώματα του κυττάρου προσφέρουν πρόσθετη αντίσταση. Στην εξαγωγή ζάχαρης από τεύτλα, τα τοιχώματα του κυττάρου εκτελούν τη σημαντική λειτουργία της εμπόδισης ανεπιθύμητων συστατικών, με σχετικά μεγάλο μοριακό βάρος, από το να εκχυλισθούν. Επομένως, θα πρέπει το ζαχαρότευτλο να προετοιμάζεται σε μακριές λωρίδες, ώστε μόνο μια μικρή αναλογία κυττάρων να σπάσει. Στην εξαγωγή λαδιού

από σπόρους, η διαλυόμενη ουσία είναι η ίδια υγρό και μπορεί να διαχέεται προς το διαλύτη.

Υπάρχουν τέσσερις σημαντικοί παράγοντες που θα πρέπει να μελετηθούν:

Μέγεθος σωματιδίου. Αυτό επηρεάζει την ταχύτητα εκχύλισης κατά διάφορους τρόπους. Όσο μικρότερο είναι το μέγεθος, τόσο μεγαλύτερη είναι η διεπιφάνεια ανάμεσα στο στερεό και το υγρό, και επομένως τόσο μεγαλύτερη η ταχύτητα μεταφοράς του υλικού. Από την άλλη πλευρά, η επιφάνεια δε χρησιμοποιείται κατάλληλα με πολύ λεπτό υλικό, αν εμποδίζεται η κυκλοφορία του υγρού, και ο διαχωρισμός των σωματιδίων (ή τεμαχιδίων) από το υγρό και η αποστράγγιση του στερεού υπολείμματος γίνονται πιο δύσκολα. Γενικά, είναι επιθυμητό το εύρος μεγέθους των σωματιδίων να είναι μικρό, ώστε το κάθε σωματίδιο να απαιτεί περίπου τον ίδιο χρόνο για εκχύλιση. Αλλά ειδικά, η παραγωγή μεγάλης ποσότητας λεπτού υλικού θα πρέπει να αποφεύγεται, επειδή μπορεί να σφηνώνουν στα διάκενα μεγαλύτερων σωματιδίων και να εμποδίζουν τη ροή του διαλύτη.

Διαλύτης. Το υγρό που επιλέγεται πρέπει να είναι καλός εκλεκτικός διαλύτης με αρκετά χαμηλό ιξώδες για να κυκλοφορεί ελεύθερα. Γενικά στην αρχή χρησιμοποιείται ένας σχετικά καθαρός διαλύτης, αλλά καθώς προχωρεί η εκχύλιση θα αυξάνεται η συγκέντρωση της διαλυμένης ουσίας και θα μειώνεται σταδιακά η ταχύτητα εκχύλισης, πρώτα αφού μειώνεται η βαθμίδα συγκέντρωσης και μετά γιατί το διάλυμα γίνεται πιο ιξώδες.

Θερμοκρασία. Στις περισσότερες περιπτώσεις, η διαλυτότητα του υλικού που εκχυλίζεται αυξάνεται με τη θερμοκρασία, δίνοντας μεγαλύτερο ρυθμό εξαγωγής. Ακόμα, ο συντελεστής διάχυσης αναμένεται να αυξηθεί με αύξηση στη θερμοκρασία λόγω ελάττωσης του ιξώδους, που επίσης θα βελτιώσει την ταχύτητα. Σε μερικές περιπτώσεις το ανώτερο όριο της θερμοκρασίας υπολογίζεται από δευτερογενείς παράγοντες, όπως για παράδειγμα η ανάγκη για προφύλαξη από την ενέργεια ανεπιθύμητων ενζύμων, κατά την εκχύλιση ζάχαρης.

Ανάδευση του ρευστού. Η ανάδευση του διαλύτη είναι αξιόλογος παράγοντας γιατί αυξάνει τη δινώδη διάχυση και συνεπώς, αυξάνει τη μεταφορά υλικού από την επιφάνεια των σωματιδίων στη μάζα του διαλύματος. Επίσης, η ανάδευση αιωρημάτων λεπτών σωματιδίων εμποδίζει την κατακάθιση και γίνεται πιο αποτελεσματική χρησιμοποίηση της διεπιφάνειας.

4.2 ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΜΑΖΑΣ ΣΕ ΔΙΕΡΓΑΣΙΕΣ ΕΚΠΛΥΣΗΣ

Οι ταχύτητες μεταφοράς μάζας μέσα στο πορώδες υπόλειμμα είναι δύσκολο να υπολογιστούν, γιατί δεν είναι δυνατό να ορισθεί το σχήμα διόδων μέσα από τις οποίες γίνεται η μεταφορά. Μπορούμε όμως να πάρουμε μια κατά προσέγγιση ένδειξη της ταχύτητας μεταφοράς από τα σωματίδια στη μάζα του υγρού. Εφαρμόζοντας την ιδέα μιας λεπτής στοιβάδας, που είναι υπεύθυνη για την αντίσταση στη μεταφορά, η εξίσωση για τη μεταφορά μάζας γράφεται με τη μορφή :

$$\frac{dM}{dt} = \frac{k'A(c_s - c)}{b} \quad (4.1)$$

όπου A είναι το εμβαδό της στερεάς-υγρής διεπιφάνειας, b είναι το αποτελεσματικό πάχος της υγρής λεπτής στοιβάδας που περιβάλλει τα σωματίδια, c είναι η συγκέντρωση της διαλυόμενης ουσίας στο διάλυμα σε χρόνο t , c_s είναι η

συγκέντρωση του κορεσμένου διαλύματος σε επαφή με τα σωματίδια, M είναι η μάζα της διαλυόμενης ουσίας που μεταφέρεται σε χρόνο t , και k' είναι ο φαινόμενος συντελεστής διάχυσης. Αν θεωρήσουμε μια ασυνεχή λειτουργία όπου V είναι ο ολικός όγκος του διαλύματος, που υποτίθεται ότι παραμένει σταθερός, τότε :

$$dM = V dc$$

και

$$\frac{dc}{dt} = \frac{k'A(c_s - c)}{bV}$$

Ο χρόνος t που χρειάζεται ώστε η συγκέντρωση του διαλύματος να αυξηθεί από την αρχική της τιμή c_0 σε μια τιμή c βρίσκεται με ολοκλήρωση, με την παραδοχή ότι τα b και A μένουν σταθερά.

Τακτοποιώντας την εξίσωση παίρνουμε :

$$\int_{c_0}^c \frac{dc}{c_s - c} = \int_0^t \frac{k'A}{Vb} dt$$

$$\ln \frac{c_s - c_0}{c_s - c} = \frac{k'A}{Vb} t \quad (4.2)$$

Αν χρησιμοποιηθεί αρχικά καθαρός διαλύτης, $c_0 = 0$, θα έχουμε :

$$1 - \frac{c}{c_s} = e^{-(k'A/bV)t}$$

ή

$$c = c_s \left(1 - e^{-(k'A/bV)t} \right) \quad (4.3)$$

Η εξίσωση αυτή δείχνει ότι το διάλυμα πλησιάζει εκθετικά στην κατάσταση κορεσμού.

Στις περισσότερες περιπτώσεις η διεπιφάνεια τείνει να αυξηθεί κατά τη διάρκεια της εκχύλισης και όταν το διαλυτό υλικό βρίσκεται σε πολύ μεγάλη αναλογία σ' όλο το στερεό, μπορεί να συμβεί πλήρης αποσύνθεση των σωματιδίων. Παρόλο που αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την αύξηση στη διεπιφάνεια, η ταχύτητα εκχύλισης είναι πιθανό να μειωθεί, γιατί η ελεύθερη ροή του διαλύτη θα εμποδίζεται και η αποτελεσματική τιμή του b θα αυξηθεί.

4.3 ΣΥΣΚΕΥΕΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΚΠΛΥΣΗ

Στις συνηθισμένες διεργασίες έκπλυσης συμπεριλαμβάνονται τρεις ευδιάκριτες λειτουργίες:

1) Διάλυση του διαλυόμενου συστατικού.
2) Διαχωρισμός του διαλύματος που σχηματίζεται, από το αδιάλυτο στερεό υπόλειμμα.

3) Πλύση του στερεού υπολείμματος για να ελευθερωθεί από το ανεπιθύμητο διαλυτό υλικό ή να ληφθεί σαν προϊόν όσο το δυνατό πιο πολύ διαλυτό υλικό.

Η έκπλυση στο παρελθόν πραγματοποιούνταν κυρίως ως **ασυνεχής** λειτουργία, αλλά τα τελευταία χρόνια χρησιμοποιούνται πολλές **συνεχείς** εγκαταστάσεις. Το είδος της συσκευής που θα εφαρμοσθεί εξαρτάται από τη φύση του στερεού, αν είναι δηλαδή κοκκώδες ή κυτταρώδες υλικό και αν είναι χονδρόκοκκο ή λεπτόκοκκο. Η συνηθισμένη διάκριση ανάμεσα στα στερεά κατά το μέγεθός τους είναι ότι τα χονδρόκοκκα υλικά έχουν αρκετά μεγάλες ταχύτητες κατακάθισης, ώστε να

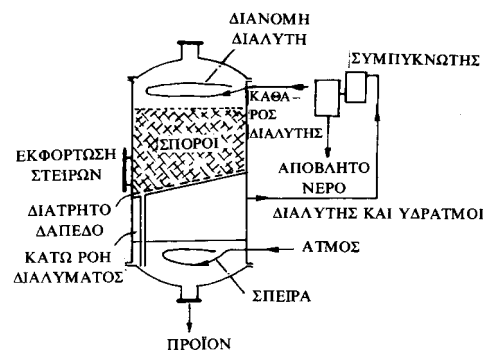
διαχωρίζονται εύκολα από το υγρό. Ενώ τα λεπτόκοκκα μπορούν να κρατηθούν σε αιώρηση με τη βοήθεια μιας μικρής μόνο ανάδευσης. Γενικά, το διάλυμα μπορεί να διηθηθεί μέσα από ένα στρώμα χονδρόκοκκων υλικών, ενώ τα λεπτά στερεά προσφέρουν πολύ μεγάλη αντίσταση.

Η ταχύτητα εκχύλισης είναι γενικά συνάρτηση της σχετικής ταχύτητας ανάμεσα στο υγρό και το στερεό. Σε μερικές εγκαταστάσεις το στερεό είναι ακίνητο και το υγρό ρέει μέσα από το στρώμα των σωματιδίων. Σε άλλες συνεχούς λειτουργίας το στερεό και το υγρό κινούνται κατά αντιρροή.

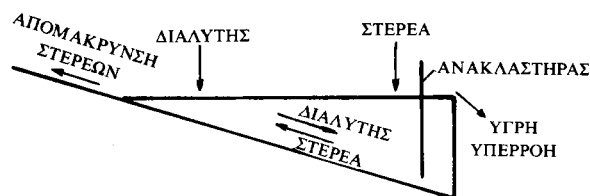
Με σπόρους, όπως σόγιας, που περιέχουν μόνο 15% περίπου λάδι, χρησιμοποιείται συχνά η έκπλυση (διαλυτική εκχύλιση, solvent extraction) μια και οι μηχανικές μέθοδοι δεν είναι ιδιαίτερα αποδοτικές. Ως διαλύτες χρησιμοποιούνται συνήθως ελαφριά κλάσματα πετρελαίου. Έχει χρησιμοποιηθεί τριχλωροαιθυλένιο όπου οι κίνδυνοι πυρκαγιάς είναι σοβαροί και ακετόνη ή αιθέρας, όταν το υλικό έχει πολύ υγρασία. Μια εγκατάσταση συνεχούς λειτουργίας για την εκχύλιση λαδιού από σπόρους παριστάνεται στο Σχήμα 4.1.

Ο εκχυλιστής Bollman είναι επίσης ένα μηχάνημα που χρησιμοποιείται για κυτταρώδη υλικά, τα οποία δε θρυματίζονται με την εκχύλιση. Αυτός είναι ένας συνεχώς κινούμενος εκχυλιστής με στρώματα, που αποτελούνται από μια σειρά διάτρητων δίσκων τοποθετημένων όπως στο αναβατόριο με κάδους.

Μια συνεχής μονάδα με αντιρροή για την έκπλυση χονδρόκοκκων στερεών είναι ο ταξινομητής με δίσκους Dorr, του οποίου η λειτουργία φαίνεται παραστατικά στο Σχήμα 4.2. Επίσης, αναφέρεται η συνεχής μονάδα, που φαίνεται παρακάτω στο Σχήμα 4.3 και χρησιμοποιείται κι αυτή για την έκπλυση χονδρόκοκκων στερεών.



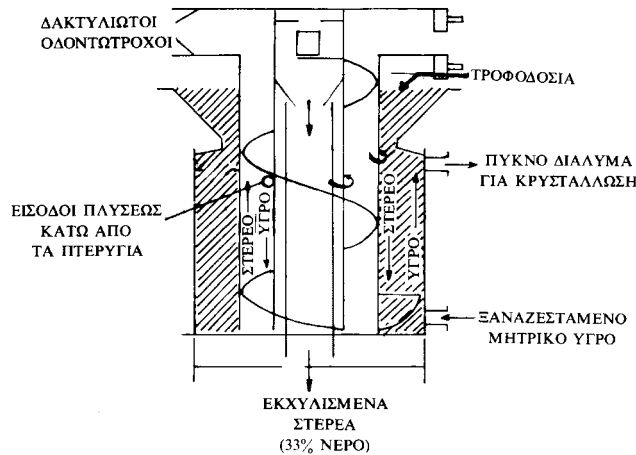
Σχήμα 4.1. Ασυνεχής εγκατάσταση για την εκχύλιση σπορέλαιου.



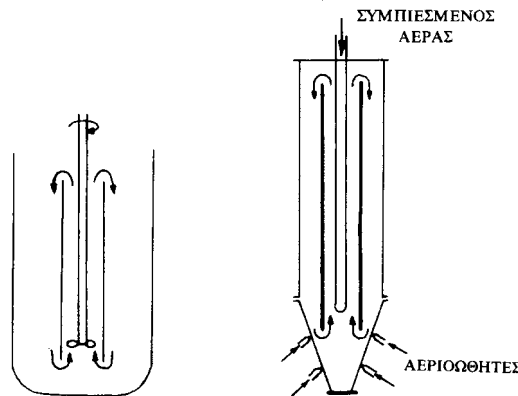
Σχήμα 4.2. Ροή στερεών και υγρού στον ταξινομητή Dorr.

Ενώ τα χονδρόκοκκα στερεά, όπως είδαμε παραπάνω, μπορούν να εκχυλισθούν με τη δίοδο του διαλύτη μέσα από ένα στρώμα υλικού, τα μικρομερή στερεά προσφέρουν μεγάλη αντίσταση στη ροή. Σωματίδια μικρότερα περίπου από

45 μm μπορούν να κρατηθούν σε αιώρηση μόνο με λίγη ανάδευση που επιτυγχάνεται με τη χρήση μηχανικού αναδευτήρα ή συμπιεσμένου αέρα. Επειδή η ολική επιφάνεια είναι μεγάλη, μια ικανοποιητική εκχύλιση πραγματοποιείται σε λογικό χρονικό διάστημα. Αλλά, λόγω της μικρής ταχύτητας κατακάθισης και της μεγάλης επιφάνειας, οι μετέπειτα λειτουργίες του διαχωρισμού και της πλύσης είναι πιο δύσκολες για τα λεπτά σωματίδια. Μια απλή μονάδα έκπλυσης παρουσιάζεται στο Σχήμα 4.4. Ακόμη εδώ αναφέρουμε τη δεξαμενή Pachuca (Σχήμα 4.5) και τον αναδευτήρα Dorr που χρησιμοποιούν συμπιεσμένο αέρα για ανάδευση.



Σχήμα 4.3. Συνεχής δεξαμενή έκπλυσης.

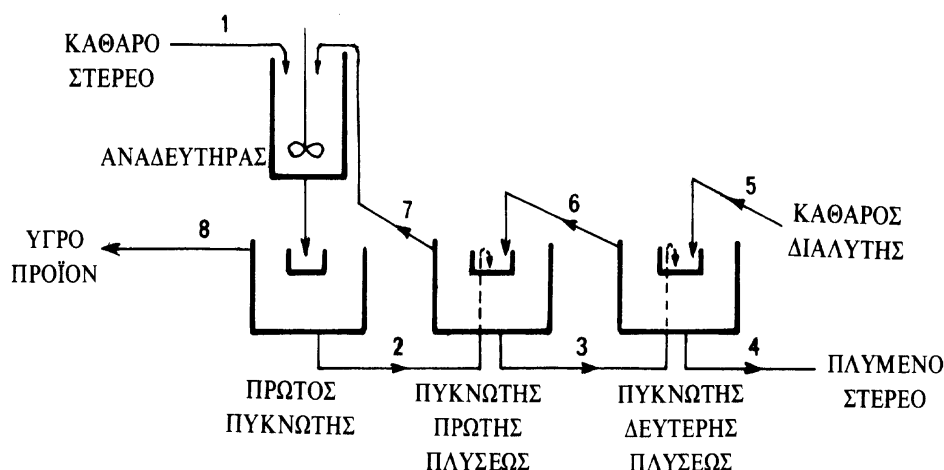


Σχήμα 4.4. Απλή δεξαμενή με ανάδευση Σχήμα 4.5. Δεξαμενή Pachuca.

4.4 ΠΛΥΣΗ ΚΑΤ' ΑΝΤΙΡΡΟΗ

Όταν το στερεό υπόλειμμα μετά το διαχωρισμό είναι ακόμη αναμιγμένο με ικανή ποσότητα διαλύματος, γενικά, είναι επιθυμητό να περάσει μέσα από μια συστοιχία πλυντηρίων, που είναι τοποθετημένα έτσι ώστε να δίνουν αντιρροή των στερεών και του διαλύτη - όπως δείχνει το Σχήμα 4.6. Αν τα στερεά είναι σχετικώς αδρομερή, μπορεί να χρησιμοποιηθεί ένας αριθμός **ταξινομητών** και με την πιο συνηθισμένη περίπτωση των λεπτόκοκκων στερεών εφαρμόζονται οι **πυκνωτές (ή παχυντές)**.

Στην κάθε μονάδα ένα υγρό, που είναι γνωστό σαν **υπερροή** (ή **άνω ροή**) και ένα μίγμα αδιάλυτου υπολείμματος και διαλύματος, που αναφέρεται σαν **υπορροή** (ή **κάτω ροή**) έρχονται σε στενή επαφή, για να επιτευχθεί καλή ανάμιξη. Το διάλυμα που απομακρύνεται ως υπερροή έχει την **ίδια** σύσταση με αυτό, που σχετίζεται με τα στερεά, ως υπορροή. Θεωρούμε ότι τα στερεά τεμαχίδια, λόγω του βάρους των, εμφανίζονται μόνο στην κάτω ροή. Κάθε μια τέτοια μονάδα τότε αποτελεί μια ιδανική βαθμίδα. Σε μερικές περιπτώσεις μπορεί να μην επιτευχθεί τέλεια ανάμιξη και θα πρέπει να ληφθεί υπόψη η χαμηλότερη απόδοση αυτών των σταδίων.



Σχήμα 4.6. Σύστημα για ανάδευση και πλύση.

Με τη βοήθεια μιας σειράς **ισοζυγίων μάζας** μπορούν να υπολογισθούν οι συνθέσεις σε όλα τα ρεύματα στο σύστημα, που φαίνεται στο σχήμα, με την υπόθεση ότι όλη η διαλυόμενη ουσία έχει διαλυθεί και ότι σε κάθε πυκνωτή υπάρχει ισορροπία. Σε πολλές περιπτώσεις είναι απαραίτητο να βρεθούν οι συνθέσεις των ρευμάτων εισόδου και εξόδου και γι' αυτό χρησιμοποιούνται απλουστευμένες μέθοδοι, όπως θα δούμε.

Για να ορίσουμε πλήρως ένα τέτοιο σύστημα θα πρέπει να προσδιορισθούν οι έξι ποσότητες που αναφέρονται παρακάτω. Οι πρώτες τέσσερις σχετίζονται με τις ποσότητες και τις συνθέσεις των υλικών που χρησιμοποιούνται. Η πέμπτη ποσότητα προδιαγράφει τον τρόπο, με τον οποίο η κάθε μονάδα λειτουργεί και η έκτη περιλαμβάνει είτε τον αριθμό των μονάδων, είτε μια αναφορά στην απόδοση που απαιτείται από την εγκατάσταση. Οι ποσότητες αυτές είναι :

- 1) Η σύνθεση του διαλύτη με τον οποίο τροφοδοτείται το σύστημα.
- 2) Η ποσότητα του διαλύτη που χρησιμοποιήθηκε.
- 3) Η σύνθεση του στερεού που θα εκπλυθεί.
- 4) Η ποσότητα του στερεού με την οποία τροφοδοτείται το σύστημα.
- 5) Η ποσότητα του υγρού που εκρέει με το στερεό στην υπορροή του κάθε πυκνωτή.
- 6) Ο αριθμός και η θέση των μονάδων.

4.5 Γραφικές μέθοδοι υπολογισμού του αριθμού των βαθμίδων για την πλήση κατά αντιρροή

4.5.1 ΧΡΗΣΗ ΟΡΘΟΓΩΝΙΟΥ ΤΡΙΓΩΝΙΚΟΥ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΟΣ

Ας υποθέσουμε ότι μια ολική μάζα F ενός υλικού εισάγεται σε ένα πυκνωτή και διαχωρίζεται σε μάζα w' υπερροής και μια μάζα W' υποροής. Θα υποτεθεί ότι όλο το αδιάλυτο στερεό εμφανίζεται στην υποροή.

Ένα ισοζύγιο μάζας τότε δίνει :

$$F = W' + w' \quad (4.4)$$

Αν z , y και x οι κλασματικές συστάσεις των F , w' και W' , αντίστοιχα, για διαλυτή ουσία A , το αδιάλυτο στερεό B , ή το διαλύτη S , τότε κάνοντας ένα ισοζύγιο μάζας σε οποιοδήποτε συστατικό θα έχουμε :

$$F z = W' x + w' y$$

ή

$$(W' + w') z = W' x + w' y \quad (4.5)$$

και

$$z = \frac{(W' x + w' y)}{(W' + w')} \quad (4.6)$$

Έτσι, για τη διαλυτή ουσία και το διαλύτη αντίστοιχα θα ισχύει :

$$z_A = \frac{(W' x_A + w' y_A)}{(W' + w')}, \quad z_S = \frac{(W' x_S + w' y_S)}{(W' + w')}$$

Η σύνθεση του μίγματος τριών συστατικών μπορεί να παρασταθεί σε ένα διάγραμμα ορθογωνίου ισοσκελούς τριγώνου. Η αναλογία της διαλυτής ουσίας A στο μίγμα γράφεται ως τετμημένη, και η αναλογία του διαλύτη ως τεταγμένη. Σε ό,τι αφορά την αναλογία του αδιάλυτου στερεού, αυτή λαμβάνεται ως η διαφορά. Έστω ότι το σημείο a (z_A , z_S) παριστάνει τη σύνθεση του υλικού που τροφοδοτείται στον πυκνωτή, το σημείο b (x_A , x_S) τη σύνθεση της υποροής και το σημείο c (y_A , y_S) τη σύνθεση της υπερροής, όπως φαίνεται στο Σχήμα 4.7

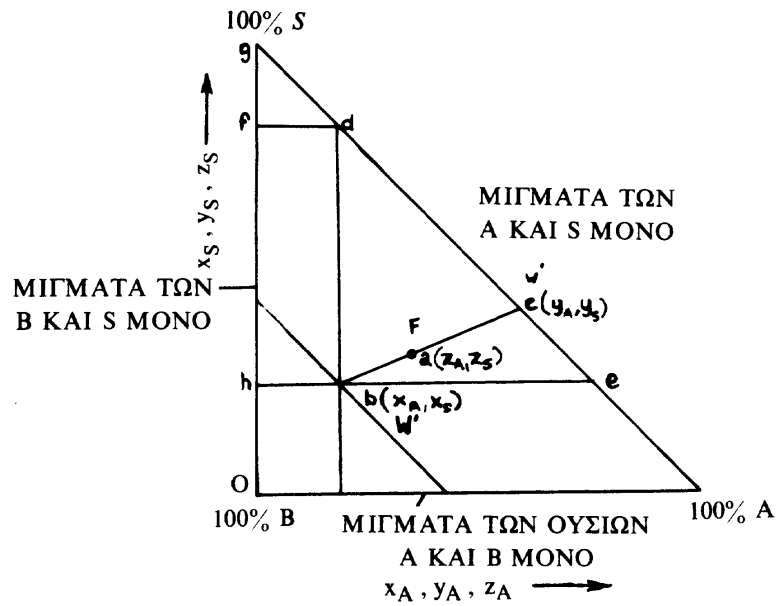
Η κλίση της γραμμής ab δίνεται από τη σχέση :

$$\frac{z_S - x_S}{z_A - x_A} = \frac{\frac{W' x_S + w' y_S}{W' + w'} - x_S}{\frac{W' x_A + w' y_A}{W' + w'} - x_A} = \frac{w' y_S - w' x_S}{w' y_A - w' x_A} = \frac{(y_S - x_S)}{(y_A - x_A)} \quad (4.7)$$

Αλλά η κλίση της γραμμής bc είναι επίσης $(y_S - x_S) / (y_A - x_A)$, άρα τα a , b και c βρίσκονται στην ίδια ευθεία γραμμή. Έτσι αν δύο ρεύματα αναμιχθούν, η σύνθεση του μίγματος θα δίνεται από κάποιο σημείο πάνω στη γραμμή που ορίζουν τα δύο σημεία, τα οποία παριστάνουν τις συνθέσεις των δύο ρευμάτων. Όμοια, αν ένα ρεύμα αφαιρείται από κάποιο άλλο, η σύνθεση του ρεύματος που προκύπτει θα κείται σε κάποιο σημείο στην προέκταση της αντίστοιχης ευθείας γραμμής που παράγεται. Η θέση του σημείου θα εξαρτηθεί από τις σχετικές ποσότητες των δύο ρευμάτων.

Από την εξίσωση (4.5) παίρνουμε :

$$(W' + w') z = W' x + w' y,$$



Σχήμα 4.7. Παράσταση ενός μίγματος τριών συστατικών σε διάγραμμα ορθογώνιου τριγώνου.

άρα
και

$$w' (z - y) = W' (x - z),$$

$$\frac{w'}{W'} = \frac{x - z}{z - y} = \frac{x_A - z_A}{z_A - y_A} = \frac{x_S - z_S}{z_S - y_S} \quad (4.8)$$

Κατά αυτό τον τρόπο, το σημείο που παριστάνει το μίγμα διαιρεί τη γραμμή bc έτσι ώστε $ba / ac = w' / W'$.

Αυτό σημαίνει ότι το a είναι πιο κοντά στο σημείο που αντιστοιχεί στο μεγαλύτερο ρεύμα.

Η αναλογία του αδιάλυτου στερεού στην υπορροή, για παράδειγμα, δίνεται από τη σχέση :

$$x_A + x_S + x_B = 1,$$

άρα

$$x_S = -x_A + (1 - x_B) \quad (4.9)$$

Οι γραμμές που παριστάνουν σταθερές τιμές του x_B είναι επομένως ευθείες με κλίση -1 . Δηλαδή, είναι παράλληλες στην υποτείνουσα του ορθογώνιου τριγώνου και η τομή με οποιοδήποτε άξονα θα βρίσκεται σε απόσταση $(1 - x_B)$. Άρα, η υποτείνουσα παριστάνει μίγματα που δεν περιέχουν αδιάλυτο στερεό και μπορεί να αποδώσει τις συστάσεις όλων των δυνατών υπερροών.

Επίσης, από τη γεωμετρία του διαγράμματος θα έχουμε :

$$fd = fg = x_A$$

και

$$Oh = x_S$$

Έτσι

$$fh = bd = be$$

και

$$fh = 1 - x_A - x_S = x_B .$$

Δηλαδή η αναλογία του τρίτου συστατικού, του αδιάλυτου στερεού B δίνεται από την απόσταση του σημείου από την υποτείνουσα, μετρημένη σε διεύθυνση παράλληλη σε οποιοδήποτε από τους κύριους άξονες.

Σημεία που βρίσκονται μέσα στο τρίγωνο παριστάνουν τις συστάσεις πραγματικών μιγμάτων τριών συστατικών. Η κάθε γωνία παριστάνει ένα καθαρό συστατικό και η κάθε μία από τις πλευρές παριστάνει ένα μίγμα δύο συστατικών. Αν δύο ρεύματα αναμιγνύονται, η σύνθεση του ρεύματος που προκύπτει παίρνεται αμέσως από ένα σημείο πρόσθεσης, που πρέπει να κείται μέσα στο διάγραμμα. Η σύσταση του υλικού που προκύπτει από την ανάμιξη ενός αριθμού ρευμάτων μπορεί να βρεθεί συνδυάζοντας τα ρεύματα ανά δύο.

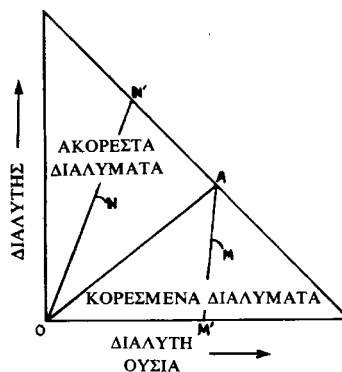
Αν ένα ρεύμα αφαιρεθεί από κάποιο άλλο, ακολουθείται μια παρόμοια τακτική για τον υπολογισμό της σύστασης του εναπομείναντος. Το σημείο που παίρνουμε είναι γνωστό σαν **σημείο διαφοράς** και βρίσκεται στην προέκταση της γραμμής που ενώνει τα δύο σημεία, και πιο κοντά στην πλευρά του σημείου που παριστάνει το μικτό ρεύμα.

Αν προσπαθήσουμε να αφαιρέσουμε από ένα ρεύμα, περισσότερο από ένα ορισμένο συστατικό απ' ό,τι πραγματικά υπάρχει, η σύσταση του ρεύματος που θα προκύψει θα είναι **φανταστική**, και θα παρίσταται από κάποιο σημείο έξω από το τρίγωνο. Η ιδέα αυτή του φανταστικού σημείου διαφοράς είναι χρήσιμη στην εφαρμογή σε λειτουργίες αντιρροής.

4.5.2 ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΟΥ ΚΟΡΕΣΜΟΥ

Όταν η διαλυτή ουσία βρίσκεται αρχικά σαν στερεό, η ποσότητα που μπορεί να διαλυθεί σε ορισμένη ποσότητα διαλύτη περιορίζεται από τη διαλυτότητα του υλικού. Ένα κορεσμένο διάλυμα του διαλύτη θα παριστάνεται με ένα σημείο όπως το A, στην υποτείνουσα του τριγωνικού διαγράμματος στο Σχήμα 4.8.

Η γραμμή OA παριστάνει τις συνθέσεις όλων των δυνατών μιγμάτων του κορεσμένου διαλύματος με αδιάλυτο στερεό, αφού το x_S/x_A είναι σταθερό σε όλα τα σημεία σε αυτή τη γραμμή. Το τμήμα του τριγώνου πάνω από την OA παριστάνει ακόρεστα διαλύματα αναμιγμένα με αδιάλυτο στερεό B. Αν ένα μίγμα, που παριστάνει κάποιο σημείο N, διαχωρίζεται σε στερεό και υγρό, θα δώσει ένα στερεό με σύνθεση που αναπαριστάνεται από το σημείο O (δηλ. καθαρό συστατικό B) και ένα ακόρεστο διάλυμα N'.



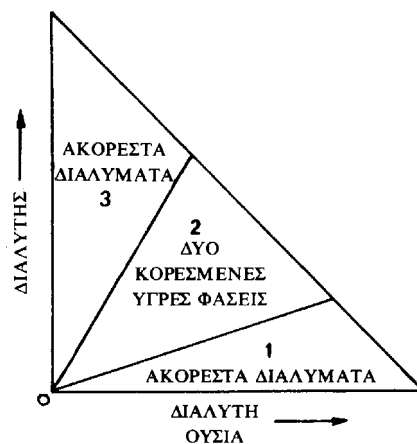
Σχήμα 4.8. Επίδραση του κορεσμού με στερεά διαλυτή ουσία

Το κατώτερο τμήμα του διαγράμματος παριστάνει μίγματα αδιάλυτου στερεού, μη διαλυμένης διαλυτής ουσίας και κορεσμένου διαλύματος. Έτσι αν ένα μίγμα Μ διαχωρίζεται σε υγρό και στερεό κλάσμα, θα δώσει ένα υγρό, που δείχνει το σημείο Α (δηλ. κορεσμένο διάλυμα) και ένα στερεό, που αποτελείται από συστατικό Β και αδιάλυτο Α, Μ'.

Αν η διαλυτή ουσία είναι αρχικά σε υγρή μορφή και ο διαλύτης είναι τέλεια αναμίξιμος με αυτή, όλο το τρίγωνο θα παριστάνει ακόρεστες συνθήκες. Αν ο διαλύτης και η διαλυτή ουσία δεν είναι τέλεια αναμίξιμοι, η περιοχή μπορεί να διαιρεθεί σε τρεις ευδιάκριτες περιοχές, όπως φαίνονται στο Σχήμα 4.9.

Στην περιοχή 1, ο διαλύτης βρίσκεται ως ένα ακόρεστο διάλυμα στη διαλυτή ουσία. Στην περιοχή 2, το υγρό αποτελείται από δύο φάσεις, ένα κορεσμένο διάλυμα του Α στο S και ένα κορεσμένο διάλυμα του S στο Α, σε διάφορες αναλογίες. Στην περιοχή 3, το υγρό αποτελείται από ένα ακόρεστο διάλυμα της διαλυτής ουσίας στο διαλύτη.

Σε εγκατάσταση στην οποία ο διαλύτης χρησιμοποιείται για να πλύνει την προσαρτημένη στοιβάδα του διαλύματος από την επιφάνεια του αδιάλυτου στερεού, το διάλυμα που σχηματίζεται ως αποτέλεσμα της ανάμιξης (σε οποιαδήποτε μονάδα) θα είναι ακόρεστο. Σε μια εγκατάσταση εκχύλισης κανονικά χρησιμοποιείται ικανή ποσότητα διαλύτη, ώστε να διαλυθεί τέλεια η διαλυτή ουσία· δηλαδή στην πράξη τα διαλύματα σπάνια φθάνουν στον κορεσμό.



Σχήμα 4.9. Επίδραση του κορεσμού με υγρή διαλυτή ουσία.

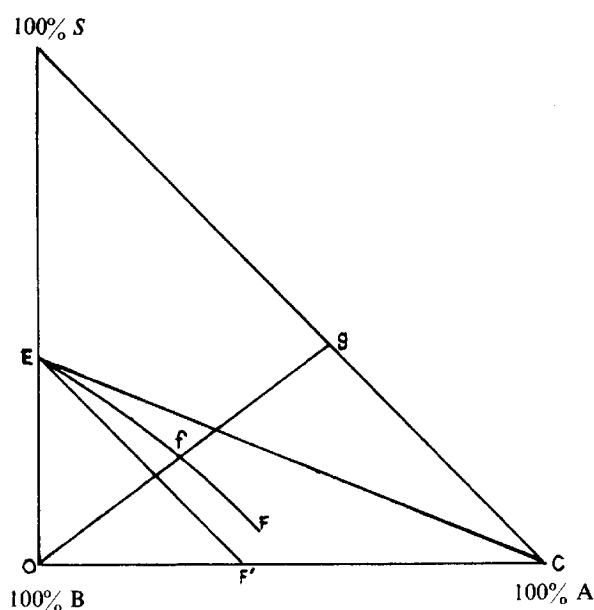
4.5.3 ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΤΗΣ ΥΠΟΡΡΟΗΣ

Θεωρώντας τη βιομηχανική μονάδα (που έχει πολλές βαθμίδες), σε οποιαδήποτε βαθμίδα ισορροπίας, η ποσότητα του διαλύματος στην υπορροή μπορεί να είναι συνάρτηση της συγκέντρωσης του διαλύματος στον πυκνωτή. Και η συγκέντρωση του διαλύματος της υπερροής θα είναι η ίδια με αυτή της υπορροής. Έστω, ότι η καμπύλη EF (Σχήμα 4.10) παριστάνει την πειραματικά ευρισκόμενη σύνθεση της υπορροής για διάφορες συγκεντρώσεις. Το κάθε σημείο f σε αυτή τη γραμμή παριστάνει τη σύνθεση ενός μίγματος του καθαρού Β με διάλυμα συνθέσεως g. Το Of/fg είναι η αναλογία του διαλύματος προς τα στερεά στην υπορροή.

Αν η ποσότητα του διαλύματος που απομακρύνεται στην υπορροή δεν επηρεάζεται από τη συγκέντρωσή του, τότε η κλασματική σύσταση της υπορροής με αναφορά στο αδιάλυτο υλικό B (x_B) είναι σταθερή και παριστάνεται με ευθεία γραμμή που περνά από το E και είναι παράλληλη στην υποτείνουσα. Έστω ότι αυτή είναι η EF'.

Το σημείο E παριστάνει τη σύνθεση της υπορροής, όταν το διάλυμα είναι απείρως αραιό, δηλαδή όταν αποτελείται από καθαρό διαλύτη A. Αν K είναι η μάζα του διαλύματος που απομακρύνεται στην υπορροή ανά μονάδα μάζας των στερεών, η τεταγμένη του E θα δίνεται από τη σχέση:

$$x_S = \frac{K}{K+1} .$$



Σχήμα 4.10. Παράσταση του ρεύματος υπορροής.

Η εξίσωση της γραμμής EF' είναι επομένως:

$$x_S = -x_A + \frac{K}{K+1} \quad (4.10)$$

Αν τώρα η αναλογία του διαλύτη προς το αδιάλυτο στερεό είναι σταθερή και ίση με s στην υπορροή, η γραμμή EF θα είναι ευθεία και θα περνά από την κορυφή C του τριγώνου, που αντιστοιχεί σε καθαρή διαλυτή ουσία A. Άρα σε αυτή την περίπτωση το E θα έχει συντεταγμένες:

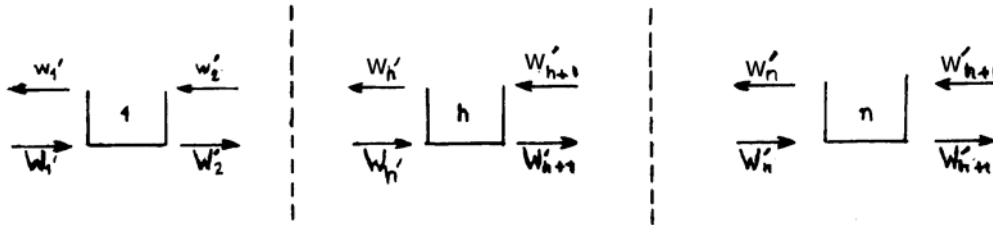
$$x_A = 0, \quad x_S = \frac{s}{s+1} .$$

4.5.4 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΝΤΙΡΡΟΗΣ

Ας θεωρήσουμε ένα σύστημα αντιρροής που αποτελείται από n πυκνωτές, όπως δείχνει το Σχήμα 4.11. Η καθαρή ροή προς τα δεξιά θα πρέπει απαραίτητα να είναι

σταθερή σε όλο το σύστημα. Αν σε ενδιάμεσα σημεία υλικού δεν έχουμε είσοδο ή έξοδο υλικού, τότε θα ισχύει:

$$\text{Καθαρή ροή προς τα δεξιά} = F' = W'_h - w'_h, \quad \text{κτλ.}$$



Σχήμα 4.11. Σύστημα εκχύλισης με αντιρροή.

Το σημείο που παριστάνει το ρεύμα F' θα είναι σημείο διαφοράς, αφού θα παριστάνει σύνθεση του ρεύματος που πρέπει να προστεθεί στο w'_h για να δώσει W'_h . Γενικά, σε ένα σύστημα αντιρροής αυτού του είδους, η καθαρή ροή όλων των συστατικών δε θα είναι προς την ίδια κατεύθυνση. Έτσι μια (ή περισσότερες) από τις κλασματικές συστάσεις σε αυτό το διαφορικό ρεύμα θα είναι αρνητική. Επομένως, το σημείο διαφοράς θα κείται έξω από το τρίγωνο. Ένα ισοζύγιο σ' όλο το σύστημα δίνει:

$$W'_1 - w'_1 = W'_{n+1} - w'_{n+1}$$

και

$$W'_1 x_1 - w'_1 y_1 = W'_{n+1} x_{n+1} - w'_{n+1} y_{n+1} \quad (4.11)$$

για οποιοδήποτε από τα τρία συστατικά.

Η ολική καθαρή ροή του υλικού προς τα δεξιά σε κάποιο ενδιάμεσο σημείο θα είναι:

$$W'_h - w'_h$$

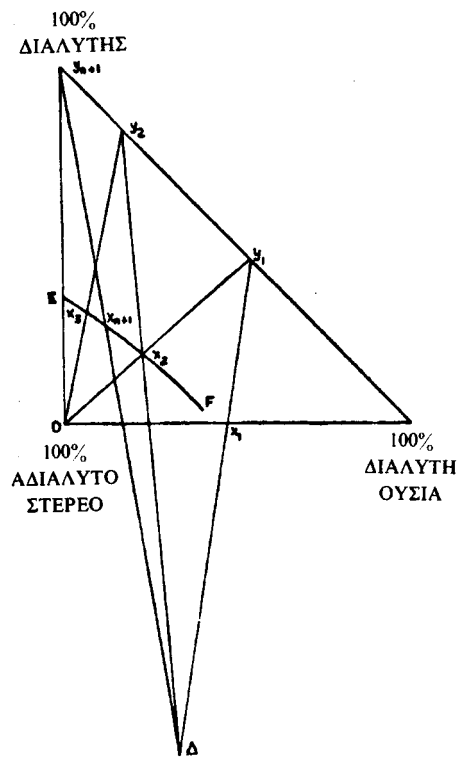
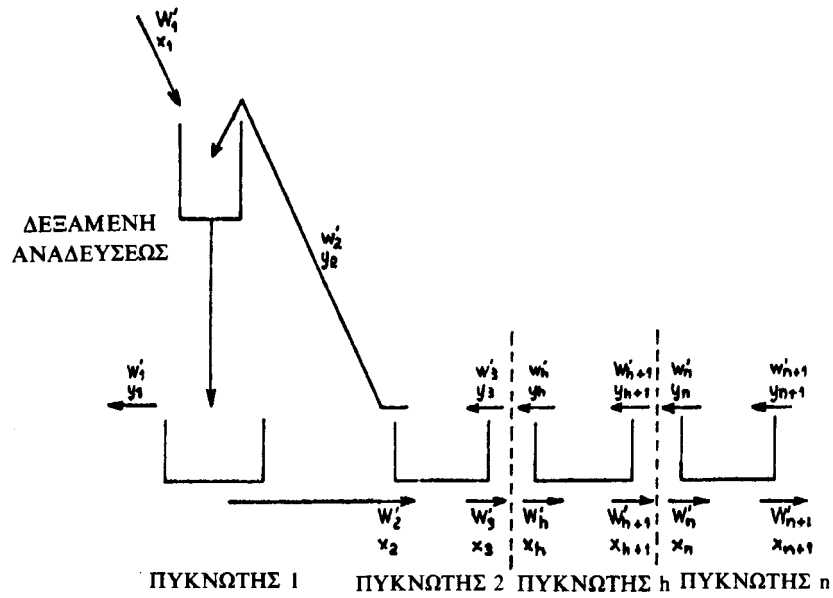
και η καθαρή ροή ενός από τα συστατικά: $W'_h x_h - w'_h y_h$

Η κλασματική σύσταση του ρεύματος που ρέει προς τα δεξιά, όσον αφορά ένα από τα συστατικά του, δίνεται από τη σχέση:

$$x_d = \frac{W'_h x_h - w'_h y_h}{W'_h - w'_h} \quad (4.12)$$

Αν η κατεύθυνση της ροής αυτού του συστατικού είναι προς τα δεξιά το x_d είναι θετικό, αλλά αν είναι προς τα αριστερά, το x_d είναι αρνητικό. Για ένα σύστημα πλύσης με αντιρροή, η καθαρή ροή του διαλύτη σε κάθε βαθμίδα θα είναι προς τα αριστερά, έτσι ώστε το x_{dS} να είναι αρνητικό. Η διαλυτή ουσία και το αδιάλυτο υπόλειμμα θα ρέει προς τα δεξιά, κάνοντας τα x_{dA} και x_{dB} θετικά.

Ας θεωρήσουμε ένα σύστημα, όπως αυτό που φαίνεται στο Σχήμα 4.12 (πάνω τμήμα), όπου ένα ξηρό στερεό εκχυλίζεται με ένα καθαρό διαλύτη, και καθορίζονται οι συστάσεις του στερεού και του διαλύτη και οι παροχές. Είναι επιθυμητό να πλύνουμε το εναπομείναν στερεό ώστε να έχει ένα ορισμένο βαθμό καθαρότητας, και να υπολογίσουμε τον αριθμό των πυκνωτών που απαιτούνται για να επιτευχθεί αυτό.



Σχήμα 4.12. Γραφική μέθοδος λύσης με τριγωνικό διάγραμμα για ένα σύστημα πλύσης-ανάδευσης κατ' αντιρροή.

Οι συνθέσεις του στερεού προς εκχύλιση, του πλυμένου στερεού και του διαλύτη θα είναι αντίστοιχα x_1 , x_{n+1} και y_{n+1} . Κατά αυτόν τον τρόπο, από ένα ισοζύγιο μάζας σε ολόκληρη την εγκατάσταση μπορεί να υπολογισθεί η σύνθεση y_1 του συγκεντρωμένου διαλύματος, που αφήνει το σύστημα.

Το σημείο διαφοράς που παριστάνει τη σύνθεση του καθαρού ρεύματος του υλικού που ρέει προς τα δεξιά σε όλες τις βαθμίδες, πρέπει να κείται στην ευθεία γραμμή που περνά από τα σημεία x_1 και y_1 (Σχ. 4.12 κάτω τμήμα). Το σημείο x_1 έχει συντεταγμένες (x_{A1}, x_{S1}) , όπου το x_{A1} είναι η σύνθεση του ξηρού στερεού, που τροφοδοτείται στο σύστημα και το x_{S1} είναι μηδέν, γιατί το στερεό αυτό δεν έχει διαλύτη. Το σημείο y_1 παριστάνει τη σύνθεση του πυκνού διαλύματος που εκρέει από την εγκατάσταση και θα βρίσκεται στην υποτείνουσα του τριγώνου. Το σημείο διαφοράς θα βρίσκεται στη γραμμή που περνά από τα σημεία x_{n+1} και y_{n+1} . Τώρα, το x_{n+1} που είναι η σύνθεση του τελικού προϊόντος στην υπορροή, θα βρίσκεται στη γραμμή EF που παριστάνει τις συνθέσεις όλων των δυνατών υπορροών και που κατασκευάζεται από πειραματικά δεδομένα για την ποσότητα του διαλύματος, που εκρέει στην υπορροή, για διάφορες συγκεντρώσεις στους πυκνωτές. Επειδή χρησιμοποιείται καθαρός διαλύτης για πλύση, το y_{n+1} θα βρίσκεται στην πάνω κορυφή του τριγώνου. Έτσι, παίρνεται το σημείο διαφοράς και το σημείο τομής αυτών των δύο ευθειών. Σημειώνεται στο σχήμα με το Δ.

Επειδή το σημείο διαφοράς παριστάνει τη διαφορά μεταξύ της υπορροής και της υπερροής σε κάθε σημείο στο σύστημα, είναι τώρα δυνατό να υπολογισθούν οι συνθέσεις όλων των ρευμάτων, θεωρώντας τον κάθε πυκνωτή με τη σειρά. Για τη δεξαμενή ανάδευσης και τον πυκνωτή 1, η υπορροή σύνθεσης x_2 θα περιέχει αδιάλυτο στερεό αναμεμιγμένο με διάλυμα της ίδιας συγκέντρωσης σαν κι αυτή της υπερροής y_1 , με την προϋπόθεση ότι έχουν επιτευχθεί συνθήκες ισορροπίας στον πυκνωτή. Όλα αυτά τα μίγματα διαλύματος και αδιάλυτου στερεού παριστάνονται με συνθέσεις πάνω στη γραμμή Oy_1 . Αφού αυτό το ρεύμα είναι υπορροή, η σύνθεσή της επίσης θα δίνεται από ένα σημείο στη γραμμή EF. Έτσι το x_2 δίνεται από το σημείο τομής των EF και Oy_1 . Η σύνθεση y_2 του ρεύματος υπερροής από τον πυκνωτή 2 πρέπει να βρίσκεται στην υποτείνουσα του τριγώνου και ακόμα στη γραμμή που περνά από τα σημεία Δ και x_2 . Άρα υπολογίζεται η σύνθεση y_2 .

Με αυτό τον τρόπο είναι δυνατό να βρεθούν οι συστάσεις όλων των ρευμάτων στο σύστημα. Η διαδικασία επαναλαμβάνεται ώσπου η ποσότητα της διαλυτής ουσίας στην υπορροή να έχει ελαττωθεί σε μια τιμή όχι μεγαλύτερη από τη x_{n+1} , και ο αριθμός των πυκνωτών στη συνέχεια μετριέται εύκολα. Για το απλό παράδειγμα που παρέχεται απαιτούνται μόνο δύο πυκνωτές.

Η υπολογιστική αυτή μέθοδος μπορεί να εφαρμοσθεί σε οποιοδήποτε σύστημα, εφόσο ρεύματα του υλικού δεν εισέρχονται ή εξέρχονται σε κάποιο ενδιάμεσο σημείο. Αν θεωρούσαμε μόνο το σύστημα πλύσης, το αδιάλυτο στερεό θα εισαγόταν όχι ως καθαρό στερεό ελεύθερο διαλύτη, αλλά ως η υπορροή του πυκνωτή όπου διαχωρίζεται το μίγμα από τον αναδευτήρα. Έτσι το x_1 θα βρισκόταν στη γραμμή EF, αντί του άξονα A που βρίσκεται στο διάγραμμα.

4.6 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΑΡΙΘΜΟΥ ΤΩΝ ΣΤΑΔΙΩΝ ΠΛΥΣΗΣ ΚΑΤΑ ΑΝΤΙΠΡΟΗ

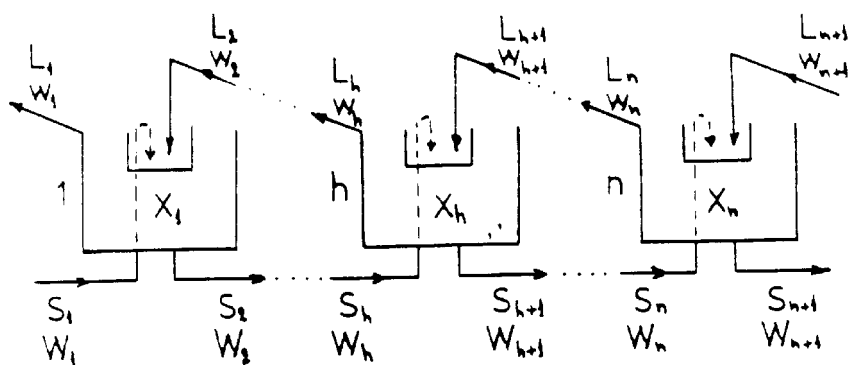
Σε μια συστοιχία πυκνωτών ή παχυντών τοποθετημένων σε σειρά για πλύση αντιρροής συχνά γίνονται, για απλουστευτικούς λόγους για τους υπολογισμούς, μια σειρά από υποθέσεις. Αν η ποσότητα της διαλυτής ουσίας που απομακρύνεται με το αδιάλυτο στερεό (που, λόγω του βάρους του, πάντα βρίσκεται) στην υπορροή ή κάτω

ροή είναι σταθερή, και ανεξάρτητη της συγκέντρωσης του διαλύματος στον πυκνωτή, τότε επίσης η ποσότητα του χρησιμοποιούμενου διαλύτη που αφήνει την καθεμιά από τις δεξαμενές στην υποροή θα είναι η ίδια. Άρα και ο λόγος του διαλύτη στην έξοδο της υπερροής προς αυτόν στην υποροή, σ' αυτή την περίπτωση, είναι σταθερός. Ο λόγος αυτός συμβολίζεται ως R, όπου:

$$R = (\text{ποσότητα εξερχόμενου διαλύτη στην υπερροή}) / (\text{ποσότητα εξερχόμενου διαλύτη στην υποροή}).$$

Αν στις δεξαμενές αυτές συμβαίνει τέλεια ανάμιξη και η διαλυτή ουσία δεν προσροφάται κατά προτίμηση στην επιφάνεια του στερεού, τότε η συγκέντρωση του διαλύματος στην υπερροή θα είναι η ίδια με αυτή στην υποροή (δηλ. πρόκειται για το ίδιο διάλυμα). Αν τέλος υποθεθεί ότι όλη η διαλυτή ουσία μεταφέρεται στο διάλυμα με την παρατεταμένη επαφή, τότε ο λόγος R συγχρόνως είναι ο ίδιος αν εκφρασθεί είτε ως προς τη διαλυτή ουσία είτε ως προς το διάλυμα. Σημειώνεται ότι οι σχέσεις αυτές εφαρμόζονται μόνο για τους πυκνωτές πλύσης και δεν αφορούν τον πρωτογενή πυκνωτή του διαχωρισμού, όπου αρχικά περνά το προϊόν από τον αντιδραστήρα ανάμιξης. Επομένως, αν βρεθεί ο αριθμός των απαιτούμενων πυκνωτών πλύσης σ' αυτόν πρέπει να προστεθεί η μονάδα (για τον πυκνωτή διαχωρισμού).

Το σύστημα (Σχήμα 4.13) που θεωρούμε τώρα αποτελείται από n πυκνωτές πλύσης τοποθετημένους κατά αντιροή, για την πλύση ενός στερεού από μια εγκατάσταση έκπλυσης. Η παρακάτω επεξεργασία βασίζεται στη μονάδα μάζας του αδιάλυτου στερεού.



Σχήμα 4.13. Πλύση κατ' αντιροή σε σειρά πυκνωτών

Έστω ότι $L_1, \dots, L_h, \dots, L_n$ είναι οι ποσότητες της διαλυτής ουσίας στις υπερροές από τους πυκνωτές πλύσης 1 έως n, αντίστοιχα, και $w_1, \dots, w_h, \dots, w_n$ είναι οι αντίστοιχες ποσότητες του διαλύματος. Μια ποσότητα w_{n+1} υγρού πλύσης, που τροφοδοτείται στο νιοστό πυκνωτή, περιέχει L_{n+1} ποσότητα διαλυτής ουσίας. Έστω ακόμα ότι $S_2, \dots, S_{h+1}, \dots, S_{n+1}$ και $W_2, \dots, W_{h+1}, \dots, W_{n+1}$ αντίστοιχα είναι οι ποσότητες της διαλυτής ουσίας και του διαλύματος στις υποροές από τους πυκνωτές. Οι ποσότητες της διαλυτής ουσίας και του διαλύματος με τα στερεά που τροφοδοτούνται στο σύστημα για πλύση θα είναι S_1 και W_1 αντίστοιχα. Ο διαλύτης που σχετίζεται μ' αυτά τα στερεά λαμβάνεται ως ίδιος μ' αυτό στις υποροές από τους πυκνωτές πλύσης. Κάνουμε λοιπόν τα ισοζύγια μάζας για τη διαλυτή ουσία για τον κάθε πυκνωτή στη σειρά.

Αφού

$$R = \frac{L_n}{S_{n+1}} \quad (4.13)$$

Για τον πυκνωτή n θα έχουμε:

$$S_n - S_{n+1} = L_n - L_{n+1} = RS_{n+1} - L_{n+1} \quad (4.14)$$

Πυκνωτής n-1:

$$S_{n-1} - S_n = L_{n-1} - L_n = RS_n - RS_{n+1} = R(S_n - S_{n+1}) = R^2 S_{n+1} - RL_{n+1}$$

.....

Πυκνωτής 2:

$$S_2 - S_3 = L_2 - L_3 = RS_3 - RS_4 = R^{n-1} S_{n+1} - R^{n-2} L_{n+1}$$

Πυκνωτής 1:

$$S_1 - S_2 = L_1 - L_2 = RS_2 - RS_3 = R^n S_{n+1} - R^{n-1} L_{n+1}$$

Προσθέτοντας για όλο το σύστημα παίρνουμε

$$S_1 - S_{n+1} = (R + R^2 + \dots + R^n) S_{n+1} - (1 - R + \dots + R^{n-1}) L_{n+1} \quad (4.15)$$

Αν το υγρό υπερροής που τροφοδοτείται στο σύστημα είναι καθαρός διαλύτης (δηλ. δεν περιέχει καθόλου διαλυτή ουσία) τότε $L_{n+1}=0$ και άρα

$$S_1 = \left(\frac{R^{n+1} - 1}{R - 1}\right) S_{n+1} \quad \text{ή} \quad \frac{S_{n+1}}{S_1} = \frac{R - 1}{R^{n+1} - 1} \quad (4.16)$$

Το (S_{n+1}/S_1) παριστάνει το κλάσμα της διαλυτής ουσίας που τροφοδοτείται στο σύστημα και παραμένει συνδεδεμένο με τα πλυμένα στερεά. Η εξίσωση αυτή χρησιμοποιείται στη λύση ασκήσεων, συνήθως για την εύρεση του αριθμού των απαιτούμενων πυκνωτών.

Σε περίπτωση μη σταθερής υποροής, δηλ. που είναι συνάρτηση της συγκέντρωσης του διαλύματος στον πυκνωτή, ισχύουν άλλες σχέσεις (όπως χαρακτηριστικά φαίνεται στο δεύτερο μέρος του σχετικού προβλήματος με τη χρωστική ουσία TiO_2),

Αν συμβολίσουμε με το X τη συγκέντρωση του διαλύματος σε κάθε πυκνωτή (που ως γνωστό ορίζεται ως η αναλογία της διαλυτής ουσίας προς το διάλυμα), θεωρώντας την υπερροή από τον πυκνωτή h

$$X_h = \frac{L_h}{w_h} \quad (4.17)$$

και για την υποροή

$$X_h = \frac{S_{h+1}}{W_{h+1}} \quad (4.18)$$

Έτσι έχουμε:

$$X_1 = \frac{L_{n+1} + S_1 - S_{n+1}}{w_{n+1} + W_1 - W_{n+1}} \quad (4.19)$$

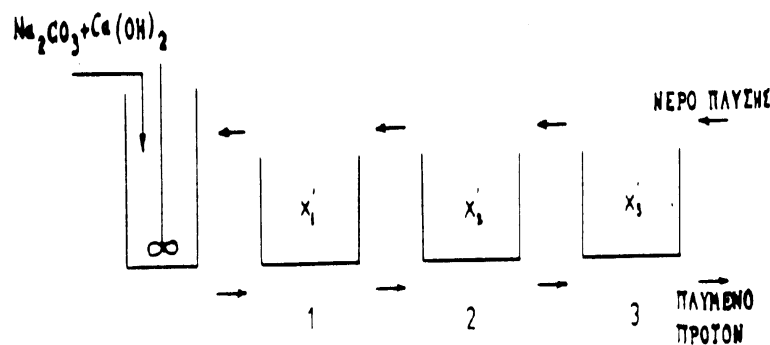
και

$$X_{h+1} = \frac{L_{n+1} - S_{n+1} + S_{h+1}}{w_{n+1} - W_{n+1} + W_{h+1}} \quad (4.20)$$

Οι εξισώσεις αυτές προκύπτουν αν πάρουμε τα ισοζύγια μάζας για τη διαλυτή ουσία και το διάλυμα πρώτα για όλο το σύστημα και μετά για τους πρώτους h πυκνωτές (βλ. τα Προβλήματα 4.3 & 4.4 έκπλυσης με το διοξείδιο του τιτανίου).

4.7 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΕΚΠΛΥΣΗΣ

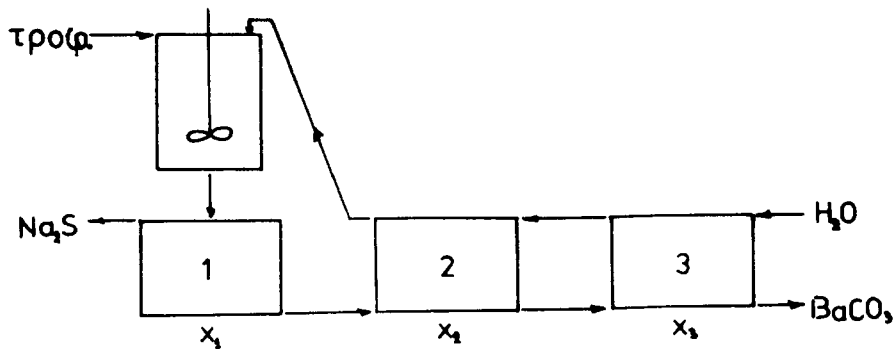
Πρόβλημα 4.1. Η καυστική σόδα παράγεται με την επεξεργασία ενός διαλύματος ανθρακικού νατρίου σε νερό (25 kg/s Na_2CO_3) με τη θεωρητική απαίτηση σε υδροξείδιο του ασβεστίου. Αφού γίνει πλήρως η αντίδραση, ο πολφός του ανθρακικού ασβεστίου, που περιέχει 1 μέρος CaCO_3 / 9 μέρη νερού, τροφοδοτείται συνεχώς σε τρεις πυκνωτές (παχυντές) σε σειρά και πλένεται κατ' αντιρροή. Να υπολογιστεί η απαραίτητη παροχή της τροφοδοσίας ουδέτερου νερού στους πυκνωτές, ώστε το ανθρακικό ασβέστιο κατά την ξήρανση να περιέχει μόνο 1% υδροξείδιο του νατρίου. Το στερεό που εκρέει από κάθε πυκνωτή περιέχει 1 μέρος κ.β. CaCO_3 / 3 μέρη νερού. Το πυκνό υγρό της πλύσης αναμιγνύεται με τα περιεχόμενα του αναμίκτη, πριν τροφοδοτηθεί ο πρώτος πυκνωτής, όπως δείχνει το σχήμα.



Σχήμα 4.14. Παραγωγή καυστικής σόδας του Προβλήματος 4.1.

(Σημ. Η έκπλυση (Σ/Υ εκχύλιση) και η Υ/Υ εκχύλιση (με διαλύτη) είναι οι βασικές διεργασίες της υδρομεταλλουργίας. Οι δύο αυτές διεργασίες αποτελούν εφαρμογές της μεταφοράς μάζας.)

Πρόβλημα 4.2. Σε μια εγκατάσταση (βλ. σχήμα) παράγεται ανθρακικό βάριο από την αντίδραση ανθρακικού νατρίου με θειούχο βάριο. Οι ποσότητες που τροφοδοτούνται συνεχώς στον αντιδραστήρα κάθε μέρα είναι 20 Mg θειούχου βαρίου διαλυμένου σε 60 Mg νερού, μαζί με τη θεωρητικά απαιτούμενη ποσότητα ανθρακικού νατρίου. Υπάρχουν τρεις πυκνωτές σε σειρά στο σύστημα έκπλυσης κατ' αντιρροή. Η υπερροή από το δεύτερο πυκνωτή πηγαίνει στον αναμίκτη και η υπερροή από τον πρώτο πυκνωτή έχει 10% θειούχο νάτριο. Η λάσπη από όλους τους πυκνωτές μεταφέρει δύο μέρη νερού σε ένα μέρος BaCO_3 κ.β. Να βρεθεί πόσο θειούχο νάτριο παραμένει στο ανθρακικό βάριο μετά την καταβύθιση και ξήρανση.



Σχήμα 4.15. Παραγωγή ανθρακικού βαρίου στο Πρόβλημα 4.2.

Πρόβλημα 4.3. Μια εγκατάσταση παράγει 100 kg/s διοξειδίου του τιτανίου που θα χρησιμοποιηθεί σαν χρωστική ουσία και θα πρέπει να είναι 99,9% καθαρή μετά την ξήρανση. Η χρωστική ουσία παράγεται με καταβύθιση και το υλικό κατά τη διαδικασία παρασκευής μολύνεται με 1 kg διαλύματος άλατος, που περιέχει 0,55 kg άλατος, ανά kg TiO_2 . Το υλικό πλένεται κατ' αντιστροφή με νερό (διαλύτης) σε ένα αριθμό πυκνωτών τοποθετημένων στη σειρά. Να βρεθεί πόσοι πυκνωτές θα απαιτηθούν, αν προσθέτουμε νερό με παροχή 200 kg/s. Το στερεό που εκρέει από κάθε πυκνωτή απομακρύνει 0,5 kg διαλύτη/kg TiO_2 . Δίνεται ακόμα ότι το πυκνό υγρό της πλύσης αναμιγνύεται με το υλικό που τροφοδοτείται στον πρώτο πυκνωτή.

(Σημ. Ισχύει η σχέση:

$$\frac{S_{n+1}}{S_1} = \frac{R-1}{R^{n+1}-1}).$$

Πρόβλημα 4.4 Αναφερόμενοι στο προηγούμενο πρόβλημα, να βρεθεί ο απαιτούμενος αριθμός των πυκνωτών, αν η ποσότητα του απομακρυνόμενου διαλύματος σε σχέση με τη χρωστική ουσία ποικίλει κατά τον ακόλουθο τρόπο με τη συγκέντρωση του διαλύματος στον πυκνωτή.

Συγκέντρωση διαλύματος (kg διαλυτής ουσίας / διαλύματος)	Ποσότητα απομακρυν. διαλ. (kg διαλύματος / χρωστικής ουσ.)
0,0	0,30
0,1	0,32
0,2	0,34
0,3	0,36
0,4	0,38
0,5	0,40

Πρόβλημα 4.5. Ξερή άμμος από μια παραλία, που περιέχει 1% κ.β. αλάτι, έχει παροχή 0,4 kg/s και πρόκειται να πλυθεί με 0,4 kg/s καθαρό νερό κατ' αντιστροφή σε δύο ταξινομητές σε σειρά. Υποτίθεται ότι συμβαίνει τέλεια ανάμιξη της άμμου και του νερού και ότι η άμμος που φεύγει από κάθε ταξινομητή περιέχει 1 μέρος νερού σε κάθε 2 μέρη άμμου κ.β. Αν η πλυμένη άμμος μετά την πλύση ξεραθεί σε ένα ξηραντήριο (τύπου καμίνου), να βρεθεί σε τι ποσοστό περιέχει αλάτι. Ακόμα, να

υπολογιστεί η απαιτούμενη παροχή πλύσης σε ένα μόνο ταξινομητή, ώστε να πλυθεί η άμμος το ίδιο καλά.

Πρόβλημα 4.6. Σε μια εγκατάσταση αντιρροής εκχυλίζονται σπόροι, που περιέχουν 20% κ.β. έλαιο, και ανακτάται το 90% του ελαίου σε ένα διάλυμα που περιέχει 50% κ.β. έλαιο. Αν γίνεται η διεργασία με καθαρό διαλύτη και στην υπορροή απομακρύνεται 1 kg διαλύματος σε συνάρτηση με κάθε 2 kg αδιάλυτου στερεού, να βρεθούν πόσα ιδανικά στάδια απαιτούνται.

Πρόβλημα 4.7. Ένα ιχθυέλαιο παράγεται από το λεπτοκομμένο συκώτι του αντίστοιχου είδους ιχθύος (μουρούνας), σε μια πολλαπλή συσκευή έκπλυσης κατ' αντιρροή, χρησιμοποιώντας σαν διαλύτη αιθέρα. Η τροφοδοσία σε στερεά (συκώτι) περιέχει 0,35 kg ελαίου ανά kg εκχυλισμένου συκωτιού και είναι επιθυμητή μια ανάκτηση ελαίου 90%. Να βρεθούν γραφικά (με ορθογώνιο τριγωνικό διάγραμμα) πόσα θεωρητικά στάδια απαιτούνται, όταν χρησιμοποιούνται 50 kg αιθέρα για 100 kg μη επεξεργασμένων στερεών.

Τα δεδομένα συμπαράσυρσης (δηλαδή ποσότητα διαλύματος που ακολουθεί τα στερεά) φαίνονται στον Πίνακα μαζί με τις μετατροπές σε κλάσματα μάζας για τη γραμμή υπορροής.

Συγκέντρωση (kg ελαίου/kg διαλύματος)	Συμπάρσυρση (kg διαλύμ./kg εκχυλ. συκ.)	Αναλογία (kg / kg εκχυλισμένο συκώτι)			Κλάσμα μάζας	
		Έλαιο [3] =[1]x[2]	Αιθέρας [4]=[2]- [3]	Υπορροή [5] =(1,0)+[2]	x_A [6] =[3]:[5]	x_S [7] =[4]:[5]
[1]	[2]					
0	0,28	0	0,280	1,280	0	0,219
0,10	0,34	0,034	0,306	1,340	0,025	0,228
0,20	0,40	0,080	0,320	1,400	0,057	0,228
0,30	0,47	0,141	0,329	1,470	0,096	0,223
0,40	0,55	0,220	0,330	1,550	0,142	0,212
0,50	0,66	0,330	0,330	1,660	0,199	0,198
0,60	0,80	0,480	0,320	1,800	0,255	0,170
0,67	0,96	0,643	0,317	1,960	0,328	0,162

(Σημείωση: Η λειτουργία της έκπλυσης συμπίπτει με μια από τις γραμμές του πίνακα.)