

**ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΣΕΡΡΩΝ
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ**

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΑΣ

**ΔΙΕΡΓΑΣΙΑ ΑΠΟΣΤΑΞΗΣ
ΠΑΡΑΔΟΣΙΑΚΗ ΑΠΟΣΤΑΞΗ ΣΤΕΜΦΥΛΩΝ**



Εισηγητής:
ΠΡΟΒΙΣΤΑΛΗΣ ΣΤΕΦΑΝΟΣ

Σπουδαστής:
ΧΡΙΣΤΟΠΟΥΛΟΣ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ

ΣΕΡΡΕΣ 2010

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 – Ιστορικά.....	2
Εν αρχή ην η άμπελος.....	2
1.2 ... και ακολούθησε η απόσταξη.....	3
1.3 Απόσταξη στεμφύλων.....	10
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2- Η παραγωγή του τσίπουρου.....	14
2.1 Παραδοσιακή Παρασκευή του τσίπουρου.....	16
2.1.1. Παραδοσιακή οινοποίηση.....	16
2.1.2. Παραδοσιακή απόσταξη.....	19
2.1.3. Άμβυκας.....	29
2.1 Σύγχρονη διαδικασία παρασκευής του τσίπουρου.....	37
2.2.1. Σύγχρονη οινοποίηση.....	38
2.2.2. Σύγχρονη απόσταξη και αποστακτικές συσκευές.....	40
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3- Η διεργασία της απόσταξης.....	47
3.1 Βρασμός – Εξάτμιση – Συμπύκνωση.....	47
3.2 Ισορροπία ατμών – υγρού.....	48
3.3 Φυσικοχημικοί νόμοι και εξισώσεις της απόσταξης.....	52
3.4 Μέθοδοι απόσταξης.....	62
3.4.1 Διαφορική απόσταξη – Παραδοσιακός άμβυκας.....	63
3.4.2. Απόσταξη – Κλασματική στήλη.....	66
3.4.2.1. Τα ρεύματα των δίσκων.....	72
3.4.2.2. Οι τύποι των δίσκων.....	75
3.4.2.3. Οι εξισώσεις των γραμμών λειτουργίας.....	76
3.4.2.4. Η τροφοδοσία και η αναρροή στην απόσταξη.....	79

*

**ΑΠΟΤΥΠΩΣΗ ΣΧΕΔΙΟΥ ΡΑΚΟΚΑΖΑΝΟΥ ΣΤΗΝ ΚΡΗΝΙΑΔΑ ΣΕΡΡΩΝ
ΣΤΟ ΑΠΟΣΤΑΚΤΗΡΙΟ ΤΟΥ Κ. ΧΑΡΑΛΑΜΠΟΓΛΟΥ**

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: Ιστορικά

Η ιστορία ενός παραδοσιακού αποστάγματος, όπως το τσίπουρο ή η τσικουδιά, είναι συνυφασμένη με την εξέλιξη των παραγόντων εκείνων που συμβάλλουν στη διαμόρφωσή του. Διερευνώντας, λοιπόν, την προέλευση του τσίπουρου, όπως διαγράφεται στο βάθος του χρόνου, παρατηρούμε ότι συνδέεται άμεσα τόσο με την πρώτη ύλη (στέμφυλα σταφυλιών)¹ όσο και με την τεχνογνωσία της απόσταξης.

1.1. Έν αρχή ήν ή άμπελος...

Η άμπελος είναι ένα από τα αρχαιότερα φυτά στη γη, προϊόν της οποίας είναι το σταφύλι. Ο γλυκός χυμός του, μέσω της αλκοολικής ζύμωσης, μετατρέπεται σε οίνο. Ένα προϊόν ευλογημένο, το οποίο - χάρη στην ευφορία που προκαλεί η πόση του και χάρη στις άλλες ευεργετικές επιδράσεις του - αποτελεί εξαίρετο αρωγό στην προσπάθεια του ανθρώπου να επιβιώσει στο αφιλόξενο και τραχύ φυσικό περιβάλλον.

Ήδη, από τους βιβλικούς χρόνους, επιβεβαιώνεται η δυνατότητα παρασκευής οίνου από τον άνθρωπο και αναφέρεται η ιδιαίτερη σχέση μεταξύ τους. Ο οίνος συνόδευε ανελλιπώς τον άνθρωπο σε όλες τις εκδηλώσεις του:

«... και εκάθησεν ή κιβωτός έν μην) τω έβδομω, έβδομη και είκάδι τοϋ μηνός, έπι τα όρη τα 'Αραράτ (Η:4) ... και ήρξατο Νώε άνθρωπος γεωργός γης και έφύτευσεν αμπελώνα (Θ:20) ... και έπιεν έκ τοϋ οίνου και έμεθυσθη και έγυμνώθη έν τω οίκω αυτού (Θ:21)...»

Γένεσις

Μολονότι υπάρχουν ενδείξεις για προγενέστερη χρονικά εκμετάλλευση των καρπών της αγρίας αμπέλου, το βέβαιο είναι ότι - σύμφωνα με παραστάσεις, κείμενα και άλλα ευρήματα - η αμπελοκαλλιέργεια και η οινοπαραγωγή ήταν γνωστές στην Ελλάδα από το 3000 π.Χ.

Η άποψη ότι η αμπελοκαλλιέργεια εισήχθη από το χώρο του Καυκάσου, τελευταία, εγκαταλείπεται ενώ επικρατεί αυτή της προοδευτικής εξέλιξης της καλλιέργειας αυτοφυών φυτών. Εξάλλου, η αρχαία παράδοση αναφέρει: «... άμπελον ευρεθήναι εν Ολυμπία παρά τον Αλφειόν...» (Φάκλαρης, 1999).

Σε κάθε περίπτωση είναι γνωστό ότι βρέθηκαν γίγαρτα άγριας αμπέλου από το 11000 π.Χ. στο σπήλαιο Φράγχθι Αργολίδας.

1. Τα νομοθετικά, κυρίως, κείμενα αναφέρονται σε *στέμφυλα σταφυλιών*, χωρίς αυτό να σημαίνει ότι ο όρος *στέμφυλα* είναι γενικός για όλους τους νωπούς καρπούς. Απεναντίας, ο εν λόγω όρος εννοεί τον πολτό που απομένει από την πίεση των σταφυλιών και για το λόγο αυτό αποφεύγουμε στο εξής τον πλεονασμό «*στέμφυλα σταφυλιών*». Η πιστή μετάφραση από τη γαλλική γλώσσα του όρου «*marc de raisins*», που στην ελληνική σημαίνει κατά λέξη «*στέμφυλα σταφυλιών*», οδήγησε προφανώς στον προαναφερόμενο πλεονασμό.

Στην Αρχαία Ελλάδα, λοιπόν, η άμπελος αποδίδει τους καρπούς της προς βρώση και τον οίνο προς πόση στους αφοσιωμένους δουλευτές της, τους αμπελουργούς και οινοπαραγωγούς.

Έτσι, συναντάμε εξαιρετικές περιγραφές οίνων και οινοποσιών στα Ομηρικά έπη, *Ιλιάδα* και *Οδύσσεια*, ενώ αξιοσημείωτο είναι το γεγονός της καθιέρωσης εορτών όπως τα *Ανθεστήρια*, τα *Διονύσια* και τα *Δήνια* κατά τις οποίες λατρευόταν ο Θεός της αμπέλου και του οίνου, ο Διόνυσος.

Ωστόσο, από τους αρχαίους Έλληνες δεν έλλειπε η αίσθηση του μέτρου. Στις κοινωνικές τους εκδηλώσεις, όταν έπαιρναν μέρος στα συμπόσια, για να διατηρούν την ευφορία και τη διαύγεια του πνεύματος τους σε άριστη κατάσταση, ο οίνος πινόταν «*κεκραμένος*² *ύδατι*», δηλαδή αναμειγμένος με νερό. Η ανάμιξη γινόταν σε αναλογία ένα προς ένα ή τρία προς ένα, με περισσότερο βέβαια το νερό. Έτσι προέκυψε και ο νεώτερος όρος κρασί, που στην κυριολεξία σημαίνει νερωμένος οίνος. Ο Πλούταρχος, εξάλλου, τον 1^ο αι. μ.Χ. στα «*Ηθικά*», εκφράζοντας το πνεύμα αυτό, αναφέρει:

«...*ἀφαιρεί ἢ κράσις τοῦ οἴνου τό βλάπτον οὐ συναναιρούσα τό χρήσιμον...*», δηλαδή «...*ἡ ανάμιξη τοῦ οἴνου με νερό ἀφαιρεί τα ἐπιβλαβή συστατικά, χωρίς να ἀφαιρεί τα χρήσιμα...*».

Από την Αρχαία Ελλάδα η άμπελος διαδίδεται μέσω της Σικελίας (8^{ος} αι. π.Χ.) και της Μασσαλίας (7^{ος} αι. π.Χ.) στις νέες αποικίες και σε όλο τον τότε γνωστό κόσμο. Αργότερα, οι Ρωμαίοι διαδίδουν σε ολόκληρη την επικράτειά τους την καλλιέργεια της αμπέλου. Μετά την εξάπλωση του Χριστιανισμού σημαντική υπήρξε στη διάδοσή της η συμβολή των μοναστηριών, τα οποία διέθεταν μεγάλες γεωργικές εκτάσεις, προνόμια και τεχνογνωσία σχετικά με την αμπελουργία και οινοποίηση.

1.2. ...και ακολούθησε η απόσταξη

Η απόσταξη ήταν γνωστή στον πρωτόγονο ακόμα άνθρωπο. Αποτέλεσε μέθοδο διαχωρισμού του νερού και της αλκοόλης, σε ένα αλκοολούχο υγρό, με σκοπό την απόκτηση ενός προϊόντος με μεγαλύτερη περιεκτικότητα σε αλκοόλη. Κατά τη διαδικασία αυτή ο άνθρωπος δεν χρησιμοποίησε τον άμβυκα ή τουλάχιστο δεν τον χρησιμοποίησε με την έννοια που ξέρουμε σήμερα. Εφάρμοσε, ωστόσο, διαδικασίες πρωτότυπες για την εποχή του και πολύ αποτελεσματικές. Πρόκειται για τις λεγόμενες πρωτόγονες αποστάξεις (Salle et Salle, 1982), οι οποίες σήμερα είναι περισσότερο γνωστές ως μέθοδοι συμπύκνωσης ή διαχωρισμού και ανέρχονται στις παρακάτω τρεις περιπτώσεις.

Η πρώτη είναι γνωστή ως μέθοδος των *θερμών λίθων*: Σύμφωνα με αυτή, υπέρθερμοι λίθοι βυθίζονταν σε ζυμωμένα προϊόντα και προκαλούσαν, με την προοδευτική άνοδο της θερμοκρασίας, την έκλυση ατμών. Οι πρώτοι ατμοί

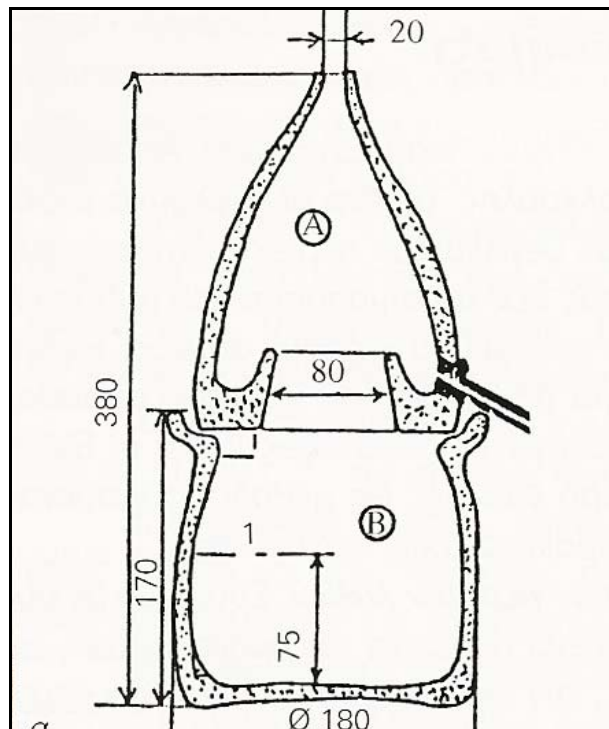
2. *Κεκραμένος*: Μετοχή παρακειμένου μέσης φωνής του ρήματος κεράννυμι (= αναμιγνύω). Ενεστώτας μέσης φωνής: *κεράννυμαι*. Παρακείμενος μέσης φωνής: *κέκραμαι*.

συλλέγονταν σε σπόγγους, μαλλί και υφάσματα που στη συνέχεια στύβονταν και έδιναν το αλκοολούχο υγρό. Μερικοί συγγραφείς ανεβάζουν χρονικά την εφαρμογή της διαδικασίας αυτής σε 30.000 - 80.000 χρόνια (Donaz, 1977).

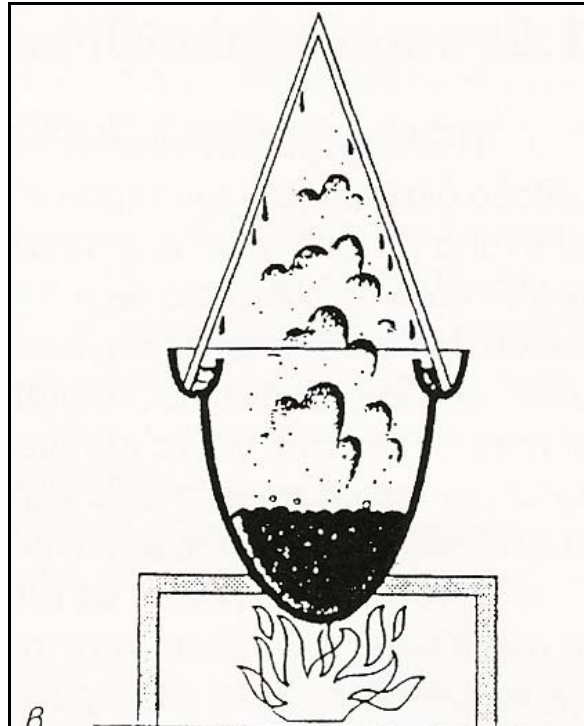
Η δεύτερη μέθοδος είναι γνωστή ως «*απόσταξη με ψύχος*» και είναι πάντα επίκαιρη: Για το σκοπό αυτό το αλκοολούχο υγρό ψύχεται στους $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$, με αποτέλεσμα την κρυσταλλοποίηση του νερού που περιέχεται σ' αυτό. Οι παγοκρύσταλλοι που σχηματίζονται απομακρύνονται προοδευτικά, επιτυγχάνοντας έτσι τη συμπύκνωση της αλκοόλης.

Η τρίτη μέθοδος αποτελεί τρόπο απομάκρυνσης του νερού με τη *διήθηση* του αλκοολούχου προϊόντος. Πραγματοποιούνταν με την τοποθέτηση του υγρού προϊόντος μέσα σε μια κρεμασμένη ουροδόχο κύστη ζωικής προέλευσης, αποξηραμένη. Τα τοιχώματα της κύστης συμπεριφέρονται ως μια επιλεκτική διηθητική μεμβράνη που επιτρέπει την απομάκρυνση των μορίων του νερού, ενώ συγκρατεί άλλα με μεγαλύτερο μοριακό βάρος στα οποία συμπεριλαμβάνεται και η αιθυλική αλκοόλη (οινόπνευμα).

Η διαδικασία, όμως, της απόσταξης με τη βοήθεια άμβυκα δεν είναι γνωστό πότε άρχισε. Πολλοί συγγραφείς έδωσαν ως πειστήριο της «αρχαιότητας» του άμβυκα την απόσταξη ροδόνηρου, που εφαρμοζόταν ήδη στη Μεσοποταμία από την 4^η π.Χ. χιλιετηρίδα (Salle et Salle, 1982). Ωστόσο, δε συγκεντρώθηκαν επαρκή στοιχεία που να το επιβεβαιώνουν. Χωρίς να γνωρίζουμε αν πρόκειται για τα ίδια ευρήματα, στις αρχαιολογικές ανασκαφές της Tere Gawra - που βρίσκεται 20 km ανατολικά της Μοσούλης του σημερινού βόρειου Ιράκ - βρέθηκαν πήλινα δοχεία περιεκτικότητας 37 λίτρων ανάλογα με μικρούς άμβυκες (εικ. 1.1 α, β).



Εικ. 1.1α Πρόδρομος τύπος αποστακτήρα της Αρχαίας Μεσοποταμίας (α) τομή.



(Roget et Garreau, 1991)

Εικ. 1.1α Πρόδρομος τύπος αποστακτήρα της Αρχαίας Μεσοποταμίας
(β) αναπαράσταση.

Τα ευρήματα αυτά χρονολογούνται από τη Νεολιθική εποχή (3500 π.Χ.), δηλαδή από την εγκατάσταση του ανθρώπου σε πρωτόγονες κουζίνες, και συνδέονται με πιθανές προσπάθειες απόσταξης. Το κωνικό τους σκέπασμα και η εσωτερική του διαμόρφωση με περιμετρικό χείλος περιεκτικότητας 2 λίτρων και αγωγό συλλογής του συμπυκνώματος ενισχύουν την άποψη ότι πρόκειται για υποτυπώδη άμβυκα (Roget et Garreau, 1991), ο οποίος χρησιμοποιήθηκε για την παραγωγή φαρμάκων και αρωμάτων, χωρίς να αποκλείεται και η παρασκευή αποσταγμάτων εμπλουτισμένων σε αλκοόλη.

Στη χώρα μας, η ακμή του Μυκηναϊκού πολιτισμού, από το 16^ο π.Χ. αιώνα και μετά, και τα αξιόλογα επιτεύγματα των Ελλήνων της εποχής εκείνης σε πολλούς τομείς συνετέλεσαν στο να αποδοθεί σε αυτούς η επινόηση του άμβυκα. Δεν αποκλείεται οι Έλληνες να είχαν πράγματι επιδοθεί στην κατασκευή και χρήση του άμβυκα. Βέβαιο είναι, πάντως, ότι - πολύ πριν από την περίοδο εκείνη - υπήρχαν αξιόλογοι Έλληνες τεχνίτες που γνώριζαν πολύ καλά την κατεργασία του χαλκού.

Η χρησιμοποίηση του άμβυκα στην αρχαία Αίγυπτο φαίνεται, επίσης, να ήταν πολύ διαδεδομένη το 13^ο αι. π.Χ. (Salle et Salle, 1982). Αν και ο περισσότερος κόσμος πιστεύει ότι η απόσταξη προέρχεται από τους Άραβες, εντούτοις είναι γνωστό από το Berthelot και μετά ότι οι χημικοί της Αλεξάνδρειας γνώριζαν τους άμβυκες πολύ πριν την κατακτητική δράση των Αράβων. Η τεχνική της απόσταξης ήταν γνωστή με σκοπό όχι την παρασκευή αλκοολούχων ποτών αλλά φαρμάκων κυρίως και καλλυντικών που χρησιμοποιούνταν στον καλλωπισμό των γυναικών.

Στην Ελλάδα, πάλι, ο Ησίοδος τον 7^ο αι. π.Χ. αναφέρει ότι ο άμβυκας είναι ένα δοχείο που χρησιμοποιείται για την απόσταξη υδραργύρου.

Αργότερα, ο Ιπποκράτης και ο Αριστοτέλης, στα πολυάριθμα έργα που μας άφησαν, αναφέρουν ότι οι Έλληνες του 5^{ου} και 4^{ου} π.Χ. αιώνα εφαρμόζαν την απόσταξη για τη μετατροπή του θαλασσινού νερού σε πόσιμο (Donaz, 1977 και Salle et Salle, 1982). Δεν είχαν αντιληφθεί, ίσως, ότι κατείχαν ταυτόχρονα και την αρχή λειτουργίας του άμβυκα.

«...έτι δ' ή υπό τού ηλίου αναγωγή του υγρού ομοία τοίς θερμαινομένης έστιν ύδασιν υπό πυρός,... το μεν αλμυρόν υπομένει δια το βάρος, το δέ γλυκύ και πόσιμον ανάγεται,... διά τήν ψύξιν συνισταμένης πάλιν της αναχθείσης ατιμίδος είς ύδωρ...»

Αριστοτέλης: *Μετεωρολογικά Β'*

Ένα άλλο γεγονός που συνηγορεί στην άποψη ότι ο άμβυκας είναι ελληνικής επινόησης και όχι αραβικής - όπως πιστεύουν πολλοί - είναι η ετυμολογία του όρου. Η λέξη *alambic*, που χρησιμοποιείται από τους Γάλλους για τον αποστακτήρα, και η σχεδόν όμοιά της *alembic*, που χρησιμοποιείται από τους Αγγλους και πιθανώς και από άλλους λαούς χωρίς μεγάλες διαφορές γραφής ή προφοράς, προέρχονται από την ελληνική λέξη *άμβυξ* (*ambix*), αφού προηγουμένως αραβοποιήθηκε με την προσθήκη του άρθρου *al* (*al ambic* → *alambic*). Η λέξη «άμβυξ» των αρχαίων Ελλήνων σημαίνει ένα είδος δοχείου με πλατιά κυκλική βάση που απολήγει σε στενό λαιμό. Πρόκειται για το λέβητα - δηλαδή το μέρος της αποστακτικής συσκευής που περιέχει το προς απόσταξη υλικό - και κατ' επέκταση για ολόκληρη τη συσκευή μαζί με το καπάκι του λέβητα, όπως θα τη δούμε πιο κάτω. Παρ' όλα αυτά, είναι πολύ πιθανό οι Έλληνες να μη γνώριζαν ακόμη την εποχή εκείνη την αλκοόλη γνώνιζαν όμως την κατεργασία του χαλκού και την απόσταξη. Οι Έλληνες, λαός απλός και λιτοδίαιτος, διατρέφονταν συχνά με φυτικά προϊόντα και δεν έλκονταν από δυνατά ποτά. Το γεγονός αυτό δεν τους δημιούργησε την ανάγκη ενίσχυσης των αλκοολούχων ποτών με την απόσταξη. Ο οίνος τους αρκούσε.

Έτσι, ενώ υπάρχουν πάμπολλες περιγραφές οινοποσίας, δεν υπάρχουν αναφορές σχετικές με την πόση αποσταγμάτων. Ωστόσο, ο Αθήναιος αναφέρει στους *Δειπνοσοφιστές* του (1^{ος} αι. π.Χ.) ένα ποτό το *τρίμμα*, το οποίο εικάζεται ότι ήταν αντίστοιχο του τσίπουρου και στο οποίο έβαζαν και πέταλα ευωδών ανθέων. Αλκοολούχο ποτό ήταν, επίσης, και τα *σίκερα* που αναφέρονται στην ίδια περίοδο όπως και μεταγενέστερα (Liddell και Scott, 1904).

Κατά την περίοδο των ελληνιστικών χρόνων, η απόσταξη αποτέλεσε αντικείμενο βαθειάς μελέτης από τους σοφούς της Αλεξάνδρειας, οι οποίοι με ταξύ των άλλων έθεσαν τα θεμέλια και ανέπτυξαν την επιστήμη της Χημείας.³

Η καταστροφή της βιβλιοθήκης της Αλεξάνδρειας (το 48 π.Χ. και το 391 μ.Χ.) μας στερεί τη δυνατότητα γνώσης του επιπέδου της επιστήμης εκείνη την εποχή και μοιραία τις πολύτιμες μαρτυρίες γύρω από την απόσταξη. Ωστόσο, υπάρχουν

3. Η περίοδος από τον 4^ο π.Χ. αι. ως τις αρχές του 16^{ου} μ.Χ. αι., στην ιστορία της Χημείας, καλείται περίοδος αλχημείας. Άρχισε με τους Έλληνες φιλόσοφους της Αιγύπτου, οι εμπειρίες και οι θεωρίες των οποίων επηρεασμένες από τις αντίστοιχες των Αράβων μεταφέρονται μετά τον 7^ο μ.Χ. αι. στην Ισπανία και στην Ιταλία. Στους χριστιανούς της Δύσης η αλχημεία άρχισε να διαδίδεται από το 13^ο αιώνα και μετά. Οι θεωρίες, τα αξιώματα και τα συμπεράσματα στηρίχθηκαν κυρίως πάνω σε υποθέσεις του Αριστοτέλη σε ό,τι έχει σχέση με την προέλευση, την εξέλιξη και τις μετατροπές της ύλης (Κούρτης και Μπάσιος, 1992).

απόψεις ότι προσπάθειες απόετυναξης είχαν γίνει ήδη από τη Νεολιθική εποχή (Roget et Garreau, 1991).

Από τα μέσα του 1^{ου} μ.Χ. αιώνα, ο Διοσκουρίδης μιλάει για άμβυκες αλλά δεν τους συνδέει με την παραγωγή αλκοόλης, ενώ περιγραφές αποστακτήρων αναφέρονται τον 4^ο αι. μ.Χ. και από το Ζώσιμο, τον πρώτο αλχημιστή συγγραφέα.

Λίγο αργότερα, το 320 μ.Χ. περίπου και με αποκορύφωμα τον 5^ο μ.Χ. αιώνα, η Αίγυπτος αποτελεί το χώρο όπου αναπτύσσονται οι πρώτες μονές με το κοινοβιακό σύστημα. Στις μονές αυτές καλλιεργούνταν η άμπελος και παρασκευαζόταν οίνος. Οι κλιματολογικές συνθήκες, όμως, δεν ευνοούσαν τη διατήρηση του οίνου κι ως εκ τούτου εφαρμόζονταν τεχνικές αρωματισμού με την προσθήκη γλυκάνισου και άλλων αρωματικών φυτών, για να καλυφθούν οι ατέλειές του. Κατόπιν, μέσα από τους δρόμους του Χριστιανισμού, θα διαδοθούν και οι γνώσεις της αμπελουργίας και της οινοτεχνίας σε Ευρώπη και Μ. Ασία.

Από την άλλη πλευρά εξελίσσεται η δραστηριότητα των Αράβων αλχημιστών. Οι Άραβες, όπως όλοι οι αλχημιστές της εποχής εκείνης, στην προσπάθειά τους να ανακαλύψουν την ουσία (*φιλοσοφική λίθο*) - που θα θεράπευε όλες τις ασθένειες αλλά και θα παρασκεύαζε χρυσό ή άργυρο από κατώτερα μέταλλα - ανακαλύπτουν ξανά και βελτιώνουν την τεχνική της απόσταξης. Σημειώνεται ότι οι Άραβες κυριαρχούν στην Αίγυπτο το 642 μ.Χ., ενώ το 755 μ.Χ. η Κόρδοβα, της κατακτημένης από αυτούς Ισπανίας, γίνεται το κέντρο του ισλαμικού πολιτισμού από όπου οι γνώσεις των αλχημιστών διαδόθηκαν αργότερα και στην υπόλοιπη Ευρώπη.

Οι αλχημιστές, από την εποχή ακόμη που διαδόθηκε ο ελληνικός πολιτισμός στην Ασία με το Μ. Αλέξανδρο αλλά και αργότερα, υπήρξαν οι πρωτεργάτες της Χημείας. Εκείνος, όμως, που επηρέασε περισσότερο τη δυτική αλχημεία και θεωρείται ο πατέρας της αραβικής αλχημείας είναι ο φιλόσοφος και γιατρός Jabir Ibn Hayan (Τζαμπίρ Ιμπν Χαγιάν: 721-815 μ.Χ.), ο οποίος υπήρξε - όπως λέγεται - γιος ενός Άραβα και μιας Περσίδας. Στα συγγράμματα του Τζαμπίρ, ανάμεσα στα άλλα, περιγράφονται η τεχνική της απόσταξης διαφόρων υγρών - αλλά όχι της αλκοόλης - και οι αντίστοιχες συσκευές που χρησιμοποιήθηκαν.

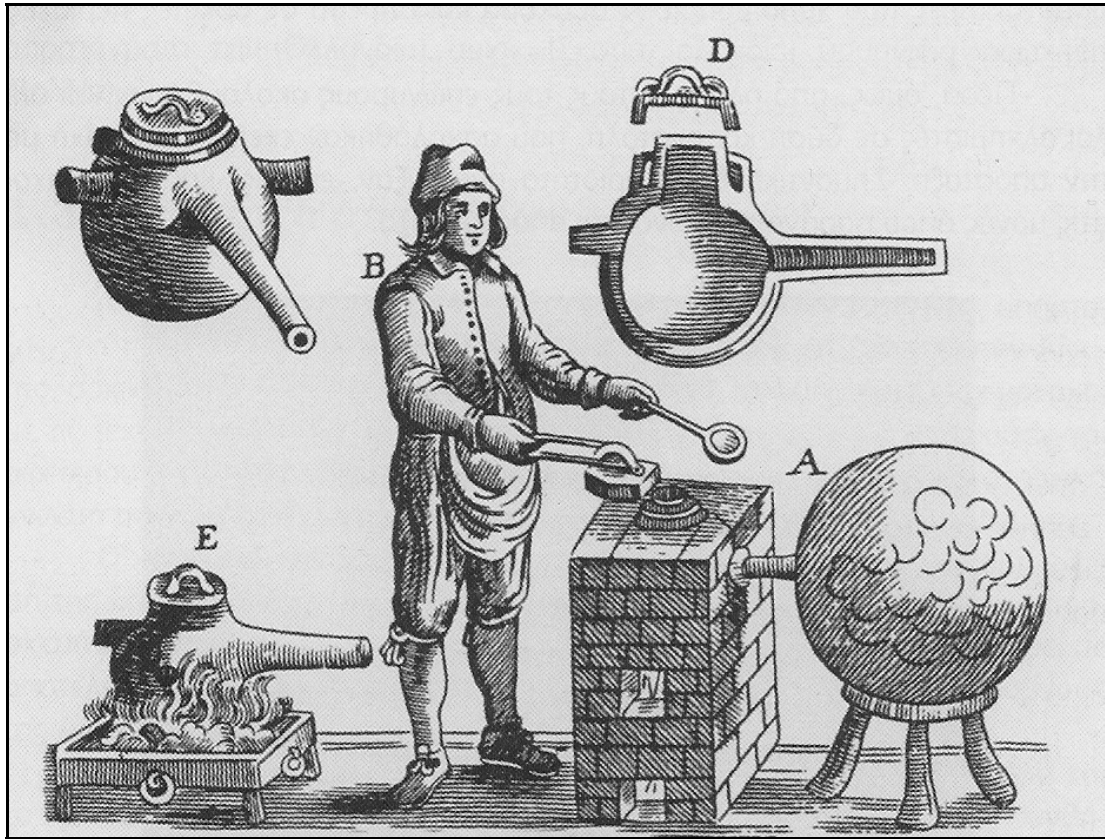
Εξάλλου, κανένας συγγραφέας δεν αναφέρει την απόσταξη αλκοόλης πριν από το 10^ο μ.Χ. αιώνα. Το ίδιο παρατηρείται και στο έργο του Πέρση φιλόσοφου Αβικέννα (980-1037 μ.Χ.), έργο με σαφείς ελληνικές επιρροές. Ο Αβικέννας, παρά το ότι έδωσε μια πλήρη περιγραφή του άμβυκα, δεν αναφέρει πουθενά τη λέξη αλκοόλη.

Εντούτοις, η αλκοόλη ήταν πιθανότατα γνωστή και χρησιμοποιόταν από 'κείνη ήδη την εποχή (Lichine, 1980).

Το 10^ο μ.Χ. αιώνα άρχισε να λειτουργεί ένα από τα μεγαλύτερα πανεπιστήμια του Μεσαίωνα, η ιατροφαρμακευτική σχολή στο Σαλέρνο της νότιας Ιταλίας, η οποία δέχτηκε τις επιδράσεις των αντίστοιχων αραβικών σχολών. Στο Τολέδο της Ισπανίας, το 12^ο αιώνα, δημιουργήθηκε μια περίφημη σχολή μεταφραστών που συνέβαλε στη διάδοση της επιστήμης και φιλοσοφίας των Αράβων καθώς και της ελληνικής φιλοσοφίας στην Ευρώπη.

Η τεχνική, λοιπόν, της απόσταξης αλκοόλης φαίνεται ότι εφαρμόστηκε με επιτυχία γύρω στα 1150 στο Σαλέρνο, όπως αναφέρει ένας ανώνυμος επιστήμονας της ίδιας περιοχής που πέθανε το 1167 (Κούρτης και Μπάσιος, 1992). Η μαρτυρία αυτή αποτελεί την παλιότερη γραπτή αναφορά για απόσταξη οίνου και βρέθηκε σε ένα λατινικό αλχημικό χειρόγραφο - γνωστό με το όνομα *Marpae Clavicula* - κρυπτογραφημένο προφανώς εξαιτίας των διώξεων της Παπικής εκκλησίας. Σε αυτό

αναφέρεται ότι «ανακατεύοντας αγνό και πολύ δυνατό οίνο με τρία μέρη αλατιού και ζέσταίνοντάς το, μέσα σε ειδικά γι' αυτή τη χρήση δοχεία, φτιάχνουμε ένα εύφλεκτο υγρό, που καίγεται όμως χωρίς να καίει και την ύλη που βρίσκεται τοποθετημένο» (Μίχας, 1996).



(Κούρτης και Μπάσιος, 1992)

Εικ. 1.2: Η απόσταξη στο Μεσαίωνα ήλκυε το ενδιαφέρον των αλχημιστών.

Ας σημειωθεί ότι η αλχημεία θεωρούνταν απόκρυφη και μαγική τέχνη, γι' αυτό και υπέστη συχνά διώξεις από την Εκκλησία. Στη Δύση ο πάπας Αλέξανδρος ο Γ' (1159-1181), με απόφαση της Συνόδου του Λατεράνου (1179 μ.Χ.), απαγόρευσε στους μοναχούς να ασχολούνται με τις φυσικές επιστήμες ενώ - λίγα χρόνια μετά - ο Ονόριος ο Γ' (1216-1227) επέκτεινε την απαγόρευση σε όλους τους κληρικούς (Εγκυκλοπαίδεια Μπριτάννικα, 1984).

Στη Γαλλία, στο επίσης ονομαστό πανεπιστήμιο του Μονπελιέ, ο Αρνό ντε Βιλνέβ (Villeneuve: 1235-1327) απόσταξε το 1250 οίνο και ονόμασε το απόσταγμα *eau-de-vie* (νερό της ζωής). Λίγο αργότερα, ο Καταλανός αλχημιστής και ποιητής Ρεϊμόν Λουλ (1236-1315) χρησιμοποίησε την απόσταξη για τον εμπλουτισμό των αλκοολούχων ποτών σε αλκοόλη. Ο ίδιος, επίσης, δίνει και την παρακάτω συνοπτική αλλά σαφή περιγραφή του τρόπου παρασκευής των αποεταγμάτων:

«.. Λαμβάνετε οίνον λευκόν ή ερυθρόν, διαυγή και αρωματικόν και αποστάζετε επί ατμολούτρου ή με πυράν ήπιαν το οينوπνευματούχον υγρόν (eau ardente) το οποίο εν συνεχεία ανακαθορίζετε μέχρι πλήρους αποχωρισμού του φλέγματος...»

(Κωνσταντινίδης και συν., 1952)

Το 15^ο αι. μ.Χ., ο πολυεπιστήμονας της εποχής Leonardo da Vinci δημιουργεί ένα σκίτσο άμβυκα, που μοιάζει μάλιστα πολύ με τους παραδοσιακούς αποστακτήρες που χρησιμοποιούνται ακόμα και σήμερα σε αρκετές περιοχές της χώρας μας.

Πέρα, όμως, από όλους αυτούς τους επώνυμους ακολούθησαν και άλλοι αλχημιστές σε δύση και ανατολή, που ασχολήθηκαν εκείνη την εποχή με την απόσταξη. Σημαντική δραστηριότητα ανέπτυξαν, επίσης, και οι μοναχοί στις μονές όπου παράγονταν οίνοι και αποστάγματα.



Εικ. 1.3: Άμβυκας απόσταξης στεμφύλων (17^{ος} αιώνας). Μουσείο Οίνου του ιδρύματος Λουνγκαρότι στο Τορτζιάνο (Ιταλία).

Η αλκοόλη στην περίοδο της αλχημείας είχε διάφορες ονομασίες όπως *πνεύμα του οίνου*, *καυτό νερό* ή, ακόμα, και *νερό της ζωής*. Η τελευταία αυτή ονομασία οφείλεται στη χρήση της αλκοόλης ως φάρμακο για την καταπολέμηση επικίνδυνων ασθενειών, όπως φαίνεται και από κείμενα του έτους 1037. Από όλες αυτές τις ονομασίες επικράτησε η πρώτη (Κούρτης και Μπάσιος, 1992) και έτσι το απόσταγμα του οίνου ονομάστηκε «οινόπνευμα» στην ελληνική ή «*esprit du vin*» στη γαλλική.

Ο όρος *αλκοόλ* (alcohol ή alcohol) καθιερώθηκε αργότερα από έναν άλλο αλχημιστή, το Θεόφραστο Παράκελσο (1493-1541 μ.Χ.). Ο όρος αυτός προήλθε από την αραβική λέξη al-kuhul, al-kuhl που δήλωνε τη σκόνη (κονιοποιημένο αντιμόνιο) που χρησίμευε για τη βαφή των βλεφαρίδων, συγγενή με το εβραϊκό kakhul (*χρωματίζω, βάφω*) (Εγκυκλοπαίδεια Μπριτάννικα, 1984). Ο όρος αυτός στη συνέχεια καθιερώθηκε για το προϊόν της απόσταξης.

Ο άμβυκας, πάντως, μέχρι τα μέσα του 15^{ου} αι. μ.Χ. - παρά τις όποιες εξελίξεις κι αν γνώρισε - έμεινε αρκετά πρωτόγονος. Από 'κει και πέρα παρατηρήθηκε μια γρήγορη και πολύπλευρη εξέλιξη για να φθάσουμε στους αποστακτήρες και τις αποστακτικές στήλες που συναντάμε σήμερα, τόσο για την παραγωγή των πιο ευγενών αποσταγμάτων οίνου όσο και για άλλους βέβαια σκοπούς.

Το 15^ο και 16^ο μ.Χ. αιώνα άρχισαν να παράγονται στη Δ. Ευρώπη τα αποστάγματα: τζιν (Ολλανδία), ούισκι (Σκωτία, Ιρλανδία), αρμανιάκ και κονιάκ (Γαλλία).

1.3. Απόσταξη στεμφύλων

Από την ως τώρα ιστορική αναδρομή φαίνεται ότι η τεχνική της απόσταξης, για την παραγωγή αλκοολούχων ποτών, έλαβε σάρκα και οστά στην Αίγυπτο, αρχικά από τους χημικούς της Αλεξάνδρειας. Αργότερα, αφενός οι μοναχοί με τις τεχνικές αρωματισμού - ίσως και απόσταξης - που χρησιμοποιούσαν και αφετέρου οι Άραβες αλχημιστές με τα πειράματά τους κατέστησαν σταδιακά γνωστή την απόσταξη ζυμωμένων υλών και τον αρωματισμό του αποστάγματος.

Ο χαλκός ως υλικό κατασκευής της αποστακτικής συσκευής και η γνώση της κατεργασίας του αποτελεί ένα άλλο σημαντικό παράγοντα στην παρασκευή των αποσταγμάτων. Στους βυζαντινούς χρόνους η χαλκουργία ανθεί με αποτέλεσμα να κατασκευάζονται καλοδουλεμένοι άμβυκες από χαλκουργούς της Αρμενίας, του Πόντου και της Ηπείρου (Αγραφα).

Οι Αγραφιώτες, πολύ πριν την άλωση της Κωνσταντινούπολης αλλά και τα πρώτα χρόνια μετά απ' αυτήν (1470 μ.Χ.), αναζητώντας καλύτερες συνθήκες ζωής, μεταναστεύουν στις μεγάλες πόλεις της εποχής - Λάρισα στην αρχή, Θεσσαλονίκη, Φιλιππούπολη, παραδουνάβιες πόλεις, Κωνσταντινούπολη και μικρασιατικές ακτές στη συνέχεια - και δημιουργούν την παράδοση του χαλκουργού⁴ και σιδηρουργού (Βακαλόπουλος, 1974). Αυτοί, εκτός από τα παραδοσιακά χάλκινα οικιακά σκεύη, κατασκευάζουν και αποστακτήρες.

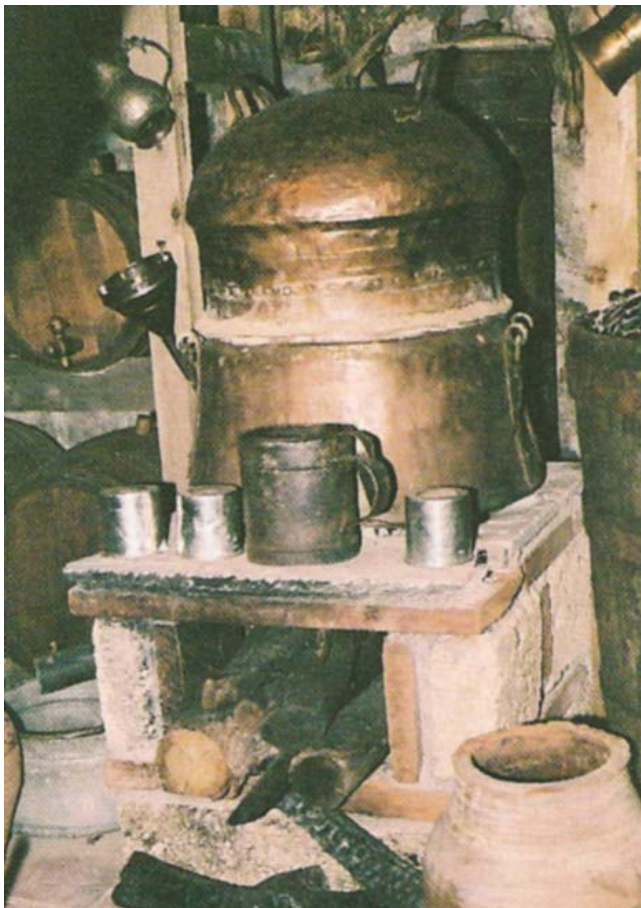
Έτσι, πλέον, η βελτίωση της αποστακτικής συσκευής, που πετυχαίνεται με την κατεργασία του χαλκού, συντελεί στην ευρύτερη παραγωγή αποσταγμάτων στεμφύλων ενώ παράλληλα, στο χώρο της Μ. Ασίας και στις αμπελουργικές περιοχές της Ελλάδας, δημιουργείται μια σπουδαία παράδοση στην απόσταξη. Ως τα μέσα του 15^{ου} αι. μ.Χ. η Αλεξάνδρεια, η Κωνσταντινούπολη και η Σμύρνη αποτελούν τους σπουδαιότερους πόλους τεχνολογίας των αποσταγμάτων.

4. Η έννοια του χαλκουργού, εκείνη την εποχή, είναι ταυτόσημη με τις έννοιες του *μπακιρτζή* ή του *καζαντζή*.

Αν και δε γνωρίζουμε ακριβώς πότε άρχισε να εφαρμόζεται η απόσταξη στα ζυμωμένα στέμφυλα, εντούτοις είναι σίγουρο ότι η τεχνική της απόσταξης στεμφύλων, στο Άγιο Όρος, ήταν γνωστή πολύ πριν το 15^ο αι. μ.Χ. Ας σημειωθεί ότι η μοναστική κοινότητα, με τη μορφή των μεγάλων αθωνικών κοινοβίων, αρχίζει να ιδρύεται από το 10^ο μ.Χ. αιώνα. Ο Άγιος Αθανάσιος ο Αθωνίτης - που ίδρυσε το πρώτο από τα μεγάλα μοναστήρια, τη μονή Μεγίστης Λαύρας το 963-969 μ.Χ., όντας και αμπελουργός - καλλιέργησε την άμπελο και ασχολήθηκε και με την οινοπαραγωγή.

Την περίοδο εκείνη, στις μονές του Αγίου Όρους, τα απομένοντα μετά την οινοποίηση στέμφυλα οδηγούνταν προς απόσταξη σε μεγάλο βαθμό. Η έκταση που έλαβε η παραγωγή του αποστάγματος αυτού είχε προβληματίσει τους ιθύνοντες για την καθιέρωση φορολογικής πολιτικής, όπως αναφέρεται από το μοναχό Αλέξανδρο Λαυριώτη (Παπάγγελος, 1990):

«...μεγάλως απησχόλησε τον Τόπον Όρει (δηλαδή το Άγιο Όρος), την Τουρκικήν κυβέρνησιν και αυτό το Οικουμενικόν Πατριαρχείον ή ελευθέρα λειτουργία τών αμβύκων εν Αγίω Όρει καί ή ατέλεια τών οινοπνευμάτων. Άνω τών είκοσι φερμανίων επί τού ζητήματος άπόκεινται είς τό έν τώ πύργω αρχείον τής Ιεράς Κοινότητος, άπό τού 1590 καί εξής...»



Ει κ. 1.4: Άμβυκας απόσταξης στεμφύλων στα Μετέωρα (Ιερά Μονή Μεταμορφώσεως του Σωτήρος).

Στη διάρκεια της Τουρκοκρατίας η αμπελουργική παραγωγή σε ορισμένες περιοχές εκλείπει παντελώς και αντικαθίσταται από άλλες καλλιέργειες, όπως η σηροτροφία, ενώ σε άλλες διατηρείται.

Με το χρόνο, όμως, η απόσταξη στεμφύλων ανακάμπτει. Αν και η μουσουλμανική θρησκεία απαγορεύει την κατανάλωση οίνου, εντούτοις εμφανίζονται οι *ρακιτζήδες*, δηλαδή οι παραγωγοί τσίπουρου (ρακιού), στους καλύτερους εκ των οποίων δίνονται ειδικά προνόμια για την προμήθεια των ανώτερων τάξεων της Οθωμανικής Αυτοκρατορίας.

Στην Ευρώπη, στα τέλη του 18^{ου} αιώνα, εμφανίζονται οι πρώτοι σύγχρονοι άμβυκες. Το 1780 ο Γάλλος ιατρός, χημικός και πολιτικός Σαπτάλ (Chaptale 1756-1832) και ο Edouard Adam το 1805 βελτιώνουν τον άμβυκα που φτάνει ως τις μέρες μας (Leaute, 1989). Στα επόμενα χρόνια παρουσιάζονται και οι πρόδρομοι των σύνθετων αποστακτικών στηλών.

Μετά την ελληνική επανάσταση, η παράδοση της οινοποίησης και απόσταξης συνεχίζεται σε όσες περιοχές είχε διατηρηθεί, ενώ σε άλλες επανέρχεται προοδευτικά.

Το 1883, το επίσημο ελληνικό κράτος θεσπίζει τον πρώτο νόμο (ΑΠΗΨ/5-4-1883) για τη φορολόγηση της αλκοόλης, ενώ οι πρώτες άδειες για την παραγωγή αποστάγματος στεμφύλων δίνονται το 1896.

Κατόπιν, με ενοποίηση όλων των σχετικών νόμων προκύπτει ο Ν. 971/1917 σύμφωνα με τον οποίο απαγορεύεται πλέον η παραγωγή αφορολόγητης αλκοόλης. Ταυτόχρονα, όμως, παρέχεται η δυνατότητα στους αμπελουργούς να αποστάζουν τα στέμφυλά τους με άδεια διάρκειας δυο ημερών (διήμεροι αποσταγματοποιοί). Με τις διατάξεις του ίδιου νόμου παρέχεται, επίσης, στους αμπελουργούς το δικαίωμα να χρησιμοποιούν το απόσταγμα για προσωπική τους κατανάλωση και να πωλούν το πλεονασμό του εντός του νομού παραγωγής του, χωρίς ωστόσο να επιτρέπεται η εμφιάλωσή του.

Η ίδια νομοθετική ρύθμιση (Ν. 971/1917) που αφορούσε στο τσίπουρο, επέβαλε εκτός από τη φορολογία και τη χρήση του χάλκινου άμβυκα (Εγκυκλοπαίδεια Δρανδάκη, 1932). Να σημειωθεί ότι οι άμβυκες, που υπήρχαν παλιότερα στη χώρα μας, είχαν ξύλινο ή πήλινο καπάκι, μερικοί ήταν χάλκινοι και άλλοι ήταν κατασκευασμένοι από σιδηρόφυλλο ή ψευδάργυρο. Οι τελευταίοι έδιναν επικίνδυνο για την υγεία προϊόν και έγιναν η αφορμή της προαναφερόμενης νομοθετικής ρύθμισης.

Οι νέες τάσεις στην αγορά των τροφίμων και των ποτών για την παραγωγή προϊόντων με *ονομασία προέλευσης*, η παρουσία μιας πλούσιας ελληνικής παράδοσης και η πολιτική του κράτους για έλεγχο και φορολογία των δραστηριοτήτων, που σχετίζονται με την παραγωγή αποσταγμάτων, δημιούργησαν νέες προϋποθέσεις ώστε να δρομολογηθεί πλέον η τυποποίηση και η διεθνής του κατοχύρωση.

Έτσι, το 1988, δημιουργείται το νομοθετικό πλαίσιο (Ν. 1802/1988) όπου καθορίζονται οι όροι για την παραγωγή και εμπορία των αλκοολούχων ποτών, τα οποία προέρχονται από τα αποστάγματα στεμφύλων και φέρουν τις επωνυμίες «*Τσίπουρο*» και «*Τσικουδιά*» σε συνδυασμό με τις γεωγραφικές τους ενδείξεις. Με βάση το Ν. 1802/1988, η παρασκευή τσίπουρου και τσικουδιάς στο εξής επιτρέπεται, εκτός από τους διήμερους αποσταγματοποιούς, και στους ποτοποιούς. Διανύεται, λοιπόν, μια νέα εποχή όπου το τσίπουρο παράγεται πλέον και σε οργανωμένα επώνυμα αποσταγματοποιεία (*σύγχρονη απόσταξη*) πέραν από τις μέχρι τώρα γνωστές εγκαταστάσεις των παραδοσιακών διήμερων αποσταγματοποιών (*χωρική απόσταξη*).

Τελευταίο σταθμό στην πορεία καταξίωσης του αποστάγματος στεμφύλων του ελληνικού αμπελώνα αποτελεί η κατοχύρωση από την Ευρωπαϊκή Ένωση (Καν. 1576/1989 της ΕΟΚ, παράρτημα ΙΙ) των παραδοσιακών προϊόντων τσίπουρου και

τσικουδιάς, ως προϊόντα με γεωγραφικές επωνυμίες. Για το νομοθετικό μέρος που αφορά στα αποστάγματα στεμφύλων θα επανέλθουμε με περισσότερες πληροφορίες, στο κεφάλαιο «*Νομοθεσία και οικονομία της απόσταξης των στεμφύλων*» και πιο συγκεκριμένα στο υποκεφάλαιο «*Η ισχύουσα σήμερα νομοθεσία*».

Οι κλιματολογικές συνθήκες, οι ποικιλίες του ελληνικού αμπελώνα και η παράδοση στην απόσταξη και στην κατανάλωση αποσταγμάτων, σε συνδυασμό με την οργανωμένη δραστηριότητα των αποσταγματοποιών - επώνυμων και μη - αναδεικνύουν ένα ελπιδοφόρο προϊόν για τη χώρα μας στις εκτός των συνόρων αγορές και στις εκτός των συνόρων κοινωνίες. Πέρα δε της οικονομικής διάστασης των πραγμάτων - τον κινητήριο μοχλό των ανθρώπινων κοινωνιών - το τσίπουρο αποτελεί, ανάμεσα στα άλλα προϊόντα που παράγει η χώρα μας, έναν ακόμη πρεσβευτή της Ελλάδας και των ανθρώπων της στον έξω κόσμο.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: Η παρασκευή του τσίπουρου

Το τσίπουρο⁵ είναι το αποτέλεσμα μιας σειράς χειρισμών στον καρπό της αμπέλου, οι οποίοι περιλαμβάνουν την επεξεργασία του, την οινοποίηση και την απόσταξη των στεμφύλων, δηλαδή των τσίπουρων ή των τσίκουδων. Από την απόσταξη προκύπτει το απόσταγμα στεμφύλων από το οποίο στη συνέχεια παρασκευάζεται το αλκοολούχο ποτό τσίπουρο ή τσικουδιά. Ο καθένας από τους χειρισμούς αυτούς έχει ξεχωριστή, αλλά ταυτόχρονα και σπουδαία, σημασία στην τελική διαμόρφωση της ποιότητάς του. Για το λόγο αυτό, αλλά και διότι το απόσταγμα στεμφύλων αποτελεί ένα από τα διατροφικά αγαθά του ανθρώπου, η ορθότητα των χειρισμών παραγωγής του είναι πρώτης προτεραιότητας.

Η παραγωγή του τσίπουρου, εκτός των άλλων, προϋποθέτει την ανάλογη αποστακτική συσκευή. Αυτή η συσκευή με μικρές τροποποιήσεις έχει διατηρηθεί ως τις μέρες μας χωρίς να αλλάξει τα βασικά της χαρακτηριστικά. Σε αυτήν την καθυστέρηση συνέβαλε και η νομοθεσία του ελληνικού κράτους η οποία, σε ότι αφορά στο οινόπνευμα και γενικά στα αμπελοοινικά αποστάγματα, θεσπίστηκε μόλις την περίοδο 1883-1905 ενώ για το τσίπουρο λίγα χρόνια αργότερα (1917).

Μέχρι πρότινος, δηλαδή λίγο πριν την έναρξη της τελευταίας 10ετίας του αιώνα που έφυγε, το τσίπουρο αποτελούσε προνόμιο της αγροτικής οικογένειας και διατηρήθηκε ως τις μέρες μας χάρη στην αδιάκοπη προσπάθεια των αμπελουργών μας. Από το 1988, όμως, με την εφαρμογή της νέας σχετικής νομοθεσίας επετράπη και άρχισε η παραγωγή του τσίπουρου και από τις οργανωμένες *αποσταγματοποιίες* και *ποτοποιίες*, όπως επιθυμούμε να αποκαλούμε στο εξής τις βιομηχανίες αποσταγμάτων και ποτών, αντίστοιχα.

Τόσο η σχετική εθνική νομοθεσία όσο και η μεταγενέστερη κατά ένα έτος (1989) ευρωπαϊκή καθορίζουν, επιπλέον, και τις προδιαγραφές του παραγόμενου τσίπουρου και προσδιορίζουν έμμεσα την απόδοση των αποστακτικών συστημάτων. Η απελευθέρωση της παραγωγής του τσίπουρου και η σημειούμενη στις μέρες μας εξέλιξη της τεχνολογίας της απόσταξης οδήγησαν σε αρτιότερο εξοπλισμό των αποσταγματοποιιών και ανάλογο προς το μέγεθος τους.

Αν και οι σχετικοί με την αποστακτική δραστηριότητα νόμοι αναλύονται στο οικείο κεφάλαιο 6, η σύντομη αναφορά τους εδώ έχει ως σκοπό κυρίως να επισημάνει το διαχωρισμό της παραγωγής τσίπουρου σε κατηγορίες. Πράγματι, σύμφωνα με τις σχετικές νομοθετικές ρυθμίσεις που έλαβαν χώρα στην Ελλάδα το 1988, διακρίναμε δυο κατηγορίες παραγωγής αποστάγματος στεμφύλων, την *παραδοσιακή απόσταξη* και τη *σύγχρονη απόσταξη*. Το ίδιο συμβαίνει και με την πολύ πρόσφατη νομοθετική ρύθμιση (Ν. 2969/2001) η οποία, αν και εξειδικεύει τους παραγωγούς προϊόντων αιθυλικής αλκοόλης σε πέντε κατηγορίες, στη βάση της πρόκειται πάλι για την *παραδοσιακή* και τη *σύγχρονη απόσταξη*. Επειδή, όμως, επικρατεί μεγάλη σύγχυση σχετικά με τις παραπάνω έννοιες και συχνά χρησιμοποιούνται αδόκιμα, επιβάλλεται να αναλύσουμε τους όρους αυτούς, όσο γίνεται καλύτερα, προκειμένου να είναι σαφείς σε όλους και να διαχωρίζονται πλήρως μεταξύ τους.

⁵ Συχνά, για πρακτικούς λόγους, αναφέρεται μόνο ο όρος τσίπουρο. Ωστόσο, υπονοείται και η τσικουδιά, δεδομένου ότι δεν υπάρχουν διαφορές μεταξύ τους αν εξαιρέσουμε το γεγονός ότι η τσικουδιά, σχεδόν πάντα, δεν αρωματίζεται με γλυκάνισο ή άλλα ανισούχα φυτά. Αντίθετα, στο τσίπουρο συναντάμε δυο τύπους: με γλυκάνισο (συχνότερα) και χωρίς γλυκάνισο.

Παραδοσιακή απόσταξη είναι η μικρής δυναμικότητας απόσταξη που πραγματοποιείται από τους αμβυκούχους αμπελουργούς, χρησιμοποιώντας συγκεκριμένο τύπο αποστακτικών συσκευών με χωρητικότητα άμβυκα έως 130 λίτρα. Η λειτουργία τους στη χώρα μας χρονολογείται πριν από την επανάσταση του 1821. Η βασική τους δομή δεν έχει αλλάξει αλλά έχει υποστεί κάποιες τροποποιήσεις που τις καθιστούν εύχρηστες ως σήμερα.

Ένας άλλος όρος, που επίσης χρησιμοποιείται ταυτόσημα με τον προηγούμενο, είναι η *χωρική απόσταξη* η οποία υπονοεί τις αποστάξεις που γίνονται γενικά στην ύπαιθρο, χωρίς ωστόσο να κυριολεκτεί.

Η γλυκοποίηση και η οινοποίηση της σταφυλόμαζας από τις οποίες προκύπτει η πρώτη ύλη για την παραδοσιακή απόσταξη είναι, επίσης, παραδοσιακού τύπου και χαρακτηρίζονται από την έλλειψη ή ανεπάρκεια ή στην καλύτερη περίπτωση από την ύπαρξη απλού μηχανολογικού εξοπλισμού σε όλες τις φάσεις τους.

Η παραδοσιακή απόσταξη συνοδεύεται επίσης από την παραγωγή αποστάγματος από το οποίο λείπει η τυποποίηση ως προς τον αλκοολικό τίτλο, τη χημική σύσταση, τη συσκευασία κλπ.

Η διάρκεια της αποστακτικής περιόδου στην Ελλάδα εκτείνεται από 1^η Αυγούστου κάθε έτους έως 31^{ης} Ιουλίου του επομένου. Για κάθε, όμως, δήμο ή δημοτικό διαμέρισμα ή κοινότητα προβλέπεται ένα μόνο δίμηνο χρονικό διάστημα, το οποίο καθορίζεται από τον προϊστάμενο της οικείας τελωνειακής περιφέρειας (Ν. 2969/2001). Μέσα σε αυτό το χρονικό διάστημα χορηγούνται οι άδειες χωρικής απόσταξης που συνήθως διαρκούν 48 ώρες για κάθε παραγωγό, εξ' ου και οι όροι *διήμερες άδειες* και *διήμεροι αποσταγματοποιοί*. Ο αριθμός βέβαια των 48ωρων εξαρτάται από την έκταση του αμπελώνα του κάθε αμπελουργού και δεν μπορεί να υπερβαίνει τα 4.

Για το είδος αυτό της απόσταξης ισχύει ειδικό καθεστώς φορολόγησης του τελικού προϊόντος, για το οποίο ο ειδικός φόρος κατανάλωσης (ΕΦΚ) ανέρχεται σήμερα στα 0,59 ευρώ /λίτρο Ανυδρης Αλκοόλης (ΑΑ), ενώ καταβάλλεται και ειδικό τέλος για την έκδοση της άδειας απόσταξης.

Σύγχρονη απόσταξη είναι η μεγάλης δυναμικότητας απόσταξη που εφαρμόζεται στην οργανωμένη αποσταγματοποιία και πραγματοποιείται με τη βοήθεια μεγαλύτερων αμβύκων, χωρητικότητας 200 έως 1000 L, ή αποστακτικών στηλών.

Σε αντίθεση με την παραδοσιακή απόσταξη, οι διάφορες φάσεις γλυκοποίησης, οινοποίησης και απόσταξης χαρακτηρίζονται για την εκμηχάνισή τους και τη δυνατότητα παραγωγής μεγάλης ποσότητας αποστάγματος.

Το παραγόμενο με τον τρόπο αυτό απόσταγμα συνήθως είναι τυποποιημένο σε μεγάλο βαθμό, υπόκειται σε υψηλότερη φορολόγηση - ίση με 2,64 ευρώ/ λίτρο Ανυδρης Αλκοόλης (ΑΑ) σύμφωνα με τα ισχύοντα σήμερα - σε σχέση με το παραδοσιακό και σε πολύπλοκότερες προϋποθέσεις έκδοσης άδειας απόσταξης.

Το είδος αυτό της απόσταξης αποκαλείται και *βιομηχανική απόσταξη*, όρος αδόκιμος όμως για την παραγωγή αποσταγμάτων άμεσης κατανάλωσης. Με τον όρο αυτό συνήθως υπονοείται η απόσταξη καθαρής αλκοόλης από διάφορες γεωργικές πρώτες ύλες π.χ. τεύτλα, σταφίδα κ.ά. Επιπλέον, ο όρος βιομηχανική απόσταξη δεν ταιριάζει στο τσίπουρο. Τόσο η απόσταξη όσο και η προηγούμενη οινοποίηση αποτελούν παραγωγικές διαδικασίες στις οποίες είναι αναγκαία η επαγρύπνηση και η συχνή παρέμβαση του ανθρώπου. Οι ιδιαιτερότητες που παρουσιάζει ο καρπός της αμπέλου - που η φύση προσφέρει με τους δικούς της νόμους, κάτω από διαφορετικές κάθε χρόνο συνθήκες - απαιτούν μεγάλες προσπάθειες για να πάρουμε ένα

ικανοποιητικό αποτέλεσμα. Ο άνθρωπος, παρ' όλη την προσπάθεια βιομηχανοποίησης και τυποποίησης του προϊόντος αυτού, είναι υποχρεωμένος να δεχτεί και να προσαρμοστεί στα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά της πρώτης ύλης που παρουσιάζει η κάθε σοδειά. Η τελική ποιότητα της πρώτης ύλης καθορίζει τα πλαίσια μέσα στα οποία θα διεξαχθούν οι μεταποιητικές του ενέργειες, οι οποίες όμως κάθε φορά θα είναι διαφορετικές και ανάλογες προς αυτή. Θεωρούμε, ως εκτούτου, επιβεβλημένη την παρέμβαση του οινοποιού - αποσταγματοποιού, για τον έλεγχο και το συντονισμό της πορείας τους. Γι' αυτό λοιπόν, όταν αναφερόμαστε τόσο στην παραγωγή οίνου όσο και αποσταγμάτων σε οργανωμένο επίπεδο, οι όροι *οινοποιία* και *αποσταγματοποιία*, αντίστοιχα, είναι πιο δόκιμοι.

Το αλκοολούχο προϊόν που παράγει η παραδοσιακή απόσταξη είναι ίσο *παραδοσιακό* ή *αμπελουργικό τσίπουρο* ενώ η σύγχρονη απόσταξη παράγει το *τσίπουρο αποσταγματοποιίας*. Όροι που προέκυψαν από τις ανάγκες της αγοράς και όχι από τα νομοθετικά κείμενα.

2.1. Παραδοσιακή παρασκευή ίου τσίπουρου

Η διαδικασία της παραδοσιακής παρασκευής του τσίπουρου αποτελείται από τις διαδοχικές φάσεις της παραδοσιακής *οινοποίησης* και της παραδοσιακής *απόσταξης* τις οποίες και περιγράφουμε παρακάτω.

2.1.1. Παραδοσιακή οινοποίηση

« ...Κί όταν ανέβουν στα μεσούρανα ό Ωρίωνας και ό Σείριος κί αντικρύση ή ροδοδάχτυλη Αύγουλα (Ηώς) τόν Αρκτούρο, τότε καιρός να τρυγήσεις όλα τα σταφύλια και στο σπίτι νά τά φέρης... »

Ησίοδος, 7^{ος} αι. π.Χ.: *Έργα και Ημέραι*

Όταν ο αμπελουργός κρίνει, με τα δικά του σημειολογικά και παραδοσιακά κριτήρια, ότι η ωρίμανση των σταφυλιών έφτασε στο επιθυμητό στάδιο, τότε αρχίζει ο τρύγος ή τρυγητός. Η διαδικασία αυτή εκτείνεται από τον Αύγουστο ως τις αρχές Οκτώβρη ανάλογα με την ποικιλία των σταφυλιών, τη γεωγραφική θέση του αμπελιού, τις κλιματολογικές συνθήκες, το προϊόν που θέλουμε να παράγουμε ή ανάλογα και με άλλους ακόμα παράγοντες. Τα σταφύλια τρυγιούνται με το γνωστό πατροπαράδοτο τρόπο από τους «τρυγητάδες». Η μεταφορά τους στο χώρο της οινοποίησης γίνεται με τα παραδοσιακά κοφίνια φορτωμένα στην πλάτη κάποιου ζώου ή συνήθως, σήμερα, στην καρότσα του τρακτέρ, του αγροτικού αυτοκινήτου ή άλλων μεταφορικών μέσων.

Και εάν μεν ο αμπελουργός επιθυμεί από τα σταφύλια αυτά να φτιάξει το μελίρυτο γλυκό του οίνου, τότε τα σταφύλια απλώνονται στον ήλιο σύμφωνα με τα κελεύσματα του Ησίοδου:

« ... Άπλωσε τὰ στὸν Ἥλιο δέκα μερόνυχτα, μάζεψ' τα πέντε στη σκιά και στο ἔχτο ἀπάνω ἀδειασε στ' αγγεία τὰ δώρα του πολύχαρου Διονύσου... »

Ἡσίοδος, 7^{ος} αι. π.Χ.: Ἔργα και Ἡμέραι



(φωτ. Ἰωαννίδης Κ.)

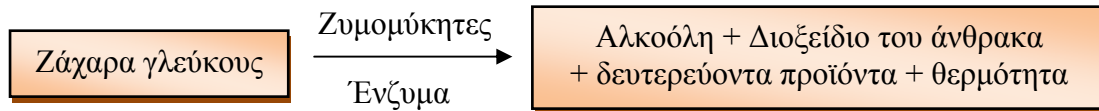
Εικ. 2.1: «Πάτημα» των σταφυλιών στην «κάδα».
Από αναπαράσταση τρύγου στους «Δρόμους του κρασιού» στη Νάουσα.

Όταν ἔρθει η ποθητή υπερωρίμανση, αλλά και όταν ακόμη ο αμπελουργός θέλει να κάνει τον ἀγλυκο ή αλλιώς τον ξηρό οἶνο από τα νωπά πριν το λιάσιμο σταφύλια, τότε διεξάγεται το *πάτημα* ή η *ἐκθλιψη* των σταφυλιών όπως λέγεται επιστημονικά. Η πράξη αυτή γίνεται μέσα σε μικρά ξύλινα σκεύη, γνωστά ως *καδιά* ή *πατοκάδια*, χτυπώντας τα με τα *πατητήρια* - αυτοσχέδια ξύλινα εργαλεία ύψους περίπου 1,5 μέτρου - ή θλίβοντας τα με τα χέρια ή τα πόδια. Με το πάτημα σπάζουν οι ράγες των σταφυλιών και απελευθερώνεται μερικώς το γλεύκος ή μούστος, όπως το λέμε πιο κοινά, απ' το οποίο θα προέλθει ο οἶνος

Στη *λευκή οἰνοποίηση* τα σταφύλια - αφού πατηθούν - μένουν για σύντομο χρονικό διάστημα στο πατητήρι, όπου το γλεύκος στραγγίζει και διαχωρίζεται γρήγορα από τα στέμφυλα (φλοιοί, σάρκες, γίγαρτα, βόστρυχες). Από το γρήγορο αυτό διαχωρισμό προέκυψε, για τη λευκή οἰνοποίηση, ο ὅρος «*πάτα-τράβα*». Το γλεύκος οδηγείται στη δεξαμενή ζύμωσης ενώ τα παραμένοντα στέμφυλα, τα οποία περιέχουν ακόμη αρκετό γλεύκος, αφήνονται να ζυμωθούν και μετά από λίγες ημέρες οδηγούνται στην απόσταξη. Η ζύμωσή τους βέβαια διαρκεί περισσότερο από ότι στην ερυθρή οἰνοποίηση - όπου γλεύκος και στέμφυλα ζυμώνονται μαζί -

εξαιτίας της μικρότερης περιεκτικότητας σε γλεύκος και ως εκ τούτου της δυσκολότερης κυκλοφορίας των ζυμών.

Η αλκοολική ζύμωση που ακολουθεί είναι ένα πολύπλοκο φαινόμενο, το καταπληκτικότερο στη φύση σύμφωνα με τον Παστέρ. Με την επίδραση των ζυμομυκήτων και των εξειδικευμένων ενζύμων, τα ζάχαρα του γλεύκους μετατρέπονται σε αιθυλική αλκοόλη, διοξείδιο του άνθρακα και δευτερεύοντα προϊόντα, ενώ ταυτόχρονα εκλύεται θερμότητα που ζεσταίνει τις δεξαμενές. Η αλκοολική ζύμωση στην απλοϊκότερη μορφή της δίνεται από την ακόλουθη εξίσωση:



Στην παραδοσιακή οινοποίηση, αυτή η βιοχημική διαδικασία διεξάγεται συνήθως σε ανοιχτές ξύλινες δεξαμενές ζύμωσης. Ωστόσο, στην αρχή της ζύμωσης και συγκεκριμένα με τη συμπλήρωση των 48 πρώτων ωρών, η σταφυλόμαζα ή το γλεύκος αναδεύονται με ταυτόχρονο αερισμό για να εμπλουτιστούν σε οξυγόνο και να διευκολυνθεί στη συνέχεια ο μεταβολισμός των ζαχάρων τους. Έτσι, το μεν γλεύκος μετατρέπεται σε οίνο ενώ τα ζυμωμένα στέμφυλα, αν δεν αποσταχθούν αμέσως, διατηρούνται προς απόσταξη. Η διατήρησή τους γίνεται σε κλειστές δεξαμενές, ώστε να αποφευχθεί το ξίνισμά τους και να αποτελέσουν έτσι μια εξαιρετική πρώτη ύλη για την παρασκευή αποστάγματος στεμφύλων.

Για την **ερυθρή οινοποίηση**, από τα καδιά η σταφυλόμαζα μεταφέρεται αμέσως σε μεγάλες ξύλινες δεξαμενές, τις κάδες, με συνήθη χωρητικότητα 500-1000 L (Ροδοβίτης, 1985). Εκεί, ο σταφυλοπολτός αφήνεται να ζυμωθεί αργά-αργά για να προκύψει στη συνέχεια ο ερυθρός οίνος. Σε διάφορες περιοχές το πάτημα των σταφυλιών γίνεται απευθείας σε μεγάλες πέτρινες, τσιμεντένιες ή ξύλινες δεξαμενές που ονομάζονται *ληνοί* ή *πατητήρια*.⁶ Σήμερα πολλοί παραγωγοί χρησιμοποιούν μικρά μηχανικά θλιπτήρια που αποτελούνται από δύο αντίθετα περιστρεφόμενους κυλίνδρους με τους οποίους σπάζουν οι ράγες των σταφυλιών. Στην παραδοσιακή οινοποίηση σπάνια χρησιμοποιούνται εκραγιστήρια για την απομάκρυνση των βοστρύχων (τσάμπουρα).

Στην ερυθρή οινοποίηση, η ζύμωση και η εκχύλιση διαρκούν 20-25 μέρες. Κατά τη διάρκεια της συμπαραμονής των στεμφύλων και του γλεύκους πραγματοποιούνται αναδεύσεις ή ανακυκλώσεις για τον εμπλουτισμό της σταφυλόμαζας σε οξυγόνο, όπως και στη λευκή οινοποίηση. Ωστόσο, στην ερυθρή οινοποίηση, οι αναδεύσεις αυτές μπορούν να επαναλαμβάνονται - χωρίς όμως αερισμό - μέχρι το *τράβηγμα* του οίνου και έχουν ως σκοπό την εκχύλιση περισσότερων χρωστικών. Όταν εξασθενήσει η ένταση της αλκοολικής ζύμωσης, διεξάγεται το τράβηγμα του οίνου και αφήνεται να αποζυμωθεί. Με τη διαδικασία αυτή ο οίνος αφήνεται να στραγγίσει από τον αγωγό εξόδου, που είναι στο κάτω

6. Ο όρος *πατητήρι* σε άλλα μέρη εννοεί το σκεύος (*καδί*) ή τη δεξαμενή πατήματος και σε άλλα το εργαλείο με το οποίο γίνεται το πάτημα, ανάλογα με τις τοπικές ιδιομορφίες.

μέρος της δεξαμενής, πετυχαίνοντας έτσι το διαχωρισμό του από τα στερεά συστατικά, τα στέμφυλα γνωστά και ως τσίπουρα ή τσίκουδα. Ο οίνος που εξέρχεται με αυτό τον τρόπο αβίαστα, χωρίς πίεση, λέγεται *οίνος εκροής*. Η στεμφυλόμαζα⁷ (τσίπουρα), που μένει στη δεξαμενή ζύμωσης, συνήθως περιέχει από 30 έως 40% κατά βάρος οίνου και αποτελεί την πρώτη ύλη που χρησιμοποιείται στην επόμενη φάση, την απόσταξη (Ροδοβίτης 1985, Soufleros et Bertrand, 1987 & 1991). Στις μικρές μονάδες παραδοσιακής οινοποίησης, όπου χρησιμοποιούνται πιεστήρια για την παραλαβή περισσότερου οίνου από τη σταφυλόμαζα, είναι προφανές ότι τα στέμφυλα που απομένουν περιέχουν μικρότερα ποσοστά οίνου και έχουν κατά συνέπεια μειωμένη απόδοση σε απόσταγμα.

Σήμερα αρκετοί μικροί οινοποιοί χρησιμοποιούν ανοξείδωτες δεξαμενές ζύμωσης, ενώ ο αερισμός της σταφυλόμαζας δεν γίνεται χειρωνακτικά αλλά με αντλίες.

Όταν η σταφυλόμαζα προορίζεται για την απόσταξη, η προσθήκη του διοξειδίου του θείου (SO₂) αποφεύγεται συνήθως τόσο στη λευκή όσο και στην ερυθρή οινοποίηση. Ο θειώδης ανυδρίτης, λόγω της πτητικότητάς του, περνάει στο απόσταγμα και καθίσταται ενοχλητικός.

2.1.2. Παραδοσιακή απόσταξη

Στην *παραδοσιακή* διαδικασία παρασκευής του τσίπουρου συναντάμε συνήθως δυο μεθόδους: την *απλή απόσταξη ή βράση* και τη *διπλή απόσταξη ή μετάβραση*, ενώ τα τελικά προϊόντα που προκύπτουν από αυτές είναι το *απλοβρασμένο* και το *διπλοβρασμένο* τσίπουρο, αντίστοιχα (Ροδοβίτης 1985, Soufleros et Bertrand, 1987 & 1991).

Ας αρχίσουμε από το πιο απλό:

α. Απλοβρασμένο τσίπουρο: Η στεμφυλόμαζα μεταφέρεται στο αποστακτήριο, όπου προοδευτικά και σε μικρές ποσότητες τοποθετείται στο λέβητα (βραστήρα, καζάνι) του αποστακτήρα ή του άμβυκα.⁸ Εκεί συνοδεύεται με το ανάλογο νερό, που αντιστοιχεί στο 25-30% του συνολικού όγκου, αν τα στέμφυλα δεν περιλαμβάνουν αντίστοιχη ποσότητα οίνου. Σε αυτό μπορεί να προστεθούν ακόμα οι οινολάσπες ή/και οι «κεφαλοουρές»⁹ από τυχόν προηγούμενη απόσταξη. Οι επιπλέον αυτές προσθήκες των υγρών συστατικών είναι απαραίτητες και αποτελούν βασικό μέλημα του αποσταγματοποιού. Η παρουσία των υγρών αφενός αποτρέπει την τοπική υπερθέρμανση των στερεών μερών των στεμφύλων, που έχει δυσάρεστα

⁷ *Στεμφυλόμαζα* καλούμε τα στέμφυλα με τον απομείναντα σ' αυτά οίνο μετά την παραλαβή του μεγαλύτερου μέρους αυτού με απλή εκροή ή/και πίεση της σταφυλόμαζας. Διακρίνεται σαφώς από τη σταφυλόμαζα η οποία αντιστοιχεί στο συνολικό προϊόν, με ή χωρίς τους βόστρυχες, που προκύπτει από την επεξεργασία των σταφυλών.

⁸ *Άμβυξ ή άμβυκας* είναι ο λέβητας μαζί με το καπάκι, που χρησιμοποιείται για την απόσταξη αλλά εννοεί και το σύνολο της συσκευής με τον ψυκτήρα. Εξάλλου, ο ψυκτήρας διαμορφώθηκε αργότερα ως μέρος του σωλήνα απαγωγής των ατμών από το καπάκι.

⁹ «*Κεφαλοουρές*» καλείται το άθροισμα «*κεφαλών*» και «*ουρών*», δηλαδή των πρώτων και τελευταίων κλασμάτων του αποστάγματος.

επακόλουθα στη γεύση και το άρωμα του αποστάγματος, αφετέρου επιταχύνει την ομοιόμορφη μεταφορά της θερμότητας από την εστία θέρμανσης σε όλο το περιεχόμενο του λέβητα.

Στην περίπτωση που δεν προβλέπεται μετάβραση, ο αρωματισμός του απλοβρασμένου αποστάγματος, αν επιλεγεί να γίνει, οφείλει να πραγματοποιηθεί κατά την πρώτη και μοναδική εξάλλου απόεταξη. Για το σκοπό αυτό, στον άμβυκα της πρώτης καζανιάς (απόσταξης) προστίθενται και οι σχετικές αρωματικές ύλες (γλυκάνισος, μάραθος, μαστίχα, κανέλλα κλπ.).



Α. Γέμιση.



Β. Αρωματισμός



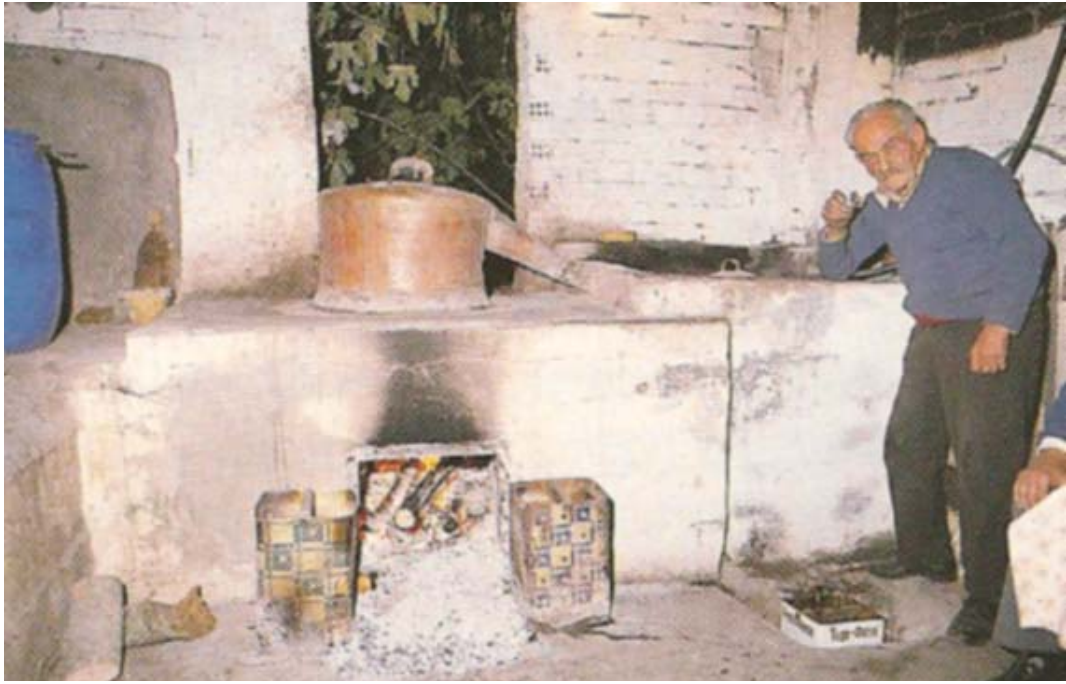
Γ. Πωματισμός



Δ. Στεγανοποίηση



Ε. Βρασμός.



Στ. Οργανοληπτική δοκιμή.



Ζ. Εκκένωση.



Η. Καθαρισμός.

Εικ. 2.2: Τα στάδια της απόσταξης σε παραδοσιακό αποστακτήρα στη Νάουσα Ημαθίας.
(α) γέμιση, (β) αρωματισμός, (γ) πωματισμός, (δ) στεγανοποίηση,
(ε) βρασμός, (στ) οργανοληπτική δοκιμή, (ζ) εκκένωση, (η) καθαρισμός.

Ο λέβητας, αφού πωματιστεί με το θολωτό καπάκι και κλείσει ερμητικά επιχρίζοντας τις συνδέσεις του με ένα μίγμα ζυμαριού και στάχτης, υποβάλλεται σε θέρμανση. Το περιεχόμενο του λέβητα αρχίζει σιγά-σιγά να βράζει και σχηματίζονται οι πρώτοι ατμοί φορτωμένοι με τα πτητικά συστατικά της υγρής φάσης. Οι πλούσιοι σε αιθανόλη ατμοί διοχετεύονται μέσω αγωγού στον ψυκτήρα όπου ψύχονται, υγροποιούνται και από 'κει εξέρχονται ως απόσταγμα.

Τα πρώτα μέρη του εξερχόμενου αποστάγματος λέγονται «κεφαλές» ή πρωτορράκι(η), τα επόμενα «καρδιά» ή «σώμα» και τα τελευταία «ουρές» ή απορράκι(π). Τα πρώτα και τελευταία κλάσματα συλλέγονται ξεχωριστά, ως ποιοτικά υποδεέστερα σε σχέση με την «καρδιά».

Ο διαχωρισμός αυτών των κλασμάτων του αποστάγματος γίνεται με τη μέτρηση του όγκου του αποστάγματος και βασίζεται στην εμπειρία και στη γνώση της αποστακτικής τέχνης του αποστάκτη (*καζανιέρπ*) που παραδοσιακά μεταφέρεται από πατέρα σε γιο.

Ωστόσο, οι Soufleros et Bertrand (1991) επιχείρησαν την επιστημονική τεκμηρίωση του διαχωρισμού των τριών κλασμάτων. Για το σκοπό αυτό, οι προαναφερόμενοι ερευνητές προχώρησαν, με τη βοήθεια της αέριας χρωματογραφίας, στον προσδιορισμό των αρωματικών συστατικών ενός μεγάλου αριθμού δειγμάτων ελληνικών αποσταγμάτων στεμφύλων, που συλλέχτηκαν καθόλη τη διάρκεια ορισμένων απλών ή διπλών αποστάξεων.

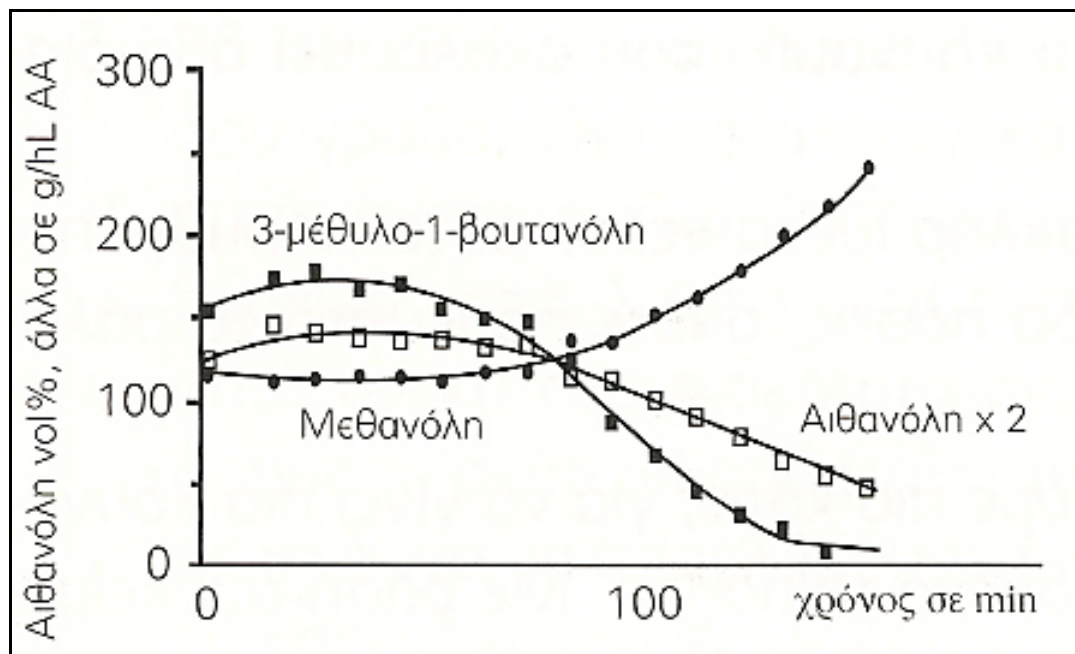
Τα αποτελέσματα αυτά έδωσαν τη δυνατότητα να γνωρίσουμε πώς συμπεριφέρεται ο άμβυκας των 130 λίτρων των Ελλήνων αμπελουργών, ποια προϊόντα

θεωρούνται ότι αποτελούν συστατικά της «κεφαλής», της «καρδιάς» ή της «ουράς» της απόσταξης και ποιες είναι οι συγκεντρώσεις τους. Ταυτόχρονα, η μελέτη αυτή μας επέτρεψε να διαπιστώσουμε την επίδραση των «κοιμιμάτων» στις περιεκτικότητες των πτητικών συστατικών και να επιλέγουμε έτσι το χρόνο εφαρμογής τους με στόχο τη βελτίωση της ποιότητας των αποσταγμάτων μας. Σχετικά βλ. επίσης κεφάλαιο «Σύσταση τσίπουρου και τσικουδιάς».

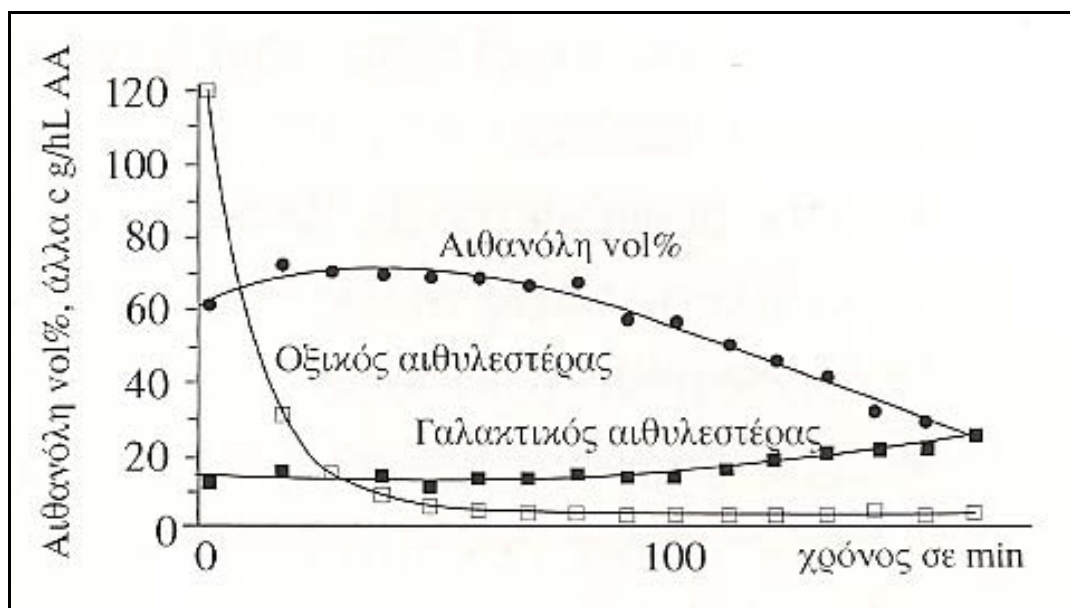
Στις εικόνες 3.3 και 3.4 δίνονται, ενδεικτικά, ορισμένες γραφικές παραστάσεις, οι οποίες παριστάνουν την εξέλιξη της συγκέντρωσης ορισμένων πτητικών συστατικών κατά τη διάρκεια της απόσταξης (profit απόσταξης).

Οι «κεφαλοουρές», που προκύπτουν από το διαχωρισμό των κλασμάτων, χρησιμοποιούνται στην επόμενη απόσταξη ενώ μόνο η «καρδιά» προορίζεται για την ανθρώπινη κατανάλωση. Σε πολλά μέρη οι «κεφαλές» που απομακρύνονται δεν επαναποστάζονται αλλά χρησιμοποιούνται ως οινόπνευμα για κομπρέσες, μαλάξεις κ.ά.

Το τέλος της απόσταξης προσδιορίζεται με τη μέτρηση της αλκοόλης που περιέχεται στο εξερχόμενο απόσταγμα. Στη χωρική απόσταξη η μέτρηση αυτή γίνεται με τη βοήθεια του *γραδόμετρου*, οργάνου βαθμολογημένου σε βαθμούς Cartier γνωστούς κυρίως ως *γράδα*. Συχνά, στο ίδιο το γραδόμετρο υπάρχει η δυνατότητα προσδιορισμού της αιθανόλης σε βαθμούς Gay Lussac ή σε % κατ' όγκο ή vol. Εκτός από την ενόργανη μέτρηση, οι αμβυκούχοι - αμπελουργοί χρησιμοποιούν και τον εμπειρικό τρόπο προσδιορισμού της αλκοόλης ο οποίος συνίσταται στη ρίψη μικρής ποσότητας αποστάγματος στη φωτιά. Η ένταση της φλόγας από την καύση της αιθανόλης είναι ενδεικτική της δύναμης του αποστάγματος.



Εικ. 2.3: Προφίλ απόσταξης ανώτερων αλκοολών.



Εικ. 2.4: Προφίλ απόσταξης εστέρων.

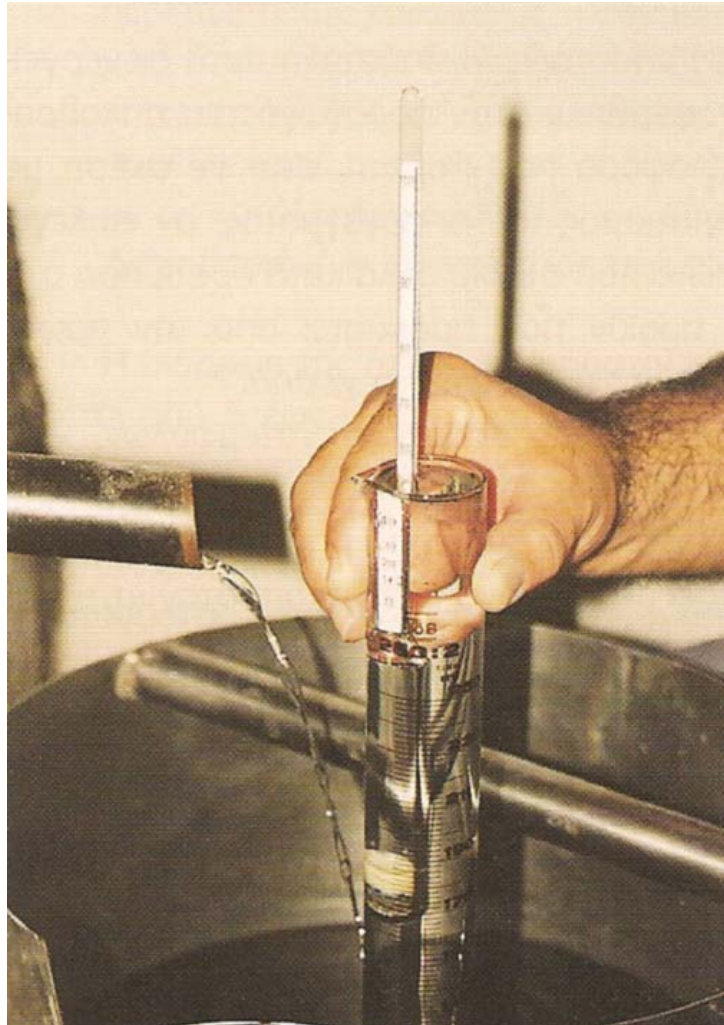
Όταν η αιθανόλη στο εξερχόμενο απόσταγμα εξασθενήσει αρκετά, προβαίνουμε στη διακοπή της διαδικασίας απόσταξης. Στην πράξη η διακοπή αυτή συχνά γίνεται με κριτήριο το διαθέσιμο χρόνο λόγω της περιορισμένης διάρκειας των χορηγούμενων αδειών απόσταξης. Όταν αποφασιστεί το σταμάτημα της απόσταξης, ανοίγουμε προσεχτικά το καπάκι του λέβητα, εκκενώνουμε το υπολειπόμενο περιεχόμενο και τον καθαρίζουμε ώστε να είναι έτοιμος για την επόμενη απόσταξη.

Η διάρκεια της πρώτης απόσταξης ανέρχεται σε 2 ώρες περίπου για άμβυκα 130 λίτρων και εξαρτάται κυρίως από τη δυναμικότητα των στεμφύλων, δηλαδή της περιεκτικότητάς τους σε αλκοολη, και την ένταση της φωτιάς. Η διαδικασία παραγωγής ίου τσίπουρου στη Μακεδονία και ιδιαίτερα στη Νάουσα με μία μόνο βράση λέγεται και απόσταξη «μια κι έξω».

Το συλλεγόμενο απόσταγμα που προορίζεται για κατανάλωση, δηλαδή το κλάσμα της «καρδιάς», ανάλογα με τη «δύναμή» του ακολουθεί δύο διαφορετικές πορείες:

- είτε αραιώνεται με βρόχινο ή αποσκληρυμένο νερό, ώστε να ρυθμιστεί ο αλκοολικός τίτλος του σε επίπεδα πόσης, οπότε προκύπτει το απλο-βρασμένο τσίπουρο
- είτε επαναποστάζεται, όπως θα δούμε πιο κάτω, για να γίνει πιο «δυνατό», οπότε προκύπτει το διπλοβρασμένο τσίπουρο. Με βάση την κείμενη ελληνική και ευρωπαϊκή νομοθεσία, ο ελάχιστος αλκοολικός τίτλος του τσίπουρου και της τσικουδιάς οφείλει να είναι 37,5% vol.

Μετά την ενδεχόμενη αραιώσή του με νερό - όπως προαναφέραμε - αφήνεται συνήθως 2-4 μήνες για να σταθεροποιηθεί και να ωριμάσει.



Εικ. 2.5: Μέτρηση αλκοολικού τίτλου του αποστάγματος στην απορροή του αποστακτήρα.

β. Διπλοβρασμένο τσίπουρο: Η διαδικασία παρασκευής του περιλαμβάνει διαδοχικά την πρώτη απόσταξη ή απόσταξη στεμφύλων και τη δεύτερη απόσταξη ή απόσταξη σούμας ή μετάβραση.

- *Απόσταξη στεμφύλων ή πρώτη απόσταξη:* Η απόσταξη αυτή διενεργείται με τον ίδιο τρόπο που αναφέρθηκε στην παραγωγή του απλοβρασμένου τσίπουρου. Η μόνη διαφορά που παρατηρείται σε σχέση με εκείνη έγκειται στο ότι ο αρωματισμός του αποστάγματος, αν επιλεγεί να γίνει, δεν γίνεται από το πρώτο ήδη στάδιο αλλά κατά προτίμηση στη μετάβραση. Το αλκοολούχο προϊόν που προκύπτει από την πρώτη «βράση» λέγεται *σούμα*¹⁰ ή *χάμ(ι)κο* ή *φλέγμα*¹¹ ή *γράπα*.¹²

¹⁰ *Σούμα:* Προέρχεται από το λατινικό *summa*, που σημαίνει το σύνολο, και συνήθως χρησιμοποιείται στη νησιωτική Ελλάδα για το προϊόν της πρώτης απόσταξης. Ωστόσο, ο Ν.

Αφού ακολουθήσουν κι άλλες τέτοιες αποστάξεις στεμφύλων, έτσι ώστε η ποσότητα της σούμας ή του φλέγματος να είναι επαρκής για μια νέα «καζανιά», τότε πραγματοποιείται η δεύτερη «βράση», γνωστή και ως «μετάβραση», όπου θα πάρει μέρος μόνο αυτό το απόσταγμα.

Η σούμα ή αλλιώς το απόσταγμα που προέρχεται από την πρώτη απόσταξη ή την απόσταξη των στεμφύλων, προκειμένου να οδηγηθεί στη δεύτερη απόσταξη, θα ήταν ευχής έργο να έχει αλκοολικό τίτλο μεταξύ 26 και 28% vol και οπωσδήποτε χαμηλότερο από 30% vol ή 15 περίπου γράδα. Όταν ο αλκοολικός τίτλος της σούμας υπερβαίνει τα όρια αυτά, σκόπιμο είναι να επιχειρείται η αραίωσή της με αποσταγμένο ή βρόχινο νερό. Σε αντίθετη περίπτωση, για να αποκτήσουμε την επιθυμητή τελική περιεκτικότητα σε αλκοόλη, θα αναγκαστούμε να συνεχίσουμε τη δεύτερη απόσταξη σε χαμηλότερα επίπεδα αλκοολικού τίτλου με κίνδυνο να παραλάβουμε ένα απόσταγμα περισσότερο βαρύ και παχύ και ενδεχομένως με έντονο το χαρακτήρα της «ουράς». Επιπλέον, η απόσταξη προϊόντος με περιεκτικότητα σε αλκοόλη πάνω από 45% vol (18 γράδα) ενδέχεται να προκαλέσει εκτίναξη του καπακιού και του τόξου του άμβυκα.

- *Απόσταξη φλέγματος:* Το φλέγμα ή η σούμα, που συγκεντρώθηκε στην προηγούμενη φάση, εισάγεται στο λέβητα προς απόσταξη. Σ' αυτόν προστίθενται και οι αρωματικές ύλες αυτή τη φορά, εφόσον η επιθυμία μας είναι να παράγουμε αρωματισμένο τσίπουρο. Σημειώνουμε ότι στην περίπτωση της τσικουδιάς, κατά κανόνα, δε γίνεται εξωγενής αρωματισμός. Στη συνέχεια διενεργείται η δεύτερη και τελική πια απόσταξη σε λιγότερο από 86% vol, όπως και στην πρώτη απόσταξη. Το προϊόν που θα προέλθει από αυτή είναι το απόσταγμα *διπλής απόσταξης* από το οποίο, με τις κατάλληλες αραιώσεις με αποσκληρωμένο νερό, θα προκύψει το *διπλοβρασμένο τσίπουρο* γνωστό επίσης και ως *μεταβρασμένο*.

Η διάρκεια της δεύτερης απόσταξης, της μετάβρασης, θα πρέπει να κυμαίνεται από 5 έως 6 ώρες για άμβυκα 130 L, ανάλογα με τη δυναμικότητα του φλέγματος και την ένταση της φωτιάς. Στην πράξη, όμως, μερικές φορές η απόσταξη επισπεύδεται. Κατά τη μετάβραση επιβάλεται, επίσης, το «κόψιμο» και η απομάκρυνση των «κεφαλοουρών». Η ποιότητα του διπλοβρασμένου αποστάγματος, συνήθως, είναι ανώτερη από εκείνη του απλοβρασμένου. Η διπλή αφαίρεση των «κεφαλοουρών» βοηθάει στην απομάκρυνση επιβαρυντικών στην ποιότητά του πτητικών συστατικών. Λεπτομέρειες για το θέμα αυτό θα συναντήσουμε στα κεφάλαια «*Η σύσταση του τσίπουρου και της τσικουδιάς*» και «*Με στόχο την ποιότητα*».

2969/2001 ορίζει ως σούμα το προϊόν της ολικής απόσταξης, χωρίς διαχωρισμό κλασμάτων, αλκοολούχων υγρών που προέρχονται από αλκοολική ζύμωση ζαχαρούχων πρώτων υλών.

¹¹ *Φλέγμα:* Αναφέρεται από τους Κωνσταντινίδη και συν. (1952) αντί του προϊόντος της πρώτης απόσταξης. Ωστόσο, οι Cantagrel et al. (1991) στο Cognac αποκαλούν ως φλέγμα το σύνολο των «κεφαλών» και «ουρών».

¹² *Γοάπα ή Grappa:* Όρος που χρησιμοποιείται στη Μακεδονία (Ροδοβίτης, 1985) πριν από την αρχή του 20^{ου} αιώνα, ίσως και παλιότερα. Εντούτοις κατοχυρώθηκε ως ιταλικό προϊόν το 1989. Προέρχεται από λατινική λέξη που δηλώνει το βότρυ των σταφυλιών ή μέρη που τον απαρτίζουν, για να διακρίνει το προϊόν αυτό από το απόσταγμα οίνου ή άλλων φρούτων.

γ. Μια άλλη μέθοδος, που συνηθίζεται επίσης σε ορισμένες περιοχές της Ελλάδας, είναι η αποκαλούμενη «*ένα μέσα στο άλλο*» ή όπως χαρακτηριστικά προφέρεται στη Νάουσα «*ένα μες στ' άλλο*» (Ροδοβίτης, 1985). Η μέθοδος αυτή αποτελεί ένα συνδυασμό των δύο προηγούμενων σταδίων και εφαρμόζεται από οινοπαραγωγούς οι οποίοι, αν και διαθέτουν μικρή μόνο ποσότητα στεμφύλων για απόσταξη, επιθυμούν την παραγωγή διπλοβρασμένου τσίπουρου. Οι παραγωγοί αυτοί γνωρίζουν εκ των προτέρων ότι δε θα μπορέσουν να συμπληρώσουν τον άμβυκα με φλέγμα,¹³ προκειμένου να ακολουθήσει η *μετάβραση* και να παράγουν στη συνέχεια διπλοβρασμένο τσίπουρο. Αναγκάζονται, λοιπόν, να ενσωματώσουν το προϊόν της πρώτης απόσταξης, το φλέγμα, σε μια άλλη νέα απόσταξη στεμφύλων η οποία θα είναι και η τελική. Το προερχόμενο από την προαναφερόμενη διαδικασία απόσταγμα θα αποτελέσει τη βάση για την παραγωγή του «*ένα μες στ' άλλο*» τσίπουρου.



Εικ. 2.6: Ανοίγοντας τον άμβυκα (Αμύνταιο).

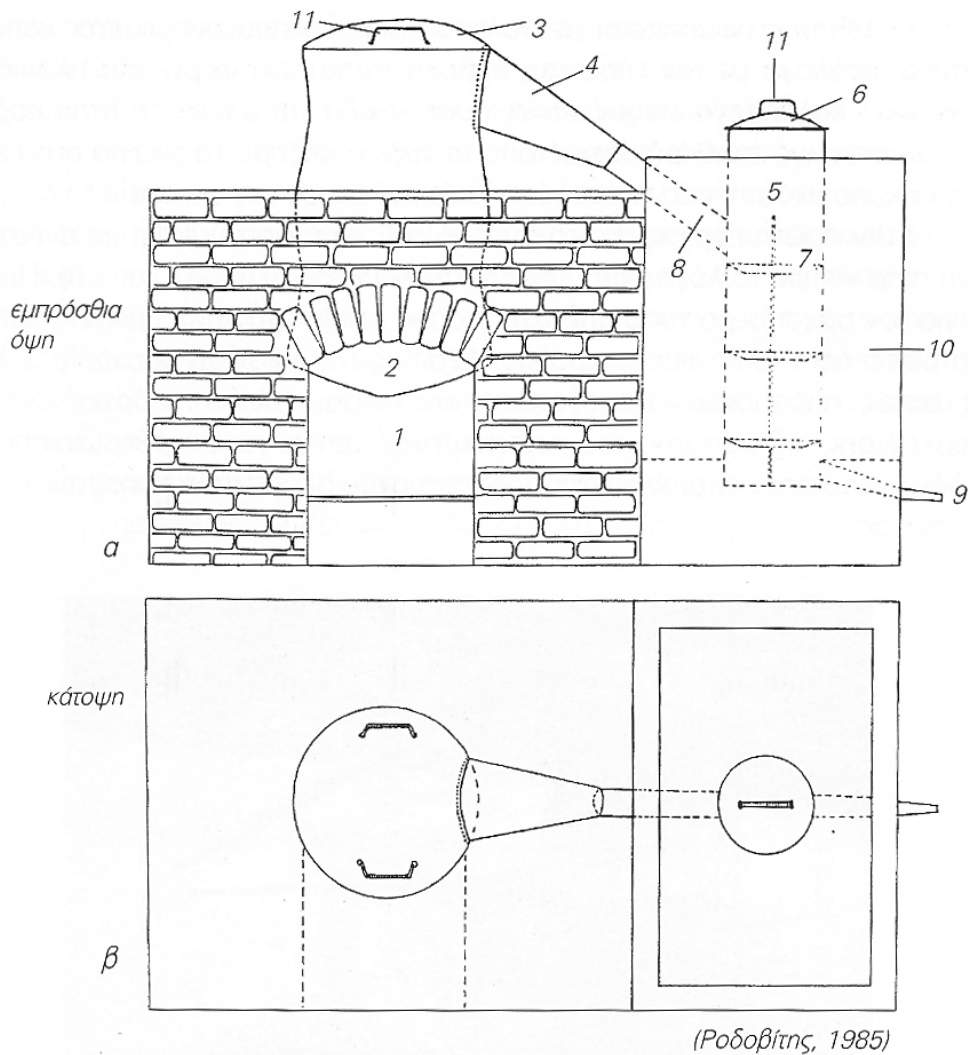
2.1.3. Άμβυκας

Ο αποστακτήρας είναι η συσκευή με την οποία πραγματοποιείται η απόσταξη. Οι παραδοσιακοί αποστακτήρες των αμβυκούχων - αμπελουργών είναι ασυνεχούς λειτουργίας και λέγονται *άμβυκες*. Η χωρητικότητά τους κυμαίνεται από 80 ως 130L και το υλικό κατασκευής τους είναι ο χαλκός. Ωστόσο, σπανιότερα, είναι δυνατόν να

¹³ Απαιτούνται 5 έως 6 αποστάξεις στεμφύλων ώστε να παραλάβουμε επαρκή ποσότητα φλέγματος που θα συμπλήρωνε τον άμβυκα για μια μετάβραση.

συναντήσουμε και πήλινους αποστακτήρες, τους οποίους εξάλλου μνημονεύει και ο Ν. 2969/2001.

Τα κύρια μέρη του άμβυκα είναι ο λέβητας και ο ψυκτήρας. Ο **λέβητας**, γνωστός και ως καζάνι ή βραστήρας, είναι εγκατεστημένος σε μια κοιλότητα, η οποία είναι χτισμένη με πυρότουβλα και χρησιμεύει για εστία θέρμανσης. Στην παραδοσιακή απόσταξη, η θέρμανση συνήθως γίνεται με ξύλα ενώ μερικοί χρησιμοποιούν κάρβουνο, ελαιοπυρήνα ή υγραέριο (μίγμα προπανίου - βουτανίου). Ο έλεγχος της θέρμανσης με την καύση υγραερίου είναι ευκολότερος, ενώ με τα ξύλα απαιτείται μεγαλύτερη επαγρύπνηση και εμπειρία.



Εικ. 2.7: Σχηματική απεικόνιση (α, β) άμβυκα απόσταξης στεμφύλων - τύπου με βραχίονα: (1) εστία θέρμανσης, (2) λέβητας, (3) καπάκι, (4) βραχίονας αυλός), (5) ψυκτήρας (πύργος), (6) καπάκι ψυκτήρα, (7) πιάτα (ψήκτρες), (8) είσοδος ατμών, (9) απορροή, (10) νερό ψύξης, (11) χειρολαβές καπακιών (Νάουσα).



Εικ. 2.7: Φωτογραφία άμβυκα απόσταξης στεμφύλων - τύπου με βραχίονα.

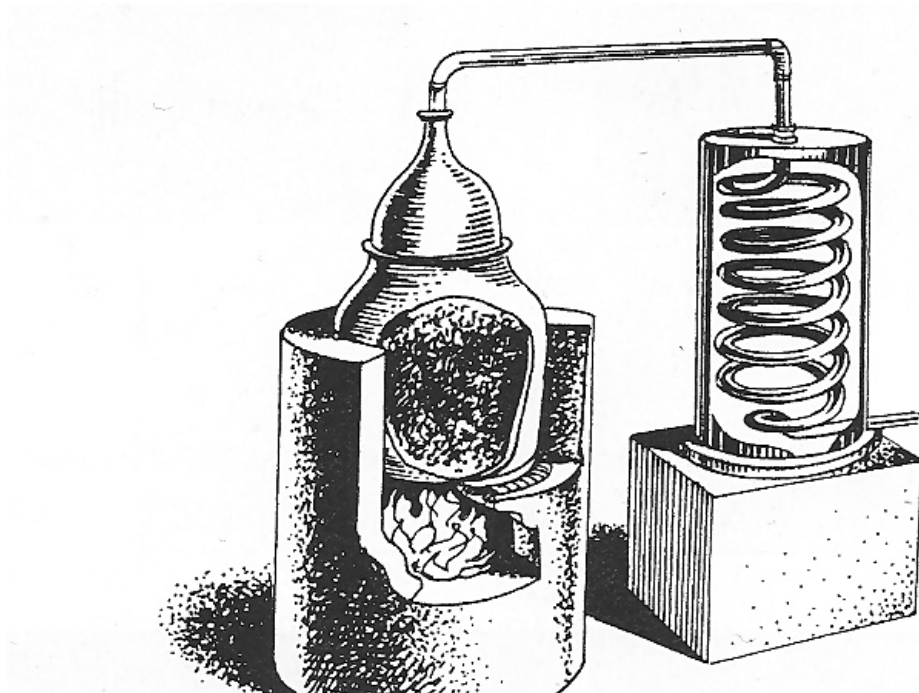


Εικ. 2.8: Άμβυκας φορητός, με μακρύ βραχίονα (προβοσκίδα) στον οποίο μεταγενέστερα προστέθηκε ψυκτήρας (Ιστορικό & Λαογραφικό Μουσείο Δροσοπηγής - Φλώρινα).

Ο λέβητας ποματίζεται με θολωτό κάλυμμα που ονομάζεται *καπάκι* ή *κράνος*. Ανάλογα με τον τύπο του άμβυκα, το καπάκι φέρει'στα πλαγιά του βραχίονα -

καλούμενο επίσης *αυλό*, *προβοσκίδα* και *μανίκι* - ή στην κορυφή του λεπτό αγωγό σταθερής διαμέτρου το *τόζο* ή *δοζάρι*. Τα πλάγια αυτά εξαρτήματα χρησιμεύουν για να συνδέσουν το καπάκι με τον ψυκτήρα.¹⁴

Στην πρώτη περίπτωση, το σύνολο του καπακιού μοιάζει με ανεστραμμένη πίπα και για το λόγο αυτό λέγεται και *λουλάς*¹⁵ (εικ. 3.7 και 3.8). Πρόκειται για τον αρχαιότερο τύπο άμβυκα από τον οποίο ένας πολύ μικρός αριθμός έχει μείνει στην ελληνική επικράτεια. Εξαιτίας του πλάγιου βραχίονα ο λέβητας αυτός παρουσιάζει σημαντικό μειονέκτημα, επειδή υπάρχει κίνδυνος υπερχειλίσσης («ξέρασμα») του περιεχομένου του λόγω υπερθέρμανσης. Για το λόγο αυτό απαιτείται ιδιαίτερη προσοχή στην πλήρωσή του και την ένταση της φωτιάς.



(Γσουράς Γ. Από Τσακίρη, 1995)

Εικ. 2.9: Άμβυκας (λαμπίκος) με σύστημα σερπαντίνας.

Στη δεύτερη περίπτωση άμβυκα (εικ. 2.9) το θολωτό κάλυμμα - αντί του πλάγιου βραχίονα - φέρει στην κορυφή του λεπτό και επιμήκη αγωγό γνωστό ως *τόζο* ή *δοζάρι*. Ο αγωγός αυτός είναι μικρότερης διατομής σε σχέση με τον προηγούμενο και σταθερής διαμέτρου σε όλο το μήκος του. Για το λόγο αυτό, προκειμένου ο

¹⁴ Παλιότερα, στους πρόδρομους τύπους αυτού του άμβυκα ο βραχίονας (μανίκι, λουλάς) περνούσε σε ευθεία πορεία μέσα από τη δεξαμενή νερού και αποτελούσε έτσι από μόνος του τον ψυκτήρα.

¹⁵ Η κύρια σημασία της λέξης λουλάς αναφέρεται στον (ν)αργιλλέ. Όσον αφορά όμως στους αποστακτήρες, η λέξη λουλάς χρησιμοποιείται - εκτός από ολόκληρο τον άμβυκα τύπου «χωρίς πύργο ψύξης» - αφενός για τον πλάγιο βραχίονα μεμονομένα και αφετέρου για το μέρος του ψυκτήρα από όπου βγαίνει το απόσταγμα (η απορροή).

προαναφερόμενος αγωγός να έχει καλή εφαρμογή στα δυο του άκρα, έχουν διαμορφωθεί κατάλληλα τόσο ο θόλος του καπακιού όσο και η κορυφή του ψυκτήρα. Είναι ο νεώτερος τύπος παραδοσιακού αποστακτήρα, ο οποίος μοιάζει αρκετά με το γαλλικό *alambic*, και λέγεται *λαμπίκος*, ονομασία η οποία προέκυψε από την ελληνική λέξη άμβυξ (*ambix* → *ambic*), αφού προηγουμένως αραβοποιήθηκε με την προσθήκη του άρθρου *al* (*al ambic* → *alambic* → *αλαμπίκος* → *λαμπίκος*).

Ο αγωγός σύνδεσης του λέβητα με τον ψυκτήρα - είτε με τη μορφή του πλάγιου βραχίονα είτε με τη μορφή του τόξου - έχει ως αποστολή να οδηγήσει τον ατμό, που σχηματίζεται κατά την απόσταξη, στον ψυκτήρα από όπου με τη συμπύκνωση θα προκύψει το απόσταγμα.

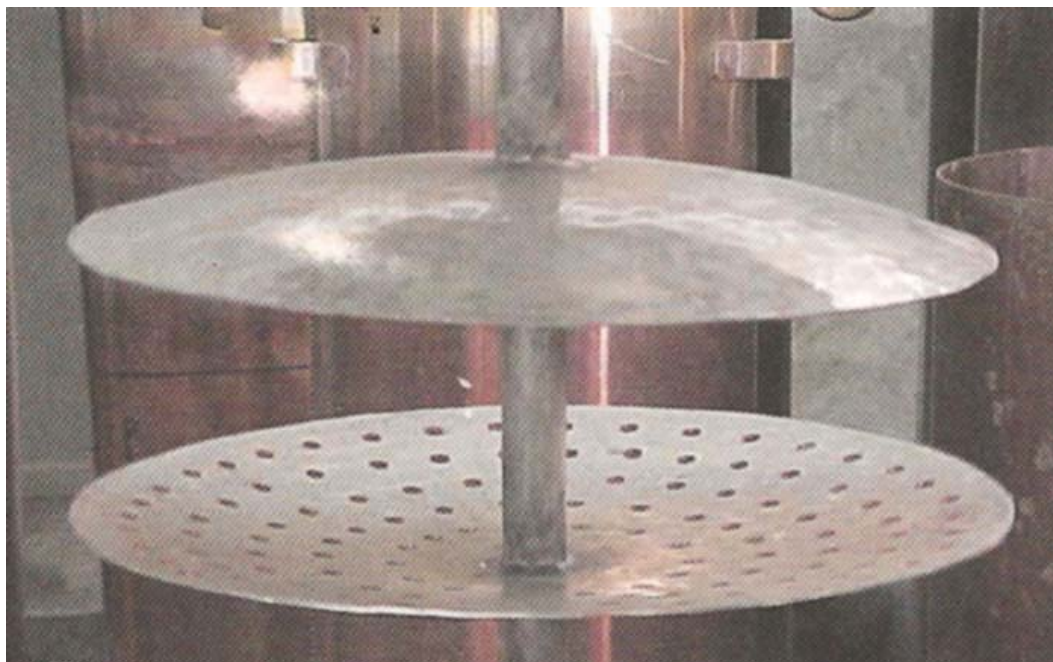
Ο *ψυκτήρας* στην εξελιγμένη του μορφή είναι ένας χάλκινος κύλινδρος (*πύργος*)¹⁶ που περιβάλλεται από κρύο νερό και παίζει το ρόλο του συμπυκνωτή.

Οι ατμοί, που σχηματίζονται κατά την απόσταξη, εισέρχονται στο επάνω μέρος του ψυκτήρα και βγαίνουν από το κάτω μέρος αυτού υγροποιημένοι. Στο εσωτερικό του υπάρχει η ανάλογη δομή (*ψήκτρες*) που στοχεύει στην επιβράδυνση της διέλευσης των ατμών και ως εκ τούτου στην αύξηση της ψυκτικής επιφάνειας.

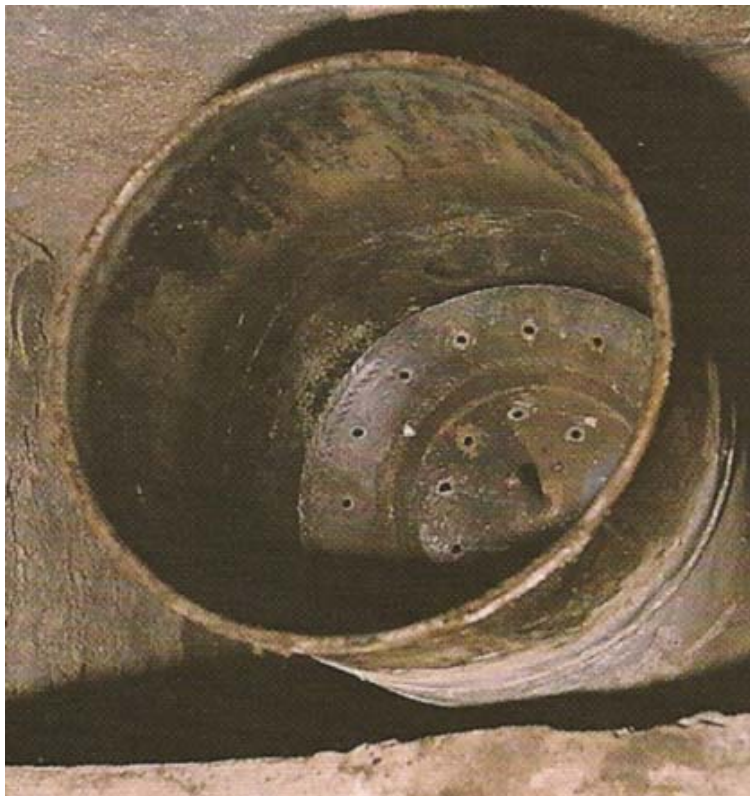
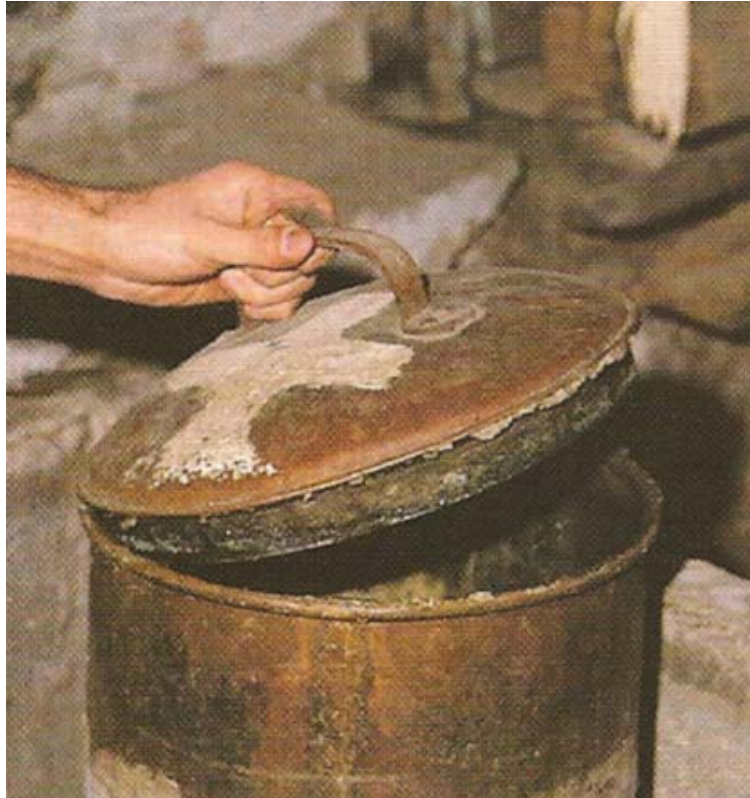
Υπάρχουν τριών τύπων ψυκτήρες:

α. *Ο ψυκτήρας με πιάτα ή δίσκους*. Αποτελείται από έναν κατακόρυφο κεντρικό άξονα κατά μήκος του οποίου και κάθετα προς αυτόν υπάρχουν διάτρητοι δίσκοι (πιάτα), κυρτοί ή κοίλοι εναλλάξ και παράλληλοι μεταξύ τους (εικ. 2.10α, β). Η τροφοδοσία των ατμών γίνεται συνήθως με βραχίονα ή με τόξο. Στην περίπτωση του βραχίονα ο ψυκτήρας φέρει καπάκι με χειρολαβή στο πάνω μέρος αυτού για να ανοίγει και να καθαρίζεται κατά τη διάρκεια και στο τέλος της αποστακτικής περιόδου (εικ. 2.11α, β). Στην περίπτωση του τόξου ο ψυκτήρας φέρει καπάκι σε σχήμα κώνου, χωρίς χειρολαβή (εικ. 2.9). Όλο αυτό το σύστημα περιβάλλεται από δεξαμενή νερού. Είναι ο παλιότερος εν ενεργεία τύπος ψυκτήρα.

¹⁶ Πριν εφαρμοστεί το σύστημα με τον πύργο, ο βραχίονας περνούσε σε ευθεία πορεία μέσα από τη δεξαμενή νερού και αποτελούσε από μόνος του ένα είδος ψυκτήρα (υποσημείωση 14).



Εικ. 2.10α, β: Διάταξη από δίσκους (πίατα), που εγκαθίστανται στο εσωτερικό του ψυκτήρα (α) συνολική άποψη (β) μερική άποψη (Χαλκουργείο Ελευθεριάδη - Θεσσαλονίκη).



Εικ. 2.11α, β: Ψυκτήρας με διάταξη από δίσκους (πιάτα), στη Νάουσα, (α) άνοιγμα ψυκτήρα, (β) το εσωτερικό του.

β. Ο *ψυκτήρας με σερπαντίνα*. Αποτελείται από σωλήνα σε μορφή σπείρας (εικόνες 2.9 και 2.12), η οποία βυθίζεται σε νερό. Ο τύπος αυτός είναι νεώτερος από

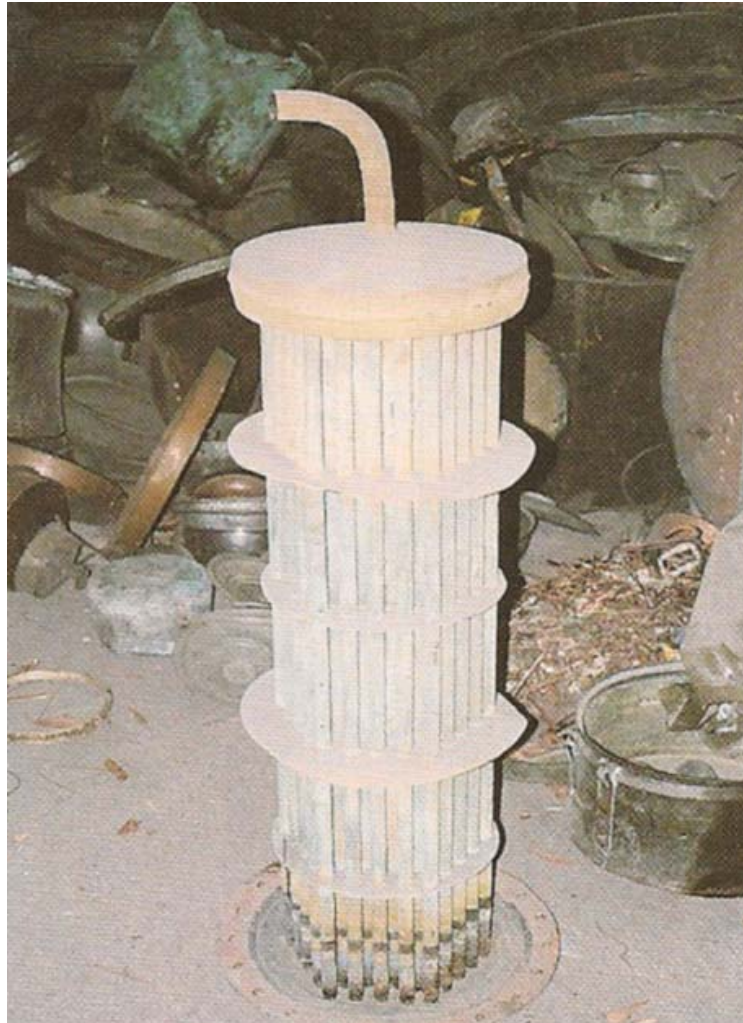
τον προηγούμενο, αλλά έχει σχεδόν εκλείψει. Μερικές φορές η σερπαντίνα έχει μορφή «σπείρας» με τετράγωνο σχηματισμό (βήμα), αντί του συνηθισμένου κυκλικού.



(φωτ. Πλουμίδου Ρ.)

Εικ. 2.12: Σπειροειδής σωλήνας ψύξης (σερπαντίνα) από άμβυκα στη Σάμο.

γ. Ο **ψυκτήρας με κατακόρυφους σωλήνες**. Αποτελείται από μια δέσμη κατακόρυφων χάλκινων σωλήνων μέσα από τους οποίους περνούν οι ατμοί (εικ. 3.13), ενώ εξωτερικά οι σωλήνες αυτοί διαβρέχονται από κρύο νερό που κυκλοφορεί στα μεταξύ των σωλήνων διαστήματα. Η τροφοδοσία αυτού του ψυκτήρα σε νερό γίνεται κατ' αντιστροφή προς την κατεύθυνση των υγροποιημένων ατμών, όπως στους υάλινους ψυκτήρες των χημικών εργαστηρίων. Είναι ο πιο σύγχρονος τύπος ψυκτήρα και συνδέεται μόνο με άμβυκες που φέρουν τόξο ή δοξάρι. Ο ψυκτήρας με κατακόρυφους σωλήνες εξοικονομεί σημαντικό χώρο, πλεονέκτημα το οποίο οφείλεται στην απουσία της εξωτερικής δεξαμενής νερού που έχουν ανάγκη οι προηγούμενοι τύποι.



Εικ. 2.13: Ψυκτήρας με κατακόρυφους σωλήνες
(Χαλκουργείο Ελευθεριάδη - Θεσσαλονίκη).

παρασκευής του τσίπουρου

Η παρασκευή τσίπουρου από την αποσταγματοποιία και την ποτοποιία άρχισε γύρω στο 1990, ως επακόλουθο της σχετικής ελληνικής νομοθεσίας (Ν. 1802/1988) και της αντίστοιχης ευρωπαϊκής (Καν. 1576/1989). Η νομοθετική ρύθμιση, η επιστημονική στήριξη, η τεχνογνωσία και η επένδυση κεφαλαίων σε σύγχρονες αποστακτικές συσκευές - οι οποίες συσκευές εμπνεύστηκαν ή αντιγράφηκαν από τις ξένες τεχνολογίες - συνετέλεσαν στο να παραχθεί το αποκαλούμενο *τσίπουρο αποσταγματοποιίας*.

Σήμερα είναι λίγες οι αποσταγματοποιίες που δραστηριοποιούνται στο χώρο του τσίπουρου εξαιτίας του κόστους των αποστακτικών συγκροτημάτων.

2.2.1. Σύγχρονη οινοποίηση

Ακόμη και στη σύγχρονη οινοποίηση οι διάφορες φάσεις αυτής γίνονται χωρίς να ξεχνάμε ότι τα στέμφυλα θα οδηγηθούν στην απόσταξη.

Στις μεγάλες οινοποιητικές μονάδες, η παραγωγική διαδικασία του οίνου πραγματοποιείται με τη χρήση μηχανολογικού εξοπλισμού, ώστε να αντιμετωπιστούν αποτελεσματικά οι αυξημένες ανάγκες της. Σε πολλές μάλιστα εξ αυτών, σε χώρες του εξωτερικού, η συγκομιδή των σταφυλιών γίνεται με τη βοήθεια των καλούμενων μηχανών τρυγητού.

Τα ώριμα σταφύλια, μετά τη συγκομιδή τους, οδηγούνται στο οινοποιείο.

Στη **λευκή οινοποίηση**, η επεξεργασία της σταφυλόμαζας περιορίζεται συνήθως στην έκθλιψη των ραγών ενώ η απομάκρυνση των βοστρύχων εξαρτάται από τη μέθοδο οινοποίησης. Στη συνέχεια ακολουθεί ο διαχωρισμός του γλεύκους από τα στέμφυλα με στράγγιση (στατικός διαχωρισμός), ώστε τα απομένοντα στέμφυλα να έχουν επαρκή ποσότητα γλεύκους προς ζύμωση (περίπου 30-40%). Το γλεύκος που διαχωρίστηκε ζυμώνεται για την παραγωγή οίνου ενώ τα στέμφυλα με το παραμένον σε αυτά γλεύκος ζυμώνονται για να οδηγηθούν στην απόσταξη.

Στη σύγχρονη οινοποίηση η αλκοολική ζύμωση διεξάγεται είτε στους οινοποιητές, οι οποίοι είναι μεγάλες κλειστές δεξαμενές από ανοξείδωτο χάλυβα και με πρόσθετο εξοπλισμό, είτε σε κλειστές τσιμεντένιες δεξαμενές ζύμωσης. Και οι δυο τύποι δεξαμενών ζύμωσης είναι συνήθως μεγάλης χωρητικότητας που κυμαίνονται από 50 έως 250 hL.¹⁷

Όσον αφορά στα στέμφυλα, για να διευκολυνθεί η εξέλιξη της αλκοολικής ζύμωσης γίνεται προσθήκη χλιαρού νερού και πολλές φορές καλλιέργεια ζυμών.

Στην **ερυθρή οινοποίηση**, η έκθλιψη και η αποβοστρύχωση των σταφυλιών διεξάγεται στο θλιπτήριο και εκραγιστήριο αντίστοιχα, όπου θραύονται οι ράγες και απομακρύνονται οι βόστρυχες. Κατόπιν, η σταφυλόμαζα οδηγείται σε μεγάλες δεξαμενές, τους οινοποιητές, όπου αφήνεται να ζυμωθεί.

Η εξέλιξη της αλκοολικής ζύμωσης, της εκχύλισης και της μηλογαλακτικής ζύμωσης παρακολουθείται με αναλύσεις των ζαχάρων, των φαινολικών ενώσεων, των οξέων και άλλων συστατικών του ζυμούμενου γλεύκους και του παραγόμενου οίνου ενώ η θείωση της σταφυλόμαζας, αν δεν εκλείψει παντελώς, περιορίζεται στο ελάχιστο δυνατό. Παράλληλα διεξάγονται ο αερισμός της σταφυλόμαζας για την ομαλή εξέλιξη της αλκοολικής ζύμωσης και οι ανακυκλώσεις του οίνου χωρίς αερισμό για την ενίσχυση της εκχύλισης.

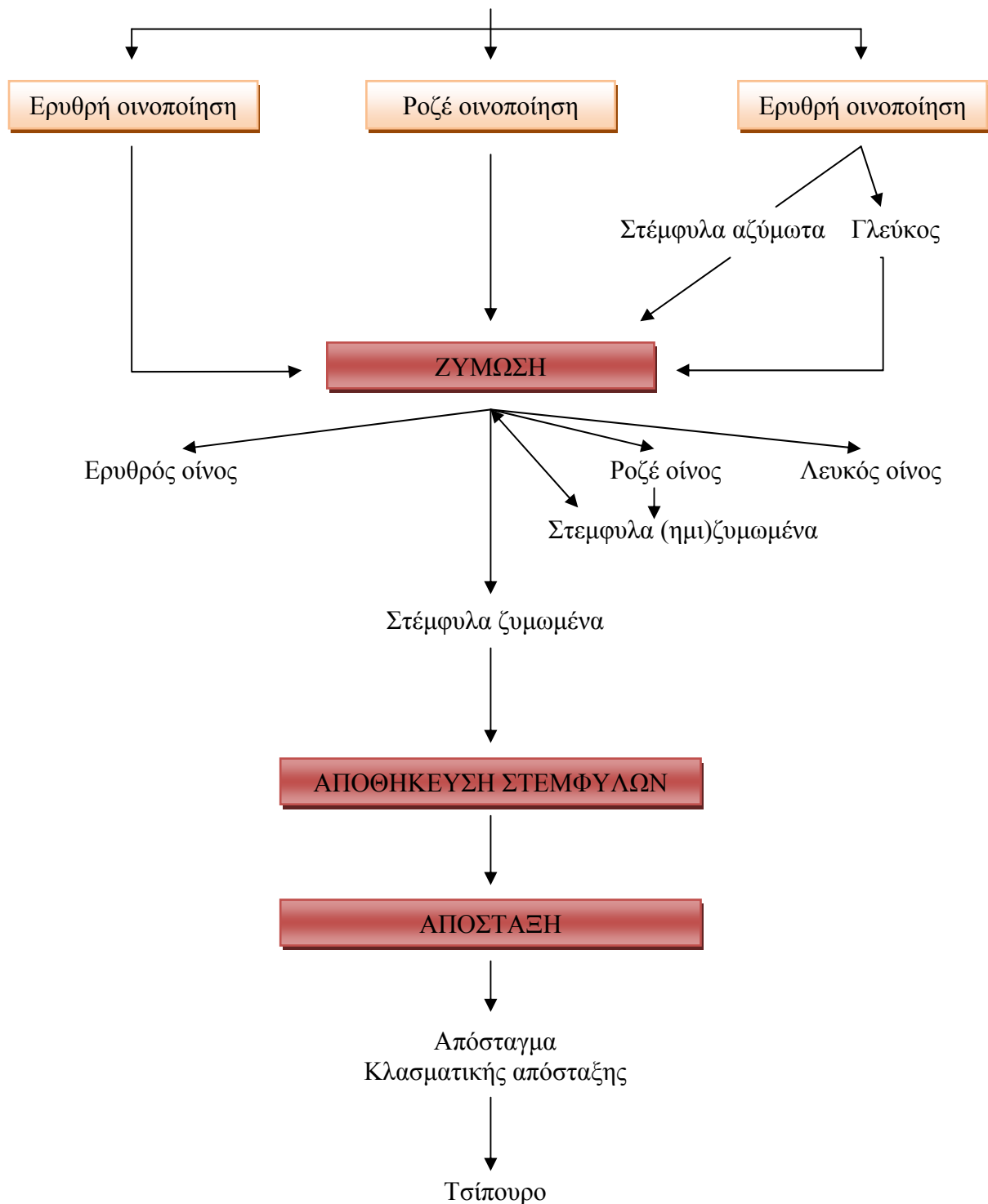
Όταν εξασθενήσει η ένταση της αλκοολικής ζύμωσης - δηλαδή ύστερα από 8-15 ημέρες συμπαραμονής των στεμφύλων και του εν ζυμώσει γλεύκους για την ερυθρή οινοποίηση ή 1-2 ημέρες για τη ροζέ οινοποίηση (εικ. 2.14) - διεξάγεται το «τράβηγμα» του οίνου από τα στέμφυλα. Ο οίνος εκροής, λοιπόν, παραλαμβάνεται με φυσική ροή από τον αγωγό εξόδου που βρίσκεται στο κάτω μέρος της δεξαμενής.

Σταφυλές



ΓΛΕΥΚΟΠΟΙΗΣΗ

¹⁷ hL = εκατόλιτρο = 100 λίτρα (L).



Εικ. 2.14: Σύγχρονη διαδικασία παρασκευής τσίπουρου.

Η στεμφυλόμαζα που μένει στη δεξαμενή ζύμωσης περιέχει ακόμα 30-40% κατά βάρος οίνο και αποτελεί την πρώτη ύλη για την επόμενη φάση της απόσταξης. Η ενδεχόμενη πίεση της σταφυλόμαζας για την παραλαβή μεγαλύτερης ποσότητας οίνου, εκτός από την υποβάθμιση της ποιότητας του παραλαμβανόμενου οίνου, πτωχαίνει και την απόδοση των στεμφύλων σε απόσταγμα.

Στο τέλος της ζύμωσης, τα στέμφυλα - από όποιο είδος οινοποίησης και αν προέρχονται - παραμένουν σε ερμητικά κλειστές δεξαμενές, ως τη στιγμή που θα αποσταχθούν. Σε κατάλληλες συνθήκες, τα στέμφυλα μπορούν να διατηρηθούν από 2 ως 4 μήνες ανάλογα με την υγιεινή τους κατάσταση.

2.2.2. Σύγχρονη απόσταξη και αποστακτικές συσκευές

Η απόσταξη στεμφύλων για την παραγωγή τσίπουρου και τσικουδιάς από την οργανωμένη αποσταγματοποιία, σε αντίθεση προς την παραδοσιακή απόσταξη, διεξάγεται σε μεγαλύτερες, πιο ακριβές και πολύπλοκες αποστακτικές συσκευές, τις λεγόμενες αποστακτικές στήλες.



Εικ. 2.15: Αμβυκας απόσταξης στεμφύλων χωρητικότητας 1000 L πριν την εγκατάστασή του (Χαλκουργείο Ελευθεριάδη - Θεσσαλονίκη).

Ωστόσο, μερικές αποσταγματοποιίες διαθέτουν περίπου με εκείνους της παραδοσιακής απόσταξης (εικ. 3.15), αλλά μεγαλύτερης χωρητικότητας η οποία - σύμφωνα με το Ν. 2969/2001 - κυμαίνεται από 200 έως 1000 λίτρα. Επιπλέον, ως καύσιμη ύλη για τη θέρμανσή τους χρησιμοποιούν πετρέλαιο ή υγραέριο αντί των ξύλων ή του ελαιοπυρήνα. Κατά τα άλλα οι μέθοδοι

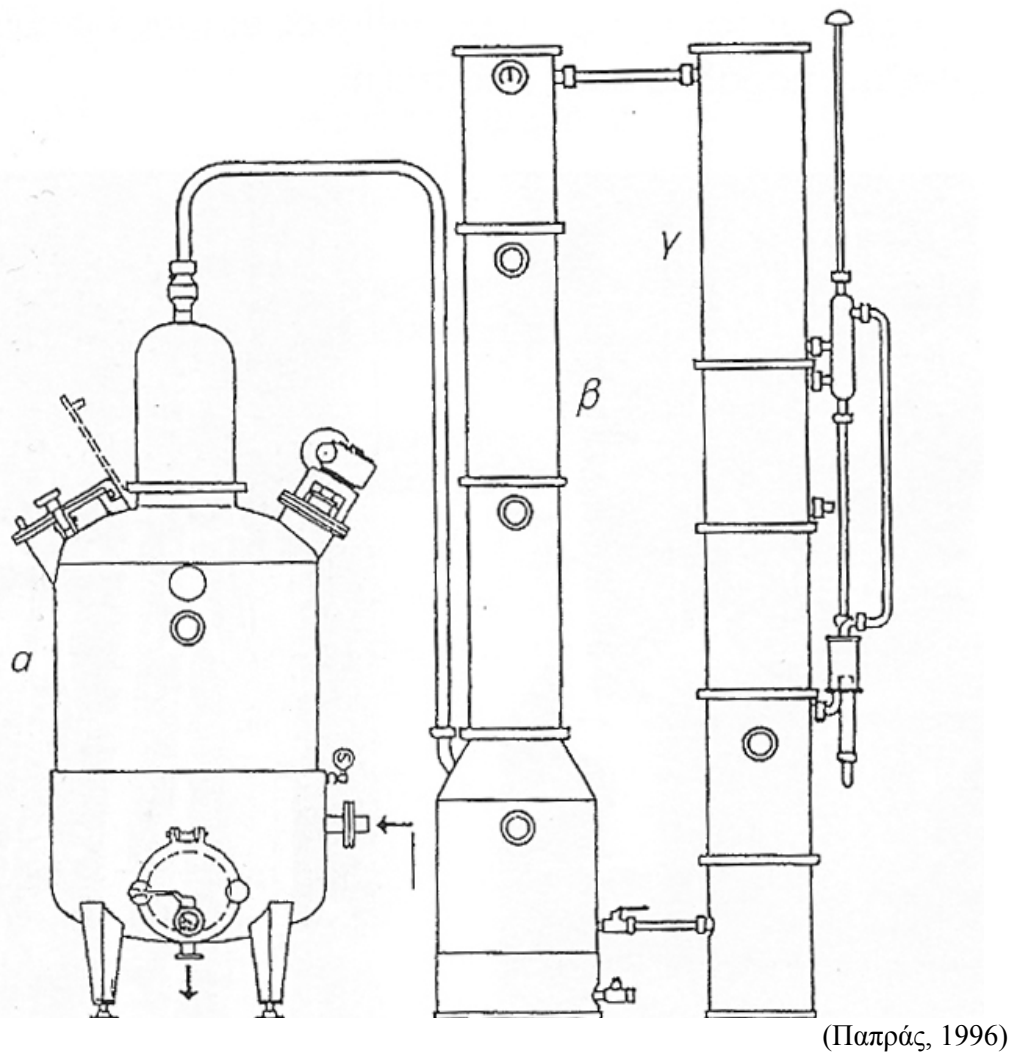
απόσταξης με τους άμβυκες αυτούς δεν διαφέρουν αισθητά από εκείνες της παραδοσιακής απόσταξης.



Εικ, 2.16: Σύγχρονο αποστακτικό συγκρότημα με «ελεύθερη» στήλη ανακαθορισμού (Αποσταγματοποιία Τσίλιλη - Τρίκαλα).

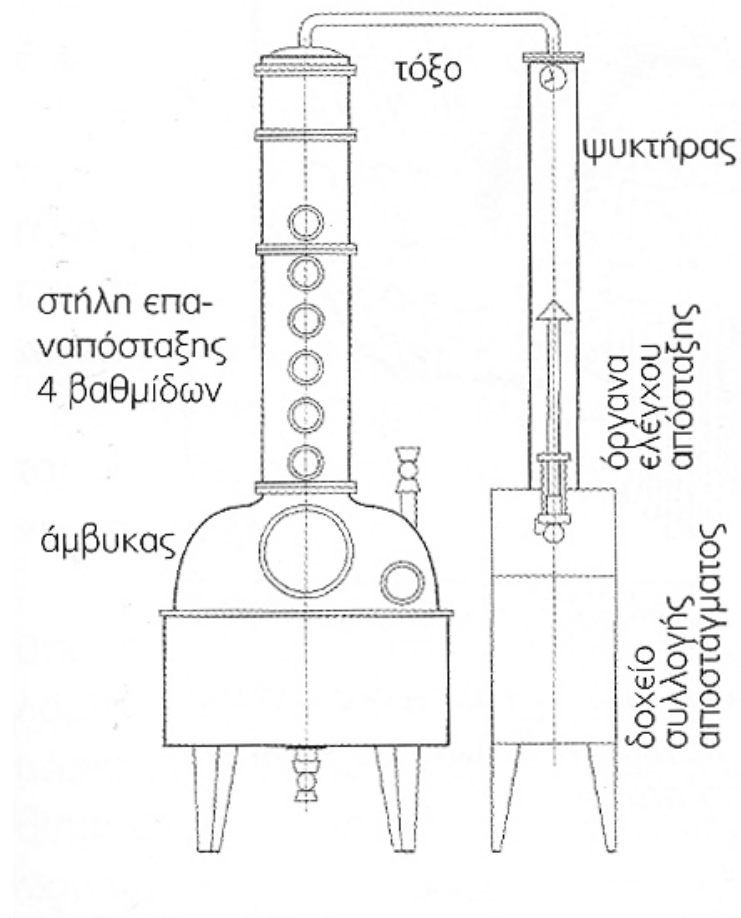
Όσον αφορά, όμως, στις αποστακτικές συσκευές ή καλύτερα στα αποστακτικά συγκροτήματα ή αποστακτικές στήλες (εικ. 3.16) οι διαφορές είναι σημαντικότερες. Οι συσκευές αυτές παρέχουν τη δυνατότητα απόσταξης μεγάλων ποσοτήτων στεμφύλων και εξασφαλίζουν ευκολότερο διαχωρισμό των κεφαλουρών, μικρότερες απώλειες σε θερμότητα και γενικά μεγαλύτερη απόδοση. Οι αποστακτικές στήλες διακρίνονται σε δυο κατηγορίες, στις ασυνεχείς και στις συνεχείς. Στις *ασυνεχείς συσκευές*, μετά από ένα πλήρη κύκλο απόσταξης και πλήρη εξάντληση της αλκοόλης, διακόπτουμε τη λειτουργία τους και τις προετοιμάζουμε για ένα νέο κύκλο εργασίας. Στις *συνεχείς συσκευές*, η τροφοδοσία της πρώτης ύλης και η παραγωγή του αποστάγματος γίνονται με συνεχή ροή. Οι τελευταίες αυτές συσκευές είναι βιομηχανικής εμβέλειας, περισσότερο αυτοματοποιημένες και χρησιμοποιούνται στην οινοπνευματοποιία με πρώτη ύλη τη μελάσα από τεύτλα ή και άλλα ζαχαρούχα και αμυλούχα γεωργικά προϊόντα.

Οι λειτουργούσες σήμερα στην Ελλάδα αποστακτικές συσκευές¹⁸ είναι ασυνεχούς λειτουργίας και αποτελούνται από το λέβητα, τη στήλη ανακαθορισμού και το συμπυκνωτή ή ψυκτήρα (εικόνες 2.17 έως και 2.20).



Εικ. 2.17: Σχεδιάγραμμα σύγχρονου αποστακτικού συγκροτήματος με «ελεύθερη» στήλη ανακαθορισμού: α) λέβητας, β) στήλη, γ) συμπυκνωτής (Αποσταγματοποιίο ΑΟΣ Τυρνάβου).

¹⁸ Περισσότερες λεπτομέρειες για τον τρόπο λειτουργίας των συσκευών και τη διεργασία της απόσταξης περιέχονται στο ομώνυμο κεφάλαιο και στο υποκεφάλαιο «Αναπόεταξη - Κλασματική στήλη».



(Αποσταγματοποιία Ε. Τσάνταλη)

Ει κ. 2.18: Σχεδιάγραμμα σύγχρονου άμβυκα απόσταξης στεμφύλων, στο οποίο η στήλη ανακαθορισμού είναι ενσωματωμένη με το λέβητα.



Εικ. 2.19: Αποστακτικές συσκευές στεμφύλων με ενσωματωμένες τις στήλες ανακαθορισμού στους λέβητες (Αποσταγματοποιία Ε. Τσάνταλη, Άγιος Παύλος Χαλκιδικής).

Αναλυτικότερα:

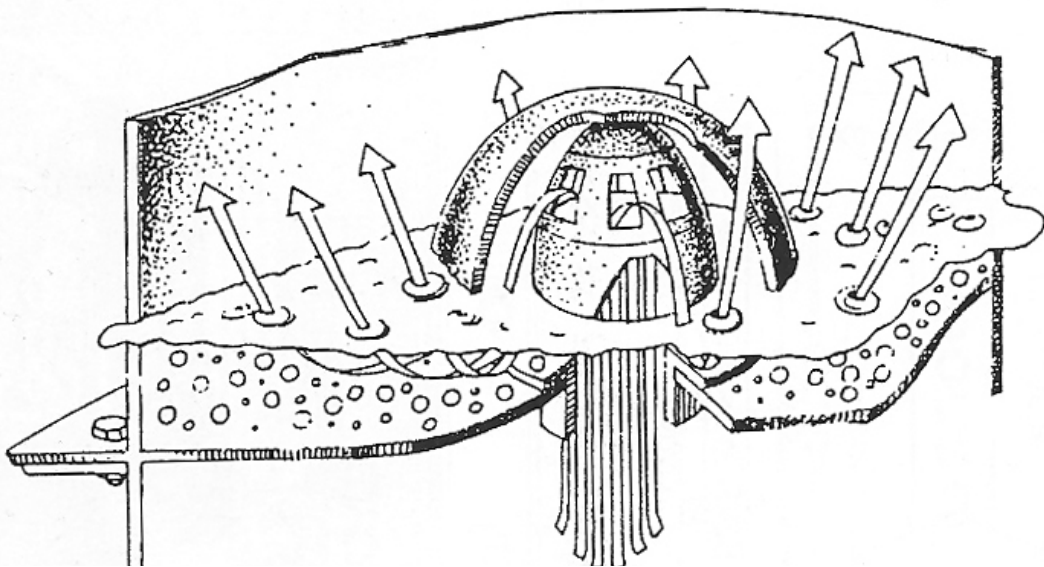
α) Ο λέβητας ή άμβυκας είναι χωρητικότητας 800-1000L και το υλικό κατασκευής του είναι ο χαλκός. Σ' αυτόν τοποθετείται η στεμφυλόμαζα που προορίζεται για απόσταξη. Για την πλήρωσή του αλλά και την εκκένωση του περιεχομένου του έχει ειδικές θυρίδες με στεγανή εφαρμογή. Στο εσωτερικό του φέρει αναδευτήρα, ο οποίος αποτρέπει την επικόλληση των στερεών μερών της στεμφυλόμαζας στα τοιχώματα του λέβητα και την υπερθέρμανσή τους.

Η θέρμανση του λέβητα γίνεται με ατμό χαμηλής πίεσης (0,5 atm) που διοχετεύεται στο χιτώνιο που τον περιβάλλει. Η θερμοκρασία και η πίεση του ατμού ρυθμίζονται αυτόματα.

β) Η στήλη ανακαθορισμού ή κλασματική¹⁹ στήλη είναι ένας κύλινδρος με 4 έως 10 δίσκους ή πλατώ²⁰ που επικοινωνούν μεταξύ τους. Από το κάτω μέρος της

¹⁹ Όπως στην αμέσως προηγούμενη υποσημείωση.

στήλης εισέρχονται οι ατμοί που προέρχονται από τη στεμφυλόμαζα που περιέχεται στο λέβητα και από το επάνω εξέρχονται οι εμπλουτισμένοι σε αλκοόλη και άλλα πτητικά συστατικά ατμοί, ενώ ταυτόχρονα διαχωρίζεται το μεγαλύτερο μέρος των ανεπιθύμητων συναπόστακτων ουσιών. Για να επιτευχθεί ο εμπλουτισμός των ατμών σε πτητικά συστατικά, σε κάθε πλατώ υπάρχει διάταξη με ανεστραμμένα ποτηράκια ή καμπανάκια, όπως λέγονται (εικ. 3.20). Αυτά αναγκάζουν το ανοδικό ρεύμα των ατμών να περάσει μέσα από την υγρή φάση που κατέρχεται στη στήλη και προέρχεται από τους ατμούς που έχουν συμπυκνωθεί. Δηλαδή, οι ανερχόμενοι ατμοί πιέζουν και περνούν από το ποτηράκι και ταυτόχρονα μέσα από την υγρή φάση. Οι πολύ πτητικές ουσίες συνεχίζουν για το ψηλότερο δίσκο ενώ οι λιγότερο πτητικές υγροποιούνται, επικάθονται στο δίσκο όπου βρίσκονται και αφού συσσωρευθεί ικανή ποσότητα απ' αυτές με τη μορφή υγρού κατέρχονται στον αμέσως χαμηλότερο.



(Τσουράς Γ. Από Τσακίρη, 1995)

Εικ. 2.20: Τομή κάψας («καμπανάκι») από το εσωτερικό στήλης απόσταξης όπου διακρίνονται - με τη μορφή βελών - τα ανερχόμενα, διό μέσου του υγρού, ρεύματα ατμών.

Στη χώρα μας οι εγκατεστημένες στήλες ανακαθορισμού ή επαναπόσταξης για την παραγωγή τσίπουρου - ανάλογα με τη διάταξή τους στο αποστακτικό συγκρότημα - διακρίνονται σε αυτές που είναι *ελεύθερες*, δηλαδή εγκατεστημένες σε παράλληλη διάταξη με το λέβητα (εικ. 2.17), και σε εκείνες που είναι *ενσωματωμένες* και επικάθονται σε αυτόν (εικ. 2.20). Στην πρώτη περίπτωση, στη βάση της στήλης υπάρχει σερπαντίνα θερμαινόμενη με ατμό με τη βοήθεια της οποίας πραγματοποιείται η επαναπόσταξη των υγροποιηθέντων πτητικών συστατικών, τα οποία συγκεντρώνονται σ' αυτήν.

Θεωρητικά, η χρησιμοποίηση της στήλης ανακαθορισμού παρέχει τη δυνατότητα παραγωγής αλκοολούχου προϊόντος *πολλαπλά* αποσταγμένου.

²⁰ Επίσης λέγονται πιάτα, βαθμίδες, επίπεδα, σπόνδυλοι.

γ) Μετά τη στήλη ακολουθεί ο *συμπυκνωτής ή ψυκτήρας*: Είναι ένας κύλινδρος με νερό ελεγχόμενης θερμοκρασίας, στον οποίο είναι εγκατεστημένη μία μικτή διάταξη ροής από σερπαντίνες και ευθείς κατακόρυφους σωλήνες. Οι ατμοί που προέρχονται από τη στήλη ανακαθορισμού εισέρχονται στο συμπυκνωτή από το επάνω μέρος του, υγροποιούνται και στη συνέχεια το παραγόμενο απόσταγμα εξέρχεται από το μεσαίο τμήμα αυτού. Τέλος, από το κάτω μέρος του συμπυκνωτή εξέρχεται ένα μέρος των «κεφαλοουρών» το οποίο επιστρέφει στο επάνω μέρος της στήλης ανακαθορισμού. Ωστόσο, σε ορισμένες αποστακτικές στήλες δεν υπάρχει η προηγούμενη δυνατότητα αλλά οι «κεφαλοουρές» συλλέγονται σε χωριστή δεξαμενή απ' όπου:

- απόσταξη στον επόμενο κάθε φορά κύκλο,
- είτε - εφόσον συγκεντρωθεί μια ικανή ποσότητα απ' αυτές - επαναποστάζονται όλες μαζί, χωρίς την παρουσία άλλης πρώτης ύλης.

Ο τρόπος διαχείρισης ή χρησιμοποίησης των «κεφαλοουρών» εξαρτάται, επίσης, και από τις δυνατότητες που παρέχουν οι διοικητικές υπηρεσίες ελέγχου της απόσταξης χυς.

Όλες οι συνδέσεις των τμημάτων του αποστακτικού συγκροτήματος είναι στεγανές, ενώ η λειτουργία του ρυθμίζεται και ελέγχεται από ηλεκτρονικό πίνακα. Οι ανωτέρω συνδέσεις αλλά και κάθε άλλη βάννα που επιτρέπει την επικοινωνία με το εσωτερικό του βρίσκονται και υπό διοικητικό έλεγχο με την τοποθέτηση μολυβδοσφραγίσεων.

Με το πέρας αυτής της πλήρως αυτοματοποιημένης απόσταξης ο λέβητας αποσφραγίζεται, εκκενώνεται, καθαρίζεται και ξαναγεμίζει για την επόμενη απόσταξη.

Το παραγόμενο απόσταγμα συλλέγεται σε σφραγισμένες δεξαμενές οι οποίες βρίσκονται υπό έλεγχο, όπως προβλέπεται από τη νομοθεσία, και ακολουθούν οι διοικητικές ενέργειες. Στη συνέχεια το απόσταγμα αφήνεται να ωριμάσει για 4-6 μήνες στη διάρκεια των οποίων ρυθμίζεται προοδευτικά στον επιθυμητό αλκοολικό τίτλο στον οποίο πρόκειται να καταναλωθεί. Η ρύθμιση ή αραίωση γίνεται με την προσθήκη αποσκληρυμένου ή απιονισμένου νερού προκειμένου να περιορισθεί ο σχηματισμός θολωμάτων ή ιζημάτων. Τέλος, το αλκοολούχο ποτό ψύχεται στους -4 έως -10 °C για την κρυσταλλοποίηση και απομάκρυνση τυχόν ιζημάτων, διηθείται, εμφιαλώνεται και δίνεται στην κατανάλωση.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: Η διεργασία της απόσταξης

Η απόσταξη είναι ένα σύνθετο φαινόμενο, που παρουσιάζει αρκετές δυσκολίες στην προσέγγιση του, τόσο από θεωρητική όσο και από πρακτική άποψη. Ωστόσο είναι απαραίτητη η κατανόηση της προκειμένου να ελεγχθούν οι συνθήκες κάτω από τις οποίες λειτουργούν οι αποστακτικές συσκευές. Μόνο με τον τρόπο αυτό είναι δυνατό να συντελεστεί ο καλύτερος χειρισμός τους, ώστε η ποιότητα των παραγόμενων αποσταγμάτων να είναι σταθερά η καλύτερη δυνατή, όσον εξαρτάται από την αποστακτική διαδικασία, και με το μικρότερο ενεργειακό κόστος. Η εξασφάλιση των παραμέτρων αυτών σημαίνει τελικά μεγαλύτερη απόδοση της αποστακτικής διεργασίας.

Η εμπειρία και η μαστοριά του αποστάκτη, παρ' όλα αυτά, είναι ένα σπουδαίο προσόν στην εφαρμογή της αποστακτικής διαδικασίας και συμπληρωματική στη θεωρητική κατάρτιση.

3.1. Βρασμός - Εξάτμιση - Συμπύκνωση

Η απόσταξη αποτελεί μια φυσικοχημική διεργασία με την οποία διαχωρίζουμε υγρά μίγματα στα συστατικά από τα οποία αποτελούνται. Πιο συγκεκριμένα συνίσταται στην εξάτμιση δια βρασμού ενός υγρού και στη μετέπειτα συμπύκνωση των σχηματισθέντων ατμών σε υγρό, του οποίου η σύσταση διαφέρει από το αρχικό.

Για να διαχωρίσουμε, δηλαδή, το πτητικότερο συστατικό που περιέχεται σε ένα υγρό, το υγρό θερμαίνεται κάτω από σταθερή πίεση μέχρι το σημείο βρασμού του.²¹ Στο σημείο βρασμού οι τάσεις²² των ατμών που δημιουργούνται είναι ίσες με την εξωτερική πίεση. Η θερμοκρασία που παρατηρείται τη στιγμή αυτή είναι η *θερμοκρασία βρασμού* ή *ζέσεως* του υγρού, η οποία βέβαια διαμορφώνεται ανάλογα με τη σύσταση του υγρού μίγματος. Σημειώνεται ότι στα μίγματα συστατικών ο βρασμός (η εμφάνιση της πρώτης φυσαλίδας) αρχίζει σε μια θερμοκρασία α και συνεχίζεται μέχρι να φτάσει σε μια υψηλότερη θερμοκρασία β , όπου εξαερώνεται η τελευταία φυσαλίδα. Δεν υπάρχει, δηλαδή, ένα σημείο βρασμού, όπως στις καθαρές ουσίες, αλλά μια περιοχή βρασμού, η οποία εκτείνεται μεταξύ των δυο καμπυλών, όπως φαίνεται στην εικόνα 4.1. Οι σχηματιζόμενοι ατμοί στην αρχή θα είναι πλουσιότεροι σε αυτό το συστατικό, ενώ στη συνέχεια θα γίνονται προοδευτικά φτωχότεροι. Η υγρή και η αέρια φάση διέπονται από τους νόμους που αναλύονται πιο κάτω.

Αν ψύξουμε τους παραγόμενους ατμούς παρατηρούμε ότι συμπυκνώνονται σε σταγόνες, οι οποίες συναθροιζόμενες ξανασχηματίζουν μια υγρή φάση στην οποία το προς διαχωρισμό συστατικό περιέχεται σε μεγαλύτερη ποσότητα από ότι στο αρχικό υγρό.

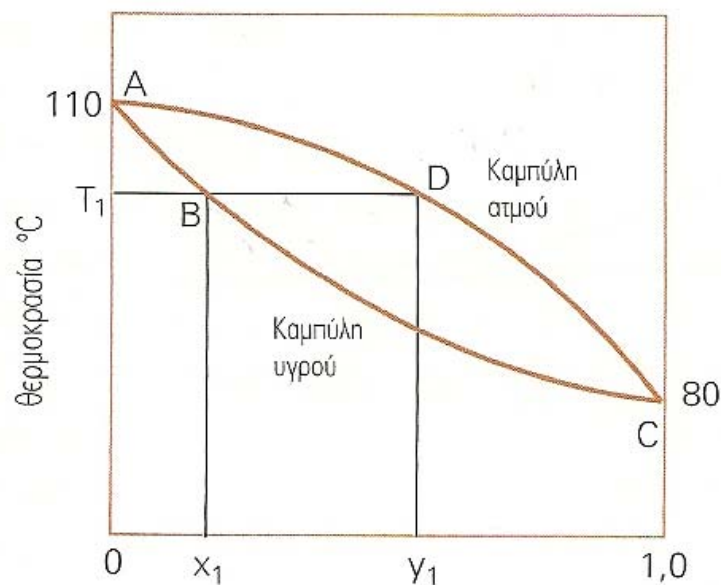
Η διαφορά σύστασης, λοιπόν, η οποία παρατηρείται μεταξύ του αρχικού και του τελικού υγρού - τουλάχιστο θεωρητικά - αποτελεί ένδειξη ότι η διεργασία της

²¹ Σημείο βρασμού ή ζέσεως είναι η θερμοκρασία στην οποία εμφανίζεται η πρώτη φυσαλίδα του ατμού.

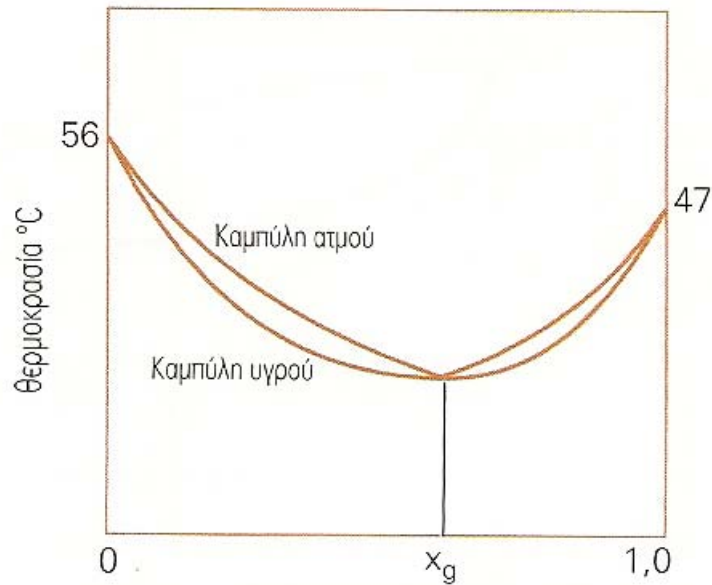
²² Τάση ατμού, για μια δεδομένη θερμοκρασία, είναι η πίεση την οποία ανέχεται κάθε υγρό, όταν βρίσκεται σε ισορροπία με τη φάση του ατμού.

απόσταξης είναι η τεχνική η οποία δύναται να χρησιμοποιηθεί για να διαχωριστούν και να συλλεγούν στη συνέχεια τα πτητικά συστατικά ενός μίγματος. Η δυνατότητα αυτή, εξάλλου, επιβεβαιώνεται από τη χρησιμοποίηση της απόσταξης - στην απλούστερη μορφή της - προκειμένου να προβούμε στο διαχωρισμό και παραλαβή της αιθυλικής αλκοόλης και των αρωματικών συστατικών, που περιέχονται σε ζυμωμένα υγρά ζαχαρούχων ή άλλων αμυλούχων υλών απ' όπου παράγονται τα αποστάγματα.

Η σύσταση του ατμού, που βρίσκεται σε θερμοδυναμική ισορροπία με υγρό ορισμένης σύστασης, υπολογίζεται πειραματικά και δίνεται από το διάγραμμα **θερμοκρασίας - σύστασης** (εικ. 3.1). Σε μια τυπική περίπτωση ενός υγρού μίγματος αποτελούμενο από δυο ουσίες Α και Β π.χ. βενζολίου - τολου- ολίου, που βρίσκεται σε βρασμό κάτω από σταθερή πίεση, η καμπύλη ABC δείχνει τη σύσταση του υγρού αυτού σε κάθε θερμοκρασία T_i , ενώ η ADC δείχνει την αντίστοιχη σύσταση του ατμού. Από τις δυο αυτές καμπύλες προκύπτει ότι όσο αυξάνει η θερμοκρασία βρασμού τόσο η περιεκτικότητα του υγρού καθώς και του ατμού στο πτητικότερο συστατικό μειώνεται. Παράλληλα φαίνεται ότι για την ίδια θερμοκρασία η φάση του ατμού είναι πλουσιότερη, στο εν λόγω συστατικό, σε σχέση με το υγρό από το οποίο αυτή προήλθε.



Μοριακό κλάσμα στο υγρό (x_1) ή στον ατμό (y_1)
 Εικ. 3.1: Διάγραμμα θερμοκρασίας - σύστασης σε σταθερή πίεση για το δυαδικό μίγμα βενζολίου - τολουολίου

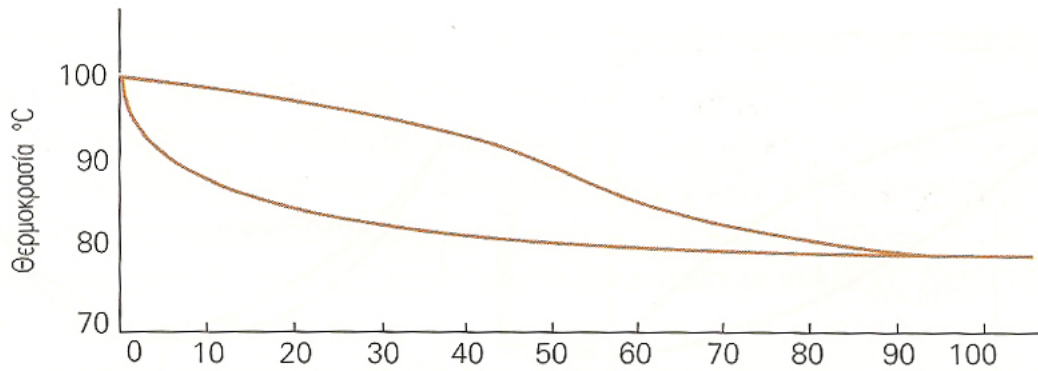


Εικ. 3.2: Διάγραμμα θερμοκρασίας - σύστασης σε σταθερή πίεση για το δυαδικό μίγμα ακετόνης - διθειάνθρακα.

Έτσι, στην εικόνα 3.1, υγρό με συγκέντρωση x , σε κάποιο πτητικό συστατικό, που αντιστοιχεί στο σημείο B, θα βράζει σε θερμοκρασία T_{1f} ενώ ο ατμός που θα βρίσκεται σε ισορροπία με το υγρό αυτό θα περιέχει το εν λόγω συστατικό σε συγκέντρωση y_1 η οποία αντιστοιχεί στο σημείο D. Γενικά μπορούμε να πούμε ότι σε δεδομένη θερμοκρασία T° για κάθε συγκέντρωση x του πιο πτητικού συστατικού στο υγρό, ο ατμός που σχηματίζεται από αυτό θα έχει αντίστοιχη συγκέντρωση y η οποία θα είναι μεγαλύτερη από τη x . Τούτο ισχύει βέβαια για ορισμένα όρια της θερμοκρασίας. Όπου x είναι το μοριακό κλάσμα ή η συγκέντρωση του πιο πτητικού συστατικού στο υγρό και y η αντίστοιχη τιμή στον ατμό, τη δεδομένη στιγμή.

Ωστόσο, υπάρχουν μίγματα υγρών όπου οι παραπάνω παρατηρήσεις δεν ισχύουν πάντα. Πράγματι, σε ένα άλλο δυαδικό μίγμα που αποτελείται από ακετόνη και διθειάνθρακα (εικ. 3.2), υπάρχει μία χαρακτηριστική συγκέντρωση x_g , όπου ο ατμός έχει την ίδια σύσταση με το υγρό. Το γεγονός αυτό δείχνει ότι στην προαναφερόμενη συγκέντρωση με το βρασμό δεν επέρχεται καμία μεταβολή στο μίγμα και επομένως ούτε και διαχωρισμός των συστατικών του. Το φαινόμενο αυτό καλείται *αζεοτροπισμός* και τα ιδιόμορφα αυτά μίγματα *αζεοτροπικά* (α + ζέω + τροπή: δηλαδή *βρασμός χωρίς μεταβολή*) ενώ απαιτούνται ειδικές μέθοδοι για να επέλθει ο διαχωρισμός των συστατικών τους. Για συγκεντρώσεις διαφορετικές από την x_g , ο ατμός που θα σχηματισθεί θα έχει διαφορετική σύσταση από ότι το υγρό, όπως φαίνεται στην εικόνα 3.2.

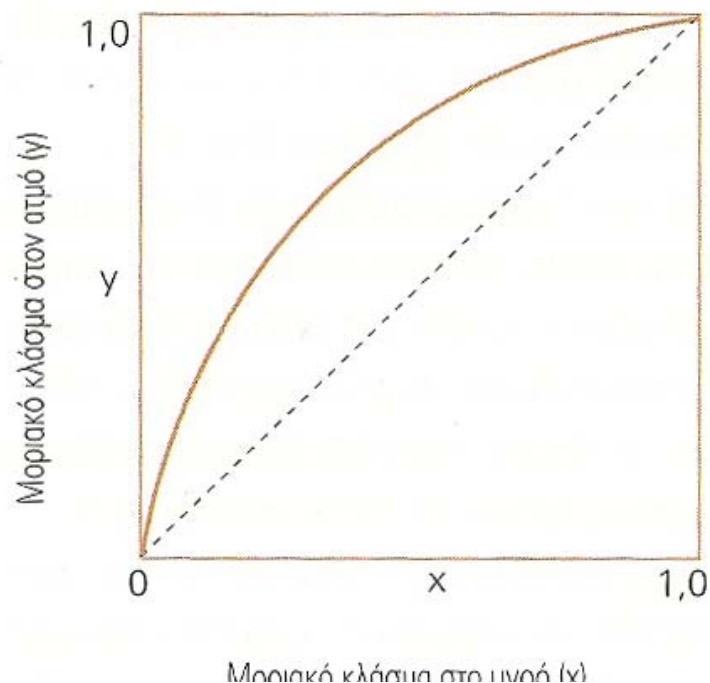
Παρόμοια περίπτωση αποτελεί το μίγμα αιθανόλης - νερού. Όπως φαίνεται στην εικόνα 3.3, το δυαδικό μίγμα γίνεται αζεοτροπικό, όταν η αιθυλική αλκοόλη στο αποσταζόμενο υγρό και στο παραλαμβανόμενο απόσταγμα φθάνει στο 95,5% κ.β. στους 78,1 °C. Πέραν αυτού του σημείου δεν είναι δυνατός ο διαχωρισμός των συστατικών και καταφεύγουμε σε άλλες μεθόδους για την απομάκρυνση της αλκοόλης.



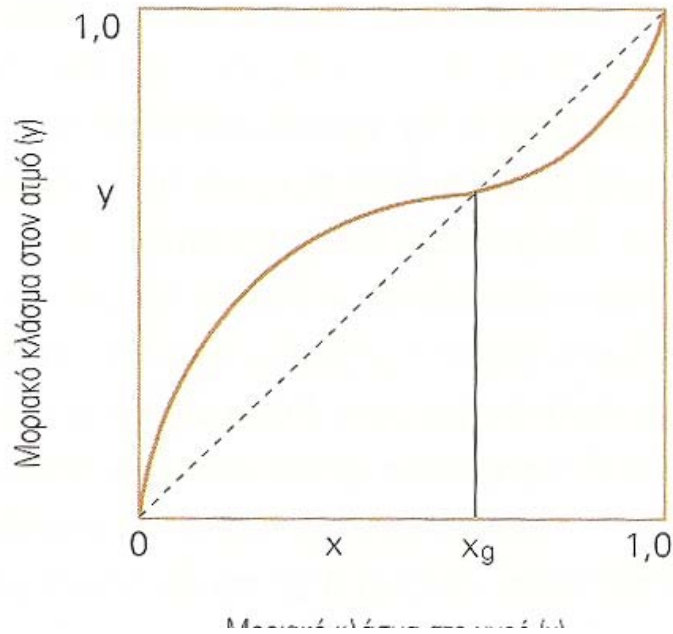
(Παπαγεωργίου, 1991)

Εικ. 3.3: Διάγραμμα θερμοκρασίας - σύστασης σε σταθερή πίεση για το δυαδικό μίγμα αιθανόλης - νερού.

Εκτός από το διάγραμμα θερμοκρασίας - σύστασης μια άλλη βασική σχέση, που περιγράφει την ισορροπία ατμών - υγρού, είναι η σχέση των συγκεντρώσεων x και y του πτητικού συστατικού στην υγρή και στην αέρια φάση, αντίστοιχα. Αυτή παριστάνεται με τα διαγράμματα των εικόνων 3.4, 3.5 και 3.6 για τα μίγματα βενζολίου - τολουολίου, ακετόνης - διθειάνθρακα και αιθανόλης - νερού αντίστοιχα. Στην εικόνα 3.5, εκεί που τέμνεται η διαγώνιος από την καμπύλη ισορροπίας, έχουμε αζεotropicό μίγμα. Στην εικόνα 3.6 αζεotropicό μίγμα έχουμε εκεί όπου καταλήγει η καμπύλη ισορροπίας.

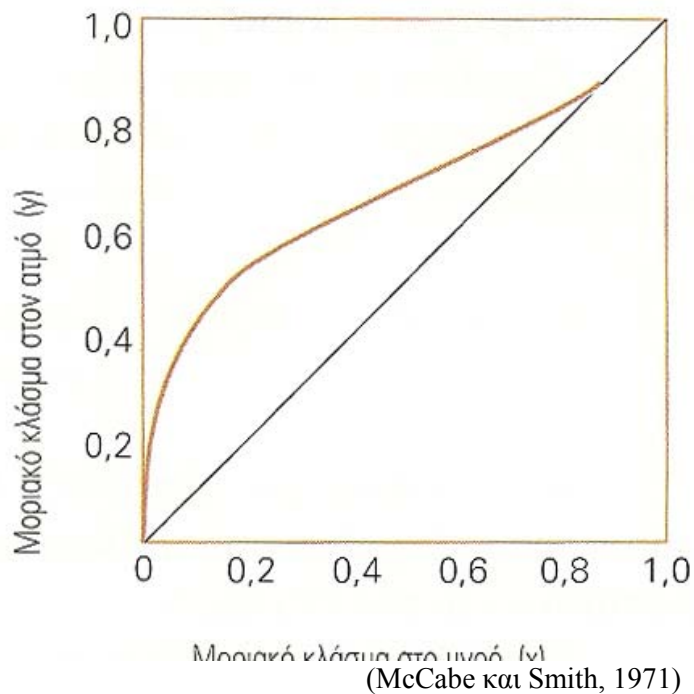


Εικ. 3.4: Διάγραμμα ισορροπίας ατμών - υγρού σε σταθερή πίεση για το δυαδικό μίγμα βενζολίου - τολουολίου



Εικ. 3.5: Διάγραμμα ισορροπίας ατμών - υγρού σε σταθερή πίεση για το δυαδικό μίγμα ακετόνης - διοξειδίου του άνθρακα.

Αυτές οι καμπύλες (ή διαγράμματα) ισορροπίας αποδίδονται με τις ανάλογες εξισώσεις και είναι χαρακτηριστικές για κάθε δυαδικό μίγμα. Αναφέρονται δε σε συνθήκες σταθερής πίεσης, ενώ με την αλλαγή της πίεσης ανατρέπεται η



Εικ. 3.6: Διάγραμμα ισορροπίας ατμών - υγρού σε σταθερή πίεση για το δυαδικό μίγμα αιθανόλης - νερού.

ισορροπία²³ τους και δεν ισχύουν με τη μορφή που απεικονίζονται. Σημειώνεται, επιπλέον, ότι η πλειοψηφία των αποστάξεων στην οινοπνευματοποιία και αποσταγματοποιία γίνεται ουσιαστικά σε σταθερή πίεση.

Η ισορροπία του συστήματος ατμών - υγρού διέπεται από τους φυσικοχημικούς νόμους και τις εξισώσεις, στις οποίες βασίζεται η διεργασία της απόσταξης και που θα δούμε αμέσως μετά.

3.3 Φυσικοχημικοί νόμοι και εξισώσεις της απόσταξης

Η θερμοκρασία και η πίεση της υγρής και αέριας φάσης είναι οι βασικές παράμετροι για την επίτευξη ή, καλύτερα, την προσέγγιση της θερμοδυναμικής ισορροπίας του συστήματος ατμών/υγρού.

Συνοπτικά, οι νόμοι που διέπουν την ισορροπία υγρής και αέριας φάσης στη διάρκεια της αποστακτικής διεργασίας (Amerine et al. 1967, Lafon et al. 1973, Γιαννακουδάκης και Μάτης 1983) είναι οι παρακάτω:

- **Νόμος μερικών πιέσεων (Dalton):**

Σε ένα μίγμα αερίων, η πίεση που ασκεί κάθε αέριο μόνο του λέγεται **μερική πίεση (τάση)**. Σύμφωνα με το νόμο αυτό, η μερική πίεση (P_A) ενός συστατικού A σε μίγμα ατμών είναι ανάλογη προς τη συγκέντρωση ή το μοριακό κλάσμα (y_A) του συστατικού A στην αέρια φάση και ανεξάρτητη από τις μερικές πιέσεις των άλλων αερίων:

$$P_A = y_A \cdot P \quad (4.3.1) \quad \text{όπου } P \text{ είναι η ολική πίεση του μίγματος}$$

Το άθροισμα αυτών των μερικών πιέσεων ($P_A + P_B$ κ.λπ.) μας δίνει την ολική πίεση (P) του μίγματος των αερίων, δηλαδή:

$$P = P_A + P_B + \dots \quad (4.3.2)$$

- **Νόμος του Raoult:**

Σύμφωνα με το νόμο αυτό, η μερική πίεση (P_A) ενός συστατικού A στο μίγμα της αέριας φάσης σχετίζεται με τη συγκέντρωση (x_A), δηλαδή το μοριακό κλάσμα του συστατικού A στην υγρή φάση:

$$P_A = x_A \cdot P_A^0 \quad (4.3.3) \quad \text{όπου } P_A^0 \text{ είναι η τάση των ατμών του καθαρού συστατικού A στην ίδια θερμοκρασία.}$$

Από τα ανωτέρω προκύπτει, λοιπόν, ότι η μερική πίεση οποιουδήποτε συστατικού εξαρτάται από τη θερμοκρασία, την πίεση και τη συγκέντρωση του συστατικού αυτού στο υγρό.

²³ Ο όρος ισορροπία εκφράζει μια κατάσταση στην οποία το σύστημα δεν τείνει να υποστεί κάποια μεταβολή.

Ο συνδυασμός των δυο ανωτέρω νόμων και των εξισώσεων (3.3.1) και (3.3.3), που τους εκφράζουν, δίνει την ακόλουθη εξίσωση:

$$X_A \cdot P^{\circ}_A = Y_A \cdot P \quad (3.3.4)$$

Η σχέση αυτή χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της ισορροπίας ατμών - υγρού από τα δεδομένα της τάσης των ατμών των καθαρών συστατικών και της ολικής πίεσης P. Η τάση ατμών P^ο των καθαρών συστατικών εκφράζεται ως συνάρτηση της θερμοκρασίας σε πίνακες, διαγράμματα ή εξισώσεις.

- **Νόμος του Henry:**

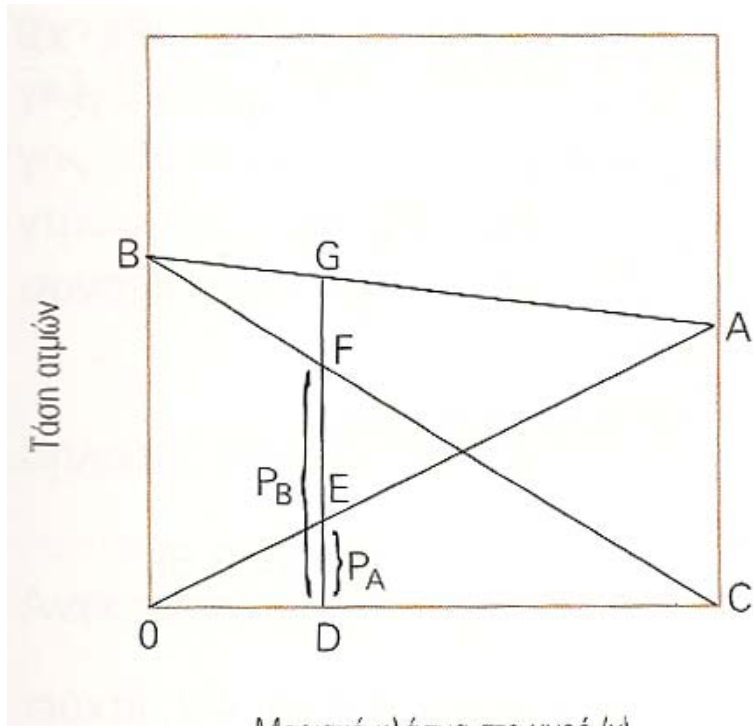
Ο νόμος αυτός αποδίδεται από την εξίσωση (3.3.5). Σύμφωνα με τη σχέση αυτή και για σταθερή θερμοκρασία προκύπτει ότι στην αέρια φάση, που καταλαμβάνει τον υπερκείμενο του διαλύματος χώρο, η μερική πίεση (P_A) της ουσίας A που βρίσκεται διαλυμένη σε διαλύτη B είναι ευθέως ανάλογη προς το μοριακό κλάσμα (X_A) της διαλυμένης ουσίας:

$$P_A = H \cdot X_A \quad (3.3.5) \quad \text{όπου } H \text{ είναι η σταθερά του Henry, που εξαρτάται κυρίως από τη θερμοκρασία, την πίεση και λιγότερο από το διαλύτη.}$$

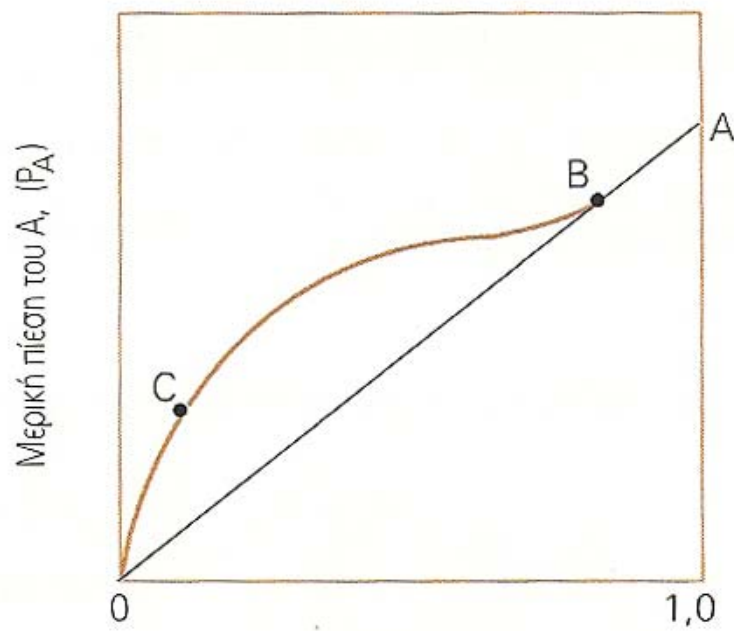
Αν το σύστημα των ατμών ακολουθεί το νόμο του Raoult, η πίεση των ατμών ενός μίγματος λαμβάνεται γραφικά από τις τάσεις των ατμών των δύο συστατικών. Έτσι, στην εικόνα 3.7, η OA παριστάνει το Γεωμετρικό Τόπο (Γ.Τ.) των μερικών πιέσεων (P_A) του συστατικού A στο μίγμα ατμών και η CB το Γ.Τ. των μερικών πιέσεων (P_B) του συστατικού B, ενώ ο Γ.Τ. της ολικής πίεσης του μίγματος παριστάνεται από τη BA. Έτσι, σε υγρό μίγμα όπου το συστατικό A έχει συγκέντρωση D, η μερική του πίεση (P_A) δίνεται από την DE, η μερική πίεση (P_B) του συστατικού B δίνεται από την DF και η ολική πίεση (P) του μίγματος από την DG.

Όσον αφορά σε ένα μη ιδανικό²⁴ σύστημα ατμών - υγρού, η εικόνα 3.8 παριστάνει τη μεταβολή της μερικής πίεσης του συστατικού A σε σχέση με το μοριακό του κλάσμα. Στην περιοχή OC, όπου έχουμε μικρές συγκεντρώσεις του συστατικού A, το σύστημα ακολουθεί το νόμο του Henry και στην περιοχή BA, όπου έχουμε μεγάλες συγκεντρώσεις του συστατικού A, ακολουθεί το νόμο του Raoult. Αν και τα περισσότερα συστήματα παρουσιάζουν μεγάλες αποκλίσεις από την ιδανική συμπεριφορά, συνήθως ακολουθούν έναν από τους δύο νόμους τόσο σε πολύ χαμηλές όσο και σε πολύ υψηλές συγκεντρώσεις.

²⁴ Ένα σύστημα ατμών-υγρού καλείται ιδανικό όταν κατά το σχηματισμό του δεν επέρχεται μεταβολή των συστατικών του, ούτε έκλυση ή απορρόφηση θερμότητας.



Εικ. 3.7: Μερικές πιέσεις ιδανικού συστήματος.



Μοριακό κλάσμα του A στο υγρό (x)
(Γιαννακουδάκης και Μάτης, 1983)

Εικ. 3.8: Μερικές πιέσεις ενός μη ιδανικού συστήματος.

Αν γνωρίζουμε ότι ένα δυαδικό σύστημα με τα συστατικά A και B ακολουθεί το νόμο του Raoult (εξίσωση 3.3.3), τότε από τις προαναφερόμενες σχέσεις (3.3.1), (4.3.2) και (4.3.3) τις οποίες υπενθυμίζουμε και πάλι:

$$P_A = Y_A \cdot P \quad (4.3.1) \text{ (Νόμος Dalton)}$$

$$P = P_A + P_B + \dots \quad (4.3.2) \text{ (Νόμος Dalton)}$$

$$P_A = X_A \cdot P_A^0 \quad (4.3.3) \text{ (Νόμος Raoult)}$$

μπορούμε να υπολογίσουμε τις τιμές των μοριακών κλασμάτων (Y_A , Y_B) των συστατικών αυτών στην αέρια φάση για διάφορες τιμές των μοριακών κλασμάτων (X_A , X_B) των ίδιων αυτών συστατικών στην υγρή φάση.

Έτσι από την εξίσωση (4.3.1) έχουμε: $Y_A = \frac{P_A}{P}$ και αντικαθιστώντας το P_A με

το ίσον του, που προκύπτει από την εξίσωση (4.3.3), έχουμε: $Y_A = \frac{P_A}{P} = \frac{P_A^0 \cdot X_A}{P}$

και κατ'αντιστοιχία για ένα συστατικό B έχουμε: $Y_B = \frac{P_B}{P} = \frac{P_B^0 \cdot X_B}{P}$

Προσθέτοντας κατά μέλη τις δυο προηγούμενες σχέσεις προκύπτει:

$$Y_A + Y_B = \frac{P_A + P_B}{P} = \frac{(P_A^0 \cdot X_A) + (P_B^0 \cdot X_B)}{P} \quad (3.3.6)$$

Αλλά σε ένα δυαδικό μίγμα, όπως προκύπτει από τις εικόνες 4.4 και 4.7, ισχύει $X_A + X_B = 1$ και άρα $X_B = 1 - X_A$. Εφόσον: $P_A + P_B = P$, όπως προκύπτει από την εξίσωση (4.3.2), τότε:

$$Y_A + Y_B = \frac{P}{P} = 1 \quad (4.3.7)$$

Συνεπώς η σχέση (4.3.6) γίνεται:

$$\frac{P_A^0 \cdot X_A}{P} + \frac{P_B^0 \cdot (1 + X_A)}{P} = 1 \quad \text{ή} \quad \frac{(P_A^0 \cdot X_A) + (P_B^0 - P_B^0 \cdot X_A)}{P} = 1 \quad \text{ή}$$

$$\frac{X_A (P_A^0 - P_B^0)}{P} = 1 \quad \text{ή} \quad X_A (P_A^0 - P_B^0) + P_B^0 = P \quad \text{ή}$$

$$X_A(P_A^o - P_B^o) = P - P_B^o \quad \text{και άρα} \quad X_A = \frac{P - P_B^o}{P_A^o - P_B^o} \quad (3.3.8)$$

Σε ένα δυαδικό σύστημα, αν ορίσουμε ως πτητικότητα ενός συστατικού A ή B το λόγο της μερικής πίεσης αυτού P_A ή P_B προς το μοριακό κλάσμα ή τη συγκέντρωση του (X_A ή X_B) στην υγρή φάση, τότε θα είναι :

$$\text{Πτητικότητα του A} = \frac{P_A}{X_A} \quad \text{και πτητικότητα του B} = \frac{P_B}{X_B} \quad (3.3.9)$$

Αν, για το συστατικό A, εξετάσουμε μόνο την παράμετρο της συγκέντρωσής του στην αέρια και στην υγρή φάση, τότε έχουμε μια άλλη σχέση. Όταν αποστάζουμε μια ουσία διαλυμένη σε μικρή συγκέντρωση σε ένα υγρό, τότε σε όλη τη διάρκεια της απόσταξης υπάρχει μια σταθερή σχέση ανάμεσα στη συγκέντρωση της πτητικής ουσίας της διαλυμένης στο υγρό και της συγκέντρωσης της ίδιας αυτής ουσίας στον παραγόμενο ατμό. Έτσι, λοιπόν, ο λόγος της συγκέντρωσης (y_A) της πτητικής ουσίας A στον ατμό προς τη συγκέντρωση (x_A) της ίδιας ουσίας στο υγρό είναι σταθερός και λέγεται *σταθερά ή συντελεστής πτητικότητας K ή τιμή Sorel*.

$$\text{Δηλαδή, σταθερά πτητικότητας} \quad K_A = \frac{y_A}{x_A} \quad (3.3.10)$$

$$\text{Αντίστοιχη είναι και η σταθερά για το συστατικό B:} \quad K_B = \frac{y_B}{x_B} \quad (3.3.11)$$

Η σταθερά K μεταβάλλεται ανάλογα με τη φύση της πτητικής ουσίας A, τη φύση του διαλύτη και τη θερμοκρασία, ενώ δε μεταβάλλεται με την ταχύτητα της απόσταξης. Σε μικρές συγκεντρώσεις της ουσίας A δεν αλλάζει η αριθμητική τιμή του K. Στον πίνακα 3.1 φαίνονται οι τιμές του K για ορισμένες ουσίες, που περιέχονται στους υδροαλκοολικούς ατμούς κατά την απόσταξη στεμφύλων. Το $K=1$ είναι η σταθερά του νερού. Οι πτητικότερες ουσίες από το νερό έχουν $K > 1$ και οι λιγότερο πτητικές έχουν $K < 1$.

Μετά από τις σχέσεις που διέπουν το ίδιο το συστατικό θα εξετάσουμε τη σχέση που έχουν δυο διαφορετικά συστατικά. Ο λόγος, λοιπόν, των πτητικοτήτων (βλ. εξίσωση 3.3.9) των δύο συστατικών A και B στο υγρό μίγμα είναι η σχετική πτητικότητα α και δίνεται από τη σχέση:

$$\text{Σχετική πτητικότητα} \quad \alpha = \frac{P_A \cdot X_B}{P_B \cdot X_A} \quad (3.3.12)$$

Πίνακας 3.1: Η σταθερά πτητικότητας K ή τιμή Sorel

για ουσίες από την απόσταξη αλκοόλης.

Συστατικό	K	Συστατικό	K
Νερό	1,0	Καπροϊκό οξύ	3,9
Αιθυλική αλκοόλη	12,6	Γαλακτικός αιθυλεστέρας	3,5
Οξικός αιθυλεστέρας	53,0	Βαλερικό οξύ	2,7
Ακεταλδεΐδη	50,0	Βουτυρικό οξύ	1,9
Μεθυλική αλκοόλη	8,9	Οξικό οξύ	0,7
Ηλεκτρικός αιθυλεστέρας	5,8	Φορμικό οξύ	0,4
Καπρυλικό οξύ	5,7	Βουτανεδιόλη	0,1

(Lafon et al, 1973)

Αν αντικαταστήσουμε το P_A με $P \cdot y_A$ και το P_B με $P \cdot y_B$ όπως προκύπτει από την εξίσωση (3.3.1), τότε έχουμε:

$$\text{Σχετική πτητικότητα} = \alpha \frac{P \cdot y_A \cdot X_B}{P \cdot y_B \cdot X_A} = \frac{y_A \cdot X_B}{y_B \cdot X_A} \quad \text{και} \quad \frac{y_A}{y_B} = \alpha \cdot \frac{X_A}{X_B} \quad (3.3.13)$$

Η εξίσωση (3.3.13) δίνει τη σχέση μεταξύ του λόγου των συγκεντρώσεων Y_A και Y_B των συστατικών A και B στον ατμό και του λόγου των συγκεντρώσεων X_A και X_B των συστατικών A και B αντίστοιχα στο υγρό. Επειδή σε ένα δυαδικό σύστημα (βλέπε προηγουμένως και εξισώσεις 3.3.6 και 3.3.7) ισχύει:

$$Y_B = 1 - Y_A \quad \text{και} \quad X_B = 1 - X_A,$$

$$\text{από τη σχέση } \alpha = \frac{y_A \cdot X_B}{y_B \cdot X_A} \quad (4.3.13) \quad \text{προκύπτει ότι: } \alpha = \frac{y_A}{1 - y_A} \cdot \frac{1 - X_A}{X_A} \quad \text{ή}$$

$$\alpha (1 - Y_A) X_A = Y_A (1 - X_A) \quad \text{ή}$$

$$\alpha \cdot X_A - \alpha \cdot Y_A \cdot X_A = Y_A - Y_A \cdot X_A \quad \text{ή} \quad -\alpha \cdot Y_A \cdot X_A + Y_A \cdot X_A - Y_A = -\alpha \cdot X_A \quad \text{ή}$$

$$-Y_A (\alpha \cdot X_A - X_A + 1) = -\alpha \cdot X_A \quad \text{ή} \quad y_A = \frac{\alpha \cdot X_A}{1 + (\alpha - 1) X_A} \quad (3.3.14)$$

Ενεργώντας παρομοίως και λύνοντας ως προς X_A της προηγούμενης σχέσης καταλήγουμε στο:

$$X_A = \frac{y_A}{\alpha - (\alpha - 1) y_A} \quad (3.3.15)$$

Από τα παραπάνω προκύπτει πώς μπορεί να γίνει ο υπολογισμός της συγκέντρωσης Y_A του ατμού σε σχέση με τη συγκέντρωση X_A της υγρής φάσης - όταν βρίσκονται σε ισορροπία - αν είναι γνωστές οι τιμές της σχετικής πτητικότητας (α) του συστήματος. Κατά τον ίδιο τρόπο μπορεί να προσδιοριστεί και το X_A σε σχέση με το Y_A (βλέπε εξίσωση 3.3.13). Για να γίνει ο διαχωρισμός ενός μίγματος με απόσταξη, όπως προκύπτει από τις σχέσεις 3.3.13 και 4.3.14, θα πρέπει η σχετική πτητικότητα των δύο συστατικών να είναι διάφορη της μονάδας.

Για τα αζεοτροπικά συστήματα (βλ. εικόνες 4.2 και 4.5) επειδή $Y_A = X_A$ και $Y_B = X_B$ και άρα $\alpha = 1$, όπως προκύπτει από τις σχέσεις (3.3.12) και (3.3.13), τα μίγματα αυτά δεν είναι δυνατόν να διαχωριστούν με απόσταξη, επειδή το α ισούται με 1.

Από τον ορισμό της πτητικότητας ενός συστατικού (εξίσωση 3.3.9), βλέπουμε ότι για ένα ιδανικό σύστημα η πτητικότητα είναι ίση με την τάση ατμών του καθαρού συστατικού επειδή $x = 1$. Στην περίπτωση αυτή η *σχετική πτητικότητα* α μπορεί να εκφρασθεί ως:

$$\alpha = \frac{P_A^0}{P_B^0} \quad (3.3.16)$$

Αυτό αποδεικνύεται ως ακολούθως με τη βοήθεια των σχέσεων 3.3.12 και 3.3.3, αντίστοιχα:

$$\alpha = \frac{P_A \cdot X_B}{P_B \cdot X_A} \quad \text{και} \quad P_A = X_A \cdot P_A^0, \quad P_B = X_B \cdot P_B^0$$

$$\text{Άρα} \quad \alpha = \frac{P_A^0 \cdot X_A \cdot X_B}{P_B^0 \cdot X_B \cdot X_A} = \frac{P_A^0}{P_B^0} \quad (3.3.17)$$

Η *σχετική πτητικότητα* (α) μεταβάλλεται με τη θερμοκρασία, ενώ σε πολλά συστήματα είναι σταθερή. Για παράδειγμα, από τον πίνακα 3.2 - όπως τροποποιήθηκε από μας (σε °C) - φαίνεται ότι η σχετική πτητικότητα του συστήματος βενζολίου - τολουολίου αυξάνει καθώς μειώνεται η θερμοκρασία. Γενικά, υψηλές τιμές της α δείχνουν μεγαλύτερη ευκολία διαχωρισμού των συστατικών. Η μεταβολή της σχετικής πτητικότητας (α) σε σχέση με τη θερμοκρασία πρέπει να λαμβάνεται υπόψη κατά το σχεδιασμό της καμπύλης ισορροπίας μιας στήλης απόσταξης.

Ένας άλλος νόμος, που ακολουθείται από το σύστημα ατμών - υγρού και εφαρμόζεται στην απόσταξη, είναι ο κανόνας φάσεων του Gibbs. Αυτός προσδιορίζει τον αριθμό των ανεξάρτητων μεταβλητών ή βαθμών ελευθερίας, που πρέπει να γνωρίζουμε, ώστε όλες οι υπόλοιπες μεταβλητές και ο αριθμός των φάσεων που συνυπάρχουν σε ένα σύστημα να καθορίζονται απόλυτα.

Σύμφωνα λοιπόν με τον κανόνα αυτό, για ένα δεδομένο σύστημα, ο αριθμός των ανεξάρτητων μεταβλητών²⁵ ή βαθμών ελευθερίας (F) είναι ίσος με τον αριθμό των

Θερμοκρασίες (°C)	79,8	89,8	99,85	109,8
Σχετική πτητικότητα (α)	2,62	2,44	2,40	2,39

(Γιαννακουδάκης και Μάτης, 1983)

Πίνακας 3.2: Σχετική πτητικότητα μιγμάτων βενζολίου και τολουολίου.

συστατικών (N) αυξανόμενο κατά 2 και μειούμενο κατά τον αριθμό των φάσεων (π):

$$\text{Αριθμός των ανεξάρτητων μεταβλητών } F = N + 2 - \pi \quad (4.3.18)^{26}$$

Οι μεταβλητές αυτές θα πρέπει να είναι σταθερές για να υπάρχει ισορροπία στο σύστημα χωρίς να μεταβάλλεται ο αρχικός αριθμός των φάσεών του.

Στην απόσταξη υπάρχουν δυο φάσεις: ο ατμός (V) και το υγρό (L), ενώ η πίεση, η θερμοκρασία και η συγκέντρωση του πτητικότερου συστατικού στην υγρή και στην αέρια φάση είναι οι μεταβλητές. Αν δυο από τις μεταβλητές ορίζονται λεπτομερώς, η τρίτη είναι σταθερή. Έτσι σε μια αποστακτική συσκευή, όπου η πίεση είναι σταθερή, οι εξαρτώμενες μεταβλητές είναι η θερμοκρασία και η συγκέντρωση. Δηλαδή, σε μια σταθερή πίεση - για κάθε σύσταση του συστήματος - αντιστοιχεί μια ορισμένη θερμοκρασία βρασμού (Amerine et al. 1967, McCabe και Smith 1971, Κατσάνος 1979, Himmelblau 1986, Smith και Van Ness 1990).

Εξισώσεις Clausius-Clapeiron και Antoine:

²⁵ Στη βιβλιογραφία, ο αριθμός των βαθμών ελευθερίας ή ανεξάρτητων μεταβλητών συμβολίζεται με διάφορα γράμματα. Στην προκειμένη περίπτωση προτιμήσαμε το F το οποίο, όπως θα δούμε και πιο κάτω (υποκεφ. «Αναπόσταξη - Κλασματική στήλη» και επόμενα), συμβολίζει το ρεύμα τροφοδοσίας της αποστακτικής στήλης.

²⁶ Από Van Ness και Smith 1990, σελ. 45.

Εκτός από τα όσα είδαμε μέχρι τώρα στο υποκεφάλαιο 3.3, μια άλλη θερμοδυναμική σχέση που συνδέει τις ιδιότητες των φάσεων ατμών - υγρού είναι η εξίσωση *Clausius-Clapeiron*. Αυτή, για τέλεια αέρια, συνδέει την τάση των ατμών P° του καθαρού συστατικού με την ενθαλπία εξάτμισης λ , δηλαδή την ποσότητα θερμότητας που απαιτείται για τη μετάβαση από την υγρή στην αέρια φάση:

$$\ln P^\circ = \frac{\lambda}{R T} + D \quad \text{Εξίσωση Clausius-Clapeiron} \quad (3.3.19)$$

Όπου \ln νεπέριος λογάριθμος, P° η τάση των ατμών του καθαρού συστατικού στη θερμοκρασία του μίγματος, λ η ενθαλπία εξάτμισης, D είναι μια σταθερά ολοκλήρωσης της εξίσωσης, R η παγκόσμια σταθερά των αερίων και T είναι η απόλυτη θερμοκρασία (Κατσάνος 1979, Himmelblau 1986, Smith και Van Ness 1990 και Ασσαέλ και Μαγγιλιώτου 1998).

Η *ενθαλπία* είναι θερμοδυναμική ιδιότητα που εκφράζει τη μεταβολή της θερμικής ενέργειας. Σε θερμικές διεργασίες με σταθερή πίεση, όπως η απόσταξη, η μεταβολή της ενθαλπίας μπορεί να προσδιορισθεί με απλή μέτρηση της μεταβολής της ποσότητας θερμότητας. Σε αυτές τις περιπτώσεις, οι έννοιες ενθαλπία και θερμότητα ταυτίζονται..

Στη διεργασία της απόσταξης εφαρμόζεται μια ειδική περίπτωση της εξίσωσης *Clausius-Clapeiron*, η οποία είναι γνωστή ως *εξίσωση Antoine* και συνδέει την χάση των ατμών (σε mm Hg) ενός συστατικού με την απόλυτη θερμοκρασία ($^\circ\text{C}$) του μίγματος:

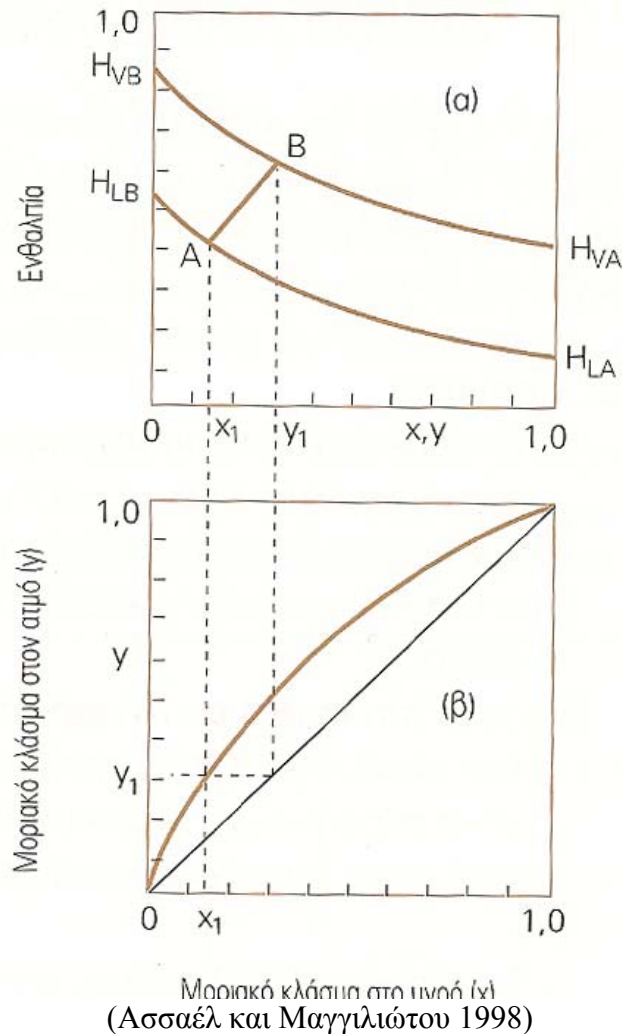
$$\ln P^\circ = A - \frac{B}{C + T} \quad \text{Εξίσωση Antoine} \quad (3.3.20)$$

όπου A , B , C είναι οι χαρακτηριστικές σταθερές του συστατικού, που υπάρχουν στη σχετική βιβλιογραφία, και T η απόλυτη θερμοκρασία (Himmelblau 1986, Smith και Van Ness 1990, Ασσαέλ και Μαγγιλιώτου 1998).

Η ισορροπία, λοιπόν, ατμών - υγρού σε ένα δυαδικό μίγμα παριστάνεται συνήθως με τα διαγράμματα θερμοκρασίας - σύστασης σε σταθερή πίεση, που είδαμε στις εικόνες 3.1, 3.2, 3.3 και το διάγραμμα ενθαλπίας - σύστασης σε σταθερή πίεση (εικ.3.9α).

Όπως φαίνεται και στην εικόνα 3.9α, η γραμμή $H_{LB}H_{LA}$ παριστάνει τις ενθαλπίες κορεσμένου υγρού δυαδικού μίγματος με συστατικά A και B . Η γραμμή $H_{VB}H_{VA}$ παριστάνει τις ενθαλπίες κορεσμένων μιγμάτων ατμών. Η ύπαρξη καμπύλης γραμμής και όχι ευθείας σημαίνει έκλυση ή απορρόφηση σημαντικής ποσότητας θερμότητας κατά την ανάμιξη των δυο υγρών συστατικών. Στην περιοχή $H_{VB}H_{VA}H_{LA}H_{LB}$ βρίσκονται οι ενθαλπίες των μιγμάτων ατμών-υγρού, κάτω από αυτή οι ενθαλπίες του ψυχρού υγρού και πάνω από αυτή οι ενθαλπίες των υπέρθερμων ατμών.

Το διάγραμμα ή καμπύλη ισορροπίας ατμών - υγρού (χ , γ) (εικ. 3.9β) συνδυάζεται με το διάγραμμα ενθαλπίας - σύστασης (εικ. 3.9α) για να βρεθεί η ενθαλπία δυαδικών μιγμάτων διαφόρων συστάσεων στην υγρή και στην αέρια φάση.



Εικ. 3.9α,β: Αντιπαραβολή των διαγραμμάτων (α) ενθαλπίας-σύστασης σε σταθερή πίεση και (β) ισορροπίας ατμών - υγρού για την εύρεση των γραμμών σύνδεσης.

Τα διαγράμματα αυτά, αφού κατασκευασθούν από πειραματικά ή βιβλιογραφικά δεδομένα, αντιπαραβάλλονται ώστε να βρεθούν οι γραμμές σύνδεσης (AB, εικ. 9α), που θα βοηθήσουν στον έλεγχο και χειρισμό της αποστακτικής διεργασίας. Αυτές οι γραμμές συνδέουν τη γραμμή του κορεσμένου υγρού $H_{LB}H_{LA}$ με τη γραμμή των κεκορεσμένων ατμών $H_{NB}H_{NA}$ και δείχνουν την ισορροπία μεταξύ των φάσεων ατμών και υγρού.

Υγρό με συγκέντρωση x_1 στο πιο πτητικό συστατικό, βρίσκεται σε ισορροπία με ατμούς σύστασης y_1 . Στην εικόνα 3.9, από το διάγραμμα (β) τα σημεία x_1 και y_1 , προβάλλονται με κατακόρυφες γραμμές στο διάγραμμα ενθαλπίας-σύστασης (α). Τα σημεία τομής A και B αντιστοιχούν στην ενθαλπία του υγρού μίγματος σύστασης x_1 , και του μίγματος των ατμών σύστασης y_1 αντίστοιχα. Το υγρό μίγμα είναι σε ισορροπία με τους ατμούς, ενώ η ευθεία AB είναι η γραμμή σύνδεσης. Με τον τρόπο αυτό μπορεί να βρεθεί οποιοσδήποτε αριθμός γραμμών σύνδεσης (Ασσαέλ και Μαγγιλιώτου, 1998).

3.4. Μέθοδοι απόσταξης

Οι μέθοδοι απόσταξης στηρίζονται στο θεμελιώδη κανόνα του Konowaloff, ότι δηλαδή: *για ένα δυαδικό σύστημα, ο ατμός είναι πλουσιότερος στο πτητικότερο συστατικό από ότι το υγρό προέλευσής του* (Γιαννακου- δάκης και Μάτης, 1983).

Στην πράξη οι κύριες μέθοδοι απόσταξης διακρίνονται σε δυο ευρύτερες κατηγορίες:

- a. στην **απόσταξη χωρίς αναρροή**, στη διάρκεια της οποίας ο ατμός - ως έχει ή συμπυκνωμένος - απομακρύνεται από τον αποστακτήρα. Σε αυτήν περιλαμβάνονται η *διαφορική απόσταξη* και η *απόσταξη με εκτόνωση*. Η δεύτερη αυτή μέθοδος χρησιμοποιείται κυρίως στον πετροχημικό τομέα.
- b. στην **απόσταξη με αναρροή** (αναπόσταξη ή rectification), όπου μέρος του συμπυκνωμένου ατμού επιστρέφει στον αποστακτήρα ως κατερχόμενο υγρό ρεύμα, ενώ παράλληλα έρχεται σε επαφή με το ανερχόμενο ρεύμα του παραγόμενου ατμού.

Στην απόσταξη αλκοόλης, που εφαρμόζεται στην οινοπνευματοποιία και στην αποσταγματοποιία, οι πιο συνήθεις μέθοδοι είναι οι δυο προηγούμενες. Ωστόσο, υπάρχουν και άλλες μέθοδοι, οι οποίες διαφέρουν ως προς την εφαρμοζόμενη τεχνική. Τέτοιες μέθοδοι είναι η απόσταξη με υδρατμούς, η απόσταξη υπό κενό και τώρα τελευταία οι διεργασίες διαχωρισμού με μεμβράνες. Από αυτές, οι δυο τελευταίες εφαρμόζονται λιγότερο στην απόσταξη αλκοόλης αλλά περισσότερο στην παραγωγή αιθέριων ελαίων.

Η πορεία της απόσταξης, ανάλογα με τον τρόπο τροφοδοσίας της πρώτης ύλης προς απόσταξη, μπορεί να είναι *συνεχής* (distillation continue) ή *ασυνεχής* (distillation discontinue ή batch distillation). Η πρώτη εφαρμόζεται στη βιομηχανία οινοπνεύματος, εξαιτίας του αυξημένου όγκου παραγωγής, ενώ η δεύτερη στην αποσταγματοποιία.

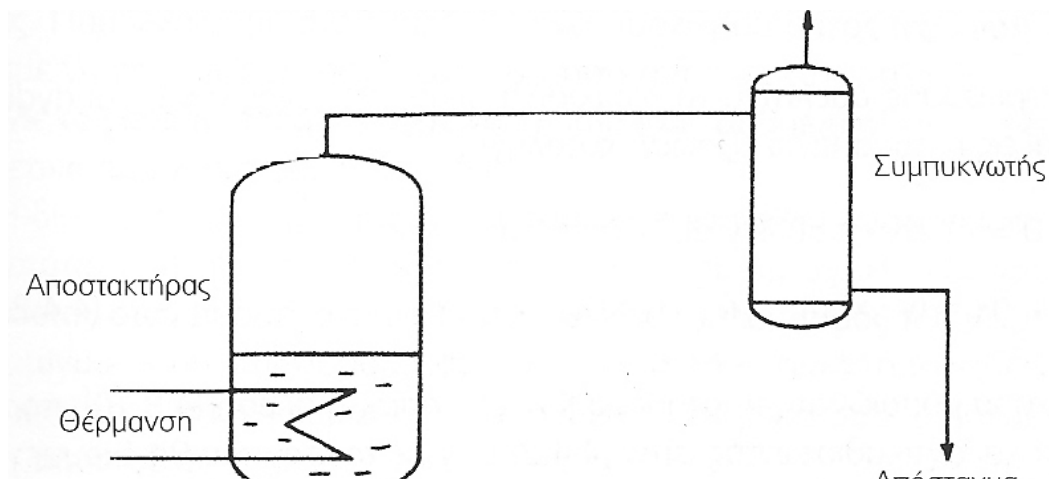
Η συνεχής απόσταξη χρησιμοποιείται, επίσης, και από την αποσταγματοποιία για την απόσταξη οίνου σε χώρες που έχουν αναπτύξει σημαντικά την τεχνολογία των αμπελοοινικών αποσταγμάτων. Αντιπροσωπευτικά παραδείγματα αποτελούν η παραγωγή του αρμανιάκ (armagnac) στη Γαλλία (εικ. 3.16), του μπράντι (brandy) στις Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής και σε ορισμένες περιπτώσεις η παραγωγή της γκράπας (grappa) στην Ιταλία. Στη χώρα μας δεν εφαρμόζεται η συνεχής απόσταξη σε επίπεδο αποσταγματοποιίας αλλά μόνο στη βιομηχανία οινοπνεύματος.

Εμπεριστατωμένη ανάλυση των κυριότερων μεθόδων απόσταξης παρατίθεται στη συνέχεια.

3.4.1. Διαφορική απόσταξη - Παραδοσιακός άμβυκας

Η μέθοδος της διαφορικής απόσταξης (distillation differentielle ή differential distillation) με ένα στάδιο είναι ασυνεχούς λειτουργίας. Το δοχείο του αποστακτήρα πληρούται με το προς απόσταξη μίγμα, το οποίο θερμαίνεται με σταθερό ρυθμό. Ο ατμός, που παράγεται κατά το βρασμό του υγρού μίγματος, απομακρύνεται αμέσως από το σύστημα (εικ. 3.10) και αφού συμπυκνωθεί μετατρέπεται σε απόσταγμα.

Σύμφωνα με τα προλεγόμενα, αφού ο ατμός είναι πλουσιότερος στο πτητικότερο συστατικό σε σχέση με το υγρό που απομένει στον αποστακτήρα, συνάγεται ότι το υγρό αυτό γίνεται σταθερά πτωχότερο στο εν λόγω συστατικό και η σύσταση του αποστάγματος μεταβάλλεται με το χρόνο. Επειδή δε η πίεση είναι σταθερή και η σύσταση του υγρού μίγματος στον αποστακτήρα μεταβαλλόμενη, διαπιστώνεται ότι και η θερμοκρασία αυτού μεταβάλλεται συνεχώς.



Εικ. 3.10: Σχηματική απεικόνιση διαφορικής απόσταξης.

Η απόσταξη διακόπτεται, όταν η σύσταση του υπολείμματος στον αποστακτήρα φθάσει σε ένα επιθυμητό προκαθορισμένο σημείο. Στο σημείο αυτό το πτητικό συστατικό είναι πολύ φτωχό, με αποτέλεσμα η συνέχιση της απόσταξης να είναι ασύμφορη.

Για να υπολογίσουμε αφενός την ποσότητα του υγρού που πρέπει να εξατμιστεί, ώστε το υγρό που απομένει στον αποστακτήρα να έχει ορισμένη σύσταση, και αφετέρου τη μέση σύσταση του αποστάγματος προβαίνουμε στον εξής συλλογισμό:

Αν L είναι ο αριθμός των γραμμομορίων (moles) σε υγρό μίγμα που περιέχει ο αποστακτήρας σε ορισμένο χρόνο t , x το μοριακό κλάσμα του πτητικού συστατικού A στο υγρό και y το μοριακό κλάσμα του πτητικού συστατικού A στον ατμό, τότε σε χρόνο dt εξατμίζεται μια μικρή ποσότητα του υγρού ίση με dL . Μετά την εξατμισμό αυτή, η αρχική ποσότητα L του υγρού θα έχει ελαττωθεί κατά μία ποσότητα dL , γεγονός το οποίο θα έχει ως αποτέλεσμα να αυξηθεί η σύσταση των ατμών από y σε $(y+dy)$ και να ελαττωθεί η σύσταση του υγρού από x σε $(x-dx)$.

Στη διεργασία αυτή καταστρώνουμε ένα ισοζύγιο μάζας του συστατικού A . Τα ισοζύγια μάζας στηρίζονται στο νόμο διατήρησης της μάζας, σύμφωνα με τον οποίο η ύλη δεν μπορεί να δημιουργηθεί από το μηδέν ούτε να καταστραφεί ολοσχερώς. Έτσι, τα εισερχόμενα υλικά (moles) θα ισούνται προς τα εξερχόμενα υλικά (moles) και άρα:

Υγρό σε χρόνο t = Υγρό σε χρόνο dt + ατμός σε χρόνο dt (3.4.1)

Δηλαδή $Lx = (L-dL)(x-dx) + (y+dy)dL$ ή

$$Lx = Lx - Ldx - x dL + dx dL + y dL + dy dL$$

Αν θεωρήσουμε αμελητέα τα διαφορικά δεύτερης τάξης $dx dL$ και $dy dL$, μετά τις πράξεις η παραπάνω εξίσωση καταλήγει:

$$0 = -L dx - x dL + y dL \text{ ή } Ldx = ydL - xdL \text{ ή}$$

$$L dx = (y - x) dL \text{ ή } (y-x) dL = L dx \quad (4.4.2)$$

Αλλά χρησιμοποιώντας τη σταθερά $K = y/x$, όπως η σχέση (3.3.10), προκύπτει $y = Kx$ και αντικαθιστώντας στην (4.4.2) το y με το Kx θα έχουμε:

$$\begin{aligned} (Kx - x) dL &= L dx \text{ ή } x(K-1) dL = Ldx \text{ ή} \\ (K-1) dL &= L dx/x \text{ ή } (K-1) dL/L = dx/x \text{ ή } dx/x = (K-1) dL/L \end{aligned}$$

και ολοκληρώνοντας από κάποια αρχική κατάσταση 1 σε κάποια τελική 2, η εξίσωση γίνεται:

$$\log \frac{x_2}{x_1} = (K-1) \log \frac{L_2}{L_1} \quad \text{ή} \quad \log \frac{x_2}{x_1} = \log \left(\frac{L_2}{L_1} \right)^{K-1}$$

$$\text{και άρα } \frac{x_2}{x_1} = \left(\frac{L_2}{L_1} \right)^{K-1} \quad (3.4.3)$$

σχέση που βρίσκεται στο έργο του *Rayleigh* για τη διαφορική απόσταξη. Αν αποκαλέσουμε A_1 και A_2 τα βάρη της πτητικής ουσίας x_1 , L_1 , και x_2 , L_2 , που περιέχονται στο υγρό πριν και μετά την απόσταξη αντίστοιχα, θα έχουμε:

$$A_1 = x_1 L_1 \quad \text{και} \quad A_2 = x_2 L_2$$

ενώ η σχέση (4.4.3) μετά τον πολλαπλασιασμό και των δυο μελών της με το $\frac{L_2}{L_1}$

γίνεται:

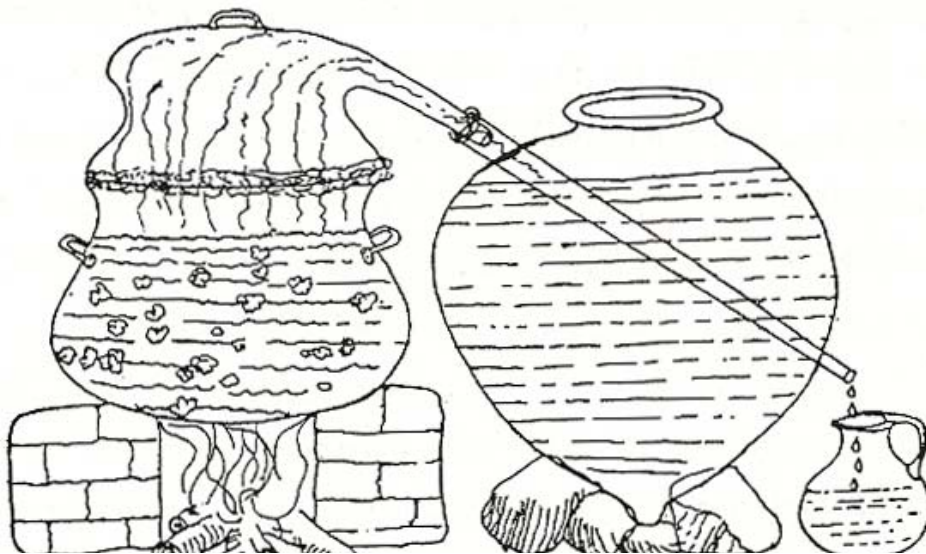
$$\frac{x_2}{x_1} \frac{L_2}{L_1} = \left(\frac{L_2}{L_1} \right)^{K-1} \left(\frac{L_2}{L_1} \right) \quad \text{δηλαδή} \quad \frac{A_2}{A_1} = \left(\frac{L_2}{L_1} \right)^K \quad (3.4.4)$$

Η σχέση (3.4.4) επιτρέπει να παρακολουθήσουμε την απόσταξη μιας πτητικής ουσίας και να υπολογίσουμε την ποσότητα του υγρού, που πρέπει να αποσταχθεί, ώστε να απομείνει στον αποστακτήρα υγρό ορισμένης συγκέντρωσης. Παράλληλα με την εφαρμογή ενός ισοζυγίου μάζας (εξίσωση 3.4.1) μπορούμε να υπολογίσουμε τη μέση σύσταση του αποστάγματος.

Με τον ίδιο τρόπο μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε αντί για τη σταθερά K τη σχετική πτητικότητα α .

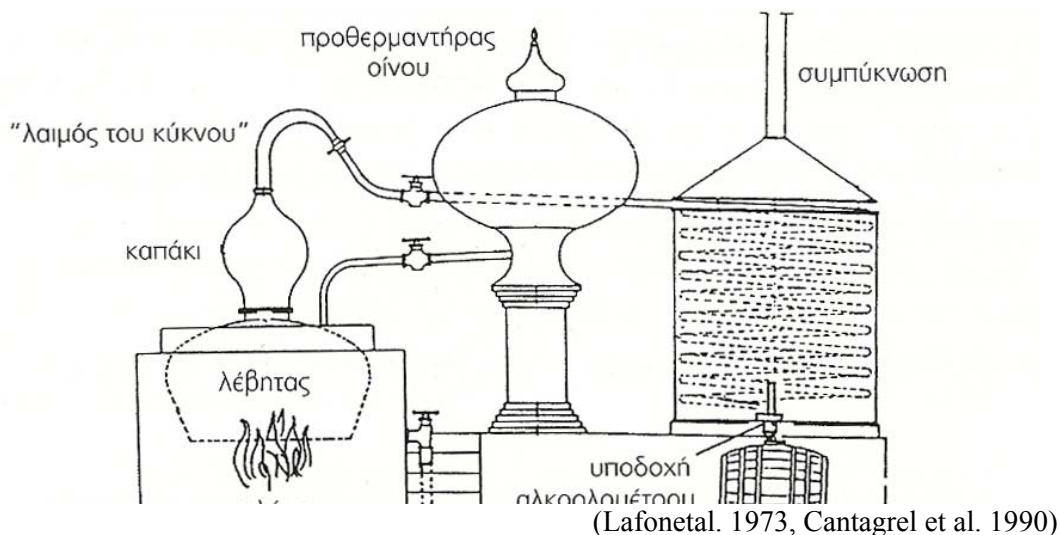
Η διαχωριστική ικανότητα της διαφορικής απόσταξης είναι περιορισμένη και εξαρτάται από τη σχετική πτητικότητα του συστήματος. Η μέθοδος αυτή εφαρμόζεται, όταν απαιτείται μόνον ένας πρώτος εμπλουτισμός του μίγματος ή όταν το μίγμα διαχωρίζεται πολύ εύκολα. Για το λόγο αυτό, προκειμένου να έχουμε καλύτερα αποτελέσματα, προχωράμε στο δεύτερο στάδιο δηλαδή στη δεύτερη απόσταξη.

Τυπική εφαρμογή των ανωτέρω αποτελεί η παραδοσιακή απόσταξη (εικ. 3.11) η οποία, όπως είδαμε στο προηγούμενο κεφάλαιο, διεξάγεται σε άμβυκες ασυνεχούς λειτουργίας δηλαδή διεξάγεται με τη μέθοδο της διαφορικής απόσταξης. Παρόμοια περίπτωση παραγωγής αποστάγματος με τη μέθοδο αυτή αποτελεί η απόσταξη που εφαρμόζεται στη Charente της Γαλλίας, όπου χρησιμοποιείται ο ομώνυμος άμβυκας ασυνεχούς λειτουργίας (εικ. 3.12) και παράγεται το κονιάκ (cognac).



(Λαδόμματος Α. Από Κυπριανού, 1974)

Εικ. 3.11: Το «κοζάνιν» και η «δάνη». Παραδοσιακός άμβυκας για την παραγωγή ζιβανίας στην Κύπρο.



Εικ. 3.12: Άμβυκας τύπου Charentais για την παρασκευή του κονιάκ.

3.4.2 Αναπόσταξη - Κλασματική στήλη

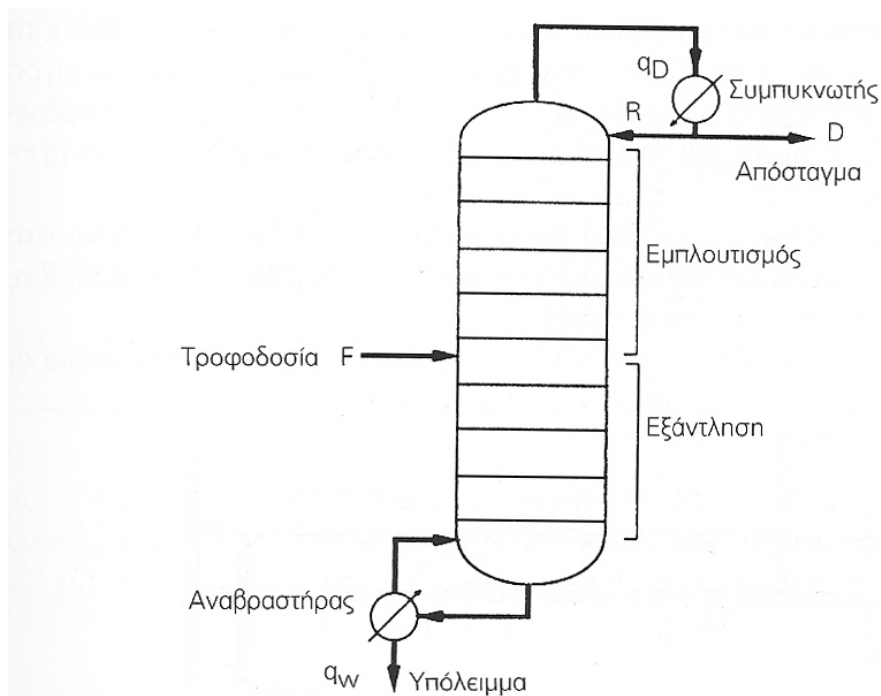
Με τη μεθοδική εφαρμογή διαδοχικών αποστάξεων μπορούμε να πολλαπλασιάσουμε το αποτέλεσμα μιας διαφορικής απόσταξης και να πετύχουμε καλύτερο διαχωρισμό της όποιας πτητικής ουσίας. Αν, όμως, οι διαδοχικές αυτές αποστάξεις συμβούν στην ίδια συσκευή, με ελάχιστη χρονική διαφορά ή μια από την άλλη ώστε να θεωρούμε ότι γίνονται σχεδόν ταυτόχρονα, τότε μιλάμε για τη μέθοδο της αναπόσταξης (rectification) ή απόσταξη με αναρροή. Κύριο χαρακτηριστικό της είναι αφενός η *αναρροή* (ή *επαναρροή*), δηλαδή η επιστροφή μέρους των συμπυκνωμένων ατμών στην αποστακτική συσκευή, και αφετέρου οι διεργασίες που συμβαίνουν στην *κλασματική στήλη*.

Οι συσκευές αυτής της μεθόδου αποτελούνται από τρία βασικά μέρη:

1. το λέβητα ή βραστήρα, όπου παράγονται οι ατμοί
2. την κλασματική στήλη, όπου γίνεται ο διαχωρισμός του μίγματος και
3. το συμπυκνωτή, όπου οι ατμοί υγροποιούνται και από 'κει απομακρύνονται ως απόσταγμα ή επαναρρέουν στη στήλη. Από αυτά τα μέρη το πιο σύνθετο είναι η στήλη, της οποίας η αρχή λειτουργίας είναι ίδια τόσο στα συνεχή όσο και στα ασυνεχή αποστακτικά συγκροτήματα.

Αλλά ας πάρουμε τα πράγματα με τη σειρά τους. Το προς απόσταξη υγρό μίγμα τροφοδοτεί το *βραστήρα*, όπου με το βρασμό παράγονται οι ατμοί οι οποίοι διοχετεύονται στην *κλασματική στήλη* (εικ. 4.13). Αυτή είναι ένας κατακόρυφος κύλινδρος που διαιρείται σε τμήματα τα οποία καλούνται *βαθμίδες*.²⁷

²⁷ Βλ. επίσης υποσημ. 3.16.



(Ασσαέλ και Μαγγιλιώτου, 1998)

Εικ. 3.13: Σχηματική απεικόνιση κλασματικής στήλης απόσταξης συνεχούς λειτουργίας.

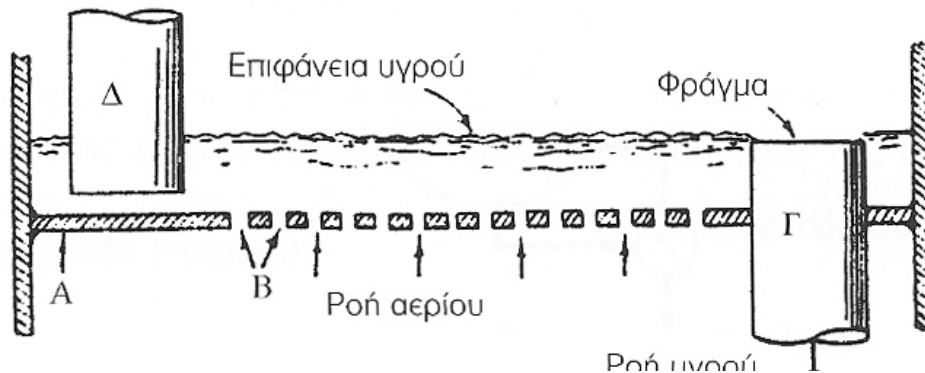
Οι βαθμίδες επικοινωνούν μεταξύ τους και επιτρέπουν την ανοδική ροή του ατμού και την καθοδική ροή του υγρού που προέρχεται από τη συμπύκνωση του ατμού. Στο εσωτερικό της στήλης και σε κάθε βαθμίδα, οι ατμοί έρχονται σε επαφή με την υγρή φάση, η οποία προέρχεται από αναρροή, αναμιγνύονται και μετά διαχωρίζονται. Δηλαδή σχηματίζονται δυο ρεύματα, το ένα ατμών και το άλλο υγρού, που κινούνται αντίθετα σε δυναμική ισορροπία μεταξύ τους σε όλο το μήκος της στήλης. Σε κάθε βαθμίδα έχουμε διαφορετικής σύστασης προϊόν (κλάσμα) εξ' ου και κλασματική στήλη (βλ. επίσης κεφάλαιο: «*Η παρασκευή του τσίπουρου - Σύγχρονη απόσταξη και αποστακτικές συσκευές*»).

Ο ατμός που εξέρχεται από την κορυφή της στήλης οδηγείται στον **συμπυκνωτή**, ο οποίος ψύχεται με νερό απομακρύνοντας ένα μέρος της θερμότητας (q_D). Η ψύξη έχει ως αποτέλεσμα τη μετατροπή του ατμού σε συμπύκνωμα, μέρος του οποίου επιστρέφει στη στήλη ως *αναρροή* (R), ενώ το υπόλοιπο παραλαμβάνεται ως *απόσταγμα* (ή *προϊόν*) *κορυφής* (D) το οποίο περιέχει κυρίως το πτητικότερο συστατικό.

Σε όλο το μήκος της στήλης, υγρό και ατμός είναι σε θερμοκρασία συμπύκνωσης κι εξάτμισης αντίστοιχα. Οι ανερχόμενοι ατμοί αναγκάζονται να περάσουν μέσα από την υγρή φάση, όπως φαίνεται στην εικόνα 3.14. Εκεί το πτητικότερο συστατικό - δηλαδή εκείνο με το χαμηλότερο σημείο ζέσεως - διαχέεται εκ του υγρού προς τον ατμό, έτσι ώστε στις ανώτερες βαθμίδες ο ατμός να είναι πλουσιότερος στο συστατικό αυτό (τμήμα εμπλουτισμού). Αντίθετα, το υψηλότερου σημείου ζέσεως συστατικό διαχέεται από τον ατμό προς το υγρό που έχει καθοδική πορεία, ώστε τελικά το πτητικότερο συστατικό να μεταφέρεται προς τα άνω ως ατμός και το λιγότερο πτητικό προς τα κάτω ως υγρό (*τμήμα εξάντλησης*).

Όσο ο ατμός ανέρχεται, από βαθμίδα σε βαθμίδα, εμπλουτίζεται στο πτητικότερο συστατικό και όσο το υγρό κατέρχεται, από βαθμίδα σε βαθμίδα, εξαντλείται από το πτητικότερο συστατικό.

Στην εικόνα 3.14 βλέπουμε ένα διάτρητο δίσκο, μέσα από τον οποίο οι ατμοί ανέρχονται με ταχύτητα και πίεση τέτοιες που δεν επιτρέπουν την κάθοδο του υγρού από τις οπές αλλά μόνο από την υπερχειλίση των αγωγών Γ και Δ.



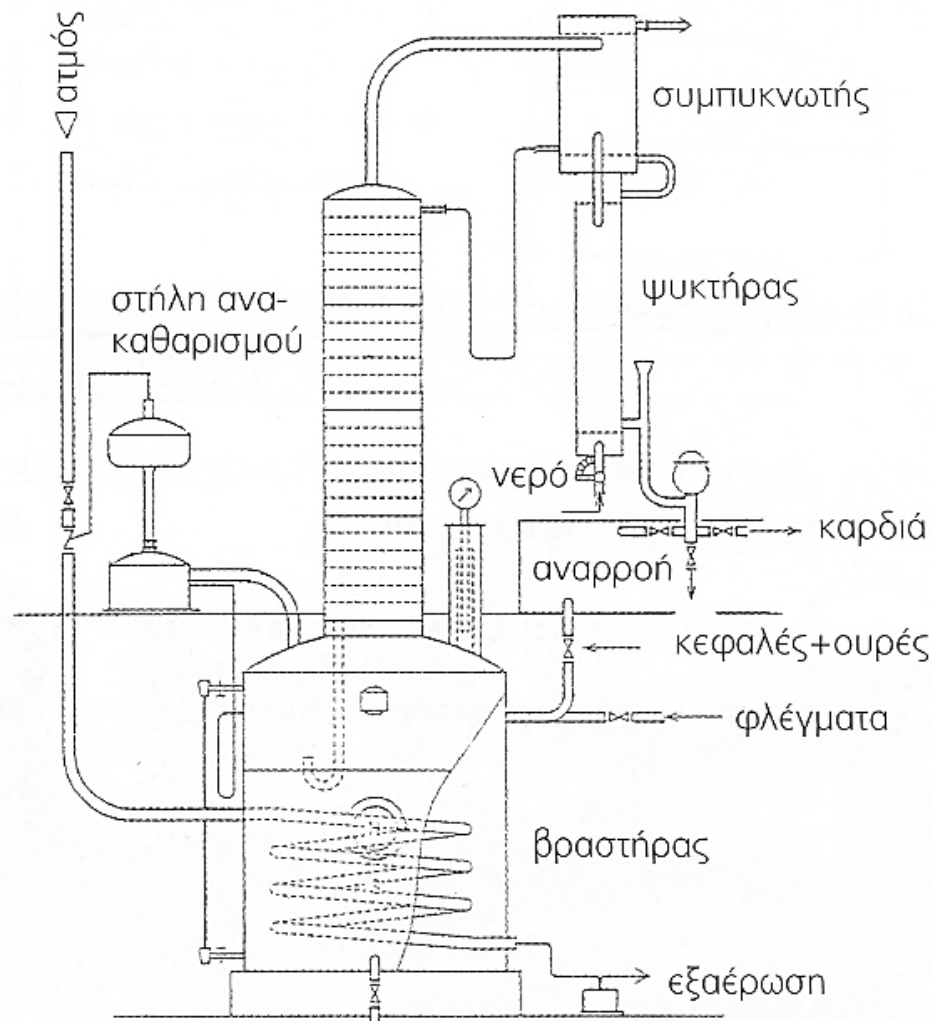
(McCabe και Smith, 1971)

Εικ. 3.14: Πλάγια όψη δίσκου (πίατο) στήλης απόσταξης. Α: δίσκος, Β: διατρήσεις, Γ: σωλήνας καθόδου (υπερχειλίση) προς τον κάτω δίσκο, Δ: σωλήνας καθόδου από τον πάνω δίσκο.

Έτσι, το υγρό ρέει προς τα κάτω μέσω των σωλήνων υπερχειλίσης, ενώ οι ατμοί οδεύουν προς τα άνω μέσω των διατρήσεων. Το υγρό του κάθε δίσκου, στην πραγματικότητα, είναι μια ζέουσα αφρώδη μάζα εξαιτίας των φυσαλίδων του ανερχόμενου ατμού.

Το υγρό της βάσης της κλασματικής στήλης, που προέρχεται από την αναροή, θερμαίνεται (q_w) στον αναβραστήρα (εικ. 3.13), όπου ένα μέρος ατμοποιείται και επιστρέφει στην κλασματική στήλη, ενώ το υπόλοιπο απομακρύνεται ως *προϊόν πυθμένα ή υπόλειμμα* (W).

Η τροφοδοσία της στήλης μπορεί να είναι *συνεχής*, όπως αυτή που περιγράφηκε (εικ. 3.13) ή *ασυνεχής* (εικ. 3.15). Η συνεχής τροφοδοσία συνήθως εφαρμόζεται στην οινοπνευματοποιία. Ωστόσο, μπορεί να εφαρμοστεί και στην αποσταγματοποιία (παραγωγή αλκοολούχων ποτών), όταν η πρώτη ύλη είναι σε υγρή μορφή (π.χ. οίνος), όπως συμβαίνει στην περίπτωση παραγωγής του αρμανιάκ (εικ. 3.16). Αντίθετα, η συνεχής τροφοδοσία δεν ενδείκνυται για την απόσταξη στεμφύλων, όπου εφαρμόζεται ο ασυνεχής τρόπος.



(Guigon et Cogat, 1990)

Εικ. 3.15: Ασυνεχής απόσταξη σε κλασματική στήλη.

Οι διεργασίες, που συμβαίνουν στη συνεχή τροφοδοσία και συγκεκριμένα στη στήλη, διαφέρουν ελάχιστα από αυτήν της ασυνεχούς και αφορούν στη σταθερότητα παροχής των προϊόντων.

Οι παράγοντες που διαμορφώνουν τη λειτουργία της στήλης, σύμφωνα με τους McCabe και Smith (1971) και Ασσαέλ και Μαγγιλιώτου (1998), είναι:

α) ο αριθμός των πιάτων που απαιτούνται για να επιτευχθεί ο επιθυμητός διαχωρισμός,

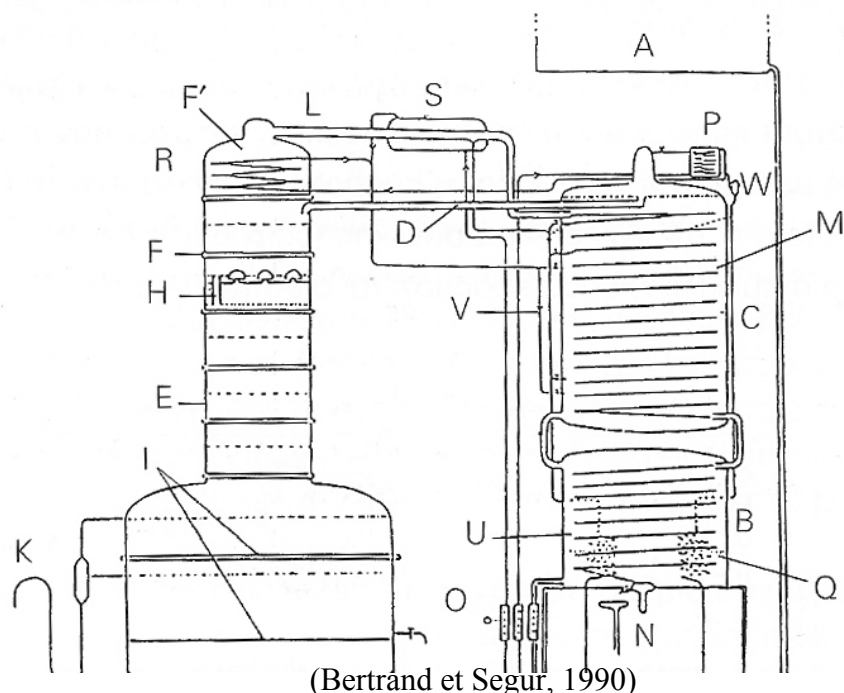
β) η διάμετρος της στήλης,

γ) ο τύπος των πιάτων που επιλέγεται,

δ) η θερμότητα που προσδίδεται στον αναβραστήρα,

ε) η θερμότητα που απομακρύνεται από το συμπυκνωτή, και

στ) άλλες λεπτομέρειες που αφορούν στην κατασκευή των πιάτων.



Εικ. 3.16: Ο άμβυκας του αρμανιάκ, όπου φαίνεται η συνεχούς λειτουργίας κλασματική στήλη.

Βασικά μέρη της συσκευής	Εξαρτήματα	Ροές
A: δεξαμενή τροφοδοσίας,	F: ξηρό πιάτο,	ατμός
B: ψυκτήρας,	O: μετρητής απόδοσης,	απόσταγμα
C: (προ)θερμαντήρας,	P: συμπυκνωτής κεφαλών,	οίνος
D: τροφοδοσία οίνου στη στήλη.	Q: ψυκτήρας κεφαλών,	υπόλοιπα απόσταξης
E: στήλη	R: ψυκτήρας στην κορυφή της στήλης,	κεφαλές
F: πιάτο απόσταξης,	S: συμπυκνωτής (ουρών),	ουρές
G: καμπανάκια,	U: ψυκτήρας ουρών.	
H: υπερχειλίση,	V: ανακύκλωση ζεστού οίνου,	
I: βραστήρας,	W: εκτονωτής ή απομάκρυνση αερίων	
J: εστία θέρμανσης,		
K: αποχωρισμός υπολειμμάτων οίνου,		
L: «λαιμός του κύκνου».		
M: σερπαντίνα προθέρμανσης οίνου,		
N: ροή αποστάγματος και υποδοχή αλκοολόμετρου		

Στην αποστακτική στήλη *συνεχούς* λειτουργίας (εικ. 3.13), το ρεύμα της τροφοδοσίας (F) εισάγεται συνήθως στο μέσον της στήλης ή λίγο χαμηλότερα. Τα πιάτα που βρίσκονται πάνω από το σημείο τροφοδοσίας αποτελούν το *τμήμα εμπλουτισμού* (section d'enrichissement ή rectifying section), ενώ τα πιάτα που βρίσκονται κάτω από το σημείο τροφοδοσίας αποτελούν το *τμήμα εξάντλησης* (section d'épuisement ή stripping section). Η στήλη αυτή μπορεί να ρυθμιστεί ώστε να εξασφαλίζει υψηλό ποσοστό σε αλκοόλη, σχεδόν μέχρι τα όρια του αζεοτροπικού μίγματος.

Στο σχεδιασμό των αποστακτικών στηλών λαμβάνεται υπόψη η παραλαβή σταθερής ποιότητας αποστάγματος με το μικρότερο κόστος. Έτσι, οι αποστακτικές στήλες σχεδιάζονται με τη μεγαλύτερη δυνατή χωρητικότητα και ταυτόχρονα με τη μικρότερη κατάληψη δαπέδου, ενώ ανάλογος με τις απαιτήσεις για το διαχωρισμό ενός μίγματος είναι ο αριθμός των στηλών που συνδυάζονται. Οι στήλες αυτές είναι μάλλον βιομηχανικές και περισσότερο αυτοματοποιημένες.

Στην αποστακτική στήλη *ασυνεχούς* ή κατά κύκλους λειτουργίας, όπως συμβαίνει στην αποσταγματοποιία του τσίπουρου, η τροφοδοσία της γίνεται από το κάτω μέρος (βλ. εικόνες 2.14 και 2.17 κεφ.3, εικ. 3.17). Η συγκέντρωση του προϊόντος της κορυφής εξαρτάται, όπως και στη συνεχούς λειτουργίας απόσταξη, από τη σύσταση του προϊόντος της βάσης, τον αριθμό των πιάτων της στήλης και το χρησιμοποιούμενο λόγο αναρροής (r). Σε αυτές τις στήλες, επίσης, είναι δυνατός ο διαχωρισμός του αποστάγματος στα κλάσματα: «κεφαλή», «καρδιά» και «ουρά». Η διόρθωση δε του αποστάγματος είναι τόσο μεγαλύτερη, όσο μικρότερη είναι η παραλαβή του αποστάγματος σε σχέση με τον όγκο του επιστρεφόμενου στη στήλη μέρους αυτού.

Αλλά ας εξετάσουμε μερικά χαρακτηριστικά που είναι σημαντικά για την απόδοση της στήλης. Και πρώτα - πρώτα ας δούμε τι συμβαίνει μέσα στους δίσκους.



Εικ. 3.17: Αποστακτικό συγκρότημα παρασκευής τσίπουρου
(Αποσταγματοποιία Κ. Λαζαρίδη - Δράμα)

3.4.2.1. Τα ρεύματα των δίσκων

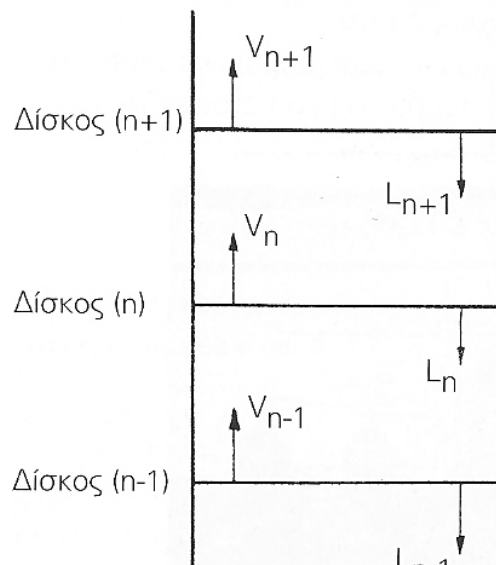
Στο εσωτερικό της στήλης έχουμε μεταφορά μάζας και θερμότητας κατ' αντιστροφή. Δημιουργείται ένα ανοδικό ρεύμα ατμού που κινείται σε αντιστροφή προς ένα καθοδικό ρεύμα υγρού. Τα δυο αυτά ρεύματα ανταλλάσσουν το θερμικό περιεχόμενο τους (ενθαλπία) και έχουμε μια κατάσταση δυναμικής ισορροπίας.

Αν πάρουμε ένα δίσκο (πιάτο) της στήλης με αριθμό (n), τότε ο αμέσως επόμενος προς τα επάνω θα είναι ο (n+1) και ο αμέσως επόμενος προς τα κάτω ο (n-1). Κάθε βαθμίδα δέχεται ένα ανοδικό και ένα καθοδικό ρεύμα.

Θεωρητικά σε ένα δίσκο οι ροές αναμιγνύονται τέλεια και εξέρχονται σε ισορροπία. Στην πράξη όμως η ισορροπία δεν επιτυγχάνεται. Η ανάμιξη δεν είναι ποτέ τέλεια και η επαφή δεν γίνεται ποτέ για άπειρο χρόνο. Για το λόγο αυτό εισάγεται ο ορισμός της θεωρητικής βαθμίδας.

Σε ένα θεωρητικό,²⁸ λοιπόν, δίσκο ή πιάτο (n) μιας κλασματικής στήλης (εικ. 3.18) υφίστανται τα παρακάτω τέσσερα ρεύματα:

- i. Ο απερχόμενος ατμός, δηλαδή το ρεύμα ατμού V_n , συγκέντρωσης y_n στο πτητικότερο συστατικό, που ανέρχεται από το δίσκο (n) στο δίσκο (n+1).
- ii. Το απερχόμενο υγρό, δηλαδή το υγρό ρεύμα L_{n+1} , συγκέντρωσης x_{n+1} στο πτητικότερο συστατικό, που κατέρχεται από το δίσκο (n) στο δίσκο (n-1).
- iii. Ο εισερχόμενος ατμός, δηλαδή το ρεύμα ατμού V_{n-1} , συγκέντρωσης y_{n-1} , στο πτητικότερο συστατικό, που κατέρχεται στο δίσκο (n) από το δίσκο (n+1).
- iv. Το εισερχόμενο υγρό, δηλαδή το υγρό ρεύμα L_{n+1} , συγκέντρωσης x_{n+1} στο πτητικότερο συστατικό, που κατέρχεται στο δίσκο (n) από το δίσκο (n+1).

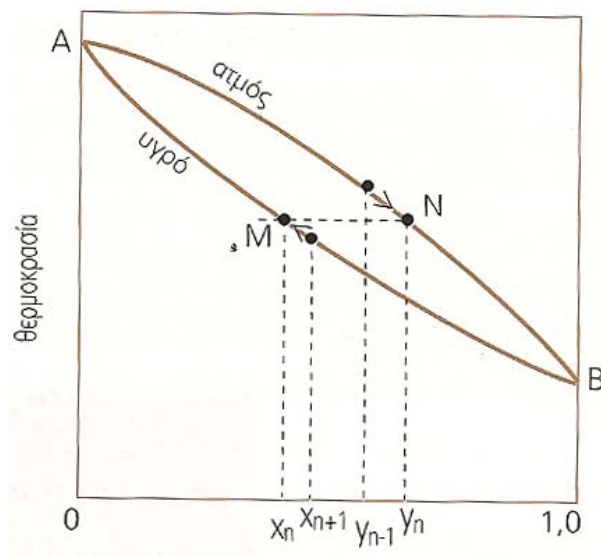


Εικ. 3.18: Ισοζύγιο μάζας για πτητικό συστατικό σε ένα θεωρητικό δίσκο ή πιάτο n.

²⁸ Στο θεωρητικό ή ιδανικό δίσκο (πιάτο) οι ροές της αέριας και της υγρής φάσης, που απομακρύνονται από τη βαθμίδα αυτή, είναι σε θερμοδυναμική ισορροπία (Ασσαέλ και Μαγγιλιώτου, 1998).

Σε ένα δυαδικό σύστημα, το ρεύμα V_n του ατμού και το ρεύμα L_n του υγρού είναι σε ισορροπία που παριστάνεται με την ευθεία MN (εικ. 3.19). Η ευθεία αυτή, που ενώνει την καμπύλη του υγρού με την καμπύλη του ατμού, είναι παράλληλη προς τον άξονα της συγκέντρωσης.

Τα ρεύματα V_{n+1} και L_{n+1} που εισέρχονται στο θεωρητικό δίσκο ή πιάτο (n), τείνουν κατά την επαφή τους να έρθουν σε κατάσταση ισορροπίας. Οι μεταβολές αυτές παριστάνονται στο διάγραμμα της εικόνας 4.19 με δύο τόξα. Όπως φαίνεται λοιπόν στο σχήμα, κατά την επαφή των ρευμάτων V_{n+1} και L_{n+1} ένα μέρος του V_{n+1} , συμπυκνώνεται, ώστε η συγκέντρωσή του στο πτητικότερο συστατικό να αυξηθεί από y_{n+1} , σε y_n , και ένα μέρος του L_{n+1} εξατμίζεται, ώστε η συγκέντρωσή του στο πτητικότερο συστατικό να μειωθεί από x_{n+1} σε x_n . Με τον ίδιο τρόπο σε κάθε δίσκο της κλασματικής στήλης το πτητικότερο συστατικό μεταφέρεται από το κατερχόμενο υγρό ρεύμα στον ανερχόμενο ατμό.



Εικ. 3.19: Διάγραμμα σημείων ζέσεως- σύστασης ενός δυαδικού συστήματος.

Σε κάθε θεωρητικό δίσκο (n) ο αριθμός των μορίων που περνούν από την αέρια στην υγρή φάση και αντίθετα είναι ίδιος, αφού η θερμότητα που ελευθερώνεται από τη συμπύκνωση ενός mole ατμού είναι περίπου ίση με τη θερμότητα που απαιτείται για την εξαέρωση ενός mole υγρού, δηλαδή έχουμε το φαινόμενο της *ισομοριακής διάχυσης* (McCabe και Smith 1971, Γιαννακουδάκης και Μάτης 1983).

Σύμφωνα με την αρχή διατήρησης της ενέργειας, αν εφαρμόσουμε στο δίσκο (n) ένα ισοζύγιο ενέργειας, τότε έχουμε:

Συνολικά εισερχόμενη ενέργεια = Συνολικά εξερχόμενη ενέργεια ή

Εισερχόμενη ενθαλπία = Εξερχόμενη ενθαλπία,

που σημαίνει:

Θερμότητα εισερχόμενου υγρού + θερμότητα εισερχόμενου ατμού = θερμότητα απερχόμενου ατμού + θερμότητα απερχόμενου υγρού + απώλειες + θερμότητα ανάμιξης (Q_{mix}) ή

$$L_{n+1} \cdot H_{n+1}^L + V_{n-1} \cdot H_{n-1}^V = V_n \cdot H_n^V + L_n \cdot H_n^L + \text{απώλειες} + Q_{\text{mix}} \quad (3.4.5)$$

όπου:

H_{n+1}^L είναι η ενθαλπία που απορροφάται κατά τη μερική εξάτμιση ενός mole του κατερχόμενου υγρού L_{n+1} , από το δίσκο (n+1) στο δίσκο (n).

H_{n-1}^V είναι η ενθαλπία που ελευθερώνεται κατά τη μερική συμπύκνωση mole των ανερχόμενων ατμών V_{n-1} από το δίσκο (n-1) στο δίσκο (n).

H_n^L είναι η ενθαλπία που απορροφάται κατά τη μερική εξάτμιση ενός mole του κατερχόμενου υγρού L_n , από το δίσκο (n) στο δίσκο (n-1), και

H_n^V είναι η ενθαλπία που ελευθερώνεται κατά τη μερική συμπύκνωση ενός mole των ανερχόμενων ατμών V_n , από το δίσκο (n) στο δίσκο (n+1).



Εικ. 3.20: Στήλη απόσταξης τσίπουρου (Αποσταγματοποιία ΑΟΣ Τυρνάβου).

Απλουστεύοντας: Αν υποθέσουμε ότι οι απώλειες της θερμότητας, εξαιτίας της καλής μόνωσης της στήλης, και η θερμότητα ανάμιξης του μίγματος είναι αμελητέες και ότι για ένα τέτοιο ιδανικό σύστημα η μοριακή θερμότητα ατμοποίησης θεωρείται σταθερή δηλαδή $H_n^L = H_{n-1}^L = H_{n+1}^L$, τότε η μοριακή ανοδική ροή του ατμού και η μοριακή καθοδική υγρή αναρροή είναι σταθερές. Δηλαδή ένα mole ατμού V_{n-1} όταν

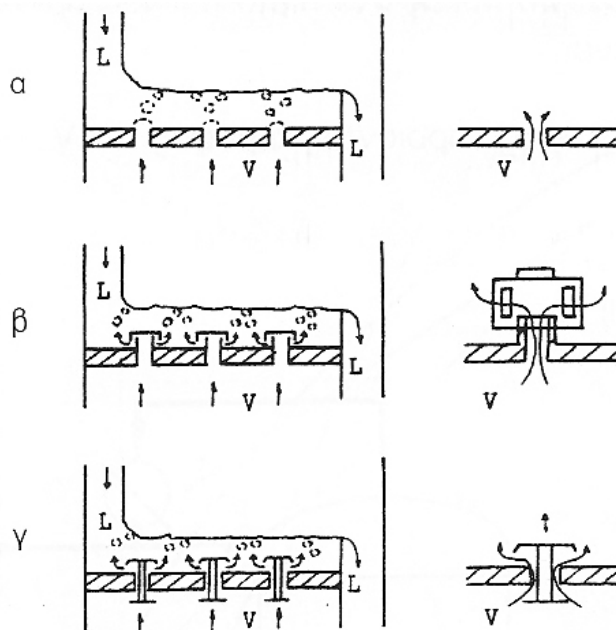
συμπυκνώνεται, αποδίδει τόση θερμότητα όση απαιτείται να ελευθερωθεί ένα νέο mole ατμού V_n . Άρα $V_n = V_{n+1} = V_{n-1}$.

Η μεταβολή της θερμοκρασίας από τον ένα δίσκο στον επόμενο θα είναι μικρή και nH_n^L μπορεί να θεωρηθεί ίση με την H_{n+1}^L . Εφαρμόζοντας τις παραπάνω απλοποιήσεις στην εξίσωση (4.4.5), προκύπτει ότι $L_{n+1} = L_n$ και τα moles αναρροής του υγρού είναι σταθερά σε αυτό το τμήμα.

3.4.2.2. Οι τύποι των δίσκων

Οι διατάξεις των δίσκων ή πιάτων, που επιτρέπουν την άνοδο των ατμών και την κάθοδο των υγρών, είναι διαφόρων τύπων (εικ. 3.21): με οπές από 0,6 έως 1,2 cm, με κάψες,²⁹ με βαλβίδες.

Στις συνεχούς τροφοδοσίας π συνεχείς αποστακτικές στήλες το τμήμα εμπλουτισμού φέρει πιάτα με κάψες, ενώ το τμήμα εξάντλησης φέρει διάτρητα πιάτα, εξαιτίας της μεγαλύτερης αναλογίας σε αιωρούμενα στερεά συστατικά. Στις ασυνεχείς στήλες συνήθως υπάρχουν μόνο κάψες.



(Ασσαέλ και Μαγγιλιώτου, 1998)

Εικ. 3.21: Τύποι δίσκων αποστακτικής στήλης: (α) με διατρήσεις, (β) με κάψες, (γ) με βαλβίδες.

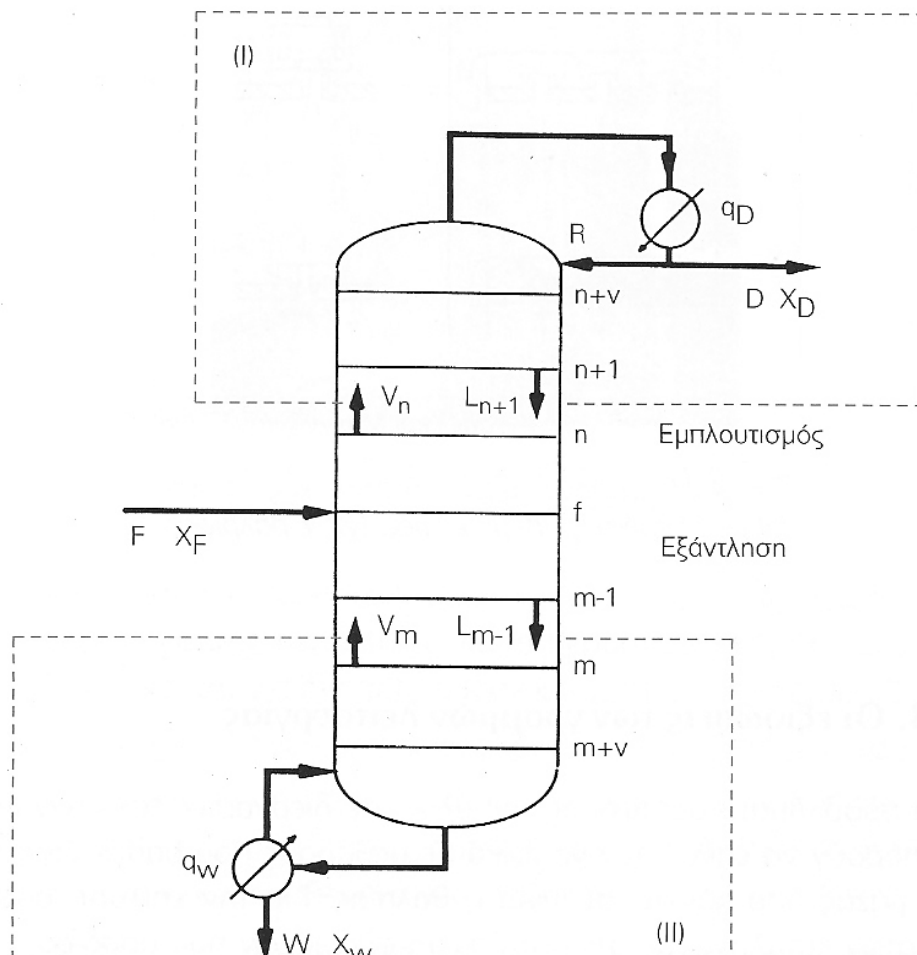
²⁹ Λέγονται και καμπανάκια ή ποτηράκια.

3.4.2.3. Οι εξισώσεις των γραμμών λειτουργίας

Τα προβλήματα μεταφοράς της ύλης, σε διεργασίες όπως είναι η απόσταξη, μπορούν να επιλυθούν γραφικά με μεθόδους που βασίζονται τόσο σε σοζύγια μάζας όσο και σε ισοζύγια ενθαλπίας. Για την επίλυση αυτών των προβλημάτων καταλήγουμε στη διατύπωση εξισώσεων που αποδίδουν τη λειτουργία των αποστακτικών στηλών (μέθοδος Lewis και Sorel).

Γραμμή λειτουργίας ή ισοζυγίου υλικών είναι η γραμμή η οποία δείχνει τη σχέση μεταξύ των συγκεντρώσεων των ρευμάτων ατμών (V) και υγρού (L) σε κάθε σημείο μιας συστοιχίας αντιρροής (McCabe και Smith, 1971).

Αν έχουμε μια κλασματική στήλη συνεχούς λειτουργίας, όπου το ρεύμα της τροφοδοσίας F εισάγεται στη μέση της στήλης (εικ. 4.22) διαιρώντας την σε δύο τμήματα, το ρεύμα του ατμού V που εξέρχεται από την κορυφή συμπυκνώνεται και διαχωρίζεται στο απόσταγμα D και στο υγρό αναρροής R που επιστρέφει στη στήλη. Από τη βάση της στήλης λαμβάνεται το προϊόν πυθμένα W . Έστω x_F η σύσταση του ρεύματος τροφοδοσίας F , x_D η σύσταση του προϊόντος κορυφής D και x_w η σύσταση του προϊόντος πυθμένα W στο πτητικότερο συστατικό.



(Ασσαέλ και Μαγγιλιώτου, 1998) – Τροποποιημένο
 Εικ. 3.22: Ισοζύγιο μάζας στην κορυφή και στον πυθμένα της στήλης.

Το συνολικό ισοζύγιο μάζας στο πιάτο (n) που βρίσκεται πάνω από το σημείο τροφοδοσίας είναι:

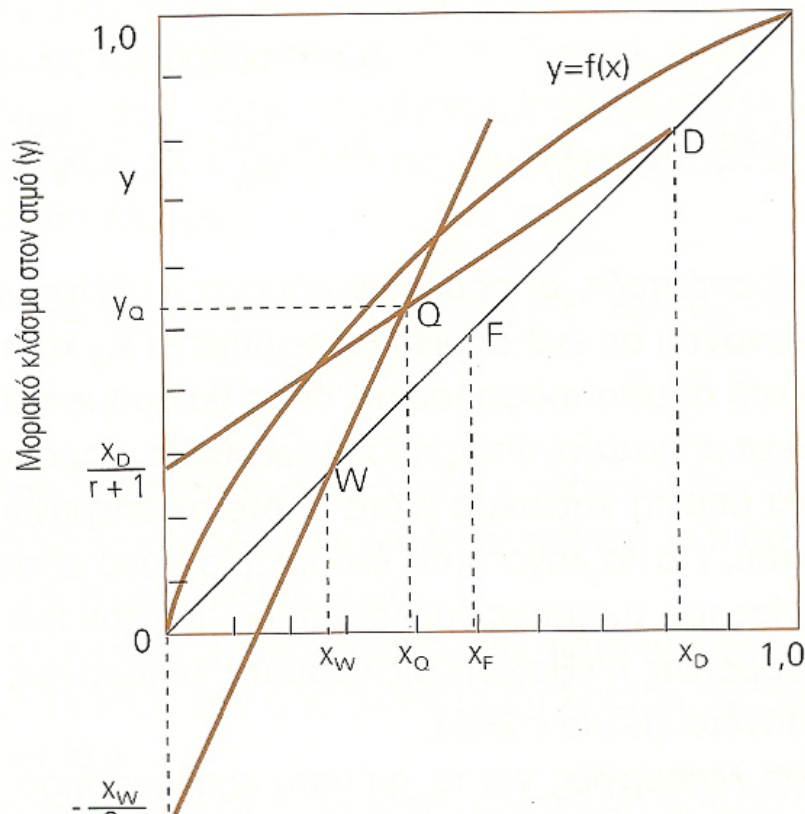
$$\text{Ροή ατμών} = \text{ροή υγρού} + \text{ροή προϊόντος κορυφής ή } V_n = L_{n+1} + D \quad (3.4.6)$$

και το ισοζύγιο μάζας για το πτητικότερο συστατικό:

$$V_n \cdot y_n = L_{n+1} \cdot X_{n+1} + D \cdot X_D$$

$$\text{Επομένως: } y_n = \frac{L_{n+1}}{V_n} \cdot x_{n+1} + \frac{D}{V_n} \cdot X_D \quad (4.4.7)$$

Η σχέση (4.4.7) είναι μια εξίσωση πρώτου βαθμού, η οποία παριστάνεται γραφικά με την ευθεία QD (εικ. 3.23) και αντιστοιχεί στη γραμμή λειτουργίας του τμήματος εμπλουτισμού ή αναπόσταξης. Αυτή δίνει τη σχέση της σύστασης y_n του ρεύματος ατμού V_n που ανέρχεται από το πιάτο (n) και της σύστασης x_{n+1} του υγρού ρεύματος L_{n+1} που κατέρχεται στο πιάτο (n), για το τμήμα που βρίσκεται πάνω από το σημείο τροφοδοσίας της κλασματικής στήλης.



Εικ. 3.23: Γραφική παράσταση των γραμμών λειτουργίας στήλης σε συνεχή απόσταξη (μέθοδος McCabe - Thiele).

Παρομοίως το συνολικό ισοζύγιο μάζας στο πιάτο m , που βρίσκεται κάτω από το σημείο τροφοδοσίας, είναι:

Ροή ατμών = ροή υγρού - ροή προϊόντος πυθμένα ή $V_m = L_{m-1} - W$ και το ισοζύγιο μάζας για το πτητικότερο συστατικό: $V_m \cdot y_m = L_{m-1} \cdot X_{m-1} - W \cdot x_w$

$$\text{Επομένως } y_m = \frac{L_{m-1}}{V_m} \cdot x_{m-1} - \frac{W}{V_m} x_w \quad (3.4.8)$$

Η σχέση (3.4.8) είναι επίσης μια εξίσωση πρώτου βαθμού, η οποία παριστάνεται γραφικά με την ευθεία QW (εικ. 3.23) και αντιστοιχεί στη γραμμή λειτουργίας του τμήματος εξάντλησης. Η γραμμή αυτή δίνει τη σχέση μεταξύ της σύστασης y_m του ρεύματος ατμού V_m που ανέρχεται από το πιάτο m και της σύστασης x_{m-1} του υγρού ρεύματος L_{m-1} , που κατέρχεται στο πιάτο m , για το τμήμα που βρίσκεται κάτω από το σημείο τροφοδοσίας της κλασματικής στήλης.

Απλουστεύοντας, αν υποθέσουμε ότι τα moles της υγρής υπερχειλίσης είναι σταθερά (σταθερή γραμμομοριακή ροή), τότε $L_{n+1} = L_n$ και $L_{m-1} = L_m$ και άρα από τις προηγούμενες εξισώσεις (3.4.7) και (3.4.8) προκύπτουν οι σχέσεις που δίνουν τις συστάσεις των ατμών πάνω και κάτω από το σημείο τροφοδοσίας της στήλης:

$$Y_n = \frac{L_n}{V_n} \cdot x_{n+1} + \frac{D}{V_n} \cdot x_D \quad \text{και} \quad Y_m = \frac{L_m}{V_m} \cdot x_{m-1} + \frac{W}{V_m} \cdot x_w$$

Στη *συνεχή απόσταξη*, οι προαναφερόμενες ευθείες γραμμές QD και QW (εικ. 3.23) τέμνονται σε ένα σημείο με τετμημένη x_Q και τεταγμένη y_Q το οποίο αντιστοιχεί στο σημείο τροφοδοσίας, όπως θα δούμε πιο κάτω.

Στην *ασυνεχή απόσταξη*, όπως προαναφέρθηκε, η τροφοδοσία της στήλης γίνεται σε ένα από τα κατώτερα πιάτα οπότε το υπεράνω τμήμα είναι το τμήμα εμπλουτισμού. Για το λόγο αυτό έχουμε μια μόνο εξίσωση, εκείνη της γραμμής λειτουργίας του τμήματος εμπλουτισμού. Με τον ίδιο τρόπο, λοιπόν, στην καμπύλη ισορροπίας η εξίσωση της γραμμής λειτουργίας της ασυνεχούς απόσταξης παριστάνεται με μια ευθεία.

Οι εξισώσεις λειτουργίας για τα τμήματα εμπλουτισμού και εξάντλησης μαζί με τη σχέση ισορροπίας, καθώς και η γραφική παράσταση των εξισώσεων, αποτελούν το μέσο με το οποίο υπολογίζεται ο αριθμός των θεωρητικά απαιτούμενων πιάτων για την αποδοτική λειτουργία μιας στήλης με σταθερές γραμμομοριακές ροές. Για περισσότερες λεπτομέρειες παραπέμπουμε στους: McCabe και Smith 1971, Γιαννακουδάκης και Μάτης 1983, Ασσαέλ και Μαγγιλιώτου 1998.

3.4.2.4. Η τροφοδοσία και η αναρροή στην απόσταξη

Το σημείο τροφοδοσίας (x_Q, y_Q) στη γραφική παράσταση των γραμμών λειτουργίας (εικόνες 3.23, 3.24 και 3.25) αντιστοιχεί στη βαθμίδα όπου γίνεται η τροφοδοσία. Ο γεωμετρικός τόπος των σημείων τομής των γραμμών λειτουργίας είναι η γραμμή τροφοδοσίας (q) που ταυτόχρονα ικανοποιεί το συνολικό ισοζύγιο μάζας.

Η φυσική κατάσταση του υλικού τροφοδοσίας της στήλης επηρεάζει αφενός τις γραμμές λειτουργίας και αφετέρου την κλίση της γραμμής τροφοδοσίας, όπως φαίνεται στο διάγραμμα της εικόνας 4.24, και αντιστοιχεί σε ένα συντελεστή (f). Έτσι, λοιπόν, έχουμε:

- α) ψυχρό υγρό με $f < 0$
- β) κορεσμένο υγρό (στο σημείο φυσαλίδας) με $f = 0$
- γ) μερικώς ατμοποιημένο υγρό (δηλαδή μίγμα υγρού-ατμού) με $0 < f < 1$
- δ) κορεσμένοι ατμοί (στο σημείο δρόσου) με $f = 1$
- ε) υπέρθερμοι ατμοί με $f > 1$

Ο συντελεστής f είναι ο λόγος των χιλιογραμμομορίων (kgmoles) των ατμών που ανέρχονται στο εσωτερικό της στήλης, προς τα χιλιογραμμομόρια (kgmoles) της τροφοδοσίας ή απλά ο λόγος των παραγόμενων ατμών προς το εισαγόμενο στη στήλη υλικό. Ανάλογα με το συντελεστή f διαμορφώνεται και η κλίση της γραμμής τροφοδοσίας (q).

Αν η στήλη τροφοδοτείται από μίγμα υγρού και ατμού ($0 < f < 1$), το ποσοστό του ατμού θα είναι f και το ποσοστό του υγρού θα είναι $1-f$, ώστε στο δίσκο τροφοδοσίας θα έχουμε :

$$\left. \begin{array}{l} \text{Για τον ατμό: } V_n = V_m + Ff \Rightarrow V_n - V_m = Ff \text{ και } V_m - V_n = -Ff \\ \text{και για το υγρό: } L_m = L_n + (1 - f) F \Rightarrow L_m - L_n = (1 - f) F \end{array} \right\} \quad (3.4.9)$$

Δηλαδή (εικ. 4.22) οι ατμοί (V_n), που υπάρχουν στο πιάτο (n), είναι ίσοι με το άθροισμα των ατμών (V_m), που ανέρχονται από το πιάτο m , και των εισαγόμενων από την τροφοδοσία (F) ατμών.

Ομοίως, το υγρό (L_m) που υπάρχει στο πιάτο m ισούται με το άθροισμα του κατερχόμενου υγρού (L_n) από το πιάτο (n) και του υγρού που προέρχεται από την τροφοδοσία (F).

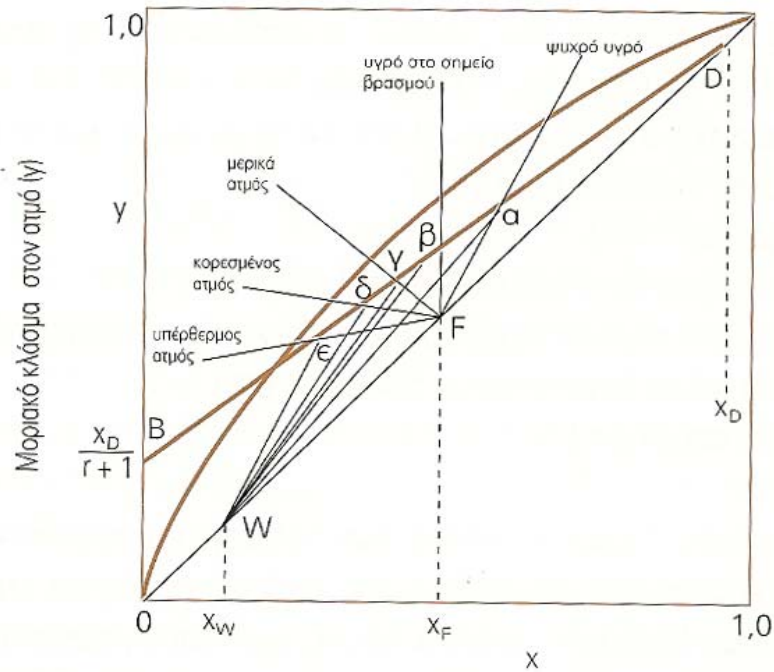
Αν οι δύο γραμμές λειτουργίας τέμνονται στο σημείο Q (x_Q, y_Q) τότε οι τιμές αυτές επαληθεύουν ταυτόχρονα τις δύο εξισώσεις των γραμμών λειτουργίας (3.4.7) και (4.4.8):

$$V_n \cdot y_Q = L_n \cdot x_Q + D \cdot x_D \text{ και } V_m \cdot y_Q = L_m \cdot x_Q - W \cdot x_w$$

Αφαιρώντας την πρώτη από τη δεύτερη εξίσωση κατά μέλη, προκύπτει:

$$V_m \cdot y_Q - V_n \cdot y_Q = L_m \cdot x_Q - W \cdot x_w - L_n \cdot x_Q - D \cdot x_D$$

$$\text{Επομένως: } y_Q(V_m - V_n) = (L_m - L_n) \cdot x_Q - (D \cdot x_D + W \cdot x_w) \quad (3.4.10)$$



(McCabe και Smith 1971 Γιαννακουδάκης και Μάτης 1983)

Εικ. 3.24: Οι θέσεις της γραμμής q για τις διάφορες συνθήκες τροφοδοσίας και για ορισμένο λόγο αναρροής.

Αν εφαρμόσουμε στη στήλη το συνολικό ισοζύγιο μάζας έχουμε :
 Τροφοδοσία = Απόσταγμα + Υπόλειμμα ή αλλιώς
 Τροφοδοσία = Προϊόν κορυφής + Προϊόν πυθμένα
 ή ακόμα με τη βοήθεια της εικόνας 4.22: $F = D + W$
 και για το ισοζύγιο μάζας στο πτητικότερο συστατικό θα έχουμε:
 $F \cdot x_f = D \cdot x_D + W \cdot x_w$ (3.4.11)

Προσθέτοντας κατά μέλη την εξίσωση (4.4.11) και την εξίσωση (4.4.10) έχουμε:

$$y_Q(V_m - V_n) + (F \cdot x_f) = (L_m - L_n) \cdot x_Q - (D \cdot x_D + W \cdot x_w) + (D \cdot x_D + W \cdot x_w)$$

$$\text{ή ακόμα } y_Q(V_m - V_n) + F \cdot x_f = (L_m - L_n) \cdot x_Q$$

Αντικαθιστώντας στην εξίσωση αυτή τα $(V_m - V_n)$ και $(L_m - L_n)$ με τα ίσα τους, που προέρχονται από τις εξισώσεις (4.4.9), προκύπτει:

$$y_Q(-Ff) + F \cdot x_f = (1 - f)F \cdot x_q \Rightarrow -Ffy_q = Fx_Q - fFx_q - Fxf \Rightarrow$$

$$Ffy_q = -Fx_Q + fFx_q + Fxf \Rightarrow fy_q = -(1-f)x_q + x_f \Rightarrow$$

$$1-f \quad x_f$$

$$y_0 = -\frac{\quad}{f} x_0 + \frac{\quad}{f} \quad (3.4.12)$$

Η σχέση αυτή είναι μια εξίσωση α' βαθμού και παριστάνει τη γραμμή τροφοδοσίας q.

Ένα άλλο στοιχείο στη λειτουργία της στήλης είναι ο λόγος αναρροής (*r*). Το υγρό αναρροής είναι το συμπυκνωμένο υγρό που επιστρέφει (επαναρρέει) από το συμπυκνωτή στην κορυφή της στήλης (R στις εικόνες 4.13 και 4.22). Έτσι ο λόγος αναρροής είναι το πηλίκο του υγρού αναρροής (L_n), που κατέρχεται από το συμπυκνωτή σε δίσκο (*n*), προς το προϊόν κορυφής (*D*):

$$R = \frac{L_n}{D} \quad \text{ή} \quad r = \frac{L_{n+1}}{D}$$

Αν στην εξίσωση (4.4.7) της γραμμής λειτουργίας του τμήματος εμπλουτισμού αντικαταστήσουμε το V_n με το ίσο του που προκύπτει από την εξίσωση (4.4.6)

$V_n = L_{n+1} + D$, τότε θα έχουμε:

$$y_n = \frac{L_{n+1}}{V_n} X_{n+1} + \frac{D}{V_n} X_D \quad \text{ή} \quad y_n = \frac{L_{n+1}}{L_{n+1} + D} X_{n+1} + \frac{D}{L_{n+1} + D} X_D$$

κατόπιν, εισάγοντας το ίσο του (L_{n+1}), όπως αυτό προκύπτει από το λόγο αναρροής $r = L_{n+1}/D$ ή $L_{n+1} = rD$, τότε προκύπτει:

$$Y_n = \frac{rD}{rD + D} X_{n+1} + \frac{D}{rD + D} X_D \Rightarrow Y_n = \frac{rD}{(r+1)D} X_{n+1} + \frac{D}{(r+1)D} X_D \Rightarrow$$

$$Y_n = \frac{r}{r+1} X_{n+1} + \frac{X_D}{r+1} \quad (3.4.13)$$

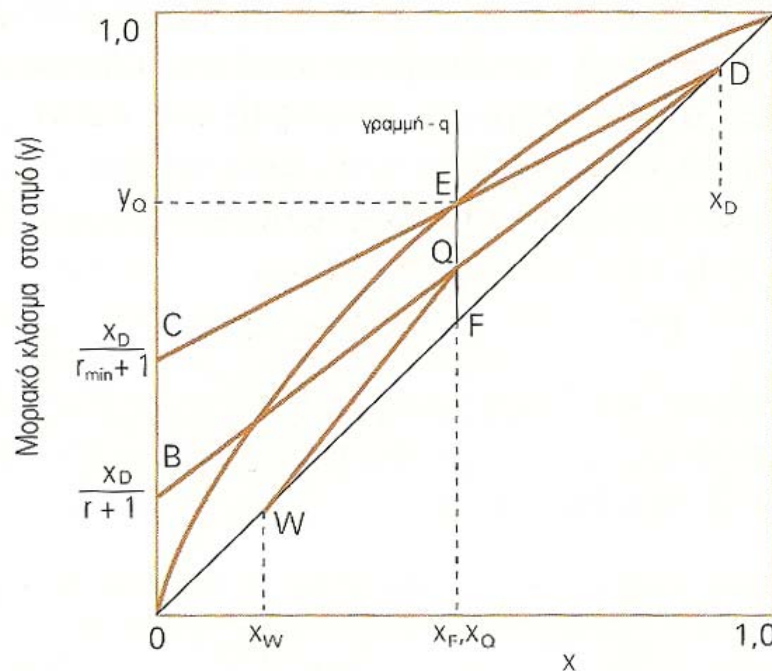
Με την εφαρμογή του λόγου αναρροής *r*, στην εξίσωση της γραμμής λειτουργίας εμπλουτισμού, απλοποιούνται σημαντικά οι υπολογισμοί. Κάθε μεταβολή στο *r* αλλάζει την κλίση της γραμμής λειτουργίας του τμήματος εμπλουτισμού και επηρεάζει το διαχωρισμό του προς απόσταξη μίγματος.

Από την εξίσωση (3.4.13) με αντικατάσταση των *r* και x_D με τις τιμές τους βρίσκουμε ότι η γραφική παράσταση της γραμμής λειτουργίας του τμήματος εμπλουτισμού θα διέρχεται από τα σημεία $D [x_D, y_D]$ και $B [0, x_D / (r + 1)]$ (εικ. 3.25).

Σε συνθήκες ολικής αναρροής, η γραμμή λειτουργίας του τμήματος εμπλουτισμού έχει τη μέγιστη κλίση ίση με τη μονάδα και συμπίπτει με τη διαγώνιο (εικ. 3.25), οπότε ο λόγος αναρροής τείνει στο άπειρο. Τότε, όλοι οι ατμοί υγροποιημένοι επιστρέφουν στη στήλη, ενώ οι ροές της τροφοδοσίας και των προϊόντων κορυφής και πυθμένα τείνουν στο μηδέν.

Καθώς μειώνεται ο λόγος αναρροής μειώνεται επίσης η κλίση της γραμμής λειτουργίας του τμήματος εμπλουτισμού. Όμως, υπάρχει ένας ελάχιστος λόγος αναρροής (r_{\min}) κάτω από τον οποίο είναι αδύνατο να έχουμε ικανοποιητικό εμπλουτισμό, οποιονδήποτε αριθμό πιάτων και αν χρησιμοποιήσουμε.

Στην εικόνα 3.25, η ευθεία CED παριστάνει τη γραμμή λειτουργίας που αντιστοιχεί στον ελάχιστο λόγο αναρροής r_{\min} . Το σημείο E με συντεταγμένες (x_Q , y_Q) βρίσκεται πάνω στην καμπύλη ισορροπίας. Η κλίση της ευθείας CED είναι:



Εικ. 3.25: Ελάχιστος και ολικός λόγος αναρροής (r).

$$\frac{R_{\min}}{R_{\min} + 1} = \frac{X_D - y_Q}{X_D - x_Q}$$

Εφαρμόζοντας τις ιδιότητες των αναλογιών, αφαιρούμε τον αριθμητή κάθε μέλους της αναλογίας από τον αντίστοιχο παρονομαστή και η προηγούμενη σχέση γίνεται:

$$R_{\min} \quad X_D - y_Q$$

$$\frac{R_{\min} + 1 - R_{\min}}{X_D - x_Q - (X_D - x_Q)} = \frac{X_D - y_Q}{y_Q - x_Q}$$

$$\text{Επομένως } R_{\min} = \frac{X_D - y_Q}{y_Q - x_Q} \quad (3.4.14)$$

Στη στήλη απόσταξης συνεχούς λειτουργίας, η τροφοδοσία γίνεται υπό σταθερές, θεωρητικά, συνθήκες και το ίδιο συμβαίνει και με το λόγο αναρροής, ώστε τελικά να παίρνουμε σταθερής σύστασης προϊόντα στην κορυφή (απόσταγμα) και στον πυθμένα της στήλης (υπόλειμμα).

Στη στήλη απόσταξης ασυνεχούς λειτουργίας, οι συνθήκες τροφοδοσίας δεν είναι σταθερές, εφόσον το προς απόσταξη μίγμα δεν ανανεώνεται και έτσι η σύσταση του μεταβάλλεται. Αυτό συμβαίνει συνήθως στη μικρής δυναμικότητας παραγωγή, όπως είναι η αποσταγματοποιία τσίπουρου, σε αντίθεση με τη βιομηχανία οινοπνεύματος (π.χ. οινοπνευματοποιία). Σε αυτές τις περιπτώσεις, η τροφοδοσία δε γίνεται στη μέση της στήλης αλλά στο κάτω μέρος. Έτσι, η στήλη λειτουργεί ως τμήμα εμπλουτισμού και ισχύει η εξίσωση της γραμμής εμπλουτισμού που προαναφέρθηκε (εξίσωση 3.4.7), ενώ η τροφοδοσία και η αναρροή υπόκεινται στις παρακάτω συνθήκες:

α) λειτουργία με σταθερή σύσταση προϊόντος: Για να επιτευχθεί σταθερή σύσταση, τόσο στο προϊόν κορυφής (απόσταγμα) όσο και στο προϊόν βάσης (υπόλειμμα), ο λόγος αναρροής στη διάρκεια της διεργασίας μεταβάλλεται συνεχώς. Έτσι, ένα συνεχώς αυξανόμενο ποσοστό του προϊόντος κορυφής επιστρέφει με αναρροή, ώστε να διατηρείται σταθερή η σύσταση στον τελευταίο προς τα πάνω δίσκο.

Αν έχουμε μία στήλη για το διαχωρισμό ενός μίγματος αιθανόλης - νερού, αρχικά στη βάση υπάρχουν L_1 moles υγρού με μοριακό κλάσμα (συγκέντρωση) για το πλέον πτητικό συστατικό ίσο με x_1 . Για συγκέντρωση x_D στο προϊόν κορυφής, θα έχουμε λόγο αναρροής r_1 . Μετά από κάποιο χρόνο, στη βάση της στήλης υπάρχουν L_2 moles με συγκέντρωση x_2 . Τότε, για τον ίδιο αριθμό δίσκων, ο λόγος αναρροής πρέπει να αυξηθεί σε r_2 . Το προϊόν κορυφής D μπορεί να προσδιοριστεί από το ισοζύγιο μάζας, όπως δείχνουν οι παρακάτω εξισώσεις:

$$L_1 \text{ (moles)} - L_2 \text{ (moles)} = D \text{ (moles)} \text{ και } L_1 x_1 - L_2 x_2 = D x_D$$

Από τις εξισώσεις αυτές προκύπτει:

$$L_1 x_1 - (L_1 - D) x_2 = D x_D$$

$$L_1 x_1 - L_1 x_2 = D x_D - D x_2$$

$$L_1 (x_1 - x_2) = D (x_D - x_2)$$

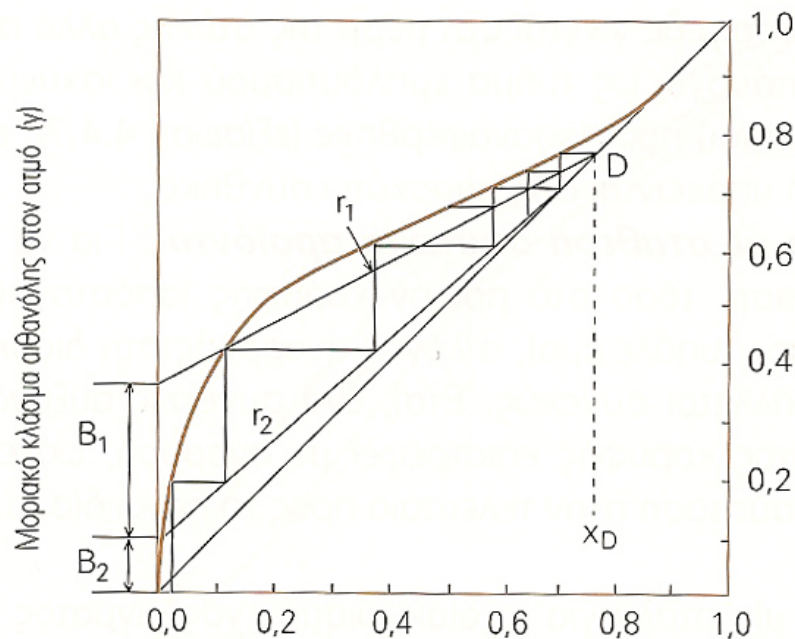
$$x_1 - x_2 = \frac{D}{L_1} (x_D - x_2)$$

$$D = L_1 \frac{\quad}{x_D - x_2}$$

Στο σημείο τομής (B_1, B_2, \dots) των γραμμών λειτουργίας με τον άξονα y (εικ. 3.26) αντιστοιχεί η παρακάτω σχέση από την οποία μπορεί να βρεθεί ο λόγος αναρροής r για κάθε επιθυμητή σύσταση της βάσης, δηλαδή για διαφορετικές τιμές του B . Αντίθετα, η σύσταση της κορυφής παραμένει σταθερή:

$$\frac{x_D}{R+1} = B \Rightarrow r = \frac{x_D}{B} - 1$$

β) **λειτουργία με σταθερό λόγο αναρροής:** Στην περίπτωση αυτή ο λόγος αναρροής είναι σταθερός με αποτέλεσμα να παραλαμβάνουμε προϊόντα με διαφορετική σύσταση.



(Παπαγεωργίου, 7991)

Εικ. 3.26: Γραφική παράσταση λειτουργίας στήλης ασυνεχούς λειτουργίας με σταθερή σύσταση προϊόντος.

Αν η στήλη λειτουργεί με σταθερό λόγο αναρροής r , η συγκέντρωση του πλέον πτητικού συστατικού στην κορυφή αυτής συνεχώς θα μειώνεται. Έτσι, για χρόνο DT

η σύσταση του προϊόντος κορυφής θα μειωθεί από x_D σε $x_D - dx_D$. Αν σε αυτό το χρόνο η ποσότητα του προϊόντος που παραλήφθηκε είναι dD με ένα ισοζύγιο μάζας στο πλέον πτητικό συστατικό, μπορούμε να βρούμε τη σχέση μεταξύ της αρχικής ποσότητας υγρού που θα αποσταχθεί και της τελικής που θα απομείνει. Ομοίως μπορούμε να προσδιορίσουμε και τη μέση σύσταση του παραλαμβανόμενου προϊόντος:

$$dD \left[x_D - \frac{dx_D}{2} \right] = x_D dD$$

$$x_D dD = - (dL x) \text{ αλλά } dD = - dL$$

$$-x_D dL = - L dx - x dL$$

$$L dx = dL (x_D - x) \Rightarrow \frac{Dx}{x_D - x} = \frac{dL}{L}$$

$$\frac{L_1}{L_2} \frac{dx}{x_2} = \frac{x_1}{x_D - x}$$

$$L_1 x_1$$

$$\ln L = - \ln (x_D - x)$$

$$L_2 x_2$$

$$\ln L_1 - \ln L_2 = - [\ln(x_D - x_1) - \ln(x_D - x_2)] \quad \ln L_1 - \ln L_2 = - \ln(x_D - x_1) + \ln(x_D - x_2)$$

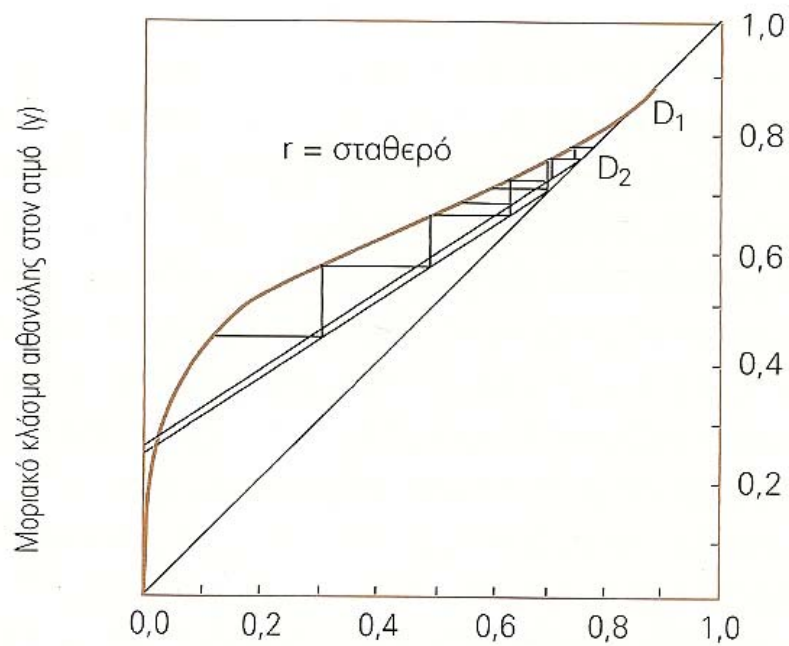
$$L_2 x_D - X_1$$

$$L_1 x_D - X_2$$

$$L_2 x_D - X_1$$

Στο διάγραμμα 3.27 διαπιστώνουμε ότι οι γραμμές λειτουργίας έχουν την ίδια κλίση εξαιτίας του σταθερού λόγου αναρροής αλλά όμως τέμνουν τη διαγώνιο σε

διαφορετικά σημεία. Το γεγονός αυτό υποδηλώνει μεταβολή στη σύσταση του παραλαμβανόμενου προϊόντος.



(Παπαγεωργίου, 1991)

Ει κ. 3.27: Γραφική παράσταση γραμμών λειτουργίας στήλης ασυνεχούς απόσταξης με σταθερό λόγο αναρροής.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- ΔΙΑΔΥΚΤΙΟ
- DISTILLATION OF ENERGY
- ΑΠΟΣΤΑΞΗ ΣΤΕΜΦΥΛΩΝ ΤΟΥ ΣΟΥΦΛΕΡΟΥ Ι.
- ΦΥΣΙΚΕΣ ΔΙΕΡΓΑΣΙΕΣ ΤΟΥ ΑΠΟΣΤΟΛΟΥ Κ.