



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

Διπλωματική Εργασία

ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΑΙ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΣΥΓΧΡΟΝΟΥ ΑΠΟΣΤΑΚΤΗΡΙΟΥ

υπό

ΠΛΕΟΥΡΑ Σ. ΔΗΜΗΤΡΙΟ

Υπεβλήθη για την εκπλήρωση μέρους των
απαιτήσεων για την απόκτηση του
Διπλώματος Μηχανολόγου Μηχανικού

2015



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ & ΚΕΝΤΡΟ ΠΛΗΡΟΦΟΡΗΣΗΣ
ΕΙΔΙΚΗ ΣΥΛΛΟΓΗ «ΓΚΡΙΖΑ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ»**

Αριθ. Εισ.:	14167/1
Ημερ. Εισ.:	29-03-2017
Δωρεά:	Συγγραφέας
Ταξιθετικός Κωδικός:	ΠΤ – ΜΜ
	2015
	ΠΛΕ

© 2015 Πλέουρας Σ. Δημήτριος

Η έγκριση της διπλωματικής εργασίας από το Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών της Πολυτεχνικής Σχολής του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας δεν υποδηλώνει αποδοχή των απόψεων του συγγραφέα (Ν. 5343/32 αρ. 202 παρ. 2).

**ΕΓΚΡΙΘΗΚΕ ΑΠΟ ΤΑ ΜΕΛΗ ΤΗΣ ΤΡΙΜΕΛΟΥΣ ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗΣ
ΕΠΙΤΡΟΠΗΣ:**

Πρώτος Εξεταστής (Επιβλέπων) Δρ. Βασίλειος Μποντόζογλου
Καθηγητής, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών, Πανεπιστήμιο
Θεσσαλίας

Δεύτερος Εξεταστής Δρ. Νικόλαος Ανδρίτσος
Καθηγητής, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών,
Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Τρίτος Εξεταστής Δρ. Παναγιώτης Τσιακάρας
Καθηγητής, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών, Πανεπιστήμιο
Θεσσαλίας

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Πρώτα απ' όλα, θέλω να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα της διπλωματικής εργασίας μου, Καθηγητή κ. Βασίλειο Μποντόζογλου, για την πολύτιμη βοήθεια και καθοδήγησή του κατά τη διάρκεια της δουλειάς μου. Επίσης, είμαι ευγνώμων στα υπόλοιπα μέλη της εξεταστικής επιτροπής της διπλωματικής εργασίας μου, Καθηγητές κ. Νικόλαο Ανδρίτσο και Παναγιώτη Τσιακάρα για την προσεκτική ανάγνωση της εργασίας μου και για τις πολύτιμες υποδείξεις τους. Ευχαριστώ τους την τριμελή επιτροπή, τους φίλους μου και τους συγγενείς μου για την ηθική υποστήριξή τους. Πάνω απ' όλα, είμαι ευγνώμων στους γονείς μου, για την ολόψυχη αγάπη και υποστήριξή τους όλα αυτά τα χρόνια.

Δημήτριος Σ. Πλέουρας

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα διπλωματική εργασία περιγράφεται η διαδικασία της παραγωγής αποστάγματος σταφυλής , που είναι η κύρια αποσταγματική παραγωγή της χώρας όσον αφορά την παραγωγή αλκοολούχων ποτών και παρουσιάζονται κάποια αποτελέσματα υπολογισμών που διέπουν κυρίως την απόσταξη. Συγκεκριμένα παρουσιάζεται κάθε συσκευή που απαιτείται στην όλη παραγωγική διαδικασία και εξηγείται ο τρόπος λειτουργίας της, καθώς επίσης αναφέρονται και οι επιμέρους φυσικές διεργασίες που λαμβάνουν χώρα, όπως η διεργασία της ζύμωσης και άλλες. Παρατίθεται ένα κεφάλαιο ανάλυσης της θεωρίας που χρησιμοποιείται για την καλύτερη εξήγηση της διαδικασίας των υπολογισμών που εκπονούνται. Στην συνέχεια από την πλευρά των υπολογισμών, παρουσιάζεται η διαφορική ανάλυση της απόσταξης χωρίς κλασματική στήλη υπό την θεώρηση της πρώτης ύλης ως δυαδικό μίγμα αιθανόλης νερού, καθώς από αυτά αποτελείται η πρώτη ύλη ως πλείστον . Υπολογισμοί των βασικών ισοζυγίων μάζας γίνονται σε κάθε σημείο διαχωρισμού ή τροποποίησης της πρώτης ύλης και των προϊόντων της. Επιπρόσθετα, βασικό τμήμα αυτής της διπλωματικής αποτελούν οι ενεργειακοί υπολογισμοί. Αυτοί επικεντρώνονται στην διεργασία της απόσταξης και στην αξιοποίηση της χρήσιμης ενέργειας των απορρευματών. Οι συναρτήσεις διαφόρων μεταβλητών που σχετίζονται με την απόσταξη και προκύπτουν από τους εν λόγω υπολογισμούς παρουσιάζονται σε διαγράμματα, εκ των οποίων ιδιαίτερης σημασίας αποτελούν αυτά που περιέχουν τον χρόνο ως μία μεταβλητή και που αποδίδουν μία εικόνα της εξέλιξης της διαδικασίας. Τέλος παρουσιάζονται τα συμπεράσματα που εξήχθησαν από τα αποτελέσματα των υπολογισμών, καθώς και κάποιες προτάσεις περί της αξιοποίησης των ενεργειακών αποθεμάτων των απορρευματών.

ABSTRACT

This thesis describes the process of grape's distillate's production, which is the main distillate product of the country in terms of the production of alcoholic beverages. Also, some results of calculations are presented, mainly relative to the distillation process. Each device that is needed in the overall production process is described and its functionality is explained. Reference is also made to the specific natural processes that take place in the production like the process of fermentation and others. A chapter is sited that analyzes the theory that is used, for a better explanation of the calculations. In the calculations section, the differential analysis of the distillation without fractional distillation column is shown, under the assumption of a binary-mixture raw material consisting only of ethanol and water. Calculations of mass balances are conducted to each dividing point or modification of the raw material and its products. Additionally, key part of this thesis consists of the energy calculations. They focus on the process of distillation and the reclamation of the thermal energy of the wastes. Results of several variables related to distillation are presented in diagrams, of which particular importance have those that contain the time as an independent variable, which show a general picture of the processes' progress. Finally, in the conclusions section the results of the calculations are discussed, and some further suggestions are made on the reclamation of the energy content of the wastes.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1
2. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΜΟΝΑΔΑΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ	
2.1 Σύνοψη διαγράμματος ροής.....	4
2.2 Επιμέρους συσκευές και μηχανές.....	6
2.3 Μετρητικά όργανα.....	19
3. ΘΕΩΡΙΑ	
3.1 Ανάλυση διεργασιών ισορροπίας σε απλή απόσταση.....	21
3.2 Διαφορική απόσταση Αιθανόλης-νερού.....	24
4.ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ	
4.1 Γενικά ισοζύγια μάζας.....	26
4.2 Υπολογισμοί απόσταξης.....	28
4.3 Ενεργειακοί υπολογισμοί	
4.3.1 Υπολογισμοί της ενέργειας και του παράγωγου χρόνου στην απόσταση.....	45
4.3.2 Γενικοί υπολογισμοί ενέργειας των απορρευμάτων και τρόποι εκμετάλλευσής τους.....	52
5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ.....	55
6.ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	57

ΠΙΝΑΚΑΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 1 – Κύκλος του χρήματος.....	4
Σχήμα 2 - Διάγραμμα ροής πρώτων υλών και προϊόντων ενός αποστακτηρίου ...	6
Σχήμα 3 – Σύστημα απλής απόσταξης.....	25
Σχήμα 4 – Διάγραμμα ροής πρώτων υλών και προϊόντων με αναγραφόμενες τις ποσότητες των προϊόντων σε σχέση με την πρώτη ύλη	28

ΠΙΝΑΚΑΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1 – Εξωτερική όψη του εκραγιστήρα.....	6
Εικόνα 2 – Όψη του διάτρητου κυλίνδρου τοποθετημένου στον εκραγιστήρα στον οποίο τεμαχίζονται οι ρώγες του σταφυλίου.....	7
Εικόνα 3 – Όψη του εσωτερικού του κυλινδρικού τοιχώματος με οπές όπου διαφαίνονται και οι πτερωτές.....	7
Εικόνα 4 – Δεξαμενές ζυμώσεως και αποθήκευσης γλεύκους εξωτερικού χώρου.....	10
Εικόνα 5 – Δεξαμενές ζυμώσεως και αποθήκευσης γλεύκους εσωτερικού χώρου.....	11
Εικόνα 6α-6β – Σύστημα απόσταξης όπου διαφαίνονται το καζάνι, ο ολικός ψυκτήρας όπου στην 6α η αποστακτική στήλη είναι τοποθετημένη πάνω στο καζάνι ενώ στην 6β απουσιάζει η αποστακτική στήλη.....	12
Εικόνα 7 – Σύστημα απόσταξης όπου διαφαίνονται το καζάνι, ο ολικός ψυκτήρας και δύο αποστακτικές στήλες όπου η μία είναι τοποθετημένη πάνω στο καζάνι ενώ η δεύτερη δίπλα από αυτό.....	13
Εικόνα 8 - Καζάνι με διπλό τοίχωμα για θέρμανση με ατμό.....	13
Εικόνα 9α-9β – Όψεις κώδωνα.....	15
Εικόνα 10 – Σύστημα εμφιάλωσης, σφραγίσματος και ετικετοποίησης.....	17
Εικόνα 11 – Σύστημα εμφιάλωσης και σφραγίσματος φιαλών.....	17
Εικόνα 12 – Σύστημα ημιαυτόματης εμφιάλωσης.....	18
Εικόνα 13α – Αναλογικό διαθλασίμετρο.....	19
Εικόνα 13β – παρουσιάζει την εικόνα που παρατηρούμε μέσα από τον φακό με την κλίμακα Brix.....	19
Εικόνα 14α-β – Όψεις ψηφιακών διαθλασιμέτρων.....	20
Εικόνα 15 – Όψη μουςτόμετρου και αλκοολόμετρου. Δεν διαφέρουν στην όψη τους.....	20

ΠΙΝΑΚΑΣ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ

Διάγραμμα 1- Τυχαίο διάγραμμα ισορροπίας ιδανικού μίγματος σε στεγανό δοχείο.....	22
Διάγραμμα 2 – Τυχαίο διάγραμμα διφασικού μίγματος σε μη στεγανό δοχείο όπου το αέριο μίγμα απομακρύνεται.....	23
Διάγραμμα 3–Γραφική αναπαράσταση της σχέσης της θερμοκρασίας με τα μοριακά κλάσματα της αιθανόλης στο υγρό και το αέριο μίγμα σε κοινό διάγραμμα.....	28
Διάγραμμα 4 - $L-x_i$, ποσότητας εναπομείναντος υγρού ως προς την ποσότητα της αρχικής ποσότητας υγρού εκφρασμένα σε moles, συναρτήσει του μοριακού κλάσματος της αιθανόλης σε αυτό.....	39
Διάγραμμα 5 - V/L_0-x_i , ποσοστού της ποσότητας αερίου μίγματος που παράχθηκε ως προς την ποσότητα της αρχικής ποσότητας υγρού μίγματος εκφρασμένα σε moles, συναρτήσει του μοριακού κλάσματος της αιθανόλης στο εναπομένον υγρό μίγμα.....	39
Διάγραμμα 6 - V_i/L_0-y_i , ποσοστού της ποσότητας αερίου μίγματος που παράχθηκε ως προς την ποσότητα της αρχικής ποσότητας υγρού μίγματος εκφρασμένα σε moles, συναρτήσει του μοριακού κλάσματος της αιθανόλης στο τρέχον παραγόμενο αέριο μίγμα.....	40
Διάγραμμα 7 - V_i-y_{total} , ποσοστού της ποσότητας αερίου μίγματος που παράχθηκε ως προς την ποσότητα της αρχικής ποσότητας υγρού μίγματος εκφρασμένα σε moles, συναρτήσει του μοριακού κλάσματος της αιθανόλης στο συνολικό παραγόμενο αέριο μίγμα.....	40
Διάγραμμα 8 - $\delta(V/L_0)/\delta x_i-x_i$ παραγώγου της ποσότητας του ατμού που παράγεται ανηγμένης προς την αρχική ποσότητα υγρού εκφρασμένα σε moles, ως προς το μοριακό κλάσμα της αιθανόλης στο υπολειμματικό υγρό μίγμα συναρτήσει του μοριακού κλάσματος της αιθανόλης στο υπολειμματικό υγρό μίγμα.....	41
Διάγραμμα 9 - $\delta(V/L_0)/\delta y_i-y_i$ παραγώγου της ποσότητας του ατμού που παράγεται ανηγμένης προς την αρχική ποσότητα υγρού εκφρασμένα σε moles, ως προς το μοριακό κλάσμα της αιθανόλης στο τρέχον παραγόμενο αέριο μίγμα συναρτήσει του μοριακού κλάσματος της αιθανόλης στο τρέχον παραγόμενο αέριο μίγμα.....	42

ΠΙΝΑΚΑΣ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ (συνέχεια)

Διάγραμμα 10 - $\delta(V/L_0)/\delta y_{total}-y_{total}$, παραγώγου της ποσότητας του ατμού που παράγεται ανηγμένης προς την αρχική ποσότητα υγρού εκφρασμένα σε moles, ως προς το μοριακό κλάσμα της αιθανόλης στο συνολικό παραγμένο αέριο μίγμα συναρτήσει του μοριακού κλάσματος της αιθανόλης στο συνολικό παραγμένο αέριο μίγμα.....	42
Διάγραμμα 11 - θερμοκρασίας ανά μοριακό κλάσμα της αιθανόλης στο υγρό και αέριο μίγμα αντίστοιχα.....	44
Διάγραμμα 12 - θερμοκρασίας ανά μοριακό κλάσμα της αιθανόλης στο υγρό και αέριο μίγμα αντίστοιχα στην περιοχή 0,8-1.....	44
Διάγραμμα 13 - χρόνου που χρειάζεται για να μειωθεί το μοριακό κλάσμα της αιθανόλης στο υγρό μίγμα κατά 0,0025 συναρτήσει του μοριακού κλάσματος της αιθανόλης στο υγρό μίγμα.....	49
Διάγραμμα 14—συνολικού χρόνου συναρτήσει του μοριακού κλάσματος της αιθανόλης στο υγρό μίγμα.....	49
Διάγραμμα 15—του μοριακού κλάσματος της αιθανόλης στο τρέχον παραγόμενο αέριο μίγμα συναρτήσει του συνολικού χρόνου της διεργασίας.....	50
Διάγραμμα 16— μοριακού κλάσματος της αιθανόλης στο συνολικό παραγμένο αέριο μίγμα συναρτήσει του συνολικού χρόνου της διεργασίας.....	50
Διάγραμμα 17 – ποσότητας εναπομείναντος υγρού ως προς την ποσότητα της αρχικής ποσότητα υγρού εκφρασμένα σε moles, συναρτήσει του συνολικού χρόνου της διεργασίας.....	51
Διάγραμμα 18 – ποσότητας του παραγμένου αέριου μίγματος ως προς την αρχική ποσότητα υγρού εκφρασμένα σε moles, συναρτήσει του συνολικού χρόνου της διεργασίας.....	51

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το αποστάγματα σταφυλής, όντας το ποτό που καταναλώνεται σε όλη την Ελλάδα και που είναι το πιο ποιοτικό από τα υπόλοιπα αποστάγματα αμπελοοινικής προέλευσης*, χαίρει ιδιαίτερης σημασίας για την ελληνική ποτοποιία και εκτενέστερα την ελληνική οικονομία. Το συγκεκριμένο απόσταγμα συνεχώς κατακτά νέες περιοχές, όσον αφορά την κατανάλωσή του, πέρα από τα ελληνικά και ευρωπαϊκά σύνορα. Παράλληλα με την συνεχώς αυξανόμενη παραγωγή του, αυξάνονται και οι εκτάσεις καλλιέργειας της πρώτης ύλης δηλαδή του σταφυλιού, σε περιοχές με πετρώδη και επικλινή εδάφη που δύσκολα θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για οποιαδήποτε άλλη χρήση. Με την αύξηση της παραγωγής του επωφελούνται και άλλοι κλάδοι, όπως είναι αυτοί των καλλιεργητών της πρώτης ύλης, των πωλητών του στην αγορά με την πώληση του αποστάγματος, καθώς και των μεταφορέων που μεταφέρουν την πρώτη ύλη αλλά και τα αποστάγματα στους χώρους που απαιτούνται. Έτσι βελτιώνεται η οικονομία αυτών που σχετίζονται με τον κύκλο της παραγωγής αλλά και η οικονομία του κράτους με την υποχρέωση της απόδοσης του Φ.Π.Α., αλλά και των επιπλέον φόρων της διαδικασίας παραγωγής όπως για παράδειγμα κατά την διαδικασία της διπλής απόσταξης.

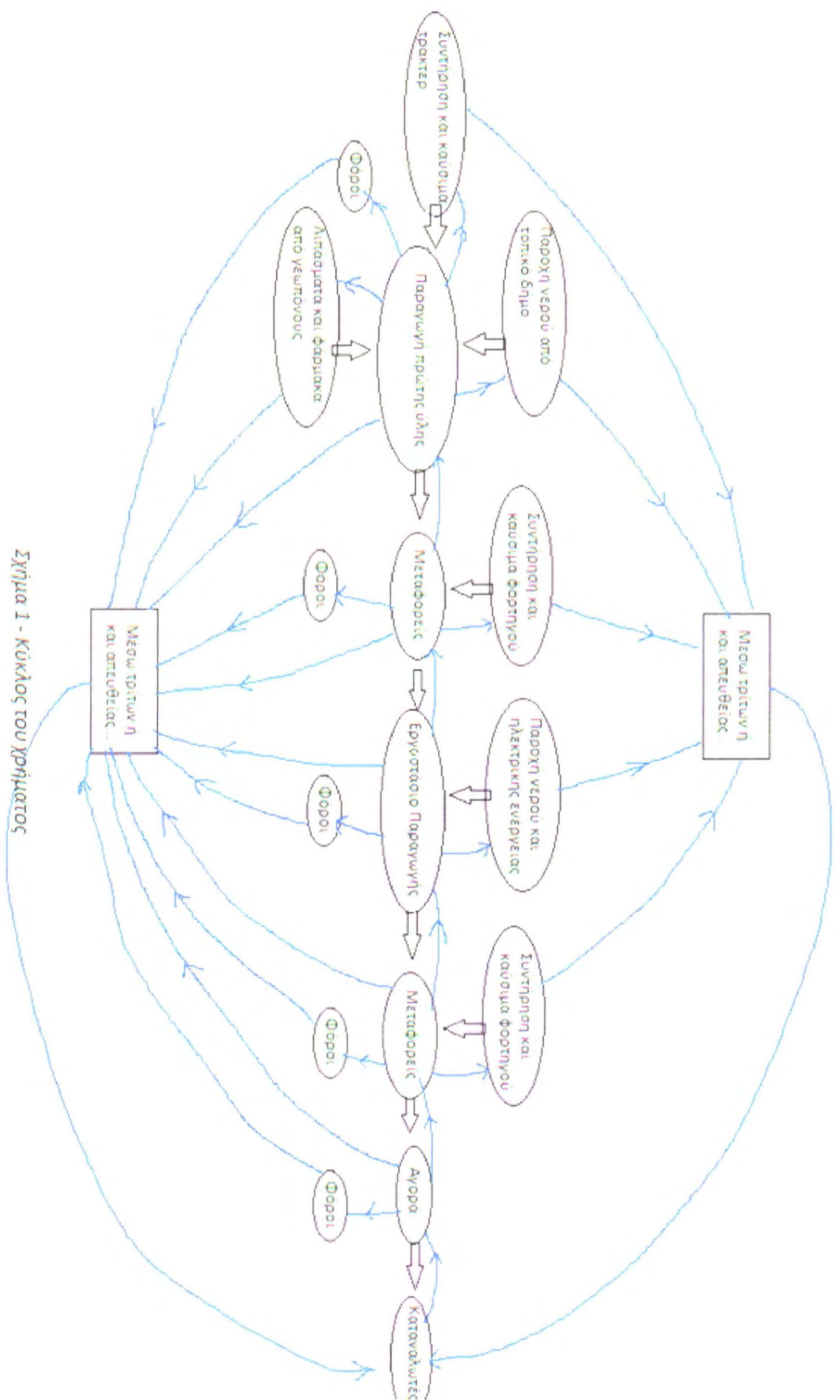
Συγκεκριμένα ο κύκλος εργασιών που απαιτείται, παρουσιάζεται στο παρακάτω διάγραμμα της επόμενης σελίδας, όπου τα μαύρα βέλη παραπέμπουν στην ροή των προϊόντων ή υπηρεσιών και τα μπλε βέλη στην ροή του χρήματος.

Πέρα από αυτά, το απόσταγμα σταφυλής υπολείπεται πολύ στον τομέα της επιστημονικής ανάλυσης της παραγωγής του, καθιστώντας την παραγωγή καθαρά εμπειρική και ταυτόσημη με την διαδικασία που εκτελέστηκαν προηγούμενες αποστάξεις.

*Πρέπει να αναφερθεί, ότι υπάρχουν τριών ειδών αποστάγματα που είναι καθαρά αμπελοοινικής προέλευσης. Αυτά είναι:

- αποστάγματα στέμφυλων σταφυλής τα οποία προέρχονται από την απόσταξη στέμφυλων (που είναι η φλούδα μαζί με την σάρκα) και οινολάσπης και έχουν χαμηλότερη φορολόγηση.
- αποστάγματα οίνου, τα οποία προέρχονται από την απόσταξη μόνο του οίνου
- και αποστάγματα σταφυλής, τα οποία προέρχονται από την απόσταξη των στέμφυλων μαζί με όλο τον χυμό τους, δηλαδή που προέρχονται από ολόκληρη την ρώγα του σταφυλιού, και έχουν υψηλότερη φορολόγηση.

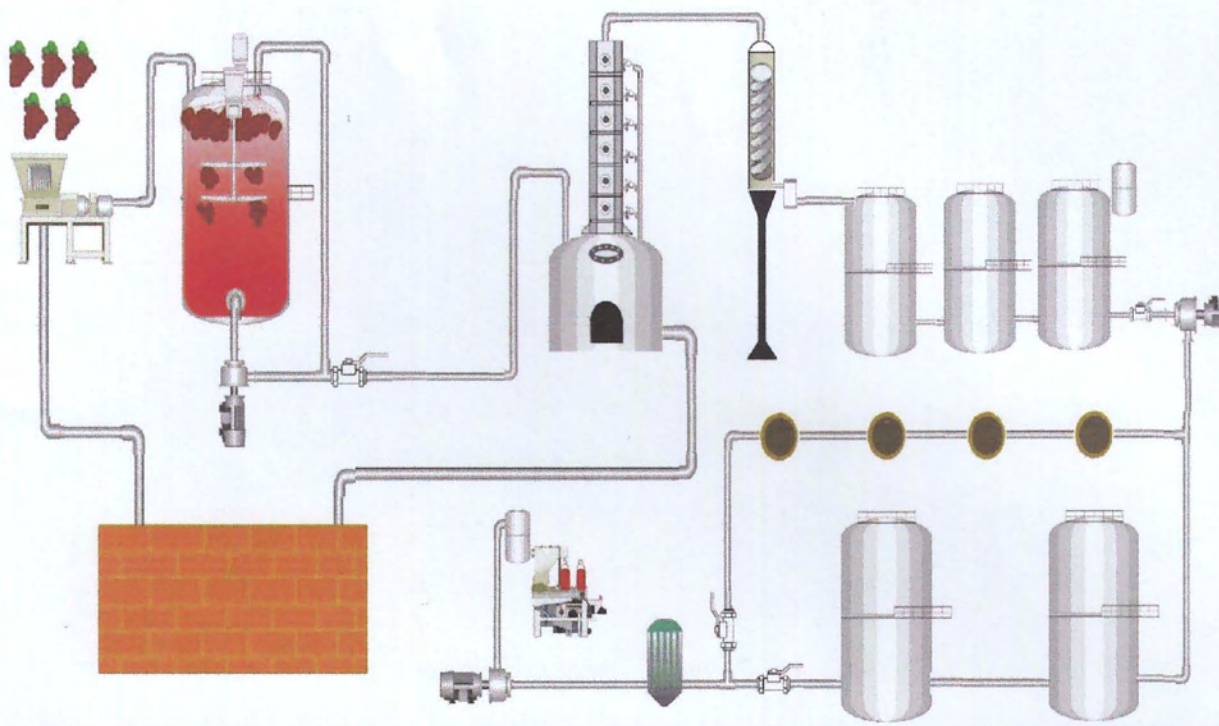
Η διάταξη της παραγωγής για το κάθε ένα, έχει μικρή απόκλιση μεταξύ τους. Θα μελετηθεί η περίπτωση του αποστάγματος σταφυλής -που θεωρείται κορυφαίας ποιότητας- και θα γίνει αναφορά για τις διαφορές των υπόλοιπων δύο.



Λόγω όμως της μη ομοιομορφίας της πρώτης ύλης και της ύπαρξης μη σταθερών συνθηκών κατά την ζύμωση, τα αποτελέσματα των πειραματικών μετρήσεων που κυκλοφορούν στο διαδίκτυο δεν μπορεί παρά να διαφέρουν έστω και σε ένα μικρό βαθμό από τα πραγματικά της εκάστοτε παραγωγής. Έτσι, παρόλο που η ποιότητα του αποστάγματος ελέγχεται ως έναν βαθμό στο τέλος της διαδικασίας, δεν σημαίνει πως δεν θα ήταν ωφέλιμο να υπάρχει ένα πρόγραμμα υπολογισμού της συστάσεως του διατρέχοντος αποστάγματος σύμφωνα με τον χρόνο της παραγωγής, την σύσταση της πρώτης ύλης και άλλες παραμέτρους των συνθηκών της απόσταξης, ώστε το απόσταγμα σταφυλής να γίνει ακόμη πιο ποιοτικό. Από την άλλη πλευρά, η αύξηση του κόστους της εγκατάστασης ενός τέτοιου προγράμματος στην παραγωγή, μπορεί να αποσβεστεί με την αξιοποίηση των ενεργειακών αποθεμάτων των διάφορων απορρευσμάτων της παραγωγής –που έως τώρα δεν πραγματοποιούνται- που συνεπάγεται την μείωση του ενεργειακού κόστους.

Η παρούσα διπλωματική αποτελεί επίσης μία πρώτη βάση για την περαιτέρω επιστημονική ανάλυση της διαδικασίας της απόσταξης καθώς η εξέλιξη της κοινωνίας επιβάλλει την πιο αποτελεσματική και ποιοτική παραγωγή στον τομέα αυτόν.

2. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΜΟΝΑΔΑΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ



Σχήμα 2 – Διάγραμμα ροής πρώτων υλών και προϊόντων ενός αποστακτηρίου

2.1 Σύνοψη διαγράμματος ροής

Σύμφωνα με το διάγραμμα ροής του σχήματος 1, όπου περιγράφεται γενικά η διαδικασία παραγωγής αποστάγματος σταφυλής, θα γίνει μία σύντομη ανάλυση της όλης διαδικασίας ώστε να αποκομιστεί μία εικόνα των σταδίων που απαιτούνται για την εν λόγω παραγωγή. Στην επόμενη ενότητα θα γίνει μία πιο λεπτομερής περιγραφή των μηχανημάτων και όλης της διαδικασίας ανά στάδιο παραγωγής καθώς και του νομοθετικού πλαισίου που τα ορίζουν.

Η διαδικασία ξεκινάει με την συλλογή των τσαμπιών από τους αμπελώνες και την μεταφορά τους στο αποστακτήριο, όπου και γίνεται η εκράγιση και μερική θλίψη των ρωγών του σταφυλιού καθώς και η απομάκρυνση των βοστρύχων – κοτσανιών από τα τσαμπιά, στα εκραγιστικά - εκβοστρυχωτικά μηχανήματα.

Στην συνέχεια μεταφέρονται οι ρώγες ή αλλιώς τα στέμφυλα μαζί με τον χυμό τους απευθείας μέσω σωληνώσεων και με την βοήθεια αντλίας στις δεξαμενές αποθήκευσης και ζύμωσης της επεξεργασμένης πλέον πρώτης ύλης. Κατά την διάρκεια αυτή προστίθεται στο αζύμωτο προϊόν θειώδες οξύ ώστε να επιτευχτεί μία επιθυμητή εξέλιξη στον μούστο η οποία θα επηρεάσει το τελικό προϊόν όσον αφορά τα συστατικά του. Ένα ακόμη στοιχείο που επηρεάζει την εξέλιξη αυτή είναι η διατήρηση του μούστου σε κατάλληλη θερμοκρασία μέσω ψυκτικών συστημάτων.

Οι δύο αυτές παρεμβάσεις δεν είναι απαραίτητες και δεν γίνονται από όλους τους αποσταγματοποιούς.

Αφότου γίνει η ζύμωση των σακχάρων και παραχθεί αλκοόλ ξεκινάει η διαδικασία της απόσταξης, αφού πρώτα μεταφερθεί μέσω αντλίας το προϊόν στο καζάνι-θάλαμο βρασμού. Η θέρμανση που απαιτείται εξασφαλίζεται με δύο τρόπους ο ένας με άμεση θέρμανση και ο άλλος με έμμεση και θα αναφερθεί παρακάτω λεπτομερώς

Έτσι προσδίδεται η κατάλληλη ενέργεια ώστε να παραχθεί αέριο μίγμα. Στο ανώτερο σημείο της κλασματικής στήλης- εάν υπάρχει-που βρίσκεται ψυκτικός μηχανισμός κάνει μερική συμπύκνωση του ανερχόμενου ατμού ώστε να λειτουργήσει η αποστακτική στήλη (εικόνα 1) και να εξευγενίσει τα συστατικά του αέριου μίγματος που εξέρχεται. Αυτό το αέριο μίγμα μεταφέρεται με φυσική ροή στο δεύτερο και κύριο ψυκτικό μηχάνημα-όπου για τα αποστακτήρια χωρίς κλασματική στήλη αποτελούν το μόνο ψυκτικό μηχάνημα- για την ολοκληρωτική συμπύκνωση του ατμού και την παραγωγή του υγρού πλέον προϊόντος.

Μετά το κύριο ψυκτικό μηχάνημα και πριν τις δεξαμενές αποθήκευσης βρίσκεται ο λεγόμενος κώδωνας που είναι ένα υάλινο δοχείο με συσκευή αλκοολομέτρησης στο εσωτερικό του, η οποία μετράει την περιεχόμενη αλκοόλη από το διατρέχον απόσταγμα. Τα ποσοστά της αλκοόλης του διατρέχοντος αποστάγματος αποτελούν δείκτη ανεπιθύμητων ουσιών, καθώς κάποιες τοξικές ουσίες αποστώνται όταν η αλκοόλη του τρέχοντος αποστάγματος βρίσκεται μέσα σε κάποιο εύρος και σύμφωνα με αυτό το εύρος απομακρύνονται τα κλάσματα του αποστάγματος που τα περιέχει.

Μετά τον κώδωνα, το απόσταγμα με φυσική ροή καταλήγει σε τρεις δεξαμενές, όπως προβλέπεται από τον νόμο. Το σύστημα από τον αποστακτήρα μέχρι και τις δεξαμενές σφραγίζεται ορμητικώς με μόνη ελεύθερη είσοδο αυτήν της παροχής πρώτης ύλης στον αποστακτήρα και μόνη ελεύθερη έξοδο αυτή του υπολείμματος πυθμένα. Αυτό συντελεί στον ικανότητα έλεγχο της ποσότητας και ποιότητας του παραγόμενου προϊόντος από αρμόδιους ελεγκτές.

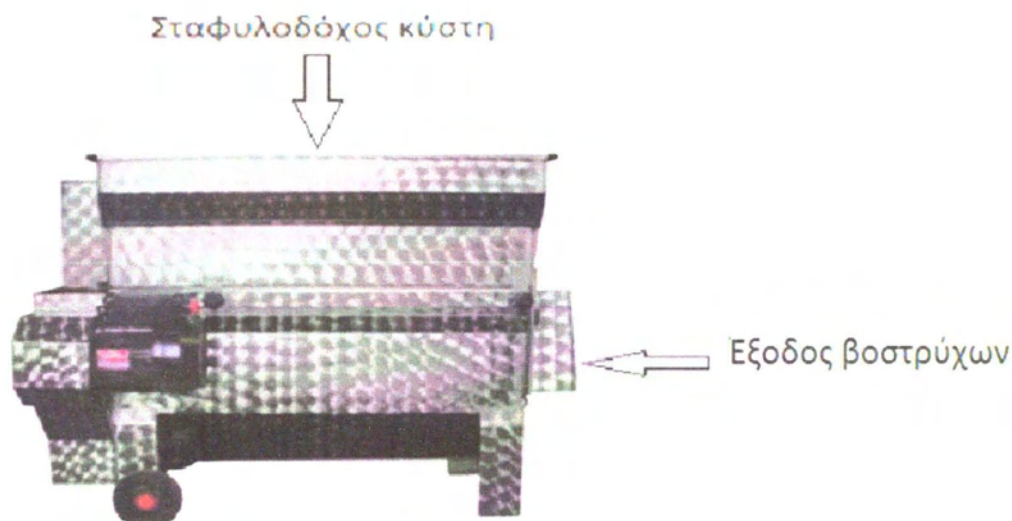
Σύμφωνα με αυτά δικαιολογείται και το επόμενο στάδιο της παραγωγικής διαδικασίας που είναι η μεταφορά του παραγόμενου προϊόντος από τις πρώτες δεξαμενές αποθήκευσης που είναι σφραγισμένες στις δεύτερες με παρουσία των αρμόδιων ελεγκτών που ορίζει το κράτος, αφότου πρώτα γίνει δειγματοληψία για την ανάλυση των συστατικών του προϊόντος που μεταφέρεται. Από τις πρώτες δεξαμενές το απόσταγμα μπορεί να μεταφερθεί σε ξύλινα-δρύινα βαρέλια παλαίωσης ή σε ανοξειδωτες δεξαμενές μέχρι την εμφιάλωσή του.

Η εμφιάλωση μπορεί να γίνει είτε με σύγχρονα αυτοματοποιημένα μηχανήματα, είτε με ημιαυτοματοποιημένα μηχανήματα που απαιτούν και χειρωνακτική εργασία.

2.2 Επιμέρους συσκευές και μηχανές

2.2.1 Εκράγιση-Αποβοστρύχωση-Θλίψη

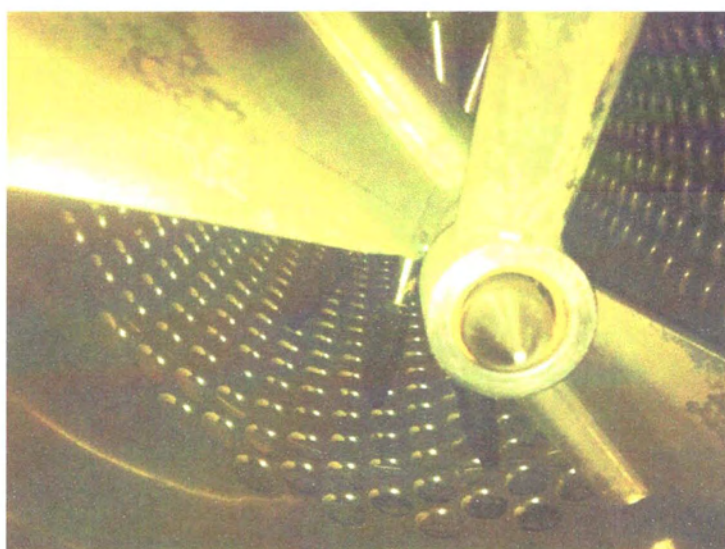
Συνήθως η διαδικασία αυτή τελείται απευθείας δίπλα από τα μεταφορικά μέσα-φορτηγά από όπου τα τσαμπιά ρίχνονται μέσα στην σταφυλοδόχο κύστη του εκραγιστήρα (Εικόνα 1). Από εκεί και με την βοήθεια ενός κοχλία του εκραγιστήρα μεταφέρονται τα τσαμπιά με ρυθμό ανάλογο της εκράγισης, στον χώρο όπου γίνεται η εκράγιση και η μερική τμήση των ρωγών του σταφυλιού. Αυτό γίνεται μέσω ενός άξονα με πτερωτές που καθώς περιστρέφεται ωθεί τα τσαμπιά μαζί με τις ρώγες ακτινικά προς έναν περιβάλλοντα κύλινδρο με οπές (Εικόνα 2-3). Φθάνοντας στο τοίχωμα οι ρώγες πιέζονται να εξέλθουν από τις οπές και ταυτόχρονα τεμαχίζονται ώστε να εξέλθει ένα μέρος του χυμού τους. Ένα μέρος από τον ξυλώδη ιστό τους που είναι οι βόστρυχες-τα κοτσάνια τους αδυνατεί να εξέλθει από τις οπές και κινείται παράλληλα με τον άξονα των πτερωτών αφού αυτές έχουν την ανάλογη κλίση, προς την μία από τις εξόδους του εκραγιστήρα. Το άλλο μέρος του ξυλώδους ιστού τους είναι οι σπόροι- κουκούτσια που μαζί με τα στέμφυλα και τον χυμό τους καθώς εξέρχονται από τις οπές ρέουν προς τα κάτω λόγω της βαρύτητας και συγκεντρώνονται σε ένα δοχείο από όπου μεταφέρονται στην είσοδο μιας αντλίας πάλι μέσω ενός κοχλία.



Εικόνα 1 – Εξωτερική όψη του εκραγιστήρα



Εικόνα 2 – Όψη του διάτρητου κυλίνδρου τοποθετημένου στον εκραγιστήρα στον οποίο τεμαχίζονται οι ρώγες του σταφυλιού



Εικόνα 3 – Όψη του εσωτερικού του κυλινδρικού τοιχώματος με οπές όπου διαφαίνονται και οι πτερωτές

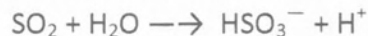
Η μερική τμήση ή αλλιώς το άλεσμα των ρωγών απελευθερώνει ένα μέρος του χυμού του σταφυλιού και ως εκ τούτου ο χυμός έρχεται σε επαφή με τους σακχαρομύκητες που βρίσκονται στην εξωτερική επιφάνεια των φλουδών ώστε να ξεκινήσει η διαδικασία της ζύμωσης. Το υπερβολικό άλεσμα, μεταξύ άλλων, μπορεί να προκαλέσει εμφάνιση ανεπιθύμητων αρωμάτων, ενώ το ανεπαρκές να προκαλεί καθυστέρηση της έναρξης και της ταχύτητας της ζύμωσης.

2.2.2 Μεταφορά από τον εκραγιστήρα στις δεξαμενές ζύμωσης και ταυτόχρονη θείωση

Καθώς η αντλία του εκραγιστήρα ωθεί την πρώτη ύλη μέσω σωληνώσεων στις δεξαμενές, αυτή περνάει από ένα μηχανισμό που περιέχει SO_2 και το προωθεί μέσα στις σωληνώσεις της πρώτης ύλης. Ο μηχανισμός αυτός παρέχει την ακριβή ποσότητα του SO_2 που απαιτείται ανάλογα με την ποσότητα της μεταφερόμενης πρώτης ύλης. Εναλλακτικά εάν δεν υπάρχει ο μηχανισμός αυτός προστίθεται θειώδης ανυδρίτης στις δεξαμενές αποθήκευσης της πρώτης ύλης.

Ο θειώδης ανυδρίτης (SO_2) χρησιμοποιείται στην οινολογική πρακτική εδώ και 300 χρόνια αλλά μόνο τα τελευταία τριάντα χρόνια έγινε αντικείμενο μελέτης για την ορθολογική χρήση του και τον περιορισμό των χρησιμοποιούμενων δόσεων στις απολύτως αναγκαίες ποσότητες. Οι δόσεις καθορίζονται από τις συνθήκες ορθολογικής χρήσης του σε όλα τα στάδια της παραγωγικής διαδικασίας, ώστε ο οινοποιός να επωφελείται των ιδιοτήτων του χρησιμοποιώντας τη μικρότερη δυνατή ποσότητα. Προϋπόθεση γι' αυτό είναι η γνώση των μορφών με τις οποίες ο θειώδης ανυδρίτης απαντά στο γλεύκος και τον οίνο, τη δραστικότητα κάθε μορφής και τους παράγοντες που επηρεάζουν τη δράση του (pH, θερμοκρασία, αλκοόλη, ουσίες αδρανοποίησης του κλπ).

Όταν ο θειώδης ανυδρίτης βρεθεί σε διάλυμα και μάλιστα σε pH 3.0-4.0 (συνήθεις τιμές pH των γλευκών και των οίνων) διίσταται ως εξής:



όπου SO_2 : ο θειώδης ανυδρίτης που παραμένει διαλυμένος ως μοριακός (η κυρίως δραστική μορφή) και

HSO_3^- : τα ανιόντα του εξουδετερωμένου θειώδους οξέος.

Η διάσταση αυτή εξαρτάται από το pH και τη θερμοκρασία. Όσο υψηλότερο είναι το pH τόσο λιγότερος ο SO_2 , ενώ η αύξηση της θερμοκρασίας συντελεί σε θεαματική αύξηση. Το άθροισμα των δύο μορφών (SO_2 και HSO_3^-) δίνει τον ελεύθερο θειώδη ανυδρίτη. Στη σχέση του SO_2 ως προς τον ελεύθερο θειώδη ανυδρίτη σημαντικό ρόλο παίζει και η συγκέντρωση της αλκοόλης. Για το ίδιο pH και την ίδια συγκέντρωση ελεύθερου θειώδη ανυδρίτη η συγκέντρωση του SO_2 είναι ανάλογη του αλκοολικού τίτλου του διαλύματος.

Ο θειώδης ανυδρίτης έχει την ιδιότητα να ενώνεται με ουσίες που διαθέτουν καρβονυλομάδες, αλδεϋδομάδες ή κετονομάδες, προς σχηματισμό ενώσεων από τις οποίες άλλες είναι ασταθείς και άλλες σταθερές. Οι ενώσεις του με σάκχαρα, γενικά, είναι ασταθείς. Με τη γλυκόζη δίνει ενώσεις που λειτουργούν ως 'αποθήκη' SO_2 (ανάλογα με τις συνθήκες ελευθερώνεται SO_2) ενώ η φρουκτόζη δεσμεύει ελάχιστο SO_2 . Η ακεταλδεϋδη, που σχηματίζεται κατά τη διάρκεια της αλκοολικής ζύμωσης των σακχάρων ενός γλεύκους, δεσμεύει το θειώδη ανυδρίτη μη αναστρέψιμα δημιουργώντας σταθερές ενώσεις που δεν έχουν καμία από τις

ευεργετικές ιδιότητες του ελεύθερου SO_2 . Με τις ελεύθερες ανθοκυάνες δίνει άχρωες ενώσεις με αποτέλεσμα τη μείωση της έντασης του χρώματος κυρίως των ερυθρών οίνων. Η αντίδραση είναι αντιστρεπτή, δηλαδή, με μείωση του SO_2 λόγω οξειδωσης το χρώμα επανέρχεται. Οι ενώσεις αυτές διασπώνται κι ελευθερώνουν SO_2 λειτουργώντας σαν 'αποθήκη' SO_2 που παρέχει στους ερυθρούς ξηρούς οίνους προστασία από τις οξειδώσεις. Στο γλεύκος και τον οίνο υπάρχει πληθώρα άλλων ουσιών που στην ελεύθερη μορφή τους παίζουν αρνητικό ρόλο στους οργανοληπτικούς χαρακτήρες του οίνου. Ο θειώδης ανυδρίτης με το να ενώνεται μαζί τους αμβλύνει τις αρνητικές επιπτώσεις τους. Για αυτό τον λόγο το κρασί ειδικότερα χρειάζεται να αφεθεί λίγη ώρα σε επαφή με τον αέρα ώστε να μειωθεί ο SO_2 και να διασπαστούν οι ενώσεις που έχει κάνει ο θειώδης ανυδρίτης.

Δράσεις του θειώδους ανυδρίτη

Αντιοξειδωτική δράση: Οι αντιδράσεις οξειδωσης, που λαμβάνουν χώρα όταν το γλεύκος ή ο οίνος έρθει σε επαφή με τον αέρα-οξυγόνο, είναι ανεπιθύμητες σε οποιοδήποτε στάδιο της παραγωγικής διαδικασίας. Μπορεί να είναι χημικής ή ενζυμικής φύσεως. Εκδηλώνονται με αλλοίωση του χρώματος και συνοδεύονται από μεταβολή της οσμής. Η χρήση του θειώδους ανυδρίτη ασκεί άμεση (οξειδώνεται ο ίδιος και συνεπώς προφυλάσσει άλλα ευοξειδωτα συστατικά π.χ. φαινολικά) και έμμεση αντιοξειδωτική προστασία (απενεργοποιεί τις οξειδάσες που καταλύουν τις ενζυμικές οξειδώσεις).

Αντιμικροβιακή: Αποτελεί μία από τις σημαντικότερες δράσεις του θειώδους ανυδρίτη. Τα διάφορα γένη, είδη και στελέχη ζυμών αντιδρούν διαφορετικά στην παρουσία του. Πιο ευαίσθητα είναι τα είδη των 'άγριων' ζυμών και γενικά τα αναερόβια είδη, ενώ μεγαλύτερη αντοχή παρουσιάζουν τα διάφορα είδη *Saccharomyces*. Πολύ πιο ευαίσθητα από τις ζύμες είναι τα βακτήρια και μάλιστα τα οξικά (αερόβια). Για να ανασταλεί η δράση των ανεπιθύμητων αερόβιων μικροοργανισμών (άγριες ζύμες και οξικά βακτήρια) πρέπει να υπάρχει στο γλεύκος SO_2 0.54-0.90 mg/L ανάλογα με το pH του γλεύκους. Υποβαθμισμένης ποιότητας σταφύλια απαιτούν πιο ισχυρές θειώσεις.

Διαλυτική: Διευκολύνει την εκχύλιση χρωστικών, διαφόρων φαινολικών, αρωματικών συστατικών κ.ά.

Όξινη: Αυξάνει την οξύτητα

Διαυγαστική: Έχει άμεση (παρουσία του καθιζάνουν ορισμένα κολλοειδή) και έμμεση διαυγαστική δράση (καθυστερεί την έναρξη της αλκοολικής ζύμωσης και δίνει χρόνο για απολάσπωση του γλεύκους).

Ο θειώδης ανυδρίτης έχει και μη ευεργετικές ιδιότητες και για αυτό έχουν οριστεί κάποια επιτρεπτά όρια που μπορεί να κυμαίνεται μέσα στο γλεύκος.

2.2.3 Δεξαμενές ζύμωσης και αποθήκευσης μούστου

Οι δεξαμενές αυτές μπορεί να τοποθετηθούν σε εσωτερικό χώρο του αποστακτηρίου ή ακόμη και στον εξωτερικό χώρο του.

Στην νομοθεσία δηλώνεται ότι για τα αποστάγματα στέμφυλων σταφυλής οι δεξαμενές που περιέχουν τα στέμφυλα πρέπει να είναι το ελάχιστο 20 τόνους. Συνήθως στα αποστακτήρια της χώρας οι δεξαμενές που χρησιμοποιούνται είναι άνω των 20, καθώς είναι πιο οικονομικές όσον αφορά την ποσότητα του υλικού και των μηχανημάτων που τις απαρτίζουν, και τον χώρο που καταλαμβάνουν σε σχέση με άλλες δεξαμενές μικρότερης χωρητικότητας οι οποίες θα έπρεπε να ήταν πολλαπλάσιες.

Κύριο χαρακτηριστικό των δεξαμενών αυτών είναι ότι αποτελούνται από υλικά που δεν αντιδρούν με το προϊόν με κύριο τον ανοξείδωτο χάλυβα. Επίσης κάποια αποστακτήρια χρησιμοποιούν δεξαμενές με διπλό εξωτερικό τοίχωμα για την ψύξη των δεξαμενών αυτών μέσω ψυκτικού υγρού. Ακριβέστερα υπάρχει ένας εξωτερικός μηχανισμός που ψύχει το ψυκτικό υγρό που κινείται στα εξωτερικά τοιχώματα της δεξαμενής με αποτέλεσμα την ψύξη της. Αυτό έχει ως σκοπό αφενός την διατήρηση της θερμοκρασίας κάποιους βαθμούς κάτω από τους 21 βαθμούς Κελσίου (συνήθως 12-16 βαθ. Κελσίου) ώστε να μην παρασύρονται στο περιβάλλον οι περισσότερες αρωματικές ουσίες με το παραγόμενο CO₂ μιας και είναι ιδιαίτερα πτητικές σε θερμοκρασίες μεγαλύτερες από αυτούς τους βαθμούς και αφετέρου να διατηρούν τα συστατικά της ζυμωμένης πρώτης ύλης από οξείδωση μέχρι την απόσταξή του, αφού ο ρυθμός οξείδωσης είναι ανάλογος της θερμοκρασίας.



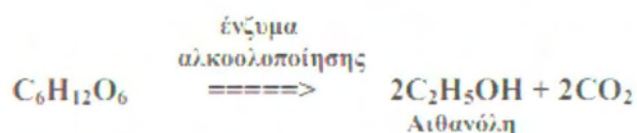
Εικόνα 4 – Δεξαμενές ζυμώσεως και αποθήκευσης γλεύκους εξωτερικού χώρου



Εικόνα 5 – Δεξαμενές ζυμώσεως και αποθήκευσης γλεύκους εσωτερικού χώρου

2.2.4 Ζύμωση

Η ζύμωση των σακχάρων της πρώτης ύλης σε αλκοόλη γίνεται μέσω των λεγόμενων ζυμών και βακτηριδίων. Συνήθως όμως γίνεται η θείωση πριν την ζύμωση με αποτέλεσμα να μπορούν να αναπτυχθούν μόνο οι κατάλληλες ζύμες όπως αυτές του είδους *Saccharomyces* που προσδίδουν στο προϊόν κατάλληλα χαρακτηριστικά. Έτσι τα απλά σάκχαρα του γλεύκους – που είναι η φρουκτόζη και η γλυκόζη – μετατρέπονται σε αιθανόλη και CO_2 με την βοήθεια ενζύμων:



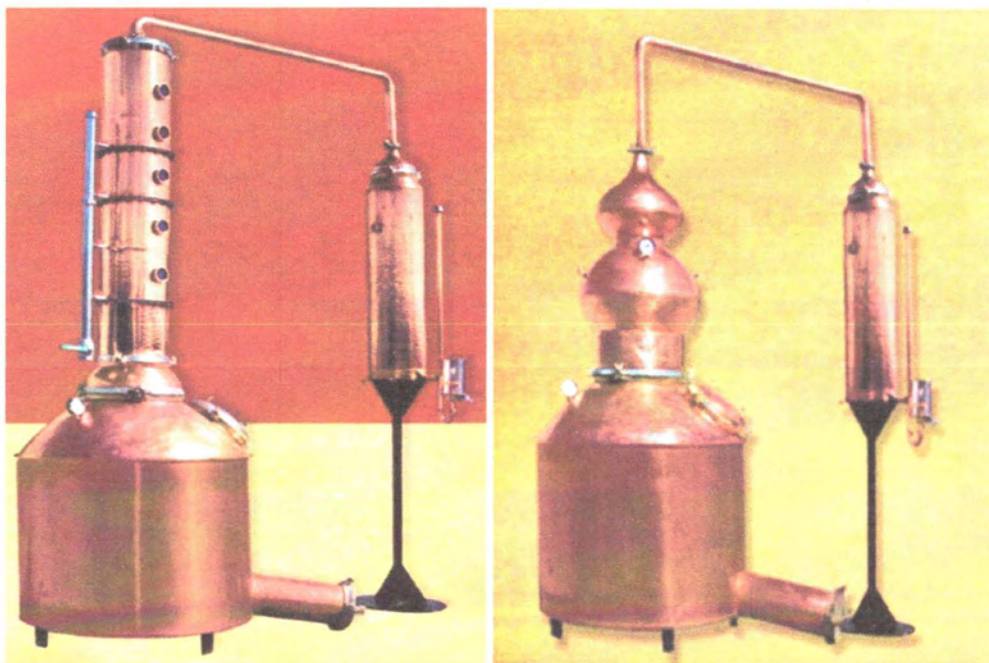
Η ζύμωση πραγματοποιείται συνήθως σε 10 μέχρι 30 μέρες και εξαρτάται από την θερμοκρασία και από την αναλογία των στέμφυλων και του χυμού που βρίσκονται στην ίδια δεξαμενή. Επίσης ένας ακόμη παράγοντας που επηρεάζει τον χρόνο ζυμώσεως είναι το ποσοστό σε σάκχαρα που βρίσκεται στην πρώτη ύλη. Η αυξημένη θερμοκρασία, τα λιγότερα σάκχαρα και το αυξημένο ποσοστό χυμού στην πρώτη ύλη από τον μέσο όρο βοηθούν την ζύμωση να ολοκληρωθεί σε σύντομο χρονικό διάστημα (π.χ. 10 μέρες). Τα αντίθετα χαρακτηριστικά επιδρούν ως χρονοαυξητικά για την ολοκλήρωση της ζυμώσεως.

Η χωρητικότητα των δεξαμενών και ως εκ τούτου η ποσότητα της πρώτης ύλης που ζυμώνεται δεν επηρεάζει τον συνολικό χρόνο της ζύμωσης.

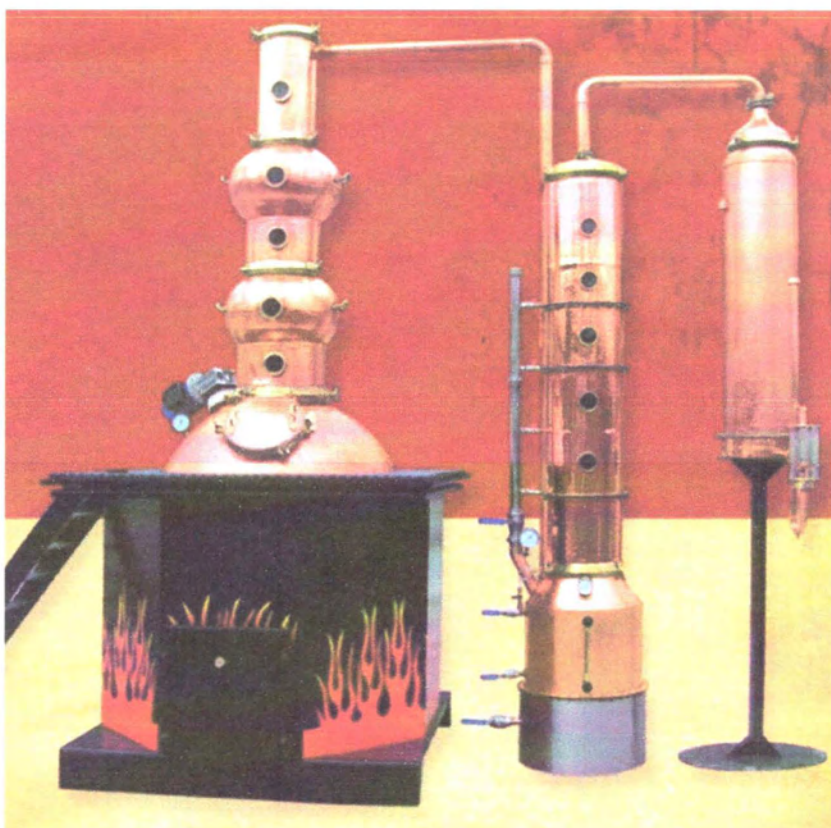
2.2.5 Απόσταξη

Μετά το τέλος της ζύμωσης ένα μέρος της πρώτης ύλης μεταφέρεται στον βραστήρα του αποστακτήρα για να ξεκινήσει η διαδικασία της απόσταξης. Το σύστημα θέρμανσης ξεκινάει να λειτουργεί και εφόσον ξεκινήσει ο βρασμός λειτουργεί ο μερικός συμπυκνωτής στην κορυφή της στήλης η οποία βρίσκεται επάνω στο βραστήρα-καζάνι καθώς και ο ολικός ψυκτήρας πριν την έξοδο του προϊόντος. Υπάρχουν και άλλες παραλλαγές στο αποστακτικό συγκρότημα όπου η κλασματική στήλη βρίσκεται δίπλα από το καζάνι, καθώς επίσης υπάρχει και η περίπτωση της απουσίας κλασματικής στήλης. Στα περισσότερα μικρά αποστακτήρια με κλασματικές στήλες δεν υπάρχει μερικός συμπυκνωτής και η λειτουργία του αντικαθίσταται από την ίδια την κλασματική στήλη η οποία όντας χάλκινη και ως εκ τούτου μεγάλης θερμοαγωγιμότητας, μεταφέρει ένα μέρος της λανθάνουσας ενέργειας του ατμού στο περιβάλλον, δημιουργώντας έτσι υγρό για την επαναρροή. Σε κάθε μία από τις παραπάνω περιπτώσεις το τελικό προϊόν εμπλουτίζεται στα πιο πτητικά συστατικά.

Όσον αφορά την θέρμανση αυτή γίνεται είτε με την καύση καύσιμης ύλης (π.χ. προπάνιο) ακριβώς κάτω από τον αποστακτήρα με αποτέλεσμα την προσρόφηση ακτινοβολίας και θερμότητας από το καζάνι και ως εκ τούτου την μετάδοσή της στο προϊόν, είτε με παραγωγή ατμού, μέσω ενός λέβητα που βρίσκεται εκτός του συστήματος απόσταξης, και την μεταφορά του στα εξωτερικά τοιχώματα του θαλάμου βρασμού όπου και ανταλλάσει θερμότητα με το προς απόσταξη προϊόν



Εικόνα 6α-6β – Σύστημα απόσταξης όπου διαφαίνονται το καζάνι, ο ολικός ψυκτήρας όπου στην 6α η αποστακτική στήλη είναι τοποθετημένη πάνω στο καζάνι ενώ στην 6β απουσιάζει η αποστακτική στήλη



Εικόνα 7 – Σύστημα απόσταξης όπου διαφαίνονται το καζάνι, ο ολικός ψυκτήρας και δύο αποστακτικές στήλες όπου η μία είναι τοποθετημένη πάνω στο καζάνι ενώ η δεύτερη δίπλα από αυτό



Εικόνα 8 - Καζάνι με διπλό τοίχωμα για θέρμανση με ατμό

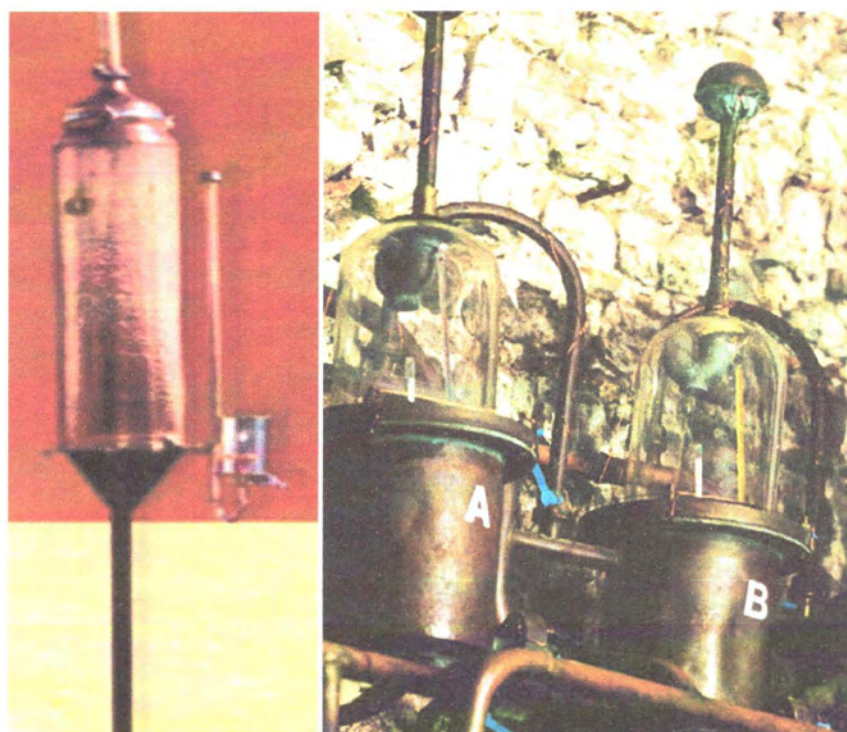
2.2.6 Ψυκτήρας ολικός και μερικός

Και οι δύο αυτοί ψυκτικοί μηχανισμοί χρησιμοποιούν το νερό ως ψυκτικό μέσο. Είναι εναλλάκτες όπου με την χρήση σωληνώσεων –που περνάνε μέσα στην τελευταία βαθμίδα που βρίσκεται ο μερικός συμπυκνωτής καθώς και μέσα στον ολικό συμπυκνωτή –στους οποίους ρέει κρύο νερό θερμοκρασίας περιβάλλοντος, το διαπερνών αέριο προϊόν ανταλλάσει θερμότητα με το διατρέχων νερό των σωληνώσεων και τελείται η μερική ή ολική μετατροπή του αερίου προϊόντος σε υγρό. Στην πρώτη περίπτωση του μερικού συμπυκνωτή η ροή του νερού είναι τέτοια ώστε να απορροφά ένα μέρος της ενέργειας του αερίου, διατηρώντας το στην ίδια θερμοκρασία με πριν αλλά μετατρέποντας ένα μέρος του σε υγρό ώστε να υπάρχει επαναροή στην στήλη και η τελευταία να λειτουργεί. Αντιθέτως στον ψυκτήρα η ροή του νερού είναι τέτοια ώστε να ψύχεται όλο το αέριο μίγμα, να μετατρέπεται σε υγρό και η θερμοκρασία του να μειώνεται πολύ πιο κάτω από την αντίστοιχη καμπύλη κορεσμού σε αέριο, ώστε να φθάνει σε θερμοκρασία ίση με αυτή του περιβάλλοντος. Οι ρυθμίσεις για την ροή του νερού και στις δύο περιπτώσεις γίνονται όχι αυθαίρετα αλλά μέσω υπολογιστικών μεθόδων ή πειραματισμού.

2.2.7 Ο κώδωνας

Ο κώδωνας είναι μία συσκευή που καθιστά δυνατή την αλκοολομέτρηση του διατρέχοντος αποστάγματος, αλλά διασφαλίζει το απόσταγμα από οποιαδήποτε ενέργεια του αποσταγματοποιού (π.χ. παράνομη παραγωγή χωρίς την ροή του στις δεξαμενές ή παράνομη προσθήκη οποιαδήποτε 'βελτιωτικής' ουσίας). Συγκεκριμένα, είναι ένας υάλινος κύλινδρος με τις δύο κυκλικές πλευρές του κλεισμένες-στεγανές και χρησιμοποιείται για την μέτρηση των ποσοστών αλκοόλης του διατρέχοντος αποστάγματος. Είναι τοποθετημένος μετά την έξοδο του ψυκτήρα με τον νοητό άξονα συμμετρίας του κυλίνδρου να βρίσκεται κατακόρυφα. Έχει μία είσοδο στο κέντρο της πάνω επιφάνειάς του και μία έξοδο στο αντίστοιχο κέντρο της κάτω επιφάνειάς του. Από τον ψυκτήρα μέχρι τον κώδωνα και από τον κώδωνα μέχρι τις δεξαμενές αποθήκευσης εκτείνονται σωλήνες που τα συνδέουν όλα αυτά σε σειρά, όπου μέσα τους το απόσταγμα σύμφωνα με την νομοθεσία πρέπει να ρέει λόγω βαρύτητας μόνο, προς τις δεξαμενές, χωρίς την χρήση κάποιας αντλίας. Το απόσταγμα ρέει από την έξοδο του ψυκτήρα στον κώδωνα και από αυτόν δεν απομακρύνεται απευθείας αλλά διατηρείται μία ποσότητά του μέσα του. Αυτό γίνεται μέσω ενός δοχείου κυλινδρικού σχήματος μικρότερης διαμέτρου και ύψους από τα αντίστοιχα του κώδωνα, το οποίο εκτείνεται από την βάση του και προς τα πάνω μέσα σε αυτόν. Η λειτουργία του έχει ως εξής: το απόσταγμα ρέει στο κέντρο του κώδωνα που βρίσκεται το δοχείο καθιστώντας μόνη λύση για την έξοδο από

αυτό την υπερχειλίση προς το διάκενο μεταξύ του δοχείου και των εξωτερικών τοιχωμάτων όπου βρίσκεται και η έξοδος. Αυτό εξυπηρετεί στο να υπάρχει μία ποσότητα αποστάγματος όπου να μπορεί να γίνει μέτρηση της περιεχόμενης αλκοόλης του μέσω ενός αλκοολόμετρου που βρίσκεται μεταξύ των δύο αυτών τοιχωμάτων. Η λειτουργία του αλκοολόμετρου θα αναλυθεί στην ενότητα 'Μετρητικά όργανα'. Μία ακόμη λειτουργία του κώδωνα είναι να εξυπηρετεί στο να απομακρύνονται τα παραγόμενα αέρια που και μετά την ψύξη παραμένουν αέρια (π.χ. ακεταλδεύδη), καθώς και να μπορεί να διαφύγει ο αέρας που βρίσκεται μέσα στον κώδωνα όταν εισέρχεται σε αυτόν το πρώτο απόσταγμα, το οποίο μειώνει τον όγκο που καταλαμβάνει ο ήδη υπάρχων αέρας. Αυτό πραγματοποιείται με την χρήση ενός σωλήνα που εκτείνεται από το εσωτερικό του κώδωνα σε μια διαδρομή με στροφές και εξέρχεται από την πάνω επιφάνειά του, έχοντας και στις δύο περιπτώσεις στην εξωτερική από τον κώδωνα άκρη τους ειδικό καπάκι. Η διαδρομή με στροφές και το ειδικό καπάκι αποτρέπουν την άντληση απόσταγματος από το άνοιγμα για την εξαγωγή αέρα.



Εικόνα 9α-9β – Όψεις κώδωνα

2.2.8 Σφραγισμένες δεξαμενές αποθήκευσης-τελικές δεξαμενές αποθήκευσης

Μετά την παραγωγή του αποστάγματος, το απόσταγμα κατευθύνεται με φυσική ροή από τον ψυκτήρα και τον κώδωνα σε τρεις δεξαμενές τριών τόνων η κάθε μία, εκ των οποίων η μία χρησιμοποιείται συνήθως ως δεξαμενή για τα κλάσματα - κεφαλές - που περιέχουν επικίνδυνα συστατικά. Στο όλο σύστημα υπάρχει και μία δεξαμενή τριακοσίων κιλών υπερχειλίσης. Αυτά ορίζονται από το κράτος. Όλο αυτό το συγκρότημα είναι επίσης αυστηρά νομοθετημένο, καθώς σε αυτό καταλήγει το προϊόν για το οποίο το κράτος ελέγχει την ποσότητα αλλά και την ποιότητα παραγωγής του, ώστε να εισπράξει τους ανάλογους φόρους και να προωθεί στην αγορά ποιοτικό προϊόν όσον αφορά την επίδραση στην υγεία των καταναλωτών του.

Οι δεξαμενές αυτές, καθώς και οι τελικές δεξαμενές αποθήκευσης, αποτελούνται από ανοξείδωτο χάλυβα συγκεκριμένων προδιαγραφών, ώστε να μην οξειδώνεται ή να προκαλείται οποιαδήποτε αντίδραση του υλικού της δεξαμενής με το απόσταγμα. Σύμφωνα με τον νόμο, έχουν σχήμα που επιτρέπει την εύκολη ογκομέτρησή τους από τους αρμόδιους ελεγκτές (του τελωνείου και του χημείου του κράτους), όπως για παράδειγμα κυλινδρικό ή κυλινδρικό με κωνικό πυθμένα. Όλα τα ανοίγματα δεξαμενών είναι σφραγισμένα με συρματόσχοινα και χάλκινες ταινίες των οποίων οι άκρες ενώνονται με μόλυβδο και σταμπάρονται με μία σφραγίδα ώστε να διαφαίνεται το τυχόν άνοιγμά τους.

Με την παρουσία των αρμόδιων υπαλλήλων, μεταφέρεται ένα τμήμα ή όλη η παραγωγή στις τελικές δεξαμενές αποθήκευσης, αφού πρώτα εκτιμηθούν οι φόροι της παραγωγής και επιβεβαιωθεί η ποιότητα του αποστάγματος.

Μετά από αυτές τις διαδικασίες στις τελικές δεξαμενές μπορεί να λάβει χώρα η αραίωση του αποστάγματος στους κατάλληλους αλκοολικούς βαθμούς.

2.2.9 Παλαίωση

Η παλαίωση γίνεται σε δρύινα βαρέλια χωρητικότητας μικρότερης των 1000 λίτρων, αφού πρώτα μεταφερθεί και σφραγισθεί με κέρινη σφραγίδα το απόσταγμα σε αυτά παρουσία εποπτεύοντος χημικού του Γ.Χ.Κ.. Ο ελάχιστος χρόνος παλαίωσης, ώστε να μπορεί να συνοδεύεται το απόσταγμα με τον τίτλο παλαιό/παλαιωθέν/παλαιωμένο/ωριμασμένο είναι ένα εξάμηνο, όπου μετά το πέρας του με την παρουσία πάλι του εποπτεύοντος χημικού του Γ.Χ.Κ. για την διασφάλιση της διαδικασίας αφαιρείται από τα βαρέλια και κατευθύνεται προς εμφιάλωση ή συσκευασία.

2.2.10 Εμφιάλωση

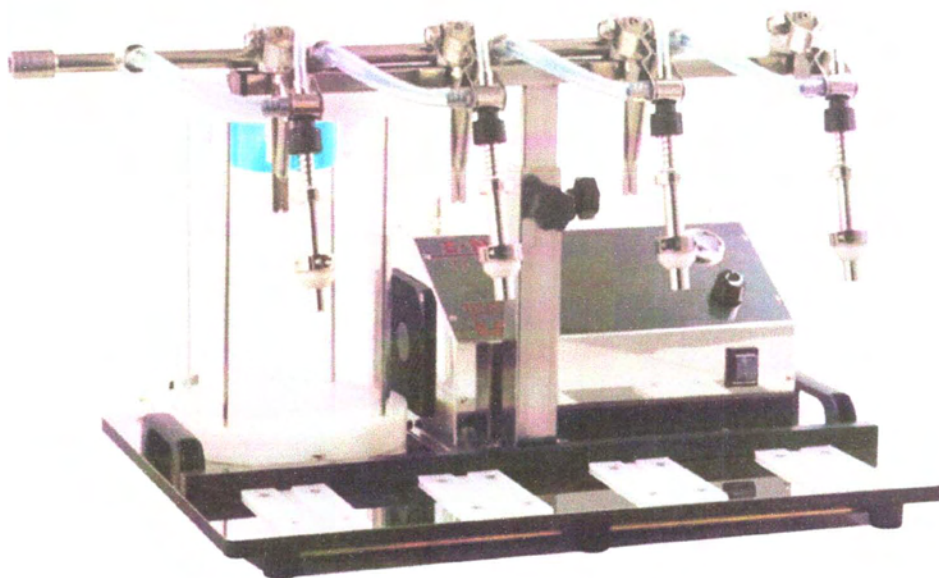
Μετά την αποθήκευση του αποστάγματος στις τελευταίες δεξαμενές μπορεί να γίνει οποιαδήποτε στιγμή η μεταφορά του στα εμφιαλωτικά μηχανήματα που συνδέονται με σωληνώσεις με τις δεξαμενές αυτές για την αυτοματοποιημένη εμφιάλωση όπως φαίνεται παρακάτω, ή την ημιαυτοματοποιημένη εμφιάλωση που συνήθως δεν προτιμάται από κανέναν. Με το πέρας της εμφιάλωσης γίνεται και η ετικετοποίηση, η οποία συνήθως γίνεται με άλλο αυτοματοποιημένο μηχάνημα.



Εικόνα 10 – Σύστημα εμφιάλωσης, σφραγίσματος και ετικετοποίησης



Εικόνα 11 – Σύστημα εμφιάλωσης και σφραγίσματος φιαλών



Εικόνα 12 – Σύστημα ημιαυτόματης εμφιάλωσης

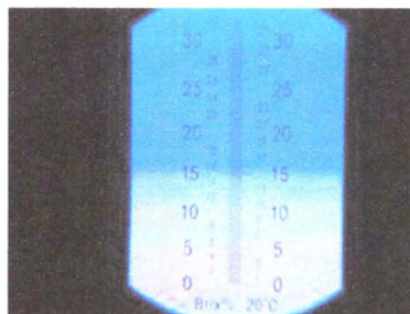
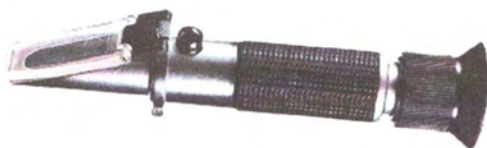
2.3 Μετρητικά Όργανα

Από τα παρακάτω όργανα τα αναλογικά διαθλασίμετρα, τα ψηφιακά διαθλασίμετρα και τα μουστόμετρα χρησιμοποιούνται πρωταρχικά μετά ή και κατά την διαδικασία της εκράγισης για τον υπολογισμό του ποσοστού των σακχάρων στον μούστο ώστε να εξαχθεί η τιμή των σταφυλιών που έχει άμεση εξάρτηση με τα περιεχόμενα σε αυτά σάκχαρα, αφού αυτά θα μετατραπούν στις επιθυμητές αλκοόλες. Επίσης χρησιμοποιούνται για να εξακριβωθεί το τέλος την ζύμωσης με την ανίχνευση μηδενικού ποσοστού σακχάρων στο μίγμα.

Τα αλκοολόμετρα πυκνότητας χρησιμοποιούνται για την εξακρίβωση της περιεχόμενης αλκοόλης στο διατρέχον απόσταγμα μέσα στον κώδωνα, αλλά και για τον έλεγχο της περιεκτικότητας σε αλκοόλες κατά την διαδικασία της αραίωσης. Παρακάτω αναλύεται η λειτουργία του κάθε ενός.

2.3.1. Αναλογικά-Ψηφιακά Διαθλασίμετρα

Ο Αναλογικός Μετρητής Χειρός Συγκέντρωσης Σακχάρων μετρά την περιεκτικότητα σε σάκχαρα των τροφίμων και των ποτών με την προσθήκη μόνο λίγων σταγόνων υγρού στο πρίσμα και κρατώντας το μετρητή σε μια πηγή φωτός. Το φως διαθλάται καθώς περνά μέσα από το υγρό και οι μετρήσεις διαβάζονται σύμφωνα με την κλίμακα **Brix**. Ανάλογα με την ποσότητα σακχάρων στο μίγμα αλλάζει και ο δείκτης διάθλασης του μίγματος, οπότε αλλάζει η γωνία μέχρι την οποία διαθλάται το φως και αυτό εκφράζεται μέσω της κλίμακας Brix.



Εικόνα 13α – Αναλογικό διαθλασίμετρο

Εικόνα 13β – παρουσιάζει την εικόνα που παρατηρούμε μέσα από τον φακό με την κλίμακα Brix

Το Ψηφιακό Διαθλασίμετρο ή αλλιώς ο Μετρητής Συγκέντρωσης Σακχάρων είναι ένα ακριβές όργανο που μετρά τη περιεκτικότητα σε ζάχαρη, όπως και το αναλογικό, με την διαφορά πως διαθέτει δική του πηγή φωτός καθώς και αισθητήρα της γωνίας διάθλασης.



Εικόνα 14α-β – Όψεις ψηφιακών διαθλασιμέτρων

2.3.2. Μουστόμετρα-Αλκοολόμετρα πυκνότητας



Εικόνα 15 – Όψη μουστόμετρου και αλκοολόμετρου. Δεν διαφέρουν στην όψη τους.

Δείχνουν κατευθείαν το ποσοστό ζάχαρης σε kg , δηλαδή τα κιλά ζάχαρης που περιέχονται σε 100 κιλά μούστου με βάση την πυκνότητά του. Η λειτουργία του βασίζεται στην άνωση που δέχεται λόγω διαφοράς πυκνότητας. Έχει βαθμονομηθεί ώστε η κλίμακά του να δείχνει το ποσοστό σακχάρων του μούστου εκεί που η επιφάνεια του μούστου συναντά το μουστόμετρο όταν αυτό αφεθεί μέσα στον μούστο. Αυτό το όργανο μπορεί να καθορίσει την περιεκτικότητα ζάχαρης των σταφυλιών και το βαθμό ωρίμανσής τους. Επίσης μπορεί να προβλεφθεί το αποτέλεσμα της ζυμώσεως υπολογίζοντας, κατά προσέγγιση, την περιεκτικότητα σε αλκοόλ που θα αποκτηθεί από τα σταφύλια αυτά. Με το μουστόμετρο αυτό μπορεί να παρακολουθηθεί η διαδικασία της ζύμωσης και να υπολογιστεί ,κατά προσέγγιση, η υπολειμματική ποσότητα ζάχαρης που θα μετατραπεί σε αλκοόλ.

Τα αλκοολόμετρα πυκνότητας έχουν την ίδια αρχή λειτουργίας με τα μουστόμετρα και υπολογίζουν την περιεκτικότητα κατά όγκο σε αλκοόλες.

3. ΘΕΩΡΙΑ

3.1 Ανάλυση διεργασιών ισορροπίας σε απλή απόσταση

Η θεωρία της απόσταξης δύο συστατικών αναλύεται στο παρακάτω κείμενο, η οποία βασίζεται σε δεδομένα ισορροπίας των συστάσεων μεταξύ των δύο φάσεων υγρού – αερίου. Για περισσότερα συστατικά η ανάλυση δεν περιλαμβάνει διαγράμματα ή τύπους θερμοδυναμικής ισορροπίας μεταξύ των συστατικών, καθώς αυτές δεν είναι διαθέσιμες. Έτσι λαμβάνονται μαθηματικοί τύποι που εκφράζουν την θερμοδυναμική ισορροπία των φάσεων μέσω δεδομένων όπως επιφάνεια των μορίων κάθε συστατικού, όγκος μορίων κάθε συστατικού, ελκτικές δυνάμεις μεταξύ όλων των μορίων και άλλα, τα οποία όντας συνήθως μη διαθέσιμα πρέπει πρώτα να υπολογιστούν πειραματικά σε εργαστήριο.

Στην διεργασία της απόσταξης, όπου έχουμε μίγμα συστατικών που κατανέμονται σε υγρή και αέρια φάση, τα πτητικότερα συστατικά συγκεντρώνονται στην αέρια φάση και το φαινόμενο αποτελεί τη βάση του διαχωρισμού που επιτυγχάνεται συνήθως σε στήλες κλασματικής απόσταξης.

Έστω σύστημα δύο συστατικών ($N=2$). Οι φάσεις είναι επίσης δύο ($F=2$). Επειδή τα συστατικά κατανέμονται στις δύο φάσεις, το πλήθος των εντατικών μεταβλητών είναι τέσσερις: πίεση, θερμοκρασία και συγκέντρωση του ενός συστατικού στην υγρή και αέρια φάση. Αν η πίεση είναι καθορισμένη και σταθερή (όπως συνήθως συμβαίνει σε έναν αποστακτήρα), μόνον μία ακόμη μεταβλητή μπορεί να επιλεγεί ανεξάρτητα και οι υπόλοιπες είναι συναρτήσεις της. Στην περίπτωση αυτή, τα δεδομένα θερμοδυναμικής ισορροπίας παριστάνονται συνήθως σε διαγράμματα συγκέντρωσης-θερμοκρασίας σε σταθερή πίεση (διαγράμματα σημείου φυσαλίδας/σημείου δρόσου), και αποτελούν μία επέκταση της έννοιας του βρασμού στα μίγματα συστατικών.

Το διάγραμμα 1 που αποτελεί ένα διάγραμμα σημείου φυσαλίδας/σημείου δρόσου ενός δυαδικού μίγματος με ομαλή συμπεριφορά, παρέχει μία εποπτική αναπαράσταση του τι συμβαίνει όταν μίγμα σε στεγανό δοχείο, που περιέχει καθορισμένο μίγμα των δύο συστατικών, θερμαίνεται ξεκινώντας από μία χαμηλή θερμοκρασία (σημείο A). Στην αρχή έχουμε μόνον μία φάση, την υγρή, και η μεταβολή παριστάνεται με κατακόρυφη γραμμή, επειδή η ολική σύσταση παραμένει σταθερή. Στο σημείο B σχηματίζεται η πρώτη φυσαλίδα ατμού (απειροστή ποσότητα) και η αντίστοιχη θερμοκρασία ονομάζεται σημείο φυσαλίδας του συγκεκριμένου μίγματος. Η σύσταση της φυσαλίδας αυτής ατμού βρίσκεται με οριζόντια μετακίνηση στο διάγραμμα, έως ότου τηθεί η επάνω καμπύλη.

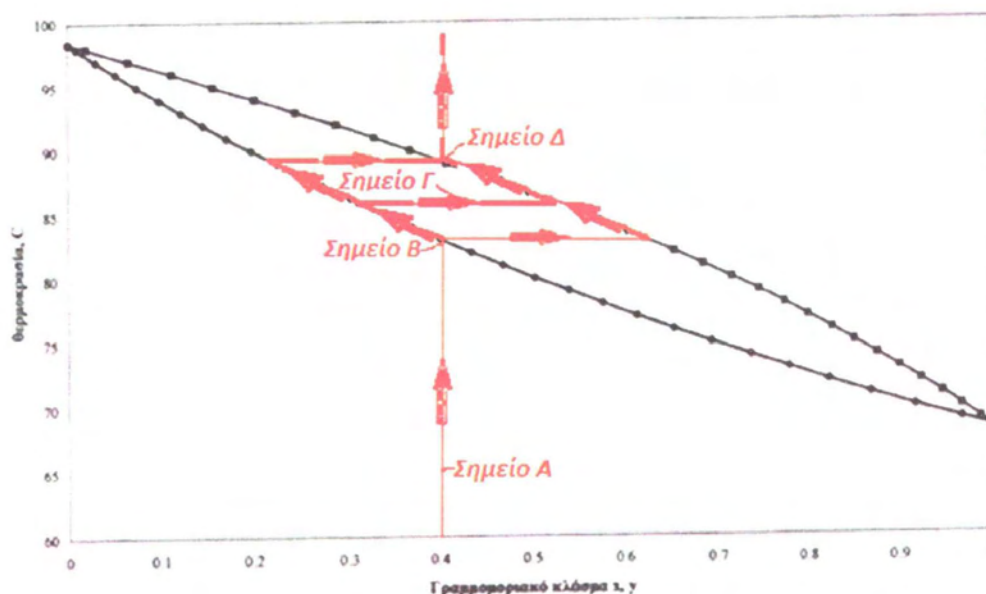
Περαιτέρω θέρμανση οδηγεί σε αύξηση της θερμοκρασίας του συστήματος και σχηματισμό διφασικού μίγματος με πεπερασμένους όγκους των δύο φάσεων (π.χ.



σημείο Γ). Ενώ η ολική σύσταση του δοχείου παραμένει προφανώς σταθερή (και ίση με την αρχική) η επιμέρους σύσταση κάθε φάσης μεταβάλλεται συνεχώς με τη θερμοκρασία, και βρίσκεται στην τομή της οριζόντιας γραμμής (π.χ. από το σημείο Γ) με την αντίστοιχη καμπύλη.

Τέλος στο σημείο Δ έχει απομείνει η τελευταία σταγόνα υγρού (απειροστή ποσότητα) και η αντίστοιχη θερμοκρασία ονομάζεται σημείο δρόσου του αρχικού μίγματος. Εάν το δοχείο εξακολουθήσει να θερμαίνεται, το σύστημα γίνεται και πάλι μονοφασικό με όλα τα συστατικά στην αέρια φάση.

Παρατηρούμε ότι λόγω της μη απομάκρυνσης του ατμού το υγρό μπορεί να φτάσει μέχρι μία ορισμένη σύσταση ως προς το πτητικότερο συστατικό. Αυτό οφείλεται στην παρουσία του συνολικού παραγόμενου ατμού στον χώρο θέρμανσης και την ισορροπία που επιβάλλει όσον αφορά την σύσταση υγρού-αερίου.

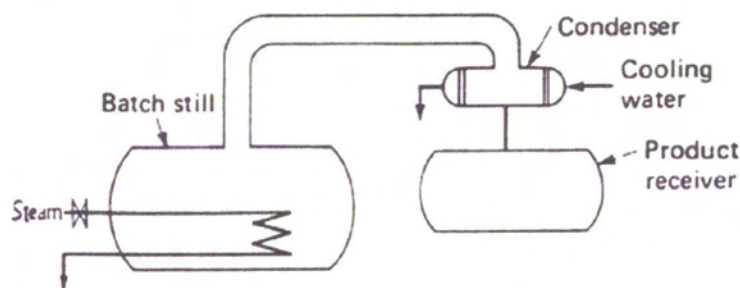


Διάγραμμα 1- Τυχαίο διάγραμμα ισορροπίας ιδανικού μίγματος σε στεγανό δοχείο

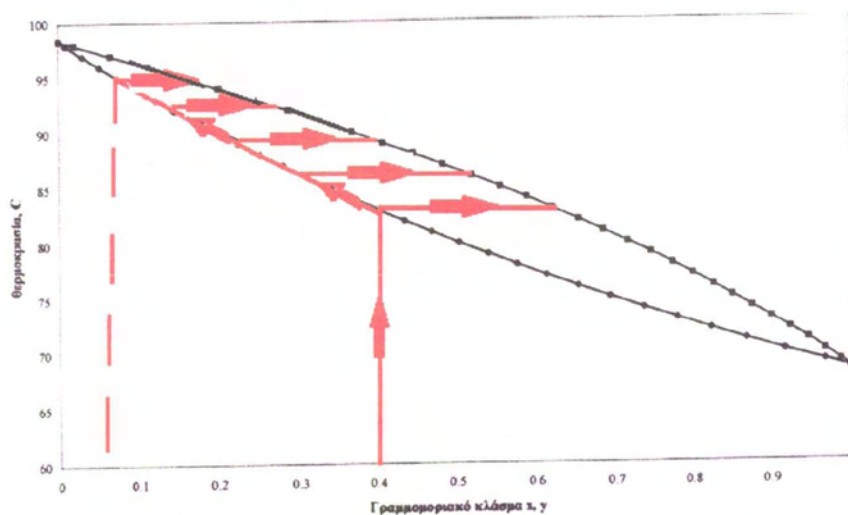
Με βάση τα παραπάνω, μία σημαντική παρατήρηση για μίγματα δύο συστατικών είναι ότι στην διφασική περιοχή αρκεί να δοθεί μία εκ των μεταβλητών θερμοκρασίας- T , σύστασης του συστατικού i στην υγρή φάση x_i ή σύστασης του συστατικού i στην αέρια φάση y_i για να είναι μονοσήμαντα ορισμένες και οι υπόλοιπες.

Όμως κατά την διεργασία της απόσταξης του ίδιου μίγματος συγκεκριμένης αρχικής ποσότητας, το αέριο μίγμα απομακρύνεται συνεχώς λόγω του ότι το δοχείο που τα περιέχει δεν είναι στεγανό (Σχήμα 2). Αυτό έχει ως αποτέλεσμα αφενός οι

ατμοί που απομακρύνονται κάθε φορά να έχουν διαφορετική σύσταση ανάλογα με την εκάστοτε θερμοκρασία βρασμού και αφετέρου ο βρασμός να μπορεί να συνεχίζεται πέρα από την θερμοκρασία που όταν ήταν σε στεγανό δοχείο εξατμιζόταν και το τελευταίο απειροστό υγρό (πέρα από το σημείο δρόσου δηλαδή σε μη στεγανό δοχείο) (Διάγραμμα 2). Η απόσταξη σε αυτήν την περίπτωση μπορεί να συνεχίσει θεωρητικά έως και στο σημείο όπου $x=0$. Προφανώς όμως αυτό δεν χρησιμεύει πουθενά καθώς το απόσταγμα που επιθυμούμε στο τέλος θα πρέπει να έχει πολύ μικρή περιεκτικότητα στο βαρύ συστατικό και αυτό γίνεται εάν η απόσταξη σταματήσει σε ένα σημείο όπου το εναπομένον υγρό στον πυθμένα του καζανιού θα έχει υψηλή συγκέντρωση του λιγότερο πτητικού συστατικού πριν αποσταχθεί και αυτό. Αντιθέτως εάν μας ενδιαφέρει το βαρύ συστατικό πάλι σταματάμε την απόσταξη σε κάποιο ενδιαμέσο σημείο μετά το $x=0$ και λαμβάνουμε ως προϊόν αυτό που δεν έχει αποσταχθεί και υπάρχει ακόμα στον αναβραστήρα.



Σχήμα 3 – Σύστημα απλής απόσταξης



Διάγραμμα 2 – Τυχαιο διάγραμμα διφασικού μίγματος σε μη στεγανό δοχείο όπου το αέριο μίγμα απομακρύνεται

3.2 Διαφορική απόσταξη Αιθανόλης-νερού

__ Το απόσταγμα στέμφυλων σταφυλής απαρτίζεται κυρίως από νερό και αιθυλική αλκοόλη. Μπορεί έτσι να γίνει μία ανάλυση της απόσταξης όσον αφορά αυτά τα δύο συστατικά που λίγο έως πολύ προσομοιάζουν την πλήρη σε συστατικά απόσταξη.

Η μαθηματική ανάλυση της διαφορικής απόσταξης οφείλεται στον Lord Rayleigh, και επιτυγχάνει τον υπολογισμό της ποσότητας υγρού υπολείμματος στο δοχείο βρασμού ως συνάρτηση της σύστασής του. Κατ' επέκταση αυτού μπορούν να προσδιοριστούν τα χαρακτηριστικά του υγρού προϊόντος μέσω ισοζυγίων μάζας. Αν την χρονική στιγμή t η ποσότητα του υγρού είναι L , και μετά από παρέλευση χρόνου dt έχουν εξατμιστεί dV γραμμομόρια, τα ισοζύγια ολικής μάζας και μάζας κάθε συστατικού για παρέλευση χρόνου dt , με όγκο ελέγχου το υγρό υπόλειμμα, δίνουν:

$$dV = -dL \quad (1)$$

$$y_i dV = -d(x_i L) \quad (2)$$

όπου y_i, x_i οι συστάσεις του παραγόμενου αερίου και του υγρού αντίστοιχα σε κάθε i συστατικό.

Στο α' σκέλος της (2) αγνοείται η μικρή μεταβολή της σύστασης του ατμού στο χρονικό διάστημα dt . Ο συνυπολογισμός της μεταβολής dy_i δεν προσθέτει στην (2) παρά ένα διαφορικό ανώτερης τάξης, που είναι αμελητέο στο όριο $dt \rightarrow 0$.

Με αντικατάσταση της (1) στην (2), χωρισμό μεταβλητών και ολοκλήρωση από την αρχική κατάσταση, L_0, x_{i0} , ως την τελική L, x_i , προκύπτει η εξίσωση:

$$\ln\left(\frac{L}{L_0}\right) = \int_{x_{i0}}^{x_i} \frac{dx_i}{y_i - x_i} \quad (3)$$

Οι συστάσεις x_i, y_i συνδέονται μεταξύ τους με βάση την παραδοχή ότι ο παραγόμενος ατμός είναι κάθε στιγμή σε ισορροπία με το υγρό, και συνεπώς δίνονται από τη σχέση ισορροπίας φάσεων. Για την ειδική περίπτωση δύο μόνων συστατικών, των οποίων η σχετική πτητικότητα παραμένει σταθερή στο εύρος θερμοκρασιών της διεργασίας, αντικατάσταση της σχέσης:

$$y_1 = \frac{a_{12} x_1}{1 + (a_{12} - 1)x_1} \quad (4)$$

όπου a_{12} η πτητική σχετικότητα του ενός συστατικού στο άλλο, στην σχέση (3) δίνει το τελικό αποτέλεσμα:

$$\ln \left(\frac{L}{L_0} \right) = \frac{1}{(a_{12}-1)} \left[\ln \left(\frac{x_i}{x_{i0}} \right) + a_{12} \ln \left(\frac{1-x_{i0}}{1-x_i} \right) \right] \quad (5)$$

Με την χρήση της εξισώσεως 4 μπορεί για παράδειγμα να υπολογιστεί η σύσταση σε ένα συστατικό του υπολείμματος όταν έχει εξατμιστεί ένα ορισμένο κλάσμα της αρχικής τροφοδοσίας, ενώ με την χρήση της εξισώσεως 5 μπορεί να υπολογιστεί η ποσότητα του υπολειπόμενου υγρού στον πυθμένα του καζανιού και κατ'επέκταση η ποσότητα του αερίου μίγματος που παράχθηκε.

Μία άλλη λύση είναι η εφαρμογή της εξισώσεως 6, η οποία αποτελεί την γενική σχέση μεταξύ των γραμμομοριακών κλασμάτων του συστατικού i σε υγρή και αέρια φάση.

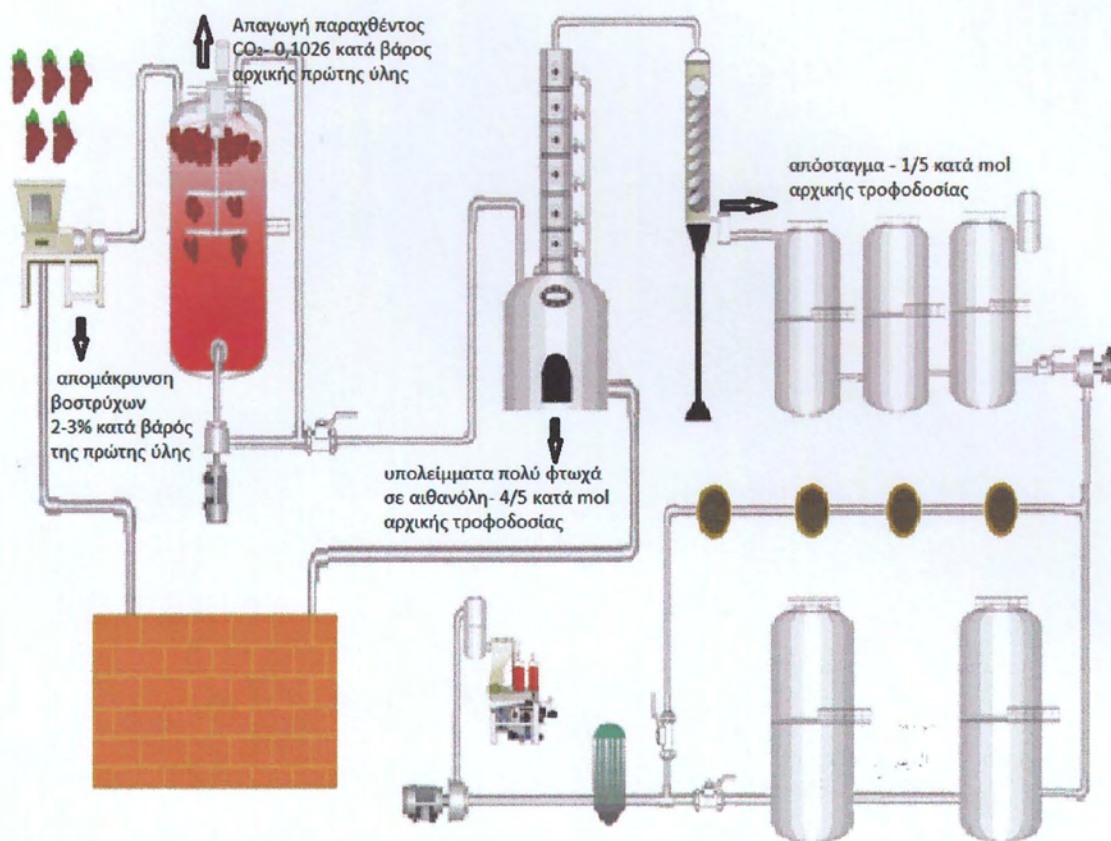
$$y_i \hat{\phi}_i P = x_i \gamma_i f_i^0 \rightarrow y_i = \frac{\gamma_i f_i^0}{\hat{\phi}_i P} x_i \quad (6)$$

Όπου:

- γ_i , είναι ο συντελεστής ενεργότητας του i στην υγρή φάση
- f_i^0 , είναι η πτητικότητα του καθαρού συστατικού i στην θερμοκρασία του συστήματος, και αποτελεί μία επέκταση της έννοιας της τάσης ατμών του συστατικού
- $\hat{\phi}_i$, είναι ο συντελεστής πτητικότητας του συστατικού i στην αέρια φάση

3. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ

3.1 Γενικά ισοζύγια μάζας



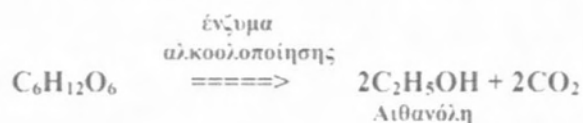
Σχήμα 4 – Διάγραμμα ροής πρώτων υλών και προϊόντων με αναγραφόμενες τις ποσότητες των προϊόντων σε σχέση με την πρώτη ύλη

Αναλύοντας ξανά το διάγραμμα ροής της παραγωγής από την σκοπιά των ισοζυγίων μάζας έχουμε τα δεδομένα που αναλύονται παρακάτω.

Κατά την εκράγιση, σύμφωνα με εμπειρικά δεδομένα κάποιων αποστακτηρίων, οι βόστρυχες που απομακρύνονται είναι περίπου το 2-3% του αρχικού βάρους της πρώτης ύλης ανάλογα με την επιλεγόμενη ποικιλία σταφυλιού.

Στην συνέχεια επόμενος φυσικός διαχωρισμός γίνεται κατά την διαδικασία της ζυμώσεως όπου μύκητες αναπτύσσονται τρεφόμενοι με σάκχαρα και μετασχηματίζουν τα σάκχαρα σε αιθανόλη και διοξείδιο του άνθρακα μέσω κάποιων ενζύμων που παράγουν. Το ποσοστό των μυκήτων στην όλη ποσότητα είναι αμελητέο και έτσι δεν θα αναλυθεί η μετατροπή κάποιων υδρογονανθράκων σε μύκητες. Συγκεκριμένα όσον αφορά τον μετασχηματισμό των σακχάρων ισχύουν

τα παρακάτω. Στην αρχή τα σάκχαρα αποτελούν περίπου το 21% kg/kg της συνολικής ποσότητας γλεύκους. Το γλεύκος απαρτίζεται κυρίως από νερό και σάκχαρα, οπότε θεωρώντας το ως μίγμα των δύο συστατικών



Οπότε η αιθανόλη που παράγεται αποτελεί το 92/180 της μάζας των αρχικών σακχάρων, ενώ το διοξείδιο του άνθρακα που παράγεται αποτελεί το αντίστοιχο 88/180 της μάζας των αρχικών σακχάρων. Συγκεκριμένα στα 100 κιλά γλεύκους το 21% κατά βάρος είναι σάκχαρα. Μετά την μετατροπή τους το γλεύκος έχει μειωθεί κατά $(88/180) \cdot (21/100) = 0,1026$ της αρχικής του μάζας λόγω απαγωγής διοξειδίου του άνθρακα.

Αντίστοιχα η αιθανόλη είναι το $(92/180) \cdot (21/100) = 0,1073$ της αρχικής ποσότητας γλεύκους. Το ποσοστό της αιθανόλης στο τελικό γλεύκος θα είναι $0,1073 / (1 - 0,1026) = 0,1195$ κατά μάζα. Οπότε τα αντίστοιχα moles της αιθανόλης στα συνολικά moles του γλεύκους θα είναι: $(0,1195\text{g}/46(\text{g/mol})) / (0,1195\text{g}/46(\text{g/mol}) + (1 - 0,1195)\text{g}/18(\text{g/mol})) = 0,054$

Οπότε συνολικά το γλεύκος έχει χάσει περίπου το 0,1026 της αρχικής του μάζας και η αιθανόλη έχει το 0,1195 του βάρους του γλεύκους ή το 0,054 των moles του γλεύκους.

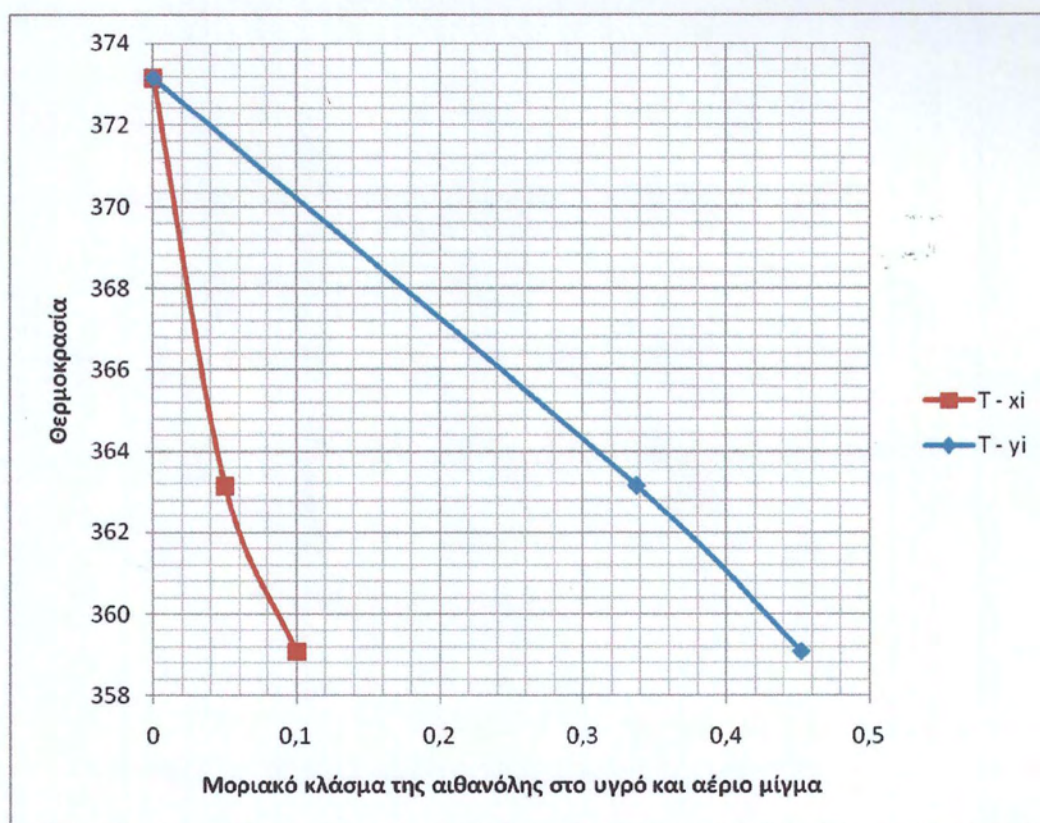
3.2 Υπολογισμοί απόσταξης

Στην περίπτωση του δυαδικού μίγματος αιθανόλης- νερού η σχετική πτητικότητα του ενός προς το άλλο συστατικό ίσως να μπορεί να θεωρηθεί σταθερή στην περιοχή 85-100 βαθμούς Κελσίου στην οποία γίνεται η απόσταξη. Για την απόδειξη της ισχύος του επιχειρήματος αυτού χρησιμοποιούνται δεδομένα από το διάγραμμα 2 και η σχέση 4 που συνδέει τα x , y της αιθανόλης μέσω της πτητικότητας είναι:

$$y_1 = \frac{a_{12}x_1}{1+(a_{12}-1)x_1} \rightarrow a_{12} = \frac{y_1x_1-y_1}{y_1x_1-x_1} \quad (7)$$

Οπότε χρησιμοποιώντας τέσσερα διαδοχικά σημεία του διαγράμματος του μοριακού κλάσματος της αιθανόλης στο υγρό και τον ατμό θα λάβουμε αντιστοίχως τέσσερις διαφορετικές τιμές για την σχετική πτητικότητα της αιθανόλης με το νερό.

Τα μοριακά κλάσματα της αιθανόλης στο υγρό που επιλέγονται είναι ισαπέχοντα στον παρακάτω άξονά τους και είναι τα εξής: 0,001 0,005 0,03 και 0,055 εφόσον το τελευταίο αποτελεί μέσο όρο του μοριακού κλάσματος της αιθανόλης σε ένα γλεύκος, όπως αποδεικνύεται στο κείμενο των γενικών ισοζυγίων μάζας



Διάγραμμα 3—Γραφική αναπαράσταση της σχέσης της θερμοκρασίας με τα μοριακά κλάσματα της αιθανόλης στο υγρό και το αέριο μίγμα σε κοινό διάγραμμα

Με βάση το παραπάνω διάγραμμα τα αντίστοιχα ποσοστά της αιθανόλης στον παραγόμενο ατμό προκύπτουν ως εξής 0,035 0,215 και 0,36.

Με την εφαρμογή αυτών των δεδομένων στην (7) προκύπτει:

- ζεύγος($x_i=0,001$ $y_i=0,007$): $a_{12}=7,04$

- ζεύγος($x_i=0,005$ $y_i=0,035$): $a_{12}=7,21$

- ζεύγος($x_i=0,03$ $y_i=0,215$): $a_{12}=8,85$

- ζεύγος($x_i=0,055$ $y_i=0,36$): $a_{12}=9,66$

Εφόσον τα αποτελέσματα έχουν ορισμένη διαφορά μεταξύ τους, αποδεικνύεται ότι ακόμα και σε αυτό το εύρος συστάσεων και θερμοκρασιών (μακριά από το αζεότροπο σημείο) η σχετική πτητικότητα της αιθανόλης με το νερό δεν παραμένει σχεδόν στα ίδια επίπεδα.

Οπότε μία λύση είναι η εφαρμογή της γενικής σχέσεως μεταξύ των γραμμομοριακών κλασμάτων του συστατικού i σε υγρή και αέρια φάση. Λόγω της δυσκολίας εύρεσης των επιμέρους στοιχείων που απαιτούνται θα χρησιμοποιήσω τα αποτελέσματα της εξίσωσης (7) στην (5). Τα αποτελέσματα όμως της εξίσωσης (7) όντας μη κοινά για το εύρος των γραμμομοριακών κλασμάτων της αιθανόλης στο υγρό μίγμα x_i που θέλουμε να υπολογίσουμε δεν μπορούν να εφαρμοσθούν παρά μόνο αν θεωρήσω πως η σχετική πτητικότητα a_{12} αλλάζει με τα γραμμομοριακά κλάσματα της αιθανόλης στο υγρό μίγμα x_i σύμφωνα μέσω μιας εξίσωσης που μπορεί να προσεγγισθεί από τα ζευγάρια τιμών $a_{12} - x_i$ που έχουμε υπολογίσει. Έτσι θα θεωρήσω ότι η τοπική σχετική πτητικότητα a_{12} αλλάζει γραμμικά μεταξύ των διαδοχικών γραμμομοριακών συστάσεων της αιθανόλης στο υγρό μίγμα x_i . Έτσι μπορούν να υπολογιστούν οι τιμές του ποσοστού της ποσότητας του νέου υγρού υπολείμματος πυθμένα ως προς την αντίστοιχη αρχική L/L_0 , μέσω της εφαρμογής της (5).

Ξεκινώντας σταδιακά από την αρχική σύσταση $x_i=0,055$ και μειώνοντάς την κατά 0,0025 κάθε φορά, είναι δυνατόν να υπολογιστούν οι παραπάνω τιμές, όπου πλέον στην εξίσωση (5) η ποσότητα του εναπομείναντος υγρού μίγματος πυθμένα της προηγούμενης συστάσεως αποτελεί την αντίστοιχη αρχική ποσότητα για την τρέχουσα σύσταση και η τιμή της αρχικής συστάσεως έχει την τιμή της τελικής σύστασης του προηγούμενου σημείου.

Στην αρχή όμως πρέπει να υπολογιστεί το ποσοστό της ποσότητας του νέου υγρού υπολείμματος πυθμένα ως προς την αντίστοιχη αρχική ποσότητα L/L_0 και των παραγωγών τους σε 23 σημεία στο εύρος των x_i (0,001-0,055) θεωρώντας πως η σχετική πτητικότητα αλλάζει γραμμικά από σημείο σε σημείο για τα οποία έχει υπολογιστεί. Έτσι προκύπτουν τα εξής:

$-x_i=(0,03 \ 0,055)$:

$$\alpha_{12}(0,03)=8,85 \quad \alpha_{12}(0,055)=9,66$$

Ξεκινώντας από το σημείο όπου $x_i=0,055$, η σχετική πτητικότητα του επόμενου σημείου θα ισούται με την σχετική πτητικότητα του προηγούμενου του σημείου συν έναν παράγοντα που προκύπτει από την γραμμική μεταβολή της σχετικής πτητικότητας από σημείο σε σημείο για το οποίο έχει ήδη υπολογιστεί, ο οποίος ισούται με $\kappa=(9,66-8,85)/10 \rightarrow \kappa=0,081$.

Έτσι ,έχουμε ότι: $\alpha_{12}(0,055)=9,66$

$$\alpha_{12}(0,0525)=9,579$$

$$\alpha_{12}(0,05)=9,498$$

$$\alpha_{12}(0,0475)=9,417$$

$$\alpha_{12}(0,045)=9,336$$

$$\alpha_{12}(0,0425)=9,255$$

$$\alpha_{12}(0,04)=9,174$$

$$\alpha_{12}(0,0375)=9,093$$

$$\alpha_{12}(0,035)=9,012$$

$$\alpha_{12}(0,0325)=8,931$$

$$\alpha_{12}(0,03)=8,85$$

-για τα $x_i=(0,001 \ 0,003)$ με αντίστοιχες πράξεις στο excel προκύπτουν τα δεδομένα του πίνακα 1

Σημείο k	Μοριακό κλάσμα της αιθανόλης στο υγρό μίγμα στο σημείο k, x_i	Σχετική πτητικότητα της αιθανόλης με το νερό γύρω από την περιοχή του αντίστοιχου μοριακού κλάσματος α_{12}
23	0,001	7,04
22	0,0025	7,125
20	0,0075	7,374
19	0,01	7,538
18	0,0125	7,702
17	0,015	7,866
16	0,0175	8,03
15	0,02	8,194
14	0,0225	8,358
13	0,025	8,522
12	0,0275	8,686
11	0,03	8,85
10	0,0325	8,931
9	0,035	9,012
8	0,0375	9,093
7	0,04	9,174
6	0,0425	9,255
5	0,045	9,336
4	0,0475	9,417
3	0,05	9,498
2	0,0525	9,579
1	0,055	9,66

Πίνακας 1- Αναγράφονται οι τιμές των μοριακών κλασμάτων της αιθανόλης στο υγρό μίγμα στα σημεία k, x_i και της σχετικής πτητικότητας της αιθανόλης με το νερό γύρω από την περιοχή του αντίστοιχου μοριακού κλάσματος x_i , α_{12}

Με την εφαρμογή των παραπάνω δεδομένων στην εξίσωση (5) έχουμε:

$$\ln\left(\frac{L}{L_0}\right) = \frac{1}{\alpha_{12} - 1} \left[\ln\left(\frac{x_i}{x_{i0}}\right) + \alpha_{12} \ln\left(\frac{1 - x_{i0}}{1 - x_i}\right) \right]$$

$$\text{- για } x_i (0,0525 \text{ } 0,055) \rightarrow \ln\left(\frac{L}{L_0}\right) = \frac{1}{9,66 - 1} \left[\ln\left(\frac{x_i}{0,055}\right) + 9,66 \ln\left(\frac{1 - 0,055}{1 - x_i}\right) \right]$$

$$\text{Για } x_i=0,0525 \rightarrow \ln\left(\frac{L}{L_0}\right) = -0,008374 \rightarrow L=0,991662L_0$$

$$\text{- για } x_i (0,05 \text{ } 0,0525) \rightarrow \ln\left(\frac{L}{0,991662L_0}\right) = \frac{1}{9,579-1} \left[\ln\left(\frac{x_i}{0,0525}\right) + 9,579 \ln\left(\frac{1-0,0525}{1-x_i}\right) \right]$$

$$\text{Για } x_i=0,11 \rightarrow \ln\left(\frac{L}{0,991662L_0}\right) = -0,02902 \rightarrow L=0,983086L_0$$

Για τα υπόλοιπα σημεία γίνονται οι αντίστοιχες πράξεις στο excel και προκύπτει ο πίνακας 2.

Σημείο k	Μοριακό κλάσμα της αιθανόλης στο υγρό μίγμα στο σημείο k, x_i	Σχετική πτητικότητα της αιθανόλης με το νερό γύρω από την περιοχή του αντίστοιχου μοριακού κλάσματος α12	Ποσοστό της ποσότητας του εναπομείναντος υγρού πυθμένα προς την αντίστοιχη αρχική ποσότητα L/L0
23	0,001	7,04	0,51
22	0,0025	7,125	0,60
20	0,0075	7,374	0,72
19	0,01	7,538	0,75
18	0,0125	7,702	0,78
17	0,015	7,866	0,80
16	0,0175	8,03	0,83
15	0,02	8,194	0,84
14	0,0225	8,358	0,86
13	0,025	8,522	0,88
12	0,0275	8,686	0,89
11	0,03	8,85	0,90
10	0,0325	8,931	0,91
9	0,035	9,012	0,92
8	0,0375	9,093	0,94
7	0,04	9,174	0,95
6	0,0425	9,255	0,96
5	0,045	9,336	0,97
4	0,0475	9,417	0,97
3	0,05	9,498	0,98
2	0,0525	9,579	0,99
1	0,055	9,66	1,00

Πίνακας 2 – Αναγράφεται ότι και στον πίνακα 1 με την επιπλέον προσθήκη όμως των τιμών του ποσοστού της ποσότητας του εναπομείναντος υγρού πυθμένα προς την αντίστοιχη αρχική ποσότητα L/L0

Χρησιμοποιώντας αυτά τα δεδομένα μπορούμε να κατασκευάσουμε το διάγραμμα ποσότητας υγρού πυθμένα σε σχέση με το μοριακό κλάσμα της αιθανόλης στο υγρό μίγμα $L-x_i$. Για άλλα χρήσιμα διαγράμματα πρέπει να υπολογιστούν και άλλα δεδομένα σύμφωνα με τα υπάρχοντα δεδομένα όπως τα:

V	\rightarrow	ποσότητα του ατμού που παράχθηκε
y_i	\rightarrow	μοριακό κλάσμα της αιθανόλης του τρέχοντος παραγόμενου αέριου μίγματος
y_{total}	\rightarrow	μοριακό κλάσμα της αιθανόλης του συνολικού παραγόμενου αέριου μίγματος
$\delta(V/L_0)/\delta y_i$	\rightarrow	η παράγωγος της ποσότητας του ατμού που παράγεται ανηγμένης προς την αρχική ποσότητα του υγρού εκφρασμένα σε moles, ως προς το μοριακό κλάσμα της αιθανόλης στο τρέχον παραγόμενο αέριο μίγμα
$\delta(V/L_0)/\delta y_{total}$	\rightarrow	η παράγωγος της ποσότητας του ατμού που παράγεται ανηγμένης προς την αρχική ποσότητα του υγρού εκφρασμένα σε moles, ως προς το μοριακό κλάσμα της αιθανόλης στο συνολικό παραγόμενο αέριο μίγμα

Υπολογίζω πρώτα την ποσότητα ατμού V σε κάθε αναφερόμενη σύσταση μέσω της σχέσης που την συνδέει με την υπολειπόμενη ποσότητα του υγρού στον πυθμένα L , η οποία είναι:

$$V/L_0 = 1 - L/L_0 \quad (8)$$

Ύστερα υπολογίζουμε τα μοριακά κλάσματα της αιθανόλης στο αέριο μίγμα που παράγεται γι' σε σχέση με τα αντίστοιχα μοριακά κλάσματα της αιθανόλης στο υγρό μίγμα μέσω της σχέσης (6) και τα μοριακά κλάσματα της αιθανόλης στο σύνολο του παραγόμενου αέριου μίγματος y_{total} μέσω της σχέσης:

$$y_{total} = (0,055 - L_i/L_0 * x_i) / V_i \quad (9)$$

όπου: 0,055 είναι το μοριακό κλάσμα της αιθανόλης στην αρχική ποσότητα του υγρού μίγματος

$L_i/L_0 * x_i$ είναι το μοριακό κλάσμα της αιθανόλης στο εναπομένον υγρό επί την ποσότητα του εναπομένοντος υγρού ανηγμένη προς την αντίστοιχη της αρχικής ποσότητας εκφρασμένα σε moles.
Συνολικά είναι η ποσότητα της αιθανόλης στο εναπομένον υγρό ανηγμένη προς την ποσότητα του αρχικού υγρού εκφρασμένα σε moles

V_i/L_0 είναι η ποσότητα του παραγόμενου ατμού προς την ποσότητα του αρχικού υγρού εκφρασμένα σε moles

Οι τιμές των μεταβλητών $\delta(V/L_0)/\delta y_i$, $\delta(V/L_0)/\delta x_i$ και τα $\delta(V/L_0)/\delta y_{total}$ υπολογίζονται μεταξύ δύο διαδοχικών σημείων κάθε φορά. Οι υπολογισμοί αυτοί γίνονται μέσω του excel και παρατίθενται στους πίνακες 3-4.

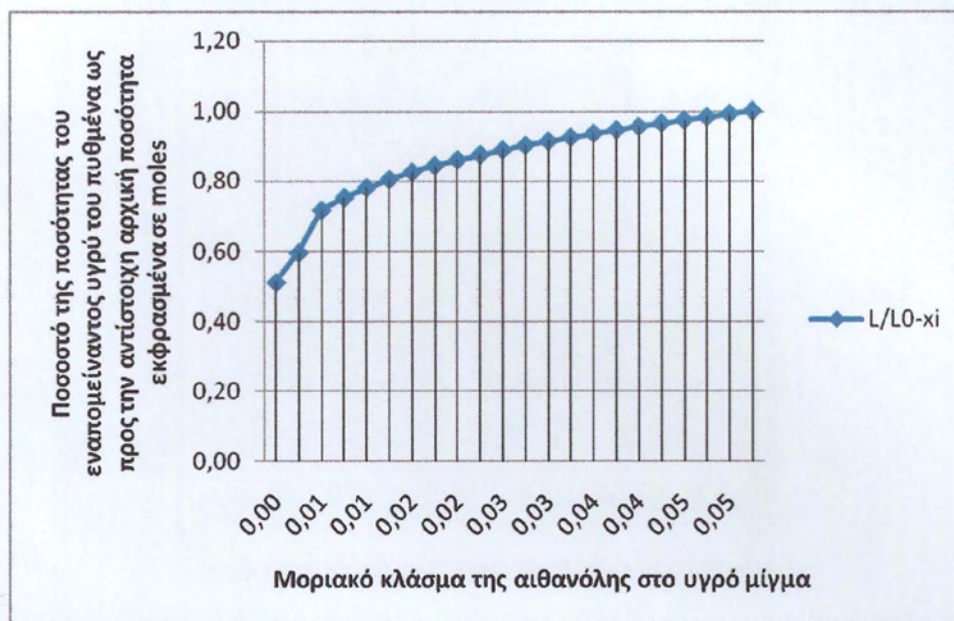
Ποσοστό της ποσότητας του εναπομείναντος υγρού πυθμένα προς την αντίστοιχη αρχική ποσότητα εκφρασμένα σε moles L/L0	Σχετική πετρεχτικότητα της αιθανόλης με το νερό γύρω από την περιοχή του αντίστοιχου μοριακού κλάσματος α12	Το αρχικό μοριακό κλάσμα της αιθανόλης στο υγρό μίγμα που θεωρείται σε κάθε νέο υπολογισμό του L/L0 μεταξύ δύο συνεχόμενων xi, x0	Ποσοστό της ποσότητας του υπολείματος υγρού στο προηγούμενο σημείο προς την αντίστοιχη αρχική ποσότητα υγρού μίγματος εκφρασμένα σε moles L0/L0	Μοριακό κλάσμα της αιθανόλης στο υγρό μίγμα στο σημείο k, xi	Ποσοστό της ποσότητας του παραγμένου αερίου μίγματος σε σχέση με την αρχική ποσότητα του υγρού μίγματος εκφρασμένα σε moles V/L0	Μοριακό κλάσμα της αιθανόλης στο παραγόμενο αέριο μίγμα στο σημείο k, y	Μοριακό κλάσμα της αιθανόλης στο παραγόμενο αέριο μίγμα στο σημείο i, ytotal
0,51	7,04	0,0025	0,60	0,0010	0,49	0,0070	0,1116
0,60	7,13	0,0050	0,67	0,0025	0,40	0,0175	0,1326
0,72	7,37	0,0100	0,75	0,0075	0,28	0,0528	0,1755
0,75	7,54	0,0125	0,78	0,0100	0,25	0,0708	0,1918
0,78	7,70	0,0150	0,80	0,0125	0,22	0,0888	0,2065
0,80	7,87	0,0175	0,83	0,0150	0,20	0,1070	0,2200
0,83	8,03	0,0200	0,84	0,0175	0,17	0,1251	0,2324
0,84	8,19	0,0225	0,86	0,0200	0,16	0,1433	0,2441
0,86	8,36	0,0250	0,88	0,0225	0,14	0,1613	0,2550
0,88	8,52	0,0275	0,89	0,0250	0,12	0,1793	0,2654
0,89	8,69	0,0300	0,90	0,0275	0,11	0,1972	0,2751
0,90	8,85	0,0325	0,91	0,0300	0,10	0,2149	0,2843
0,91	8,93	0,0350	0,92	0,0325	0,09	0,2308	0,2928
0,92	9,01	0,0375	0,94	0,0350	0,08	0,2463	0,3011
0,94	9,09	0,0400	0,95	0,0375	0,06	0,2616	0,3091
0,95	9,17	0,0425	0,96	0,0400	0,05	0,2765	0,3168
0,96	9,25	0,0450	0,97	0,0425	0,04	0,2912	0,3243
0,97	9,34	0,0475	0,97	0,0450	0,03	0,3055	0,3316
0,97	9,42	0,0500	0,98	0,0475	0,03	0,3195	0,3387
0,98	9,50	0,0525	0,99	0,0500	0,02	0,3333	0,3456
0,99	9,58	0,0550	1,00	0,0525	0,01	0,3467	0,3523
1,00	9,66	0,0550	1,00	0,0550	0,00	0,3599	

Πίνακας 3 – Τιμές από τα αποτελέσματα των υπολογισμών στοexcel

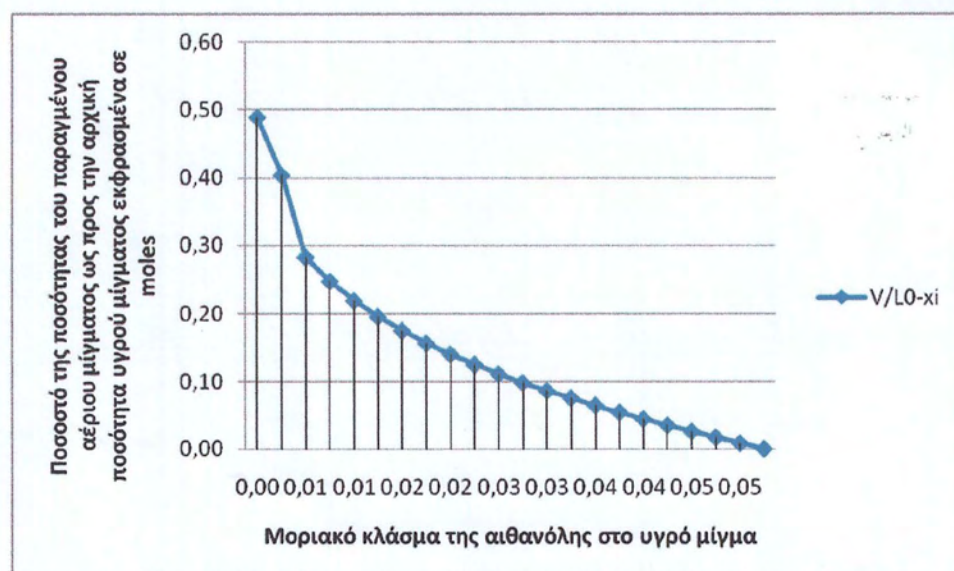
παράγωγος της ποσότητας του ατμού που παράγεται ανηγμένης προς την αρχική ποσότητα του υγρού εκφρασμένα σε moles, ως προς το μοριακό κλάσμα της αιθανόλης στο υγρό του πυθμένα $ \delta(V/L_0)/\delta x_i $	Μοριακό κλάσμα της αιθανόλης στο υγρό μίγμα στο σημείο k, xi	παράγωγος της ποσότητας του ατμού που παράγεται ανηγμένης προς την αρχική ποσότητα του υγρού εκφρασμένα σε moles, ως προς το μοριακό κλάσμα της αιθανόλης στο τρέχον παραγόμενο αέριο μίγμα, $ \delta(V/L_0)/\delta y_i $	Μοριακό κλάσμα της αιθανόλης στο παραγόμενο αέριο μίγμα στο σημείο k, yi	παράγωγος της ποσότητας του ατμού που παράγεται ανηγμένης προς την αρχική ποσότητα του υγρού εκφρασμένα σε moles, ως προς το μοριακό κλάσμα της αιθανόλης στο συνολικό παραγόμενο αέριο μίγμα, $ \delta(V/L_0)/\delta y_{total} $	Μοριακό κλάσμα της αιθανόλης στο παραγόμενο αέριο μίγμα στο σημείο k, ytotal
56,58	0,0010	8,05	0,0070	4,03	0,1326
18,92	0,0050	2,65	0,0350	2,49	0,1755
14,12	0,0075	1,96	0,0528	2,16	0,1919
11,36	0,0100	1,57	0,0708	1,94	0,2065
9,55	0,0125	1,32	0,0888	1,78	0,2200
8,27	0,0150	1,14	0,1070	1,66	0,2324
7,31	0,0175	1,01	0,1251	1,57	0,2441
6,57	0,0200	0,91	0,1433	1,50	0,2550
5,98	0,0225	0,83	0,1613	1,45	0,2654
5,50	0,0250	0,77	0,1793	1,41	0,2751
5,10	0,0275	0,72	0,1972	1,39	0,2843
4,76	0,0300	0,75	0,2149	1,39	0,2928
4,51	0,0325	0,72	0,2308	1,36	0,3011
4,29	0,0350	0,70	0,2463	1,34	0,3091
4,10	0,0375	0,69	0,2616	1,33	0,3168
3,93	0,0400	0,67	0,2765	1,31	0,3243
3,79	0,0425	0,66	0,2912	1,30	0,3316
3,65	0,0450	0,65	0,3055	1,29	0,3387
3,54	0,0475	0,64	0,3195	1,28	0,3456
3,43	0,0500	0,64	0,3333	1,27	0,3523
3,34	0,0525	0,63	0,3467		

Πίνακας 4 – Τιμές από τα αποτελέσματα των υπολογισμών στοexcel

Τα αντίστοιχα διαγράμματα που προκύπτουν από αυτά τα δεδομένα παρατίθενται παρακάτω.



Διάγραμμα 4 - $L/L_0 - x_i$ ποσότητας εναπομείναντος υγρού ως προς την ποσότητα της αρχικής ποσότητας υγρού εκφρασμένα σε moles, συναρτήσει του μοριακού κλάσματος της αιθανόλης σε αυτό.



Διάγραμμα 5 - $V/L_0 - x_i$ ποσοστού της ποσότητας αερίου μίγματος που παράχθηκε ως προς την ποσότητα της αρχικής ποσότητας υγρού μίγματος εκφρασμένα σε moles, συναρτήσει του μοριακού κλάσματος της αιθανόλης στο εναπομένον υγρό μίγμα

Παρατηρώντας τα διαγράμματα αυτά, εκτιμούμε πως η συμπεριφορά του V και του L συναρτήσεως του x_i είναι σχεδόν γραμμική για την υπό εξεταζόμενη περιοχή. Επίσης παρατηρούμε πως στις τιμές όπου το x_i μειώνεται κάτω από την τιμή 0,02 το V

αρχίζει να αυξάνεται με όλο και πιο γρήγορους ρυθμούς, ενώ το L αρχίζει να πέφτει με συνεχώς αυξανόμενο ρυθμό. Αυτό είναι και το λογικό στην ισορροπία εφόσον δεν γίνεται να εξατμιστεί όλη η ποσότητα της αιθανόλης πριν τελειώσει το υγρό στον πυθμένα του βραστήρα.



Διάγραμμα 6 - V_i/L_0-y_i , ποσοστού της ποσότητας αερίου μίγματος που παράχθηκε ως προς την ποσότητα της αρχικής ποσότητας υγρού μίγματος εκφρασμένα σε moles, συναρτήσει του μοριακού κλάσματος της αιθανόλης στο τρέχον παραγόμενο αέριο μίγμα



Διάγραμμα 7 - V_i/L_0-y_{total} , ποσοστού της ποσότητας αερίου μίγματος που παράχθηκε ως προς την ποσότητα της αρχικής ποσότητας υγρού μίγματος εκφρασμένα σε moles, συναρτήσει του μοριακού κλάσματος της αιθανόλης στο συνολικό παραγόμενο αέριο μίγμα

Χρησιμοποιώντας το διάγραμμα V_i-y_i και το V_i-y_{total} , μπορούμε να ξέρουμε εκ των προτέρων τι ποσότητα θα παραχθεί και πόση θα είναι η περιεκτικότητά της σε αιθανόλη, με δεδομένο ότι η απόσταξη σταματάει όταν το τρέχον απόσταγμα έχει περιεκτικότητα σε αιθανόλη περίπου 30 % κατ' όγκον. Ο μετασχηματισμός αυτής της ποσότητας σε μάζα προς μάζα έχει ως εξής:

$$(30 \cdot 789(\text{kg/m}^3)) / (30 \text{m}^3 \cdot 789(\text{kg/m}^3) + 70 \text{m}^3 \cdot 1000(\text{kg/m}^3)) = 0,25$$

όπου: 789kg/m^3 η πυκνότητα της αιθανόλης σε 1 atm

1000kg/m^3 η πυκνότητα του νερού σε 1 atm

Ο μετασχηματισμός αυτής της ποσότητας σε moles προς moles έχει ως εξής:

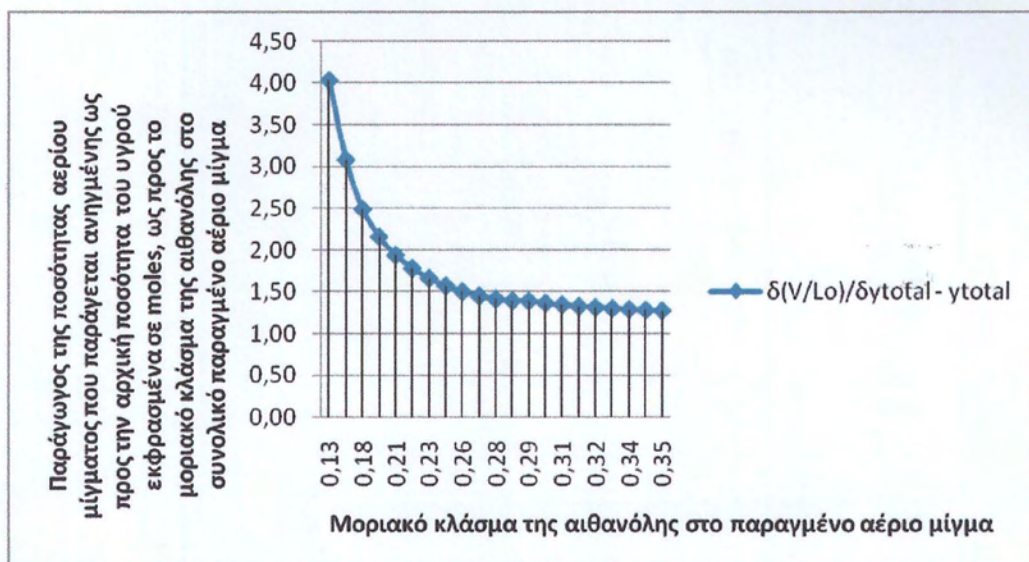
$$0,25 \text{g} / 46(\text{g/mol}) / (0,25 \text{g} / 46(\text{g/mol}) + 0,75 \text{g} / 18(\text{g/mol})) = 0,115384$$

Χρησιμοποιώντας το διάγραμμα V_i-y_i , παρατηρούμε σε αυτήν την περίπτωση το απόσταγμα θα είναι το 1/5 της συνολικής αρχικής ποσότητας σε moles προς απόσταξη. Επίσης παρατηρούμε στο διάγραμμα V_i-y_{total} ότι η περιεχόμενη αιθανόλη σε ένα απόσταγμα, το οποίο είναι ένα κλάσμα περίπου 0,2/1 της αρχικής τροφοδοσίας, είναι γύρω στο 0,22 moles προς moles.

Ένα ακόμη χρήσιμο διάγραμμα είναι αυτό που περιγράφει την ποσότητα που παράγεται καθώς το ποσοστό της αιθανόλης στην τροφοδοσία ή στο απόσταγμα ή ακόμη και του τρέχοντος παραγόμενου ατμού μειώνεται κατά ένα μικρό ποσό.



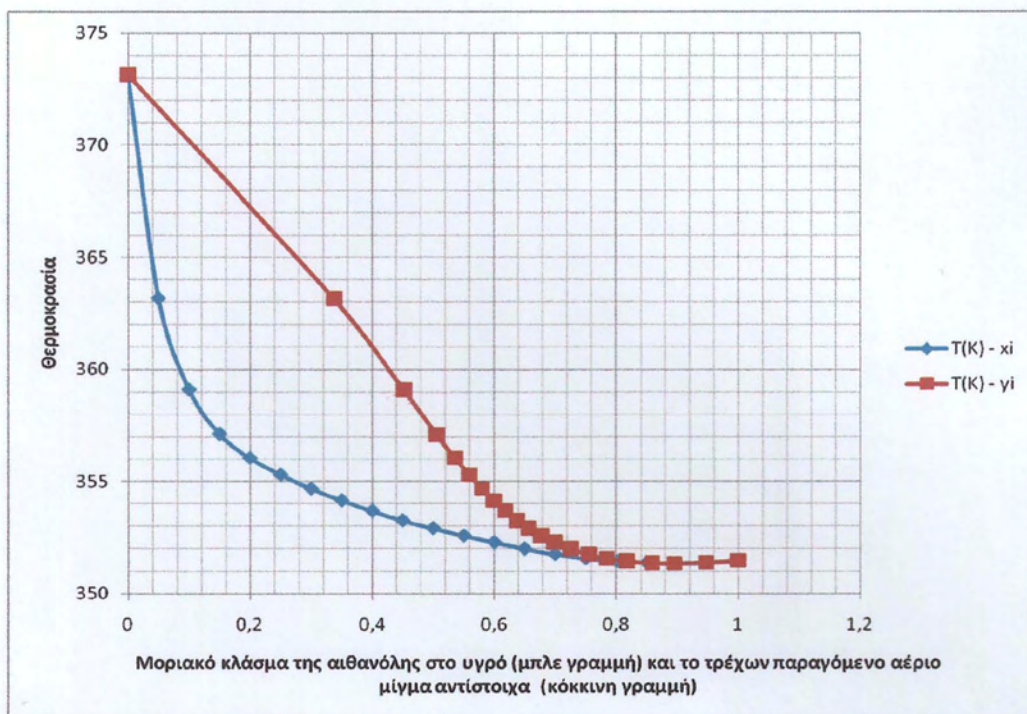
Διάγραμμα 8 - $\delta(V_i/L_o)/\delta x_i - x_i$ παραγώγου της ποσότητας του ατμού που παράγεται ανηγμένης προς την αρχική ποσότητα υγρού εκφρασμένα σε moles, ως προς το μοριακό κλάσμα της αιθανόλης στο υπολειμματικό υγρό μίγμα συναρτήσει του μοριακού κλάσματος της αιθανόλης στο υπολειμματικό υγρό μίγμα



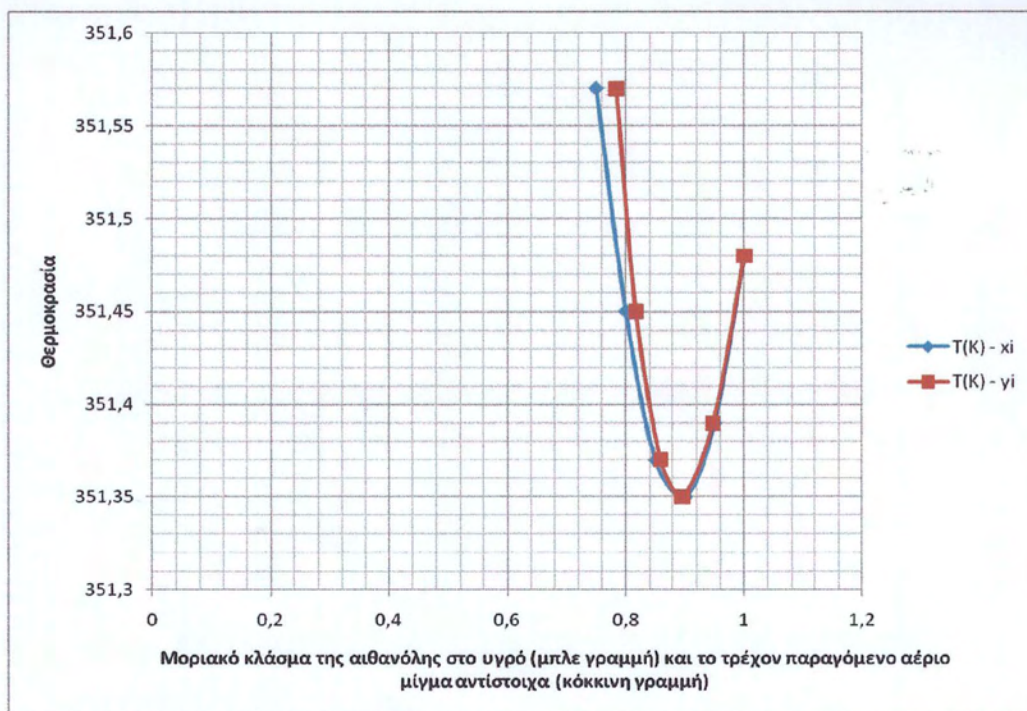
Μία άλλη χρήσιμη συσχέτιση δεδομένων είναι αυτή της θερμοκρασίας με τις συστάσεις στην υγρή και αέρια φάση αντίστοιχα. Με κάποια δεδομένα από τον παρακάτω πίνακα, δημιουργείται το διάγραμμα θερμοκρασιών συστάσεων σε 1 atm.

x_i	y_i	$T(K)$
0,0000	0	373,15
0,0500	0,3372	363,15
0,1000	0,4521	359,08
0,1500	0,5056	357,12
0,2000	0,5359	356,05
0,2500	0,5589	355,29
0,3000	0,5794	354,67
0,3500	0,5987	354,14
0,4000	0,6177	353,67
0,4500	0,6371	353,25
0,5000	0,6558	352,9
0,5500	0,6765	352,57
0,6000	0,6986	352,28
0,6500	0,725	352
0,7000	0,755	351,75
0,7500	0,784	351,57
0,8000	0,8167	351,45
0,8500	0,8591	351,37
0,9000	0,8959	351,35
0,9500	0,9474	351,39
1,0000	1	351,48

Πίνακας 5 – τιμές της θερμοκρασίας σε κάποιες τιμές των μοριακών κλασμάτων της αιθανόλης στο υγρό και αέριο μίγμα αντίστοιχα



Διάγραμμα 11 - Θερμοκρασίας ανά μοριακό κλάσμα της αιθανόλης στο υγρό και αέριο μίγμα αντίστοιχα



Διάγραμμα 12 - Θερμοκρασίας ανά μοριακό κλάσμα της αιθανόλης στο υγρό και αέριο μίγμα αντίστοιχα στην περιοχή 0,8-1.

3.3 Ενεργειακοί υπολογισμοί

3.3.1 Υπολογισμοί της ενέργειας και του παράγωγου χρόνου στην απόσταξη

Η ενέργεια που προσδίδουμε στο υπό απόσταξη υγρό είναι καθορίζει και τον χρόνο που τελούνται αυτές οι διεργασίες. Η εξίσωση ενέργειας που συνδέει τα μοριακά κλάσματα με τον χρόνο και την προσφερόμενη ενέργεια αναλύεται παρακάτω.

-Ισοζύγιο ενέργειας

$$V_i/L_0 * [\gamma_i * h_{\alpha\theta} + (1-\gamma_i) * h_{\nu\epsilon\rho}] + L_0/L_0 * [c_{p\alpha\theta} * x_i + c_{p\nu\epsilon\rho} * (1-x_i)] * \delta T = E \quad (10)$$

Όπου: V_i/L_0	ποσότητα του παραγόμενου ατμού στην περιοχή που μελετάμε ανηγμένη προς την συνολική ποσότητα του αρχικού υγρού εκφρασμένα σε moles
γ_i, x_i	η σύσταση της αιθανόλης στο υγρό και αέριο μίγμα αντίστοιχα εκφρασμένα σε γραμμομοριακά κλάσματα
$h_{\alpha\theta}, h_{\nu\epsilon\rho}$	οι ενθαλπίες εξάτμισης της αιθανόλης και του νερού υπολογισμένες στην σύσταση που βρίσκονται στο αέριο μίγμα κάθε φορά
$c_{p\alpha\theta}, c_{p\nu\epsilon\rho}$	οι συντελεστές θερμοχωρητικότητας των υγρών αιθανόλης και νερού
δT	η διαφορά θερμοκρασίας βρασμού του υγρού λόγω μείωσης της σύστασης της αιθανόλης σε αυτό
E	η ενέργεια που απαιτείται ώστε να εξατμιστεί λόγω βρασμού ένα μέρος ατμού που είναι υπό εξέταση κάθε φορά

και ειδικότερα: $V_i/L_0 * [\gamma_i * h_{\alpha\theta} + (1-\gamma_i) * h_{\nu\epsilon\rho}]$ ενέργεια λόγω εξάτμισης του μέρους του παραγόμενου ατμού που μελετάμε
 $[c_{p\alpha\theta} * x_i + c_{p\nu\epsilon\rho} * (1-x_i)] * \delta T$ ενέργεια λόγω αύξησης της θερμοκρασίας του υγρού

Με περαιτέρω ανάλυση, η (10) τροποποιείται ως εξής:

$$(10) \rightarrow V_i/L_0 * [\gamma_i * h_{\alpha\theta} + (1-\gamma_i) * h_{\nu\epsilon\rho}] + [c_{p\alpha\theta} * x_i + c_{p\nu\epsilon\rho} * (1-x_i)] * \delta T = (E/\delta t) * \delta t \quad (11)$$

Όμως η ενέργεια που προσδίδεται στον βραστήρα ανά μονάδα χρόνου και μολαρχικού υγρού είναι σταθερή και ρυθμίζεται από τον ενδεχόμενο αποσταγματοποιό. Έτσι $(E/\delta t)=c$

Άρα έχουμε ότι:

$$(11) \rightarrow V_i/L_0 * [y_i * h_{αιθ} + (1-y_i) * h_{νερ}] + [c_{pαιθ} * x_i + c_{pνερ} * (1-x_i)] * \delta T = c * \delta t \rightarrow$$

$$\Delta t = \{V_i/L_0 * [y_i * h_{αιθ} + (1-y_i) * h_{νερ}] + [c_{pαιθ} * x_i + c_{pνερ} * (1-x_i)] * \delta T\} / c. \quad (12)$$

Για την χρησιμοποίηση της σχέσεως 11 και την εξαγωγή αποτελεσμάτων πρέπει πρώτα να υπολογιστούν οι ενθαλπίες εξάτμισης των δύο συστατικών στην θερμοκρασία που υπολογίζεται η παραπάνω σχέση. Αυτό γίνεται μέσω των σχέσεων 13 και 14.

$$h_{εξάτμισης νερού}(T) = h_{εξάτμισης νερού}(T=373,15K) + (c_{pυγρού νερού} - c_{pαέριου νερού}) * (373,15K - T) \quad (13)$$

$$h_{εξάτμισης αιθανόλης}(T) = h_{εξάτμισης αιθανόλης}(T=373,15K) + (c_{pυγρής αιθανόλης} - c_{pαέριας αιθανόλης}) * (373,15K - T) \quad (14)$$

Οι σχέσεις από (13) και (14) προκύπτουν σύμφωνα με την ικανοποίηση του ισοζυγίου ενέργειας. Για παράδειγμα η συνολική ενθαλπία του ατμού του νερού στους 383,15K θεωρώντας $h=0$ στους 363,15K θα είναι ίδια για δύο διαφορετικές συστάσεις υγρού σε αιθανόλη, όπως για $x_i=0$ και $x_i=0,05$. Για κάθε μία από τις παραπάνω συστάσεις υπολογίζουμε την συνολική ενθαλπία του νερού στους 373,15, θεωρώντας ότι στους 363,15 K η ενθαλπία τους είναι μηδέν.

Συγκεκριμένα η ενθαλπία εξάτμισής τους προκύπτει από τον τύπο (13), όπου:

Για $x_i=0$ και $T=383,15$

Για $x_i=0$ το νερό εξατμίζεται στους 373,15K

$$h_{εξάτμισης νερού}(T) = h_{εξάτμισης νερού}(T=373,15K) + (c_{pυγρού νερού} - c_{pαέριου νερού}) * (373,15K - T) \rightarrow$$

$$h_{εξάτμισης νερού}(T=373,15K) = 40680 \text{ J/mol}$$

$$h_{νερού}(T) = c_{pυγρού νερού} * (373,15K - 363,15K) + h_{εξάτμισης νερού}(373,15K) + c_{pαέριου νερού} * (T - 373,15K) \rightarrow$$

$$h_{νερού}(383,15K) = 75,327 * (373,15K - 363,15K) + 40680 \text{ (J/mol)} + 37,47 \text{ (J/molK)} * (383,15 - 373,15)$$

$$h_{νερού}(383,15K) = 41807,27 \text{ J/mol}$$

Για $x_i=0,05$ και $T=383,15$

Για $x_i=0,05$ το νερό εξατμίζεται στους 363,15K

$$h_{εξάτμισης νερού}(T) = h_{εξάτμισης νερού}(T=373,15K) + (c_{pυγρού νερού} - c_{pαέριου νερού}) * (373,15K - T) \rightarrow$$

$$h_{εξάτμισης νερού}(T=363,15K) = 40680 \text{ J/mol} + (75,327 \text{ (J/molK)} - 37,47 \text{ (J/molK)}) * (373,15K -$$

363,15K) →

$$h_{\text{εξάτμισης νερού}}(T=363,15\text{K})=41058,57\text{J/mol}$$

$$h_{\text{νερού}}(T) = h_{\text{εξάτμισης νερού}}(363,15\text{K}) + c_{p\text{αέριου νερού}} \cdot (T-363,15\text{K}) \rightarrow$$

$$h_{\text{νερού}}(383,15\text{K}) = 41058,57\text{J/mol} + 37,47(\text{J/molK}) \cdot (383,15-363,15) \rightarrow$$

$$h_{\text{νερού}}(383,15\text{K}) = 41807,97\text{J/mol}$$

Παρατηρούμε ότι η ενθαλπία του νερού στους 383,15K, θεωρώντας ότι η ενθαλπία του είναι μηδέν στους 363,15K, διαφέρει κατά 0,4J/mol, το οποίο οφείλεται στην απαλοιφή από τις πράξεις πάνω των δύο δεκαδικών. Αν διατηρούνταν όλοι οι δεκαδικοί, τότε οι τιμές θα ήταν ίδιες. Έτσι αποδεικνύεται μέσω της διατήρησης της ενέργειας ότι οι τύποι (13) και (14) έχουν ισχύ.

Επίσης όσον αφορά το c, η τιμή του προήλθε από αναγωγική σκέψη. Συγκεκριμένα η απόσταξη, από την στιγμή που ξεκινάει ο βρασμός, χρειάζεται περίπου 5 ώρες για να τελειώσει, ξεκινώντας από $x_i=0,055$ και τελειώνοντας σε $x_i=0,016$ οπότε η συνολική ενέργεια ανά mol αρχικής ποσότητας του υγρού που χρειάζεται είναι περίπου:

$$\begin{aligned} E &= V_{\text{final}}/L_0 \cdot [0,22 \cdot h_{\text{εξάτμισης αιθανόλης}} (y_{\text{total}}=0,22) + 0,78 \cdot h_{\text{εξάτμισης νερού}} (y_{\text{total}}=0,22)] \\ &+ (0,055 \cdot c_{p\text{υγρής αιθανόλης}} + 0,945 \cdot c_{p\text{υγρού νερού}}) \cdot (370,37\text{K}-362,60\text{K}) \\ &= 8424,2660 \text{ J/mol} \end{aligned}$$

Το πρώτο κομμάτι στην πρώτη σειρά δίνει περίπου την ενέργεια ανά mol αρχικής ποσότητας υγρού που χρειάστηκε για να αεριοποιηθεί το απόσταγμα, ενώ το δεύτερο δίνει περίπου την αντίστοιχη που χρειάστηκε το υγρό για να φτάσει από τους 362,6K -που ξεκινάει η απόσταξη- έως τους 370,3K -που τελειώνει η απόσταξη.

Οπότε το c που είναι ενέργεια προς χρόνο και ποσότητα αρχικού υγρού θα είναι:

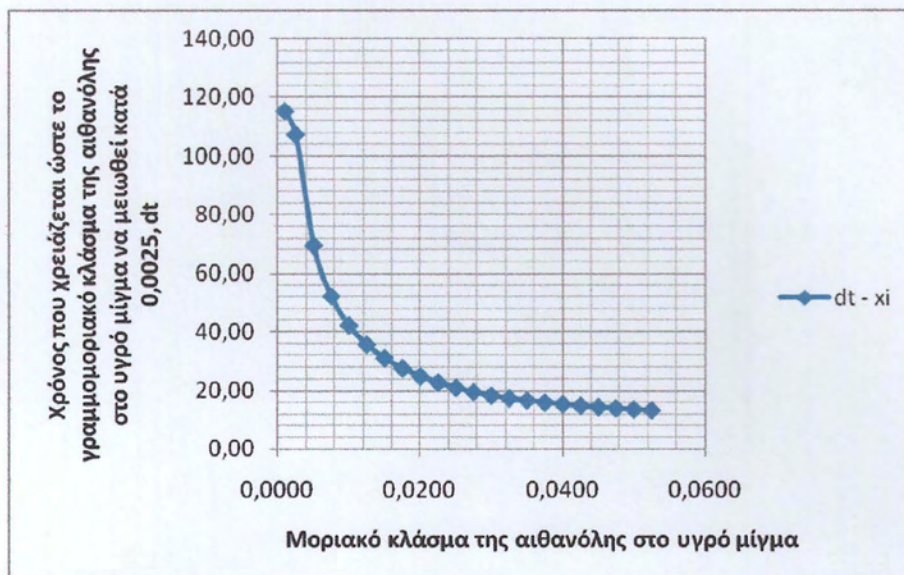
$$c = E/t_{\text{συνολικό}} \rightarrow c = 8424,2660 \text{ J/mol} / 5 \cdot 60(\text{min}) \rightarrow c = 28,0809 \text{ J/mol} \cdot \text{min}$$

Οι υπολογισμοί των σχέσεων (12), (13) και (14) γίνονται ανά επιλεγμένη σύσταση υγρού στο excel και τα αποτελέσματά τους παρατίθενται στον παρακάτω πίνακα.

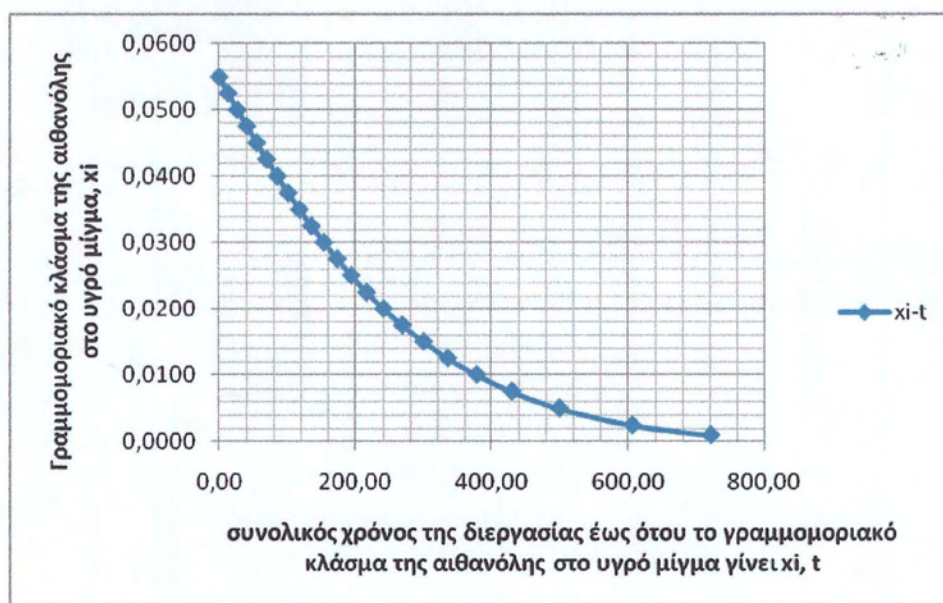
ΔΕΔΟ	SPARE-ΠΛ	SP-ΠΛ	Κ	Μοριακό κλάσμα της αβανόλης στο υγρό	Μοριακό κλάσμα της αβανόλης στο παραχμένο αέριο	Μοριακό κλάσμα της αβανόλης στο αέριο μίγμα	Θερμοκρασία όταν το γραμμομοριακό κλάσμα της αβανόλης στο αέριο μίγμα υπολογιστεί είναι Κ, γ	Ενθαλπία εξάτμισης αβανόλης	Ενθαλπία εξάτμισης νερού	Η ποσότητα αερίου μίγματος που παραχθηκε από όταν το γραμμομοριακό κλάσμα της αβανόλης στο υγρό μίγμα ήταν Χ-1 εφόσον αυτή είναι Χ, V(X-1)	Ποσοστό της ποσότητας του εναπομεινάντος υγρού που βρέθηκε προς την αρχική ποσότητα εναπομεινάντος	Ο υγρός που χημάστηκε ώστε το γραμμομοριακό κλάσμα της αβανόλης στο αέριο μίγμα από Χ-1 είναι Χ, ατ	Ο συνολικός υγρός της διαφοράς μέχρι στο το γραμμομοριακό κλάσμα της αβανόλης στο υγρό μίγμα να είναι Χ, ε(μτ)
23	0.0010	0.0070	0.1146	372.80	37897.72	40680.00	0.0849	0.5137	115.22	721.72			
22	0.0025	0.0175	0.1326	372.80	37841.08	40683.79	0.0734	0.5965	107.26	606.51			
21	0.0050	0.0350	0.1466	372.31	37887.47	40702.17	0.0472	0.6700	69.41	499.45			
20	0.0075	0.0525	0.1755	371.82	37873.85	40720.56	0.0351	0.7173	51.10	429.81			
19	0.0100	0.0700	0.1819	371.34	37890.22	40738.95	0.0284	0.7526	42.12	377.70			
18	0.0125	0.0888	0.2065	370.86	37906.60	40757.34	0.0239	0.7810	35.58	325.58			
17	0.0150	0.1070	0.2200	370.37	37922.98	40775.72	0.0207	0.8049	30.96	300.00			
16	0.0175	0.1251	0.2224	369.89	37939.36	40794.11	0.0183	0.8295	27.51	269.04			
15	0.0200	0.1432	0.2441	369.40	37955.72	40812.50	0.0164	0.8428	24.82	241.54			
14	0.0225	0.1613	0.2550	368.91	37972.12	40830.89	0.0149	0.8602	22.70	216.71			
13	0.0250	0.1793	0.2654	368.42	37988.48	40849.27	0.0137	0.8752	20.96	194.01			
12	0.0275	0.1972	0.2751	367.94	38004.87	40867.66	0.0127	0.8889	19.52	173.05			
11	0.0300	0.2149	0.2843	367.46	38021.25	40886.05	0.0119	0.9017	18.20	152.52			
10	0.0325	0.2308	0.2928	366.97	38037.63	40904.44	0.0112	0.9135	17.10	135.23			
9	0.0350	0.2463	0.3011	366.49	38054.01	40922.83	0.0107	0.9248	16.62	117.83			
8	0.0375	0.2616	0.3091	366.00	38070.39	40941.21	0.0103	0.9356	15.95	101.50			
7	0.0400	0.2765	0.3168	365.51	38086.76	40959.60	0.0098	0.9458	15.25	85.26			
6	0.0425	0.2912	0.3243	365.02	38103.14	40977.99	0.0095	0.9556	14.82	69.51			
5	0.0450	0.3055	0.3316	364.54	38119.52	40996.38	0.0091	0.9651	14.35	55.08			
4	0.0475	0.3195	0.3387	364.06	38135.90	41014.76	0.0088	0.9742	13.94	40.72			
3	0.0500	0.3333	0.3456	363.57	38152.28	41033.15	0.0086	0.9831	13.56	26.79			
2	0.0525	0.3467	0.3523	363.09	38168.66	41051.54	0.0083	0.9917	13.22	12.52			
1	0.0550	0.3598		362.60	38185.05	41069.93		1.0000		0.00			

Πίνακας 6 – αποτελέσματα των υπολογισμών στο excel

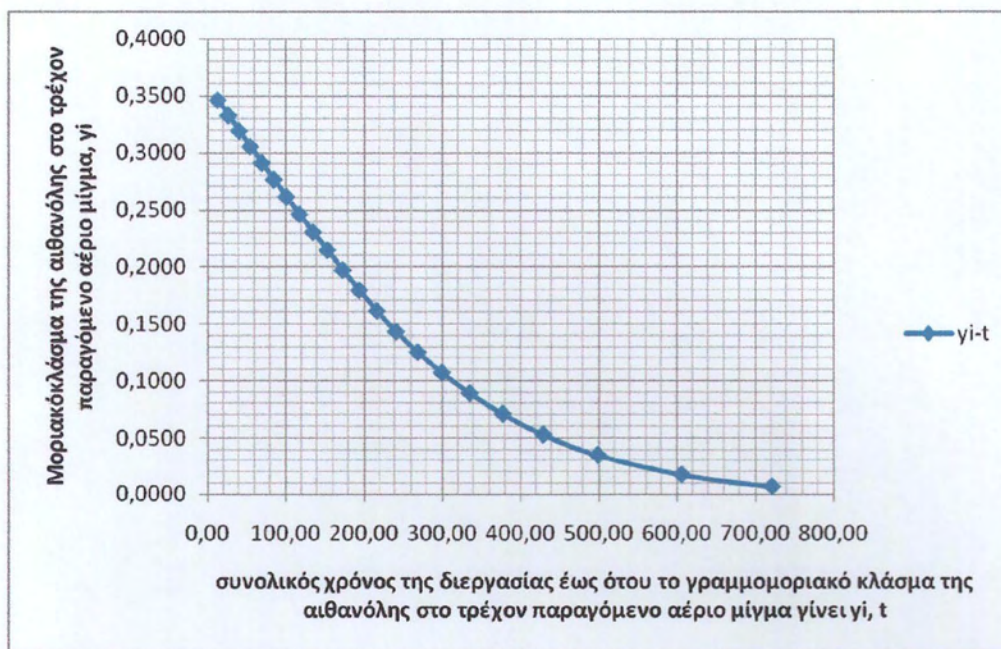
Τα αντίστοιχα διαγράμματα με συνάρτηση τον χρόνο που προκύπτουν από τα αποτελέσματα του παραπάνω πίνακα παρατίθενται παρακάτω.



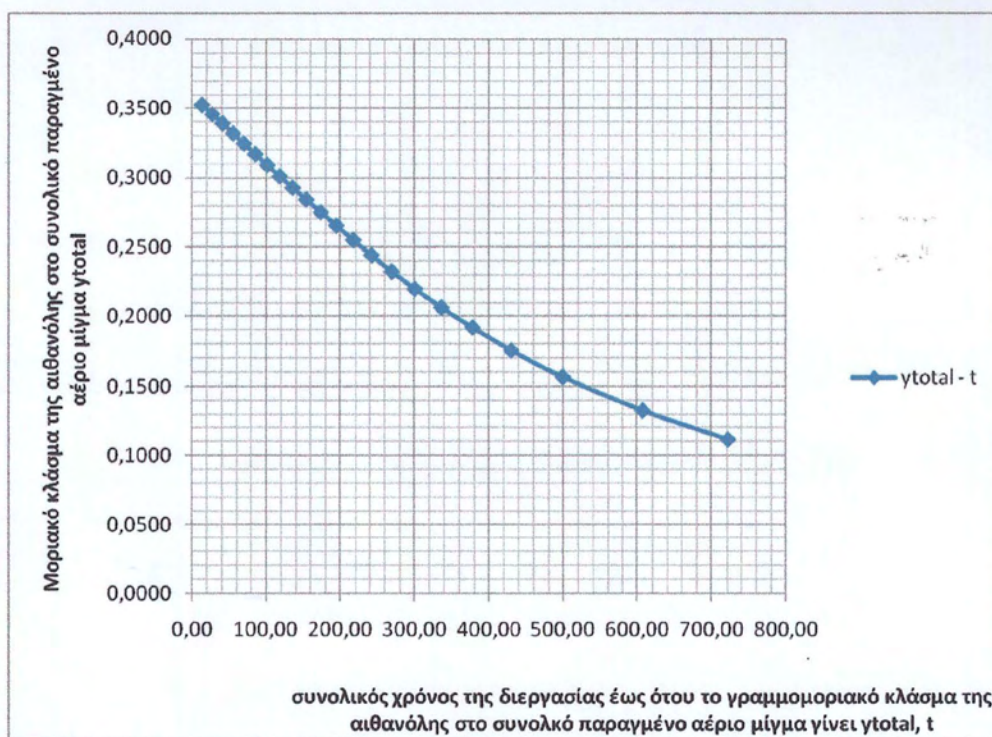
Διάγραμμα 13 - χρόνου που χρειάζεται για να μειωθεί το μοριακό κλάσμα της αιθανόλης στο υγρό μίγμα κατά 0,0025 συναρτήσει του μοριακού κλάσματος της αιθανόλης στο υγρό μίγμα



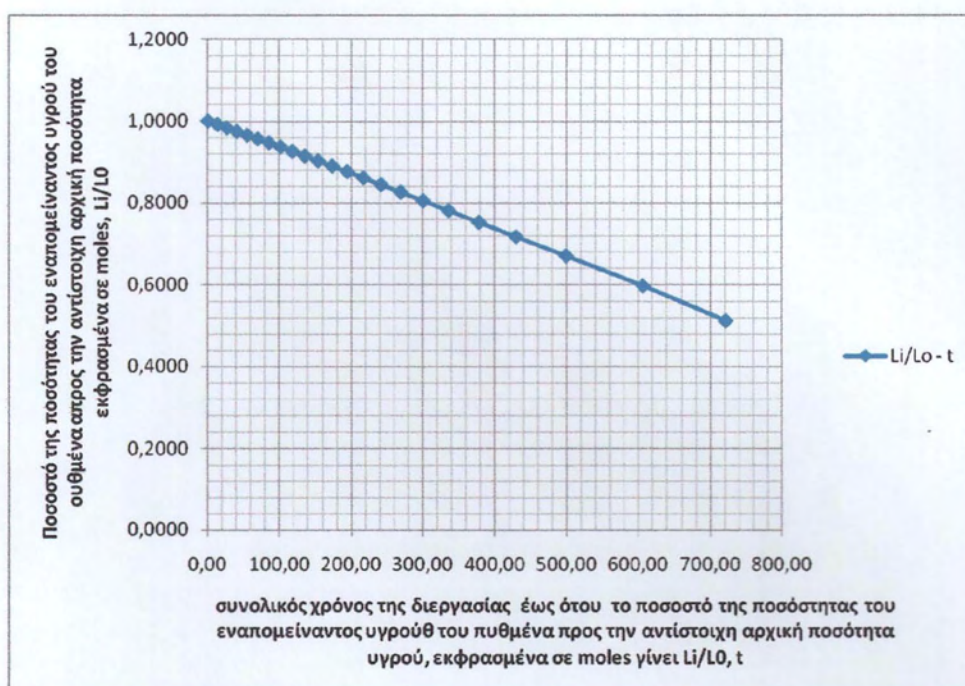
Διάγραμμα 14—συνολικού χρόνου συναρτήσει του μοριακού κλάσματος της αιθανόλης στο υγρό μίγμα



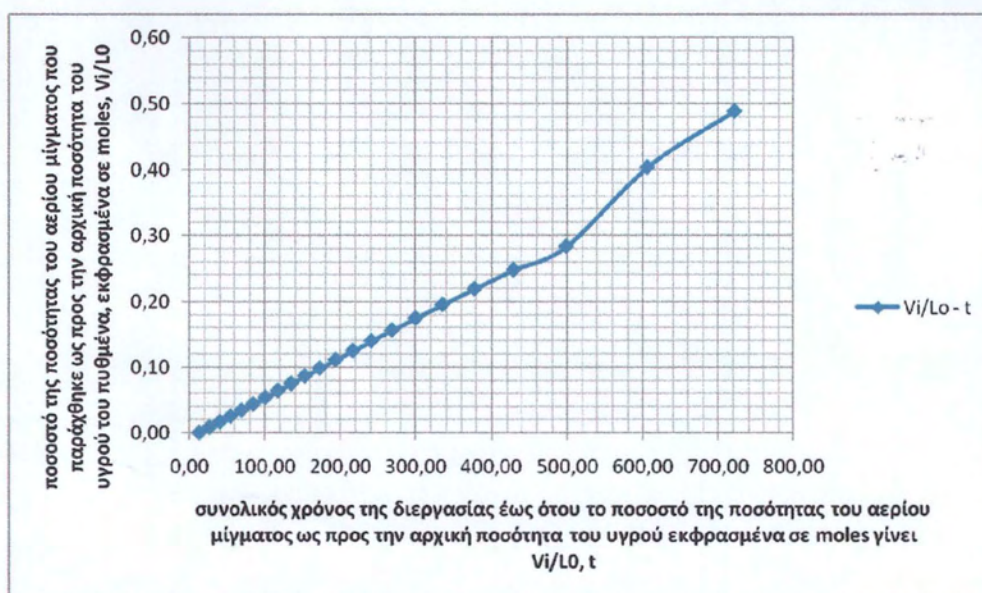
Διάγραμμα 15—του μοριακού κλάσματος της αιθανόλης στο τρέχον παραγόμενο αέριο μίγμα συναρτήσει του συνολικού χρόνου της διεργασίας



Διάγραμμα 16—μοριακού κλάσματος της αιθανόλης στο συνολικό παραγόμενο αέριο μίγμα συναρτήσει του συνολικού χρόνου της διεργασίας



Διάγραμμα 17 – ποσότητας εναπομείναντος υγρού ως προς την ποσότητα της αρχικής ποσότητας υγρού εκφρασμένα σε moles, συναρτήσεως του συνολικού χρόνου της διεργασίας



Διάγραμμα 18 – ποσότητας του παραγμένου αέριου μίγματος ως προς την αρχική ποσότητα υγρού εκφρασμένα σε moles, συναρτήσεως του συνολικού χρόνου της διεργασίας

3.3.2 Γενικοί υπολογισμοί ενέργειας των απορρευμάτων και τρόποι εκμετάλλευσής τους

Κατά την ψύξη του αποστάγματος, το νερό που χρησιμοποιείται ως ψυκτικό την απορροφά την απαιτούμενη ενέργεια ώστε το απόσταγμα να υγροποιηθεί και να φτάσει την θερμοκρασία του νερού εισαγωγής του ψυκτήρα που είναι περίπου 20 βαθμούς Κελσίου. Η θερμική ενέργεια του υγρού στην έξοδο του ψύκτη δεν αξιοποιείται ώστε να μειωθεί το κόστος της παραγωγής. Επίσης αναξιοποίητη καταλήγει και η ενέργεια των καυσαερίων καθώς και του υπολείμματος του καζανιού. Σε αυτήν την ενότητα θα υπολογιστούν οι αξιοποιήσιμες θερμικές ενέργειες των απορρευμάτων αυτών.

Συγκεκριμένα για το υπολογισμό της αξιοποιήσιμης ενέργειας θεωρούμε ότι ο σωλήνας που συνδέει το βραστήρα με τον ψυκτήρα- ο οποίος λέγεται τόξο-, ο ψυκτήρας και τα τοιχώματα που περιβάλλουν τον χώρο της καύσης γύρω από το καζάνι είναι ιδανικά μονωμένα.

Οι συνηθισμένοι βραστήρες μιας μικρής αποσταγματοποιίας έχουν χωρητικότητα γύρω στα 800 λίτρα πρώτης ύλης. Οπότε τα $0,8 \text{ m}^3$ είναι:

$$0,055 * 0,8 \text{ m}^3 * 789(\text{kg}/\text{m}^3) / 0,046(\text{kg}/\text{mol}) + 0,945 * 0,8 \text{ m}^3 * 1000(\text{kg}/\text{m}^3) / 0,018(\text{kg}/\text{mol}) = 754,69 \text{ moles} + 42000 \text{ moles} = 42754,69 \text{ moles}$$

Θεωρώντας ότι το απόσταγμα είναι περίπου το ένα πέμπτο της συνολικής πρώτης ύλης σε moles, όπως έχω υπολογίσει, προκύπτει ότι η ποσότητα του αποστάγματος είναι $42754,69/5 \text{ moles} = 8550,938 \text{ moles}$.

Η θερμική ενέργεια που απαιτείται για την απόσταξη (μέσω δεδομένων των παραπάνω πινάκων) είναι:

-από όταν ξεκινάει η απόσταξη

$$300(\text{min}/\text{mole_τροφοδοσίας}) * 28,0809(\text{J}/\text{molmin}) * 42754,69(\text{moles_τροφοδοσίας}) = 360177052,326 \text{ J} = \underline{360177,052 \text{ KJ} / \text{απόσταξη}}$$

-από όταν ξεκινήσει η θέρμανση μέχρι την αρχή της απόσταξης

$$42754,69(\text{moles_τροφοδοσίας}) * (0,055 * 112 \text{ J}/\text{molK} + 0,945 * 75,327 \text{ J}/\text{molK}) * (362 - 293) \text{ K} = \underline{391722618,48 \text{ J} / \text{απόσταξη}}$$

Εάν αξιοποιηθεί και η θερμική ενέργεια του υπολείμματος του βραστήρα η θερμική ενέργεια που μπορεί να προσφέρει είναι:

$$(42754,69 - 8550,93) \text{ moles} * (0,016 * 112 \text{ J}/\text{molK} + 0,984 * 75,327 \text{ J}/\text{molK}) * (370,37 - 293) \text{ K} = 200894013,636 \text{ J} = \underline{200894,013 \text{ KJ} / \text{απόσταξη}}$$

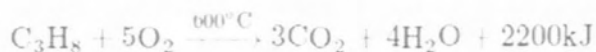
Μία συνολική εκτίμηση της καθαρής θερμικής ενέργειας που προσδίδει το απόσταγμα στο νερό του ψυκτήρα είναι η διαφορά της ενέργειας που απαιτείται για την πλήρη απόσταξη μείον την αξιοποιήσιμη θερμική ενέργεια του υπολείμματος του βραστήρα. Συνολικά δηλαδή είναι:

$$360177052,326\text{J} + 391722618,48\text{J} - 200894013,636\text{J} = \underline{551005657,170\text{J} / \text{απόσταξη}}$$

Χρησιμοποιώντας την μικρότερη δυνατή παροχή ανάλογα με τον εκάστοτε ψυκτήρα ώστε η θερμοκρασία του νερού να είναι η μέγιστη δυνατή και ως εκ τούτου μέγιστα αξιοποιήσιμη, μία τέτοια ποσότητα ενέργειας θα μπορούσε να θερμαίνει έναν μεγάλο χώρο της παραγωγής. Λαμβάνοντας υπόψη ότι οι αποσταγματοποιοί κάνουν δύο ή και τρεις αποστάξεις μέσα σε μία μέρα το εν λόγω ποσό της καθαρής θερμικής ενέργειας διπλασιάζεται ή και τριπλασιάζεται. Έτσι η ενέργεια αυτή είναι υπεραρκετή ώστε να θερμαίνεται ο χώρος της παραγωγής αλλά και να προθερμαίνεται ως έναν βαθμό η επόμενη ποσότητα προς απόσταξη.

Όσον αφορά την θερμική ενέργεια των καυσαερίων, εάν θεωρηθεί ότι γίνεται τέλεια στοιχειομετρική καύση με ιδανικά μονωμένα τοιχώματα και ότι η αξιοποίηση της ενέργειας των καυσαερίων γίνεται στον ιδανικό βαθμό που τα καυσαέρια εξέρχονται από τον θάλαμο καύσης στην θερμοκρασία που είναι και η πρώτη ύλη (μέσω δημιουργίας μακριάς διαδρομής για τα καυσαέρια μέχρι την έξοδό τους από τον χώρο όπου γίνεται η εναλλαγή θερμότητας με την πρώτη ύλη, και χρήσης μηχανισμών δημιουργίας τυρβώδους ροής) έχουμε τους εξής υπολογισμούς.

Πρώτον πρέπει να αναφερθεί πως η καύσιμη ύλη για την θέρμανση είναι το προπάνιο, το οποίο προσφέρει θερμότητα από την πλήρη καύση του ίση με 2200kJ/mol , ενώ έχει συντελεστή θερμοχωρητικότητας $c_p = 73,60\text{J/molK}$ και θερμοκρασία ανάφλεξης 600°C . Επίσης αναγκαίο δεδομένο είναι ο συντελεστής θερμοχωρητικότητας του CO_2 , που είναι το προϊόν της καύσης και ο μέσος όρος της τιμής του στις θερμοκρασίες που κυμαίνεται είναι 40J/molK . Ο μέσος όρος της θερμοκρασίας της απόσταξης στην πάροδο του χρόνου είναι περίπου $367,33\text{K}$ και προκύπτει από τον τύπο: $T_{\text{μεσο}} = \Sigma (T(x_i) \cdot dt) / t_{\text{συνολ. αποσταξης}}$



Με δεδομένο την στοιχειομετρία της παραπάνω αντίδρασης η απαραίτητη ποσότητα προπανίου για την διεργασία της θέρμανσης είναι:

$$(360177052,326\text{J} + 391722618,48\text{J}) / (2200000\text{J/mol} - 73,60\text{J/molK} \cdot ((600+273)-293)\text{K} - 5 \cdot 30\text{J/molK} \cdot ((600+273)-293)\text{K} + 3 \cdot 40\text{J/molK} \cdot ((600+273)-367,33)\text{K} + 4 \cdot 37,47\text{J/molK} \cdot ((600+273)-367,33)\text{K}) = \underline{340,72219 \text{ moles προπανίου}}$$

340,72219 moles προπανίου / 42754,69 moles τροφοδοσίας

→ 0,0079692 moles προπανίου / 1 mol τροφοδοσίας

Επίσης, μπορούμε να προχωρήσουμε τελικά στον υπολογισμό της αξιοποιήσιμης θερμικής ενέργειας των καυσαερίων, η οποία είναι:

$$3 \cdot 0,007969 \text{ moles} \cdot 40 \text{ J/molK} \cdot (367,33 - 293) \text{ K} + 4 \cdot 0,007969$$

$$\text{moles} \cdot 37,47 \text{ J/molK} \cdot (367,33 - 293) \text{ K} = \underline{159,8616 \text{ J} / 1 \text{ mol τροφοδοσίας}}$$

Ανακεφαλαιώνοντας, αναφέρω την τιμή της σπαταλούμενης θερμικής ενέργειας των απορρευμάτων συνοπτικά.

Πηγή	Θερμική ενέργεια
Νερό ψυκτήρα	$551005657,170 \text{ J} / 42754,69 \text{ moles_τροφοδοσίας}$ $= 12887,6 \text{ J} / 1 \text{ mol_τροφοδοσίας}$
Υπόλειμμα καζανιού	$200894013,636 \text{ J} / 42754,69 \text{ moles_τροφοδοσίας}$ $= 4698,75 \text{ J} / 1 \text{ mol_τροφοδοσίας}$
Καυσαέρια	$159,8616 \text{ J} / 1 \text{ mol_τροφοδοσίας}$

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

Τα αποτελέσματα των υπολογισμών κατά την απόσταξη έδωσαν μία πλήρη εικόνα στον αναγνώστη μέσω των διαγραμμάτων που εξήχθησαν από τους εν λόγω υπολογισμούς. Τα διαγράμματα αυτά φανερώνοντας την συμπεριφορά της απόσταξης σε σχέση με τον χρόνο αλλά και σε σχέση με τις εκάστοτε συστάσεις αερίου-υγρού, επιδέχονται τον σχολιασμό τους και την εξαγωγή κάποιων συμπερασμάτων από αυτά. Ωστόσο δεν αποτελούν παρά μία ενδεχόμενη προσέγγιση της πραγματικής διαδικασίας, στην οποία η παρουσία των υπόλοιπων συστατικών πέραν του ότι προσθέτει και άλλα συστατικά στους εν λόγω υπολογισμούς και χρειάζεται άλλο πιο περίπλοκο μαθηματικό μοντέλο, μπορεί να επηρεάσει και να τροποποιήσει την καμπύλη θερμοδυναμικής ισορροπίας της αιθανόλης με το νερό.

Με την παρούσα μαθηματική ανάπτυξη και όσον αφορά τα διαγράμματα V_i/L_0 - x_i , V_i/L_0 - y_i και L_i/L_0 - x_i , παρατηρείται ότι η ποσότητα του παραχθέντος ατμού έχει μία γραμμική συμπεριφορά μέχρι περίπου το μοριακό κλάσμα του υγρού σε αιθανόλη να γίνει 0,01. Από εκεί και πέρα όσο μειώνεται αυτό το μοριακό κλάσμα η ποσότητα του παραχθέντος ατμού αρχίζει και αυξάνει με ολοένα και μεγαλύτερους ρυθμούς. Παρόλα αυτά, όταν το μοριακό κλάσμα του υγρού σε αιθανόλη είναι 0,001 η ποσότητα του παραχθέντος ατμού κατά mol της αρχικής τροφοδοσίας είναι μόλις 0,5. Από εκεί και πέρα η καμπύλη γίνεται σχεδόν κατακόρυφη και οφείλει να τερματίζει στο $V/L_0=1$ όταν αποσταχθεί όλο το υγρό και το μοριακό κλάσμα της αιθανόλης στο υγρό γίνει 0. Το ίδιο επιβεβαιώνουν και τα διαγράμματα $\delta(V/L_0)/\delta y_i$ - y_i , $\delta(V/L_0)/\delta x_i$ - x_i και το $\delta(V/L_0)/\delta y_{\text{total}}-y_{\text{total}}$ όπου στις πολύ χαμηλές τιμές του μοριακού κλάσματος της αιθανόλης είτε στο υγρό είτε στο αέριο η κλίση τους γίνεται σχεδόν κατακόρυφη εκφράζοντας έτσι ότι το μοριακό κλάσμα της αιθανόλης θα αλλάξει από 0,001 σε 0 όταν εξατμιστεί το υπόλοιπο μισό υγρό σε σχέση με την αρχική τροφοδοσία.

Το διάγραμμα της θερμοκρασίας με τα μοριακά κλάσματα υγρού-αερίου δείχνει την πολύ διαφορετική συμπεριφορά του εν λόγω δυαδικού μίγματος με αζεότροπο σημείο με αυτήν ενός ιδανικού.

Όσον αφορά τα διαγράμματα χρόνου και αυτά περιγράφουν αυτό που ειπώθηκε ήδη ότι δηλαδή η μισή περίπου ποσότητα του αρχικού υγρού θα αποσταχθεί όταν το μοριακό κλάσμα της αιθανόλης είτε στο υγρό είτε στο αέριο γίνει πολύ μικρό. Στα διαγράμματα χρόνου αυτό εκφράζεται μέσω του χρόνου που απαιτείται ώστε το μοριακό κλάσμα της αιθανόλης στο υγρό να μειωθεί κατά 0,0025. Συγκεκριμένα διαφαίνεται ότι πολύς χρόνος καταναλώνεται ώστε να μειωθεί το μοριακό κλάσμα της αιθανόλης όταν έχει πολύ μικρές τιμές, πράγμα που φανερώνει ότι ενώ προσδίδεται συνεχώς το ίδιο ποσό ενέργειας, αυτό χρησιμοποιείται για να

αποσταχθεί όλο το υγρό και όχι πλέον κυρίως για την απόσταξη της υγρής αιθανόλης.

Ωστόσο η απόσταξη δεν φθάνει στο σημείο που τα μοριακά κλάσματα της αιθανόλης γίνονται πολύ μικρά, και έτσι η συμπεριφορά των μοριακών κλασμάτων της αιθανόλης με τον χρόνο και την ποσότητα του παραγόμενου ατμού μπορεί να θεωρηθεί ότι μοιάζει πολύ με μία αντίστοιχη γραμμική.

Όσον αφορά τις ενεργειακές παροχές που μπορούν να αποκομιστούν από τα απορρεύματα φαίνεται από τον συγκεντρωτικό πίνακα του 3.3.2 ότι τα ποσά ενέργειας που μένουν αναξιοποίητα είναι πολύ μεγάλα και με την κατάλληλη διαχείρησή τους όπως αξιοποίηση του ζεστού νερού ψύξης ή και των καυσαερίων για θέρμανση χώρου και προθέρμανση της επόμενης ποσότητας τροφοδοσίας μέσω εναλλάκτη για την μεταφορά της θερμότητας του υπολείμματος πυθμένα σε αυτήν. Ειδικότερα σε μία εποχή της απαρχής της ενεργειακής κρίσης όπως είναι τώρα, η αξιοποίηση της εν λόγω ενέργειας είναι επιτακτική.

Πέρα από αυτά, υπάρχει και μία άλλη πηγή εισοδήματος που όμως αξιοποιείται ήδη και είναι αυτή της μετατροπής των στερεών υπολοίπων σε λίπασμα και της πώλησής του στους παραγωγούς της πρώτης ύλης του εργοστασίου.

5. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Μποντόζογλου, Β. , 2005 Πανεπιστημιακές Σημειώσεις του μαθήματος Φυσικές Διεργασίες, Βόλος: Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας.
- McCabe-Smith-Harriott ,2008 Βασικές Διεργασίες Χημικής Μηχανικής', Αθήνα: εκδ. ΤΖΙΟΛΑ.
- HansDieterBaeyr, ΘΕΡΜΟΔΥΝΑΜΙΚΗ ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΑ ΘΕΜΕΛΙΩΔΗ ΚΑΙ ΣΤΙΣ ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ. Θεσσαλονίκη: grapholine.
- Τσάμης Ισίδωρος,., 2010 Μελέτη αποσταγμάτων στέμφυλων και σταφυλής', Διδακτορική διατριβή, Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών.
- Kojima K., Tochigi K.,Seki . and Watase K.and Kagaku Kogaku, 1968,Determination of vapour liquid equilibrium from boiling point curve
- Αργύρης Τσακίρης, 2003, Κάνω το δικό μου τσίπουρο και άλλα αλκοολούχα ποτά, Εκδόσεις Ψυχάλου
- Lord Rayleigh, 1902, Philosophical magazine and journal of science- 6th series, LIX. On the distillation of binary mixtures
- <http://thesis.ekt.gr/thesisBookReader/id/30323#page/1/mode/2up>
- http://www.prapopoulos.gr/download/enology/Prapopoulos_Moustometro_BABO_61310-61313.pdf
- http://www.chem.auth.gr/content/food_chem_lab/OENOLOGY/sugars-microvinification.pdf
- http://www.prapopoulos.gr/download/enology/Prapopoulos_Alcoolometro_Thermometro_61350-61353.pdf
- <http://tdd.aua.gr/sites/default/files/IV.%20%CE%A0%CE%A1%CE%9F%CE%A3%CE%94%CE%99%CE%9F%CE%A1%CE%99%CE%A3%CE%9C%CE%9F%CE%A3%20%CE%98%CE%95%CE%99%CE%A9%CE%94%CE%97%20%CE%91%CE%9D%CE%A5%CE%94%CE%A1%CE%99%CE%A4%CE%97.doc>

- <http://www.mpousoulas.com/wp-content/uploads/2014/07/%CE%97-%CF%80%CE%B1%CF%81%CE%B1%CF%83%CE%BA%CE%B5%CF%85%CE%AE-%CF%84%CE%BF%CF%85-%CE%A4%CF%83%CE%AF%CF%80%CE%BF%CF%85%CF%81%CE%BF%CF%85.pdf>
- <http://www.datalogsystems.gr/el/?p=1301>
- <http://en.wikipedia.org/wiki/Ethanol>
- <http://en.wikipedia.org/wiki/Propane>
- http://en.wikipedia.org/wiki/Properties_of_water
- http://en.wikipedia.org/wiki/Heat_capacity
- Νομοθεσία <http://www.gcsl.gr/media/alkooli/FEK-832B03.pdf>
- Νομοθεσία <http://www.gcsl.gr/media/alkooli/FEK162B2010.pdf>
- Νομοθεσία http://www.hellastax.com/html/2001-N/La281_01.pdf

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ



004000125623

