



**ΑΛΕΞΑΝΔΡΕΙΟ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ  
ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ  
ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ  
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ ΚΑΙ  
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΤΡΟΦΙΜΩΝ &  
ΔΙΑΤΡΟΦΗΣ  
ΤΜΗΜΑ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΤΡΟΦΙΜΩΝ**

**ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**Θέμα: Αύξηση της συγκέντρωσης αλκοόλης, σε μίγματα αλκοόλης- νερού,  
με διάφορες μεθόδους διήθησης.**

**Διακονικόλα Ειρήνη  
Παντελίδης Άγγελος**

## ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ 2017

Αύξηση της συγκέντρωσης αλκοόλης, σε μίγματα αλκοόλης- νερού, με διάφορες μεθόδους διήθησης.

Ονοματεπώνυμο  
Διακονικόλα Ειρήνη  
Παντελίδης Άγγελος

Υποβολή Πτυχιακής διατριβής που αποτελεί μέρος των απαιτήσεων για την απονομή του Πτυχίου του Τμήματος Τεχνολογίας Τροφίμων του ΤΕΙ Θεσσαλονίκης.

Ημερομηνία.  
22/09//2017

Εισηγητής.  
Καραγεωργίου Βασίλης

## ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η παρούσα πτυχιακή εργασία με ημερομηνία έναρξης 01/03/2016, εκπονήθηκε στο βιομηχανικό εργαστήριο της σχολής Τεχνολογίας Γεωπονίας και Τεχνολογίας Τροφίμων & Διατροφής υπό την καθοδήγηση, επίβλεψη και συνεισφορά σε όλα τα στάδια του, κ. Καραγεωργίου Βασίλη, Επίκουρου καθηγητή Του Τμήματος Τεχνολογίας Τροφίμων. Θα θέλαμε να εκφράσουμε τις θερμές ευχαριστίες μας, για την εμπιστοσύνη που μας έδειξε και τις επιστημονικές του παρεμβάσεις σε όλη τη διάρκεια της εκπόνησης της πτυχιακής μας διατριβής, που ήταν καταλυτικές για την επιτυχή ολοκλήρωσή της.

Ιδιαίτερες Ευχαριστίες θα θέλαμε να απευθύνουμε στην κ. Καπνιστή Μαρία, τον κ. Σαμαρά Πέτρο τον κ. Εξαρχόπουλο Στέλιο και την κ. Καλογιάννη Ελένη, για το ενδιαφέρον, την καθοδήγησή και την πολύτιμη βοήθειά τους για την επιτυχή ολοκλήρωση της πτυχιακής μας εργασίας.

Επίσης θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε την κ.Καπετάνου Άννα, για την συμπαράστασή της και την έγκαιρη παροχή των υλικών και οργάνων που χρειάστηκαν για την εκπόνηση της πτυχιακής μας διατριβής.

Θερμές ευχαριστίες θα θέλαμε να εκφράσουμε και στην ομάδα της Μικροζυθοποιίας Θεσσαλονίκης που παράγει την μύρα Άλη, για την προθυμία τους και τη βοήθειά τους, σε ότι χρειαστήκαμε και τη παροχή ως πρώτη ύλη, μύρας για την ολοκλήρωση του πειραματικού μέρους της πτυχιακής μας εργασίας.

Τέλος, θα θέλαμε να εκφράσουμε ένα μεγάλο ευχαριστώ στις οικογένειες και τους φίλους μας, για την στήριξη, τη συμπαράσταση και την υπομονή τους.

Αύξηση της συγκέντρωσης αλκοόλης, σε μίγματα αλκοόλης- νερού, με διάφορες μεθόδους διήθησης.

Ονοματεπώνυμο  
Διακονικόλα Ειρήνη  
Παντελίδης Άγγελος

ΑΤΕΙ Θεσσαλονίκης, Σχολή Τεχνολογίας Τροφίμων & Διατροφής, Τμήμα  
Τεχνολογίας Τροφίμων, 57400 Θεσσαλονίκη Τ.Θ. 141

### Περίληψη

Στην παρούσα πτυχιακή ασχοληθήκαμε με την ικανότητα αύξησης της περιεκτικότητας σε αλκοόλη, σε διαλύματα αλκοόλης- νερού, μέσω της διήθησης. Συγκεκριμένα η μέθοδος που χρησιμοποιήθηκε ήταν αυτή της υπερδιήθησης, δοκιμάζοντας διαφορετικές μεμβράνες διήθησης σε διαφορετικές πιέσεις και θερμοκρασίες. Οι μεμβράνες που δοκιμάστηκαν ήταν οι μεμβράνες νανοδιήθησης και οι μεμβράνες αντίστροφης ώσμωσης.

Διαπιστώθηκε ότι οι παράγοντες που επηρεάζουν την αύξηση της περιεκτικότητας αλκοόλης στα υδροαλκοολικά διαλύματα, είναι η θερμοκρασία, η πίεση και οι τύποι μεμβρανών και η ρύπανση αυτών.

Συγκεκριμένα, έγινε διήθηση υδροαλκοολικού διαλύματος, στη συσκευή υπερδιήθησης, με μεμβράνες νανοδιήθησης, χωρίς ψύξη και με ψύξη του συμπυκνώματος, σε πιέσεις 20 και 30 bar. Το ίδιο έγινε και με τις μεμβράνες αντίστροφης ώσμωσης, χωρίς ψύξη και με ψύξη του συμπυκνώματος, σε πιέσεις 20, 30 και 40 bar.

Καθώς διαπιστώθηκε ότι οι μεμβράνες αντίστροφης ώσμωσης είναι οι πιο αποτελεσματικές ως προς την αύξηση της αλκοόλης κάτω από τις συγκεκριμένες συνθήκες (ψύξη του συμπυκνώματος και πίεσης 40bar), έγινε η ίδια μελέτη σε μύρα, για την αύξηση της περιεκτικότητας αλκοόλης σε αυτήν, υπό συνθήκες ψύξης του συμπυκνώματος της μύρας και πίεσης 40 bar.

Περιεχόμενα	Σελίδα
1. Εισαγωγή	7
2. Θεωρητικό μέρος	9
2.1. Γενικές θεωρήσεις διήθησης	9
2.2. Διεργασίες μεμβρανών	10
2.2.1. Διεργασίες μεμβρανών, με ωθούσα δύναμη την πίεση	11
2.2.2. Τρόποι λειτουργίας	13
2.2.3. Επίδραση των χαρακτηριστικών της μεμβράνης	14
2.2.4. Επίδραση των υδροδυναμικών συνθηκών στη ρύπανση των μεμβρανών	14
2.3. Αντίστροφη ώσμωση	16
2.3.1. Αρχή λειτουργίας ώσμωσης	16
2.3.2. Αρχή λειτουργίας της αντίστροφης ώσμωσης	17
2.3.3. Απόδοση συστήματος αντίστροφης ώσμωσης (RO)	18
2.3.3.1. Παράμετροι της απόδοσης της μεμβράνης	18
2.3.3.2. Λειτουργικές παράμετροι μεμβρανών	20
2.3.4. Φαινόμενα ρύπανσης στις μεμβράνες αντίστροφης ώσμωσης (RO)	21
2.3.4.1. Πρόληψη και αντιμετώπιση επικαθίσεων στη μεμβράνη	23
2.3.4.2. Προστασία μεμβρανών RO σε κατάσταση εκτός λειτουργίας	24
2.3.5. Μορφολογία μεμβρανών	24
2.4. Υδροαλκοολικό διάλυμα	25
2.4.1 Συστατικά υδροαλκοολικού διαλύματος	25
2.4.2 Αζεοτροπικά μίγματα	26
2.4.3 Μέτρηση αλκοολικού τίτλου	26
2.5. Μπύρα	26
2.5.1. Σύσταση και πρώτες ύλες	26
2.5.2. Τρόποι αύξησης αλκοόλης στη μπύρα	27
2.5.2.1 Αύξηση περιεκτικότητας αλκοόλης κατά τη ζύμωση	27
2.5.2.2. Αύξηση περιεκτικότητας αλκοόλης μετά την ζύμωση	28
2.5.3 Φασματοφωτομετρία UV/Vis στην μπύρα	29
3. Σκοπός της έρευνας	30
4. Υλικά και μέθοδοι	31
4.1 Υλικά και όργανα	31
4.1.1 Πρώτη ύλη	31
4.1.2 Όργανα- συσκευές	31
4.2 Μέθοδοι	32
4.2.1 Υδροαλκοολικό διάλυμα	32
4.2.2 Μπύρα	32
4.2.2.1 Απομάκρυνση CO <sub>2</sub>	32
4.2.2.2 Απομάκρυνση αδιάλυτων στερεών	33
4.3 Διήθηση υδροαλκοολικών διαλυμάτων και μπύρας με συσκευή υπερδιήθησης	33
4.3.1 Μέτρηση αλκοόλης στα υδροαλκοολικά διαλύματα	35
4.3.2 Επεξεργασία δειγμάτων πριν την απόσταξη	36
4.3.3 Απόσταξη των δειγμάτων μπύρας	37
4.3.4 Μέτρηση αλκοόλης στα δείγματα μπύρας	38
4.3.5 Επεξεργασία των δειγμάτων μπύρας, για την απορρόφηση UV/ Vis	39
4.3.6 Απορρόφηση UV/ Vis σε φασματοφωτόμετρο	39
4.3.7 Μέτρησης ενεργής επιφάνειας μεμβράνης	40

5. Αποτελέσματα- Συζήτηση	41
5.1 Μελέτη μεμβρανών Νανοδιήθησης	41
5.1.1 Διαπερατότητα μεμβρανών Νανοδιήθησης	41
5.1.1.1 Επίδραση θερμοκρασίας- πίεσης	41
5.1.1.2 Πυκνότητα ροής (flux)	43
5.2.1 Διαπερατοεκλεκτικότητα μεμβρανών Νανοδιήθησης	43
5.1.2.1 Περιεκτικότητα αλκοόλης διηθήματος	43
5.1.2.2 Περιεκτικότητα αλκοόλης συμπυκνώματος	44
5.2 Μελέτη μεμβρανών Αντίστροφης ώσμωσης	45
5.2.1 Διαπερατότητα μεμβρανών Αντίστροφης ώσμωσης	45
5.2.1.1 Επίδραση θερμοκρασίας- πίεσης	45
5.2.1.2 Πυκνότητα ροής (flux)	46
5.2.2 Διαπεροεκλεκτικότητα μεμβρανών Αντίστροφης ώσμωσης	47
5.2.2.1 Περιεκτικότητα αλκοόλης διηθήματος	47
5.2.2.2 Περιεκτικότητα του συμπυκνώματος σε αλκοόλη	48
5.2.2.3 Συντελεστής συγκράτησης R	49
5.2.2.4 Ρυθμός ανάκτησης	50
5.3 Μελέτη της συμπεριφοράς πραγματικού προϊόντος	50
6. Συμπεράσματα	56
7. Προτάσεις για μελλοντική έρευνα	57
8. Βιβλιογραφία	58

## 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η διήθηση, ως μέθοδος επεξεργασία του νερού, χρησιμοποιείται στο διαχωρισμό σωματιδίων και κολλοειδούς ύλης από το ρευστό. Στη διήθηση μέσω μεμβρανών το μέγεθος των σωματιδίων που απομακρύνονται είναι πολύ μικρότερο απ' ό,τι το αντίστοιχο της συμβατικής διήθησης, με αποτέλεσμα να επιτυγχάνεται η απομάκρυνση και διαλυμένων συστατικών με τυπικές διαστάσεις από 0.0001  $\mu\text{m}$  ως 1.0  $\mu\text{m}$ . Με διάφορα είδη μεμβρανών είναι δυνατό να επιτευχθούν διαχωρισμοί συστατικών που ανήκουν σε μια ευρεία περιοχή μεγέθους και μοριακού βάρους, από μακρομοριακά υλικά, όπως οι πρωτεΐνες, μέχρι και μονοσθενή ιόντα (Metcalf & Eddy, 2003).

Η τεχνολογία μεμβρανών αποτελεί μία σχετικά σύγχρονη τεχνική διαχωρισμού, φιλική προς το περιβάλλον, λόγω χαμηλής κατανάλωσης ενέργειας και λειτουργούσα σε ισοθερμοκρασιακές συνθήκες, με κύριες εφαρμογές στα τρόφιμα, στην επεξεργασία των υδατικών αποβλήτων και στην ιατρική. Η εξέλιξη της ήταν πολύ σημαντική τις τελευταίες δεκαετίες και διεύρυνε την εφαρμογή των μεμβρανών σε ειδικές περιπτώσεις. Ωστόσο πολλές πτυχές της τεχνολογίας αυτής μένουν αδιευκρίνιστες από την πληθώρα των προσφερόμενων υλικών και την μυστικότητα των σχεδιαστών και κατασκευαστών μεμβρανών. Η συμπεριφορά μια μεμβράνης σε ένα σύστημα προς διαχωρισμό αποτελεί πάντα ένα ειδικό πρόβλημα προς εξέταση, στο οποίο υπεισέρχονται παράγοντες που αφενός μεν είναι χαρακτηριστικά της χημικής δομής και των τεχνικών στοιχείων της μεμβράνης, όπως κατανομή πόρων και πορώδες, και αφετέρου φυσικοχημικά χαρακτηριστικά του προς διαχωρισμό συστήματος. Η αποτελεσματικότητα της διεργασίας αποτελεί ένα σύνθετο πρόβλημα και συνδέεται εκτός από το καθαυτό μηχανικό διαχωρισμό και με τις αλληλεπιδράσεις που αναπτύσσονται στην διεπιφάνεια της μεμβράνης (Ξιάρχος, 2006).

Ο πρωταρχικός ρόλος μιας μεμβράνης είναι να ενεργεί ως ένα εκλεκτικό φράγμα. Επιτρέπει το πέρασμα ορισμένων συστατικών και συγκρατεί άλλα συστατικά ενός μίγματος. Κατά συνεκδοχή, το διερχόμενο ρεύμα ή η συγκρατούμενη φάση, εμπλουτίζεται σε ένα ή περισσότερα συστατικά. Στην ευρύτερη έννοιά της, η μεμβράνη θα μπορούσε να οριστεί ως μια “ περιοχή ασυνέχειας παρεμβαλλόμενη ανάμεσα σε δύο φάσεις” (Huang & Kammermeyer, 1984) ή ως “ μια διακριτή, λεπτή, διεπιφάνεια η οποία τροποποιεί το πέρασμα χημικών ειδών, τα οποία έρχονται σε επαφή μαζί της. Αυτή η διεπιφάνεια μπορεί να είναι μοριακά ομογενής, δηλαδή εντελώς ομοιόμορφη στη σύνθεση και στη δομή, ή η διεπιφάνεια μπορεί να είναι χημικώς ή φυσικώς ετερογενής, δηλαδή να περιέχει πόρους πεπερασμένων διαστάσεων ή να αποτελείται από κάποια μορφή στρωματοποιημένης δομής” (Baker, 2000).

Ο διαχωρισμός, λαμβάνει χώρα στην επιφάνεια της μεμβράνης ή στην μεμβράνη την ίδια, όπου οι μοριακές αλληλεπιδράσεις ανταγωνίζονται η μία την άλλη. Συνεπώς, είναι απαραίτητο να γίνει

κατανοητό τι συμβαίνει πλησίον της μεμβράνης και μέσα σε αυτή. Ο αντίστοιχος μηχανισμός περάσματος είναι το κλειδί. Για τη βελτίωση της ικανότητας διαχωρισμού, δύο παράγοντες πρέπει να εξετασθούν πλήρως. Ο ένας παράγοντας είναι η εκλεκτικότητα και ο άλλος είναι η ολική ροή για μια δοσμένη μεμβράνη. Και οι δύο αυτοί παράγοντες μπορεί να μελετηθούν μόνο όταν είναι γνωστός ο μηχανισμός μεταφοράς δια μέσου της μεμβράνης.

Παρόλο που οι μεμβράνες χρησιμοποιούνται κυρίως στα συστήματα αφαλάτωσης, διεξήχθη πείραμα για τον διαχωρισμό της αιθανόλης από νερό και αλκοολούχο ποτό όπως η μπύρα. Η αιθανόλη είναι υγρό άχρωμο, με ευχάριστη δηκτική γεύση και σχετικά ευχάριστη οσμή. Η αιθανόλη αναμιγνύεται με το νερό σε κάθε αναλογία και κατά την ανάμειξη παρατηρείται ελάττωση όγκου, ενώ εκλύεται θερμότητα (<http://ebooks.edu.gr>, 2017).

Σκοπός της παρούσας εργασίας ήταν η μελέτη της επίδρασης διαφορετικών συνθηκών πίεσης και θερμοκρασίας, στην περιεκτικότητα της αλκοόλης σε υδροαλκοολικό διάλυμα 5 % v/v, καθώς και σε μπύρα κατά την εφαρμογή διήθησης σε μεμβράνες νανοδιήθησης και αντίστροφης ώσμωσης.



## 2. ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

### 2.1 Γενικές θεωρήσεις διήθησης

Η διήθηση είναι η απομάκρυνση στερεών σωματιδίων από ένα ρευστό, έτσι το ρευστό διέρχεται μέσα από ένα διηθητικό μέσο πάνω στο οποίο κατακρατούνται τα στερεά. Το ρευστό μπορεί να είναι υγρό ή αέριο. Το κύριο ρεύμα μπορεί να είναι το ρευστό ή τα στερεά ή και τα δύο. Οι διηθήσεις που γίνονται σε μια βιομηχανία καταλαμβάνουν μία ευρεία κλίμακα, από απλές κατακρατήσεις στερεών έως πολύπλοκους διαχωρισμούς. Στη βιομηχανική διήθηση το περιεχόμενο της τροφοδοσίας σε στερεά κυμαίνεται από ίχνη έως υψηλά ποσοστά.

Στη μέθοδο της διήθησης, το ρευστό ρέει μέσα από ένα διηθητικό μέσο λόγω διαφοράς πίεσης. Άρα τα φίλτρα ταξινομούνται σε αυτά που λειτουργούν με πίεση μεγαλύτερη της ατμοσφαιρικής στην πάνω πλευρά του διηθητικού μέσου και σε αυτά που λειτουργούν με ατμοσφαιρική πίεση στη πάνω πλευρά και με κενό στη κάτω πλευρά του διηθητικού μέσου. Πιέσεις μεγαλύτερες της ατμοσφαιρικής μπορούν να αναπτυχθούν με τη δύναμη της βαρύτητας, όταν αυτή ενεργεί σε μια στήλη υγρού, με μια αντλία, με ένα φυσητήρα ή με τη φυγόκεντρο δύναμη. Τα περισσότερα βιομηχανικά φίλτρα είναι φίλτρα πίεσης, φίλτρα κενού ή φυγόκεντρικοί διαχωριστές. Η λειτουργία τους μπορεί να είναι συνεχής ή ασυνεχής, ανάλογα με το αν η απομάκρυνση των στερεών είναι σταθερή ή διακοπτόμενη. Γενικά τα φίλτρα χωρίζονται σε τρεις κύριες κατηγορίες: τα φίλτρα πλακούντα, τα φίλτρα καθαρισμού και τα φίλτρα εγκάρσιας ροής.

#### Φίλτρα πλακούντα

Τα φίλτρα πλακούντα διαχωρίζουν σχετικά μεγάλες ποσότητες στερεών ως πλακούντα κρυστάλλων ή ιλύ και χρησιμοποιούνται σχεδόν αποκλειστικά για διαχωρισμό υγρών- στερεών. Όπως συμβαίνει και με άλλα φίλτρα, μπορούν να λειτουργήσουν με πιέσεις μεγαλύτερες από την ατμοσφαιρική στην πάνω πλευρά του διηθητικού μέσου ή με κενό στη κάτω πλευρά.

#### Φίλτρα καθαρισμού

Τα φίλτρα καθαρισμού απομακρύνουν μικρές ποσότητες στερεών και παράγουν καθαρά αέρια ή πολύ καθαρά υγρά, όπως τα ποτά. Τα στερεά σωματίδια εγκλωβίζονται στο διηθητικό μέσο ή στις εσωτερικές του επιφάνειες.

#### Φίλτρα εγκάρσιας ροής

Στα φίλτρα εγκάρσιας ροής το αιώρημα της τροφοδοσίας κινείται υπό πίεση με αρκετά μεγάλη ταχύτητα μέσα από το διηθητικό μέσο. Πάνω στην επιφάνεια του φίλτρου μπορεί να σχηματιστεί ένα λεπτό στρώμα στερεών, όμως η υψηλή ταχύτητα του υγρού εμποδίζει τη συσσώρευση του στρώματος.

Το διηθητικό μέσο μπορεί να είναι μια μεταλλική, κεραμική ή πολυμερική μεμβράνη η οποία έχει πολύ μικρούς πόρους, ώστε να μη μπορούν να περάσουν τα περισσότερα αιωρούμενα σωματίδια. Ένα μέρος του υγρού περνάει από το μέσο ως καθαρό διήθημα, αφήνοντας έτσι πίσω ένα πιο πυκνό αιώρημα. Μια μονάδα εγκάρσιας ροής είναι ένα υπερφίλτρο (Mc Cabe *et al.*, 2003).

## 2.2 Διεργασίες μεμβρανών

Η διεργασία μεμβράνης είναι μία φυσική διεργασία στην οποία λαμβάνει περισσότερο ή λιγότερο εκλεκτική μεταφορά μάζας δια μέσου της μεμβράνης εξαιτίας μιας ωθούσας δύναμης (Henry *et al.*, 1999). Αρχικά στα τέλη της δεκαετίας του 60, οι διεργασίες μεμβρανών άρχισαν να βρίσκουν εφαρμογή στην βιομηχανία αντικαθιστώντας παραδοσιακές διεργασίες όπως η εξάτμιση, η απόσταξη και η εκχύλιση (Baker, 2000). Με βάση την ωθούσα δύναμη που εφαρμόζεται ώστε να επιτευχθεί ο διαχωρισμός, ταξινομούνται οι διεργασίες των μεμβρανών και παρουσιάζονται στον Πίνακα 1 (Ξιάρχος, 2006). Στην παρούσα πτυχιακή, ως ωθούσα δύναμη χρησιμοποιήθηκε η διαφορά πίεσης και δε θα σχολιαστούν περαιτέρω οι άλλες τεχνικές .

Πίνακας 1. Διεργασίες διαχωρισμού με μεμβράνες και ωθούσα δύναμη (Ξιάρχος, 2006)

<b>ΩΘΟΥΣΑ ΔΥΝΑΜΗ</b>	<b>ΔΙΕΡΓΑΣΙΑ ΜΕΜΒΡΑΝΗΣ</b>
<b>Διαφορά πίεσης</b>	Μικροδιήθηση
	Υπερδιήθηση
	Αντίστροφη όσμωση
	Νανοδιήθηση
	Διεξάτμιση
<b>Διαφορά χημικού δυναμικού</b>	Ανάμιξη
	Διάλυση
	Διαχωρισμός αερίου
	Υγρές μεμβράνες
<b>Διαφορά ηλεκτρικού δυναμικού</b>	Ηλεκτροδιάλυση
	Ηλεκτροφόρηση μέσω μεμβράνης
<b>Διαφορά θερμοκρασίας</b>	Ηλεκτρόληση μέσω μεμβράνης
	Απόσταξη μέσω μεμβράνης

Είναι χρήσιμο για την κατανόηση της χρησιμότητας των συστημάτων μεμβρανών να παρουσιαστούν τα πλεονεκτήματα αλλά και τα μειονεκτήματα της χρήσης τους.

Πλεονεκτήματα

- Συνεχής λειτουργία.
- Το προϊόν δε θερμαίνεται και επομένως διατηρεί τα οργανοληπτικά του χαρακτηριστικά και την θρεπτική του αξία.

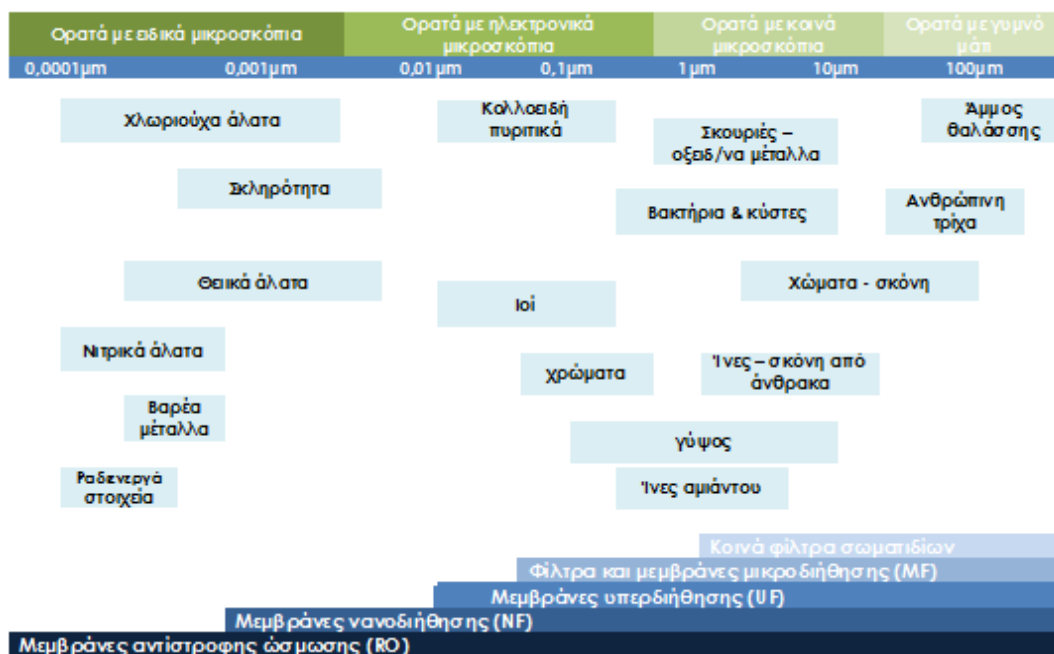
- Χαμηλή κατανάλωση ενέργειας αφού δεν απαιτείται θέρμανση και αλλαγή φάσης.
  - εξατμιστήρας 5-7 βαθμίδων: 37-53 kWh/1000 kg εξατμιζόμενου νερού.
  - Αντίστροφη ώσμωση: 5-20 kWh/1000 kg νερού που απομακρύνεται.
- Εύκολη η μεταβολή της δυναμικότητας.

#### Μειονεκτήματα

- Υψηλό κόστος εγκατάστασης.
- Μέγιστη συγκέντρωση έως περίπου 30% σε στερεά.
- Προβλήματα επικαθίσεων και πύλωσης της συγκέντρωσης. (Γιαννιώτης, 2015)

### 2.2.1 Διεργασίες μεμβρανών με ωθούσα δύναμη την πίεση

Στις διεργασίες μεμβρανών στις οποίες ωθούσα δύναμη είναι η διαφορά πίεσης κατά μήκος της μεμβράνης, διακρίνονται τέσσερις κατηγορίες με βάση το μέγεθος των πόρων τους, οι οποίες ξεκινώντας από αυτή με το μεγαλύτερο μέγεθος πόρων, είναι οι εξής: Μικροδιήθησης (Microfiltration-MF), Υπερδιήθησης (Ultrafiltration-UF), Νανοδιήθησης (Nanofiltration-NF) και Αντίστροφης Ώσμωσης (Reverse Osmosis- RO) (Metcalf & Eddy, 2003). Ενδεικτικές κατηγορίες συστατικών που απομακρύνονται από τη κάθε μια διεργασία φαίνονται στο Σχήμα 1.



Σχήμα 1. Διεργασίες μεμβρανών και ενδεικτικές κατηγορίες συστατικών που απομακρύνονται από την κάθε διεργασία (<http://watertechnologies.gr>, 2017).

Ειδικότερα τα κύρια χαρακτηριστικά των συγκεκριμένων διεργασιών είναι:

- 1) Η μικροδιήθηση (MF) χαρακτηρίζεται ως σύστημα εγκάρσιας διήθησης με μέγεθος πόρων μεταξύ 0,05 μm και 2 μm και λειτουργεί σε πιέσεις κάτω από 2 bar. Κλασικές εφαρμογές αυτής της διεργασίας χαμηλής πίεσης, είναι η απομάκρυνση ενώσεων μεγάλου μοριακού βάρους όπως βακτήρια, λίπη, ζύμες και μύκητες. Είναι κατάλληλη για την διήθηση τροφίμων, χημικών, βιολογικών και φαρμακευτικών προϊόντων, διαύγαση προϊόντων και για επεξεργασία υγρών αποβλήτων.
- 2) Η υπερδιήθηση (UF) χαρακτηρίζεται ως διεργασία εκλεκτικής διήθησης χαμηλής πίεσης με μέγεθος μεταξύ 0,005 μm και 0,2 μm και λειτουργεί σε πιέσεις μεταξύ 1 και 10 bar. Ουσίες με μοριακό βάρος που κυμαίνεται από 1.000 έως 1.000.000 κατακρατούνται από τις μεμβράνες υπερδιήθησης ενώ, μικρού μοριακού βάρους ενώσεις, όπως άλατα και νερό διέρχονται. Κλασικές εφαρμογές της τεχνολογίας αυτής είναι η συμπύκνωση και η ανάκτηση ενώσεων μεγάλου μοριακού βάρους, ο διαχωρισμός- απομάκρυνση ρυπαντών, η διαύγαση, η απομάκρυνση κολλοειδών και αιωρούμενων στερεών και για το λόγο αυτό χρησιμοποιείται ως στάδιο προ-επεξεργασίας σε μονάδες αντίστροφης ώσμωσης.
- 3) Η νανοδιήθηση (NF) χαρακτηρίζεται ως η διεργασία που στηρίζεται σε εφαρμογή πίεσης παρόμοια με της αντίστροφης ώσμωσης καλύπτοντας την περιοχή μεταξύ αντίστροφης ώσμωσης και υπερδιήθησης με μέγεθος πόρων από 0,001 μm έως 0,01 μm και λειτουργεί σε πιέσεις μεταξύ 5 και 40 bar. Μονοσθενή ιόντα και χαμηλού μοριακού βάρους οργανικά διέρχονται μέσω της μεμβράνης καθώς μεγαλύτερου μοριακού βάρους ενώσεις απορρίπτονται. Η νανοδιήθηση καλύπτει μοριακά βάρη μεταξύ 150-500 και κλασικές εφαρμογές της τεχνολογίας αυτής είναι η προ επεξεργασία φαρμακευτικών προϊόντων και η απομάκρυνση του χρώματος και της σκληρότητας από το νερό.
- 4) Η αντίστροφη ώσμωση (RO) χαρακτηρίζεται ως η διεργασία διαχωρισμού υπό υψηλή πίεση για την απομάκρυνση ουσιών χαμηλού μοριακού βάρους σε διάλυση, άλατα και οργανικά, που οδηγεί τον διαλύτη να διέλθει μέσω της μεμβράνης, ενώ η ουσία σε διάλυση απορρίπτεται, εμπεριέχοντας και τα μονοσθενή ιόντα. Οι συγκεκριμένες μεμβράνες θεωρείται ότι δεν έχουν πόρους και η μεταφορά του διαλύτη πραγματοποιείται μέσω του ελεύθερου όγκου ανάμεσα στα τμήματα του πολυμερούς από το οποίο είναι κατασκευασμένες (Ξιάρχος, 2006; <http://www.shielco.com>, 2017).

Ενδεικτικές τιμές για τα χαρακτηριστικά λειτουργίας της κάθε διεργασίας μεμβρανών παρουσιάζονται στον Πίνακα 2.

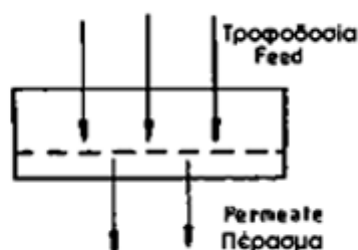
Πίνακας 2. Βασικά χαρακτηριστικά των μεμβρανών. (Metcalf & Eddy, 2003)

Διεργασία Μεμβρανών	Τυπικές διαστάσεις σωματιδίων που απομακρύνονται, $\mu\text{m}$	Πίεση λειτουργίας, $\text{kPa}$	Ροή διηθήματος, $\text{L/m}^2 \cdot \text{d}$
Μικροδιήθηση	0.08-2.0	7-100	405-1600
Υπερδιήθηση	0.005-0.2	70-700	405-815
Νανοδιήθηση	0.001-0.01	500-1000	200-815
Αντίστροφη Ώσμωση	0.0001-0.001	850-7000	320-490

## 2.2.2 Τρόποι λειτουργίας

### Διήθηση Μετωπικής Τροφοδοσίας

Αποτελεί τη συμβατική διεργασία διαχωρισμού με μεμβράνες και λειτουργεί εξαιτίας του ότι ολόκληρη η τροφοδοσία εξαναγκάζεται να περάσει δια μέσου της μεμβράνης, ενώ η πίεση ασκείται κάθετα στη μεμβράνη όπως φαίνεται στο Σχήμα 2. Τα στερεά σωματίδια που έχουν διαχωριστεί συσσωρεύονται στην επιφάνεια της μεμβράνης και σχηματίζουν μια στοιβάδα, η οποία αυξάνει προοδευτικά την αντίσταση στη διήθηση μέσω μεμβράνης, μέχρι να αρχίσει να μειώνεται η ροή και τελικά να σταματήσει. Η μέθοδος της κατά μέτωπο τροφοδοσίας έχει χαμηλή ενεργειακή απαίτηση και χρησιμοποιείται στην κλασσική διήθηση και εν μέρει στη μικροδιήθηση για την επεξεργασία νερού με μικρό περιεχόμενο σωματιδίων (Γκέκας & Πρωιμάκης, 2000; Peters, 2010; Purchas & Sutherland, 2002 ).

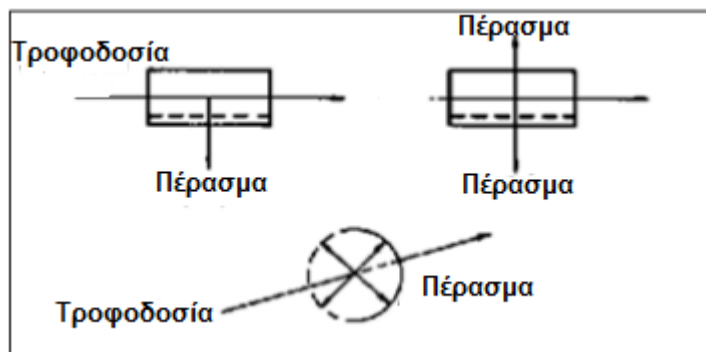


Σχήμα 2. Σχηματική παράσταση διήθησης μετωπικής τροφοδοσίας. (Ξιάρχος, 2006)

### Διήθηση Εφαπτομενικής Τροφοδοσίας

Είναι τρόπος λειτουργίας όπου η τροφοδοσία του νερού ρέει παράλληλα προς την επιφάνεια της μεμβράνης, ενώ το πέρασμα έχει εγκάρσια διεύθυνση ροής, όπως φαίνεται στο Σχήμα 3. Η εφαπτομενική τροφοδοσία έχει στόχο τον περιορισμό των εναποθέσεων υλικού πάνω στην

επιφάνεια της μεμβράνης, ώστε να καθυστερεί η υποβάθμιση της απόδοσης της μεμβράνης και για αυτό το λόγο είναι ο κύριος τύπος διαχωρισμού που χρησιμοποιείται στην επεξεργασία υγρών αποβλήτων. Η μέθοδος αυτή έχει επικρατήσει στην υπερδιήθηση στη νανοδιήθηση και στην αντίστροφη ώσμωση (Γκέκας & Πρωιμάκης, 2000; Peters, 2010; Purchas & Sutherland, 2002).



Σχήμα 3. Τρεις εναλλακτικοί τρόποι διήθησης εφαπτομενικής ροής. (Ξιάρχος, 2006)

### 2.2.3. Επίδραση των χαρακτηριστικών της μεμβράνης

Όσον αφορά την επίδραση των χαρακτηριστικών της μεμβράνης στο φαινόμενο της ρύπανσής της, παρατηρήθηκε ότι οι μεμβράνες με μεγάλο μέγεθος πόρων, για παράδειγμα οι μεμβράνες μικροδιήθησης και οι μεμβράνες υπερδιήθησης, υπόκεινται σε ρύπανση μεγαλύτερου βαθμού, λόγω της συνδυαζόμενης επίδρασης της απόφραξης ή μείωσης της διαμέτρου των πόρων με τη δημιουργία στρώματος επικαθήσεων στην επιφάνειά τους. Αντίθετα οι μεμβράνες με μικρότερο μέγεθος πόρων, δηλαδή οι μεμβράνες νανοδιήθησης και αντίστροφης ώσμωσης ρυπαίνονται σχετικά λιγότερο (Ye *et al.*, 2005). Η τραχύτητα της επιφάνειας της μεμβράνης είναι επίσης ένας σημαντικός παράγοντας ο οποίος επηρεάζει το φαινόμενο της ρύπανσης της, με τις πιο τραχείς επιφάνειες να υπόκεινται σε μεγαλύτερους ρυθμούς ρύπανσης (Li *et al.*, 2007; Elimelech *et al.*, 1997). Τέλος, η επίδραση του φορτίου της μεμβράνης και η μεταβολή του με το pH του διαλύματος αποτελεί έναν ακόμη σημαντικό παράγοντα, κυρίως διότι προκαλούνται ηλεκτροστατικές αλληλεπιδράσεις μεταξύ των μορίων του ρυπαντή και της μεμβράνης, που έχει ως αποτέλεσμα να ευνοείται ή όχι η προσρόφησης τους στη μεμβράνη και η δημιουργία επικαθήσεων στην επιφάνειά της (Lee *et al.*, 2006; Vrijenhoek *et al.*, 2001; Deshmukh & Childress, 2001).

### 2.2.4. Επίδραση των υδροδυναμικών συνθηκών στην ρύπανση των μεμβρανών

Ο ρόλος της ανηγμένης ροής διηθήματος (flux) της μεμβράνης στο φαινόμενο της ρύπανσης είναι πολύ σημαντικός. Η επίδρασή της γίνεται φανερή σε μια πληθώρα μελετών, όπου

παρατηρήθηκε ότι η απόδοση της μεμβράνης μειώνεται γρηγορότερα με την αύξηση της ανηγμένης ροής της. (Decarolis *et al.*, 2001; Seidel & Elimelech, 2002; Hong & Elimelech, 1997) Γι' αυτό πολλές μελέτες, ερευνώντας τη ρύπανση που προκαλεί η φυσική οργανική ύλη και οι εξωκυτταρικές πολυμερικές ενώσεις, επιδίωξαν, για την περίπτωση της εφαπτομενικής ροής, τον προσδιορισμό μιας κρίσιμης τιμής της ανηγμένης ροής (critical flux), κάτω από την οποία η ρύπανση που λάμβανε χώρα στη μεμβράνη ήταν ελάχιστη (Ye *et al.*, 2005; Bourgeous *et al.*, 2001; Seidel & Elimelech, 2002). Η επίδραση αυτή της ροής χρησιμοποιείται και στις βιομηχανικές εγκαταστάσεις μεμβρανών, στις οποίες η ροή διατηρείται σε χαμηλές τιμές με σκοπό να ελαχιστοποιηθεί ο συχνός καθαρισμός των μεμβρανών και η πρόωγη αντικατάστασή τους.

Τα στοιχεία των μεμβρανών λειτουργούν είτε με σταθερή πίεση (constant pressure mode) κατά τη διάρκεια της διήθησης, που έχει ως αποτέλεσμα να ελαχιστοποιείται η ροή του διηθήματος με το χρόνο λόγω της ρύπανσης, είτε αυξάνοντας συνεχώς την πίεση λειτουργίας της διάταξης, με κύριο σκοπό να διατηρηθεί η ροή σταθερή (constant flux mode), παρά τη ρύπανση της μεμβράνης. Από τη σύγκριση των δυο μεθόδων λειτουργίας των συστημάτων μεμβρανών, όσον αφορά τη ρύπανση που προκαλείται από τη φυσική οργανική ύλη κατά τη διήθησή της, προκύπτει το γεγονός ότι κατά τη διήθηση με σταθερή ροή η ρύπανση που προκαλείται είναι λιγότερο αντιστρεπτή σε σύγκριση με αυτή που δημιουργείται στα συστήματα που λειτουργούν με σταθερή πίεση. Η διαφορά αυτή οφείλεται, κατά πάσα πιθανότητα, στο συμπέρασμα ότι η αύξηση της πίεσης που απαιτείται έτσι ώστε να παραμείνει η ροή σταθερή, επιδρά στις επικαθήσεις που δεν απομακρύνθηκαν από τη μεμβράνη κατά τον καθαρισμό με αντίστροφη πλύση και αυξάνει τη συνοχή τους ή τις προωθεί πιο βαθιά στους πόρους, με αποτέλεσμα να μειώνεται η αποτελεσματικότητα του επόμενου κύκλου αντίστροφης πλύσης (Bourgeous *et al.*, 2001).

Τέλος, σε μελέτες που πραγματοποιήθηκαν για την επίδραση της πίεσης λειτουργίας στην απόδοση της μεμβράνης κατά τη διήθηση τόσο της φυσικής οργανικής ύλης όσο και των εξωκυτταρικών πολυμερικών ενώσεων, παρατηρήθηκε ότι η περατότητα της μεμβράνης ελαχιστοποιείται με ταχύτερο ρυθμό όσο αυξάνεται η εφαρμοζόμενη πίεση (Garcia-Molina, 2006; Seidel & Elimelech, 2002). Οι κύριες διεργασίες μεμβρανών που θα μελετηθούν στην συγκεκριμένη πτυχιακή είναι η νανοδιήθηση και κυρίως οι μεμβράνες αντίστροφης ώσμωσης για τον διαχωρισμό του νερού από το σύστημα αλκοόλης-νερού και την αύξηση της περιεκτικότητας της αλκοόλης σε αυτό το σύστημα. Η νανοδιήθηση έχει παρόμοια χαρακτηριστικά με τις άλλες διεργασίες που προαναφέρθηκαν, οι μεμβράνες αντίστροφης ώσμωσης όμως έχουν κάποιες ιδιαιτερότητες και γι' αυτό το λόγο θα αναπτυχθούν περαιτέρω τα χαρακτηριστικά τους και ο τρόπος λειτουργίας τους.

## 2.3 Αντίστροφη ώσμωση (Reverse Osmosis)

Βασική διεργασία είναι η αφαλάτωση. Τα συγκεκριμένα συστήματα αποτελούνται από τις μεμβράνες, τις αντλίες υψηλής πίεσης, τις εγκαταστάσεις ηλεκτρικής ενέργειας και τις συσκευές ανάκτησης ενέργειας, όπου απαιτείται. Η αντίστροφη ώσμωση είναι εμπορικά διαθέσιμη σε ένα μεγάλο εύρος μεγεθών και χαρακτηρίζεται από τις τεχνολογίες με τη χαμηλότερη κατανάλωση ενέργειας, της τάξεως περίπου 3-10 kWh/m<sup>3</sup> πόσιμου νερού από θαλασσινό νερό και 1.5-5 από υφάλμυρο νερό (Charcosset, 2009). Το υψηλό ποσό ανακτηθέντος νερού-προϊόντος, η σπονδυλότητα των συστημάτων, το χαμηλό κόστος επένδυσης ανά μονάδα, η ευελιξία στη θέση εγκατάστασης, η εκκίνηση και ο τερματισμός της διεργασίας, προσδίδουν σημαντικά πλεονεκτήματα και την καθιστούν σαν την καλύτερη εναλλακτική λύση για πόσιμο νερό (Kaldellis *et al.*, 2004).

Την τελευταία εικοσαετία έχουν πραγματοποιηθεί πολλές έρευνες στον τομέα της βελτίωσης της τεχνολογίας αντίστροφης ώσμωσης, με κύριο στόχο τη δραματική μείωση τόσο του αρχικού κεφαλαίου, όσο και του κόστους λειτουργίας. Η μεγαλύτερη εξέλιξη έχει επιτευχθεί κυρίως στις ίδιες τις μεμβράνες, οι οποίες πλέον έχουν αποκτήσει καλύτερα χαρακτηριστικά όπως μεγαλύτερη αντοχή στη συμπίεση, μεγαλύτερη διάρκεια ζωής, υψηλότερη δυνατότητα ανάκτησης και βελτιωμένη ροή.

Εξαιτίας όσων αναφέρθηκαν παραπάνω, η αντίστροφη ώσμωση αποτελεί την πιο υποσχόμενη τεχνολογικά μέθοδο αφαλάτωσης με συνεχόμενες βελτιώσεις τόσο στη ελάττωση της συνολικής κατανάλωσης ενέργειας όσο και του κόστους του παραγόμενου νερού (Eltawil *et al.*, 2009).

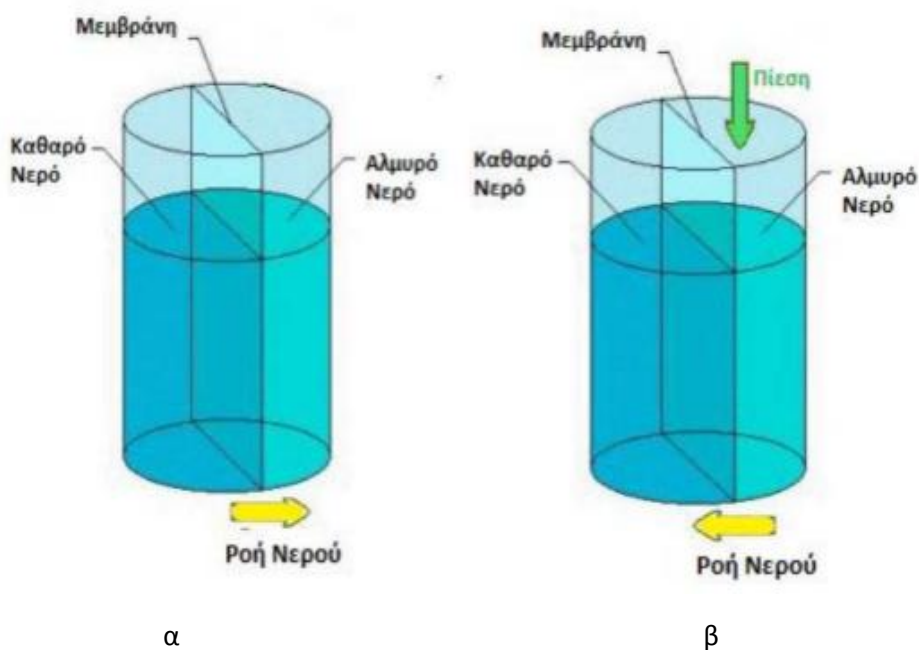
### 2.3.1. Αρχή λειτουργίας ώσμωσης.

Η ώσμωση πραγματοποιείται, όταν διαλύτης του αραιού διαλύματος διαχυθεί, διαμέσου της ημιπερατής μεμβράνης, στην πλευρά του συμπυκνωμένου διαλύματος. Η ωσμωτική ροή συνεχίζεται έως ότου μία κατάσταση ισορροπίας λάβει χώρα, η οποία χαρακτηρίζεται από την υψηλότερη στάθμη του διαλύματος της μεγαλύτερης συγκέντρωσης. Η ισορροπία αυτή είναι γνωστή ως ωσμωτική, και η διαφορά της στάθμης των δύο διαλυμάτων, αντιστοιχεί στην ωσμωτική πίεση του συστήματος των διαλυμάτων (Μήτρακας, 2001). Ως ωσμωτική πίεση ορίζεται η υδροστατική πίεση που απαιτείται για να εμποδιστεί η ώσμωση, η οποία εξαρτάται από τη διαφορά συγκέντρωσης άλατος στα υδατικά διαλύματα.

Όταν τοποθετείται καθαρό νερό παρόμοιας θερμοκρασίας μεταξύ των δύο πλευρών της μεμβράνης η πίεση είναι ίση και στις δύο πλευρές, με αποτέλεσμα να μην ρέει καθόλου νερό μέσω αυτής. Όταν όμως διαλυθεί αλάτι από τη μία πλευρά όπως στο (Σχήμα 4), θα παρατηρηθεί ροή νερού μέσω της μεμβράνης, από το καθαρό νερό στο νερό που περιέχει άλατα, διότι η φύση προσπαθεί να εξισώσει τις διαφορές συγκέντρωσης. Όταν στο διάλυμα, όμως, ασκηθεί



εξωτερική πίεση μεγαλύτερη από την ωσμωτική πίεση του διαλύματος, το φαινόμενο αντιστρέφεται και μόρια διαλύτη εξέρχονται από το πυκνότερο προς το αραιότερο διάλυμα. Το φαινόμενο αυτό λέγεται αντίστροφη ώσμωση και με τον τρόπο αυτό αυξάνεται η συγκέντρωση του διαλύματος, αφού απομακρύνεται μέρος από την ποσότητα του διαλύτη (Παντατοσάκης, 2013).



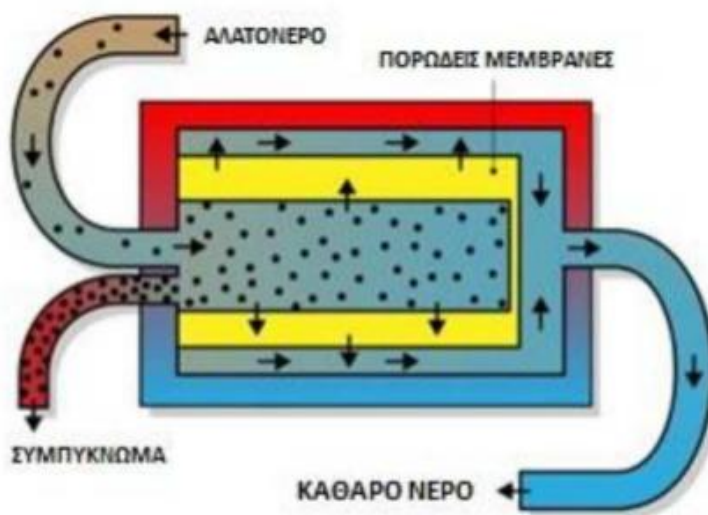
Σχήμα 4. Σχηματική περιγραφή α) ώσμωσης και β) αντίστροφης ώσμωσης (Παντατοσάκης, 2013).

### 2.3.2. Αρχή λειτουργίας της αντίστροφης ώσμωσης

Η αντίστροφη ώσμωση είναι μία φυσική διεργασία διαχωρισμού, η οποία βασίζεται στην εκλεκτικότητα ή ημιπερατότητα της μεμβράνης, που επιτυγχάνει το διαχωρισμό των διαλυτών συστατικών από το νερό. Ο διαχωρισμός βασίζεται στο ονομαστικό μέγεθος των πόρων της μεμβράνης. Οι μεμβράνες RO, έχουν μέγεθος πόρων 1-15 Angstrom ( $A=0,0001 \mu\text{m}$ ).

Στην αντίστροφη ώσμωση ο διαχωρισμός πραγματοποιείται με την εφαρμογή πίεσης από την πλευρά της τροφοδοσίας, υψηλότερης της ωσμωτικής πίεσης του υδατικού διαλύματος τροφοδοσίας. Πιο αναλυτικά, από την μεριά της τροφοδοσίας, η αντλία υψηλής πίεσης εξασφαλίζει την αναγκαία πίεση για τη διεργασία της RO, ενώ από τη μεριά του διηθήματος, η πίεση ισούται με την ατμοσφαιρική. Η εφαρμοζόμενη πίεση λειτουργίας στο σύστημα αντίστροφης ώσμωσης έχει πεδίο τιμών 20-100 bar, ανάλογη της συγκέντρωσης ολικών διαλυμένων στερεών (Song *et al.*, 2003).

Πρακτικά, όπως προαναφέρθηκε στο παράδειγμα της ώσμωσης, το αλμυρό νερό της τροφοδοσίας αντλείται μέσα σε ένα κλειστό δοχείο, όπου του ασκείται πίεση έναντι της μεμβράνης όπως φαίνεται στο Σχήμα 5. Έχοντας σαν δεδομένο ότι ένα μέρος από το νερό περνά εντός της μεμβράνης, η περιεκτικότητα σε αλάτι του υπόλοιπου νερού αυξάνεται. Ένα ποσοστό λοιπόν αυτού απορρίπτεται, ως συμπύκνωμα, χωρίς να περάσει μέσω της μεμβράνης (Παντατοσάκης, 2013)



Σχήμα 5. Απεικόνιση αφαλάτωσης μέσω αντίστροφης ώσμωσης. (Παντατοσάκης, 2013)

### 2.3.3. Απόδοση συστήματος RO

#### 2.3.3.1 Παράμετροι απόδοσης της μεμβράνης

Η απόδοση της μεμβράνης ορίζεται με τη βοήθεια δύο απλών παραγόντων, της διαπερατότητας και της διαπερατοεκλεκτικότητας, οι ορισμοί των οποίων παρουσιάζονται:

- Διαπερατότητα: ο ογκομετρικός ρυθμός ροής του ρευστού που διαπερνά τη μεμβράνη ανά μονάδα επιφάνειας αυτής ανά μονάδα χρόνου.
- Διαπερατοεκλεκτικότητα: Ισχύει για διαλυμένες ουσίες και σωματίδια σε υγρά και αέρια. Το κλάσμα του διαλυμένου στην τροφοδοσία συστατικού που κατακρατείται στη μεμβράνη (Ράπτης, 2009).

Σε μία ιδανική περίπτωση είναι επιθυμητή μια μεμβράνη με υψηλή διαπερατοεκλεκτικότητα, όσο και διαπερατότητα, όμως τα εμπειρικά και πειραματικά δεδομένα δείχνουν ότι κάθε απόπειρα για αύξηση του ενός παράγοντα κατευθύνει σε μείωση του άλλου (Purchas & Sutherland, 2002).

Η απόδοση ενός συστήματος αντίστροφης ώσμωσης εξαρτάται από το χρόνο και τις συνθήκες λειτουργίας. Η εκτίμηση της απόδοσης του συστήματος RO βασίζεται στην πυκνότητα ροής του περάσματος ( $Q/A$ ) και στο λόγο απομάκρυνσης άλατος ( $R$ ) κάτω από δεδομένη πίεση λειτουργίας και ποιότητα τροφοδοσίας. Η πυκνότητα ροής της παραγωγής εκφράζει την ποσοτική απόδοση της μονάδας ενώ ο συντελεστής απομάκρυνσης εκφράζει την ποιοτική απόδοση της μονάδας (Παρασκάκη, 2005).

**Πυκνότητα ροής ή απλώς ροή (flux):** Ορίζει τον όγκο ή την ποσότητα του περάσματος ή οποιουδήποτε συστατικού στο πέρασμα, στη μονάδα του χρόνου και της επιφάνειας της μεμβράνης (Sincero & Sincero, 2003).

Η πυκνότητα ροής της παραγωγής δίνεται από την σχέση (1). (IUPAC, 1996)

$$(1) \quad \text{Flux} = \frac{Q_p}{A}$$

Όπου  $Q_p$ – Παροχή διηθήματος ( l/min)

$A$ – Ενεργή επιφάνεια μεμβράνης (  $\text{cm}^2$ )

**Συντελεστής συγκράτησης/απόρριψης:** Σημαντικός συντελεστής απόδοσης, για ένα δοσμένο συστατικό από τη μεμβράνη. Ο όρος απόρριψη χρησιμοποιείται όταν αναφέρεται για διαχωρισμό στην επιφάνεια, όπως και στις μεμβράνες, ενώ ο όρος συγκράτηση όταν αναφέρεται για φίλτρα βάρους. Κατά επέκταση αποτελεί μια σχέση συγκεντρώσεων του συστατικού στο υπόλειμμα και στο πέρασμα, όταν η τροφοδοσία ταυτίζεται με τη φάση του υπολείμματος, ή στην τροφοδοσία και στο πέρασμα, για εφαπτομενική διήθηση (Madaeni, 1998).

Ο συντελεστής απόρριψης προσδιορίζεται από την σχέση (2).(IUPAC, 1996)

$$(2) \quad R = \left( 1 - \frac{C_p}{C_r} \right)$$

Όπου  $C_p$ – Συγκέντρωση του διηθήματος (mg/l)

$C_r$ – Συγκέντρωση του συμπυκνώματος (mg/l)

## Βαθμός ανάκτησης

Την απόδοση ενός συστήματος αντίστροφης ώσμωσης μπορεί να περιγράψει και ο βαθμός ανάκτησης  $n$ . Αξίζει να σημειωθεί ότι υπάρχει διαφορά μεταξύ του βαθμού ανάκτησης, ο οποίος αναφέρεται στο νερό και του συντελεστή απόρριψης, ο οποίος αναφέρεται στα διαλυμένα συστατικά του νερού προς διαχωρισμό. Πρακτικά η ανάκτηση του συστήματος ρυθμίζεται μέσω βαλβίδας, η οποία μειώνει την παροχή του νερού που απορρίπτεται, μεγιστοποιεί την παροχή του νερού που παράγεται και ταυτόχρονα παρεμποδίζει τις επικαθήσεις από υπερκορεσμένα άλατα εντός του συστήματος των μεμβρανών.

Σημαντικό ρόλο στο βαθμό ανάκτησης διαδραματίζουν η πίεση του συστήματος καθώς και η συγκέντρωση σε διαλυμένα συστατικά του παραγόμενου νερού. Όσο το ποσοστό ανάκτησης μεγαλώνει τόσο αυξάνει η συγκέντρωση του άλατος στην μεμβράνη από την πλευρά της τροφοδοσίας και κατά συνέπεια, παρατηρείται αύξηση της ροής του άλατος στο παραγόμενο νερό. Όμως, αυξανόμενης της συγκέντρωσης του άλατος στη μεμβράνη προκαλείται αύξηση της ωσμωτικής πίεσης με αποτέλεσμα να απαιτείται η μείωση της παροχής του παραγομένου νερού για να διατηρηθεί σταθερή η πίεση λειτουργίας (Παντατοσάκης, 2013; Παρασκάκη, 2005).

Η σχέση (3) δίνει τον βαθμό ανάκτησης (IUPAC, 1996).

$$(3) \quad n = \frac{Q_p}{Q_f}$$

Όπου  $Q_p$  –ρυθμός ροής του διηθήματος (mg/l).

$Q_f$  –ρυθμός ροής της τροφοδοσίας (mg/l).

### 2.3.3.2 Λειτουργικές παράμετροι μεμβρανών

Η απόδοση ενός συστήματος RO εξαρτάται από τη σύσταση του νερού τροφοδοσίας, την πίεση τροφοδοσίας των μεμβρανών, τη θερμοκρασία και την ανάκτηση (Παντατοσάκης, 2013). Μείωση της απόδοσης παρατηρείται στις υψηλές θερμοκρασίες, λόγω αύξησης της ροής της τροφοδοσίας. Η συγκεκριμένη αύξηση της θερμοκρασίας έχει ως αποτέλεσμα, την μείωση του ιξώδους του νερού, και επομένως την μεγιστοποίηση της παροχής του νερού που διέρχεται από τη μεμβράνη. Η αύξηση της παροχής νερού τροφοδοσίας, μέσω μιας μεμβράνης RO με την αύξηση της θερμοκρασίας, στηρίζεται σε δύο διαφορετικούς μηχανισμούς (Safar *et al.*, 1998):

1. Το νερό της τροφοδοσίας γίνεται λιγότερο ιξώδες (πιο λεπτόρρευστο) με την αύξηση της θερμοκρασίας, και επομένως, διαπερνάει ευκολότερα από τη μεμβράνη.

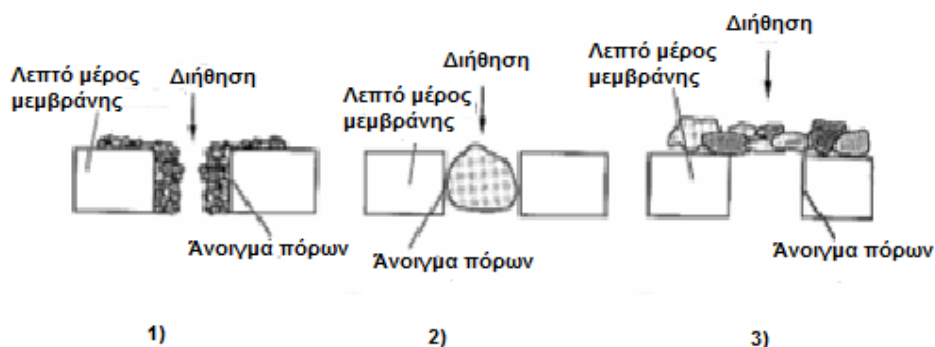
2. Η δομή της μεμβράνης αυξάνει το πορώδες της.

Για παράδειγμα μείωση της θερμοκρασίας του νερού τροφοδοσίας κατά 4°C μπορεί να προκαλέσει μείωση της ροής προϊόντος κατά 10 %. Το οποίο όμως αποτελεί ένα κανονικό φαινόμενο που δεν υποδηλώνει πρόβλημα των μεμβρανών του εξεταζόμενου συστήματος (Παντατοσάκης, 2013). Επίσης η συμπίεση της μεμβράνης παρατηρείται όταν οι μεγάλες πιέσεις λειτουργίας, που ασκούνται στις πολυμερείς μεμβράνες, μετά από κάποιο χρόνο λειτουργίας, επιφέρουν τη συμπίεσή τους. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα ελάττωση της διέλευσης του νερού διαμέσου των μεμβρανών. Η συμπίεση αυξάνει με την πίεση και τη θερμοκρασία. Για λειτουργία 10 ωρών, η ελάττωση της ογκομετρικής ροής (flux) του νερού μέσα από τη μεμβράνη μπορεί να φτάσει το 50 % (Μαρκόπουλος, 2002).

#### 2.3.4. Φαινόμενα ρύπανσης στις μεμβράνες RO

Οι κύριοι μηχανισμοί ρύπανσης που βοηθούν στην αντίσταση της ροής εξαιτίας συσσώρευσης διαλυμένων στερεών στη μεμβράνη, όπως φαίνεται στο Σχήμα 6 είναι: (Metcalf & Eddy, 2003):

1. Αλλοίωση της μεμβράνης εξαιτίας χημικών τα οποία αντιδρούν με τη μεμβράνη ή βιολογικών μέσων που σχηματίζουν αποικίες στη μεμβράνη.
2. Έμφραξη της μεμβράνης.
3. Σταδιακή ανάπτυξη φιλμ πάνω στην επιφάνεια της μεμβράνης.



Σχήμα 6. Μηχανισμοί ρύπανσης (Metcalf & Eddy, 2003).

Φαινόμενα ρύπανσης στη μεμβράνη, μειώνουν της παραγωγικότητα της μονάδας, όπως επίσης υποβαθμίζουν και την ποιότητας της παραγωγής. Η έκταση της ρύπανσης στην επιφάνεια της μεμβράνης εξαρτάται από το σχετικό μέγεθος των διαλυμένων συστατικών σε σχέση με το μέγεθος πόρων της μεμβράνης. Όταν το μέγεθος των πόρων της μεμβράνης είναι μεγαλύτερο

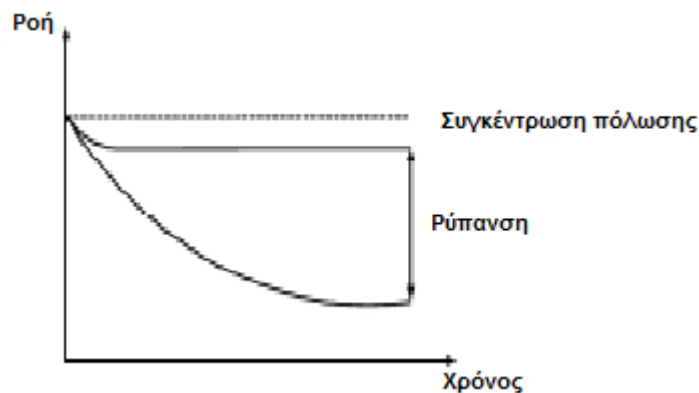
από το μέγεθος των στερεών της τροφοδοσίας, παρατηρείται να συμβαίνει το βούλωμα ή και η στένωση της μεμβράνης (Zhu & Elimelech, 1997).

Ο βασικός μηχανισμός ρύπανσης των μεμβρανών RO είναι η σταδιακή ανάπτυξη φιλμ στην επιφάνεια, καθώς αυτές είναι μη πορώδεις. Η σχηματισμένη στοιβάδα παρέχει μία αντίσταση, όπου μειώνει τη ροή της παραγωγής. Με αυτό τον τρόπο εμφανίζονται δύο επάλληλες αντιστάσεις ροής, η αντίσταση λόγω καθαρής μεμβράνης και η αντίσταση λόγω σχηματιζόμενου φιλμ στην επιφάνεια της μεμβράνης. Το φιλμ στην επιφάνεια της μεμβράνης σχηματίζεται εξαιτίας φαινομένων πόλωσης συγκέντρωσης. Η πόλωση συγκέντρωσης αναφέρεται στη σταδιακή ανάπτυξη της στοιβάδας, διαδικασία που είναι αντιστρεπτή και λαμβάνει χώρα όταν το μέγεθος των πόρων της μεμβράνης είναι μικρότερο από το μέγεθος των διαλυμένων στερεών της τροφοδοσίας. Η πόλωση συγκέντρωσης δημιουργεί το σχηματισμό στοιβάδας κοντά ή πάνω στην επιφάνεια της μεμβράνης, και επομένως σε μη αναστρέψιμες επικαθήσεις, δηλαδή σε αλλαγή αλληλεπίδρασης μεταξύ διαλύτη, μεμβράνης και διαλυμένων συστατικών.

Το αποτέλεσμα της πόλωσης συγκέντρωσης είναι: (Kahdim *et al.*, 2003):

1. Αύξηση της ωσμωτικής πίεσης της τροφοδοσίας.
2. Μείωση της καθαρής δρώσας διαφορικής πίεσης εκατέρωθεν της μεμβράνης.
3. Μείωση της ροής της παραγωγής. Το πάχος της στοιβάδας που σχηματίζεται εξαρτάται κυρίως από τις υδροδυναμικές συνθήκες, όπως για παράδειγμα από τον αριθμό Reynolds. Ο βαθμός ανάκτηση και απόδοσης, αποκαθίστανται εφαρμόζοντας μεγαλύτερη πίεση από την πλευρά της τροφοδοσίας ή με υδροδυναμικό-χημικό καθαρισμό της μεμβράνης.

Τονίζεται η σημασία της πυκνότητας ροής ως μέτρο της ρύπανσης στην επιφάνεια της μεμβράνης. Ο ορισμός της πυκνότητας ροής περιέχει σαν παράμετρο την ενεργή επιφάνεια η οποία υποδηλώνει την έκταση ρύπανσης στη μεμβράνη. Το φαινόμενο πόλωσης είναι αναστρέψιμο, αλλά παρατηρείται συνεχής ελαχιστοποίηση της πυκνότητας ροής, λόγω γήρανσης που επέρχεται κατά τη λειτουργία της μεμβράνης όπως φαίνεται στο Σχήμα 7 (Παρασκάκη, 2005).



Σχήμα 7. Πτώση πυκνότητας ροής εξαιτίας ρύπανσης (Παρασκάκη, 2005).

#### 2.3.4.1 Πρόληψη και αντιμετώπιση επικαθίσεων στη μεμβράνη

Τρεις τακτικές χρησιμοποιούνται για την αντιμετώπιση της ρύπανσης στη μεμβράνη:

1. Προ επεξεργασία του νερού τροφοδοσίας.
2. Υδροδυναμικός καθαρισμός.
3. Χημικός καθαρισμός μεμβράνης.

Σαν μέτρο πρόληψης είναι η προ επεξεργασία της τροφοδοσίας, η οποία είναι απαραίτητη όταν η ποιότητα της τροφοδοσίας δεν ακολουθεί τις προδιαγραφές ποιότητας.

Η διαδικασία προ επεξεργασίας εμποδίζει και προλαμβάνει κάθε ένα από τα παρακάτω φαινόμενα ρύπανσης, κατηγοριοποιημένα βάσει είδους εναποτιθέμενων στερεών στη μεμβράνη,

1. Επικαθίσεις αιωρούμενων στερεών.
2. Εναπόθεση ανόργανης ύλης.
3. Επικαθίσεις κολλοειδών.
4. Βιολογικές επικαθίσεις.
5. Επικαθίσεις υδροξειδίων των μετάλλων.
6. Εναπόθεση διοξείδιο του πυριτίου.

μειώνοντας παράλληλα, τη συχνότητα καθαρισμού και αντικατάστασης της μεμβράνης. Η διεργασία διήθησης με φίλτρο μεγέθους πόρων 5- 10 μm είναι απαραίτητη στο στάδιο της προ επεξεργασίας, αφού απομακρύνονται τα αιωρούμενα - κολλοειδή στερεά (Watson *et al.*, 2003).

Ο καθαρισμός της μεμβράνης, βοηθάει στη διατήρηση της διαπερατότητας και εκλεκτικότητας της μεμβράνης. Το κόστος καθαρισμού της μεμβράνης αντιστοιχεί σε ένα 5- 20 % του λειτουργικού κόστους, το οποίο δείχνει και τη σημασία του καθαρισμού στη λειτουργία της μονάδας αντίστροφης ώσμωσης (Madaeni *et al.*, 2001). Ο καθαρισμός γίνεται είτε υδροδυναμικά, είτε χημικά. Ο υδροδυναμικός καθαρισμός ξεπλένει τη μεμβράνη με την άσκηση χαμηλών πιέσεων λειτουργίας και μεγάλη εφαπτομενική ταχύτητα, για ορισμένη διάρκεια. Ο χημικός καθαρισμός της μεμβράνης ορίζεται από τη συγκέντρωση του καθαριστικού διαλύματος, το χρόνο καθαρισμού, τη θερμοκρασία, και τις υδροδυναμικές συνθήκες κατά τη διάρκεια του καθαρισμού. Ένα τέτοιο καθαριστικό είναι το θειοθειικό νάτριο, (sodium metabisulfite, SMBS) το οποίο χρησιμοποιείται ως βιοστατικό σε συγκέντρωση 1 % w/v, (Kahdim *et al.*, 2003).

#### **2.3.4.2. Προστασία μεμβράνης RO σε κατάσταση εκτός λειτουργίας.**

Η μονάδα μεμβράνης πρέπει να προστατεύεται όταν βρίσκεται εκτός λειτουργίας για περισσότερο από 24 ώρες. Η έλλειψη συντήρησης της μεμβράνης, μπορεί να οδηγήσει στην ανάπτυξη βιολογικών επικαθήσεων, οι οποίες προκαλούν προβλήματα στη λειτουργία της μονάδας RO, όπως είναι η πτώση πίεσης εκατέρωθεν της μεμβράνης με αποτέλεσμα τη μικρότερη παροχή νερού. Τα συντηρητικά διαλύματα προστασίας της μεμβράνης που χρησιμοποιούνται είναι το όξινο θειικό νάτριο (sodium bisulfite, SBS) σε συγκέντρωση 1 % (Παρασκάκη, 2005).

#### **2.3.5. Μορφολογία μεμβρανών RO**

Οι συνθετικές μεμβράνες RO κατασκευάζονται από διάφορα πολυμερή, όπως παρουσιάζονται στον Πίνακα 3, και είναι η οξική κυτταρίνη (CA) και τα παράγωγά της, το πολυαμίδιο (PA), το πολυακρυλονιτρίλιο, το πολυσουλφόνιο και το πολυαιθεροσουλφόνιο. Τα συγκεκριμένα πολυμερή είναι δομημένα σε δύο κυρίως στρώσεις, την πρώτη στο μέρος της πίεσης της τροφοδοσίας, η οποία είναι μη πορώδης και έχει λεπτό πάχος (φιλμ), και τη δεύτερη η οποία είναι πορώδης και χρησιμεύει ως στήριγμα της πρώτης στρώσης, μεγιστοποιώντας τη μηχανική αντοχή της. Η μη πορώδης στρώση είναι εκείνη που διαχωρίζει το νερό από τα διαλυμένα συστατικά (Μήτρακας, 2001). Για να επιλεγθεί ένας από αυτούς τους τύπους της μεμβράνης εξαρτάται κυρίως από τις ανάγκες της μονάδας αφαλάτωσης.

Οι μεμβράνες πολυαμιδίων (PA) είναι οι πιο εμπορικές στην αγορά της επεξεργασίας του νερού σήμερα, λόγω της υψηλής απόρριψής τους σε άλατα και λειτουργία σε χαμηλότερες πιέσεις σε σύγκριση με τις παλαιότερες μεμβράνες κυτταρίνης (CA). Κύριο πλεονέκτημά τους η ικανότητα



να αντέχουν σε ακραίες συνθήκες pH και υψηλές θερμοκρασίες. Ωστόσο, το βασικό τους μειονέκτημα είναι ευαισθησία τους σε οξειδωτικές ενώσεις και το ότι το πολυαμιδικό σύστημα μεμβρανών καθίσταται ευάλωτο σε ανεπιθύμητη μικροβιακή ανάπτυξη. Η βιοσυσσώρευση αυτή είναι η πιο συχνή αιτία κακής απόδοσης ενός συστήματος αντίστροφης ώσμωσης.

Επίσης, οι μεμβράνες πολυαμιδίων παρουσιάζουν ανιονικό επιφανειακό φορτίο. Η επιφανειακή αυτή φόρτιση περιορίζει τη χρήση κατιονικών πηκτικών και κροκιδωτικών υλικών. (Παντατοσάκης, 2013).

Πίνακας 3. Χαρακτηριστικά μεμβρανών αντίστροφης ώσμωσης (Παντατοσάκης, 2013).

	ΑΡΩΜΑΤΙΚΑ ΠΟΛΥΑΜΙΔΙΑ	ΕΣΤΕΡΕΣ ΚΥΤΤΑΡΙΝΗΣ
Απόρριψη αλατιού	>99%	~ 95%
Κινητήρια Πίεση	150-250 psi	200-400 psi
Προεπεξεργασία	Αναγκαία	Προτείνεται
Όρια pH	1-13	4-6
Επιφανειακή Φόρτιση	Ανιονική	Ουδέτερη
Συχνότητα καθαρισμού	Συχνή	Σπάνια
Αφαίρεση Οργανικών	Αποτελεσματική	Καλή
Βιοσυσσώρευση	Προβληματική	Όχι προβληματική
Οξειδωτικά	Όχι ανεκτικά	Ανεκτικά

## 2.4. Υδροαλκοολικό διάλυμα

### 2.4.1 Συστατικά υδροαλκοολικού διαλύματος

Το νερό είναι το κυρίαρχο συστατικό σε πολλά τρόφιμα. Ως μέσο το νερό υποστηρίζει χημικές αντιδράσεις, και είναι άμεσο αντιδρών στις υδρολυτικές διαδικασίες. Επομένως η απομάκρυνση του νερού από τα τρόφιμα ή η δέσμευση του με αύξηση της συγκέντρωσης σε τρόφιμα επιβραδύνει πολλές αντιδράσεις και αποτρέπει την αύξηση μικροοργανισμών, βελτιώνοντας κατά συνέπεια τη διάρκεια ζωής διάφορων τροφίμων (Κοτροκόης & Παπαδογιαννάκης, 2009).

Οι αλκοόλες είναι οργανικές ενώσεις που έχουν λειτουργική ομάδα το OH και περιγράφονται από το γενικό τύπο R- OH. Η πιο διαδεδομένη στη φύση αλκοόλη είναι η αιθανόλη, CH<sub>3</sub>- CH<sub>2</sub>- OH, που αποτελεί συστατικό των αλκοολούχων ποτών. Παράγεται με τη ζύμωση σακχάρων από μικροοργανισμούς (Σπηλιόπουλος, 2008).

## 2.4.2 Αζεοτροπικό μίγμα

Το υδροαλκοολικό διάλυμα είναι ένα διάλυμα αλκοόλης-νερού, το οποίο αποτελεί ένα μη ιδανικό ή πραγματικό σύστημα δηλαδή παρουσιάζει αποκλίσεις από τον Νόμο του Raoult των μερικών πιέσεων, είτε θετικές (πχ Ακετόνη/χλωροφόρμιο), είτε αρνητικές (πχ αιθανόλη/ νερό) λόγω διαφορών στους χημικούς τύπους και στις φυσικές και χημικές ιδιότητες, οπότε η παρουσία του ενός, επηρεάζει τη συμπεριφορά του άλλου. Τα μίγματα αυτά ονομάζονται *αζεοτροπικά μίγματα* (Ανδρικόπουλος, 2010).

## 2.4.3 Μέτρηση Αλκοολικού τίτλου

Για να εκφραστεί η αλκοολοπεριεκτικότητα χρησιμοποιήθηκε ο όρος αλκοολικός βαθμός που ισούται με τον αριθμό των λίτρων καθαρής αλκοόλης που περιέχονται σε 100 λίτρα προϊόντος στους 20 °C. Κατά καιρούς προτάθηκαν διάφορες μέθοδοι και προσδιορισμού κι έκφρασης της αιθυλικής αλκοόλης που παρουσίαζαν διάφορα προβλήματα. Θα πρέπει να παρατηρηθεί στον αλκοολικό τίτλο ότι συνυπολογίζονται τα ομόλογα της αιθανόλης καθώς επίσης και η εστεροποιημένη αιθανόλη και τα ομόλογά της, μιας και περνάνε στο απόσταγμα (Επίσημη Εφημερίδα των Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων, 1982).

## 2.5. Μπύρα

### 2.5.1. Σύσταση και πρώτες ύλες της μπύρας

Οι πρώτες ύλες που χρησιμοποιούνται στην διαδικασία παραγωγής της μπύρας είναι οι εξής:

- Κριθάρι ή και άλλα δημητριακά
- Νερό
- Λυκίσκος
- Ζύμες

Η μπύρα αποτελείται από 400 περίπου ενώσεις που προέρχονται από την πρώτη ύλη ή έχουν σχηματιστεί ως προϊόντα μεταβολισμού της ζύμης ή βιοχημικών μετατροπών κατά την βυνοποίηση, την ζύμωση ή την ωρίμανση. Οι κυριότερες κατηγορίες συστατικών της μπύρας αναφέρονται παρακάτω.

### Αιθανόλη

Εκφράζεται ως % κατ' όγκο ποσοστό της αιθανόλης που περιέχεται στην μπύρα στους 20 °C. Ο προσδιορισμός γίνεται με διαχωρισμό της αιθανόλης με απόσταξη και μέτρηση της πυκνότητας

του αποστάγματος. Ο αλκοολικός βαθμός για τις περισσότερες εμπορικές μπύρες κυμαίνεται μεταξύ 2,5 και 5 % v/v.

### **Αζύμωτο σάκχαρο**

Η μπύρα περιέχει αζύμωτο σάκχαρο του οποίου η σύσταση είναι κυρίως δεξτρίνες. Η γλυκόζη, φρουκτόζη, μαλτόζη και μαλτοτριόζη κάτω από κανονικές συνθήκες υπόκεινται σε πλήρη ζύμωση. Μεγάλα ποσοστά αζύμωτου σακχάρου παρατηρούνται από σκόπιμη παύση της ζύμωσης ή ατελή κατάσταση της ζύμωσης λόγω κακής κατάστασης της ζύμης.

### **Πικραντικές ύλες λυκίσκου**

Η πικρή γεύση της μπύρας οφείλεται στην προσθήκη του λυκίσκου κατά την διάρκεια του βρασμού της. Τα πικρά συστατικά ελαχιστοποιούν το ποσοστό τους κατά την ωρίμανση και αποθήκευση μεγιστοποιώντας τον γλυκό χαρακτήρα του προϊόντος. Τα πικρά συστατικά της μπύρας προσδίδονται στο σύνολο τους σε μονάδες BU με βάση την τιμή της απορρόφησης στο υπεριώδες (275nm) του εκχυλίσματος τους σε ισοοκτάνιο. Η περιεκτικότητά τους στις περισσότερες εμπορικές μπύρες κυμαίνεται από 10 έως 62 BU.

### **Πολυφαινόλες**

Στην μπύρα υπάρχει ένα μείγμα φαινολικών συστατικών σε συγκεντρώσεις μεταξύ 150-350 mg/l. Περίπου τα 2/3 προέρχονται από την βύνη και το 1/3 από το λυκίσκο.

### **Δικετόνες**

Οι δικετόνες είναι παραπροϊόντα της ζύμωσης που αυξάνουν την απαλότητα της γεύσης της μπύρας και έχουν οσμή που παρομοιάζεται με του βουτύρου, του μελιού και της βανίλιας. Μεγάλες συγκεντρώσεις δικετονών δεν είναι επιθυμητές (Ριφούνας, 2012).

## **2.5.2. Τρόποι αύξησης αλκοόλης στην μπύρα**

### **2.5.2.1 Αύξηση περιεκτικότητας αλκοόλης κατά την ζύμωση**

Προκειμένου να παρασκευαστούν μπύρες με υψηλή περιεκτικότητα σε αλκοόλ, πρέπει να αντιμετωπιστούν δύο προκλήσεις. Η πρώτη είναι η παραγωγή ζυμώσιμων προϊόντων υψηλής βαρύτητας. Η δεύτερη πρόκληση είναι η παραγωγή μούστου με υψηλό βαθμό ζυμώσεως. Αυτοί οι δύο παράγοντες θα βοηθήσουν στην παραγωγή μπυρών υψηλής αλκοολικότητας.

Για να παραχθούν μπύρες με υψηλό αλκοόλ η αρχική βαρύτητα του μούστου ενός σχετικά παχύ πολτού είναι περίπου 1.101 SG το οποίο θα δώσει μια μπύρα με 10 % v/v σε αλκοόλ. Για να

αυξηθεί η βαρύτητα SG του μούστου θα χρειαστεί πολύωρο βράσιμο που έχει ως συνέπεια μερικά από τα ζυμώσιμα σάκχαρα να μετατρέπονται σε συστατικά που δεν μπορούν να ζυμωθούν με αντιδράσεις Brown.

Μια ευκολότερη μέθοδος αύξησης του δυναμικού αλκοόλης είναι η προσθήκη ζυμομυκήτων στο μούστο στο βραστήρα ή ακόμα και στον ζυμωτήρα. Η ζάχαρη από ζαχαροκάλαμο, η δεξτρόζη, το σιρόπι ρυζιού, το μέλι, το εκχύλισμα ξηρής και υγρής βύνης μπορούν να προστεθούν στο μούστο για να ενισχύσουν την αλκοόλη της μπίρας.

Παρασκευάζοντας έναν μούστο ζυμώσιμων προϊόντων υψηλής βαρύτητας και με υψηλό βαθμό ζυμώσεων, έρχεται σαν τρίτη πρόκληση η επιλογή της ζύμης. Εάν η ζύμη δεν είναι σε θέση να μετατρέψει όλα τα σάκχαρα σε αλκοόλ, θα παρασκευαστεί μια πολύ γλυκιά, χαμηλής βαρύτητας «μπύρα». Τέλος, πρέπει ο ζύθος, κατά τη ζύμωση, να περιέχει επαρκές οξυγόνο για να πολλαπλασιαστούν τα κύτταρα ζύμης. Αυτό όχι μόνο διασφαλίζει ότι τα κύτταρα ζυμομυκήτων έχουν αρκετό οξυγόνο κατά τη διάρκεια του σταδίου αερόβιου πολλαπλασιασμού, αλλά επίσης έχει ως αποτέλεσμα τα τοιχώματα των κυττάρων ζύμης να γίνονται ισχυρότερα και ως εκ τούτου πιο ανθεκτικά στα υψηλά επίπεδα αλκοόλης. Ο αερισμός του μύκητα είναι μια πρόκληση καθώς η διαλυτότητα του οξυγόνου στον μούστο μειώνεται καθώς αυξάνεται η βαρύτητα. Ένας τρόπος για να αντιμετωπιστεί αυτό είναι η χρήση οξυγόνου αντί του αέρα για «αερισμό».

Η επιλογή ενός στελεχούς ανεκτικού σε αλκοόλ δεν είναι τόσο δύσκολη λόγω του αριθμού των διαθέσιμων στελεχών ζύμης. Υπάρχουν τόσο υγρές όσο και αποξηραμένες ζύμες. Συγκεκριμένα, ο τύπος Safbrew S-33 είναι ζύμη ανθεκτική στο αλκοόλ για ένα ευρύ φάσμα ζύθων. Για υψηλής ποιότητας αρωματικές μπίρες, υψηλής περιεκτικότητας σε αλκοόλ, χρησιμοποιείται η Trappist High Gravity, όπου είναι η κύρια ζύμη υψηλής βαρύτητας ( <https://www.brewerschoice.com.au> , 2017).

#### **2.5.2.2 Αύξησή περιεκτικότητας αλκοόλης μετά την ζύμωση**

Η διαδικασία αύξησης αλκοόλης στις μπίρες μετά την ζύμωση επιτυγχάνεται με την κλασματική ψύξη. Η πρακτική είναι απλή καθώς το νερό που είναι το κύριο συστατικό της μπίρας έχει υψηλότερο σημείο τήξης από την αιθανόλη. Σε θερμοκρασίες κάτω από το σημείο τήξης του νερού, θα παγώσει κάποιο ποσοστό από το νερό στη μπίρα ενώ το αλκοόλ θα παραμείνει υγρό και κατά συνέπεια θα διαχωριστούν τα στερεά από τα υγρά. Έτσι στην επιφάνεια δημιουργείται πάγος σχεδόν καθαρού νερού ο οποίος απομακρύνεται και παραμένει μπίρα με υψηλότερο ποσοστό αλκοόλης. Οι επαναλαμβανόμενες ψύξεις αυτού κάτω από διαδοχικά ψυχρότερες

συνθήκες θα δώσουν μια μπύρα με πολύ υψηλό ποσοστό αλκοόλης (<http://www.popsoci.com>, 2017).

### **2.5.3. Φασματοφωτομετρία UV/Vis στην μπύρα.**

Γενικά οι φασματοφωτομετρικές μέθοδοι χημικής ανάλυσης, όπου ανήκει και η φασματοφωτομετρία UV/Vis χρησιμοποιούνται ευρύτατα για την επίλυση διαφόρων προβλημάτων, που σχετίζονται με τη δομή, την κινητική, την ταυτοποίηση, την ποσοτική ανάλυση διαφόρων ενώσεων κλπ.

Τα πλεονεκτήματα αυτών των μεθόδων είναι:

- α) χρησιμοποίηση μικρής ποσότητας δείγματος,
- β) το δείγμα δεν καταστρέφεται στο τέλος της ανάλυσης,
- γ) μεγάλη ακρίβεια και ευαισθησία και
- δ) μικρός χρόνος μέτρησης.

Οι μετρήσεις απορρόφησης βρίσκουν ευρεία εφαρμογή στο ποσοτικό προσδιορισμό μιας μεγάλης ποικιλίας ανόργανων και οργανικών ουσιών. Η φασματοφωτομετρία UV/Vis χρησιμοποιείται κυρίως για την ποσοτική ανάλυση και συσχέτιση ποσοστού απορρόφησης με τη συγκέντρωση.

Η γραφική απεικόνιση της απορρόφησης ενός διαλύματος σε σχέση με το μήκος κύματος της ακτινοβολίας δίνει το φάσμα απορρόφησης της διαλυμένης ουσίας. Το μήκος κύματος στο οποίο παρατηρείται το μεγαλύτερο ποσοστό απορρόφησης, ονομάζεται μήκος κύματος μεγαλύτερης απορρόφησης (Μπογοσιάν *et al.*, 2017).

Ο λόγος της μέτρησης της απορρόφησης στη μπύρα, σε μήκος κύματος κυρίως στα 430 nm, γίνεται γιατί εκεί παρουσιάζει τη μέγιστη απορρόφηση. Σε αυτό το μήκος κύματος εντοπίζονται οι διαφορές στο χρώμα της μπύρας και βάση του SRM ( μέθοδος χρωματισμού μπύρας) κατατάσσονται σε συγκεκριμένες κατηγορίες χρώματος (<http://www.beeroskopio.com>, 2017).

### **3. ΣΚΟΠΟΣ ΕΡΕΥΝΑΣ.**

Σκοπός της συγκεκριμένης Πτυχιακής εργασίας ήταν η μελέτη της αύξησης της περιεκτικότητας αλκοόλης, σε υδροαλκοολικό διάλυμα, με την απομάκρυνση ποσότητας νερού από αυτό, χρησιμοποιώντας συσκευή υπερδιήθησης. Το πείραμα έγινε υπό διαφορετικές συνθήκες (τύποι μεμβρανών, εφαρμοζόμενη διαφορά πίεσης και χρήση ή μη ψυκτήρα στο συμπύκνωμα) για να προσδιοριστούν οι βέλτιστες συνθήκες. Τέλος, βάση των βέλτιστων συνθηκών που παρατηρήθηκαν, το πείραμα πραγματοποιήθηκε και με τη χρήση πραγματικού προϊόντος, συγκεκριμένα μπύρας.

## 4. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

### 4.1 Υλικά και όργανα

#### 4.1.1 Πρώτη ύλη

Η προμήθεια των δειγμάτων μπύρας έγινε από τη Μικροζυθοποιία Θεσσαλονίκης Άλη, την περίοδο 2016- 2017.

#### 4.1.2 Όργανα- Συσκευές

- Συσκευή υπερδιήθησης τύπου Labstak M20, της εταιρίας Alfa Laval, Σουηδία για τη συμπύκνωση των υδροαλκοολικών μιγμάτων και της μπύρας.
- Μembrάνες νανοδιήθησης τύπου Labstak M20, της εταιρίας Alfa Laval- NF, Σουηδία, για τη διήθηση των υδροαλκοολικών μιγμάτων.
- Μembrάνες αντίστροφης ώσμωσης τύπου Labstak M20, της εταιρίας Alfa Laval- RO, Σουηδία, για τη διήθηση των υδροαλκοολικών μιγμάτων και της μπύρας.
- Αντλία mono, της εταιρείας PCM, Γαλλία, για τη τροφοδοσία.
- Πυριαντήριο της εταιρίας Galleukamp, Αγγλία, Oven BS, Model OV-160, για αύξηση θερμοκρασίας των δειγμάτων.
- Φυγόκεντρος της εταιρίας Sorvall, Η.Π.Α., για τη φυγοκέντριση των δειγμάτων μπύρας, για απομάκρυνση των στερεών.
- Φυγόκεντρος τύπου Eppendorf της εταιρίας Sorvall, Η.Π.Α. για τη φυγοκέντριση των δειγμάτων μπύρας, και την απομάκρυνση στερεών πριν την φασματοφωτομετρία.
- Φασματοφωτόμετρο της εταιρίας Thermo Electron Corporation, Η.Π.Α., για τη μέτρηση απορρόφησης UV/Vis των διαλυμένων συστατικών της μπύρας.
- Συσκευή Απόσταξης.
- Αλκοολόμετρο- πυκνόμετρο τύπου Navida 10% v/v, βαθμονομημένο στους 20°C, για τη μέτρηση περιεκτικότητας σε αλκοόλη.
- Θερμόμετρο.
- Ογκομετρική φιάλη.
- Σφαιρική φιάλη.
- Ογκομετρικοί κύλινδροι.
- Κωνικές φιάλες για την συλλογή αποστάγματος.
- Ογκομετρικό ποτήρι.
- Ψυγείο για διατήρηση των δειγμάτων, στους 4°C.
- Πέτρες βρασμού, για την αποφυγή αφρισμού της μπύρας κατά τη λειτουργία της συσκευής απόσταξης.

- Ζυγαριά.
- Κυψελίδα 3ml.
- Περιέκτες Erpendorf.
- Πηγή θερμότητας τύπου Schott Gerate.
- Αντιαφριστική σιλικόνη.
- Σιφώνια- Πιπέττες μέτρησης.
- Συσκευή έκχυσης αέρα, για απομάκρυνση του CO<sub>2</sub> από τη μπίρα.
- Παχύμετρο τύπου Vernier Caliper 0-150mm, για τη μέτρηση ενεργής επιφάνειας των μεμβρανών.

## **4.2 Μέθοδοι**

### **4.2.1 Υδροαλκοολικό διάλυμα**

Αρχικά παρασκευάστηκαν 25 l διαλύματος απεσταγμένου νερού- αιθανόλης περιεκτικότητας 5% v/v. Το διάλυμα μετά από έντονη ανάδευση μεταφέρθηκε σε μπιτόνι όπου με ζελατίνα καλύφθηκε το ανοιχτό μέρος του για την αποφυγή διαφυγής της αλκοόλης σε αέρια μορφή.

### **4.2.2 Μπύρα**

#### **4.2.2.1 Απομάκρυνση CO<sub>2</sub>.**

Έγινε επεξεργασία της μπίρας για την απομάκρυνση CO<sub>2</sub>, τόσο χειροκίνητα όσο και μηχανικά. Συγκεκριμένα η μπίρα, καθώς περιέχει αρκετή ποσότητα CO<sub>2</sub>, πρέπει πριν την τοποθέτησή της στην αντλία και την εκκίνηση της συσκευής, να επεξεργαστεί ώστε να απομακρυνθεί όσον το δυνατόν περισσότερο από το CO<sub>2</sub>. Αυτό το στάδιο γίνεται ώστε να μην δημιουργηθεί αφρός στο εσωτερικό της αντλίας mono, το οποίο οδηγεί στην καταστροφή της, καθώς και για να μην εμποδιστεί η όλη διεργασία του πειράματος. Η απομάκρυνση του CO<sub>2</sub> έγινε με δύο τρόπους, με την ανακίνηση της μπίρας μέσα σε βαρέλι και με την έκχυση πεπιεσμένου αέρα στο εσωτερικό της μπίρας για την εξάτμιση του.





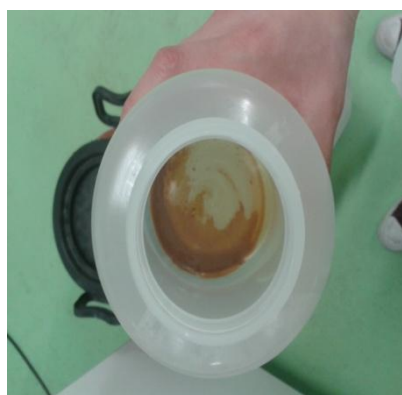
Σχήμα 8. Έκχυση αέρα στο βαρέλι μύρας για απομάκρυνση CO<sub>2</sub>.

#### 4.2.2.2 Απομάκρυνση αδιάλυτων στερεών.

Η απομάκρυνση των στερεών πρέπει να γίνει ώστε να μην φράξουν οι οπές των μεμβρανών, το οποίο θα δυσκολέψει τη διεργασία. Για την απομάκρυνση των στερεών χρησιμοποιήθηκε φυγόκεντρος. Η ταχύτητα περιστροφής της συσκευής ήταν στα 4200rpm για διάρκεια 20 λεπτών. Μετά από το τέλος της φυγοκέντρισης τα στερεά κατακάθονταν σε μεγάλο βαθμό στο πυθμένα των δοχείων και έτσι η μύρα χωρίς στερεά πλέον είναι έτοιμη για τη διήθηση.



α)



β)

Σχήμα 9. α) Δείγμα έτοιμο για φυγοκέντριση και β) Στερεά στο πυθμένα του δοχείου μετά τη φυγοκέντριση.

#### 4.3 Διήθηση υδροαλκοολικών διαλυμάτων και μύρας με τη συσκευή υπερδιήθησης.

Έγινε το γέμισμα της αντλίας πομπο με 5 l διαλύματος αιθανόλης- νερού 5 % v/v και στη συνέχεια έγινε το γέμισμα του λάστιχου που συνδεόταν με την αντλία και το βαρέλι, στο οποίο βρισκόταν το διάλυμα. Επίσης ένα δεύτερο λάστιχο ήταν συνδεδεμένο στην έξοδο της συσκευής υπερδιήθησης, το οποίο κατέληγε και αυτό στο βαρέλι ώστε να γίνεται επανακυκλοφορία του μίγματος. Ένα μικρό σωληνάκι που συνδεόταν με τη μεμβράνη κατέληγε στο εσωτερικό ενός ογκομετρικού σωλήνα. Εκεί συλλεγόταν το διήθημα, το οποίο εξερχόταν από το διάλυμα. Πριν

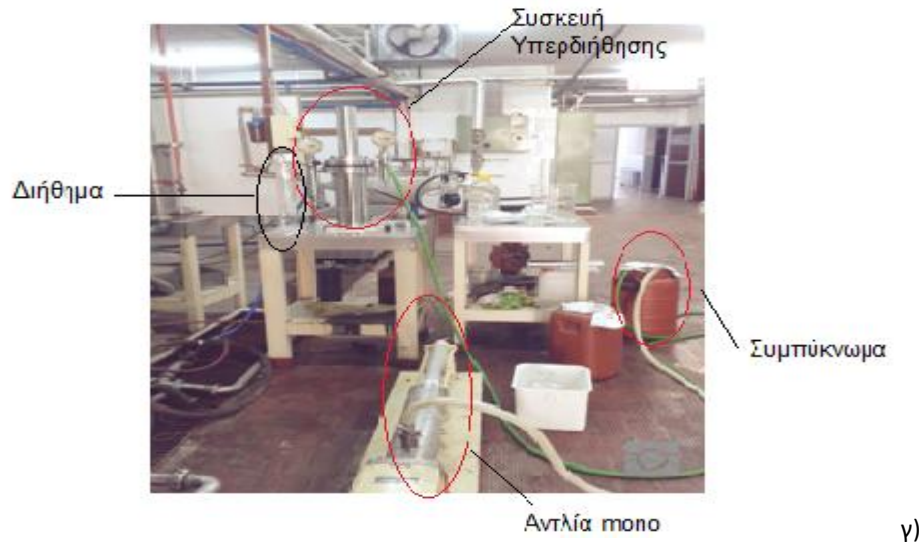
γίνει η εκκίνηση της συσκευής η πίεση ρυθμίστηκε στα 20, 30 και 40 bar αναλόγως. Το πείραμα αυτό πραγματοποιήθηκε με 2 διαφορετικούς τύπους μεμβρανών, τις μεμβράνες Νανοδιήθησης και τις μεμβράνες Αντίστροφης ώσμωσης. Στις μεμβράνες Νανοδιήθησης χρησιμοποιήθηκαν 2 πιέσεις, 20 και 30 bar και το πείραμα επαναλήφθηκε με και χωρίς ψύξη του συμπυκνώματος του υδροαλκοολικού διαλύματος. Αυτό έγινε ώστε να φανεί κατά πόσο επηρεάζεται ο διαχωρισμός του διαλύματος και η αύξηση αλκοόλης στο συμπύκνωμα με την επίδραση της θερμοκρασίας και της πίεσης. Στις μεμβράνες αντίστροφης ώσμωσης πραγματοποιήθηκε το ίδιο ακριβώς πείραμα εφαρμόζοντας και μια τρίτη πίεση η οποία ήταν στα 40 bar. Αυτό ήταν επιθυμητό καθώς, όπως θα αναφερθεί παρακάτω, οι μεμβράνες αντίστροφης ώσμωσης ήταν οι πιο αποτελεσματικές κατά τη διήθηση. Γι' αυτό το λόγο οι μεμβράνες αντίστροφης ώσμωσης ήταν αυτές που χρησιμοποιήθηκαν για την αύξηση αλκοόλης και στη μύρα, διεργασία η οποία πραγματοποιήθηκε ακριβώς με τον ίδιο τρόπο όπως προηγουμένως στο υδροαλκοολικό διάλυμα, αλλά μόνο σε πίεση 40 bar και υπό ψύξη του συμπυκνώματος. Μετά την εκκίνηση της αντλίας άρχισε η μέτρηση του χρόνου, μέχρι την στιγμή που το διήθημα που εξερχόταν από τη συσκευή και οδηγούνταν στον ογκομετρικό σωλήνα, έφτανε το 1 l. Στη συνέχεια μετρήθηκε η περιεκτικότητα των δειγμάτων σε αλκοόλη. Ανά 3- 4 εξόδους διηθήματος, πάρθηκαν δείγματα από το μπιτόνι στο ποίο βρισκόταν το συμπυκνωμένο υδροαλκοολικό διάλυμα, ή το συμπύκνωμα μύρας και μετρήθηκε η περιεκτικότητα των δειγμάτων σε αλκοόλη. Αφού το πείραμα ολοκληρώθηκε, μετρήθηκε ο χρόνος ώσπου ο όγκος του συμπυκνώματος να φτάσει τα 2 l, ώστε αργότερα να υπολογιστεί η παροχή της τροφοδοσίας, η οποία είναι σημαντική για την εύρεση του ρυθμού ανάκτησης.



α)



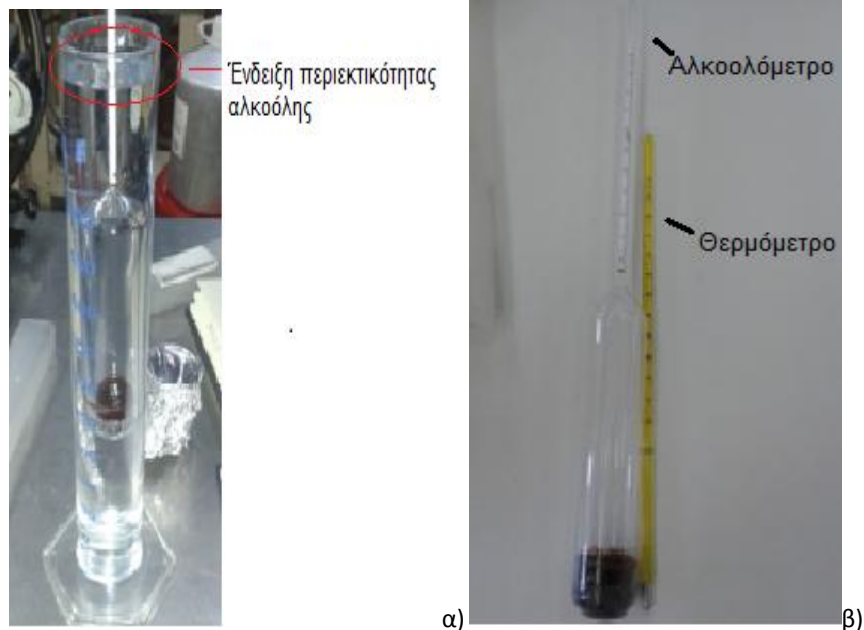
β)



Σχήμα 10. α) Συσκευή υπερδιήθησης, β) Αντλία ποσοκαι γ) Διάταξη όλης της ροής του πειράματος

#### 4.3.1 Μέτρηση αλκοόλης στα υδροαλκοολικά διαλύματα

Για τη μέτρηση της αλκοόλης χρησιμοποιήθηκε αλκοολόμετρο- πυκνόμετρο το οποίο είναι βαθμονομημένο στους 20 °C. Συγκεκριμένα, από το 1 l που βγαίνει ως διήθημα από τη συσκευή, κρατιούνται τα 500 ml για τη μέτρηση της αλκοόλης σε αυτό. Το διάλυμα πρέπει να βρίσκεται στους 20 °C, καθώς αυτή είναι η θερμοκρασία στην οποία όπως αναφέρεται παραπάνω μετρά το αλκοολόμετρο την περιεκτικότητα αλκοόλης. Ανάλογα λοιπόν με τη θερμοκρασία όπου το διήθημα εξέρχεται, αυτό θα τοποθετηθεί αρχικά στο ψυγείο για μείωση της θερμοκρασίας του ή στο πυριαντήριο για την αύξηση της. Όταν το διήθημα είναι στους 20 °C, τοποθετείται σε ογκομετρικό κύλινδρο και βυθίζεται σε αυτόν, το αλκοολόμετρο. Η περιεκτικότητα της αλκοόλης στο διάλυμα είναι εκείνη που αναγράφεται στη αριθμημένη κλίμακα που υπάρχει πάνω στο αλκοολόμετρο και είναι αυτή που τέμνεται από την επιφάνεια του διαλύματος.



Σχήμα 11. α) Μέτρηση της περιεκτικότητας αλκοόλης, β) Αλκοολόμετρο- Θερμόμετρο

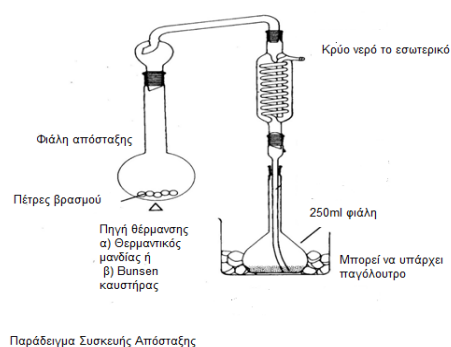
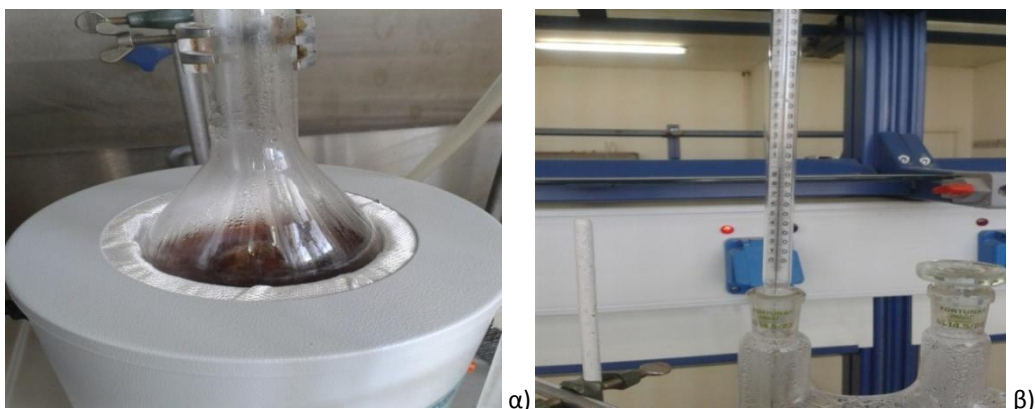
#### 4.3.2 Επεξεργασία δειγμάτων πριν την απόσταξη.

Τα δείγματα συμπυκνώματος μύρας και διηθήματος μύρας, τα οποία χρησιμοποιήθηκαν για τη μέτρηση αλκοόλης με τη μέθοδο της απόσταξης, πέρασαν χειροκίνητη επεξεργασία με ανακίνηση των δειγμάτων, για απομάκρυνση όσον το δυνατόν περισσότερου CO<sub>2</sub>, κρατώντας έτσι ένα μεγάλο μέρος της μύρας χωρίς αέρια. Αυτό γίνεται ώστε κατά το βρασμό που επέρχεται στην απόσταξη, να μην υπάρξει αφρισμός, ο οποίος θα οδηγήσει τόσο στη καταστροφή του δείγματος όσο και της συσκευής.

#### 4.3.3 Απόσταξη των δειγμάτων μύρας

Για να γίνει μέτρηση της αλκοόλης στη μύρα, πρέπει η μύρα να υποβληθεί σε απόσταξη, ώστε να απομακρυνθούν τα συστατικά που αλλοιώνουν την πυκνότητά της. Τα δείγματα φέρονται σε θερμοκρασία περιβάλλοντος, ανακινούνται για την απομάκρυνση CO<sub>2</sub> και τοποθετούνται στη σφαιρική φιάλη απόσταξης. Στη φιάλη φέρονται πέτρες βρασμού για την διατήρηση ομαλού βρασμού και αντιαφριστική σιλικόνη για την αποφυγή αφρισμού. Αφού έγινε η προσθήκη του πρώτου δείγματος, το οποίο ήταν 260 ml η συσκευή τέθηκε σε λειτουργία. Όταν η θερμοκρασία έφτασε περίπου τους 90 °C και πάνω, ξεκίνησε η διαδικασία της απόσταξης η οποία κράτησε για κάθε δείγμα περίπου 45 λεπτά με 1 ώρα. Το απόσταγμα αλκοόλης οδηγούταν σε μια ογκομετρική φιάλη στο τέλος της συσκευής στην οποία συλλέχθηκαν τα  $\frac{3}{4}$  περίπου του όγκου της. Στη συσκευή απόσταξης επίσης, υπήρχε διάταξη με νερό ψύξης, για τη δημιουργία

υδρατμών και την αποφυγή υπερθέρμανσης. Η διαδικασία αυτή έγινε ομοίως και για τα υπόλοιπα δείγματα.



γ)

Σχήμα 12. α) Μίγμα μύρας κατά την απόσταξη, β) Θερμόμετρο και γ) Συσσκευή απόσταξη (Επίσημη Εφημερίδα Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων, 1982).

#### 4.3.4 Μέτρηση αλκοόλης στα δείγματα μύρας.

Όπως προαναφέρθηκε, για τη μέτρηση αλκοόλης στα δείγματα μύρας, έπρεπε να προηγηθεί η απόσταξη της, ώστε να γίνει με αυτή τη μέθοδο η απομάκρυνση από ίχνη στερεών και συστατικών της μύρας που επηρεάζουν την πυκνότητά της. Έτσι παρέμεινε μόνο η αλκοόλη για τη μέτρηση της, η οποία πραγματοποιήθηκε με αλκοολόμετρο το οποίο είναι βαθμονομημένο στους 20 °C. Οπότε, το δείγμα για την μέτρησή του έπρεπε να βρίσκεται στους 20 °C ή εναλλακτικά, χρησιμοποιήθηκε πίνακας μετατροπής θερμοκρασίας- αλκοόλης που παρουσιάζεται παρακάτω. Το τελικό απόσταγμα, το οποίο μετρήθηκε, έπρεπε να είναι ίδιας ποσότητας με το αρχικό δείγμα το οποίο αποστάχθηκε.

Γι' αυτό, επειδή από τη διεργασία της απόσταξης για τη μέτρηση της αλκοόλης κρατήθηκαν περίπου τα  $\frac{3}{4}$  του αποστάγματος, έγινε συμπλήρωση με νερό μέχρι το απόσταγμα να φτάσει την αρχική ποσότητα του δείγματος (π.χ. αρχικά υπήρχαν 260ml προς απόσταξη και μετά από αυτήν έμειναν περίπου 210ml, έτσι συμπληρώθηκε το απόσταγμα με νερό, ώσπου να φτάσει τα

260ml). Ο πίνακας που χρησιμοποιήθηκε για τις μετατροπές των θερμοκρασιών- αλκοόλης δίνεται παρακάτω,

Πίνακας 4. Πίνακας διορθώσεων του φαινομενικού τίτλου ως προς τη θερμοκρασία (Επίσημη Εφημερίδα Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων, 1982).

**ΔΙΕΘΝΗΣ ΑΛΚΟΟΛΙΚΟΣ ΤΙΤΛΟΣ ΣΤΟΥΣ 20οC**

Πίνακας διορθώσεων του φαινομενικού αλκοολικού τίτλου ως προς τη θερμοκρασία

Στον φαινομενικό αλκοολικό τίτλο στους t oC (αλκοολόμετρο από κοινό γυαλί) προστίθεται ή αφαιρείται η ένδειξη του πίνακα

		Φαινομενικός αλκοολικός τίτλος																
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
T (oC)	0	0,76	0,77	0,82	0,87	0,95	1,04	1,16	1,31	1,49	1,70	1,95	2,26	2,62	3,03	3,49	4,02	4,56
	1	0,81	0,83	0,87	0,92	1,00	1,09	1,20	1,35	1,52	1,73	1,97	2,26	2,59	2,97	3,40	3,87	4,36
	2	0,85	0,87	0,92	0,97	1,04	1,13	1,24	1,38	1,54	1,74	1,97	2,24	2,54	2,89	3,29	3,72	4,17
	3	0,88	0,91	0,95	1,00	1,07	1,15	1,26	1,39	1,55	1,73	1,95	2,20	2,48	2,80	3,16	3,55	3,95
	4	0,90	0,92	0,97	1,02	1,09	1,17	1,27	1,40	1,55	1,72	1,92	2,15	2,41	2,71	3,03	3,38	3,75
	5	0,91	0,93	0,98	1,03	1,10	1,17	1,27	1,39	1,53	1,69	1,87	2,08	2,33	2,60	2,89	3,21	3,54
	6	0,92	0,94	0,98	1,02	1,09	1,16	1,25	1,37	1,50	1,65	1,82	2,01	2,23	2,47	2,74	3,02	3,32
	7	0,91	0,93	0,97	1,01	1,07	1,14	1,23	1,33	1,45	1,59	1,75	1,92	2,12	2,34	2,58	2,83	3,10
	8	0,89	0,91	0,94	0,98	1,04	1,11	1,19	1,28	1,39	1,52	1,66	1,82	2,00	2,20	2,42	2,65	2,88
	9	0,86	0,88	0,91	0,95	1,01	1,07	1,14	1,23	1,33	1,44	1,57	1,71	1,87	2,05	2,24	2,44	2,65
	10	0,82	0,84	0,87	0,91	0,96	1,01	1,08	1,16	1,25	1,35	1,47	1,60	1,74	1,89	2,06	2,24	2,43
	11	0,78	0,79	0,82	0,86	0,90	0,95	1,01	1,08	1,16	1,25	1,34	1,47	1,60	1,73	1,88	2,03	2,20
	12	0,72	0,74	0,76	0,79	0,83	0,88	0,93	0,99	1,07	1,15	1,24	1,34	1,44	1,56	1,69	1,82	1,96
	13	0,66	0,67	0,69	0,72	0,76	0,80	0,84	0,90	0,96	1,03	1,11	1,19	1,28	1,38	1,49	1,61	1,73
	14	0,59	0,60	0,62	0,64	0,67	0,71	0,74	0,79	0,85	0,91	0,97	1,04	1,12	1,20	1,29	1,39	1,49
	15	0,51	0,52	0,53	0,55	0,58	0,61	0,64	0,68	0,73	0,77	0,83	0,89	0,95	1,02	1,09	1,16	1,24
	16	0,42	0,43	0,44	0,46	0,48	0,50	0,53	0,56	0,60	0,63	0,67	0,72	0,77	0,82	0,88	0,94	1,00
	17	0,33	0,33	0,34	0,35	0,37	0,39	0,41	0,43	0,46	0,48	0,51	0,55	0,59	0,62	0,67	0,71	0,75
	18	0,23	0,23	0,23	0,24	0,25	0,26	0,27	0,29	0,31	0,33	0,35	0,37	0,40	0,42	0,45	0,48	0,51
19	0,12	0,12	0,12	0,12	0,13	0,13	0,14	0,15	0,16	0,17	0,18	0,19	0,20	0,21	0,23	0,24	0,25	
T (oC)	21	0,13	0,13	0,13	0,14	0,14	0,15	0,16	0,17	0,18	0,19	0,19	0,20	0,22	0,23	0,25	0,26	
	22	0,26	0,27	0,28	0,29	0,30	0,31	0,32	0,34	0,36	0,37	0,39	0,41	0,44	0,47	0,49	0,52	
	23	0,40	0,41	0,42	0,44	0,45	0,47	0,49	0,51	0,54	0,57	0,60	0,63	0,66	0,70	0,74	0,78	
	24	0,55	0,56	0,58	0,60	0,62	0,64	0,67	0,70	0,73	0,77	0,81	0,85	0,89	0,94	0,99	1,04	
	25	0,69	0,71	0,73	0,76	0,79	0,82	0,85	0,89	0,93	0,97	1,02	1,07	1,13	1,19	1,25	1,31	
	26	0,85	0,87	0,90	0,93	0,96	1,00	1,04	1,08	1,13	1,18	1,24	1,30	1,36	1,43	1,50	1,57	
	27	1,03	1,07	1,11	1,15	1,19	1,23	1,28	1,34	1,40	1,46	1,53	1,60	1,68	1,76	1,84		
	28	1,21	1,24	1,29	1,33	1,38	1,43	1,49	1,55	1,62	1,69	1,77	1,85	1,93	2,02	2,11		
	29	1,39	1,43	1,47	1,52	1,58	1,63	1,70	1,76	1,84	1,92	2,01	2,10	2,19	2,29	2,39		
	30	1,57	1,61	1,66	1,72	1,78	1,84	1,91	1,98	2,07	2,15	2,25	2,35	2,45	2,56	2,67		
	31	1,75	1,80	1,86	1,92	1,98	2,05	2,13	2,21	2,30	2,39	2,49	2,60	2,71	2,83	2,94		
	32	1,94	2,00	2,06	2,13	2,20	2,27	2,35	2,44	2,53	2,63	2,74	2,86	2,97	3,09	3,22		
	33	2,20	2,27	2,34	2,42	2,50	2,58	2,67	2,77	2,88	2,99	3,12	3,24	3,37	3,51			
	34	2,41	2,48	2,56	2,64	2,72	2,81	2,91	3,02	3,13	3,25	3,38	3,51	3,65	3,79			
	35	2,62	2,70	2,78	2,86	2,95	3,05	3,16	3,27	3,39	3,51	3,64	3,78	3,93	4,08			
	36	2,83	2,91	3,00	3,09	3,19	3,29	3,41	3,53	3,65	3,78	3,91	4,04	4,18	4,33	4,47		
	37	3,13	3,23	3,33	3,43	3,54	3,65	3,78	3,91	4,04	4,18	4,33	4,47	4,61	4,76			
	38	3,36	3,47	3,57	3,68	3,79	3,91	4,03	4,17	4,31	4,46	4,61	4,74	4,89	5,04			
	39	3,59	3,70	3,81	3,93	4,05	4,17	4,30	4,44	4,58	4,74	4,90	5,06	5,23				
40	3,82	3,94	4,06	4,18	4,31	4,44	4,57	4,71	4,86	5,02	5,19	5,36	5,53					

#### 4.3.5 Επεξεργασία δειγμάτων μύρας για την Απορρόφηση UV/Vis.

Τα δείγματα για τη μέτρηση της απορρόφησης επεξεργάστηκαν μηχανικά με φυγόκεντρο, που στοχεύει στην απομάκρυνση από τυχών ίχνη στερεών. Σε 5 περιέκτες errentorf περιεκτικότητας 1,5 ml, τοποθετήθηκε 1 ml από κάθε δείγμα συμπυκνωμένης μύρας, δηλαδή μύρα πριν τη διήθηση, ενδιάμεσο και τελικό συμπύκνωμα καθώς και ενδιάμεσο και τελικό διήθημα της μύρας, και στη συνέχεια οδηγήθηκαν σε φυγόκεντρο όπου φυγοκεντρήθηκαν με ταχύτητα 10.000 g για 10 min. Στη συνέχεια έγινε ανάμιξη των δειγμάτων αυτών με 2 ml νερού και ο συνολικός όγκος του αραιωμένου δείγματος τοποθετήθηκε σε κυψελίδα 3 ml και ακολούθησε χειροκίνητη ανάδευση.



Σχήμα 13. Δείγματα μετά τη φυγοκέντρωση.

#### 4.3.6 Απορρόφηση UV/Vis σε φασματοφωτόμετρο

Για τη μέτρηση απορρόφησης και μέτρηση του μήκους κύματος στα διαφορετικά δείγματα συμπυκνωμάτων μύρας καθώς και διηθημάτων μύρας, χρησιμοποιήθηκε φασματοφωτόμετρο UV/Vis. Τα δείγματα αφού ήταν έτοιμα για μέτρηση, τοποθετήθηκαν σε κυψελίδα 3 ml, (1 ml του δείγματος μύρας και 2ml νερού). Στη συνέχεια η κυψελίδα τοποθετήθηκε στη συσκευή. Το μήκος κύματος απορρόφησης μετρήθηκε μέσα σε λίγα λεπτά, στα 430 nm, 530 nm και 550 nm για το κάθε δείγμα ξεχωριστά.

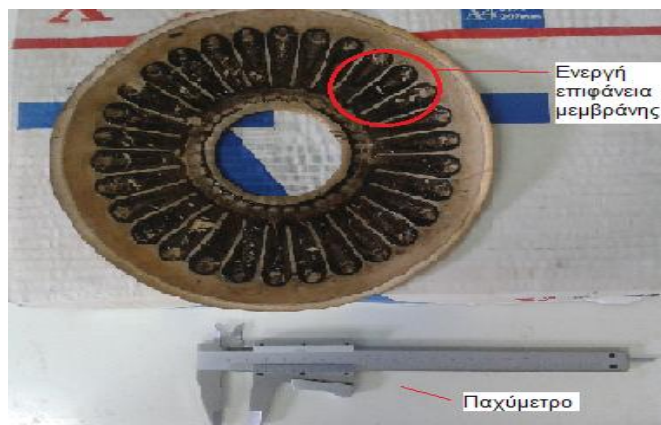


Σχήμα 14. Φασματοφωτόμετρο τύπου Thermo Electron Corporation.

#### 4.3.7 Μέτρηση ενεργής επιφάνειας μεμβράνης.

Για τον υπολογισμό της ενεργής επιφάνειας των μεμβρανών που χρησιμοποιήθηκαν, μετρήθηκαν οι διαστάσεις ενός πετάλου που παρουσιάζεται στο Σχήμα 15 και έγινε πολλαπλασιασμός επί τον αριθμό τους. Οι υπολογισμοί της ενεργής επιφάνειας και οι διαστάσεις που μετρήθηκαν με τη βοήθεια παχυμέτρου παρουσιάζονται στο Παράρτημα 4. Η

εύρεση της ενεργής επιφάνειας των μεμβρανών είναι σημαντική ως προς τον υπολογισμό της πυκνότητας ροής, καθώς είναι αυτή από την οποία το ρευστό περνάει από τη μια πλευρά στην άλλη και είναι εκείνη στην οποία τυχόν στερεά εγκλωβίζονται στο εσωτερικό των πόρων των μεμβρανών, το οποίο παίζει σημαντικό ρόλο στη ροή του ρευστού μέσα από αυτές. Η ενεργή επιφάνεια της μεμβράνης παρουσιάζεται στο Σχήμα 15 και είναι η περιοχή πάνω στη μεμβράνη η οποία είναι μαύρη, καθώς έχουν συσσωρευτεί σωματίδια κατά τη διάρκεια της λειτουργίας της συσκευής.



Σχήμα 15. Μεμβράνη τύπου Labstak M20.



## 5. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ- ΣΥΖΗΤΗΣΗ

### 5.1 Μελέτη μεμβρανών νανοδιήθησης.

#### 5.1.1 Διαπερατότητα μεμβρανών νανοδιήθησης.

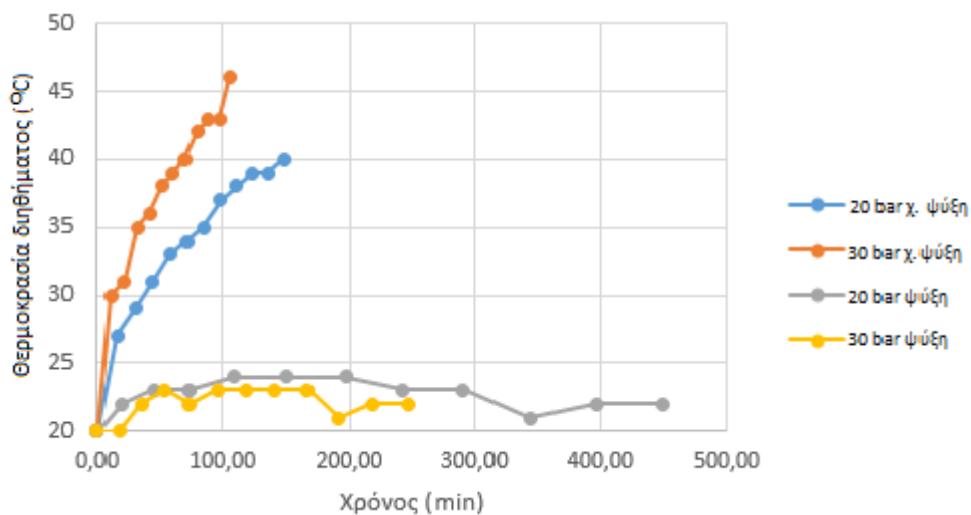
##### 5.1.1.1 Επίδραση θερμοκρασίας- πίεσης.

Οι συνθήκες θερμοκρασίας και πίεσης όπως φαίνεται από τον Πίνακα 5 επίδρασαν στο χρόνο που μετρήθηκε για την έξοδο 11 l διηθήματος. Υπήρξαν συνολικά 11 μετρήσεις χρόνου, καθώς 1 μέτρηση χρόνου αντικατοπτρίζει 1 l διηθήματος. Πιο συγκεκριμένα η αύξηση της πίεσης τροφοδοσίας από 20 bar στα 30 bar μειώνει τον χρόνο εξόδου 1 l διηθήματος με αποτέλεσμα να μειώνεται και ο χρόνος της συνολικής διαδικασίας. Αυτό οφείλεται στο ότι αυξάνεται η παροχή του συστήματος άρα και η παροχή εξόδου του διηθήματος.

Η αύξηση της θερμοκρασίας του υδροαλκοολικού διαλύματος που βρίσκεται σε επαναρροή, οφείλεται στην ύπαρξη τριβών στην αντλία και τους σωλήνες, όσο και στο σημείο εισροής του διαλύματος στις μεμβράνες. Από τον Πίνακα 5 σε συνδυασμό με το Σχήμα 16 παρατηρείται ότι, όσο αυξάνεται η θερμοκρασία του διαλύματος, μειώνεται ο χρόνος εξόδου του κάθε λίτρου διηθήματος. Το φαινόμενο αυτό οφείλεται σύμφωνα με τους Safar *et al.*, (1998) στη μείωση του ιξώδους του νερού λόγω αύξησης της θερμοκρασίας του και επομένως στη μεγιστοποίηση της παροχής του νερού που διέρχεται από τη μεμβράνη. Όσο πιο υψηλή είναι η πίεση του συστήματος τόσο πιο υψηλή η θερμοκρασία εξόδου και παροχή του διηθήματος. Με την τοποθέτηση ψυκτήρα στο σύστημα και την σταθεροποίηση της θερμοκρασίας του διαλύματος σε ένα εύρος 20- 25 °C παρατηρείται ότι ο χρόνος εξόδου του διηθήματος μεγαλώνει σε κάθε λίτρο διηθήματος. Αυτό μπορεί να οφείλεται στο μεγαλύτερο ιξώδες που αποκτά το νερό σε σχέση με το νερό που βρισκόταν σε μεγαλύτερη θερμοκρασία, επίσης στην ολοένα και μεγαλύτερη έμφραξη της μεμβράνης εξαιτίας στερεών που τροφοδοτούνται από το εσωτερικό κύκλωμα επαναρροής και τέλος στις μεγάλες πιέσεις λειτουργίας που ασκούνται στις πολυμερικές μεμβράνες και έχουν ως αποτέλεσμα μετά από κάποιο χρόνο λειτουργίας, να επιφέρουν τη συμπίεσή τους. Κατά συνέπεια επέρχεται ελάττωση της διέλευσης του νερού διαμέσου των μεμβρανών (Μαρκόπουλος, 2002).

Πίνακας 5. Χρόνος εξόδου 1 l διηθήματος σε διαφορετικές πιέσεις - θερμοκρασίες.

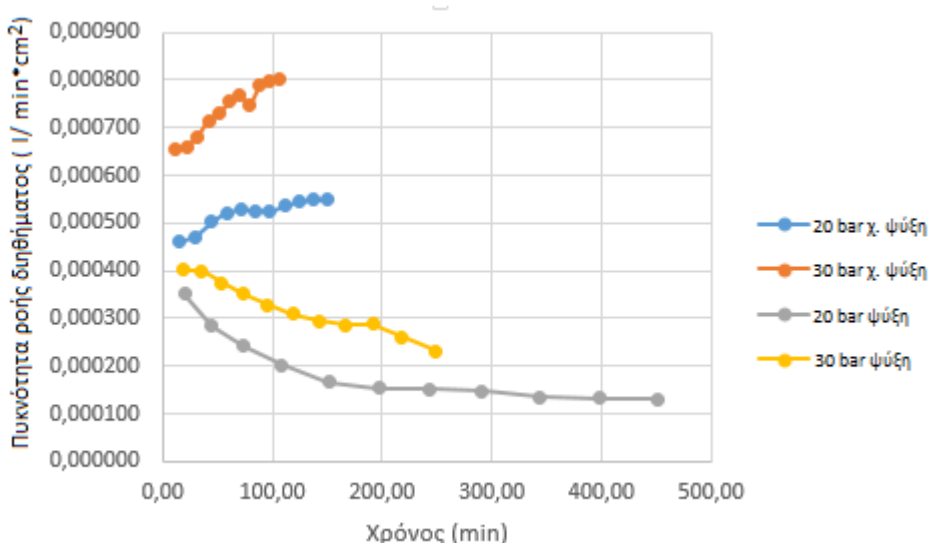
Χρόνος εξόδου διηθήματος (min)				
a/a	20 bar χωρίς ψύξη	30 bar χωρίς ψύξη	20 bar με ψύξη	30 bar με ψύξη
1	15,28	10,77	20	17,55
2	14,92	10,70	24,72	17,58
3	14,00	10,33	29	18,75
4	13,50	9,83	34,98	20
5	13,33	9,63	42,28	21,5
6	13,37	9,33	45,95	22,75
7	13,42	9,17	46,43	23,92
8	13,12	9,42	47,85	24,6
9	12,92	8,90	52,52	24,5
10	12,83	8,82	53,38	27
11	12,82	8,78	53,83	30,55



Σχήμα 16. Μεταβολή της θερμοκρασίας του διηθήματος σε συνάρτηση με το χρόνο σε δύο διαφορετικές πιέσεις με την χρήση ή την μη χρήση ψυκτήρα.

### 5.1.1.2 Πυκνότητα ροής (flux)

Ένας άλλος τρόπος ένδειξης της ταχύτητας εξόδου του διηθήματος και της διαπερατότητας των μεμβρανών, σε διαφορετικές συνθήκες πίεσης και θερμοκρασίας, είναι η πυκνότητα ροής (flux) των μεμβρανών νανοδιήθησης (Ράπτης, 2009). Σύμφωνα με το Σχήμα 17, ισχύει ακριβώς ότι αναφέρθηκε παραπάνω, όσον αφορά το χρόνο που κάνει να εξαχθεί 1 l διηθήματος, κατά την διάρκεια λειτουργίας του πειράματος σε διαφορετικές πιέσεις και θερμοκρασίες. Πιο συγκεκριμένα όσο αυξάνεται η θερμοκρασία μεγιστοποιείται και η πυκνότητα ροής. Με την αύξηση της πίεσης από 20 bar σε 30 bar αυξάνεται η παροχή του συστήματος, άρα και η πυκνότητα ροής του διηθήματος μέσα από τις μεμβράνες. Τέλος, στην περίπτωση χρήσης ψυκτήρα οπου η θερμοκρασία του διηθήματος σταθεροποιείται λόγω παρατεταμένης λειτουργίας σε υψηλές πιέσεις, η πυκνότητα ροής του διηθήματος ελαττώνεται σε συνάρτηση με τον χρόνο.



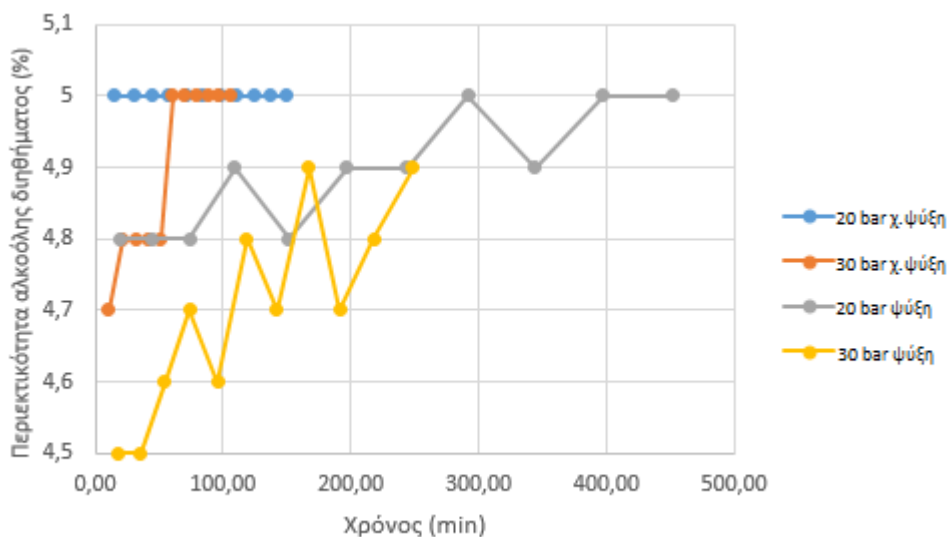
Σχήμα 17. Μεταβολή της πυκνότητας ροής (flux) του διηθήματος σε συνάρτηση με το χρόνο, σε δύο διαφορετικές πιέσεις με την χρήση ή την μη χρήση ψυκτήρα.

### 5.1.2 Διαπερατοεκλεκτικότητα μεμβρανών νανοδιήθησης.

#### 5.1.2.1 Περιεκτικότητα αλκοόλης διηθήματος.

Από το Σχήμα 18 παρατηρείται ότι στο υδροαλκοολικό διάλυμα χωρίς την χρήση ψυκτήρα δεν υπάρχει κάποιος σημαντικός διαχωρισμός του νερού από την αλκοόλη του διαλύματος και πιο συγκεκριμένα όταν η πίεση είναι 20 bar στο διάλυμα ,δεν επέρχεται κανένας διαχωρισμός και το διήθημα εξαγεται χωρίς την παραμικρή μείωση της αλκοόλης. Όσον αναφορά στην εφαρμογή πίεσης 30 bar χωρίς ψύξη, υπάρχει μια αμελητέα μείωση της αλκοόλης στο διήθημα, η οποία

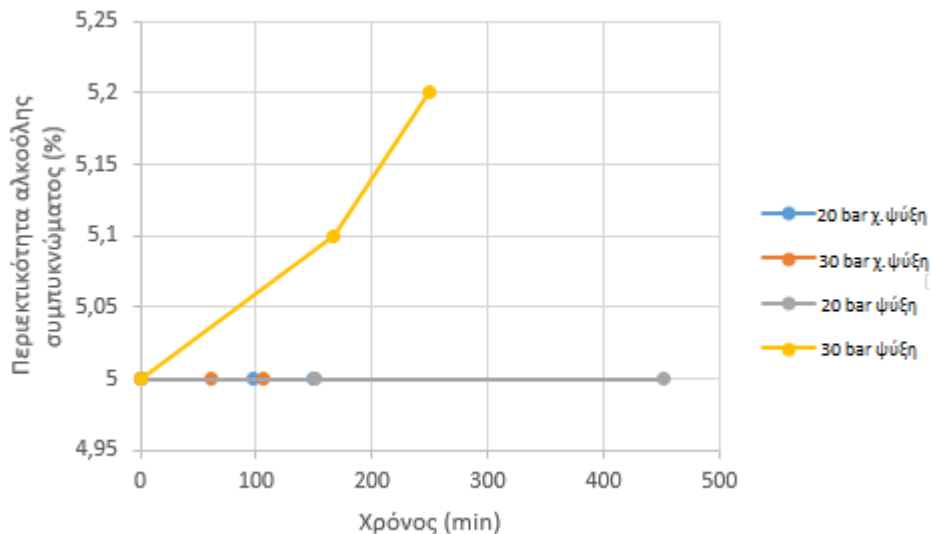
όμως όσο ανεβαίνει η θερμοκρασία του διαλύματος λόγω του ότι μειώνεται το ιξώδες, διαπερνά πιο εύκολα τις μεμβράνες, το οποίο έχει ως συνέπεια μετά την τέταρτη απόρριψη διηθήματος να μην παρατηρείται κανένα διαχωρισμός. Ο διαχωρισμός βελτιώνεται ελάχιστα κατά την εφαρμογή ψύξης και σταθεροποίησης της θερμοκρασίας του διαλύματος, που έχει σαν αποτέλεσμα την μείωση διαπερατότητας της αλκοόλης στο διήθημα. Πιο συγκεκριμένα κατά την εφαρμογή πίεσης 30 bar, παρατηρείται ότι από την αρχή της διαδικασίας διαπερνάει από τις μεμβράνες λιγότερη ποσότητα αλκοόλης, που όμως με την πάροδο του χρόνου δυσχεραίνεται και πλησιάζει το αρχικό διάλυμα που ήταν 5 %.



Σχήμα 18. Μεταβολή της περιεκτικότητας αλκοόλης στο διήθημα, σε συνάρτηση με τον χρόνο σε διαφορετικές συνθήκες πίεσης- θερμοκρασίας.

### 5.1.2.2 Περιεκτικότητα αλκοόλης συμπυκνώματος

Στο Σχήμα 19 σε συνδυασμό με το Σχήμα 18 εξηγείται, το αποτέλεσμα που είχε στο συμπύκνωμα, η διαπερατότητα της αλκοόλης στο διήθημα. Παρατηρήθηκε μια μικρή αύξηση της περιεκτικότητας αλκοόλης στο συμπυκνωμένο προϊόν σε πίεση 30 bar με ψύξη, η οποία είναι λογική, καθώς λιγότερη ποσότητα αλκοόλης πέρασε στο διήθημα επιτυγχάνοντας έτσι μια μικρή αύξηση της αλκοόλης στο αρχικό διάλυμα.



Σχήμα 19. Μεταβολή της περιεκτικότητας αλκοόλης του συμπυκνώματος σε συνάρτηση με τον χρόνο, σε διαφορετικές συνθήκες πίεσης- θερμοκρασίας.

## 5.2 Μελέτη μεμβρανών αντίστροφης ώσμωσης.

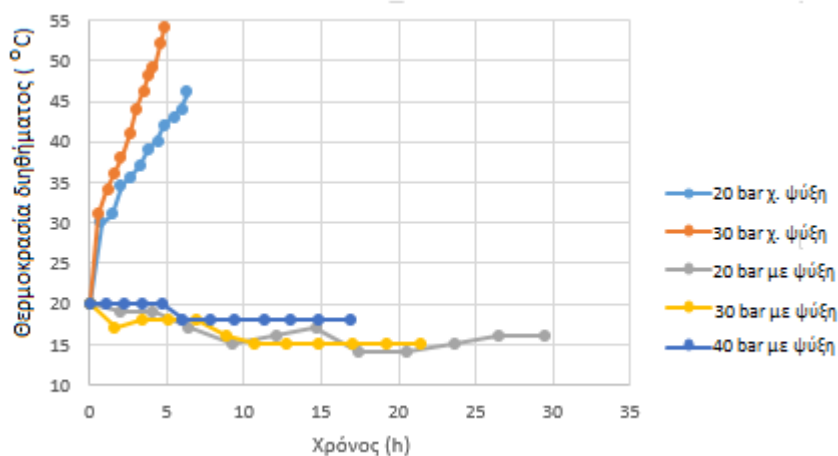
### 5.2.1 Διαπερατότητα μεμβρανών αντίστροφης ώσμωσης.

#### 5.2.1.1 Επίδραση θερμοκρασίας- πίεσης.

Όσο αναφορά τον χρόνο εξόδου 1 l διηθήματος, με τις μεμβράνες αντίστροφης ώσμωσης σε διαφορετικές συνθήκες πίεσης και θερμοκρασίας ισχύει, ότι ακριβώς προαναφέρθηκε και για τις μεμβράνες νανοδιήθησης. Ωστόσο παρατηρείται ότι κάθε έξοδος 1 l διηθήματος διαρκεί περισσότερο χρόνο απ' ό τι με τις μεμβράνες νανοδιήθησης, καθώς οι πόροι από τους οποίους διέρχεται το διήθημα είναι μικρότεροι, ελαχιστοποιώντας έτσι, την ροή του διαλύματος διαμέσω αυτών (Πίνακας 6). Σύμφωνα με το Σχήμα 20 η θερμοκρασία του διαλύματος αλκοόλης χωρίς την χρήση ψυκτήρα, παρατηρείται ότι φτάνει σε υψηλότερες τιμές απ' ό τι με τις μεμβράνες νανοδιήθησης, λόγω της μεγαλύτερης σε διάρκεια διαδικασίας με τις μεμβράνες αντίστροφης ώσμωσης.

Πίνακας 6. Χρόνος εξόδου 1 l διηθήματος σε διαφορετικές πιέσεις- θερμοκρασίες.

Χρόνος εξόδου διηθήματος (h)					
a/a	20 bar χωρίς ψύξη	30 bar χωρίς ψύξη	20 bar με ψύξη	30 bar με ψύξη	40 bar με ψύξη
1	0,76	0,58	2,08	1,67	1
2	0,67	0,53	2,1	1,68	1,12
3	0,64	0,50	2,33	1,75	1,20
4	0,59	0,48	2,67	1,78	1,33
5	0,60	0,49	2,8	1,93	1,45
6	0,57	0,45	2,58	1,95	1,60
7	0,54	0,39	2,9	2,03	1,75
8	0,51	0,40	3,05	2,10	1,78
9	0,50	0,36	3,08	2,17	1,83
10	0,49	0,34	2,87	2,18	1,87
11	0,46	0,33	3,02	2,18	1,90

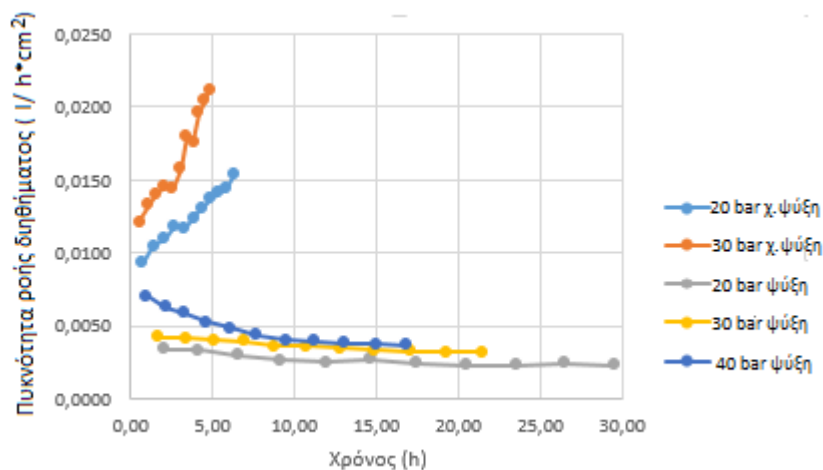


Σχήμα 20. Μεταβολή της θερμοκρασίας του διηθήματος σε δύο διαφορετικές πιέσεις με την χρήση ή την μη χρήση ψυκτήρα.

### 5.2.1.2 Πυκνότητα ροής (flux)

Ακριβώς τα ίδια στοιχεία προκύπτουν και από την πυκνότητα ροής του διηθήματος, καθώς με τις μεμβράνες αντίστροφης ώσμωσης, η πυκνότητα ροής του διηθήματος είναι μικρότερη σε σχέση με τις μεμβράνες νανοδιήθησης. Από το Σχήμα 21 παρατηρείται ότι τα φαινόμενα που

λαμβάνουν χώρα είναι ακριβώς τα ίδια με τις μεμβράνες νανοδιήθησης, όπου όσο αυξάνεται η θερμοκρασία και η πίεση, αυξάνεται και η ροή εξόδου του διηθήματος, ενώ με την εφαρμογή σε ένα σταθερό εύρος θερμοκρασιών, η ροή με το πέρασ του χρόνου μειώνεται.

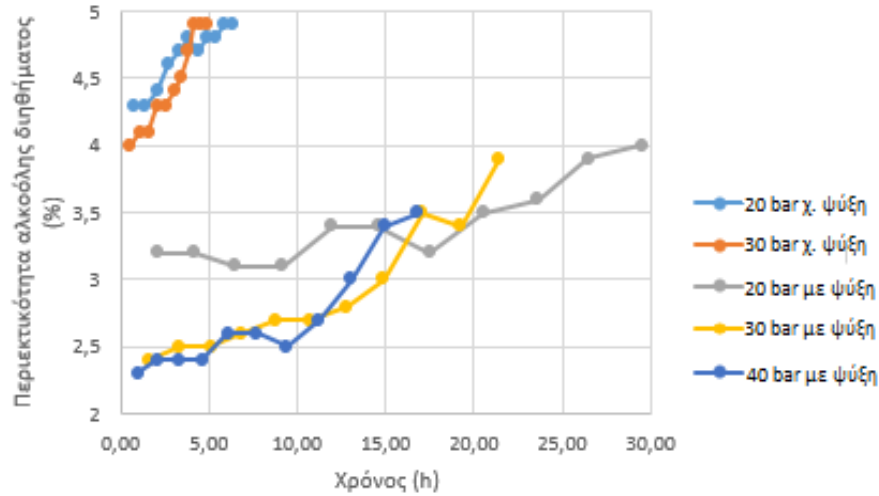


Σχήμα 21. Μεταβολή της πυκνότητας ροής (flux) του διηθήματος σε συνάρτηση με τον χρόνο, σε δύο διαφορετικές πιέσεις με την χρήση ή την μη χρήση ψυκτήρα.

## 5.2.2 Διαπερατοεκλεκτικότητα μεμβρανών αντίστροφης ώσμωσης.

### 5.2.2.1 Περιεκτικότητα αλκοόλης διηθήματος.

Στο σημείο που διαφοροποιούνται οι μεμβράνες αντίστροφης ώσμωσης με τις μεμβράνες νανοδιήθησης, είναι στο βαθμό διαχωρισμού της αλκοόλης από το νερό, αφού το νερό που απορρίπτεται και εξάγεται σαν διήθημα περιέχει μικρότερο ποσοστό αλκοόλης. Αυτό έχει σαν συνέπεια την παραμονή των μορίων της αλκοόλης στο συμπύκνωμα επιτυγχάνοντας το επιδιωκόμενο αποτέλεσμα. Όπως παρουσιάζεται στο Σχήμα 22, με την διατήρηση του συμπυκνώματος σε ένα σταθερό εύρος θερμοκρασιών με την χρήση ψυκτήρα, το ποσό της αλκοόλης που απορρίπτεται είναι πολύ μικρότερο σε σχέση με το διάλυμα αλκοόλης σε συνθήκες αυξανόμενης θερμοκρασίας. Επίσης με την εφαρμογή μεγαλύτερης πίεσης στο σύστημα, παρατηρείται καλύτερος διαχωρισμός της αλκοόλης από το νερό που απορρίπτεται, διότι οι πολύ μικροί πόροι των μεμβρανών αντίστροφης ώσμωσης σε συνδυασμό με μεγάλη πίεση, επιτρέπουν να περάσει περισσότερη ποσότητα νερού κατακρατώντας ένα μεγάλο ποσοστό αλκοόλης στις μεμβράνες RO. Από την άλλη, λόγω της αύξησης της συγκέντρωσης της αλκοόλης στην μεμβράνη από την πλευρά της τροφοδοσίας, παρατηρείται αύξηση της ροής της αλκοόλης στο διήθημα με την πάροδο του χρόνου, φαινόμενο το οποίο παρατηρήθηκε και από τον Παντατοσάκης, (2013).

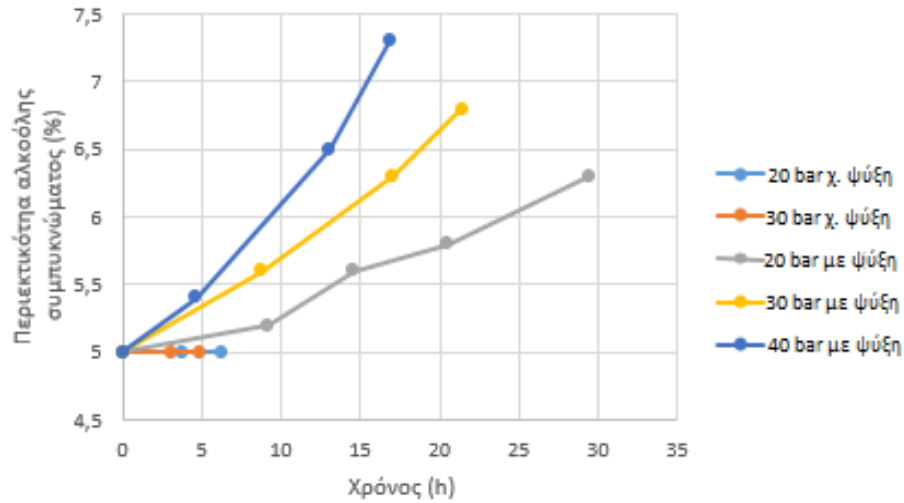


Σχήμα 22. Μεταβολή της περιεκτικότητας αλκοόλης του διηθήματος σε συνάρτηση με τον χρόνο, σε διαφορετικές συνθήκες πίεσης- θερμοκρασίας.

### 5.2.2.2 Περιεκτικότητα του συμπυκνώματος σε αλκοόλη.

Η συμπεριφορά του συμπυκνώματος από την απόρριψη του διηθήματος με χαμηλότερο ποσοστό αλκοόλης από το αρχικό διάλυμα, φαίνεται στο Σχήμα 23. Με την άσκηση μεγαλύτερης πίεσης στο σύστημα παρατηρείτε ότι, το συμπύκνωμα αυξάνει το ποσοστό του σε αλκοόλη καθώς από τις μεμβράνες σαν διήθημα αποβάλλεται περισσότερο νερό, με το μεγαλύτερο ποσοστό της αλκοόλης να μην διαπερνάει τις μεμβράνες RO. Το διάλυμα που επιδεικνύει την μεγαλύτερη αύξηση σε αλκοόλη, είναι αυτό που του ασκήθηκε πίεση 40 bar με την χρήση ψυκτήρα, με ακόμα μεγαλύτερο πλεονέκτημα τον χρόνο, ο οποίος ήταν μικρότερος σε σχέση με τις άλλες δυο πιέσεις που εφαρμόστηκαν. Στα διαλύματα όπου δεν χρησιμοποιήθηκε ο ψυκτήρας δε παρατηρείται καμία μεταβολή στην αύξηση της αλκοόλης στο συμπύκνωμα παρότι στο διήθημα που απορριπτόταν, το ποσοστό της αλκοόλης ήταν μικρότερο από το αρχικό διάλυμα. Ο λόγος που συμβαίνει, είναι ότι λόγω της αύξησης της θερμοκρασίας του διαλύματος πιθανολογείται ότι υπήρχε μερική εξάτμιση της.

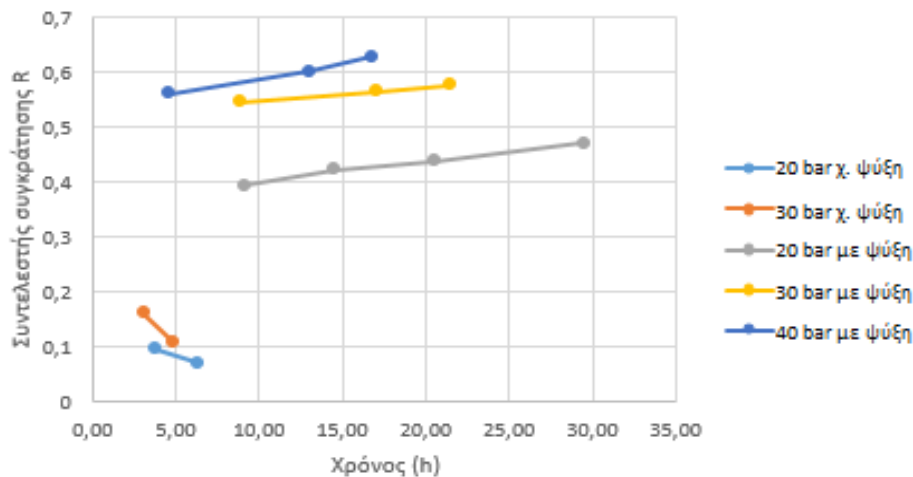




Σχήμα 23. Μεταβολή της περιεκτικότητας αλκοόλης του συμπυκνώματος σε συνάρτηση με τον χρόνο, σε διαφορετικές συνθήκες πίεσης- θερμοκρασίας

### 5.2.2.3 Συντελεστής συγκράτησης R

Από την στιγμή που υπήρξε ικανοποιητική επίδραση των μεμβρανών RO στην αύξηση της αλκοόλης στο συμπύκνωμα, αξίζει να υπολογιστεί και ο συντελεστής συγκράτησης, ο οποίος αποτελεί μια σχέση συγκεντρώσεων του συστατικού στο υπόλειμμα και στο πέρασμα (Madaeni, 1998). Όπως ήταν αναμενόμενο σύμφωνα με το Σχήμα 24 το διάλυμα που έχει τον μεγαλύτερο συντελεστή συγκράτησης είναι αυτό που του ασκήθηκε πίεση 40 bar με την χρήση ψυκτήρα, ο οποίος όσο πιο πολύ πλησιάζει στο 1 δείχνει ότι υπάρχει μεγαλύτερη ποσότητα αλκοόλης στο συμπύκνωμα σε σχέση με το διήθημα. Αντίθετα, όσο πλησιάζει το μηδέν, όπως στις περιπτώσεις όπου δεν υπήρχε ψύξη, συμπύκνωμα και διήθημα παρουσιάζουν παρόμοιες συγκεντρώσεις αλκοόλης.



Σχήμα 24. Μεταβολή συντελεστή συγκράτησης R σε συνάρτηση με τον χρόνο, σε διαφορετικές συνθήκες πίεσης- θερμοκρασίας.

#### 5.2.2.4 Ρυθμός ανάκτησης

Υπολογίζεται ο ρυθμός ανάκτησης όλης της διεργασίας, για τις συνθήκες που παρουσίασαν ικανοποιητικό αποτέλεσμα, δηλαδή σε αυτές που έγινε χρήση ψυκτήρα στο συμπύκνωμα. Ο ρυθμός ανάκτησης δείχνει ότι όσο μεγαλύτερος είναι τόσο αυξάνει η συγκέντρωση της αλκοόλης στην μεμβράνη από την πλευρά της τροφοδοσίας (Παντατοσάκης, 2013). Όπως φαίνεται στον Πίνακα 7 ο ρυθμός ανάκτησης είναι μεγαλύτερος όταν εφαρμόζεται πίεση 40 bar με ψύξη του συμπυκνώματος. Αυτό επιβεβαιώνεται και από το μεγαλύτερο ποσοστό αλκοόλης που υπήρχε στο συμπύκνωμα, δείχνοντας ότι αποτελεί την καλύτερη εφαρμογή συνθηκών για την αύξηση της αλκοόλης σε ένα διάλυμα.

Πίνακας 7. Ρυθμός ανάκτησης σε διαφορετικές συνθήκες πίεσης.

Ρυθμός ανάκτησης (*10 <sup>-4</sup> )		
20 bar με ψύξη	30 bar με ψύξη	40 bar με ψύξη
0,707	0,95	1,39

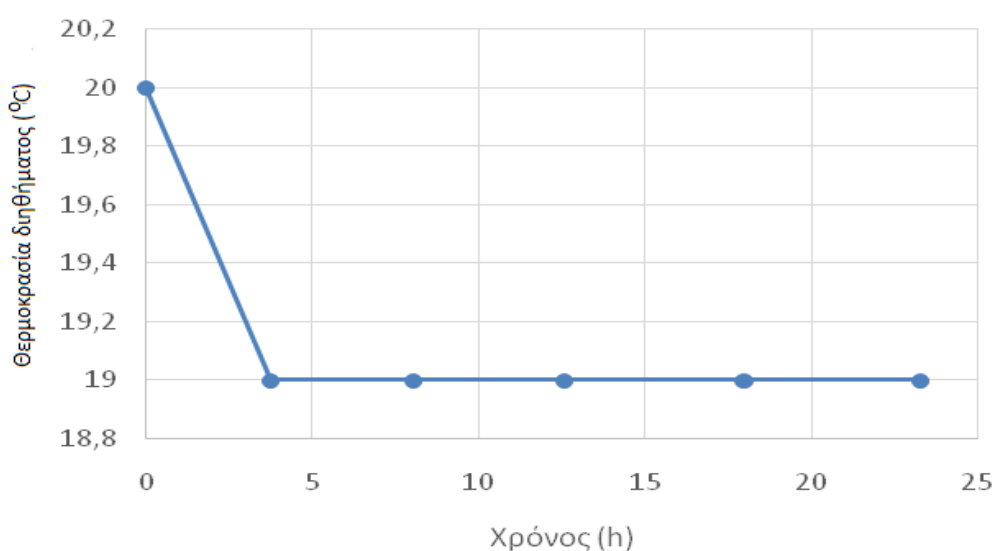
#### 5.3 Μελέτη της συμπεριφοράς πραγματικού προϊόντος

Μετά το πέρας των πειραμάτων με υδροαλκοολικό διάλυμα, τοποθετήθηκε ως δείγμα ποσότητα μπύρας, ενώ ως συνθήκες λειτουργίας των μεμβρανών RO επιλέχθηκαν αυτές που έδειξαν τη μεγαλύτερη διαχωριστική ικανότητα, δηλαδή πίεση στα 40 bar και χρήση ψυκτήρα για την διατήρηση της θερμοκρασίας του συμπυκνώματος σε σταθερά επίπεδα.

Σύμφωνά με τον Πίνακα 8 ο χρόνος εξόδου 1 l διηθήματος από την μπύρα ήταν κατά πολύ μεγαλύτερος σε σχέση με το υδροαλκοολικό διάλυμα και κατά την διάρκεια λειτουργίας του συστήματος αυξανόταν ολοένα και περισσότερο. Η συγκεκριμένη παρατήρηση οφείλεται στο γεγονός ότι, η μπύρα έχει πολλά διαλυτά και αδιάλυτα στερεά τα οποία βοηθούν στην αντίσταση της ροής εξαιτίας της συσσώρευσης τους στην μεμβράνη που με το χρόνο αυξάνει (Metcalf & Eddy, 2003). Τέλος η θερμοκρασία της μπύρας όπως δείχνει το Σχήμα 25 παραμένει σταθερή σε όλη την διάρκεια της διεργασίας.

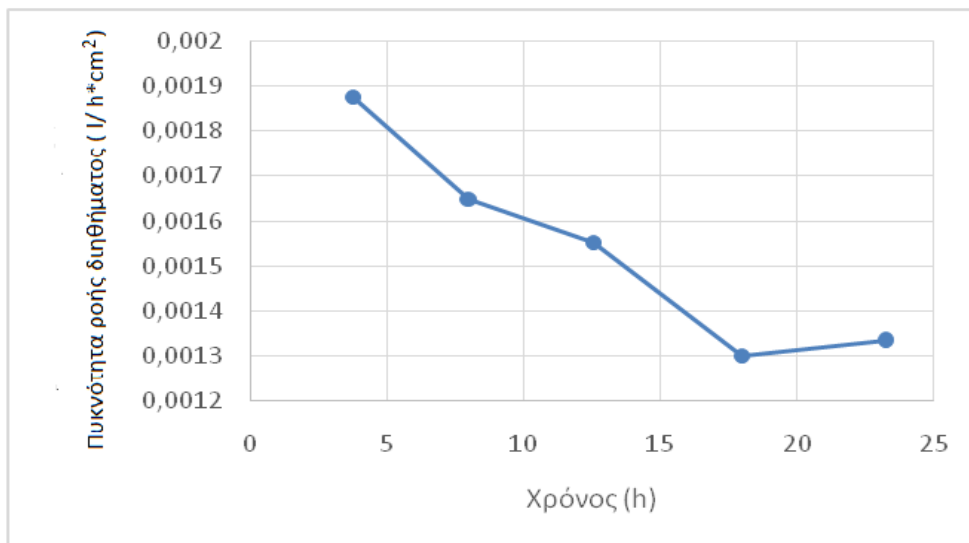
Πίνακας 8. Χρόνος εξόδου 1 l διηθήματος μύρας.

α/α	Χρόνος εξόδου διηθήματος (h)
1	3,75
2	4,27
3	4,53
4	5,42
5	5,28



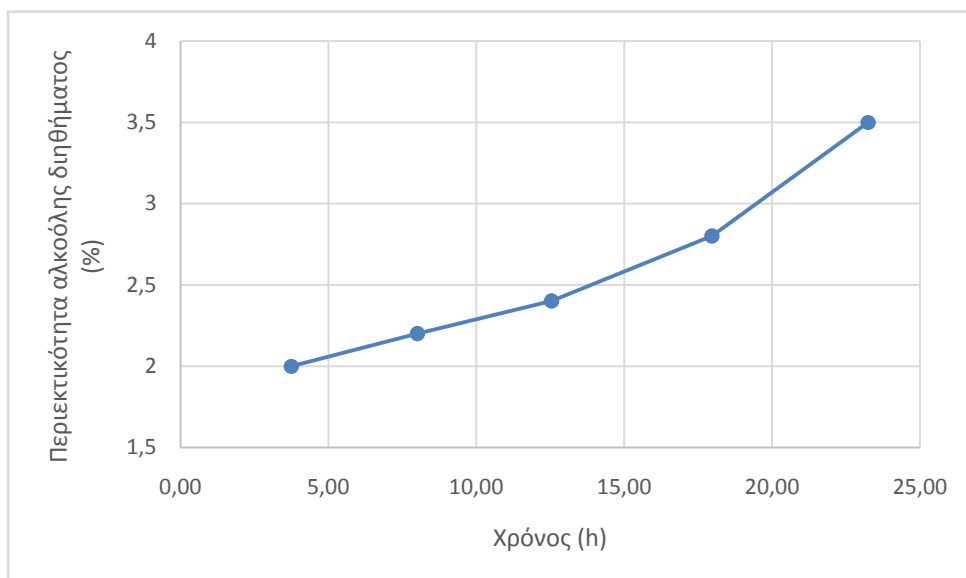
Σχήμα 25. Μεταβολή της θερμοκρασίας του διηθήματος μύρας σε συνάρτηση με το χρόνο.

Όπως είναι λογικό και η πυκνότητα ροής του διηθήματος της μύρα είναι μικρότερη από αυτή του υδροαλκοολικού διαλύματος, λόγω της μεγαλύτερης ποσότητας διαλυτών στερεών που περιέχει. Τέλος, σύμφωνα με την Παρασκάκη (2005), τονίζεται η σημασία της πυκνότητας ροής ως μέτρο ρύπανσης στην επιφάνεια της μεμβράνης. Ο ορισμός της πυκνότητας ροής περιέχει σαν παράμετρο την ενεργή επιφάνεια, η οποία υποδηλώνει την έκταση ρύπανσης στη μεμβράνη. Άρα σύμφωνα με το παραπάνω, η μεγάλη μείωση της πυκνότητας της ροής πέρα από τους παράγοντες που αναλύθηκαν πιο πάνω, οφείλεται κατά ένα μεγάλο μέρος στην ρύπανση της μεμβράνης από επικαθήσεις των στερεών.



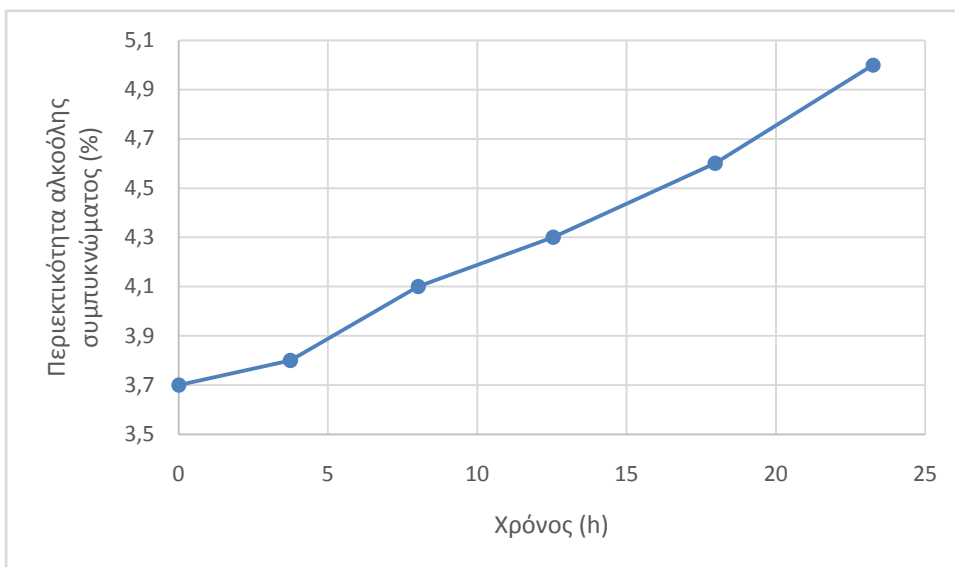
Σχήμα 26. Μεταβολή πικνότητας ροής διηθήματος σε συνάρτηση με τον χρόνο του διηθήματος της μπίρας.

Η συγκράτηση της αλκοόλης από τις μεμβράνες RO, ήταν ικανοποιητική όπως φαίνεται και στο Σχήμα 27, με το πέρασμα του ποσού της αλκοόλης στο διήθημα να είναι μικρότερο από ότι είχε η αρχική μπίρα. Αξίζει να σημειωθεί, ότι πέρα από την αύξηση της συγκέντρωσης της αλκοόλης στην μεμβράνη από την πλευρά της τροφοδοσίας, με αποτέλεσμα κατά το πέρας του χρόνου να διαπερνάει όλο και περισσότερη αλκοόλη στο διήθημα, υπήρχε και ένας επιπλέον ρόλος της μεμβράνης, ο οποίος ήταν η συγκράτηση όλων των διαλυτών στερεών στο συμπύκνωμα.



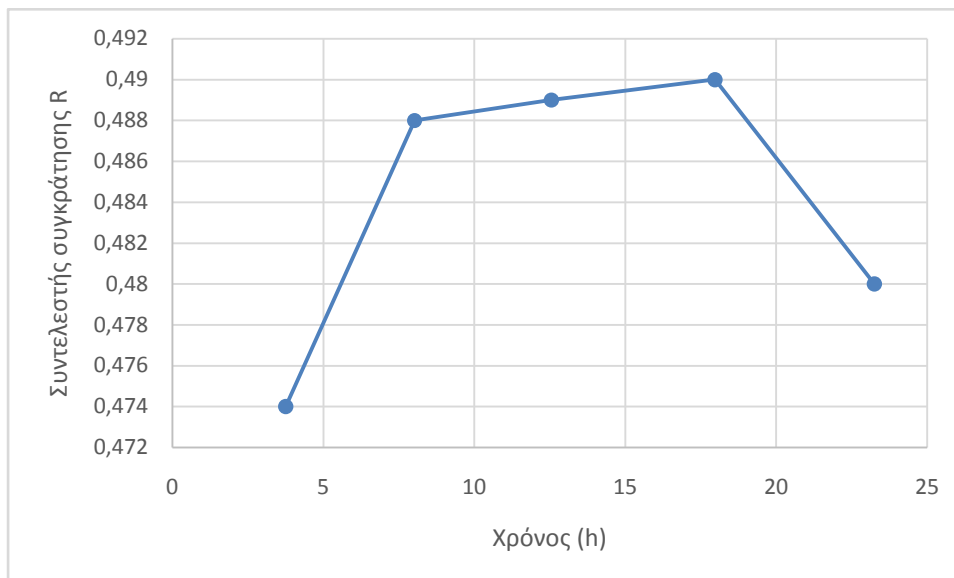
Σχήμα 27. Μεταβολή της περιεκτικότητας αλκοόλης σε συνάρτηση με τον χρόνο του διηθήματος μπίρας.

Η περιεκτικότητα αλκοόλης στην συμπυκνωμένη μύρα αυξήθηκε, όπως φαίνεται στο Σχήμα 28 κατά την διάρκεια του χρόνου, με την αλκοόλη να κατακρατείται ικανοποιητικά στις μεμβράνες και να μην τις διαπερνάει.



Σχήμα 28. Μεταβολή περιεκτικότητας αλκοόλης συμπυκνώματος σε συνάρτηση με τον χρόνο, στο συμπύκνωμα της μύρας.

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, ο συντελεστής συγκράτησης αποτελεί μια σχέση συγκεντρώσεων του συστατικού στο υπόλειμμα δηλαδή το συμπύκνωμα και στο πέρασμα δηλαδή το διήθημα. Στο Σχήμα 29 παρατηρείται ότι μέχρι την χρονική διάρκεια των 18 ωρών αυξάνεται υποδηλώνοντας ότι η συγκέντρωση της αλκοόλης στην μεμβράνη από την μεριά της τροφοδοσίας, αυξάνεται σε σχέση με την μεριά του διηθήματος, ενώ μετά το πέρας των 18 ωρών η μείωση του δείχνει, ότι αυξημένη ποσότητα αλκοόλης πέρασε στο διήθημα σε σχέση με αυτήν που παρέμεινε στο συμπύκνωμα. Με αυτόν τον τρόπο παρατηρείται η μείωση της απόδοσης των μεμβρανών, πιθανόν λόγω του ότι η αλκοόλη στο συμπύκνωμα έχει φτάσει σε τέτοια όρια που αρχίζει να μειώνεται ο διαχωρισμός της. Αν ο συντελεστής πλησιάσει το μηδέν σημαίνει ότι όση αλκοόλη παραμένει στο συμπύκνωμα τόση περνάει και στο διήθημα.



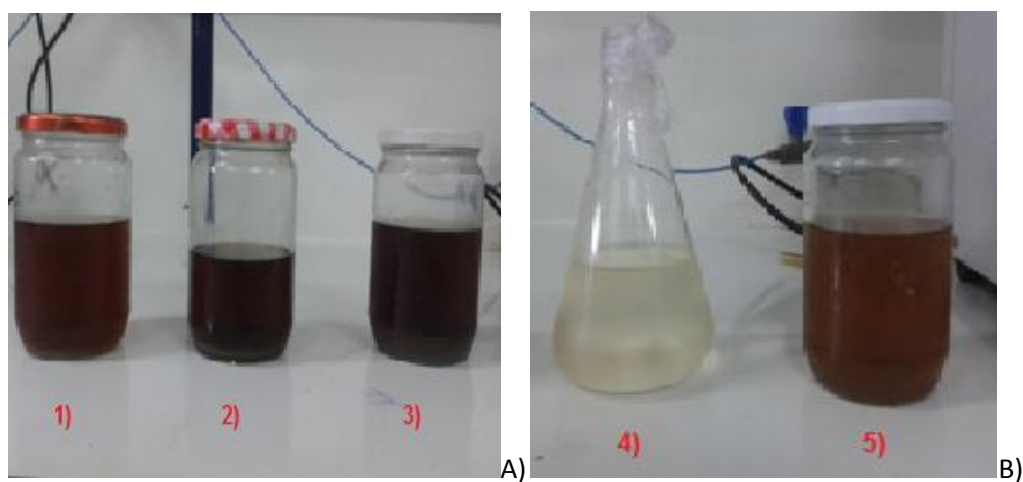
Σχήμα 29. Μεταβολή συντελεστή R σε συνάρτηση με τον χρόνο, στην μύρα.

Κρίθηκε σκόπιμο να μετρηθεί και η μεταβολή των διαλυμένων στερεών στο συμπύκνωμα και στο διήθημα της μύρας. Όπως φαίνεται στον Πίνακα 9, από τα τρία μήκη απορρόφησης που μετρήθηκαν, η συμπυκνωμένη τελική μύρα έχει τις μεγαλύτερες τιμές, δείχνοντας την αύξηση των διαλυμένων συστατικών σε σχέση με την αρχική μύρα και το δείγμα μύρας που συλλέχθηκε κατά την διάρκεια της διεργασίας. Επίσης μεγαλύτερη απορρόφηση παρουσιάζει η μέτρηση σε μήκος κύματος 430 nm. Τέλος, οι μετρήσεις του διηθήματος είναι κατά πολύ μικρότερες σε σχέση με τις μετρήσεις του συμπυκνώματος αποδεικνύοντας έτσι, την μικρή ποσότητα των διαλυτών στερεών που διαπερνούσαν τις μεμβράνες, με μια παρατήρηση, όσο πιο πολύ αυξανόταν η συγκέντρωση των διαλυτών στερεών στο συμπύκνωμα, τόσο αυξανόταν η ροή τους δια μέσω των μεμβρανών και κατά συνέπεια η συγκέντρωσή τους στο διήθημα.

Με αυτή τη μέθοδο, φαίνεται και πειραματικά, εάν υπάρχει διαφορά στην ένταση του χρώματος σε κάθε δείγμα, από την αρχική μύρα πριν τη διήθησή της, μέχρι τη τελική μύρα που είχε συμπυκνωθεί, με τη μέθοδο υπερδιήθησης με μεμβράνες αντίστροφης ώσμωσης, όπως παρουσιάζεται και στο Σχήμα 30.

Πίνακας 9. Μεταβολή της απορρόφησης στο σε διαφορετικά στάδια συμπύκνωτος και διήθηματος της μύρας.

<b>Δείγματα συμπυκνωμάτων και διηθημάτων</b>					
<b>Μήκος κύματος Απορρόφησης (nm)</b>	<b>Αρχική μύρα</b>	<b>Ενδιάμεσο συμπύκνωμα</b>	<b>Τελικό συμπύκνωμα</b>	<b>Ενδιάμεσο διήθημα</b>	<b>Τελικό διήθημα</b>
<b>430</b>	0,412	0,4366	0,5014	0,0341	0,1758
<b>530</b>	0,11	0,1223	0,141	0,0214	0,061
<b>550</b>	0,0855	0,0967	0,1117	0,0197	0,0516



Σχήμα 30. Α) Διαφορά χρώματος στα δείγματα μύρας: 1) αρχική μύρα, 2) ενδιάμεσο συμπύκνωμα και 3) τελικό συμπύκνωμα. Β) 4) ενδιάμεσο διήθημα και 5) τελικό διήθημα.

## 6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Καλύτερος διαχωρισμός νερού- αλκοόλης επιτεύχθηκε με τις μεμβράνες αντίστροφης ώσμωσης, με αποτέλεσμα το συμπύκνωμα να έχει μεγαλύτερο ποσοστό αλκοόλης σε σχέση με αυτό των μεμβρανών νανοδιήθησης.

Με τη χρήση του ψυκτήρα, για την διατήρηση της θερμοκρασίας του διαλύματος σε ένα εύρος θερμοκρασιών μεταξύ 15-20 °C, λαμβάνονται υψηλότερες τιμές περιεκτικότητας της αλκοόλης στο συμπύκνωμα, σε σχέση με την μη χρήση ψυκτήρα.

Επιτυγχάνεται καλύτερος και γρηγορότερος διαχωρισμός του νερού από την αλκοόλη με την εφαρμογή πίεσης του συστήματος στα 40 bar. Εμφανίζεται δηλαδή, μεγαλύτερο ποσοστό αλκοόλης στο τελικό συμπύκνωμα, σε σχέση με τις πιέσεις που εφαρμόστηκαν στα 20 και 30 bar.

Η αντικατάσταση του υδροαλκοολικού διαλύματος από την μύρα, με εφαρμογή πίεσης 40 bar με τη χρήση ψυκτήρα, αυξάνει το χρόνο εξόδου του διηθήματος της μύρας σε σχέση με το διήθημα του υδροαλκοολικού, λόγω ύπαρξης περισσότερων αδιάλυτων στερεών σε αυτήν, το οποίο οδηγεί σε μεγαλύτερη διάρκεια της διεργασίας.

Τέλος, παρατηρήθηκε ότι στη μύρα συγκριτικά με τον αριθμό των απορρίψεων διηθήματος που έγιναν σε σχέση με το υδροαλκοολικό διάλυμα, η αύξηση της αλκοόλης ήταν μεγαλύτερη, πιθανών λόγω των αδιάλυτων και διαλυτών στερεών που συγκρατούνταν στη μεμβράνη από την πλευρά του συμπυκνώματος τα οποία παρεμπόδιζαν ακόμα περισσότερο την αλκοόλη να περάσει στο διήθημα.



## 7. ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ

- 1) Μελέτη της μεταβολής των διαλυτών στερεών της μπίρας κατά τη διήθηση με μεμβράνες νανοδιήθησης και αντίστροφης ώσμωσης.
- 2) Μελέτη της μεταβολής των αρωματικών στοιχείων της μπίρας κατά τη διήθηση με μεμβράνες νανοδιήθησης και αντίστροφης ώσμωσης.
- 3) Μελέτη της επίδρασης της διήθησης με τις μεμβράνες νανοδιήθησης και αντίστροφης ώσμωσης, όσον αφορά την μεταβολή της γεύσης, με οργανοληπτικό έλεγχο.
- 4) Μελέτη της διήθησης με μεμβράνες νανοδιήθησης και αντίστροφης ώσμωσης σε άλλα αλκοολούχα ποτά, διαφορετικών συγκεντρώσεων διαλυτών και αδιάλυτων στερεών.

## 8. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

### ΞΕΝΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- 1) Baker W.R., (2000). Overview of Membrane Science, in Membrane Technology and Applications, McGraw Hill, New York, pp 4-7.
- 2) Bourgeois K.N., Darby J.L., Tchobanoglous G., (2001). Ultrafiltration of wastewater: effects of particles, mode of operation and backwash effectiveness, Water Research, 35, pp. 77-90.
- 3) Charcosset, C., (2009). A review of membrane processes and renewable energies for desalination, Desalination, 245, pp. 214-231.
- 4) Decarolis J., Hong S., Taylor J., (2001). Fouling behavior of a pilot scale inside-out hollow fiber UF membrane during dead-end filtration of tertiary wastewater, Journal of Membrane Science, 191, pp. 165-178.
- 5) Deshmukh S.S., Childress A.E., (2001). Zeta potential of commercial RO membranes: influence of source water type and chemistry, Desalination, 140 , pp. 87-95.
- 6) Elimelech M., Zhu X., Childress A.E., Hong S., (1997). Role of membrane surface morphology in colloidal fouling of cellulose acetate and composite aromatic polyamide reverse osmosis membranes, Journal of Membrane Science, 127, pp. 101-109.
- 7) Eltawil M.A., Zhengming Z., Yuan L.Q., (2009). A review of renewable energy technologies integrated with desalination systems, Renewable & Sustainable Energy Reviews,13, pp. 2245-2262.
- 8) Garcia-Molina V., Esplugas S., Wintgens Th., Melin Th., (2006). Ultrafiltration of aqueous solutions containing dextran, Desalination, 188, pp. 217-227.
- 9) Henry J.D., Prudich M.E., Hatton T.A., Johnston K.P., Lement R.M., Lemlich R., Moyers C.G., Newman J., Pohl H.A., Pollock K., (1999). Alternative Separation Processes, in R.h Perry, D.W. Green, J.O. Maloney (Eds.), Perry's Chemical Engineers Handbook, McGraw Hill, pp. 22-37.
- 10) Hong S., Elimelech M., (1997). Chemical and physical aspects of natural organic matter fouling of nanofiltration membranes, Journal of Membrane Science, 132, pp. 159-181.
- 11) Huang S.T., Kammermeyer K., (1984). Introduction, In R. Krieger (Ed.), Membranes in separation, Techniques of Chemistry Vol. 7, Malaba, pp. 1-7.
- 12) IUPAC, (1996). International Union of pure and applied chemistry, Macromolecular Division, Commission on Functional Polymers, Terminology for Membranes and Membrane Processes, IUPAC Recommendations 1996, Pure & Appl. Chem., 68, pp. 1479-1489.
- 13) Kahdim A.S., Alaa A.J., Saleh I., (2003). Effect of different operation pressures for various membranes on the performance of RO plants, Desalination, 155, pp. 287-291.
- 14) Kaldellis J.K., Kavadias K.A., Kondili E., (2004). Renewable energy desalination plants for the Greek islands - technical and economic considerations, Desalination, pp 187-203.
- 15) Lee S., Ang W.S., Elimelech M., (2006). Fouling of reverse osmosis membranes by hydrophilic organic matter: implications of water reuse, Desalination, 187, pp. 313-321.

- 16) Li Q., Xu Z., Pinnau I., (2007). Fouling of reverse osmosis membranes by biopolymers in wastewater secondary effluent: role of membrane surface properties and initial permeate flux, *Journal of Membrane Science*, 290, pp. 173-181.
- 17) Madaeni S.S., (1998). The application of Membrane Technology for Water Disinfection, *Water Research*, Chemical Engineering Department, Razi University, Iran, 33, pp. 301-308.
- 18) Madaeni S.S., Mohamamdi T. and Moghadam K.M., (2001). Chemical cleaning of reverse osmosis membrane. *Desalination*. Elsevier Science B.V., 134, pp. 77-82.
- 19) McCabe W., Smith J., Harriot P., (2003). *Unit Operations of Chemical Engineers*, 6<sup>th</sup> edition, Εκδοσεις Τζιόλα, Θεσσαλονίκη.
- 20) Metcalf & Eddy Inc., (2003). *Wastewater engineering-Treatment and reuse*, 4th edition, McGraw-Hill, New York.
- 21) Peters T., (2010). "Membrane technology for water treatment". *Chemical Engineering Technology, Membrane Processes*. Membrane Technology & Environmental Engineering, Neuss, Germany.
- 22) Purchas B.D. and Sutherland K., (2002). *Membranes, Handbook of filter media*, 2<sup>nd</sup> edition. Elsevier science and technology books.
- 23) Safar M., Jafar M., Abdel-Jawad M., Bou-Hamad S., (1998). Standardization of RO membrane performance. *Desalination*, 118, pp. 13-21.
- 24) Seidel A., Elimelech M., (2002). Coupling between chemical and physical interactions in natural organic matter fouling of nanofiltration membranes: implications for fouling control, *Journal of Membrane Science*, 5237, pp. 1-11.
- 25) Sincero A.P., Sincero G.A (2003). *Physical and Chemical treatment of water and waste water*, Boca Raton, CRC Press.
- 26) Song L., Hu J.Y., Ong S.L., Ng W.J., Elimelech M., Wilf M., (2003). Performance limitation of the full scale reverse osmosis process, *Journal of Membrane Science*, 214, pp. 239-244.
- 27) Vrijenhoek E.M., Hong S., Elimelech M., (2001). Influence of membrane surface properties on initial rate of colloidal fouling of reverse osmosis and nanofiltration membranes, *Journal of Membrane Science*, 188, pp. 115-128.
- 28) Watson I.C., Morin O.J., Henthorne L., (2003). *Desalting Handbook for Planners*, 3<sup>rd</sup> Edition.
- 29) Ye Y., Le Clech P., Chen V., Fane A.G., (2005). Evolution of fouling during crossflow filtration of model EPS solutions, *Journal of Membrane Science*, 264, pp. 190-199.
- 30) Zhu X., Elimelech M., (1997). Colloidal Fouling of Reverse Osmosis Membranes: Measurements and Fouling Mechanisms, *Environ Sci. Technol.*, 31, pp. 3654-3662.

## ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- 1) Ανδρικόπουλος Ν.Κ., (2010). Ανάλυση Τροφίμων, Θεωρία μεθοδολογίας- οργανολογίας και εργαστηριακές ασκήσεις, Εκδόσεις ΜΠΙΣΤΙΚΕΑ.
- 2) Γιαννιώτης Σ.Π., (2015) «Βασικές Διεργασίες Μηχανικής Τροφίμων». Έκδοση: 1, Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Αθήνα.
- 3) Γκέκας Β. και Πρωιμάκη Σ., (2000). Προσέγγιση της αναντίστρεπτης θερμοδυναμικής, Φαινόμενα Μεταφοράς για Μηχανικούς Περιβάλλοντος, Εκδόσεις Τζιόλα, Θεσσαλονίκη, σελ. 94-96.
- 4) Επίσημη Εφημερίδα Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων., (14-5-1982). Άριθ. L 133/28.
- 5) Κοτροκόης Κ. και Παπαδογιαννάλης Ε., (2009). Διατροφή και χημεία τροφίμων, Εκδόσεις Π.Χ. Πασχαλίδης ΕΠΕ, Αθήνα, σελ.28-33
- 6) Μαρκόπουλος Ν.Ι., (2002). Διεργασίες διαχωρισμού με μεμβράνες (Αναθεωρημένη έκδοση ). Εκδόσεις UniversityStudioPress, Θεσσαλονίκη.
- 7) Μήτρακας Μ., (2001). Ποιοτικά χαρακτηριστικά και επεξεργασία νερού, 2η έκδοση, Εκδόσεις Τζιόλα, Θεσσαλονίκη.
- 8) Μπογοσιάν Σ., Κατσαούνης Α. και Σωτηροπούλου Δ., (2017). Φασματοφωτομετρία υπεριώδης- ορατού, UV-Vis. Πανεπιστήμιο Πατρών.
- 9) Ξιάρχος Ι., (2006). Συμβολή στον χαρακτηρισμό των μεμβρανών: εκτίμηση της υδροφοβικότητας με χρησιμοποίηση διαλυμάτων επιφανειακά ενεργών ουσιών, Διδακτορική διατριβή, Εθνικό Μετσόβιο πολυτεχνείο, Αθήνα.
- 10) Παντατοσάκης Ν., (2013). Μελέτη Παραμέτρων Έμφραξης Μεμβρανών: Μονάδα αντίστροφης ώσμωσης υφάλμυρου νερού, Διπλωματική διατριβή, Α.Τ.Ε.Ι Ηρακλείου, Ηράκλειο.
- 11) Παρασκάκη Ι., (2005). Έπεξεργασία Υφάλμυρων Νερών Μέσω Εργαστηριακής Μονάδας Αντίστροφης Ωσμωσης, Μεταπτυχιακή διατριβή, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά.
- 12) Ράπτης Β., (2009). Φυσικοί Διαχωρισμοί Μέσω Μεμβρανών, Σημειώσεις φυσικών διεργασιών, Πανεπιστήμιο Ιωάννινων, Ιωάννινα.
- 13) Ριφούνας Η., (2012). Παραγωγή & στοιχεία σύγχρονης τεχνολογίας μπύρας, στην παραγωγή μπύρας, Πτυχιακή εργασία, Α.Τ.Ε.Ι Καλαμάτας, Καλαμάτα.
- 14) Σπηλιόπουλος Ι., (2008). Βασική Οργανική Χημεία, Εκδόσεις Σταμούλη Α.Ε., Αθήνα, σελ. 191.

## ΔΙΑΔΙΚΤΙΑΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- 1) <https://brewerschoice.com.au/brewing-high-alcohol-beers/>
- 2) <http://www.popsci.com/science/article/2013-01/beersci-how-make-strong-beer-stronger>
- 3) <http://www.shielco.com/xmsAssets/File/EFARMOGESERGA/APOBLITA/NARO/Genikomebranes>
- 4) <http://watertechnologies.gr/tekhнологies-nerou/>
- 5) <http://ebooks.edu.gr/modules/ebook/show.php/DSGL-B132/471/3119,12544/>
- 6) <http://www.beeroskopio.com/2014/06/srm-standard-reference-method.html>

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ

### Παράρτημα 1

Πίνακας 10. Μετρήσεις μεμβρανών νανοδιήθησης σε πίεση 20 bar, χωρίς ψύξη.

Χρόνος εξόδου διηθήματος (s)	Περιεκτικότητα αλκοόλης διηθήματος (%)	Θερμοκρασία εξόδου διηθήματος (°C)	Χρόνος συμπυκνώματος (s)	Περιεκτικότητα αλκοόλης συμπυκνώματος (%)
0	-	20	0	5
917	5	27	5869	5
895	5	29	8970	5
840	5	31		
810	5	33		
800	5	34		
802	5	35		
805	5	37		
787	5	38		
775	5	39		
770	5	39		
769	5	40		

Πίνακας 11 . Μετρήσεις μεμβρανών νανοδιήθησης σε πίεση 30 bar, χωρίς ψύξη.

Χρόνος εξόδου διηθήματος (s)	Περιεκτικότητα αλκοόλης διηθήματος (%)	Θερμοκρασία εξόδου διηθήματος (°C)	Χρόνος συμπυκνώματος (s)	Περιεκτικότητα αλκοόλης συμπυκνώματος (%)
646	-	20	0	5
642	4,7	30	3636	5
620	4,8	31	6341	5
590	4,8	35		
578	4,8	36		
560	4,8	38		
550	5	39		
565	5	40		
534	5	42		
529	5	43		
527	5	43		
646	5	46		

Πίνακας 12. Μετρήσεις μεμβρανών νανοδιήθησης σε πίεση 20 bar, με ψύξη.

Χρόνος εξόδου διηθήματος (s)	Περιεκτικότητα αλκοόλης διηθήματος (%)	Θερμοκρασία εξόδου διηθήματος (°C)		Χρόνος συμπυκνώματος (s)	Περιεκτικότητα αλκοόλης συμπυκνώματος (%)
0	-	20		0	5
1200	4,8	22		9059	5
1483	4,8	23		27057	5
1740	4,8	23			
2099	4,9	24			
2537	4,8	24			
2757	4,9	24			
2786	4,9	23			
2871	5	23			
3151	4,9	21			
3203	5	22			
3230	5	22			

Πίνακας 13. Μετρήσεις μεμβρανών νανοδιήθησης σε πίεση 30 bar, με ψύξη.

Χρόνος εξόδου διηθήματος (s)	Περιεκτικότητα αλκοόλης διηθήματος (%)	Θερμοκρασία εξόδου διηθήματος (°C)	Χρόνος συμπυκνώματος (s)	Περιεκτικότητα αλκοόλης συμπυκνώματος (%)
<b>0</b>	-	20	0	5
<b>1053</b>	4,5	20	9999	5,1
<b>1055</b>	4,5	22	14922	5,2
<b>1125</b>	4,6	23		
<b>1200</b>	4,7	22		
<b>1290</b>	4,6	23		
<b>1365</b>	4,8	23		
<b>1435</b>	4,7	23		
<b>1476</b>	4,9	23		
<b>1470</b>	4,7	21		
<b>1620</b>	4,8	22		
<b>1833</b>	4,9	22		



Πίνακας 14. Μετρήσεις μεμβρανών αντίστροφης ώσμωσης σε πίεση 20 bar, χωρίς ψύξη.

Χρόνος εξόδου διηθήματος (s)	Περιεκτικότητα αλκοόλης διηθήματος (%)	Θερμοκρασία εξόδου διηθήματος (°C)	Χρόνος συμπυκνώματος (s)	Περιεκτικότητα αλκοόλης συμπυκνώματος (%)
<b>0</b>	-	20	0	5
<b>2725</b>	4,3	30	13815	5
<b>2423</b>	4,3	31	22786	5
<b>2312</b>	4,4	34,5		
<b>2140</b>	4,6	35,5		
<b>2175</b>	4,7	37		
<b>2040</b>	4,8	39		
<b>1937</b>	4,7	40		
<b>1850</b>	4,8	42		
<b>1790</b>	4,8	43		
<b>1752</b>	4,9	44		
<b>1642</b>	4,9	46		

Πίνακας 15. Μετρήσεις μεμβρανών αντίστροφης ώσμωσης σε πίεση 30 bar, χωρίς ψύξη.

Χρόνος εξόδου διηθήματος (s)	Περιεκτικότητα αλκοόλης διηθήματος (%)	Θερμοκρασία εξόδου διηθήματος (°C)		Χρόνος συμπυκνώματος (s)	Περιεκτικότητα αλκοόλης συμπυκνώματος (%)
0	-	20		0	5
2090	4	31		10903	5
1902	4,1	34		17476	5
1803	4,1	36			
1740	4,3	38			
1761	4,3	41			
1607	4,4	44			
1405	4,5	46			
1440	4,7	48			
1292	4,9	49			
1240	4,9	52			
1196	4,9	54			

Πίνακας 16. Μετρήσεις μεμβρανών αντίστροφης ώσμωσης σε πίεση 20 bar, με ψύξη.

Χρόνος εξόδου διηθήματος (s)	Περιεκτικότητα αλκοόλης (%)	Θερμοκρασία εξόδου διηθήματος (°C)	Χρόνος συμπυκνώματος (s)	Περιεκτικότητα αλκοόλης συμπυκνώματος (%)
<b>0</b>	-	20	0	5
<b>7500</b>	3,2	19	33.060	5,2
<b>7560</b>	3,2	19	52.440	5,6
<b>8400</b>	3,1	17	73.860	5,8
<b>9600</b>	3,1	15	106.140	6,3
<b>10080</b>	3,4	16		
<b>9300</b>	3,4	17		
<b>10440</b>	3,2	14		
<b>10980</b>	3,5	14		
<b>11100</b>	3,6	15		
<b>10320</b>	3,9	16		
<b>10860</b>	4	16		

Πίνακας 17. Μετρήσεις μεμβρανών αντίστροφης ώσμωσης σε πίεση 30 bar, με ψύξη.

Χρόνος εξόδου διηθήματος (s)	Περιεκτικότητα αλκοόλης διηθήματος (%)	Θερμοκρασία εξόδου διηθήματος (°C)	Χρόνος συμπυκνώματος (s)	Περιεκτικότητα αλκοόλης συμπυκνώματος (%)
0	-	20	0	5
6000	2,4	17	31740	5,6
6060	2,5	18	61440	6,3
6300	2,5	18	77160	6,8
6420	2,6	18		
6960	2,7	16		
7020	2,7	15		
7320	2,8	15		
7560	3	15		
7800	3,5	15		
7860	3,4	15		
7860	3,9	15		

Πίνακας 18. Μετρήσεις μεμβρανών αντίστροφης ώσμωσης σε πίεση 40 bar, με ψύξη.

Χρόνος εξόδου διηθήματος (s)	Περιεκτικότητα αλκοόλης διηθήματος (%)	Θερμοκρασία εξόδου διηθήματος (°C)	Χρόνος συμπυκνώματος (s)	Περιεκτικότητα αλκοόλης συμπυκνώματος (%)
0	-	20	0	5
3600	2,3	20	16740	5,4
4020	2,4	20	47040	6,5
4320	2,4	20	60600	7,3
4800	2,4	20		
5220	2,6	18		
5760	2,6	18		
6300	2,5	18		
6420	2,7	18		
6600	3	18		
6720	3,4	18		
6840	3,5	18		

## Παράρτημα 2

- Για την μετατροπή του χρόνου από δευτερόλεπτα σε λεπτά, χρησιμοποιήθηκε ο τύπος

$$t = \frac{s}{60}$$

$$\text{π.χ } t = \frac{917}{60} = 15,28 \text{ min}$$

- Για την μετατροπή του χρόνου από δευτερόλεπτα σε ώρες, χρησιμοποιήθηκε ο τύπος

$$t = \frac{s}{3600}$$

$$\text{π.χ } t = \frac{2725}{3600} = 0.76 \text{ h}$$

### Παράρτημα 3

Πίνακας 19. Αποτελέσματα υπολογισμού πυκνότητας ροής του υδροαλκοολικού διαλύματος, για τις μεμβράνες νανοδιήθησης.

20 bar χ. ψύξη		30 bar χ. ψύξη		20 bar με ψύξη		30 bar με ψύξη	
Προστιθέμενος χρόνος εξόδου διηθήματος (min)	Πυκνότητα ροής διηθήματος (l/min*cm <sup>2</sup> )	Προστιθέμενος χρόνος εξόδου διηθήματος (min)	Πυκνότητα ροής διηθήματος (l/min*cm <sup>2</sup> )	Προστιθέμενος χρόνος εξόδου διηθήματος (min)	Πυκνότητα ροής διηθήματος (l/min*cm <sup>2</sup> )	Προστιθέμενος χρόνος εξόδου διηθήματος (min)	Πυκνότητα ροής διηθήματος (l/min*cm <sup>2</sup> )
15,28	0,000460	10,77	0,000654	20,00	0,000352	17,55	0,000401
30,20	0,000472	21,47	0,000658	44,72	0,000285	35,13	0,000400
44,20	0,000503	31,80	0,000681	73,72	0,000243	53,88	0,000375
57,70	0,000521	41,64	0,000716	108,70	0,000201	73,88	0,000352
71,03	0,000528	51,27	0,000730	150,98	0,000166	95,38	0,000327
84,40	0,000526	60,60	0,000754	196,93	0,000153	118,13	0,000309
97,81	0,000524	69,77	0,000768	243,37	0,000152	142,05	0,000294
110,93	0,000536	79,19	0,000747	291,22	0,000147	166,65	0,000286
123,85	0,000545	88,09	0,000791	343,73	0,000134	191,15	0,000287
136,68	0,000548	96,90	0,000798	397,12	0,000132	218,15	0,000261
149,50	0,000549	105,69	0,000801	450,95	0,000131	248,70	0,000230

Πίνακας 20. Αποτελέσματα υπολογισμού πυκνότητας ροής του υδροαλκοολικού διαλύματος, για τις μεμβράνες αντίστροφης ώσμωσης.

20 bar χ. ψύξη		30 bar χ. ψύξη		20 bar με ψύξη		30 bar με ψύξη		40 bar με ψύξη	
Προστιθέμενος χρόνος εξόδου διηθήματος (h)	Πυκνότητα ροής διηθήματος (l/h*cm <sup>2</sup> )	Προστιθέμενος χρόνος εξόδου διηθήματος (h)	Πυκνότητα ροής διηθήματος (l/h*cm <sup>2</sup> )	Προστιθέμενος χρόνος εξόδου διηθήματος (h)	Πυκνότητα ροής διηθήματος (l/h*cm <sup>2</sup> )	Προστιθέμενος χρόνος εξόδου διηθήματος (h)	Πυκνότητα ροής διηθήματος (l/h*cm <sup>2</sup> )	Προστιθέμενος χρόνος εξόδου διηθήματος (h)	Πυκνότητα ροής διηθήματος (l/h*cm <sup>2</sup> )
0,76	0,0093	0,58	0,0121	2,08	0,00338	1,67	0,00422	1,00	0,00704
1,43	0,0105	1,11	0,0133	4,18	0,00335	3,35	0,00418	2,12	0,00630
2,07	0,0110	1,61	0,0141	6,52	0,00302	5,10	0,00402	3,32	0,00586
2,67	0,0118	2,09	0,0146	9,18	0,00264	6,88	0,00395	4,65	0,00528
3,27	0,0116	2,58	0,0144	11,98	0,00251	8,82	0,00364	6,10	0,00485
3,84	0,0124	3,03	0,0158	14,57	0,00272	10,77	0,00361	7,70	0,00440
4,38	0,0131	3,42	0,0180	17,47	0,00243	12,80	0,00346	9,45	0,00402
4,89	0,0137	3,82	0,0176	20,52	0,00231	14,90	0,00335	11,23	0,00395
5,39	0,0142	4,18	0,0196	23,60	0,00228	17,07	0,00325	13,07	0,00384
5,87	0,0145	4,52	0,0204	26,47	0,00245	19,25	0,00322	14,93	0,00377
6,33	0,0154	4,85	0,0212	29,48	0,00233	21,43	0,00322	16,83	0,00370

Πίνακας 21. Αποτελέσματα υπολογισμού πυκνότητας ροής της μπίρας, για τις μεμβράνες αντίστροφης ώσμωσης.

Προστιθέμενος χρόνος εξόδου διηθήματος (h)	Πυκνότητα ροής διηθήματος (l/h*cm <sup>2</sup> )
3,75	0,00188
8,02	0,00165
12,55	0,00155
17,97	0,00130
23,25	0,00133

Η πυκνότητα ροής της παραγωγής δίνεται από την σχέση (1). (IUPAC, 1996)

$$\text{Flux} = \frac{Qp}{A} \quad (1)$$

Όπου: Qp– Παροχή διηθήματος ( l/min)

A– Ενεργή επιφάνεια μεμβράνης ( cm<sup>2</sup>)

Το Qp υπολογίζεται από την σχέση (4).

$$Qp = \frac{V}{t} \quad (4)$$

Όπου το V= 1 l και το t= ο χρόνος εξόδου κάθε 1 l διηθήματος.

Η ενεργή επιφάνεια της μεμβράνης, υπολογίζεται στο παράρτημα 5 και η τιμή της είναι 142,11 cm<sup>2</sup>.

- Π.χ  $Qp = \frac{V}{t} = \frac{1}{15,28} = 0,0654 \frac{l}{min}$

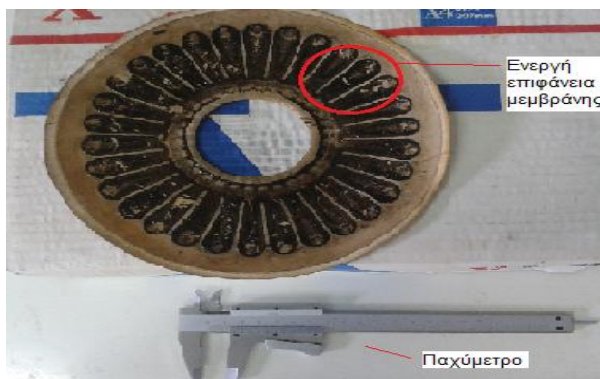
$$\text{Άρα Flux} = \frac{Qp}{A} = \frac{0,0654}{142,11} = 0,000460 \frac{l}{min * cm^2}$$

- π.χ  $Qp = \frac{V}{t} = \frac{1}{0,76} = 1,316 \frac{l}{h}$

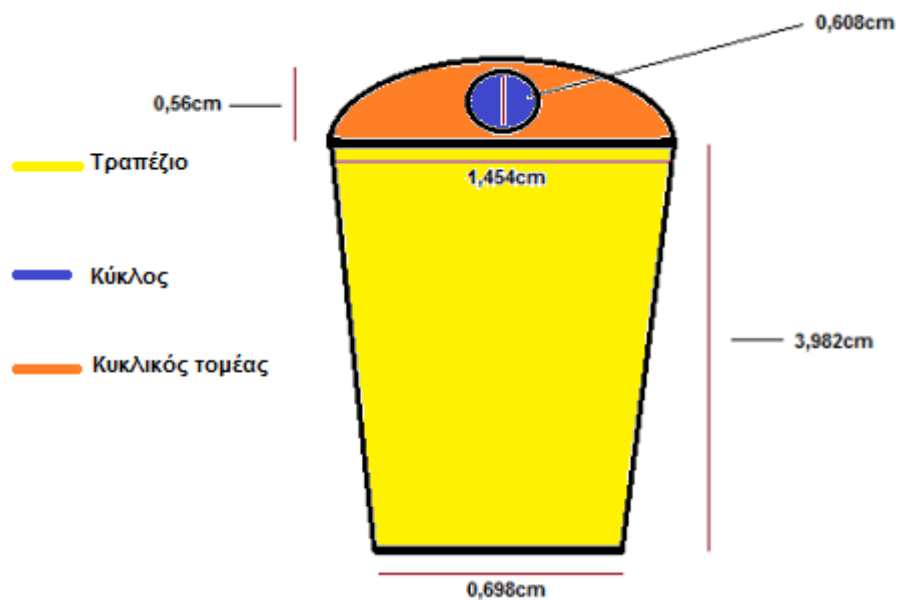
$$\text{Άρα Flux} = \frac{Qp}{A} = \frac{1,316}{142,11} = 0,0093 \frac{l}{h * cm^2}$$

#### Παράρτημα 4

Η μεμβράνη νανοδιηθησης και αντίστροφης ώσμωσης, παρουσιάζεται στο σχήμα 1. Η ενεργή της επιφάνεια αποτελείται από 30 πέταλα από τα οποία διέρχεται το διάλυμα.



Σχήμα 31. Μεμβράνη τύπου Labstak M20.



Σχήμα 32. Διαστάσεις του πέταλου της μεμβράνης.

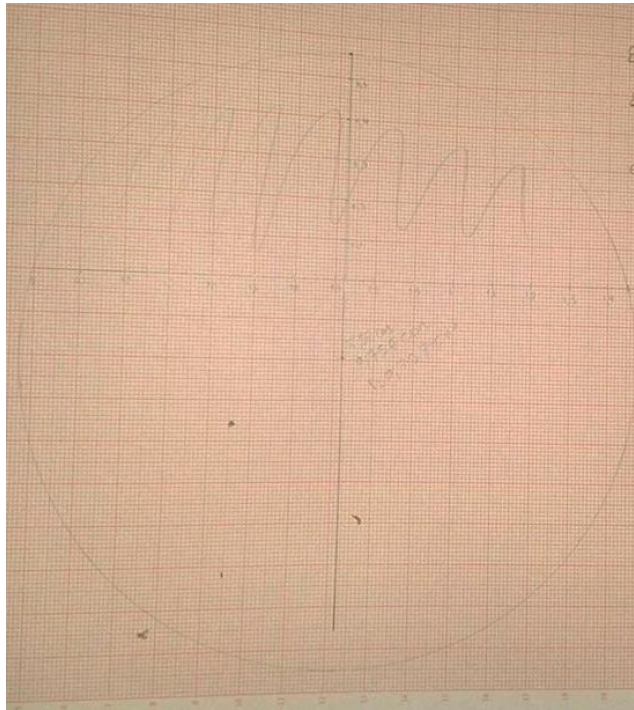
- $E_{\text{τραπέζιου}} = \frac{(a+b) \cdot h}{2} = \frac{(0,698 + 1,454) \cdot 3,982}{2} = 4,28 \text{ cm}^2$

- $E_{\text{κύκλου}} = \pi \cdot r^2 = 3,14 \cdot 0,304^2 = 0,29 \text{ cm}^2$



- Το πιο δύσκολο μέρος του υπολογισμού, ήταν το κομμάτι που αποτελεί το τόξο ενός κύκλου.

Αρχικά για να βρεθούν οι μοίρες και η ακτίνα του κύκλου, σχεδιάστηκε σε χαρτί μελιμετρέ το ύψος και το μήκος της χορδής. Στην συνέχεια με διαβήτη, σχεδιάστηκε ο κύκλος ο οποίος περνούσε και από τα τρία σημεία της χορδής. Τέλος οι μοίρες της γωνία που σχηματίζει το τόξο από το κέντρο του κύκλου, μετρήθηκαν με μοιρογνωμόνιο και βρέθηκαν  $149,5^\circ$  (Σχήμα 34).



Σχήμα 33. Σχεδιασμός κύκλου σε μελιμετρέ.

Χρησιμοποιείται ο τύπος, που υπολογίζει το εμβαδόν κυκλικού τομέα και είναι:

$$E_{\text{κυκλ.τομ}} = \pi \cdot \rho^2 \cdot \frac{\mu}{360} = 3,14 \cdot 0,757^2 \cdot \frac{149,5}{360} = 0,747 \text{ cm}^2$$

$$\text{Άρα } E_{\text{πέταλου}} = E_{\text{τραπεζίου}} + E_{\text{κυκλ.τομ}} - E_{\text{κύκλου}} = 4,28 + 0,74 - 0,29 = 4,737 \text{ cm}^2$$

$$\text{Τέλος } E_0 = 4,737 \cdot 30 = 142,11 \text{ cm}^2$$

## Παράρτημα 5

Πίνακας 22. Αποτελέσματα συντελεστής συγκράτησης R του υδροαλκοολικού διαλύματος, για τις μεμβράνες αντίστροφης ώσμωσης.

20 bar χ. ψύξη		30 bar χ. ψύξη		20 bar με ψύξη		30 bar με ψύξη		40 bar με ψύξη	
Προστιθέμενος χρόνος εξόδου διηθήματος (h)	Συντελεστής συγκράτησης R	Προστιθέμενος χρόνος εξόδου διηθήματος (h)	Συντελεστής συγκράτησης R	Προστιθέμενος χρόνος εξόδου διηθήματος (h)	Συντελεστής συγκράτησης R	Προστιθέμενος χρόνος εξόδου διηθήματος (h)	Συντελεστής συγκράτησης R	Προστιθέμενος χρόνος εξόδου διηθήματος (h)	Συντελεστής συγκράτησης R
3,84	0,0960	3,03	0,1600	9,18	0,394	8,82	0,546	4,65	0,560
6,33	0,0700	4,85	0,1080	14,57	0,423	17,07	0,565	13,07	0,602
				20,52	0,438	21,43	0,576	16,83	0,629
				29,48	0,470				

Πίνακας 23. Αποτελέσματα συντελεστής συγκράτησης R της μύρας για τις μεμβράνες αντίστροφης ώσμωσης.

Προστιθέμενος χρόνος εξόδου διηθήματος (h)	Συντελεστής συγκράτησης R
<b>3,75</b>	0,474
<b>8,02</b>	0,488
<b>12,55</b>	0,489
<b>17,97</b>	0,49
<b>23,25</b>	0,48

Ο συντελεστής συγκράτησης προσδιορίζεται από την σχέση (2). (IUPAC, 1996)

$$R = \left(1 - \frac{C_p}{C_r}\right) \quad (2)$$

Όπου  $C_p$ – Συγκέντρωση του διηθήματος (mg/l)

$C_r$ –Συγκέντρωση του συμπυκνώματος (mg/l)

$$\text{Π.χ } R = \left(1 - \frac{C_p}{C_r}\right) = \left(1 - \frac{3,15}{5,2}\right) = 0,394$$

Σαν  $C_p$ , χρησιμοποιείτε ο μέσος όρος της περιεκτικότητας αλκοόλης των διηθημάτων, που εξήχθησαν μέχρι το σημείο που μετρήθηκε η περιεκτικότητα σε αλκοόλη του συμπυκνώματος.

## Παράρτημα 6

Πίνακας 15. Αποτελέσματα ρυθμού ανάκτησης της μπύρας, για τις μεμβράνες αντίστροφης ώσμωσης.

Ρυθμός ανάκτησης (*10 <sup>-4</sup> )		
20 bar με ψύξη	30 bar με ψύξη	40 bar με ψύξη
0,707	0,95	1,39

Η σχέση (3) δίνει τον βαθμό ανάκτησης (IUPAC, 1996).

$$n = \frac{Q_p}{Q_f} \quad (3)$$

Όπου  $Q_p$ – ρυθμός ροής του διηθήματος (mg/l).

$Q_f$ – ρυθμός ροής της τροφοδοσίας (mg/l).

$$\text{Π.χ } Q_p = \frac{1000}{106140} = 0.0094 \text{ ml/s}$$

$$Q_f = \frac{5200}{39} = 133 \text{ ml/s}$$

$$\text{Άρα } n = \frac{0,0094}{133} = 0.0000707$$

## Παράρτημα 7

Η μέτρηση της αλκοόλης στη μύρα, μετά την απόσταξη της, έγινε με τη χρήση πίνακα διόρθωσης θερμοκρασίας- περιεκτικότητας αλκοόλης, που ακολουθεί παρακάτω:

Πίνακας 16. Πίνακας διορθώσεων του φαινομενικού τίτλου ως προς τη θερμοκρασία (Επίσημη Εφημερίδα Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων, 1982).

**ΔΙΕΘΝΗΣ ΑΛΚΟΟΛΙΚΟΣ ΤΙΤΛΟΣ ΣΤΟΥΣ 20°C**

Πίνακας διορθώσεων του φαινομενικού αλκοολικού τίτλου ως προς τη θερμοκρασία

Στον φαινομενικό αλκοολικό τίτλο στους t °C (αλκοολόμετρο από κοινό γυαλί) προστίθεται ή αφαιρείται η ένδειξη του πίνακα

		Φαινομενικός αλκοολικός τίτλος																		
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16		
<b>T (°C)</b>	0	0,76	0,77	0,82	0,87	0,91	0,94	1,04	1,16	1,31	1,49	1,70	1,95	2,26	2,62	3,03	3,49	4,02	4,56	Πρόσθεση
	1	0,81	0,83	0,87	0,92	1,00	1,09	1,20	1,35	1,52	1,73	1,97	2,26	2,59	2,97	3,40	3,87	4,36	4,87	
	2	0,85	0,87	0,92	0,97	1,04	1,13	1,24	1,38	1,54	1,74	1,97	2,24	2,54	2,89	3,29	3,72	4,17	4,63	
	3	0,88	0,91	0,95	1,00	1,07	1,15	1,26	1,39	1,55	1,75	1,97	2,24	2,54	2,90	3,30	3,75	4,20	4,66	
	4	0,90	0,92	0,97	1,02	1,09	1,17	1,27	1,40	1,55	1,72	1,92	2,15	2,41	2,71	3,05	3,38	3,73	4,08	
	5	0,91	0,93	0,98	1,03	1,10	1,17	1,27	1,39	1,53	1,69	1,87	2,08	2,33	2,60	2,89	3,21	3,54	3,88	
	6	0,92	0,94	0,98	1,02	1,09	1,16	1,25	1,37	1,50	1,65	1,82	2,01	2,23	2,47	2,74	3,02	3,32	3,62	
	7	0,91	0,93	0,97	1,01	1,07	1,14	1,23	1,34	1,45	1,59	1,75	1,92	2,12	2,34	2,58	2,83	3,10	3,37	
	8	0,89	0,91	0,94	0,98	1,04	1,11	1,19	1,28	1,39	1,52	1,66	1,82	2,00	2,20	2,42	2,65	2,88	3,13	
	9	0,86	0,88	0,91	0,95	1,01	1,07	1,14	1,23	1,33	1,44	1,57	1,71	1,87	2,05	2,24	2,44	2,65	2,87	
	10	0,82	0,84	0,87	0,91	0,96	1,01	1,08	1,16	1,25	1,35	1,47	1,60	1,74	1,89	2,06	2,24	2,43	2,63	
	11	0,78	0,79	0,82	0,86	0,90	0,95	1,01	1,08	1,16	1,25	1,36	1,47	1,60	1,73	1,88	2,03	2,20	2,37	
	12	0,72	0,74	0,76	0,79	0,83	0,88	0,93	0,99	1,07	1,15	1,24	1,34	1,44	1,56	1,69	1,82	1,96	2,10	
	13	0,66	0,67	0,69	0,72	0,76	0,80	0,84	0,89	0,96	1,03	1,11	1,19	1,28	1,38	1,49	1,61	1,73	1,85	
	14	0,59	0,60	0,62	0,64	0,67	0,71	0,74	0,79	0,85	0,91	0,97	1,04	1,12	1,20	1,29	1,39	1,49	1,59	
	15	0,51	0,52	0,53	0,55	0,58	0,61	0,64	0,68	0,73	0,77	0,83	0,89	0,95	1,02	1,09	1,16	1,24	1,31	
16	0,42	0,43	0,44	0,46	0,48	0,50	0,53	0,56	0,60	0,63	0,67	0,72	0,77	0,82	0,88	0,94	1,00	1,05		
17	0,33	0,33	0,34	0,35	0,37	0,39	0,41	0,43	0,46	0,48	0,51	0,55	0,59	0,62	0,67	0,71	0,75	0,79		
18	0,25	0,25	0,25	0,24	0,25	0,26	0,27	0,29	0,31	0,33	0,35	0,37	0,40	0,42	0,45	0,48	0,51	0,54		
19	0,12	0,12	0,12	0,12	0,13	0,13	0,14	0,15	0,16	0,17	0,18	0,19	0,20	0,21	0,23	0,25	0,26	0,27		
<b>T (°C)</b>	21	0,13	0,13	0,13	0,14	0,14	0,15	0,16	0,17	0,18	0,19	0,19	0,20	0,22	0,23	0,25	0,26	0,27	Αφαίρεση	
	22	0,26	0,27	0,28	0,29	0,30	0,31	0,32	0,34	0,36	0,37	0,39	0,41	0,44	0,47	0,49	0,52	0,54	0,56	
	23	0,40	0,41	0,42	0,44	0,45	0,47	0,49	0,51	0,54	0,57	0,60	0,63	0,66	0,70	0,74	0,78	0,81	0,84	
	24	0,55	0,56	0,58	0,60	0,62	0,64	0,67	0,70	0,73	0,77	0,81	0,85	0,89	0,94	0,99	1,04	1,09	1,14	
	25	0,69	0,71	0,73	0,76	0,79	0,82	0,85	0,89	0,93	0,97	1,02	1,07	1,13	1,19	1,25	1,31	1,37	1,43	
	26	0,85	0,87	0,90	0,93	0,96	1,00	1,04	1,08	1,13	1,18	1,24	1,30	1,36	1,43	1,50	1,57	1,64	1,71	
	27	1,03	1,07	1,11	1,15	1,19	1,23	1,28	1,34	1,40	1,46	1,53	1,60	1,68	1,76	1,84	1,92	2,00	2,08	
	28	1,21	1,25	1,29	1,33	1,38	1,43	1,49	1,55	1,62	1,69	1,77	1,85	1,93	2,02	2,11	2,20	2,29	2,38	
	29	1,39	1,43	1,47	1,52	1,58	1,63	1,70	1,76	1,84	1,92	2,01	2,10	2,19	2,29	2,39	2,49	2,59	2,69	
	30	1,57	1,61	1,66	1,72	1,78	1,84	1,91	1,98	2,07	2,15	2,25	2,35	2,45	2,56	2,67	2,78	2,89	2,99	
	31	1,75	1,80	1,86	1,92	1,98	2,05	2,13	2,21	2,30	2,39	2,49	2,60	2,71	2,83	2,94	3,06	3,17	3,29	
	32	1,94	2,00	2,06	2,13	2,20	2,27	2,35	2,44	2,53	2,63	2,74	2,86	2,97	3,09	3,22	3,34	3,47	3,59	
	33	2,13	2,20	2,26	2,34	2,42	2,50	2,58	2,67	2,77	2,88	2,99	3,12	3,24	3,37	3,51	3,64	3,77	3,91	
	34	2,41	2,48	2,56	2,64	2,72	2,81	2,91	3,02	3,13	3,25	3,38	3,51	3,65	3,79	3,94	4,08	4,23	4,38	
	35	2,62	2,70	2,78	2,86	2,95	3,05	3,16	3,27	3,39	3,51	3,64	3,78	3,93	4,08	4,24	4,40	4,56	4,72	
	36	2,91	3,00	3,09	3,19	3,29	3,41	3,53	3,65	3,78	3,92	4,06	4,21	4,37	4,53	4,70	4,87	5,04	5,21	
37	3,11	3,21	3,31	3,41	3,51	3,63	3,76	3,91	4,04	4,18	4,33	4,49	4,65	4,82	5,00	5,17	5,35	5,53		
38	3,36	3,47	3,57	3,68	3,79	3,91	4,03	4,17	4,31	4,46	4,61	4,77	4,94	5,11	5,29	5,47	5,65	5,83		
39	3,61	3,73	3,84	3,95	4,07	4,20	4,33	4,47	4,61	4,76	4,92	5,09	5,26	5,44	5,62	5,81	6,00	6,19		
40	3,82	3,94	4,06	4,18	4,31	4,44	4,57	4,71	4,86	5,02	5,19	5,36	5,54	5,72	5,91	6,10	6,29	6,48		

Η ροή των πράξεων που έγιναν, για να επέλθουν τα αποτελέσματα παρουσιάζεται παρακάτω:

### Αρχική μύρα

360ml δείγματος αποστάχθηκαν. Η μέτρηση αλκοόλης έγινε στους 21°C και ήταν 3,7%. Με τη διόρθωση (αφαίρεση στη συγκεκριμένη περίπτωση) από τον πίνακα θερμοκρασίας- αλκοόλης, η αλκοόλη στους 20°C είναι **3,6%**, όπως δείχνεται στις παρακάτω πράξεις:

$$\frac{0,14 - \chi}{4 - 3,7} = \frac{\chi - 0,13}{3,7 - 3} \rightarrow 0,3 * (\chi - 0,13) = 0,7 * (0,14 - \chi) \rightarrow$$

$$\rightarrow 0,3\chi - 0,0039 = 0,098 - 0,7\chi \rightarrow \chi = 0,137.$$

Άρα 3,7 - 0,137 = 3,563 ~ **3,6%**.

Για το δεύτερο δείγμα μπύρας, έγινε η ίδια διαδικασία, με μία έξτρα πράξη,

#### Ενδιάμεσο συμπύκνωμα

260ml αποστάχθηκαν. Η μέτρηση αλκοόλης έγινε στα 320ml, στους 22°C και ήταν 3,6%. Με τη διόρθωση (αφαίρεση στη συγκεκριμένη περίπτωση) από τον πίνακα θερμοκρασίας- αλκοόλης, η αλκοόλη στους 20°C είναι **2,7%**.

\*Οι πράξεις γίνονται ομοίως με τις παραπάνω και το  $\chi = 0,286$ .

Άρα  $3,6 - 0,286 = 3,314 \sim \mathbf{3,3\%}$ . Αυτό όμως μετρήθηκε στα 320ml (μετά τη προσθήκη 60ml νερού), οπότε για να βρεθεί η αλκοόλη στα 260ml που υπήρχαν αρχικά, έχουμε :

Στα 100ml του διαλύματος 2 υπάρχουν 3,3ml αλκοόλης

Στα 320ml του διαλύματος 2  $\rightarrow \chi_{2;} = 10,56$  ml αλκοόλης.

Αρχικά όμως αποστάχθηκαν 260ml, οπότε τα 10,56ml αλκοόλης προϋπήρχαν εκεί..

Άρα θα έχω : Στα 260ml του διαλύματος 1 υπάρχουν 10,56ml αλκοόλης

Στα 100ml του διαλύματος 1  $\rightarrow \chi_{2;} = 4,06$  Άρα **4,06%**.

Ομοίως έγιναν και τα υπόλοιπα και παρουσιάζονται όλα στον παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 17. Πίνακας δειγμάτων μπύρας και διηθημάτων, όσον αφορά την αύξηση περιεκτικότητας της αλκοόλης σε αυτά.

Δείγματα μπύρας και διηθημάτων μπύρας	°C	% v/v
Αρχική μπύρα	20	3,6
Ενδιάμεσο συμπύκνωμα	20	4,06
Τελικό συμπύκνωμα	20	4,52
Ενδιάμεσο διήθημα	20	2
Τελικό διήθημα	20	2,9

