ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ



ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΣ ΚΕΡΑΜΙΚΩΝ ΜΕΜΒΡΑΝΩΝ ΤΥΠΟΥ ΑΠΛΗΣ ΑΝΑΜΙΞΗΣ ΚΟΝΕΩΝ (SG)

ΑΝΔΡΟΥΛΑΚΗΣ ΓΙΩΡΓΟΣ

ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ

Β. ΓΚΕΚΑΣ (ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ)

Θ. ΤΣΟΥΤΣΟΣ

Ν. ΠΑΣΣΑΔΑΚΗΣ

XANIA 2008

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Τα τελευταία έτη, η τεχνολογία των μεμβρανών ασχολείται με την έρευνα αντικειμένων υδατικών πόρων έχοντας πολλά υποσχόμενα αποτελέσματα Η ανάκτηση των επεξεργασμένων εκροών υγρών αποβλήτων και η θεώρησή τους ως πόρων επιβάλλει την επεξεργασία τους, ώστε τα χαρακτηριστικά ποιότητάς τους να είναι ισοδύναμα του πόσιμου νερού. Αυτό προ ολίγων ετών φαινόταν αδύνατον.

Η παρούσα διπλωματική εργασία εκπονήθηκε κατά το χρονικό διάστημα 2007-2008.Η έρευνα πραγματοποιήθηκε σε συνεργασία με το εργαστήριο κεραμικων,του τμήματος μηχανικών ορυκτών πόρων και το εργαστήριο φαινόμενων μεταφοράς και εφαρμοσμένης θερμοδυναμικής του τμήματος μηχανικών περιβάλλοντος του πολυτεχνείου Κρήτης. Το θεωρητικό μέρος της εργασίας αυτής είναι το ίδιο με αυτής του συμφοιτητή μου Νοελ Γιαννιτσαρη για τον λόγω ότι μελετήσαμε και οι δυο τον χαρακτηρισμό των κεραμικών υποστρωμάτων αλλά με διαφορετικές μεθόδους ο κάθε ένας. Στο σημείο αυτό θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους εκείνους που με βοήθησαν ώστε να ολοκληρωθεί η παρούσα εργασία.

Αρχικά θα ήθελα να ευχαριστήσω τα μελή της εξεταστικής επιτροπής, τους καθηγητές κύριο Θ.Τσουτσο κύριο Ν. Πασσαδάκη και φυσικά το κύριο Β. Γκέκα αφού χωρίς τις γνώσεις του, την συμβουλευτική του καθοδήγηση και την παραχώρηση των εργαστηρίων, η ολοκλήρωση της εργασίας θα ήταν αδύνατη.

Ακόμα θέλω να ευχαριστήσω το συμφοιτητή και φίλο μου Νοελ Γιαννιτσαρη για την άψογη συνεργασία του, επίσης την κυρία Α.Κρητικακη για την υπομονή και την πολύτιμη βοήθεια της.

Τελος να ευχαριστησω τους γονεις μου για την κατανόηση και συμπαράσταση τους

2

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Ζούμε σε μια εποχή που από τη μια πλευρά οξύνονται τα περιβαλλοντικά προβλήματα και από την άλλη πλευρά έχουμε κατακόρυφη άνοδο τόσο του οικολογικού ενδιαφέροντος της κοινωνίας όσο και της προσπάθειας αντιμετώπισης των προβλημάτων αυτών. Επιπλέον οι πιο σύγχρονες τεχνολογικές εφαρμογές κατακτούν με ταχείς πλέον ρυθμούς τη θέση που τους ανήκει στην παραγωγική διαδικασία.

Οι υδατικοί πόροι είναι σύμφωνα με την σύγχρονη αντίληψη φυσικό αγαθό με οικολογική και οικονομική διάσταση. Αποτελούν απαραίτητη προϋπόθεση για την ανάπτυξη κάθε οικονομικής δραστηριότητας και παράλληλα αναπόσπαστο στοιχείο του περιβάλλοντος και της οικολογικής ισορροπίας.

Είναι γνωστό ότι η ανεξέλεγκτη βιομηχανική δραστηριότητα έχει δημιουργήσει σοβαρά προβλήματα ρύπανσης σε πολλούς φυσικούς υδάτινους πόρους, με αποτέλεσμα τον υποβιβασμό του σε πηγές χαμηλής ποιότητας.

Η τεχνολογία των μεμβρανών μπορεί να χρησιμοποιηθεί, αφενός μεν για την επεξεργασία και ανακύκλωση των υγρών αποβλήτων πριν αυτά επιβαρύνουν τους υδάτινους πόρους, και αφετέρου για την ανάκτηση υλικών που χρησιμοποιήθηκαν κατά την παραγωγική διαδικασία. Και βέβαια δεν πρέπει να ξεχνάμε προβλήματα έντονης ρύπανσης από υγρά απόβλητα γεωργικών βιομηχανιών, όπως τυροκομία, ελαιουργία και λοιπά, όπου η τεχνολογία αυτή βάσιμα δίνει ελπίδες για εφικτή λύση.[7]

Με αυτά τα δεδομένα και αφού κρίναμε ότι η τεχνολογία αυτή των μεμβρανών υπόσχεται πολλά στο τομέα της επεξεργασίας αστικών και βιομηχανικών αποβλήτων εκπονήσαμε αυτή την εργασία ,με σκοπό το χαρακτηρισμό υποστρωμάτων των κεραμικών μεμβρανών τύπου sol και gel,με την μέθοδο της υπερδιήθησης. Τα αποτελέσματα της οποίας είναι ικανοποιητικά, όπως θα δούμε, για την βελτίωση της ποιότητας του νερού με σκοπό την επαναχρησιμοποίηση του. Αξίζει να αναφέρουμε ότι το κόστος παρασκευής κεραμικών μεμβρανών σε συνδυασμό με τις διεργασίες τις οποίες εφαρμόσαμε, είναι ικανοποιητικότερο από αυτό που προκύπτει κατά την χρησιμοποίηση άλλων πολυμερών υλικών η άλλων μεθόδων. Οι μεμβράνες που χρησιμοποιήθηκαν δημιουργήθηκαν με επίστρωση του κεραμικού υποστρώματος με τεχνικές wash-coating.Το υπόστρωμα λαμβάνεται με εξώθηση κεραμικής πάστας.

Αρχικά, στο θεωρητικό μέρος, γίνεται αναφορά στην μέθοδο της υπερδιήθησης την οποία και εφαρμόσαμε στα διαλύματα. Έπειτα παρουσιάζουμε σε γενικές γραμμές τα χαρακτηριστικά και τις εφαρμογές των κεραμικών μεμβρανών στην παγκόσμια αγορά αναφέροντας τους τρόπους παρασκευής τους, τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα τους. Στο πειραματικό κομμάτι, θα αναλύσουμε τον τρόπο Jμ TOV οποίο παρασκευάστηκαν οι κεραμικές μεμβράνες και πως έγινε η επεξεργασία των διαλυμάτων.

Γίνεται επίσης αναφορά στις ουσίες της πολυαιθυλενογλυκόλης και της καζεΐνης όπου και αποτέλεσαν τα πρότυπα διαλύματα τα οποία διηθήσαμε. Έπειτα προκύπτει η πειραματική διαδικασία, ξεκινώντας από τους τύπους υποστρωμάτων τύπου sol και gel καταλήγουμε με ακρίβεια στα βήματα που ακολουθήσαμε ώστε να πάρουμε τις μετρήσεις με τις οποίες στη συνέχεια θα είμαστε σε θέση να αξιολογήσουμε, να συγκρίνουμε και να κρίνουμε τελικά ποιες μεμβράνες λειτούργησαν ιδανικά και ποιες όχι. Αυτό προκύπτει βεβαία από τα χαρακτηριστικά των υποστρωμάτων, την αποδοτικότητα των μεμβρανών, την τάση που έχουν για ρύπανση η πόλωση, την ανάκτηση της ροής των διαλυμάτων και σαφώς την αντοχή των μεμβρανών στις πιέσεις που ασκήσαμε. Έτσι δημιουργήσαμε για κάθε μεμβράνη και για κάθε διαλυμένη ουσία, διαγράμματα ροής-πίεσης, διαγράμματα ανάκτησης της ροής και διαγράμματα βαθμού συγκράτησης, κατασκευάζοντας έτσι μια βάση δεδομένων πάνω στην οποία γίνεται συζήτηση των αποτελεσμάτων καταλήγοντας στα συμπεράσματα τα οποία είναι αρκετά ικανοποιητικά ,όπως θα δούμε στη συνέχεια.

Συνοψίζοντας, και με δεδομένο το γεγονός ότι γίνεται έρευνα σε ένα νέο είδος υποστρωμάτων κεραμικών μεμβρανών, για την επεξεργασία υγρών αποβλήτων, καινοτομίας του εργαστηριού κεραμικών του τμήματος Μηχανικών Ορυκτών Πόρων, η παρούσα διπλωματική εργασία αναδεικνύει την ανάγκη για νέες μεθόδους και νέες εφαρμογές στον τομέα της διαχείρισης

4

και επεξεργασίας των υγρών αποβλήτων, που αποτελεί παγκόσμιο κοινωνικό και περιβαλλοντικό ζήτημα.

Κλείνοντας ,θέλοντας και ελπίζοντας να ευαισθητοποιηθούν οι αρμόδιοι φορείς στη χώρα μας νομίζω ότι αξίζει να γίνει αναφορά στο γεγονός ότι για ακόμα μια φορά η Ελλάδα βρίσκεται στο στόχαστρο και κατηγορείτε από τις υπηρεσίες έλεγχου, εναπόθεσης και επεξεργασίας τοξικών και επικινδύνων αποβλήτων, της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Ο λόγος είναι η εναπόθεση και μάλιστα χωρίς επεξεργασία, 330.000 τόνων τοξικών αποβλήτων, κάθε χρόνο, που απορρέουν από την βιομηχανική δραστηριότητα της Ελλάδας ,σε χώρους όπως χωματερές, Χ.Υ.Τ.Α. ακόμα και σε ποτάμια, όπως του Αισώπου, παραβιάζοντας καταυτόν τον τρόπο, την νομοθεσία της ευρωπαϊκής ένωσης.

> "... Αν θέλεις να αλλάξεις τον κόσμο πρέπει να αλλάξεις τον άνθρωπο Αν θέλεις να αλλάξεις τον άνθρωπο πρέπει να τον κάνεις να θέλει να αλλάξει..."

ABSTRACT

We live in a world where by a side are accentuated the environmental problems and on the other hand we have vertical rise to the ecological interest of society as what effort of confrontation of this problems. Moreover the most modern technological applications conquer with rapid henceforth rythms the place that to them belongs in the productive process.

The water resources are accordingly with the modern perception natural good with ecological and economic dimension. They constitute essential condition for the growth of each economic activity and at the same time integral element of environment and ecological balance

It is known that the none controlled industrial activity has created serious problems of pollution in a lot of natural aquatic resources, with result his demotion in sources of low quality. The membrane technology can be used, on one side for the treatment and recycling humid outcast before these overloads the aquatic resources, and on the other for the recuperation of materials that was used at the productive process. And of course it should not be forgotten that problems of intense pollution from humid waste of agricultural industries, as cheesemaking, oil-factories and others, where this technology surely gives hopes for feasible solution.

With these data and after we judged that this technology of membranes promises many in the sector of treatment urban and industrial waste worked out this project, with aim the characterization of sublayers of ceramic membranes of type sol and gel, with the method of ultrafiltration. The results of that are satisfactory, as we will see, for the improvement of quality of water aiming at his re-use. It deserves we report that the cost of making ceramic membranes in combination with the activities which we applied, is more satisfactory than what results at the utilisation of other multilateral materials of other methods. The membranes that were used were created with coating of ceramic sublayer with technical wash-coating. The sublayer it is received with extrusion of ceramic pastry. Initially, in the theoretical part, becomes report in the method of ultrafiltration which we applied also in the filtrates. Then we present in general lines the characteristics and the applications of ceramic membranes in the world market reporting their producing ways, the advantages and their disadvantages. In the experimental piece, firstly, we analyze the way with which were produced the ceramic membranes, in which we applied the experiment, and their sublayers.

Becomes also report in the substances the polyethylene glycol and casein where they constituted also the model solutions which we filtrated. Becomes also report in the substances the polyajcylenoglykolis and casein where they constituted also the model solutions which djici'same. Then results the experimental process, beginning from the types of sublayers of type sol and gel we lead with precision to the steps that we followed so that we take the measurements with which then we will be in place to evaluate, to compare and to judge finally who membranes they functioned ideally and who no. This results of course from the characteristics of sublayers, the efficiency of membranes, the tendency that have for pollution the polarization, the recovery of flow of solutions and of course the resistance of membranes in the pressures that we practiced. Thus we created for each membrane and for each dissolved substance, diagrams of flow-pressure, diagrams of recovery of flow and diagrams of region of cutting (cut-off) the solutions, manufacturing thus a base of data above in which becomes discussion of results leading to the conclusions which are enough satisfactory, as we will see then.

Summarising, and with datum the make that becomes research in a new form of sublayers of ceramic membranes, for the treatment of humid waste, innovation of laboratory of technology of materials and glass department of Mechanic Mining Resources, the present diplomatic work elects the need for new methods and new applications in the sector of management and treatment of humid waste, that constitutes world social and environmental issue.

Closing, wanting and hoping they are sensitised the responsible institutions in our country, I believe that it deserves becomes report in the make that for still

a time Greece is found in a bad position and accuses from the services of control, deposition and treatment toxic and dangerous waste of European Union. The reason is the deposition and in particular without treatment, 330.000 tons of toxic waste, each year, that arise from the industrial activity of Greece, to spaces as scrap heaps, even in rivers, as the Aisopou, violate with that way, the legislation of European union.

"..if you want to change the world you have to change the person if you want to change the person you have to make him want to change.."

1. ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ	11
1.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ	
1.2 ΔΙΕΡΓΑΣΙΕΣ ΜΕΜΒΡΑΝΩΝΣα	ΟΑΛΜΑ! ΔΕΝ ΕΧΕΙ ΟΡΙΣΤΕΙ ΣΕΛΙΔΟΔΕΙΚΤΗΣ.
1.3 ΥΠΕΡΔΙΗΘΗΣΗΣα	ΟΑΛΜΑ! Δ ΕΝ ΕΧΕΙ ΟΡΙΣΤΕΙ ΣΕΛΙΔΟΔΕΙΚΤΗΣ.
1.3.1 ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΣ ΥΠΕΡΔΙΗΘΗΣΗΣ Σφάλ	ια! Δεν έχει οριστεί σελιδοδείκτης.
1.3.2 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΥΠΕΡΔΙΗΘΗΣΗΣΣφάλ	ια! Δεν έχει οριστεί σελιδοδείκτης.
1.4 ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗΣα	ΟΑΛΜΑ! ΔΕΝ ΕΧΕΙ ΟΡΙΣΤΕΙ ΣΕΛΙΔΟΔΕΙΚΤΗΣ.
1.5 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΜΕΜΒΡΑΝΩΝ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ	ΣφαλΜΑ! Δεν έχει οριστεί
ΣΕΛΙΔΟΔΕΙΚΤΗΣ.	
1.5.1 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΠΟΛΥΜΕΡΩΝ ΜΕΜΒΡΑΝΩΝ	Σφάλμα! Δεν έχει οριστεί
σελιδοδείκτης.	
1.5.2 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΚΕΡΑΜΙΚΩΝ ΜΕΜΒΡΑΝΩΝ	Σφάλμα! Δεν έχει οριστεί
σελιδοδείκτης.	
1.5.3 ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΚΕΡΑΜΙΚΩΝ ΜΕΜΒΡΑΝΩ	ΝΣφάλμα! Δεν έχει οριστεί
σελιδοδείκτης.	
1.5.4 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑΣφάλ	ια! Δεν έχει οριστεί σελιδοδείκτης.
1.6 ΚΕΡΑΜΙΚΕΣ ΜΕΜΒΡΑΝΕΣ	ΟΑΛΜΑ! ΔΕΝ ΕΧΕΙ ΟΡΙΣΤΕΙ ΣΕΛΙΔΟΔΕΙΚΤΗΣ.
1.7 ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ ΚΕΡΑΜΙΚΩΝ ΜΕΜΒΡΑΝΩΝΣα	ΟΑΛΜΑ! Δ ΕΝ ΕΧΕΙ ΟΡΙΣΤΕΙ ΣΕΛΙΔΟΔΕΙΚΤΗΣ.
1.8 ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΥΠΟΣΤΡΩΜΑΤΩΝ ΚΕΡΑΜΙΚΩΝ ΜΕΜΒΕ	ΑΝΩΝ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ
ΝΑΝΟΚΟΝΕΩΝΣα	ΟΑΛΜΑ! Δ ΕΝ ΕΧΕΙ ΟΡΙΣΤΕΙ ΣΕΛΙΔΟΔΕΙΚΤΗΣ.
1.9 ΣΥΝΘΕΣΗ ΝΑΝΟΚΟΝΕΩΝ ΜΕ ΧΗΜΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟ	ΥΣ Σ ΦΑΛΜΑ ! Δ ΕΝ ΕΧΕΙ ΟΡΙΣΤΕΙ
ΣΕΛΙΔΟΔΕΙΚΤΗΣ.	
1.10 ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ ΣΧΗΜΑΤΩΣ ΚΕΡΑΜΙΚΩΝΣα	ΟΑΛΜΑ! Δ ΕΝ ΕΧΕΙ ΟΡΙΣΤΕΙ ΣΕΛΙΔΟΔΕΙΚΤΗΣ.
1.11 ΕΞΩΘΗΣΗΣα	ΟΑΛΜΑ! Δ ΕΝ ΕΧΕΙ ΟΡΙΣΤΕΙ ΣΕΛΙΔΟΔΕΙΚΤΗΣ.
	ΟΑΛΜΑ! ΔΕΝ ΕΧΕΙ ΟΡΙΣΤΕΙ ΣΕΛΙΔΟΔΕΙΚΤΗΣ.
1.12.1 ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΚΑΤΑ ΤΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΤΩΝ	δάλμα! Δεν έχει οριστεί σελιδοδεικτής. ΜΕΜΒΡΑΝΩΝΣφάλμα! Δεν έχει
1.12.1 ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΚΑΤΑ ΤΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΤΩΝ οριστεί σελιδοδείκτης.	δάλμα! Δεν έχει οριστεί σελιδοδεικτής. ΜΕΜΒΡΑΝΩΝΣφάλμα! Δεν έχει
1.12 ΜΠΧΑΝΙΖΜΟΓΕΤΠΑΝΣΤΙΖ ΜΕΙΜΒΕΑΝΩΝ	δάλμα! Δεν έχει οριστεί σελιδοδεικτής. ΜΕΜΒΡΑΝΩΝ σφάλμα! Δεν έχει
 1.12 ΜΠΧΑΝΙΖΜΟΓΕΤΠΑΝΣΤΙΖ ΜΕΙΜΒΕΑΝΩΝ	δάλμα ! Δ εν έχει οριστεί σελιδοδεικτής. <i>ΜΕΜΒΡΑΝΩΝΣφάλμα! Δεν έχει</i> ! Δεν έχει οριστεί σελιδοδεικτής.
 1.12 ΜΠΧΑΝΙΖΜΟΓΡΤΠΑΝΣΤΙΖ ΜΕΙΜΒΡΑΝΩΝ	δάλμα! Δεν έχει οριστεί σελιδοδεικτής. ΜΕΜΒΡΑΝΩΝ σφάλμα! Δεν έχει ! Δεν έχει οριστεί σελιδοδεικτής. δάλμα! Δεν έχει οριστεί σελιδοδεικτής.
 1.12 ΜΠΑΑΝΙΖΜΟΓΕΤΠΑΝΣΤΙΣ ΜΕΙΜΒΕΑΝΩΝ	δάλμα! Δεν έχει οριστεί σελιδοδεικτής. ΜΕΜΒΡΑΝΩΝ σφάλμα! Δεν έχει ! Δεν έχει οριστεί σελιδοδεικτής. δάλμα! Δεν έχει οριστεί σελιδοδεικτής. ΡΑΝΩΝ
 1.12 ΜΠΑΑΝΙΖΜΟΓΡΤΠΑΝΣΤΙΖ ΜΕΙΜΒΡΑΝΩΝ	δάλμα! Δεν έχει οριστει σελιδοδεικτής. <i>ΜΕΜΒΡΑΝΩΝΣφάλμα! Δεν έχει</i> ! Δεν έχει οριστει σελιδοδεικτής. δάλμα! Δεν έχει οριστει σελιδοδεικτής. ΡΑΝΩΝ
 1.12 ΜΠΧΑΝΙΖΜΟΓΡΤΠΑΝΣΤΙΖ ΜΕΙΜΒΡΑΝΩΝ	δάλμα! Δεν έχει οριστεί σελιδοδεικτής. <i>ΜΕΜΒΡΑΝΩΝΣφάλμα! Δεν έχει</i> ! Δεν έχει οριστεί σελιδοδεικτής. δαλμα! Δεν έχει οριστεί σελιδοδεικτής. ΡΑΝΩΝ
 1.12 ΜΠΧΑΝΙΖΜΟΓΡΤΠΑΝΣΤΙΣ ΜΕΙΜΒΡΑΝΩΝ	δάλμα! Δεν έχει οριστει σελιδοδεικτής. <i>ΜΕΜΒΡΑΝΩΝ Σφάλμα! Δεν έχει</i> ! Δεν έχει οριστει σελιδοδεικτής. δάλμα! Δεν έχει οριστει σελιδοδεικτής. ΡΑΝΩΝ
 1.12 ΜΠΧΑΝΙΖΜΟΓΡΤΠΑΝΣΤΙΣ ΜΕΙΜΒΡΑΝΩΝ	αλημα! Δεν έχει οριστει σελιδοδεικτής. <i>ΜΕΜΒΡΑΝΩΝΣφάλμα! Δεν έχει</i> ! Δεν έχει οριστει σελιδοδεικτής. σαλμα! Δεν έχει οριστει σελιδοδεικτής. ΡΑΝΩΝ
 1.12 ΜΠΑΑΝΙΖΜΟΓΡΤΠΑΝΣΤΙΣ ΜΕΙΜΒΡΑΝΩΝ	αλημα! Δεν έχει οριστει σελιδοδεικτής. <i>ΜΕΜΒΡΑΝΩΝ Σφάλμα! Δεν έχει</i> ! Δεν έχει οριστει σελιδοδεικτής. δαλημα! Δεν έχει οριστει σελιδοδεικτής. ΡΑΝΩΝ47 <i>ΝΕΩΝ</i> (ΥΠΟΣΤΡΩΜΑ 48 ΑΝΟΚΟΝΕΩΝ (ΥΠΟΣΤΡΩΜΑ 48 ΔΑΝΟΚΟΝΕΩΝ (ΥΠΟΣΤΡΩΜΑ 48
 1.12 ΜΠΧΑΝΙΖΜΟΓΡΤΠΑΝΣΤΙΖ ΜΕΙΜΒΡΑΝΩΝ	ΔΑΛΜΑ! ΔΕΝ ΕΧΕΙ ΟΡΙΣΤΕΙ ΣΕΛΙΔΟΔΕΙΚΤΗΣ. <i>ΜΕΜΒΡΑΝΩΝΣφάλμα! Δεν έχει</i> ! ΔΕΝ ΕΧΕΙ ΟΡΙΣΤΕΙ ΣΕΛΙΔΟΔΕΙΚΤΗΣ. ΔΑΛΜΑ! ΔΕΝ ΕΧΕΙ ΟΡΙΣΤΕΙ ΣΕΛΙΔΟΔΕΙΚΤΗΣ. ΡΑΝΩΝ
 1.12 ΜΠΧΑΙΝΙΖΜΟΓΡΤΠΑΝΖΠΖ ΜΕΙΜΒΡΑΝΩΝ	ΔΑΛΜΑ ! Δ ΕΝ ΕΧΕΙ ΟΡΙΣΤΕΙ ΣΕΛΙΔΟΔΕΙΚΤΗΣ. <i>ΜΕΜΒΡΑΝΩΝΣφάλμα! Δεν έχει</i> ! ΔΕΝ ΕΧΕΙ ΟΡΙΣΤΕΙ ΣΕΛΙΔΟΔΕΙΚΤΗΣ. ΔΑΛΜΑ ! Δ ΕΝ ΕΧΕΙ ΟΡΙΣΤΕΙ ΣΕΛΙΔΟΔΕΙΚΤΗΣ. ΡΑΝΩΝ
 1.12 ΜΠΧΑΝΙΖΜΟΓΡΤΠΑΝΣΤΙΣ ΜΕΙΜΒΡΑΝΩΝ	ΔΑΛΜΑ ! Δ ΕΝ ΕΧΕΙ ΟΡΙΣΤΕΙ ΣΕΛΙΔΟΔΕΙΚΤΗΣ. <i>ΜΕΜΒΡΑΝΩΝΣφάλμα! Δεν έχει</i> ! ΔΕΝ ΕΧΕΙ ΟΡΙΣΤΕΙ ΣΕΛΙΔΟΔΕΙΚΤΗΣ. ΔΑΛΜΑ ! Δ ΕΝ ΕΧΕΙ ΟΡΙΣΤΕΙ ΣΕΛΙΔΟΔΕΙΚΤΗΣ. ΡΑΝΩΝ
 1.12 ΜΠΧΑΝΙΖΜΟΓΡΤΠΑΝΖΠΖ ΜΕΙΜΒΡΑΝΩΝ	ΔΑΛΜΑ! ΔΕΝ ΕΧΕΙ ΟΡΙΣΤΕΙ ΣΕΛΙΔΟΔΕΙΚΤΗΣ. <i>ΜΕΜΒΡΑΝΩΝΣφάλμα! Δεν έχει</i> ! ΔΕΝ ΕΧΕΙ ΟΡΙΣΤΕΙ ΣΕΛΙΔΟΔΕΙΚΤΗΣ. ΔΑΛΜΑ! ΔΕΝ ΕΧΕΙ ΟΡΙΣΤΕΙ ΣΕΛΙΔΟΔΕΙΚΤΗΣ. ΡΑΝΩΝ
 1.12 ΜΠΧΑΙΝΙΖΜΟΓΡΤΠΑΝΖΠΖ ΜΕΙΜΒΡΑΝΩΝ	ΔΑΛΜΑ! ΔΕΝ ΕΧΕΙ ΟΡΙΣΤΕΙ ΣΕΛΙΔΟΔΕΙΚΤΗΣ. <i>ΜΕΜΒΡΑΝΩΝΣφάλμα! Δεν έχει</i> ! ΔΕΝ ΕΧΕΙ ΟΡΙΣΤΕΙ ΣΕΛΙΔΟΔΕΙΚΤΗΣ. ΔΑΛΜΑ! ΔΕΝ ΕΧΕΙ ΟΡΙΣΤΕΙ ΣΕΛΙΔΟΔΕΙΚΤΗΣ. ΡΑΝΩΝ
 1.12 ΜΠΧΑΝΙΖΜΟΓΡΤΠΑΝΖΠΖ ΜΕΙΜΒΡΑΝΩΝ	ΔΑΛΜΑ! ΔΕΝ ΕΧΕΙ ΟΡΙΣΤΕΙ ΣΕΛΙΔΟΔΕΙΚΤΗΣ. <i>ΜΕΜΒΡΑΝΩΝΣφάλμα! Δεν έχει</i> ! ΔΕΝ ΕΧΕΙ ΟΡΙΣΤΕΙ ΣΕΛΙΔΟΔΕΙΚΤΗΣ. ΔΑΛΜΑ! ΔΕΝ ΕΧΕΙ ΟΡΙΣΤΕΙ ΣΕΛΙΔΟΔΕΙΚΤΗΣ. ΡΑΝΩΝ
 1.12 ΜΠΧΑΝΙΖΜΟΓΡΤΠΑΝΣΤΙΖ ΜΕΙΜΒΡΑΝΩΝ	ΔΑΛΜΑ! ΔΕΝ ΕΧΕΙ ΟΡΙΣΤΕΙ ΣΕΛΙΔΟΔΕΙΚΤΗΣ. <i>ΜΕΜΒΡΑΝΩΝΣφάλμα! Δεν έχει</i> ! ΔΕΝ ΕΧΕΙ ΟΡΙΣΤΕΙ ΣΕΛΙΔΟΔΕΙΚΤΗΣ. ΔΑΛΜΑ! ΔΕΝ ΕΧΕΙ ΟΡΙΣΤΕΙ ΣΕΛΙΔΟΔΕΙΚΤΗΣ. ΡΑΝΩΝ
 1.12 ΜΠΧΑΙΝΙΖΜΟΓΡΤΠΑΝΣΤΙΣ ΜΕΙΜΒΡΑΝΩΝ	ΔΑΛΜΑ ! Δ ΕΝ ΕΧΕΙ ΟΡΙΣΤΕΙ ΣΕΛΙΔΟΔΕΙΚΤΗΣ. <i>ΜΕΜΒΡΑΝΩΝΣφάλμα! Δεν έχει</i> ! ΔΕΝ ΕΧΕΙ ΟΡΙΣΤΕΙ ΣΕΛΙΔΟΔΕΙΚΤΗΣ. ΔΑΛΜΑ ! Δ ΕΝ ΕΧΕΙ ΟΡΙΣΤΕΙ ΣΕΛΙΔΟΔΕΙΚΤΗΣ. ΡΑΝΩΝ47 <i>ΝΕΩΝ</i> (ΥΠΟΣΤΡΩΜΑ 48 ΑΝΟΚΟΝΕΩΝ (ΥΠΟΣΤΡΩΜΑ 48 COL (PEG)51 52 53 53 52 53
 1.12 ΜΠΧΑΙΝΙΖΜΟΓΡΤΠΑΝΣΤΙΣ ΜΕΙΜΒΡΑΝΩΝ	ΔΑΛΜΑ! ΔΕΝ ΕΧΕΙ ΟΡΙΣΤΕΙ ΣΕΛΙΔΟΔΕΙΚΤΗΣ. <i>ΜΕΜΒΡΑΝΩΝΣφάλμα! Δεν έχει</i> ! ΔΕΝ ΕΧΕΙ ΟΡΙΣΤΕΙ ΣΕΛΙΔΟΔΕΙΚΤΗΣ. ΔΑΛΜΑ! ΔΕΝ ΕΧΕΙ ΟΡΙΣΤΕΙ ΣΕΛΙΔΟΔΕΙΚΤΗΣ. ΡΑΝΩΝ
 1.12 ΜΠΑΑΝΙΖΙΛΙΟΓΡΤΠΑΝΣΠΣΙΝΕΜΒΡΑΝΩΝ	ΔΑΛΜΑ! ΔΕΝ ΕΧΕΙ ΟΡΙΣΤΕΙ ΣΕΛΙΔΟΔΕΙΚΤΗΣ. <i>ΜΕΜΒΡΑΝΩΝΣφάλμα! Δεν έχει</i> ! ΔΕΝ ΕΧΕΙ ΟΡΙΣΤΕΙ ΣΕΛΙΔΟΔΕΙΚΤΗΣ. ΔΑΛΜΑ! ΔΕΝ ΕΧΕΙ ΟΡΙΣΤΕΙ ΣΕΛΙΔΟΔΕΙΚΤΗΣ. ΡΑΝΩΝ
 1.12 ΜΠΑΑΝΙΖΙΜΟΓΡΤΠΑΝΣΠΣΙΜΕΜΒΡΑΝΩΝ	δαλμα! Δεν έχει οριστει σελιδοδεικτής. <i>ΜΕΜΒΡΑΝΩΝΣφάλμα! Δεν έχει</i> ! Δεν έχει οριστει σελιδοδεικτής. δαλμα! Δεν έχει οριστει σελιδοδεικτής. ΡΑΝΩΝ
 1.12 ΜΠΧΑΙΝΟΓΕΤΠΑΝΣΤΙΣ ΜΕΙΜΟΕΑΝΩΝ	ΔΑΛΜΑ! ΔΕΝ ΕΧΕΙ ΟΡΙΣΤΕΙ ΣΕΛΙΔΟΔΕΙΚΤΗΣ. <i>ΜΕΜΒΡΑΝΩΝΣφάλμα! Δεν έχει</i> ! ΔΕΝ ΕΧΕΙ ΟΡΙΣΤΕΙ ΣΕΛΙΔΟΔΕΙΚΤΗΣ. ΔΑΛΜΑ! ΔΕΝ ΕΧΕΙ ΟΡΙΣΤΕΙ ΣΕΛΙΔΟΔΕΙΚΤΗΣ. ΡΑΝΩΝ

2.13 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ-ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ	66
2.14 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΡΟΗΣ-ΠΙΕΣΗΣ (ΕΠΕΞΗΓΗΜΑΤΙΚΑ ΣΧΟΛΙΑ)	67
2.15 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΑΝΑΚΤΗΣΗΣ ΡΟΗΣ (ΕΠΕΞΗΓΗΜΑΤΙΚΑ ΣΧΟΛΙΑ)	70
2.16 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΒΑΘΜΟΥ ΣΥΓΚΡΑΤΗΣΗΣ (ΕΠΕΞΗΓΗΜΑΤΙΚΑ ΣΧΟΛΙΑ)	71
3. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	74
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	77
ПАРАРТНМА А	81
ПАРАРТНМА В	103
ΠΙΝΑΚΕΣ	124

1. ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

«Το Νερό είναι η Αρχή των Πάντων» Θαλής ο Μιλήσιος (636-546 π.Χ.)

Το νερό είναι ένα πολύτιμο αγαθό, που η αξία του θα εξακολουθήσει να αυξάνει στο μέλλον. Δεν αποτελεί εμπορικό προϊόν, αλλά βασική κληρονομιά κάθε γενεάς, που θα πρέπει να προστατεύεται και να διαχειρίζεται ορθολογικά σε κάθε ανθρώπινη κοινωνία. Η χώρα μας γενικά θεωρείται πλούσια σε διαθέσιμους υδατικούς πόρους (6.500 m3 νερού/κάτοικο και έτος). Όμως, η μη ισόρροπη (χρονικά και χωρικά) κατανομή τους και κυρίως η αναποτελεσματική διαχείριση τους, επιβάλλουν πολλές φορές τη συνεχή εξεύρεση νέων πόρων, υπό καθεστώς μάλιστα, πιεστικών αναγκών ύδρευσης και άρδευσης. Αντίθετα, τα επιτεύγματα της σύγχρονης έρευνας και τεχνολογίας επιτρέπουν τη διατήρηση και ποιοτική αναβάθμιση των υφιστάμενων πόρων και φυσικά την ορθολογική διαχείρισή τους συνολικά, συμπεριλαμβανομένων και των μη συμβατικών πόρων.

Η ανακύκληση και επαναχρησιμοποίηση του νερού είναι ένα σημαντικό συστατικό του υδρολογικού κύκλου του και για αυτό, σήμερα, θεωρείται ως ένα αναπόσπαστο μέρος μιας ολοκληρωμένης διαχείρισης των υδατικών πόρων, κυρίως σε ξηρικές και ημιξηρικές περιοχές. Σ'αυτό συντείνουν διάφοροι παράγοντες όπως είναι: (α) τα ελλειμματικά ισοζύγια υδατικών πόρων πολλών περιοχών σε όλο τον κόσμο, (β) η αυξανόμενη ζήτηση νερού στις αναπτυγμένες σύγχρονες κοινωνίες, (γ) το υψηλό κόστος και οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις σχεδιασμού, μελέτης και κατασκευής νέων φραγμάτων και γενικά επιφανειακών ταμιευτηρίων, και δ) η ανάγκη

Ως συνέπεια αυτών των παραγόντων, η ανάκτηση και επαναχρησιμοποίηση των υγρών αποβλήτων και άλλων περιθωριακών νερών αποτελεί τη μόνη

εναλλακτική πηγή, που μπορεί να βελτιώσει την ελλειμματικότητα των υδατικών ισοζυγίων πολλών περιοχών του κόσμου και βέβαια της χώρας μας.

Η έννοια μεμβράνη αναφέρεται σε ένα ημιπερατό υλικό που ως εμπόδιο επιτρέπει τη διέλευση του υγρού διαλύτη και ίσως ενός πολύ μικρού ποσοστού των περιεχομένων στερεών, ενώ εμποδίζει τη διέλευση του μεγαλύτερου ποσοστού των περιεχομένων στερεών.

Τα πλεονεκτήματα αυτής της τεχνολογίας είναι: (α) η υψηλή απόδοση των μεμβρανών στην επιλεκτική απόρριψη ανόργανων στοιχείων, (β) η υψηλή περατότητα της μεμβράνης για διαχωρισμό μέσο νερού, (γ) η συνεχής ελάττωση του κόστους παραγωγής, που οφείλεται κυρίως στην ανάπτυξη πολυμερών ανθεκτικών και υψηλής απόδοσης, (δ) η εκπλήρωση πιο αυστηρών κριτηρίων προστασίας της ανθρώπινης υγείας και του περιβάλλοντος, (ε) οι διεργασίες διαχωρισμού λαμβάνουν χώρα σε θερμοκρασία δωματίου χωρίς αλλαγή φάσης, (στ) αποφεύγεται συσσώρευση προϊόντων στο εσωτερικό μίας μεμβράνης, όπως στις διεργασίες ιονικής εναλλαγής, και (ζ) τέλος, αποφεύγεται η χρήση χημικών, όπως σε άλλες διεργασίες επεξεργασίας.

Αποτέλεσμα αυτών των πλεονεκτημάτων είναι η εκτεταμένη χρήση των τεχνολογιών των μεμβρανών σ΄ όλον τον κόσμο. Ο συνολικός όγκος των πωλήσεων μεμβρανών σε όλο τον κόσμο ξεπέρασε το 1990 τα 2 δισ. δολάρια, ενώ ο όγκος πωλήσεων προϊόντων από επιχειρήσεις που εφαρμόζουν την τεχνολογία των μεμβρανών έφτασε τα 5 δισ. δολάρια την ίδια χρονιά, και υπολογίζεται ότι ο κλάδος την επόμενη δεκαετία θα έχει ετήσια ανάπτυξη με ρυθμό 10%. Η έντονη παρουσία της λειψυδρίας σε πολλές περιοχές της γης καθιστά αναγκαία την εφαρμογή νέων τεχνολογιών που θα εξασφαλίσουν τη δυνατότητα εκμετάλλευσης των νερών των θαλασσών, ενώ για τη ρύπανση του περιβάλλοντος και ιδίως των φυσικών υδάτινων πόρων η τεχνολογία των μεμβρανών μπορεί να γίνει αποτελεσματική με την ανακύκλωση των υγρών αποβλήτων, έτσι ώστε να μη ρυπαίνεται το περιβάλλον.

13

Επίσης τα νέα συστήματα μπορούν να προσφέρουν εντυπωσιακά αποτελέσματα στην παραγωγή των πλακετών των ηλεκτρονικών υπολογιστών και των microchips, στα μηχανήματα τεχνητού νεφρού και αιμοκάθαρσης, στα μηχανήματα υποστήριξης ασθενών που υποφέρουν από βαριές ασθένειες, καθώς και στη βιομηχανία. Ακόμα η τεχνολογία των μεμβρανών συμβάλλει στη μείωση του κόστους λειτουργίας των σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας που χρησιμοποιούν το νερό στη λειτουργία τους. Σημαντική συμβολή μπορεί να έχουν οι μεμβράνες στη μείωση της ρύπανσης από τη βιομηχανία παραγωγής γαλακτοκομικών προϊόντων, η οποία υπολογίζεται σε περίπου 50 φορές μεγαλύτερη από αυτή που προκαλούν τα αστικά λύματα.

Η τεχνολογία των μεμβρανών έχει αποδειχθεί αποδοτική και χαμηλού κόστους σε περιοχές όπως η Καλιφόρνια των ΗΠΑ και διάφορες μεσογειακές η ανακύκληση του νερού, χώρε. Έτσι, κυρίως η ανάκτηση και επαναχρησιμοποίηση επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων, φαίνεται να είναι πρακτική και βιώσιμη σ'ό,τι αφορά την ορθολογική διαχείριση των υδατικών πόρων. Για αυτό στο μέλλον, η διαχείριση των υδατικών πόρων θα βασίζεται: (α) στην αποδοτικότερη χρήση των διαθέσιμων συμβατικών υδατικών πόρων και (β) στην ανακύκλωση μη συμβατικών πόρων, όπως είναι τα επεξεργασμένα υγρά απόβλητα και τα υφάλμυρα νερά. Ήδη, άρχισε ο σχεδιασμός υδροδότησης και η κατασκευή κατοικιών, που βασίζεται στην ανακύκληση μέρους του νερού υδροδότησης. Με αυτό καταδεικνύεται επίσης η σημασία των αποκεντρωμένων συστημάτων διαχείρισης υδατικών πόρων και αστικών υγρών αποβλήτων, που όλο και περισσότερο θα επεκτείνεται και θα βελτιώνεται.

Τέλος, η εμπειρία που έχει αποκτηθεί μέχρι σήμερα θα βοηθήσει να υλοποιηθούν έργα ανάπτυξης και επαναχρησιμοποίησης τέτοιων νερών και στη χώρα μας. Γι'αυτό απαιτείται να θεσπισθεί σχετικό νομοθετικό πλαίσιο, αφού ήδη έχει αρχίσει η υλοποίηση τέτοιων έργων.Για όλους τους παραπάνω λόγους στο μέλλον το νερό θα συμβάλει στην ειρήνη, τη συνεργασία και τη συμφιλίωση των λαών και δεν θα είναι αιτία πολέμων.[7], [26],[27],[28]

14

1.2 ΔΙΕΡΓΑΣΙΕΣ ΜΕΜΒΡΑΝΩΝ

Το ημιπερατό υλικό που περιέχει η μεμβράνη δίνει τη δυνατότητα να επιτευχθεί ο διαχωρισμός ενός διαλύματος επιτρέποντας επιλεκτικά σε κάποια είδη με συγκεκριμένα χαρακτηριστικά να τη διαπεράσουν, ενώ απορρίπτει κάποια άλλα. Η μεμβράνη παρεμβάλετε ανάμεσα στην τροφοδοσία και το πέρασμα ή διήθημα. Η φάση προς την πλευρά της τροφοδοσίας ονομάζεται υπόλειμμα και είναι συνήθως η φάση του συμπυκνώματος, δηλαδή περιέχει ότι δεν περνάει από τη μεμβράνη. Η άλλη φάση από την πλευρά της μεμβράνης είναι το πέρασμα, δηλαδή ότι περνάει από τη μεμβράνη. Η φάση του υπολείμματος δεν ταυτίζεται απαραίτητα με τη φάση της τροφοδοσίας. Αυτό συμβαίνει μόνο στη μέθοδο της κατά μέτωπο τροφοδοσίας (dead end), η οποία χρησιμοποιείται στην κλασική διήθηση και εν μέρει στην μικροδιήθηση. Σε όλες τις άλλες περιπτώσεις έχει επικρατήσει η μέθοδος της εφαπτομενικής τροφοδοσίας (cross flow). Η εφαπτομενική τροφοδοσία έχει στόχο τον περιορισμό των εναποθέσεων υλικού πάνω στην επιφάνεια της μεμβράνης, ώστε να καθυστερεί η υποβάθμιση της απόδοσης της μεμβράνης (fouling). [8]

Οι αρχές λειτουργίας των μεμβρανών στηρίζονται στους μηχανισμούς της μικροδιήθησης, υπερδιήθησης, νανοδιήθησης και της αντίστροφης όσμωσης. Η βασική ιδιότητα μεταφοράς μάζας ενός συστατικού είναι το ηλεκτροχημικό δυναμικό του που συνήθως είναι η πίεση (δρώσα δύναμη). Για τον διαχωρισμό με υπερδιήθηση, μικροδιήθηση και νανοδιήθηση σημαντικός παράγοντας είναι η διάμετρος των διαχωριζομένων σωματιδίων, δεδομένου ότι ο κύριος μηχανισμός ειδικά για τις πρώτες δυο λειτουργίες είναι το κοσκίνισμα. Αυτό φυσικά συνδέεται και με το μέγεθος των πόρων της μεμβράνης με τελική επίδραση στην ημιπερατότητα της. Στην νανοδιήθηση ο μηχανισμός λειτουργίας της μεμβράνης δεν γίνεται μόνο με τη διεργασίας του σουρώματος αλλά και με διάχυση-διάλυση. Στην αντίστροφη όσμωση επειδή

έχουμε απουσία πόρων στις μεμβράνες η ροή γίνεται μόνο με διάχυσηδιάλυση.

Ο μηχανισμός της διάλυσης διαφέρει από τη διάχυση αφού διάλυση έχουμε σε δυο φάσεις. Διεξοδικότερα, διάλυση υφίσταται στο αιώρημα της τροφοδοσίας ενώ αυτό μεταβαίνει από τη φάση του, στη φάση της μεμβράνης. Στη συνέχεια έχουμε διάχυση σε μια φάση, τη φάση της μεμβράνης. Τέλος υφίσταται επαναδιάλυση όταν το συστατικό μεταβαίνει από τη φάση της μεμβράνης στη φάση του περάσματος

Με το μηχανισμό του σουρώματος απορρίπτονται στην επιφάνεια τα αιωρούμενα στερεά που βρίσκονται στην υγρή φάση της τροφοδοσίας. Η διαδικασία του σουρώματος βασίζεται σε ετερογενή μίγματα και όχι σε ομογενή διαλύματα. Ο διαχωρισμός βασίζεται σε διαφορές μεγέθους, σχήματος ή στην πυκνότητα. Γενικά δεν υπάρχει σαφής διαχωριστική γραμμή ανάμεσα στη μικροδιήθηση κατά την οποία γίνεται επεξεργασία αιωρημάτων μικρών

Στον παρακάτω πίνακα δίνετε μια συνοπτική περιγραφή των διεργασιών διαχωρισμού με μεμβράνες.

Διεργασία	Δρώσα δύναμη (Πίεση)	Είδη συστατικών που περνάνε	Είδη συστατικών που δεν περνάνε
Μικροδιήθηση	<1 bar	Νερό, διαλυμένες ουσίες	Βακτήρια
Υπερδιήθηση	<10 bar	Νερό,άλατα, σάκχαρα	Μακρομόρια, πρωτείνες
Νανοδιήθηση	<20 bar	Νερό, άλατα	Μακρομόρια,πρωτείνες, σάκχαρα
Αντίστροφη όσμωση	<80 bar	Νερό	Όλες οι αιωρούμενες και διαλυμένες ουσίες

Πίνακας 1 : Διεργασίες μεμβρανών

1.3 ΥΠΕΡΔΙΗΘΗΣΗ

Βασίζεται σε φυσικό διαχωρισμό λόγο διαφοράς μεγέθους των ειδών (ιόντωνμορίων) μέσω μιας (εκλεκτικής) πορώδους ημιπερατής (semipermeable) μεμβράνης.

Ονομάζεται υπερδιήθηση (ultrafiltration) η διεργασία κατά την οποία η δρώσα δύναμη (δυναμικό-gradient) είναι η διαφορά συγκέντρωσης στις δυο πλευρές της μεμβράνης και τα είδη "κοσκινίζονται" περνάνε η κατακρατούνται ανάλογα με τη σχέση του μεγέθους τους προς το μέγεθος των ανοιγμάτων της μεμβράνης (της τάξεως των 20Α). Η διαφορά πίεσης στις δυο πλευρές είναι της τάξης των 0,5-10 bar και δεν επηρεάζει τη μεταφορά μάζας.

Τα διαλυμένα συστατικά η τα μόρια ,που διαχωρίζονται με αυτή τη μέθοδο , έχουν μοριακό βάρος μεγαλύτερο από 500 και έως 1000.000 η και περισσότερο (άλλες πηγές ισχυρίζονται ότι το μοριακό βάρος μπορεί να κυμαίνεται από 20.000 έως 1000.000 όπως μακρομόρια πρωτεϊνών ,πολυμερή και άμυλο, καθώς επίσης κολλοειδή αργύρου σε διασπορά, μόρια κόμεος και μικροοργανισμοί) .Τα σωματίδια που διαχωρίζονται με τη μέθοδο της υπερδιήθησης πρέπει να έχουν μέγεθος της τάξης των 0,002-0,2μ.

Μια από τις πιο σημαντικές ιδιότητες για το διαχωρισμό με υπερδιήθηση είναι η διάμετρος (μέγεθος) των διαχωριζομένων σωματιδίων, σε συνδυασμό με το μέγεθος των πόρων της μεμβράνης. Με τελική επίδραση στην ημιπερατότητα της μεμβράνης υπερδιήθησης. Ακόμα ένας σημαντικός παράγοντας είναι η συγκέντρωση του διαλύματος που διαχωρίζεται. Εκτός από δρώσα δύναμη, η εφαρμοζόμενη πίεση η διαφορά πίεσης εγκάρσια της μεμβράνης, αποτελεί και κρίσιμη ιδιότητα της διεργασίας, όπου θεωρητικά η κρίσιμη ιδιότητα για τη μεταφορά μάζας ενός συστατικού είναι πάντα το ηλεκτροχημικό δυναμικό. μεμβράνης λόγο του φαινομένου της πόλωσης, ενώ και η θερμοκρασία επηρεάζει την μέθοδο της υπερδιήθησης. [29],[8]



Σχήμα 1 : είδη συστατικών που διαπερνάνε τη μεμβράνη με υπερδιήθηση

Υπερδιήθση (UF)

1.3.1 ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΣ ΥΠΕΡΔΙΗΘΗΣΗΣ

Διαβιβάζεται υπό πίεση το προς διαχωρισμό διάλυμα, διάμεσου της πορώδους μεμβράνης, η οποία συγκρατεί μηχανικά σαν ένα λεπτό κόσκινο τα σωματίδια και επιτρέπει τη διέλευση των μικρότερων μορίων και του διαλύτη .Η πίεση που ασκείται είναι μεταξύ 0,5-10bar.Το κύριο μέρος του μηχανισμού είναι το σούρωμα (Sieving effect) και αποτελείται από τρία είδη

Ι. Επιφανειακό σούρωμα.

ii. Σούρωμα σε βάθος.

iii. Δημιουργία πλακούντα (Cake filtration).

Μετά τη δημιουργία και το σχηματισμό πλακούντα οι πόροι έχουν φράξει και δεν αφήνουν να περάσει το διάλυμα από τη μεμβράνη. Η διαφορά πίεσης η

κλίση πίεσης εγκάρσια της μεμβράνης ονομάζεται δρώσα δύναμη και ισούται με

J=k $\Delta P/b$ η J=K' ΔP

όπου Κ = συντελεστής διαπερατότητας της μεμβράνης.

Η πίεση δεν είναι η μονή δρώσα δύναμη, αφού δευτερεύουσες δυνάμεις είναι πιθανό να προέρχονται από τη πόλωση η τις διαμοριακές αλληλοεπιδράσεις μεταξύ των μεταφερόμενων μορίων και του υλικού της μεμβράνης. Με τα συσσωρευμένα στερεά βρίσκονται σε εν διαλύσει κατάσταση δημιουργείται πόλωση, σε αυτή τη περίπτωση δεν έχω δημιουργία πλακούντα αλλά μεγάλη συγκέντρωση διαλυμένων στερεών. Στρώμα πόλωσης (gel layer) ονομάζεται η περιοχή σταθερής συγκέντρωσης, ίσης με συγκέντρωση. Το στρώμα της πόλωσης προσφέρει μια πρόσθετη αντίσταση στη ροή διαμέσου της μεμβράνης και αποτελεί ανασταλτικό παράγοντα στη διεργασία. Σε αντίθεση με την αντίστροφη όσμωση, στην υπερδιήθηση παραμένουν στην επιφάνεια της μεμβράνης μόνο μεγαλομόρια και η αύξηση της ωσμωτικής πίεσης είναι αμελητέα. Οπότε η κλίση της συγκέντρωσης του μερικώς η ολικώς εμποδισμένου συστατικού προωθείται από μεταφορά με διάχυση και συμμεταφορά του συστατικού σε δυο αντίθετες διευθύνσεις

- Προς τα πίσω στο υπόλειμμα (θεωρία του φιλμ-film theory)
- Εμπρός και εγκάρσια της μεμβράνης στο πέρασμα. Διάφορα μοντέλα περιγράφουν αυτή τη συμπεριφορά, όπως το υδροδυναμικό, το θερμοδυναμικό και Stefan-Maxwell.

Ο κύριος μηχανισμός είναι η συμμεταφορά ενώ δευτερεύοντες μηχανισμοί είναι

- Διάχυση (D)
- Διασπορά (Ε) Διαφορές συγκέντρωσης που οφείλονται σε ρεύματα.

Η προσρόφηση (absorption) είναι ακόμα ένα φαινόμενο όπου μικρό σωματίδιο περνά από το άνοιγμα όμως λόγω μικρού μεγέθους προσροφάτε και προσκολλάται στο υλικό της μεμβράνης (αλληλεπίδραση). Οι δεητρίνες

μπορεί να αλληλοεπιδράσουν με τη μεμβράνη αντιστρεπτά σε αντίθεση με τις πρωτεΐνες που συνήθως απορροφούνται αντιστρεπτά στην επιφάνεια και τους πόρους της μεμβράνης υπερδιήθησης. Το ηλεκτροχημικό και το χημικό δυναμικό αποτελούν και αυτές δρώσες δυνάμεις.

Η τάση να μειώνεται η απόδοση της μεμβράνης όσο περισσότερο χρησιμοποιείται, είναι ένα από τα χαρακτηριστικά της και ονομάζεται (fouling effect).Η τάση αυτή της μεμβράνης εξαρτάται από τις ιδιότητες της επιφάνειας της μεμβράνης (υδρόφιλη/υδρόφοβη)και η διαλυμένη ουσία καθώς και τα χαρακτηριστικά του μεγέθους των πόρων της μεμβράνης σε σύγκριση με το μέγεθος της διαλυμένης ουσίας.

1.3.2 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΥΠΕΡΔΙΗΘΗΣΗΣ

Η μέθοδος της υπερδιήθησης τα τελευταία χρόνια βρίσκει παρά πολλές εφαρμογές στη βιομηχανία τροφίμων. Χαρακτηριστικά παραδείγματα εφαρμογών της υπερδιήθησης στη βιομηχανία τροφίμων είναι

- Διαχωρισμός των πρωτεινών
- Διαχωρισμός γαλακτωμάτων λάδι-νερό
- Η ανάκτηση των πρωτεϊνών του ορού γάλακτος κατά τη παρασκευή τυριού
- Η αφαίρεση βακτηρίων και άλλων σωματιδίων κατα την αποστείρωση κρασιού
- Η διαυγαση του χυμου φρουτων
- Η διαυγαση αραιών σακχαροδιαλυματων στη παραγωγή σακχάρεως

Κυρίως στόχος στις μεθόδους υπερδιήθησης στην βιομηχανία τροφίμων είναι επίτευξη κανονικών ρεολογικών ιδιοτήτων σε συνδυασμό με την διατήρηση της γεύσης και των οργανοληπτικών χαρακτηριστικών του προϊόντος(σωστό ισοζύγιο αλάτων). Ένα πρόβλημα των προϊόντων υπερδιήθησης ήταν η πικρή τους γεύση το οποίο ξεπεράστηκε με την ανάπτυξη κατάλληλων μεμβρανών με ευρύτερο φάσμα pH. Από τις πιο σημαντικές εφαρμογές της μεθόδου στη βιομηχανία τροφίμων είναι αξιοποίηση του ορού του γάλακτος με την παραγωγή συμπυκνωμάτων πολύτιμων πρωτεϊνών. Όπως είναι γνωστό ο ορός του γάλακτος, περιέχει πρωτεΐνες, όπως την α-λακταλμπουμίνη, τη β-λακτογκλομπουλίνη, τις γιμμουνογκλομπουλίνες, σάκχαρα (λακτόζη), λίπη και διάφορα άλατα..

Όμως η υπερδιήθηση βρίσκει εφαρμογές και στην επεξεργασία βιομηχανικών αποβλήτων όπως

- Στην επεξεργασία αποβλήτων ελαιουργείων
- Στην επεξεργασία υγρών αποβλήτων τυροκομείων
- Στην επεξεργασία αποβλήτων σφαγείων και αλιευμάτων
- Στην επεξεργασία αποβλήτων σταθμών συλλογής γάλακτος
- Στην επεξεργασία αποβλήτων που περιέχουν αμυλούχες ενώσεις

Τέλος η υπερδιήθηση και λόγο της ευαισθησίας των βιολογικών και φαρμακευτικών υλικών σε θερμικό και χημικό περιβάλλον, είναι η πλέων κατάλληλη για φαρμακευτικές και βιολογικές εφαρμογές. Υπάρχουν πολλά χαρακτηριστικά της υπερδιήθησης που κάνουν τη μέθοδο ιδανική για συμπύκνωση και καθαρισμό των ευμετάβλητων βιολογικών υλικών.[8]

1.4 ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ

Το πιο απλό φυσικό μοντέλο μεμβρανών είναι το μαύρο κουτί, το οποίο δεν απαιτεί καμία δομική πληροφορία και αρκεί για το θερμοδυναμικό μοντέλο της αναντίστροφης θερμοδυναμικής όπου κάθε ροή σχετίζεται με όλες τις δρώσες δυνάμεις που ενεργούν στο σύστημα με γραμμικές εξισώσεις χρησιμοποιώντας φαινομενολογικούς συντελεστές.

Χρησιμοποιώντας μόνο απιονισμένο νερό για τροφοδοσία η μόνη αντίσταση στο πέρασμα του νερού είναι η ίδια η μεμβράνη. Η ροή σε αυτή την περίπτωση ονομάζεται ροή του καθαρού νερού ή περατότητα ως προς το νερό και χρησιμοποιείται για τον χαρακτηρισμό της μεμβράνης. Η περατότητα ως προς το νερό μετράτε πριν και μετά την χρήση για να καθοριστεί αν η μεμβράνη επανέρχεται στην αρχική της κατάσταση. Η διαφορά οφείλεται στη μείωση της απόδοσης της μεμβράνης.

Χρησιμοποιώντας το μοντέλο του μαύρου κουτιού της θερμοδυναμικής προκύπτει μια σχέση ανάμεσα στη ροή και την πίεση και είναι η εξίσωση του Darcy :

 $Jw = Lv \Delta P$

Όπου:

Lv : η περατότητα ως προς το νερό

Jw : η ροή του νερού

ΔΡ: η εφαρμοζόμενη πίεση μεταξύ των δυο πλευρών της μεμβράνης

Στην περίπτωση που χρησιμοποιούμε διάλυμα για τροφοδοσία τότε η ταχύτητα ροής του περάσματος θα είναι μικρότερη από αυτή του νερού. Αυτό μπορεί να συμβαίνει από την πόλωση της συγκέντρωσης, τη μεταβολή του ιξώδους η την μείωση της απόδοσης της μεμβράνης.

Αν δεν έχει μειωθεί η απόδοση της μεμβράνης τότε η περατότητα της μεμβράνης (Lv) παραμένει η ίδια και η μείωση της ταχύτητας ροής μπορεί να ερμηνευτεί ως μείωση της δρώσας δύναμης κατά ένα ποσό ίσο με ΔΠ.

Άρα: Jw = Lv ($\Delta P - \Delta Π$)

Όπου:

Lv : η περατότητα ως προς του νερού ή η υδραυλική αγωγιμότητα της μεμβράνης

Jw : η ογκομετρική ροή του περάσματος

ΔΡ: η εφαρμοζόμενη πίεση μεταξύ των δυο πλευρών της μεμβράνης

ΔΠ: η μεταβολή της οσμωτικής πίεσης εγκάρσια της μεμβράνης

Το θερμοδυναμικό μοντέλο δίνει μία παρόμοια σχέση :

$$\mathsf{Jw} = \mathsf{Lv} \ (\Delta \mathsf{P} - \sigma \Delta \mathsf{\Pi})$$

Όπου η διαφορά είναι η εισαγωγή του σ (συντελεστής ανάκλασης) το οποίο είναι ένα εγγενές μέτρο της επιλεκτικότητας της μεμβράνης και παίρνει τιμές από 0 – 1. Αν σ = 1 έχουμε ολική συγκράτηση της διαλυμένης ουσίας, ενώ αν σ = 0 η μεμβράνη αφήνει ανεμπόδιστα το πέρασμα του διαλύματος.

Η αποτελεσματικότητα της υπερδιήθησης εξαρτάται από τον βαθμό συγκράτησης ή απόρριψης και δίνεται από τον τύπο :

$$R = \frac{C \epsilon \iota \sigma. - C \epsilon \xi.}{C \epsilon \iota \sigma.} = 1 - \frac{C \epsilon \xi.}{C \epsilon \iota \sigma.}$$

$$R = \left(\frac{1 - C\epsilon\xi}{C\epsilon\iota\sigma}\right) X \quad 100 \%$$

Η συγκράτηση μπορεί να διακριθεί σε τρεις τύπους, όπως φαίνεται στον πίνακα 2

Πίνακας 2 : Βαθμός συγκράτησης και περιεχόμενα φαινόμενα

Ερμηνεύεται με	Βαθμός συγκράτησης
Κανένα φαινόμενο	Παρατηρούμενη συγκράτηση
Μόνο με εσωτερική διάχυση	Πραγματική συγκράτηση
Πόλωση συγκέντρωσης και εσωτερική διάχυση	Εσωτερική συγκράτηση

Ο παρατηρούμενος βαθμός συγκράτησης είναι αυτός που προσδιορίζεται πειραματικά και μπορεί να περιλαμβάνει και την πόλωση συγκέντρωσης και φαινόμενα μεταφοράς με εσωτερική διάχυση. Ο πραγματικός βαθμός συγκράτησης δεν εξαρτάται από φαινόμενα πόλωσης της συγκέντρωσης, αλλά μπορεί να περιλαμβάνει μια κατανομή της μεταφοράς της διαχεόμενης διαλυμένης ουσίας εγκάρσια της μεμβράνης. Ο εσωτερικός ή αληθινός βαθμός συγκράτησης είναι το όριο του πραγματικού βαθμού συγκράτησης όταν ο εσωτερικός αριθμός Peclet προσεγγίζει το άπειρο

$$R = \frac{\sigma(1 - e^{-Pe})}{1 - \sigma e^{-Pe}}$$

Όπου

$$Pe = \frac{(1 - \sigma)Jv}{Ls}$$

Η καμπύλη cut-off είναι η απεικόνιση του βαθμού συγκράτησης σε συνάρτηση με τον λογάριθμο του μοριακού βάρους. Η καμπύλη έχει σιγμοειδές σχήμα και όταν είναι απότομη αναφέρεται ως sharp cut-off, ενώ όταν η καμπύλη είναι ευρεία χρησιμοποιούμε τον όρο diffuse cut-off.





Η καμπύλη μοριακού βάρους cut-off χρησιμοποιείται στις μεμβράνες υπερδιήθησης και ορίζεται ως το σφαιρικό μοριακό βάρος πρωτεϊνών οι οποίες κατακρατούνται κατά 90% από την μεμβράνη. [8]

1.5 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΜΕΜΒΡΑΝΩΝ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ

Υπάρχουν πολλά είδη μεμβρανών, ανάλογα με τη γεωμετρική διαμόρφωση τους. Χαρακτηριστικά αναφέρουμε τα εξής

• Επίπεδη.

Οι επίπεδες μεμβράνες έχουν κυρίως πειραματική χρήση για το χαρακτηρισμό της διαπερατότητας μιας μεμβράνης. Οι μεμβρανοθήκες είναι εύκολο να κατασκευαστούν και να χρησιμοποιηθούν, επίσης η επιφάνεια της μεμβράνης είναι καλά ορισμένη. Σε μερικές περιπτώσεις οι μεμβρανοθήκες είναι ενσωματωμένες σαν ένα πολυστρωματικό σάντουιτς ή πεπιεσμένο φίλτρο, διάταξη πλακών και πλαισίων (plate-and-frame) και προσφέρουν τη μεγαλύτερη προσαρμοστικότητα. Μπορούν εύκολα να καθαριστούν ή να αντικατασταθούν με αποσύνδεση της μονάδας. Το κυριότερο μειονέκτημα αυτού του τύπου μεμβράνης είναι η πολύ μικρή ενεργή επιφάνεια μεμβράνης και διακρίνονται από μεγάλυτερο ενεργητικό κεφάλαιο στον ισολογισμό μιας επιχείρησης.

• Πορωδών ινών.

Αυτές οι μεμβράνες έχουν σχήμα κοίλων ινών πολύ μικρής διαμέτρου. Η εσωτερική διάμετρος των ινών κυμαίνεται σε ένα εύρος από 100 έως 200μm και το πάχος των τοιχωμάτων τους είναι περίπου 25μm, με μήκος 3-5m. Διατάξεις αυτού του είδους περιγράφονται στη Φωτογραφία 1.



Φωτογραφία 1 : Μονάδες πορωδών ινών

• Ελικοειδή περιτύλιξη.

Η διαμόρφωση υποστηρίζει την απλότητα κατασκευής της επίπεδης μεμβράνης, ενώ ταυτόχρονα αυξάνει την ενεργή επιφάνεια της μεμβράνης. Η διάταξη αποτελείται από φύλλα τυλιγμένα γύρω από ένα κεντρικό πυρήνα ενός διάτρητου συλλεκτικού σωλήνα. Τέτοιου είδους μονάδες μικροδιήθησης και υπερδιήθησης της εταιρίας G.E. water technologies φαίνονται και περιγράφονται στο Σχήμα 2 και 3.



Σχήμα 2. Αρχές λειτουργίας ελικοειδούς περιτυλίξεως

(õ)

Desal UF	
G-Series P.Sories M-Series	
Desal MF	
E-Series J-Series K-Series	

Σχήμα 3: Δοκίμια ελικοειδούς περιτυλίξεως της G.E water technologies

• Σωληνοειδής.

Η ημιπερατή μεμβράνη εισάγεται στο εσωτερικό ή επικαλύπτει την επιφάνεια ενός σωλήνα, ο οποίος έχει τέτοια κατασκευή που να αντέχει στην πίεση λειτουργίας. Έιναι λιγότερο επιρρεπής στη δημιουργία πλακούντα και είναι πολύ πιο εύκολος ο καθαρισμός του από ότι συμβαίνει στους άλλους τύπους Χαρακτηριστική μονάδα περιγράφεται στο Σχήμα 4.



Σχήμα 4: Μονάδες σωληνοειδούς μεμβράνης

• Μονολιθικές.

Τα κεραμικά υποστρώματα παράγονται στις εξής δομές Κοίλων ινών (hollow fibers), Επίπεδων πλακών (flat plates) αι Κυψελοειδών δομών (honeycombs). Στη συνέχεια παραθέτουμε χαρακτηριστικά, σωληνοειδή δοκίμια αλούμινας με κανάλια, της Ιαπωνικής εταιρίας NGK στη Φωτογραφία 2. [10], [9], [15], [14], [16]

Φωτογραφία 2 Σωληνωειδή δοκίμια αλουμίνας και μεμβρανοθήκη NGK



1.5.1 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΠΟΛΥΜΕΡΩΝ ΜΕΜΒΡΑΝΩΝ

Οι κύριες χρήσεις των πολυμερών μεμβρανών είναι βεβαίως στους τομείς των βιομηχανικών διαδικασιών διήθησης και χωρισμού και καθαρισμού (επεξεργασία απόβλητου ύδατος, αφαλάτωση νερού της θάλασσας, αέριο χωρισμός, επεξεργασία ορών αίματος, κ.λπ.). Εντούτοις, οι ενδιαφέρουσες βιοϊατρικές και βιοτεχνολογικές εφαρμογές έχουν προκύψει κατά τη διάρκεια των τελευταίων δεκαετιών, όπως οι μαλακοί φακοί επαφής, οι καθοδηγημένες υποστηρίξεις αναγέννησης ιστού, οι βιοαισθητήρες, και τα υποστρώματα για την in vitro καλλιέργεια των μαστοφόρων κυττάρων. [17]

Οι πολυμερείς μεμβράνες όπως αναφέρθηκε εφαρμόζονται σε ευρείας κλίμακας εφαρμογές. Προσφέρουν σημαντική ελαστικότητα και ανταποκρίνονται ικανοποιητικά σε μια ευρεία περιοχή απαιτήσεων. Μη υδατική οργανικοί διαλύτες, ξηρές ατμόσφαιρες ή υψηλές θερμοκρασίες (πάνω από 250°C) μπορούν όμως να προκαλέσουν αποσύνθεση του υλικού της μεμβράνης, την κατάρευση και πλήρη απώλεια σταθερότητας [11]. Επίσης η απόδοση και η αντοχή των πολυμερών μεμβρανών είναι δύσκολο να εκτιμηθούν (οι υπολογισμοί μπορούν να έχουν αξιοσημείωτη διαφορά από την πραγματική διαδικασία) [39].

1.5.2 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΚΕΡΑΜΙΚΩΝ ΜΕΜΒΡΑΝΩΝ

Τα κεραμικά υλικά είναι γενικά πολύ σταθερά χημικά, θερμικά και μηχανικά, και επιπλέον είναι συχνά βίο αδρανή. Είναι επομένως ιδανικά υλικά για πολλές εφαρμογές στη χημική και φαρμακευτική βιομηχανία ή στην επεξεργασία ύδατος και απόβλητου ύδατος. Τα μόρια διατηρούνται εάν το μέγεθός τους υπερβαίνει την ακτίνα των πόρων μεμβρανών, που ενισχύει τη συμπύκνωση. Το διήθημα διαπερνά μέσω των πόρων και υποβάλλεται στα επόμενα στάδια διαδικασίας.

Πολλά είναι τα πλεονεκτήματα που προκύπτουν από την κεραμική χρήση μεμβρανών: χωρίζουν τα μίγματα φυσικά. Είναι οικολογικά φιλικοί και ευνοϊκότεροι από άλλες τεχνολογίες χωρισμού. Καμία πρόσθετη ουσία δεν είναι απαραίτητη και η θερμοκρασία διαδικασίας δεν είναι περιορισμένη.

Αρχικά, οι κεραμικές μεμβράνες χρησιμοποιήθηκαν στην τεχνολογία απόβλητου ύδατος. Εν τω μεταξύ, οι επιτυχείς λύσεις και οι πιθανές εφαρμογές καλύπτουν όλες τις βιομηχανίες όπου τα μέσα φιλτραρίστηκαν.

- Χημική βιομηχανία:
 - διαχωρισμός και καθαρισμός προϊόντων
 - διαχωρισμός των καταλυτών
 - απομάκρυνση των χρωστικών ουσιών
 - αφαλάτωση των προϊόντων
 - καθαρισμός και ανακύκλωση των οργανικών διαλυτών
- Βιομηχανία μετάλλων:
 - επεξεργασία των γαλακτωμάτων ελαίου/ ύδατος
 - απομάκρυνση των βαριών μετάλλων
 - καθαρισμός του απόβλητου ύδατος από τις διαδικασίες λείανσης
 - επεξεργασία της παραγωγής γυαλιού μορφής απόβλητου ύδατος και
 ινών γυαλιού
- Κλωστοϋφαντουργικά προϊόντα/ βιομηχανία πολτού και χαρτιού:
 - συγκέντρωση, απομόνωση και αποστείρωση για τα αντιβιοτικά, τα
 ένζυμα, τις πρωτεΐνες, τα αμινοξέα και τις βιταμίνες

- χωρισμός, συγκέντρωση και απομάκρυνση νερού της βιομάζας και
 των αλγών
- διάθεση των παχιών γαλακτωμάτων
- χωρισμός της ζύμης
- αφαλάτωση
- Τρόφιμα και ποτά
 - αποκαθαρισμός του χυμού και της μπύρας
 - συγκέντρωση του χυμού
 - αποστείρωση του γάλακτος και του ορρού γάλακτος
 - διαχωρισμός των συστατικών γάλακτος και του τυρόγαλου
 - αφαλάτωση του τυρόγαλου
 - απομάκρυνση νερού των προϊόντων
 - καθαρισμός του πόσιμου νερού
- Ανακύκλωση και περιβάλλον
 - μείωση BOD /COD
 - διαχωρισμός ελαίου/ ύδατος
 - απομάκρυνση των φαρμακευτικών ειδών και των φυτοφαρμάκων
 - διατήρηση των μικροοργανισμών
 - διατήρηση των βαριών μετάλλων και των ραδιενεργών ουσιών
 - ανακύκλωση των πισινών μορφής ύδατος
 - καθαρισμός του αγωγού των εγκαταστάσεων λυμάτων [18]
 - απομάκρυνση βακτηρίων [39].

1.5.3 ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΚΕΡΑΜΙΚΩΝ ΜΕΜΒΡΑΝΩΝ

Τα κεραμικά φίλτρα παρουσιάζουν ορισμένα λειτουργικά προβλήματα τα οποία είναι τα παρακάτω :

- Ευθραυστότητα
- Καταστροφική θραύση από την ανάπτυξη θερμικών τάσεων κατά την διαδικασία καθαρισμού με ρεύματα αερίων ή θραύση λόγω δονήσεων κατά την λειτουργία ή λόγω κυκλικής κόπωσης.
- Αποκόλληση των επί μέρους παράλληλων στιβάδων
- μεγάλο βάρος τους

ιδιαίτερες δαπάνες παραγωγής των κεραμικών συστατικών [12]

1.5.4 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

κεραμικές μεμβράνες βρίσκουν πολλές βιομηχανικές εφαρμογές. Oı Χρησιμοποιούνται κυρίως σαν φορείς των καταλυτικών μετάλλων ή και ως καταλύτες σε πολλές καταλυτικές διεργασίες και ακόμη βρίσκουν πάρα πολλές εφαρμογές σε διάφορες διεργασίες καθαρισμού και διαχωρισμού. Έτσι έχουν εφαρμογή στους καταλυτικούς μετατροπείς αυτοκινήτων σαν υποστρώματα των ευγενών μετάλλων αλλά και στην βιομηχανία για το φιλτράρισμα αερίων και υγρών. Οι κεραμικές μεμβράνες είναι τεχνολογικά σημαντικές στον διαχωρισμό και στο φιλτράρισμα όπως και στις καταλυτικές αντιδράσεις, εξαιτίας μερικών μοναδικών χαρακτηριστικών που έχουν, σε αντίθεση με τις πολυμερείς μεμβράνες. Έχουν υψηλή θερμική και χημική σταθερότητα, μεγάλο χρόνο ζωής και επίσης μπορεί να έχουν καταλυτικές ιδιότητες. Πιο συγκεκριμένα μπορούν να αντισταθούν σε θερμοκρασίες μέχρι και πάνω από 500 °C, να αντέξουν στα άκρα του pH (0 έως 14), και σε υψηλές λειτουργούσες πιέσεις μέχρι το φραγμό των 10 bar (145 PSI) χωρίς ανησυχία για τη συμπίεση ή τη διόγκωση μεμβρανών. Αυτό καθιστά αυτές τις μεμβράνες κατάλληλες για πολλές εφαρμογές όπου πολυμερής και άλλες ανόργανες μεμβράνες δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν. Γενικά, οι κεραμικές μεμβράνες είναι ιδανικές για τον επιτόπου χημικό καθαρισμό στις υψηλές θερμοκρασίες, χρησιμοποιώντας την καυστική ουσία, το χλώριο, το υπεροξείδιο υδρογόνου, το όζον και τα ισχυρά ανόργανα οξέα, ή/και με τη χρησιμοποίηση της αποστείρωσης ατμού [11], [34]. Επιπλέον έχουν μικρότερη τάση για φαινόμενα fouling σε σχέση με τις πολυμερείς μεμβράνες όσον αφορά σε υδρόφιλα συστατικά. [35]

1.6 ΚΕΡΑΜΙΚΕΣ ΜΕΜΒΡΑΝΕΣ

Οι κεραμικές μεμβράνες αποτελούνται από διαδοχικά στρώματα. Μία μικροπορώδης στιβάδα επικάθεται πάνω σε μια άλλη στιβάδα από κεραμικό υλικό (με μεγαλύτερο μέγεθος πόρων). Το απαιτούμενο χαρακτηριστικό για την αποτελεσματική λειτουργία τους είναι να έχουν μια απόλυτα ελεγχόμενη κατανομή μεγέθους πόρων ώστε να είναι εφικτός ο διαχωρισμός των κάθε φορά επιθυμητών ουσιών. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν για φιλτράρισμα σωματιδίων από 0,001-10μm, οι περισσότερες εφαρμογές όμως είναι στην περιοχή του λεγόμενου μικρό-φιλτραρίσματος (0,02-2,0μm) και του υπέρφιλτραρίσματος (0,001-0,02μm). Οι μεμβράνες αυτές κατασκευάζονται πάνω στο υπόστρωμα με τεχνικές της χημείας διαλυμάτων ή με τεχνικές εναπόθεσης από την αέρια φάση.

Το υπόστρωμα παρέχει μηχανική αντοχή στην μεμβράνη ενώ το ενδιάμεσο στρώμα ενεργεί σαν φάση μεταπτώσεως, αποτρέποντας το επάνω στρώμα να εισχωρήσει στην πορώδη δομή του υποστρώματος.

Συνήθως τα υποστρώματα είναι κοίλοι σωλήνες, επίπεδες επιφάνειες, ή κυψελοειδείς δομές. Οι σωληνοειδείς μεμβράνες και οι κυψελοειδούς δομής χρησιμοποιούνται ευρέως στον υγρό διαχωρισμό, ενώ οι επίπεδες επιφάνειες είναι περισσότερο κατάλληλες στον αέριο διαχωρισμό, στις υγρές διαδικασίες χαμηλής πίεσης και στις καταλυτικές διεργασίες. [12]

1.7 ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ ΚΕΡΑΜΙΚΩΝ ΜΕΜΒΡΑΝΩΝ

Τα περισσότερα υποστρώματα ανόργανων μεμβρανών υφίστανται σε σωληνοειδές σχήμα. Αυτή είναι μια καλά υιοθετημένη γεωμετρία για φιλτράρισμα εγκάρσιας ροής στην οποία το ρεύμα τροφοδοσίας κυκλοφορεί εγκάρσια στην επιφάνεια της μεμβράνης και το διαβρεχόμενο ρεύμα περνάει δια μέσου της μεμβράνης σε κάθετη κατεύθυνση.

Ο ανοξείδωτος χάλυβας, ο άνθρακας και τα κεραμικά είναι τα περισσότερο

χρησιμοποιούμενα υλικά στην προετοιμασία των υποστρωμάτων: Ένα καλοσχεδιασμένο υπόστρωμα πρέπει να έχει μηχανικές αντοχές και η αντίστασή του στη ροή του υγρού πρέπει να είναι πολύ χαμηλή. Στοχεύοντας στην αύξηση αποδόσεων της ροής, έχουν κατασκευαστεί υποστρώματα με πολλές στοιβάδες τα οποία έχουν μια ασύμμετρη δομή με αυξανόμενο λόγω μεταβολής στο μέγεθος των πόρων, γενικώς από μέσα προς τα έξω του σωλήνα. Ένα παράδειγμα κεραμικού υποστρώματος φτιαγμένο με στρώματα αλουμίνας με διαφορετικό πορώδες φαίνεται στη φωτογραφία 3.



Φωτογραφία 3: Δομή ασύμμετρου πορώδους κεραμικού υποστρώματος από SCT

Τα κεραμικά υποστρώματα σχηματίζονται με εξώθηση κεραμικής μάζας η οποία λαμβάνεται από κεραμική σκόνη με ρυθμιζόμενο μέγεθος κόκκων. Αυτή είναι μια γνωστή μέθοδος μορφοποίησης η οποία χρησιμοποιείται στις εμπορικές διαδικασίες. Μια κεραμική μάζα προς εξώθηση μπορεί να θεωρηθεί σαν ένα μίγμα τεσσάρων βασικών συστατικών : της κεραμικής σκόνης, ενός οργανικού και ενός ανόργανου διασπορέα, ενός λιπαντικού και του νερού.

Μετά την μορφοποίηση γίνετε η ξήρανση που απομακρύνει τον υγρό διαλύτη από πορώδες σώμα μέσω εξάτμισης. Ο ρυθμός απομάκρυνσης του νερού της επιφάνειας δεν πρέπει να υπερβαίνει τον ρυθμό του νερού που μεταφέρεται από το εσωτερικό του σώματος προς την επιφάνεια, διότι είναι πιθανόν να αναπτυχθούν τάσεις στην μάζα, να δημιουργηθούν μικρορωγμές και να παραμορφωθεί το σχήμα. Για να επιτευχθούν ακόμα καλύτερα αποτελέσματα η διεργασία της ξήρανσης λαμβάνει χώρα σε συνθήκες με χαμηλή θερμοκρασία και ελεγχόμενης υγρασίας. Κατά την ξήρανση το αντικείμενο συρρικνώνεται και μεταβάλλονται οι διαστάσεις του λόγω της απομάκρυνσης του νερού από την κεραμική μάζα.

Συνακόλουθα μετά την διαδικασία της ξήρανσης έχουμε την διαδικασία της έψησης. Αυτό το στάδιο καθορίζει την τελική μικροδομή και της φυσικές ιδιότητες του τελικού προϊόντος. Η επιλογή της διαδικασίας εξαρτάται από τον τύπο του προς έψηση υλικού.

Η επιτυχία της κατασκευής εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την επικάλυψη με το μικροπορώδες επίστρωμα το οποίο πρέπει να επικάθεται πάνω στο ψημένο υπόστρωμα και να αποτελεί ένα διακριτό στρώμα (να μην έχει διείσδυση και φράξει τους πόρους του υποστρώματος), να έχει καλή πρόσφυση πάνω σε αυτό και να είναι συνεχές χωρίς την παρουσία μικρορωγμών και δομικών ατελειών. Η επικάλυψη με το επίστρωμα βασίζεται στην τεχνική του slip casting. Η μέθοδος έγκειται στην επιλογή αφενός της κατάλληλης κεραμικής σκόνης και αφετέρου στις ρεολογικές ιδιότητες του αιωρήματος (ιξώδες, σταθερότητα).

[12] [13] [11]

1.8 ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΥΠΟΣΤΡΩΜΑΤΩΝ ΚΕΡΑΜΙΚΩΝ ΜΕΜΒΡΑΝΩΝ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΝΑΝΟΚΟΝΕΩΝ

Όπως έχει ήδη αναφερθεί η χρήση κεραμικών μεμβρανών έχει προσελκύσει έντονο επιστημονικό ενδιαφέρον εξαιτίας των πλεονεκτημάτων που παρουσιάζει. Ανάμεσά τους μπορούν να αναφερθούν τα παρακάτω:

- Διατήρηση των αρχικών τους ιδιότήτων σε υψηλές θερμοκρασίες (500⁰C ή και υψηλότερες) και σε μεγάλες πιέσεις (10 με 100 bars), ιδιότητα που τις καθιστά κατάλληλες για εφαρμογή στην τήξη μετάλλων και σε διαχωρισμό ατμών
- 2. Καλή συμπεριφορά σε όλα τα πεδία του pH

- Δεν παρουσιάζουν παραμορφώσεις κατά τη διάρκεια της λειτουργίας τους
- 4. Εμφανίζουν χημική σταθερότητα σε οργανικούς διαλύτες και ανθεκτικότητα στις μικροβιολογικές προσβολές
- Είναι εύκολος ο χαρακτηρισμός τους με χημικές και ακτινοσκοπικές μεθόδους

Παρόλο που τα κεραμικά παρουσιάζουν εξαιρετικές επιδόσεις δεν χρησιμοποιούνται ακόμη ευρέως λόγω του μη πλήρους ακόμη ελέγχου της κατανομής μεγέθους των πόρων. Έτσι ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζεται στην ανάπτυξη κεραμικών με ελεγχόμενη πορώδη δομή και ικανοποιητικές μηχανικές ιδιότητες. Από τη διεθνή βιβλιογραφία προκύπτει ότι η χρήση νανοκόνεων ενισχύει την πορώδη δομή και βοηθά στη βελτίωση των μηχανικών ιδιοτήτων. Η ενίσχυση της δομής των συμβατικών κόνεων πραγματοποιείται είτε κατά το στάδιο της σύνθεσης των νανοκόνεων, είτε δηλαδή κατά τη φάση του διαλύματος (sol), είτε κατά το στάδιο σχηματισμού του πηκτώματος (gel).Κάθε μια από τις προαναφερθέντες μέθοδοι ουσιαστικά έχει ως αποτέλεσμα την επικάλυψη των κόκκων των συμβατικών κόνεων και τη δημιουργία ομοιόμορφων μικροδομών με ικανοποιητικές μηχανικές αντοχές.[4,5]

1.9 ΣΥΝΘΕΣΗ ΝΑΝΟΚΟΝΕΩΝ ΜΕ ΧΗΜΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΥΣ

Οι μέθοδοι που δίνουν περισσότερο αξιόπιστα αποτελέσματα στην παραγωγή νανοκόνεων από πλευράς ομοιογένειας, σύνθεσης, χημικής καθαρότητας και κοκκομετρίας είναι η μέθοδος συγκαταβύθισης και η μέθοδος της διάλυσης - ζελατινοποίησης (SOLution – GELation). Τα περισσότερα πλεονεκτήματα αυτών των μεθόδων οφείλονται στην δυνατότητα ανάμιξης σε μοριακό επίπεδο, και η διατήρηση αυτής της ομοιογένειας στο τελικό προϊόν[2]

Η βασική αρχή της μεθόδου διάλυσης – ζελατινοποίησης έγκειται στη χρήση πρόδρομων υλικών (οργανικών ή ανόργανων) που περιέχουν τα στοιχεία (μέταλλα και αμέταλλα) από τα οποία αποτελείται η προς σύνθεση κεραμική

σκόνη. Οι οργανικές ενώσεις της μορφής M(OR)_n, όπου M είναι κάποιο μέταλλο και R είναι κάποιο αλκύλιο, ονομάζονται μεταλλικά αλκοξείδια και χρησιμοποιούνται ευρέως στη μέθοδο Sol–Gel. Στα πλαίσια της παρούσας εργασίας μελετήθηκε η απόδοση μεμβρανών που αποτελούνται από υποστρώματα που παρασκευάσθηκαν από ανάμιξη συμβατικών κόνεων με νανοκόνεις αλουμίνας (βαιμίτη)και επομένως η περιγραφή της μεθόδου θα εστιαστεί στη χρήση ανόργανων πρόδρομων αντιδραστηρίων και συγκεκριμένα ένυδρου νιτρικού αργιλίου, Al(NO₃)₃+9H₂O

Το πρώτο στάδιο της μεθόδου αποτελεί η υδρόλυση των πρόδρομων αντιδραστηρίων με την προσθήκη απιονισμένου νερού. σε περιβάλλον με θερμοκρασία μεγαλύτερη από του περιβάλλοντος, αλλά χαμηλότερη από τη θερμοκρασία εξάτμισης του νερού, προκειμένου να δοθεί κάποια ώθηση στην ταχύτητά της. Η υδρόλυση του ένυδρου νιτρικού αργιλίου ακολουθεί τους κανόνες υδρόλυσης των αλάτων και γίνεται σύμφωνα με την παρακάτω αντίδραση

$AI(NO_3)_3 + 3H_2O \rightarrow AI(OH)_3 + 3HNO_3$

Το δεύτερο στάδιο περιλαμβάνει την συμπύκνωση και τον πολυμερισμό συμπύκνωσης των προϊόντων της αντίδρασης υδρόλυσης που λαμβάνει χώρα αμέσως μετά την ένωση των ατόμων του μετάλλου με τα ανιόντα υδροξυλίου παρουσία βάσης ή οξέος ως καταλύτη και συνοδεύεται από την δημιουργία μονομερών και την αποβολή μορίων νερού ή αλκοόλης.

Ο πολυμερισμός λαμβάνει χώρα αμέσως μετά την δημιουργία τουλάχιστον δύο δομικών μονάδων ή, αλλιώς, μονομερών, από την αντίδραση συμπύκνωσης. Ο μηχανισμός του είναι ίδιος με αυτόν της αντίδρασης συμπύκνωσης και η ένωση ανιόντων ΟΗ⁻ ή RO⁻ και H⁺ από τα άκρα των μονομερών οδηγούν στη δημιουργία και αποβολή ενός παραπροϊόντος (νερό ή αλκοόλη) και στον σχηματισμό ενός μεγαλύτερου μορίου. Ο πολυμερισμός συνεχίζεται με αυτόν τον τρόπο με την αντίδραση ενός μονομερούς με κάθε ένα από τα δύο άκρα του μεγαλύτερου μορίου δημιουργώντας έτσι την αλυσίδα του πολυμερούς. Η ανάπτυξη της αλυσίδας εξαρτάται από την ευκολία με την οποία μπορούν να διαχέονται τα μόρια των μονομερών και να
αντιδρούν με τα άκρα των αλυσίδων. Η ανάπτυξη σταματά όταν πια δεν φθάνουν στα άκρα των αλυσίδων νέα μονομερή [1,2].

Στη μέθοδο διάλυσης – ζελατινοποίησης, η αντίδραση του πολυμερισμού γίνεται μακροσκοπικά αντιληπτή από την εμφάνιση του πηκτώματος στο σημείο ζελατινοποίησης. Το πήκτωμα που δημιουργείται συνιστά ουσιαστικά ένα μεγαλομόριο που καταλαμβάνει τον αρχικό όγκο του διαλύματος και μπορεί να έχει διάφορες μορφές, μπορεί δηλαδή να είναι δισδιάστατο ή και τρισδιάστατο (π.χ. δίκτυο), ανάλογα με τις συνθήκες που επικρατούν. Ως σημείο ζελατινοποίησης (gelation time), ορίζεται ο χρόνος κατά τον οποίο δημιουργείται ο τελευταίος δεσμός που σχηματίζει το γιγαντιαίο μακρομόριο. Στην περίπτωση των αλάτων, η αύξηση της μοριακής αναλογίας H₂O/ άλας (r) οδηγεί σε αύξηση του χρόνου που απαιτείται για τον σχηματισμό του πηκτώματος.

Ο όρος γήρανση (aging) χρησιμοποιείται για τις μεταβολές στη δομή και τις ιδιότητες του πηκτώματος μετά το σημείο ζελατινοποίησης. Κατά τη γήρανση μπορεί να συνεχίζεται ο σχηματισμός δεσμών μεταξύ των μονομερών ή και των ολιγομερών και μπορεί να επέλθει αλλαγή φάσεων.

Η συρρίκνωση του πηκτώματος (gel) κατά την ξήρανση αρχικά και έπειτα κατά την έψησή του, οδηγεί στην καταστροφή του δικτύου του πολυμερούς και στην εξάτμιση της υγρής του φάσης μέσω των πόρων του.

Η κινητική της πυροσυσσωμάτωσης στα άμορφα πηκτώματα είναι πολύπλοκη λόγω των φαινομένων της αποβολής υδροξυλίων και της καταστροφής της δομής του που λαμβάνουν χώρα ταυτόχρονα. Τα φαινόμενα αυτά όμως οδηγούν και στην ολοκλήρωση της διαδικασίας πυροσυσσωμάτωσης σε χαμηλότερες θερμοκρασίες. Στα κρυσταλλικά πηκτώματα λαμβάνουν χώρα επιπλέον τα φαινόμενα της μεγέθυνσης των κρυσταλλιτών και του μετασχηματισμού των φάσεων των στοιχείων, γεγονός που καθιστά ακόμα πιο σύνθετη τη διαδικασία της πυροσυσσωμάτωσης. Τα περισσότερα gels είναι άμορφα μετά την ξήρανσή τους, αλλά όταν ψηθούν σε αρκετά υψηλές θερμοκρασίες, ώστε να προκληθεί πυροσυσσωμάτωση, μπορούν να κρυσταλλωθούν.

Τα χαρακτηριστικά και οι ιδιότητες των προϊόντων που παράγονται από την εφαρμογή της μεθόδου σχετίζονται με τις παραμέτρους που επηρεάζουν τις αντιδράσεις υδρόλυσης, συμπύκνωσης-πολυμερισμού. Οι παράμετροι αυτοί αφορούν τη συγκέντρωση του διαλύτη, το pH, τη θερμοκρασία στην οποία λαμβάνουν χώρα οι αντιδράσεις και το χρόνο αντίδρασης, τη φύση και τη συγκέντρωση του καταλύτη, την αναλογία H₂O/M (r), και τη θερμοκρασία έψησης. [1,2,3]

1.10 ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ ΣΧΗΜΑΤΩΣ ΚΕΡΑΜΙΚΩΝ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΩΝ

Οι τεχνικές μορφοποίησης των κεραμικών αντικειμένων είναι πολυάριθμες. Όλες οι τεχνικές μπορούν να διαιρεθούν σε τρεις κατηγορίες:

• Συμπίεση

- •. Υδροπλαστική ή πλαστική διαμόρφωση του σχήματος
- Χύτευση

Είναι επίσης δυνατό το σχήμα να διαμορφώνεται ταυτόχρονα με την πραγματοποίηση της έψησης των ωμών πρώτων υλών, οπότε μιλάμε για συμπίεση εν θερμό κ.τ.λ.

Τα κριτήρια με τα οποία επιλέγεται η σωστή τεχνική για τη διαμόρφωση του σχήματος είναι:

- Τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του σχήματος
- Η ρεολογία της σκόνης
- Το μέγεθος και η κατανομή μεγέθους των σωματιδίων
- Η χημεία της επιφανείας [11]

1.11 ΕΞΩΘΗΣΗ

Η ανάμιξη αποτελεί το πρώτο στάδιο κατά την παραγωγική διαδικασία της εξώθησης στο οποίο προστίθεται η κεραμική σκόνη με κατάλληλες ποσότητες προσθετικών (συνδέτες, διασπορείς) και νερό μέχρι να δημιουργηθεί πλαστική μάζα. Η ανάμιξη θα πραγματοποιηθεί σε αναμεικτήριο τύπου Z-BLADE (φωτογραφία 4).



Φωτογραφία 4: Αναμεικτήριο τύπου Z-BLADE.

Η εύπλαστη μάζα που δημιουργήθηκε κατά τη διαδικασία της ανάμιξης εισάγεται στον εξωθητή εμβόλιμης ροής (Φωτογραφία 5). Η μάζα εξωθείται σε κυλινδρικά δοκίμια μέσω αντίστοιχης μήτρας. [38]



Φωτογραφία 5: Εξωθητής εμβόλιμης ροής

Η διαδικασία της εξώθησης ανήκει στην κατηγορία της πλαστικής διαμόρφωσης σχήματος και χρησιμοποιείται για τη μορφοποίηση σωμάτων με σταθερή διατομή. Η εξώθηση χρησιμοποιείται για πολλά χρόνια με επιτυχία κυρίως στις βιομηχανίες της πορσελάνης και του καολίνη, για την παραγωγή τούβλων, κεραμιδιών και σωλήνων. Επίσης έχει αποδειχθεί πολύτιμη στη χημική βιομηχανία, καθώς καταλύτες και φορείς καταλυτών παρασκευάζονται με τη μέθοδο της εξώθησης. Πρόσφατα χρησιμοποιείται στη μορφοποίηση τεχνικών κεραμικών, όπως καρβιδίων και νιτριδίων του πυριτίου, για εξαρτήματα μηχανών Κ.α. Η ικανότητα εξώθησης ορισμένων αντικειμένων έχει επεκταθεί από απλές ράβδους και σωλήνες σε περίπλοκες διατομές, όπως φύλλα και υμένια. Μια γρήγορα αναπτυσσόμενη αγορά ανοίγεται με την εξώθηση κεραμικών μαζών για τη μικροηλεκτρονική βιομηχανία. Η μορφοποίηση με εξώθηση βρίσκει εφαρμογές και σε άλλα υλικά, όπως Π.χ. τρόφιμα, αγροτικά, χημικά και φαρμακευτικά προϊόντα.

Η διαδικασία της εξώθησης αφορά τη συμπίεση κεραμικής κόνεως με την προσθήκη ποσοστού υγρασίας μέσα από μία μήτρα. Όταν σχεδιάζεται μία τέτοια διαδικασία πολλοί παράγοντες πρέπει να ληφθούν υπόψη. Οι πιο σημαντικοί είναι:

Οι ιδιότητες της κόνεως

- Το είδος και η ρεολογία της υγρής φάσης
- Ο χρησιμοποιούμενος εξοπλισμός (τύπος εξωθητή) καθώς και η σχεδίαση της μήτρας. [11]
- •

1.12 ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΙ ΡΥΠΑΝΣΗΣ ΜΕΜΒΡΑΝΩΝ

Ο κύριος μηχανισμός κατά την υπερδιηθηση είναι το σούρωμα (sieving effect) όπου το προς διαχωρισμό διάλυμα διαβιβάζεται υπό πίεση διαμεσου της πορώδους μεμβράνης η οποία συγκρατει μηχανικά τα σωματίδια εκείνα τα οποία έχουν μεγαλύτερη διάμετρο από αυτή των πόρων της μεμβρανης,ενώ επιτρέπει τη διέλευση των μικρότερων μορίων και του διαλυτη. Αυτο όμως έχει σαν αποτέλεσμα την τάση της μείωσης της απόδοσης της μεμβράνης όσο αυτή χρησιμοποιείται αφού δημιουργείται ένα στρώμα πάνω στην επιφάνεια της μεμβράνης με αποτέλεσμα την παρεμπόδιση των επόμενων μορίων να περάσουν από την μεμβράνη(fouling effect). Εκτός όμως από το πορώδες της μεμβράνης σε σχέση με το μέγεθος των μορίων της διαλυμένης ουσίας και άλλοι παράγοντες συνδέονται με την τάση αυτή, όπως

- Συγκέντρωση της διαλυμένης ουσίας
- Ιδιότητες της επιφάνειας της μεμβράνης σε σχέση με τις ιδιότητες των μορίων της διαλυμένης ουσίας(υδρόφιλες/υδρόφοβες)
- Το μέγεθος της εφαρμοζόμενης πίεσης η η διαφορά της πίεσης εγκάρσια της μεμβράνης (κυμαίνεται από 0,5-5bar)

Αναλυτικότερα η τάση της μείωσης της απόδοσης της μεμβράνης παρατηρείτε είτε εξαιτίας του φαινόμενου της δημιουργίας πλακούντα(cake filtration),όπου όπως προαναφέραμε μετά το φράξιμο των πόρων δεν επιτρέπει τη διέλευση μορίων τα οποία θα περνούσαν αν δεν είχε σχηματιστεί πλακούντας, είτε εξαιτίας του φαινομένου της πόλωσης όπου τα συσσωρευμένα στερεά βρίσκονται σε εν διαλύσει κατάσταση και σε μεγάλη συγκέντρωση δημιουργώντας ένα στρώμα πάνω από την περιοχή της επιφάνειας της μεμβράνης. Το στρώμα αυξανόμενης συγκέντρωσης ονομάζεται οριακό στρώμα(boundary layer)και το στρώμα σταθερής μέγιστης συγκέντρωσης που λέγεται στρώμα πόλωσης(gel layer).Και στις δυο περιπτώσεις το στρώμα αυτό δημιουργεί μια επιπρόσθετη αντίσταση στη ροη διάμεσου της μεμβράνης αποτελώντας έτσι ανασταλτικό παράγοντα στη διεργασία.

Αξίζει να σημειωθεί ότι το φαινόμενο της πόλωσης είναι ένα αναντιστρεπτό φαινόμενο αφού τα συγκεντρωθέντα μόρια τα όποια συσσωρεύονται στην επιφάνεια της μεμβράνης υπό ορισμένες συνθήκες μπορεί είτε να περάσουν κάποια στιγμή από τη μεμβράνη είτε να απομακρυνθούν από την επιφάνεια της με αποτέλεσμα την ομαλή διέλευση των υπολοίπων μορίων μέσα από την μεμβράνη. Σε αντίθεση με την αντίστροφη όσμωση, στην υπερδιηθηση παραμένουν στην επιφάνεια της μεμβράνεια της μεμβράνης μόνο μεγαλομόρια και η αύξηση της οσμωτικής πίεσης είναι αμελητεα. Με αποτέλεσμα η κλίση της συγκέντρωσης του μερικώς η ολικώς εμποδισμένου συστατικού προωθείται από μεταφορά με διάχυση και συμμεταφορά του συστατικού σε δυο αντίθετες διευθύνσεις

- Προς τα πίσω στο υπόλειμμα(θεωρία του φιλμ-film theory)
- Εμπρός και εγκάρσια της μεμβράνης στο πέρασμα.

Ο κύριος μηχανισμός είναι η συμμεταφορα με δευτερεύοντες μηχανισμούς

- Την διάχυση (D)
- Και τη διασπορά(Ε), Διαφορές συγκέντρωσης που οφείλονται σε ρεύματα.

Ακόμα ένα φαινόμενο το όποιο συμβάλει στην τάση της μείωσης της απόδοσης της μεμβράνης είναι η προσροφηση, οπου μικρά σωματίδια περνούν από τους πόρους προσροφουνται και προσκολλούνται στο υλικό της μεμβράνης (αλληλεπίδραση).Η πρωτεΐνες συνήθως απορροφούνται αναντιστρεπτα στην επιφάνεια και στους πόρους της μεμβρανης. Αλλες δρώσες δυνάμεις είναι το χημικό και ηλεκτροχημικό δυναμικό.

1.12.1 ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΚΑΤΑ ΤΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΤΩΝ ΜΕΜΒΡΑΝΩΝ

- 1. Χαμηλή ροή
- 2. Ανεπαρκή επιλεκτικότητα διαπερατότητα (permselectivity)
- 3. Ανεπαρκής διάρκεια ζωής μεμβρανών
- 4. Μόλυνση μεμβράνης
- 5. Υψηλό κόστος εξοπλισμού ή λειτουργικές δαπάνες

Αυτοί οι περιορισμοί αποδίδονται στην έμφυτη δομή των μεμβρανών και τα χαρακτηριστικά ιδιοτήτων τους, στο μοντέλο σχεδίασης τους, ή στην εσφαλμένη διαχείριση των υγρών (fluid-management) - ή σε κάποιο συνδυασμό αυτών. Η διείσδυση της ροής, παραδείγματος χάριν, ελέγχεται από την εγγενή διαπερατότητα των μεμβρανών, από το πάχος των στοιβάδων όπου επηρεάζει τη συγκέντρωση, από το πορώδες και τη διανομή του μεγέθους των πόρων (ιδιαίτερα για τις μεμβράνες μικροδιήθησης και υπερδιήθησης), και από την ελαστικότητα του υλικού των μεμβρανών. Εξαρτάται επίσης από την πόλωση της ροής, και εξαρτάται προφανώς από τη διαθέσιμη περιοχή μεμβρανών ανά όγκο ενότητας μονάδων. [37]

2. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στην εργασία αυτή ερευνήθηκε η συμπεριφορά κεραμικών μεμβρανών αναφορικά με τη ροή, την διαπερατότητα, την κατακράτηση πρωτεϊνών και οργανικών ενώσεων καθώς επίσης γίνεται εκτίμηση του μοριακού cut off και των φαινομένων fouling. Η επιλογή των κεραμικών μεμβρανών που χρησιμοποιήθηκαν βασίζεται στα αποτελέσματα της διδακτορικής διατριβής με τίτλο «Πορώδη Κεραμικά για περιβαλλοντικές εφαρμογές» που εκπονείται από την κ. Άννα Κρητικάκη στο Τμήμα Μηχ.Περιβάλλοντος. Βάσει των αποτελεσμάτων της παραπάνω διατριβής που έχει ως στόχο τη μελέτη συνθηκών παρασκευής κεραμικών φίλτρων παρατηρήθηκε ότι οι ιδιότητες των φίλτρων ενισχύονται με τη χρήση νανοκόνεων. Η ενίσχυση αυτή είναι αποτέλεσμα διαφόρων παραμέτρων όπως η θερμοκρασίας έψησης, η ποσότητας των νανοκόνεων καθώς επίσης και ο τρόπος ανάμειξής τους Η εργασία έδειξε ότι με την προσθήκη ενός μικρού ποσοστού νανοκόνεων, επιτυγχάνεται αφενός αύξηση του τελικού πορώδους των συνθέσεων, ενώ παράλληλα αυξάνουν σημαντικά οι αντοχές.

Η πειραματική διαδικασία αποτελείται από δυο μέρη, πρώτον την χρονομέτρηση των διηθημάτων με συγκεκριμένη σειρά για την μέτρηση της ροής, και δεύτερον την μέτρηση του COD όλων των διαλυμάτων πριν και μετά την υπερδιήθηση για την τυχόν κατακράτηση του οργανικού φορτίου.

Ξεκινάμε με το πρώτο μέρος, την χρονομέτρηση. Εμείς γνωρίζουμε ότι η αρχή λειτουργιάς της συσκευής υπερδιηθησης είναι η διατήρηση μιας συγκεκριμένης πίεσης, την οποία εμείς επιλέγουμε, και που ασκείται πάνω στο διάλυμα με σκοπό να διαπεράσει την μεμβράνη που έχει τοποθετηθεί στη συσκευή. Η ενεργή επιφάνεια όμως της μεμβράνης και τα χαρακτηριστικά της έχουν σαν σκοπό την κατακράτηση των μακρομοριων, που τυχόν βρίσκονται στο διάλυμα, αφήνοντας το υπόλοιπο διάλυμα να εξέλθει αυτής. Με αυτά τα δεδομένα λοιπόν εμείς τοποθετούμε αρχικά στην συσκευή "ένα καθαρό από μακρομόρια διάλυμα" απιονισμένο νερό, καταγράφοντας έτσι τον ελάχιστο χρόνο που απαιτείται ώστε να εξέλθει ένα διάλυμα ορισμένης ποσότητας και υπό καθορισμένη πίεση, από την συσκευή. Έπειτα τοποθετούμε το διάλυμα που εξετάζουμε (πολυαιθυλενογληκόλης και καζεΐνης), και που το οποίο αποτελείται από μακρομόρια, ενώ πάλι χρονομετρούμε, μόνο που σε αυτή την περίπτωση ο χρόνος που απαιτείται για να εξέλθει το διάλυμα, ίδιας ποσότητας και υπό την ιδία πίεση, θα είναι σαφώς μεγαλύτερος από αυτόν του απιονισμενου νερού λόγο του φαινομένου της πόλωσης στην περίπτωση βεβαία που η ενεργή επιφάνεια και το πορώδες της μεμβράνης είναι ικανά να συγκρατήσουν τα μακρομόρια. Στην συνέχεια μετράμε το χρόνο που απαιτείται, να περάσει πάλι απιονισμένο νερό ίδιας ποσότητας και υπό την ιδία πίεση, μετά την υπερδιήθηση του διαλύματος, και αφού η μεμβράνη θα έχει πλέον ρυπανθεί λόγο της τυχόν προσκόλλησης η της κατακράτησης των μεγαλομορίων του διαλύματος, ο χρόνος αυτός θα είναι μεγαλύτερος από αυτόν του αρχικού νερού. Έτσι καταφέραμε να δημιουργήσουμε μια βάση δεδομένων από την οποία μπορούμε να διαπιστώσουμε καταρχήν, αν η μεμβράνη την οποία κάθε φορά χρησιμοποιούμε, κατακρατεί τα μακρομορια η μέρος αυτών της διηθούμενης ουσίας και κατά δεύτερον, αν αυτή η μεμβράνη ρυπαίνεται μετά την διεργασία.

Στο δεύτερο μέρος μετράμε το COD του κάθε διαλύματος χωριστά πριν και μετά την υπερδιήθηση. Έτσι γνωρίζουμε πλέον κατά ποσό έχει γίνει συγκράτηση των μακρομορίων των διαλυμάτων από την κάθε μεμβράνη που χρησιμοποιήσαμε. Με αυτά τα δεδομένα μπορούμε στη συνέχεια να χαρακτηρίσουμε τις μεμβράνες (υποστρώματα) που πειραματιστήκαμε και τον τρόπο λειτουργιάς αυτών, δημιουργώντας τα εξής διαγράμματα

- i. Διάγραμμα ροής-πίεσης
- ii. Διάγραμμα βαθμού συγκράτησης
- iii. Διάγραμμα ανάκτησης ροής

Ο χαρακτηρισμός των οποίων προκύπτει στο τέλος της εργασίας αφού συγκρίνουμε, σχολιάσουμε, και αναλύσουμε τα παραπάνω δεδομένα.

2.2 ΠΑΡΑΚΕΥΗ ΥΠΟΣΤΡΩΜΑΤΩΝ ΚΕΡΑΜΙΚΩΝ ΜΕΜΒΡΑΝΩΝ

Για τη παρασκευή των πορωδών υποστρωμάτων σαν πρώτη ύλη χρησιμοποιήθηκε πυρωμένη εμπορική σκόνη α-αλούμινας (A115-25, VAW-NABALTEC). Η σκόνη αυτή αναμιγνύεται με νανοκόνεις σε ποσοστό 2%-4%,6%,8% και 10% κ.β. επί της συμβατικής. Οι νανοκόνεις παρασκευάζονται με τη μέθοδο διάλυσης ζελατινοποίησης χρησιμοποιώντας ως πρόδρομο αντιδραστήριο ένυδρο άλας του νιτρικού αργιλίου. Η ανάμειξη των συστατικών πραγματοποιήθηκε με τέσσερις διαφορετικούς τρόπους εκ των οποίων παρουσιάζουμε τις παρακάτω δυο μεθόδους.

Η επίτευξη των επιθυμητών ιδιοτήτων (υψηλό πορώδες-μηχανικές αντοχές) οφείλεται στην ανάμειξη με νανοσωματίδια και είναι απόρροια δύο συνιστωσών. Έτσι, όταν πραγματοποιείται ανάμιξη της νανοσκόνης με τη εμπορική σκόνη, η ενίσχυση φαίνεται να είναι αποτέλεσμα της επικάλυψης των σωματιδίων της συμβατικής σκόνης από τα νανοσωματίδια. Η επικάλυψη ουσιαστικά σχηματίζει ένα ισχυρά προσκολλημένο υμένιο, γύρω από την εξωτερική επιφάνεια των σωματιδίων της συμβατικής κεραμικής κόνεως. Ακολούθως, κατά τη διεργασία της θερμικής κατεργασίας, τα νανοσωματίδια, πυροσυσσωματώνονται με τη συμβατική σκόνη σχηματίζοντας συνδετικές γέφυρες. Συνεπώς, τα πυροσυσσωματωμένα αντικείμενα αποκτούν πορώδη δομή η οποία δεν καθορίζεται πλέον από το μέγεθος της αρχικής σκόνης αλλά από τις συνδετικές γέφυρες μεταξύ των σωματιδίων των υμενίων, ενώ οι αντοχές ενισχύονται εξαιτίας αυτών των συνδετικών γεφυρών μεταξύ των σωματιδών της συμβατικής σκόνης. Η επιτυχία της μεθόδου έγκειται στην όσο πιο ομοιογενή κατανομή των διεσπαρμένων νανοσωματιδίων στην μητρική φάση με την απόσταση μεταξύ των νανοσωματιδίων να καθορίζεται από το πάχος του υμενίου. Έτσι, η μέθοδος ανάμιξης της συμβατικής κόνεως με τα νανοσωματίδια είναι καθοριστικής σημασίας γι αυτό και οι διαφορετικές μέθοδοι οδηγούν σε διαφορετικά αποτελέσματα.

2.2.1 ΑΠΛΗ ΑΝΑΜΕΙΞΗ ΣΥΜΒΑΤΙΚΗΣ ΚΑΙ ΝΑΝΟΚΟΝΕΩΝ (ΥΠΟΣΤΡΩΜΑ ΤΥΠΟΥ GEL)

Σύμφωνα με τη συγκεκριμένη μέθοδο πραγματοποιείται αρχικά ξηρή λειοτρίβηση της νανοσκόνης, η οποία σε αυτό το παράδειγμα είναι σκόνη γ-Al₂O₃ που παρασκευάσθηκε με τη μέθοδο διάλυσης-ζελατινοποίησης (sol-gel), σε πλανητικό μύλο για την εξάλειψη των συσσωματωμάτων. Στη συνέχεια η νανοσκόνη προστίθεται σε αναμεικτήριο τύπου Z-blade μαζί με συμβατική εμπορική σκόνη α-αλούμινας (A115-25 της εταιρείας VAW-Nabaltec) για την παραγωγή εύπλαστης μάζας με την κατάλληλη προσθήκη νερού διασπορέα και συνδέτη. Η μάζα αυτή μορφοποιείται με εξώθηση σε δισκία διαμέτρου 50 mm με τη χρήση εμβολικού εξωθητή τα οποία στη συνέχεια πυροσυσσωματώνονται ακολουθώντας την κατάλληλη θερμική κατεργασία. [3,6]

2.2.2 ΥΓΡΗ ΣΥΛΛΕΙΟΤΡΙΒΗΣΗ ΣΥΜΒΑΤΙΚΗΣ ΚΑΙ ΝΑΝΟΚΟΝΕΩΝ (ΥΠΟΣΤΡΩΜΑ ΤΥΠΟΥ ΒΜ)

Η ανάμειξη της συμβατικής σκόνης (α-αλούμινας A115-25 της VAW-Nabaltec) με την νανοσκόνη (γ-αλούμινα προερχόμενη από τη μέθοδο sol-gel) σε αυτή την περίπτωση γίνεται με υγρή συλλειοτρίβηση των δύο υλικών (η νανοσκόνη προστίθεται και εδώ σε ποσοστό 0-10% επί της εμπορικής σκόνης). Η επιλογή της μεθόδου αυτής στηρίζεται στην αναμενόμενη καλύτερη διασπορά της νανοφάσης στην σκόνη αλουμίνας. [3,6]

2.3 ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ ΚΕΡΑΜΙΚΟΥ ΕΠΙΣΤΡΩΜΑΤΟΣ

Όπως έχει αναφερθεί και στο θεωρητικό μέρος η κεραμική μεμβράνη αποτελείται από δύο βασικά μέρη το υπόστρωμα και το μικροπορώδες επίστρωμα. Η επιτυχία της κατασκευής του ανώτερου στρώματος εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τις ιδιότητες του αιωρήματος κεραμικών κόνεων που θα επιλεγεί το οποίο θα πρέπει να εξασφαλίζει καλή πρόσφυση με το υπόστρωμα, χωρίς να εισχωρεί και να φράζει τους πόρους του. Για την επίστρωση επιλέχθηκε η τεχνική της εμβάπτισης (dip-coating) σύμφωνα με την οποία το αιώρημα κεραμικής κόνεως εμβαπτίζεται σε υγρό μέσο για 30 sec και στησυνέχεια απομακρύνεται απότομα οπότε και σχηματίζεται η μεβράνη. Η διαδικασία μπορεί να επαναληφθεί αν απαιτείται μεγαλύτερο πάχος επίστρωσης. Στο σημείο αυτό πρέπει να σημειωθεί ότι η επιλογή του βέλτιστου αιωρήματος αποτελεί και το σημαντικότερο στάδιο της διαδικασίας. Τα ρεολογικά χαρακτηριστικά του αιωρήματος ρυθμίζονται από το pH, την προσθήκη συνδετών ή διασπορέων, την περιεκτικότητα σε στερεά κ.λ.π. Για παράδειγμα για να εναποτεθεί το απαραίτητο ποσοστό αλουμίνας σε μια απλή εφαρμογή, θα πρέπει η περιεκτικότητα σε στερεά να είναι υψηλή. Είναι απαραίτητος ο έλεγχος του ιξώδους του αιωρήματος κατά την διαδικασία εμποτισμού (wash-coating) ούτως ώστε να επιτευχθούν υψηλές φορτίσεις αλουμίνας, να επιτευχθεί ικανοποιητική πρόσφυση της αλουμίνας στο υπόστρωμα και να αποφευχθεί το φράξιμο των καναλιών του υποστρώματος []. Γενικά κατά τη διαδικασία του εμποτισμού σε κολλοειδή αιωρήματα, η ταχύτητα απορρόφησης του νερού από το υπόστρωμα είναι συνάρτηση του ιξώδους του αιωρήματος. Αν το ιξώδες είναι πολύ υψηλό (> 0,1 Pa • s), το σχηματιζόμενο στρώμα gel δεν έχει ομοιόμορφο πάχος από την βάση ως την κορυφή του υποστρώματος, ενώ αν το ιξώδες είναι πολύ μικρό (< 0,01 Pa • s), το αιώρημα περνάει μέσα από το υπόστρωμα. Μόνο μέσα σε μια κατάλληλη περιοχή ιξώδους μπορεί το αιώρημα να μετατραπεί σε στρώμα με ομοιόμορφο πάχος.Επιπλέον το αιώρημα πρέπει να μην έχει φυσσαλίδες να υφίσταται χαμηλή συρρίκνωση κατά την ξήρανση και να έχει σχετικά υψηλή αντοχή.

Πιο συγκεκριμένα για τη παρασκευή του αιωρήματος επιλέχθηκε ως πρώτη ύλη εμπορική κόνις γ-αλούμινας με μέσο μέγεθος κόκκων 0,5 μm (Sumitomo). Το βέλτιστο αιώρημα επιλέχθηκε βάσει μελέτης σταθεροποίησης και μετρήσεις ιξώδους και αποτελείται από 60% κ.β. στερεά και 40% νερό ενώ προστέθηκε και διασπορέας σε ποσοστό κ.β (Darvan C, Vanderbilt) για την αποφυγή δημιουργίας συσσωματωμάτων.Η εμβάπτιση ακολουθείαι από προσεκτική ξήρανση των μεμβρανών από 40-110°C με ρυθμό 0,2°C/min και η

έψηση πραγματοποιήθηκε σε κλίβανο υψηλών θερμοκρασιών (Nabertherm LHT/70) στους 600°C με ρυθμό 3°C/min.[3]

2.4 ΠΟΛΥΑΙΘΥΛΕΝΟΓΛΥΚΟΛΗ – POLYETHYLENE GLYCOL (PEG)

Η πολυαιθυλενογλυκόλη παρασκευάζεται από τον πολυμερισμό του οξειδίου αιθυλενίου και είναι εμπορικά διαθέσιμη σε ένα ευρύ φάσμα μοριακών βαρών από 300 γ/μορ. σε 10.000.000 γ/μορ. παράγεται από την αλληλεπίδραση του οξειδίου αιθυλενίου με νερό, γλυκόλης αιθυλενίου ή γλυκόλης αιθυλενίου πολυμερές με μικρή αλυσίδα, η αντίδραση καταλύεται από τους όξινους ή βασικούς καταλύτες Είναι ένωση εύκολα διαλυτή στο ύδωρ και στο μεθυλενοχλωρίδιο. Σχεδόν αδιάλυτη στην αλκοόλη ,στον αιθέρα και στα λιπαρά έλαια και ορυκτέλαια. Είναι σχετικά ακίνδυνη ουσία αφού δεν περιέχει κανένα ενεργό υλικό το οποίο θεωρείται επικίνδυνο, όπως καθορίζεται στον κανονισμό 29 CFR 1910.120. Δεν υπάρχουν σημαντικά εργαστηριακά δεδομένα που να υπονοούν οποιονδήποτε κίνδυνο για ανθρώπους. Η PEG είναι ένα μείγμα πολυμερών με γενικό τύπο (C2H4O)nH2O όπου n=αριθμός μονάδων αιθυλενοξειδίου. Το μοριακό της βάρος εξαρτάται από την τιμή του n ,έτσι για την πολυαιθυλενογλυκόλη π.χ.6.000 ο αριθμός μονάδων αιθυλενοξειδιου είναι περίπου 140

Н πολυαιθυλενογλυκόλη (PEG) έχει μια χαμηλή τοξικότητα και χρησιμοποιείται σε ποικίλα προϊόντα, βρίσκει πολλές εφαρμογές τόσο στη βιομηχανία όσο και στη φαρμακοβιομηχανία αφού η ιδιότητες της ποικίλουν ανάλογα με τη χρήση της. Στις φαρμακοβιομηχανίες χρησιμοποιείται ως συστατικό κάποιων φαρμάκων όπως το pegasys όπου είναι μια πεγκυλιωμένη ιντερφερόνη, που σημαίνει ότι το μόριο της ιντερφερόνης προστατεύεται από αλυσίδες πολυαιθυλενογλυκόλης. Επίσης η παρουσία της έχει ως αποτέλεσμα τη σημαντική μείωση της σπειραματικής διήθησης ώστε να ελαχιστοποιεί τη νεφρική κάθαρση. Βρίσκει χρήση ακόμα και στη παρασκευή καψουλών των φαρμάκων αφού προάγει τη σύντηξη μεμβρανών. Στη γαλακτοβιομηχανία επίσης χρησιμοποιείται ως γαλακτωματοποιητής όπως και στη βιομηχανία καλλυντικών. Η πολυαιθυλενογλυκόλη φαίνεται να

είναι ασφαλής και αποτελεσματική όταν χρησιμοποιείται για περισσότερους από έξι μήνες σε ασθενείς με χρόνια δυσκοιλιότητα, σύμφωνα με στοιχεία που δημοσιεύονται στο American Journal of Gastroenterology. Είναι η βάση διάφορων καθαρτικών πολλών κρεμών δερμάτων και σεξουαλικών λιπαντικών, που συνδυάζονται συχνά με τη γλυκερίνη Έχει αποδειχθεί ότι η γλυκόλη πολυαιθυλενίου μπορεί να βελτιώσει τη θεραπεία των νωτιαίων τραυματισμών στα σκυλιά χρησιμοποιείται σε διάφορες οδοντόπαστες απωθεί το νερό και βοηθά να κρατηθεί η οδοντόπαστα ομοιόμορφη σε όλη την οδοντόβουρτσα. Πρόκειται επίσης υπό έρευνα για να ελέγξει το διαβήτη

Μια ακόμα εφαρμογή της βρίσκει χώρα ως ρευστή σωματική θωράκιση όπου αναφέρεται σε ένα «αλεξίσφαιρο ύφασμα εμποτισμένο με κάποιο ρευστό το οποίο πήζει αυξανομένου του ρυθμού διάτμησης» πρόκειται δηλαδή για ουσία η οποία σκληραίνει προσωρινά σε χρόνο λιγότερο από ένα χιλιοστό του δευτερολέπτου μετά την κρούση.

Παρατηρούμε λοιπόν ότι οι χρήσεις της πολυαιθυλενογλυκόλης ποικίλουν και βρίσκουν χρήση σε πολλούς τομείς της βιομηχανίας. [20], [19], [21]

2.5 KAZEINH

Η καζεΐνη προέρχεται από την λατινική λέξη caseus που σημαίνει τυρί και είναι η πιο επικρατέστερη πρωτεΐνη φωσφόρου που βρίσκεται στο γάλα και στο τυρί. Η καζεΐνη δεν υφίσταται θρόμβωση από την θερμότητα. Κατακρημνίζεται από τα οξέα και από ένζυμα πυτιάς. Αποτελείται από μεγάλο σε αριθμό πεπτιδίων προλίνης τα οποία δεν αλληλεπιδρούν. Δεν υπάρχει επίσης καμία γέφυρα δισουλφιδίου. Κατά συνέπεια, έχει σχετικά λίγη δευτεροβάθμια δομή ή τριτοβάθμια δομή . Λόγω αυτού, δεν μπορεί να μετουσιώσει. Είναι σχετικά υδροφοβική, καθιστώντας την άσχημα διαλυτή στο ύδωρ. Το ισοηλεκτρικο σημείο της καζεΐνης είναι 4,6. Η εξαγνισμένη πρωτεΐνη είναι αδιάλυτη στο νερό. Ενώ είναι επίσης αδιάλυτη στα ουδέτερα διαλύματα άλατος, είναι εύκολα διασκορπίσιμη στα αδύναμα αλκάλια και στα διαλύματα άλατος.. Η καζεΐνη είναι μια πολύ καλή πρωτεΐνη με υψηλή βιολογική αξία και χρησιμοποιείται ευρύτατα από αθλητές και ασκούμενους όπως επίσης και από βρέφη και νήπια. Είναι η πρωτεΐνη που απαντάται συχνότερα στις παιδικές τροφές. Οι εντερικές διαταραχές και τα "φουσκώματα" δεν οφείλονται στην καζεΐνη αλλά στην λακτόζη, έναν υδατάνθρακα που βρίσκεται στο γάλα και μπορεί να προκαλέσει αυτά τα συμπτώματα σε μερίδα του πληθυσμού. Η καζεΐνη έχει επίσης και μια σειρά άλλων πλεονεκτημάτων όπως την αργή μεν, αλλά παρατεταμένη απορρόφησης, που την κάνει πλήρως εκμεταλλεύσιμη σε οποιαδήποτε στιγμή της ημέρας και την αναλογία των αμινοξέων τυροσίνη και τρυπτοφάνη σε βαθμό 5:1, που της δίνει διεγερτικές ιδιότητες [22]

2.5.1 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ

Εκτός από το να καταναλώνεται στο γάλα, η καζεΐνη χρησιμοποιείται στην κατασκευή των κολλών, στα ντοσιέ, σε προστατευτικά υφάσματα παλτών, στα πλαστικά (τέτοια όπως για τις λαβές μαχαιριών και τις βελόνες πλεξίματος), των υφάσματα, σε προσθετικές ουσίες τροφών και πολλών άλλων προϊόντων. Χρησιμοποιείται συνήθως από τους bodybuilders ως πηγή αργήςαφομοίωσης αμινοξέων σε αντιδιαστολή με την πρωτεΐνη ορρού γάλακτος γρήγορος-αφομοίωσης, και επίσης ως εξαιρετικά υψηλή πηγή γλουταμίνης . Η καζεΐνη βρίσκεται συχνά στα ειδάλλως μη γαλακτοκομικά υποκατάστατα τυριών για να βελτιώνει τη συνοχή, ειδικά όταν λειώνουν. [22]

Το γάλα είναι το μοναδικό τρόφιμο στη φύση που περιέχει την υψηλής σημασίας πρωτεΐνη, γνωστή ως καζεΐνη.

Τα πεπτίδια που προέρχονται από την καζεΐνη έχουν τις ακόλουθες ιδιότητες:

α. Ενισχύουν τη φυσική άμυνα του οργανισμού.

β. Ρυθμίζουν τη σωστή πίεση του αίματος.

γ. Βοηθούν στην αντιμετώπιση του στρες.

δ. Θα πρέπει να τονιστεί ότι τα πεπτίδια που προέρχονται από την καζεΐνη έχουν καταπραϋντικές ιδιότητες. [23] Οι καζεΐνες (CN) είναι φωσφοπρωτεΐνες. Βρίσκονται στο γάλα με τη μορφή μικυλλίων (καζεϊνικά μικύλλια), δηλαδή ως μια μάζα πυκνών πρωτεϊνικών κόκκων. Οι φωσφορικές ομάδες που είναι δεσμευμένες στα μόρια των καζεϊνών, δεσμεύουν το ασβέστιο (Ca⁺²) σχηματίζοντας ιονικούς δεσμούς. Ακολούθως εφόσον οι καζεΐνες φωσφορυλιωθούν, δημιουργούνται οι δεσμοί του ασβεστίου με τις φωσφορούχες ομάδες και αρχίζει ο πολυμερισμός των μορίων του μικυλλίου. Αυτή η δομή {καζεΐνη-PO₄-Ca⁺²-PO₄-καζεΐνη} είναι σημαντική για τον σχηματισμό των μικυλλίων. Η μορφή και η δομή του μικυλλίου της καζεΐνης δίνεται στο Σχήμα 1. [24]

Σχήμα 1 : Μορφή και δομή του μικυλλίου της καζεΐνης



2.5.2 ΟΡΟΣ ΓΑΛΑΚΤΟΣ (WHEY PROTEIN)

«Ορός γάλακτος (whey)» είναι το υδαρές τμήμα του γάλακτος που λαμβάνεται μετά τον τεμαχισμό του τυροπήγματος (ενζυμικού ή όξινου) κατά την τυροκόμηση ή κατά την παραγωγή καζεΐνης με τη χρήση οξέων, πυτιάς και (ή) φυσικοχημικών μεθόδων, σύμφωνα με τον κανονισμό 625/30-3-1978 της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Πιο αναλυτικά ορός γάλακτος, είναι το υγρό που απομένει από το γάλα κάθε θηλαστικού μετά την παρασκευή τυριού. Το τυρί φτιάχνεται από πηγμένο γάλα. Μετά την πήξη, το υγρό διαχωρίζεται από το τυρόπηγμα. Αυτό το υγρό ονομάζεται ορός γάλακτος και πειλαμβάνει περίπου 50% της λακτόζης του γάλακτος, καθώς επίσης και πρωτεΐνες, βιταμίνες και μεταλλικά στοιχεία. Οι πρωτεΐνες, συνήθως απομονώνονται και πωλούνται ως

ορός γάλακτος . Ο αποξηραμένος ορός γάλακτος ονομάζεται και σκόνη ορού γάλακτος. Ο ορός γάλακτος συλλέγεται ως παραπροϊόν της παρασκευής σκληρού, ημίσκληρου και μαλακού τυριού και η πυτιά καζεΐνης είναι γνωστή ως γλυκός ορός γάλακτος και το pH της κυμαίνεται από 5,9 ως 6,6. Η παραγωγή ανόργανης- οξικής- καθιζημένης καζεΐνης αποφέρει οξικό ορό γάλακτος με pH από 4,3 ως 4,6. Στην ελληνική βιβλιογραφία και στην ύπαιθρο χρησιμοποιούνται και οι ονομασίες τυρόγαλα, ορόγαλα, και σίρος. Η παραγωγή ορού γάλακτος ετησίως στη χώρα μας σήμερα υπερβαίνει τους 700.000 τόνους, σε παγκόσμια κλίμακα υπερβαίνει τους 120.000.000 τόνους και αυξάνεται συνεχώς. [25]

Ο ορός γάλακτος παρουσιάζει σημαντικά προβλήματα στην διαχείριση του σαν απόβλητο. Ένα από τα σημαντικότερα προβλήματα είναι ο μεγάλος βαθμός ρυπάνσεως του ορού γάλακτος και το υψηλό BOD5 (35.000 – 55.000 mg O2 / lt ορού γάλακτος), δηλαδή η ποσότητα σε mg οξυγόνου που χρειάζεται για την αποσύνθεση με βιολογική οξείδωση του οργανικού φορτίου που έχει ένα λίτρο ορού γάλακτος σε διάρκεια 5 μερών, γεγονός το οποίο κάνει την απόρριψη του σε λίμνες, ποτάμια και θάλασσες να αποτελεί μεγάλο οικολογικό πρόβλημα γιατί επιφέρει ασφυξία στα ψάρια τα οποία πεθαίνουν μαζικά.

Έχει θερμιδική αξία περίπου 220 -260 cal / g ορού γάλακτος. Οι πρωτεΐνες του ορού γάλακτος (whey protein) έχουν μεγαλύτερη θρεπτική αξία από την καζεΐνη του τυριού γιατί έχουν όλα τα απαραίτητα αμινοξέα και μάλιστα σε μεγαλύτερη αναλογία όπως η τρυπτοφάνη και η λυσίνη (8 Lys / 100 g πρωτεΐνης). [30]

Ο ορός γάλακτος κυκλοφορεί σαν συμπλήρωμα διατροφής τα τελευταία χρόνια. Η καλύτερη μέθοδος εξαγωγής του ορού γάλακτος από το γάλα είναι η μέθοδος της ανταλλαγής ιόντων (ION EXCHANGED). Με τη μέθοδο αυτή η πρωτεΐνη δε θερμαίνεται καθόλου, διατηρώντας έτσι ένα πολύ καλό προφίλ στα αμινοξέα που αποδίδει. Ο λόγος για τον οποίο οι περισσότερες εταιρίες λανσάρουν την πρωτεΐνη whey βασίζεται στα πλεονεκτήματα που έχει αυτός ο τύπος πρωτεΐνης.

54

Συγκεκριμένα

1. Έχει την υψηλότερη βιολογική αξία απ'όλα τα συμπληρώματα πρωτεΐνης, οπότε είναι και η πιο απορροφήσιμη.

2. Υπερέχει στα αμινοξέα διακλαδωτής αλυσίδας (BCAA) αφού περίπου το 25% των αμινοξέων που περιέχει είναι L-Leucine, L-Isoleucine, L-Valine. Τα BCAA αμινοξέα είναι τα πιο σημαντικά για την αποτροπή του καταβολισμού των μυών, που μπορεί να οφείλεται σε υπερκόπωση από έντονη άσκηση. Είναι ιδιαίτερα σημαντικά ιδιαίτερα σε περιόδους όπου ο αθλητής ακολουθεί κάποια δίαιτα και ο οργανισμός του έχει την τάση να διασπά μυϊκή πρωτεϊνη για να καλύψει τις ενεργειακές του ανάγκες.

3. Έχει χαμηλή περιεκτικότητα λακτόζης, και συνεπώς δεν προκαλεί εντερικές διαταραχές. Είναι επίσης ευκολοδιάλυτη και εύγεστη,

4. Έχει αντιοξειδωτικές ιδιότητες αφού αυξάνει τα επίπεδα γλουταθιόλης στον οργανισμό.

Η γλουταθιόλη σχηματίζεται από τα αμινοξέα Κυστεϊνη, γλυκίνη και γλυταμινικό οξύ, με πιο σημαντική την κυστεϊνη που στις πρωτεϊνες whey περιέχεται σε πολλαπλάσιες ποσότητες απ'ότι σε άλλες πρωτεϊνες. Άλλα χαρακτηριστικά που έχουν οι πρωτεϊνες ορού γάλακτος (whey) είναι ότι η κορύφωση των αμινοξέων είναι πολύ υψηλή και γίνεται γρήγορα. Αυτό είναι πλεονέκτημα στη φάση που ο οργανισμός είναι έτοιμος να κάνει μια γρήγορη απορρόφηση των αμινοξέων, και μειονέκτημα σε κάποια άλλη φάση, αφού δεν θα του δοθεί χρόνος για μια σταδιακή απορρόφηση. Μειονέκτημα θεωρείται η χαμηλή περιεκτικότητα στο αμινοξύ L-Glutamine. Πολλές εταιρίες έχουν προσθέσει L-Glutamine για να καλύψουν αυτήν την έλλειψη. . Σας θυμίζουμε ότι μια πρωτεϊνη ορρού γάλακτος έχει υψηλό γλουταμινικό οξύ και χαμηλή γλουταμίνη, οπότε η αναφορά στην ποσότητα που περιέχεται και στα δύο μαζί δεν διαφωτίζει ιδιαίτερα τον καταναλωτή, ο οποίος τελικά δε γνωρίζει την πραγματική ποσότητα της πρόσθετης L-Glutamine. Αν συγκρίνουμε μεμονωμένα τους διάφορους τύπους πρωτεϊνικών συμπληρώματων αναμφισβήτητα υπερτερεί η Whey protein. [30]

2.6 ΔΙΑΛΥΜΕΝΟ ΟΞΥΓΟΝΟ

Η παρουσία του διαλυμένου οξυγόνου (Dissolved Oxygen, DO) στο νερό είναι καθοριστική για τη διατήρηση τόσο της υδρόβιας ζωής όσο και της αισθητικής του νερού. Εξ αιτίας τούτου, σε κάθε μελέτη διαχείρισης της ποιότητας του νερού γίνεται προσπάθεια εκτίμησης της επίδρασης των διατιθέμενων αποβλήτων στο διαλυμένο οξυγόνο του νερού, με στόχο την εξασφάλιση ενός ελαχίστου επιπέδου συγκέντρωσης.

Το διαλυμένο οξυγόνο στο νερό προέρχεται κατά κύριο λόγο από το ατμοσφαιρικό οξυγόνο, το όποιον διαλύεται στην επιφανειακή στοιβάδα μέχρι του σημείου κορεσμού. Η μεταφορά του οξυγόνου σε όλη τη μάζα του νερού επιτυγχάνεται κύρια με τη φυσική ανάδευση του νερού αλλά και διάχυση. Εάν δεν υπήρχαν στο νερό πηγές κατανάλωσης του διαλυμένου οξυγόνου, η συγκέντρωση του στη κύρια μάζα του υλικού θα ήταν ίση με τη συγκέντρωση κορεσμού υπό την ατμοσφαιρική πίεση και τη θερμοκρασία του νερού και αυτή είναι η περίπτωση για τα πολύ καθαρά νερά. Όμως, η βιολογική διάσπαση των οργανικών φορτίων που λαμβάνει χώρα σε ρυπασμένα νερά γίνεται με κατανάλωση οξυγόνου που προκαλεί μείωση των συγκεντρώσεων DO στη κύρια μάζα του νερού. Το μέγεθος και ο ρυθμός της κατανάλωσης οξυγόνου που προκαλεί η διάθεση αποβλήτων σχετίζονται άμεσα με την παράμετρο BOD που μετράμε εργαστηριακά, σχετίζονται όμως και με τις παραμέτρους COD και TOC η μέτρηση των οποίων είναι ταχύτερη.

Σύμφωνα με τα παραπάνω τα επίπεδα DO στο νερό εξαρτώνται από τους ρυθμούς μεταφοράς οξυγόνου στο νερό από την ατμόσφαιρα και της βιομηχανικής κατανάλωσης οξυγόνου από την υδρόβια ζωή. Η μεταφορά οξυγόνου επηρεάζεται από την συγκέντρωση κορεσμού του DO(άρα από τη θερμοκρασία του νερού και την ατμοσφαιρική πίεση),καθώς και από τις συνθήκες κυκλοφορίας του νερού(στρωματωση κτλ.),ενώ η κατανάλωση οξυγόνου από τα οργανικά φορτία που διατίθενται στους αποδέκτες. [31]

56

2.7 ΟΡΓΑΝΙΚΕΣ ΟΥΣΙΕΣ

Οι οργανικές ουσίες στο φυσικό νερό και αστικά-οικιακά λύματα απαρτίζονται κατά κύριο λόγο από πρωτεΐνες, υδατάνθρακες και λιπίδια. Το φυσικό νερό περιέχει μικρές μόνο ποσότητες οργανικών που κατά τεκμήριο έχουν φυτική προέλευση. Στα δημοτικά λύματα περίπου το 75% των αιωρουμένων στερεών και τα 40% των διαλυμένων είναι οργανικά. Οι κύριες κατηγορίες των οργανικών υλών των λυμάτων είναι οι πρωτεΐνες (40-60%),οι υδατάνθρακες (25-50%) και τα έλαια και λύπη (10%). Η ουρία αποτελεί επίσης οργανικό συστατικό των λυμάτων αλλά διασπάται, δίνοντας αμμωνιακό άζωτο, τόσο γρήγορα ώστε μόνο σε πολύ νωπά λύματα μπορεί να βρεθεί. [31]

2.7.1 ΕΥΚΟΛΑ ΒΙΟΑΠΟΔΟΜΗΣΙΜΕΣ ΟΡΓΑΝΙΚΕΣ ΟΥΣΙΕΣ

Τα βιοαποδομήσιμα απόβλητα αποτελούν την πλειοψηφία των οικιακών απορριμμάτων φτάνοντας το 40-60%. Είναι όλα τα οργανικής προέλευσης απόβλητα. Σε αυτά ανήκουν τα υπολείμματα τροφών, τα πράσινα απόβλητα των κήπων (κλαδέματα, φύλλα, χορτάρι κ.λ.π.), οι στάχτες από τα τζάκια, φίλτρα καφέ, τσάγια κ.λ.π. Το 2002 υπολογίζεται ότι παράχθηκαν στην ΕΕ των 15 241 εκατομμύρια τόνοι οικιακών απορριμμάτων. Αν λάβουμε υπόψη μας τα παραπάνω ποσοστά, τότε καταλήγουμε ότι παράχθηκαν 96,4 με 144,6 εκατομμύρια τόνοι οργανικών αποβλήτων. [32]

Οι οργανικές ουσίες που βρίσκονται στα αστικά λύματα, καθώς και στα απόβλητα των περισσοτέρων βιομηχανιών βιοαποικοδομουνται γρήγορα από τους μικροοργανισμούς, παρουσία οξυγόνου, με αποτέλεσμα τη μείωση των επιπέδων του DO.

Η μετατροπή της οργανικής ύλης σε αέρια τελικά προϊόντα και σε βιομάζα είναι δυνατόν να γίνει υπό αερόβιες αναερόβιες η επαμφοτερίζουσες συνθήκες με τη δράση βακτηρίων που βρίσκονται μέσα στο υγρό. Οι βασικές βιολογικές αντιδράσεις που λαμβάνουν χώρα για την αερόβια μετατροπή της οργανικής ύλης είναι τριών ειδών

- Οξείδωση της οργανικής ύλης για τη παραγωγή ενέργειας που είναι απαραίτητη για τη διατήρηση της ζωής
- Χρήση της οργανικής ουσίας για τη σύνθεση νέας βιομάζας
- Ενδογενής αναπνοή με την οποία οι μικροοργανισμοί αυτοοξειδωνονται προκειμένου να παράγουν την απαραίτητη ενέργεια για αυτοσυντήρηση.

Για τον προσδιορισμό των απαιτήσεων σε οξυγόνο που συνεπάγεται η προσθήκη η η ύπαρξη ενός οργανικού φορτίου σε ένα αποδέκτη η και της ποσότητας του οργανικού φορτίου αυτού καθεαυτού, χρησιμοποιούνται ευρύτατα διάφοροι μέθοδοι που μετρούν τις ακόλουθες παραμέτρους

- Βιοχημικά Απαιτούμενο Οξυγόνο(Biochemical Oxygen Demand, BOD)
- Χημικά Απαιτούμενο Οξυγόνο(Chemical Oxygen Demand, COD)
- Ολικός Οργανικός Άνθρακας(Total Organic Carbon, TOC)
- Ολικά Απαιτούμενο Οξυγόνο(Total Oxygen Demand, TOD)

Η επιλογή της μεθόδου εξαρτάται από τη φύση του οργανικού φορτίου αλλά και από άλλες παραμέτρους, όπως τον αριθμό των δειγμάτων και τη ταχύτητα με την οποία απαιτούνται τα αποτελέσματα. [31]

2.7.2 ΧΗΜΙΚΑ ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΟ ΟΞΥΓΟΝΟ (COD)

Το COD εκφράζεται ως το ισοδύναμο Οξυγόνο που απαιτείται για την οξείδωση, σε έντονα οξειδωτικό περιβάλλον, της οργανικής ύλης στο δείγμα. Ο προσδιορισμός του COD γίνεται με χημική μέθοδο, είναι ακριβής και διαρκεί περίπου 3 ώρες.

Ο προσδιορισμός του COD μπορεί να γίνει με μακρό-μέθοδο και μικρόμέθοδο. Η μακρό-μέθοδος εκτελείται με συσκευή ανοικτού σωλήνα(σφαιρική φιάλη συνδεδεμένη με κάθετο ψυκτήρα) είναι κατάλληλη για εφαρμογή σε πολλές κατηγορίες αποβλήτων, όπου προτιμάται η χρήση μεγάλου όγκου δείγματος. Η μικρό-μέθοδος εκτελείται σε κλειστό σωλήνα, είναι πιο οικονομική από τη μακρό-μέθοδο (απαιτεί μικρότερες ποσότητες αντιδραστηρίων),προϋποθέτει όμως την ομογενοποίηση των δειγμάτων που περιέχουν αιωρούμενα στερεά.

Ο προσδιορισμός της περίσσειας των διχρωμικών μπορεί να γίνει είτε με ογκομέτρηση η με φωτομέτρηση. Στο εμπόριο κυκλοφορούν ειδικές συσκευές (CODmeter) που αποτελούνται από θερμαντικά σώματα, με ενσωματωμένες υποδοχές για την τοποθέτηση των σωλήνων και ακριβή ρύθμιση της θερμοκρασίας στους 150'C και του χρόνου χώνευσης σε δυο ώρες. Για απευθείας μέτρηση της περίσσειας των διχρωμικών, οι συσκευές αυτές μπορούν να συνδυαστούν με φωτόμετρο φίλτρων. Σκοπός του πειράματος είναι ο χαρακτηρισμός κεραμικών μεμβρανών τύπου sol και gel, μεμβράνες που κατασκευάστηκαν στα εργαστήρια του τμήματος των Μηχανικών Ορυκτών Πόρων υπό την επίβλεψη της Άννας Κρητικακης, με πρότυπα διαλύματα πολυαιθυλενογλυκολης και καζεινης.Για την επίτευξη αυτού του σκοπού εφαρμόσαμε την χημική μικρό-μέθοδο για το προσδιορισμό του COD. [31]

Σύμφωνα με την εγκύκλιο Α5/950/16.4.1.984 του ΥΥΠ & ΚΑ τα επεξεργασμένα λύματα δεν πρέπει να υπερβαίνουν συγκέντρωση σε χημικά απαιτούμενο οξυγόνο COD πάνω από 125 mg/L. [33]

2.8 ΟΙ ΣΥΣΚΕΥΕΣ ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΘΗΚΑΝ

i)Κελί Υπερδιήθησης(stirred cell)με αναδευτήρα



Stirred Cell 8000 Components

Κελί υπερδιηθησης

ii) Θερμαντικό σώμα της εταιρίας Hanna Instruments



HI 83980002:CODReactor

iii) Φωτόμετρο της εταιρίας Hanna τύπου C214για μέτρηση τουCOD (Multiparameter Bench Photometer)



Multiparameter Bench Photometer

Hanna C214

Τα αντιδραστήρια και πρότυπα διαλύματα που χρησιμοποιήθηκαν είναι

i)Πολυαιθυλενογλυκόλη PEG της εταιρίας Hanna με μοριακά βαροι 2.000,4.000,10.000.

ii)Αντιδραστήριο τύπου ΗΙ 93754B-25MR(COD medium range)



HI 93754B-25 COD reagents kit (MR)

iii)Καζεΐνη

iv)Απιονισμένο νερό

2.9 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ ΜΕ ΔΙΑΛΥΜΑ ΚΑΖΕΙΝΗΣ

Χρησιμοποιείθηκε ορός γάλακτος καθώς η σύστασή του προσεγγίζει τη σύσταση των αστικών λυμάτων. Αυτό συμβαίνει διότι τα συστατικά των αστικών λυμάτων εξαρτώνται από την ανθρώπινη διατροφή και το γάλα περιέχει τα περισσότερα από τα οργανικά που λαμβάνει ο άνθρωπος. Επομένως, είναι σαφές οως η επεξεργασία μιας ποσότητας ορού γάλακτος μπορεί να προσομοιάσει αρκετά καλά την επεξεργασία αποβλήτων. Αναλυτικότερα το θρεπτικό συμπύκνωμα που παρασκευάστηκε αποτελείται από:

100 ml ορού γάλακτος (αποτελεί την πηγή πρωτεινων)

2 γρ ζάχαρης (πηγή υδατάνθρακα)

1 ml οξικό οξύ (πηγή C που καταναλώνουν αναερόβιοι μικροοργανισμοί)

0,5 gr ουρία (πηγή N)

0,5gr όξινο/δισόξινο φωσφορικό κάλιο (πηγή φωσφορικών)

2.10 ΠΡΟΤΥΠΗ ΚΑΜΠΥΛΗ ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗΣ CASEIN (ΠΡΩΤΕΙΝΗ)

Για τον προσδιορισμό της συγκέντρωσης των διηθημάτων κατασκευάστηκε πρότυπη καμπύλη αναφοράς. Η πρωτείνη που ανιχνεύεται είναι η καζείνη. Μετρήθηκε η απορρόφηση διαλυμάτων γνωστής συγκέντρωσης καζείνης στα 280 nm με κυψελίδες χαλαζία. Επίσης μετράται η τιμή του COD του αρχικού διαλύματος. Στη συνέχεια ακολουθεί η διαδικασία της διήθησης στο stirred cell όπου υπολογίζεται για κάθε τιμή πίεσης η απορρόφηση των πρωτεϊνών καθώς επίσης και η τιμή του COD για τον έλεγχο κατακράτησης συνολικού οργανικού φορτίου.



Διάγραμμα 1: απορρόφηση - συγκέντρωση καζεΐνης

2.11 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ ΜΕ ΔΙΑΛΥΜΑ ΠΟΛΥΑΙΘΥΛΕΝΟΓΛΥΚΟΛΗΣ

Προκειμένου να εξάγουμε συμπεράσματα ως προς τον χαρακτηρισμό των κεραμικών μεμβρανών προχωράμε σε σειρά πειραμάτων με επιλεγμένα δείγματα πολυαιθυλενογλυκολης των 2000 4000 και 10000μ.β., σε κάθε μια από τις μεμβράνες. Τα διαλύματα που δημιουργήσαμε ήταν αναλογίας 5gr ουσίας σε 1lt απιονισμένου νερού. Σε πρώτη φάση λοιπόν εισάγουμε 100ml απιονισμένο νερό στο κελί υπερδιηθησης, αφού έχουμε τοποθετήσει τη μεμβράνη την οποία θέλουμε να χαρακτηρίσουμε και ασκούμε πίεση 0,5bar, και μετράμε το χρόνο που απαιτείτε για να περάσει το νερό από τη μεμβράνη. Έπειτα εισάγουμε 100ml διαλύματος στο κελί υπερδιηθησης στην ιδία πίεση για την ίδια μεμβράνη, και πάλι μετράμε το χρόνο που απαιτείτε για να περάσει το διάλυμα από την μεμβράνη, ενώ ταυτόχρονα συλλέγουμε δείγμα από το διηθούμενο διάλυμα σε πλαστικά φιαλίδια ώστε στη συνέχεια, και μετά από την κατάλληλη επεξεργασία, την οποία θα αναλύσουμε παρακάτω, να μετρηθεί το COD του διηθούμενου διαλύματος. Τέλος τοποθετούμε πάλι 100ml απιονισμενου νερού στο κελί υπερδιηθησης στην ίδια πάλι πίεση για την ίδια μεμβράνη και μετράμε το χρόνο. Η ίδια ακριβώς διαδικασία

επαναλαμβάνεται για όλες τις μεμβράνες, με όλα τα διαλύματα και σε όλες τις πιέσεις που προαναφέραμε. Όποτε συνολικά διηθήσαμε 400 δείγματα εκ των οποίων τα 100 ήταν διαλύματα τα οποία και συλλέγαμε όπως είπαμε σε φιαλίδια.

Για την μέτρηση του COD των διαλυμάτων ακλουθήσαμε την εξής διαδικασία

Από το κάθε (διηθούμενο) διάλυμα, (φιαλίδιο), παίρναμε 0,2ml και το προσθέταμε σε αντιδραστήριο τύπου HI 93754B-25MR(COD medium range). Αφού ρυθμίζαμε το θερμαντικό σώμα του COD-meter σε θερμοκρασία 150 °C τοποθετούσαμε τα αντιδραστήρια για 2 ώρες ώστε να υπάρχει χρόνος χώνευσης. Στην συνέχεια, και αφού είχε τελειώσει η διαδικασία της χώνευσης, τοποθετούσαμε то αντιδραστήριο στην φωτομετρική συσκευή (Multiparameter Bench Photometer) τύπου Hanna C214, η οποία μας έδινε και τα αποτελέσματα του COD.Για το τυφλό προσθέταμε αντίστοιχα 0.2 ml από το πρότυπο διάλυμα.

2.12 ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΤΑΞΗ



1ο Βήμα



Προσθήκη 0.2ml δ/τος

2οΒημα



Θέρμανση στους 150΄C

3οΒημα



Φωτομετρηση

2.13 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ-ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ

Σ'αυτό το κεφάλαιο θα δούμε θα αναλύσουμε και θα σχολιάσουμε τις μετρήσεις που πήραμε από την πειραματική διαδικασία με σκοπό να χαρακτηρίσουμε και να συγκρίνουμε τις διάφορες μεμβράνες πάνω στις οποίες εφαρμόσαμε το πείραμα. Θα εξετάσουμε την αποδοτικότητα τους, την αντοχή τους σε σχέση με την εφαρμοζόμενη πίεση και την τάση που έχουν για μείωση της αποδοτικότητα τους όσο αυτές χρησιμοποιούνται.

Όπως προαναφέραμε σε προηγούμενο κεφάλαιο η τάση της μείωσης της αποδοτικότητας των μεμβρανών παρατηρείτε εξαιτίας δυο φαινομένων

- Της πόλωσης
- Και του φαινόμενου της ρύπανσης(fouling effect)

Το φαινόμενο της πόλωσης είναι αντιστρεπτό, αυτό σημαίνει ότι η μεμβράνη παρουσιάζει κατά την πειραματική διαδικασία μια τάση μείωσης της αποδοτικότητας της, παρά ταύτα στη συνέχεια φαίνεται να επανέρχεται σχεδόν στην αρχική της κατασταση. Σε αντίθεση με το φαινόμενο του fouling effect όπου σ'αυτή την περίπτωση η μεμβράνη έχει πλέον ρυπανθεί και όσο περισσότερο χρησιμοποιείται τόσο μειώνεται η αποδοτικότητα της.

Συμφώνα λοιπόν με τις μετρήσεις που πήραμε κατά την πειραματική διαδικασία για κάθε μεμβράνη ξεχωριστά, και για κάθε διαλυμένη ουσία που διυλίσαμε, κατασκευάσαμε τρία είδη διαγραμμάτων

- Διάγραμμα ροής σε σχέση με την πίεση
- > Διάγραμμα ανάκτησης της ροής σε σχέση με την πίεση
- Διάγραμμα βαθμού συγκράτησης

Από τα διαγράμματα ροής-πίεσης θα βγάλουμε συμπεράσματα για την τάση της μείωσης της απόδοσης της κάθε μεμβράνης για κάθε ουσία ξεχωριστά. Έπειτα θα αναλύσουμε για ποιους λόγους συμβαίνει αυτό σε ορισμένες μεμβράνες-ουσίες ενώ σε άλλες όχι. Από τα διαγράμματα ανάκτησης της ροής θα διαπιστώσουμε ποιες μεμβράνες ανακτούν την ροη τους μετά και κατά την διάρκεια του πειράματος. Τα διαγράμματα του βαθμού συγκράτησης θα μας υποδείξουν για το ποιες και κατά πόσο οι μεμβράνες κατακρατουν η συγκρατούν τα μακρομορια των διαλυμάτων, ενώ τέλος από τα διαγράμματα του σημείου κοπής θα διαπιστώσουμε σε τι μοριακά βάρη των ουσιών οι μεμβράνες αποδίδουν τα μέγιστα.

Αρχικά θα εξετάσουμε και θα συζητήσουμε για το τι προκύπτει από τα διαγράμματα ροής-πίεσης και βαθμού συγκράτησης. Σύμφωνα με αυτά τα διαγράμματα, όπως είχαμε προαναφέρει, συγκρίνοντας τη ροη του νερού αρχικού με του διαλύματος και με αυτή του νερού τελικού, σε σχέση πάντα με την πίεση, θα βγάλουμε συμπεράσματα για το ποιες μεμβράνες και κατά πόσο παρουσίασαν φαινόμενα πόλωσης η ακόμα και ρύπανσης (fouling) κατά την διαδικασία της υπερδιηθησης. Αξίζει να σημειωθεί ότι, τα δείγματα τα οποία διηθούσαμε ήταν της τάξης των 100ml(μικρή ποσότητα) έτσι για πιέσεις άνω των 2bar η πιθανότητα μικρού πειραματικού λάθους κατά την χρονομέτρηση είναι μεγάλη, για το λόγο αυτό μικρές αποκλίσεις μεταξύ των γραφικών παραστάσεων αρχικού και τελικού νερού δεν θα τις λαμβάνουμε υπόψη.

2.14 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΡΟΗΣ-ΠΙΕΣΗΣ (ΕΠΕΞΗΓΗΜΑΤΙΚΑ ΣΧΟΛΙΑ)

Ξεκινάμε λοιπόν με τις μεμβράνες που διηθήσαμε το διάλυμα της πολυαιθυλενογλυκολης των 2000 μ.β. Παρατηρούμε ότι για αυτό το διάλυμα οι μεμβράνες μας δεν παρουσίασαν ούτε φαινόμενα ρύπανσης ούτε φαινόμενα πόλωσης στο σύνολο τους. Αυτό δηλώνει ότι οι μεμβράνες μας δεν κατάφεραν να συγκρατήσουν τα μακρομόρια, η μέρος αυτών,(με μοναδική εξαίρεση τις μεμβράνες ALSOL358SD και ALSG4BM οι οποίες φαίνεται να συγκρατούν ένα 10%, πολύ μικρό ποσοστό για να θεωρηθεί ικανοποιητικό), της πολυαιθυλενογλυκολης 2000 με αποτέλεσμα το διάλυμα να διαπερνά τις μεμβράνες, κατά την υπερδιηθηση, με μηδενικό βαθμό συγκράτησης.

Για την ίδια ουσία αλλά με μοριακό βάρος 4000,ειχαμε τα ίδια αποτελέσματα, δηλαδή η συγκράτηση των μορίων του διαλύματος, από τις μεμβράνες, ήταν πάλι μηδενική. Με αποτέλεσμα να μην έχουμε ούτε εδώ φαινόμενα πόλωσης η ρύπανσης.

Ο βαθμός συγκράτησης των μεμβρανών αποδείχτηκε μηδενικός και για την πολυαιθυλενογλυκολη με μοριακό βάρος 10000.Ουτε εδώ παρουσιάστηκαν φαινόμενα πόλωσης η ρύπανσης.

Παρατηρούμε λοιπόν ότι οι μεμβράνες όλων των τύπων που χρησιμοποιήσαμε λειτούργησαν "παθητικά" κατά την διεργασία της υπερδιηθησης για το διάλυμα της πολυαιθυλενογλυκολης 2000,4000 και 10000 μ.β.

Δεν συμβαίνει το ίδιο όμως με το διάλυμα της καζεΐνης, όπου εδώ παρατηρούμε τα εξής

Για τις μεμβράνες τύπου GEL-MIXING (ALSG2- ALSG4- ALSG6 και ALSG10) ισχύουν τα παρακάτω.

Μεμβράνη ALSG2: ως αναφορά την ροη του τελικού νερού εν σύγκριση με αυτή του αρχικού παρατηρούμε ότι το φαινόμενο της ρύπανσης, δημιουργεί μια πτώση στη ροη του τελικού νερού κατά 50% έως και στην πίεση των 1,5bar.Ενώ το φαινόμενο της πόλωσης στην πίεση του 1bar επίσης δημιουργεί μια πτώση της τάξης του 50% στη ροη του διαλύματος, που όμως ανακτάται στη συνέχεια μέχρι και το 80%.

Μεμβράνη ALSG4: η ροη του τελικού νερού είναι σχεδόν όμοια με αυτή του αρχικού, αυτό σημαίνει ότι δεν παρουσιάστηκαν φαινόμενα ρύπανσης της μεμβράνης. Εν τούτης η ροη του διαλύματος παρουσιάζει μια πτώση, από την πίεση των 1bar έως και τα 2,5bar,που φτάνει μέχρι το 50% του αρχικού νερού, το φαινόμενο πόλωσης λοιπόν για αυτή τη μεμβράνη είναι αισθητό ενώ όσο η πίεση αυξάνει τόσο μειώνεται η ροη, δηλαδή αυξάνει το φαινόμενο.

Μεμβράνη ALSG6: το διάγραμμα της ροής-πίεσης, ,μας δείχνει ότι η ροη του διαλύματος σε σχέση με την πίεση, είναι μεγαλύτερη από αυτή του αρχικού νερού, λανθασμένη ένδειξη λογω πειραματικού σφάλματος.

Μεμβρανη ALSG8:η μεμβρανη αυτή εσπασε στην πιεση των 1bar οποτε δεν την λαμβανουμε υποψην.

Μεμβράνη ALSG10: δεν παρατηρούμε διαφορές στη ροη των τριών διηθημάτων, τα φαινόμενα της πόλωσης και της ρύπανσης δημιουργούν μια πτώση της τάξης του10-15%,αρκετα μικρή για να τη λάβουμε υπόψη.

Για τις μεμβράνες τύπου BALL MILING MIXING (ALSG2BM-ALSG4BM-ALSG6BM-ALSG10BM) ισχύουν τα παρακάτω.

Μεμβράνη ALSG2BM: δεν παρουσιάζει φαινόμενα ρύπανσης ενώ κατά την υπερδιηθηση του διαλύματος της καζεΐνης παρατηρούμε ότι για την πίεση των 1bar το φαινόμενο της πόλωσης μειώνει τη ροη του διαλύματος κατά 50%.Στην συνεχεία όσο η πίεση αυξάνει η ροη του διαλύματος ανακτάται μέχρι και 85%.

Μεμβράνη ALSG4BM: παρατηρούμε ότι κατά την υπερδιηθηση του διαλύματος, στην πίεση των 2bar είχαμε μια σημαντική πτώση της ροής του διαλύματος της τάξης των 35%. Αυτο δηλώνει ότι το φαινόμενο της πόλωσης σε αυτή την πίεση γίνεται εντονότερο. Ως αναφορά την ρύπανση της μεμβράνης είναι και αυτή σε υψηλα επίπεδα της τάξης των 30-40%.

Μεμβράνη ALSG6BM: η ρύπανση δείχνει να είναι της τάξης του 20%,ενώ η ροη του διαλύματος κατά την υπερδιηθηση εμφανίζει μεγάλη πτώση, από εκείνης του αρχικού νερού, της τάξης των 50%. Αυτο συμβαίνει διότι παρεμβάλει στη ροη το φαινόμενο της πόλωσης σε όλες τις πιέσεις εκτός των 0,5bar..

Μεμβράνη ALSG10BM: οι ροές των αρχικού, τελικού νερού και διαλύματος έχουν σχεδόν τις ίδιες τιμές στις διάφορες πιέσεις. Φαινόμενα λοιπόν πόλωσης η ρύπανσης για αυτή την μεμβράνη δεν είχαμε.

2.15 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΑΝΑΚΤΗΣΗΣ ΡΟΗΣ (ΕΠΕΞΗΓΗΜΑΤΙΚΑ ΣΧΟΛΙΑ)

Το διάγραμμα ανάκτησης ροής μας δείχνει σε ποιο βαθμό ανακτάται η ροή με τη χρήση της μεμβράνης . Τα διαγράμματα ανάκτησης ροής είναι αρκετά ικανοποιητικά για τα διαλύματα της πολυαιθυλογλυκόλης. Για αυτά τις καζεΐνης τα αποτελέσματα μας δείχνουν μία απόδοση γύρω στο 80 - 90% ωστόσο δεν έχουν την ίδια αποτελεσματικότητα με τα διαλύματα της PEG. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι ενώ η καζεΐνη, ως πρωτεΐνη, παρουσιάζει υδροφοβικό χαρακτήρα σε αντίθεση με τον υδροφυλικο χαρακτήρα των μεμβρανών, με αποτέλεσμα τη δημιουργία κατάλληλων συνθηκών για το φαινόμενο της πόλωσης. Στην περίπτωση βεβαία αυτή η ροη ανακτάται αφού όπως έχει προαναφερθεί το φαινόμενο της πόλωσης είναι αντιστρεπτό, σε αντίθεση με την τάση της μείωσης της ροής λογω του φαινομένου της ρύπανσης όπου εδώ η ροη όχι μόνο δεν ανακτάται αλλά μειώνεται όσο η μεμβράνη χρησιμοποιείται.

Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι το παρακάτω διάγραμμα, όπου φαίνεται η διαφορά ανάμεσα στην απόδοση της μεμβράνης της καζεΐνης αφού καθώς αυξάνεται η πίεση η ανάκτηση ροής φθίνει, σε αντίθεση με τις μεμβράνες της PEG όπου η ανάκτηση ροής μοιάζει με ευθεία που κυμαίνεται ανάμεσα στο 100% της ανάκτησης.

Διάγραμμα 2



Παρατηρουμε ότι για τα διαλυματα της πολυαιθυλενογλυκολης η ανακτηση ροης σε σχεση με την πιεση είναι σε ολες τις περιπτωσεις 100%,ενώ για το διαλυμα της καζεινης παρατηρουμε μια πτωση της ανακτησης οσο αυξανει η πιεση και φτανει εως και το 80% στην πιεση των 2,5bar.

2.16 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΒΑΘΜΟΥ ΣΥΓΚΡΑΤΗΣΗΣ (ΕΠΕΞΗΓΗΜΑΤΙΚΑ ΣΧΟΛΙΑ)

Η καμπύλη cut-off είναι η απεικόνιση του βαθμού συγκράτησης σε συνάρτηση με τον λογάριθμο του μοριακού βάρους. Για τις μετρήσεις μας η καμπύλη είναι ευρεία και για τον λόγω αυτό χρησιμοποιούμε τον όρο diffuse cut-off. Θεωρούμε ότι οι μεμβράνες κατακρατούν κατά 60% τα μακρομορια του διαλύματος που τις διαπερνά έτσι ώστε να βρούμε το σημείο κοπής της κάθε μεμβράνης.

Συντελεστής συγκράτησης %










Πίνακας 1:Τα αποτελέσματα του μοριακού βάρους στο οποίο έχουμε 60% συγκράτηση φαίνονται στον παρακάτω πίνακα

Μεμβράνη	Πειραματικό cut-off	Ονομαστικό cut-off	
ALSG2	15848,93192	20.000	
ALSG4	14454,39771	10.000	
ALSG6	15135,61248	20.000	
ALSG8	14125,37545	10.000	
ALSG10	13803,84265	10.000	
ALSG2BM	14454,39771	10.000	
ALSG4BM	14125,37545	10.000	
ALSG6BM	15135,61248	20.000	
ALSG10BM	13489,62883	10.000	

Αφού παρατηρήσαμε και σχολιάσαμε τον τρόπο λειτουργιάς και το ποσοστό ρύπανσης των μεμβρανών, τοποθετούμαστε στο κατά πόσο μας ικανοποιεί ο

βαθμός συγκράτησης τους. Σύμφωνα λοιπόν και με το διάγραμμα παρατηρούμε ότι ο βαθμός συγκράτησης είναι ικανοποιητικός μόνο για ουσίες των οποίων το μοριακό βάρος είναι μεγαλύτερο των 10.000. Έτσι για κανένα από τα διαλύματα της πολυαιθυλενογλυκολης δεν είχαμε κάποια συγκράτηση, εν αντιθέσει με αυτών της καζεΐνης, της οποίας το μοριακό βάρος ξεπερνά τις 18.000,και είχαμε συγκράτηση έως και 70%.

Για τις μεμβράνες τύπου BALL MILLING MIXING ο βαθμός συγκράτησης για τις ALSG2BM και ALSG4BM είναι στο 70%,η μεμβράνη ALSG6BM στο 65% ενώ η μεμβράνη ALSG10BM παρουσιάζει το μικρότερο βαθμό συγκράτησης που κυμαίνεται στο 57% περίπου.

Τέλος για τις μεμβράνες τύπου GEL MIXING, η ALSG4 παρουσιάζει τον υψηλότερο βαθμό συγκράτησης που φτάνει το 70% ενώ η ALSG10 TO 65%.Οι μεμβράνες ALSG2 και ALSG6 συγκρατούν το 60% τις διηθούμενης ουσίας, (καζεΐνης) ,ενώ η μεμβράνη ALSG8 παρουσιάζει το μικρότερο βαθμό συγκράτησης που βρίσκεται περίπου στο 55%.

Για την αντοχή των μεμβρανών δεν έχουμε κάτι να αναφέρουμε αφού, όπως περιμέναμε για τις πιέσεις μέχρι και 2,5bar, που εφαρμόσαμε πάνω τους, δεν είχαμε ενδείξεις φθοράς η ρήξης, πλην των μεμβρανών ALSG8 και ALSG8BM.

3. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Συνοψίζοντας και συναθροίζοντας όλα τα παραπάνω αποτελέσματα, είμαστε σε θέση να συγκρίνουμε και να τοποθετηθούμε στο ποιες μεμβράνες έχουν την καλύτερη δυνατόν συμπεριφορά-απόδοση. Και εφόσον έχουμε καταλήξει στο γεγονός ότι οι μεμβράνες μας δεν συγκρατούν τα μακρομορια από ουσίες με μοριακό βάρος μικρότερο των 10.000, θα εξετάσουμε τι συμβαίνει με τα διαλύματα της καζεΐνης.

ΜΕΜΒΡΑΝΕΣ	ΠΟΛΩΣΗ	ΡΥΠΑΝΣΗ	ΑΝΑΚΤΗΣΗ	ΣΥΓΚΡΑΤΗΣΗ	ANTOXH
ALSG2	30%	35%	60%	62%	КАЛН
ALSG4	20%	0%	97%	70%	КАЛН
ALSG6	0%	0%	85%	62%	КАЛН
ALSG8	10%	0%	80%	56%	КАЛН
ALSG10	10%	10%	78%	66%	КАЛН
ALSG2BM	25%	25%	78%	70%	КАЛН
ALSG4BM	15%	20%	78%	70%	КАЛН
ALSG6BM	45%	15%	70%	65%	КАЛН
ALSG8BM	-	-	-	-	ΕΣΠΑΣΕ
ALSG10BM	0%	0%	90%	57%	KAAH

Πίνακας 2: Συγκριτικά αποτελέσματα για την βέλτιστη πίεση (1.5 bar) για διάλυμα καζεΐνης

Συμφώνα λοιπόν με τον παραπάνω πινάκα παρατηρούμε ότι η συγκράτηση για όλες τις μεμβράνες είναι αρκετά ικανοποιητική ξεκινώντας από 55% φτάνοντας μέχρι και το 70% για κάποιες από αυτές.

Πιο αναλυτικά και αν θέλαμε να τις κατηγοριοποιήσουμε συμφώνα με τα παραπάνω χαρακτηριστικά, θα ονομάζαμε ως καλύτερη μεμβράνη την ALSG4 (τύπου GEL MIXING) με 70% συγκράτηση, 97% ανάκτηση της ροής και 0% ρύπανση. Ακλουθούν οι ALSG10- ALSG6- ALSG4BM-ALSG2BM-ALSG6BM-ALSG8-ALSG10BM-ALSG2 και τέλος την ALSG8BM η οποία έσπασε κατά την πειραματική διαδικασία όποτε δεν αξιολογείται.

Τα αποτελέσματα μας είναι αρκετά ικανοποιητικά συγκρινόμενα με μια έρευνα που έγινε για τον διαχωρισμό καζεΐνης και ορού γάλακτος με μικροδιήθηση εφαπτομενικής τροφοδοσίας (cross-flow) του αποβουτυρωμένου γάλακτος. Αυτή η έρευνα έγινε από το Εθνικό ερευνητικό γαλακτοκομικό ινστιτούτο της Ινδίας και το ομοσπονδιακό γαλακτοκομικό κέντρο της Γερμανίας και παρατίθεται παρακάτω.

Η μικροδιήθηση του αποβουτυρωμένου γάλακτος με 0,1 μm κεραμικών μεμβρανών υιοθετήθηκε για το χωρισμό εγγενών κολλοειδών σωματιδίων καζεΐνης από τον ορό πρωτεϊνών του αποβουτυρωμένου γάλακτος. Η συμπύκνωση είχε μια περιεκτικότητα σε συνολική πρωτεΐνη πάνω από 87% και καζεΐνη στην αναλογία συνολικής πρωτεΐνης 0,96. Όταν αρχίζοντας από ένα χαμηλό αρχικό ποσοστό ροής 62 L/m2/h, μια αναλογία συγκέντρωσης όγκου 3,5 επιτεύχθηκε με μια πτώση ροής μόνο 5% ενώ η πίεση της μεμβράνης αυξήθηκε από 0,73 σε 1,1 bar προς το τέλος της συγκέντρωσης. Υπό αυτούς τους όρους θα μπορούσε να επιτευχθεί πρωτεϊνική αφαίρεση ορρού γάλακτος κοντά στο 79%. Τα υψηλά ποσοστά ροής κατά τη διάρκεια της μικροδιήθησης οδήγησαν σε γρήγορη μόλυνση της μεμβράνης προκαλώντας της υψηλές πτώσεις ροής, αυξανόμενη πίεση και υψηλότερη κατακράτηση των πρωτεϊνών ορρού γάλακτος. Για να επιτευχθεί υψηλότερος διαχωρισμός των πρωτεϊνών ορρού γάλακτος, πρέπει να υπάρξει μια σταθερή ροή και το διαπερατό ποσοστό ροής στην έναρξη της μικροδιήθησης πρέπει να κρατηθεί χαμηλά [40].

Συμφώνα με τα παραπάνω λοιπόν, μπορούμε με βεβαιότητα να ισχυριστούμε την αποτελεσματικότητα των μεμβρανών, τύπου απλής ανάμιξης κονεων (SG), κυρίως για τις μεμβράνες με υπόστρωμα ενισχυμένο με νανοκονεις κατά 4% κ.β. επί της συμβατικης. Μεμβρανες που μπορούν να ανταγωνιστούν τις κεραμικές μεμβράνες της αγοράς.

Συνοψίζοντας, είναι προφανές ότι, παρόλο που έχει επιτευχθεί ένα στάδιο πραγματικής ωριμότητας και έχουν παραχθεί πολλές χρήσιμες εφαρμογές διαδικασίας στη χημική βιομηχανία, η επιστήμη και η τεχνολογία των μεμβρανών παραμένουν ένας καρποφόρος και συναρπαστικός τομέας για την έρευνα, με την υπόσχεση της προσφοράς πολλών νέων λύσεων στα κρίσιμα προβλήματα του διαχωρισμού και της χημικής σύνθεσης που αντιμετωπίζουν τα χημικά, βιολογικά, τρόφιμα, οι βιομηχανίες μεταλλουργικής και επεξεργασίας αποβλήτων.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] C. Jeffrey Brinker, George W. Scherer: "Sol Gel Science: The Physics and Chemistry of Sol – Gel Processing". (Academic Press, Inc.: New York, 1990).
- [2] Τσιουτσιουλικλή Ευδοκία: Μελέτη σύνθεσης νανοκόνεων Al₂O₃ και TiO₂ με τη χημική μέθοδο της διάλυσης-ζελατινοποίησης / ", Μεταπτυχιακή εργασία,. Πολυτεχνείο Κρήτης, Τμήμα Μηχανικών Περιβάλλοντος, Χανιά, 2004.
- [3] Κρητικάκη Άννα: "Πορώδη κεραμικά για περιβαλλοντικές εφαρμογές", Διδακτορική διατριβή Πολυτεχνείο Κρήτης, Διατμηματικό πρόγραμμα σπουδών Έλεγχος Ποιότητας και Διαχείριση Περιβάλλοντος, Χανιά, 2008-
- [4] A. Tsetsekou, A. Kritikaki, E.Tsioutsioulikli: (Invited) Nanoalumina Sol-Gel Synthesis and Application for Strengthening Porous Ceramics.
 10th International Conference and exhibition of the European Ceramic Society, June 17 - 21, 2007, Berlin
- [5] Α.Κρητικάκη, Α.Τσετσέκου Η.Παπούλιας C.Hille: Επίδραση της χρήσης νανοκόνεων στην ανάπτυξη κεραμικών φίλτρων ελεγχόμενης πορώδους δομής, 4° Πανελλήνιο Συνέδριο Ελληνικής Κεραμικής εταιρείας, Αθήνα .9-10 Δεκέμβρίου 2005.
- [6] Α Κρητικάκη, Α Τσετσέκου: Ένισχυμένα πορώδη κεραμικά φίλτρα, Κατάθεση διπλώματος ευρεσιτεχνίας στον ΟΒΙ Αρ.20070100159. Μάρτιος 2007.
- [7] Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας, ημερίδα με θέμα "Εφαρμογή των διεργασιών διαχωρισμού με μεμβράνες στην επεξεργασία νερού, υγρών αποβλήτων και βιομηχανικών προϊόντων" http://www.bep.gr/index.php?option=com_content&task=view&id=871& Itemid=192
- [8] Β. Γκέκας , Σπ. Πρωιμάκη "Φυσικοχημικές διεργασίες διαχωρισμού"
- [9] Ο.Τζωράκη "Διαχωρισμός και ανάκτηση φαινολικών ενώσεων στον κατσίγαρο. Χανιά 2008
- [10] Β.Γκέκας, Ν. Φραντζεσκάκη, Ε.Κατσίβελα, "Τεχνολογίες Επεξεργασίας Τοξικών και Επικίνδυνων Αποβλήτων" Θεσσαλονίκη 2002
- [11] Ι. Λέων- "Μελέτη των συνθηκών παρασκευής κεραμικών φίλτρων"Αθήνα Οκτώβριος 1998
- [12] Α. Τσετσέκου "Κεραμικά" Χανιά 2005

- [13] Α. Οικονομάκου "Κεραμικά για καταλύτες" Αθήνα 2001
- [14] http://www.ngkfiltech.com
- [15] http://www.ceperation.com/applications.htm
- [16] "Application of membrane technology for the recovery and reuse of water", www.gewater.com
- [17] www.informaworld.com/smpp/content~content=a758612193~db=al
- [18] http://www.lenntech.com/ceramic-membranes.htm
- [19] "New Defined Molecular WeightPolyethylene Glycol (PEG) containing Reagents" http://www.piercenet.com/
- [20] http://en.wikipedia.org/wiki/Polyethylene_glycol
- [21] "Τα σημαντικά της ζωής" *http://a12sr.pblogs.gr/2007/08/96015.html*
- [22] http://en.wikipedia.org/wiki/Casein
- [23] http://www.incardiology.gr/odigies/galaktokomika.htm
- [24] http://www.foodtoday.gr/articlesFolder/articles2006/milkcasein/casein
- [25] http://www.food-info.net/gr/qa/qa-wi24.htm
- [26] Angelakis, A.N., K.P. Tsagarakis, N.V. Paranychianakis, and T. Asano. (2002). Water Recycling in Mediterranean Region. In: Proc. of IWA-Regional Symposium on Water Recycling in Mediterranean Region. Iraklion, Greece, 26-29 September 2002, 1, pp. xi, 696
- [27] World Bank (1996). From Scarcity to Security. Averting a Water Crisis in the Middle East and North Africa
- [28] Wiessner, M. and Chellan, S. (1999). The promise of membrane technology. Env. Sci. Tech., 33(12): 360-366
- [29] GE WATER TECHNOLOGY, "Application of Membrane Technology for the Recovery and Reuse of Water", *www.gewater.com*

- [30] http://en.wikipedia.org/wiki/Whey_protein
- [31] Α. Οικονομόπουλος " Έλεγχος Ρύπανσης Νερών" πρόχειρες πανεπιστημιακές σημειώσεις - Κρήτη 2001
- [32] Οικολογική Εταιρεία Ανακύκλωσης "Βιοαποικοδομήσιμα Οργανικά Απόβλητα" http://ecorec.gr/index.php?option=com_content&task=view&id=145&Ite mid=29
- [33] Εφημερίς της Κυβερνήσεως της Ελληνικής Δημοκρατίας "Καθαρισμός Αποδέκτη και Ειδικών Όρων Διαθέσεων των Λυμάτων Μετά από Επεξεργασία με Βιολογικό Καθαρισμό" - Ιούλιος 2006
- [34] http://www.corning.com/enviromentaltechnologies
- [35] Dr. N Rajapogalan, "Evaluation of Ceramic Microfiltration Membranes in drinking water treatment" University of Illinois,2001
- [36] H.C. Van Der Host* and J.H. Hanemajear, "Cross-Flow Microfiltration in the Food Industry.State of the Art" NIZO (Netherlands Institute for Dairy Research), P.O. Box 20.6710 BA Ede and TNO-Division of Technology for Society, P.O. Box 108,37&I AC Zeist (The Netherlands)
- [37] Alan S. Michaels "Membranes, Membrane Processes, and their Applications: Needs, Unsolved Problems, and Challenges of the 1990's" Department of Chemical Engineering, North Carolina State University, Raleigh,North Carolina (USA)
- [38] Άννα Ι Κρητικάκη «Εργαστηριακές ασκήσεις στα πλαίσια του μαθήματος Κεραμικών» Χανιά 2007
- [39] Anti Heino "Opportunities and Challenges for Microfiltration in Dairy Process" London 2006

[40] Sachdeva, S. Buchheim, W. "Separation of native casein and whey proteins during crossflow microfiltration of skim milk" ^a Division of Dairy Technology, National Dairy Research Institute, Karnal-132001, (Haryana), India
^b Institute for Process Engineering, Federal Dairy Research Centre, PO

Box 6069, 24121 Kiel, German

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α





Παρατηρούμε μια σχετικά αρμονική ροη του τελικού νερού σε σχέση με το αρχικό, παρ'ολ'αυτά στην πίεση των 1,5bar βλέπουμε μια μικρή πτώση της ροής, που στη συνέχεια επανέρχεται, που μεταφράζεται ενδεχομένως με τη πιθανότητα της εμφάνισης του φαινομένου της πόλωσης(σε πολύ μικρό βαθμό).

Διάγραμμα 2:



Παρατηρούμε μια αρμονική ροη του τελικού νερού σε σχέση με το αρχικό, οπότε δεν έχουμε φαινόμενα fouling,παρ'ολ'αυτά βλέπουμε μια πτώση της ροής του διαλύματος στις πιέσεις απο1bar έως 2 bar,ενώ στη συνέχεια ανακτάται. Αυτό εξηγείτε με την εμφάνιση του φαινομένου της πόλωσης.

Διάγραμμα 3:



Σ'αυτό το διάγραμμα δεν παρατηρούμε ούτε φαινόμενα fouling αλλά ούτε και φαινόμενα πόλωσης.

Διάγραμμα 4:



Διάγραμμα 5:



Σ'αυτό το διάγραμμα δεν παρατηρούμε ούτε φαινόμενα fouling αλλά ούτε και φαινόμενα πόλωσης.

Διάγραμμα 6:



Διάγραμμα 7:



Σ'αυτό το διάγραμμα δεν παρατηρούμε ούτε φαινόμενα fouling αλλά ούτε και φαινόμενα πόλωσης.(Στην πίεση των 2-2,5bar παρατηρούμε μια αύξηση της ροής του διαλύματος, υψηλότερη μάλιστα από αυτής του αρχικού νερού, πράγμα άτοπο οπότε πρόκειται για πειραματικό σφάλμα.



Διάγραμμα 8:

Διάγραμμα 9:



Σ'αυτό το διάγραμμα δεν παρατηρούμε ούτε φαινόμενα fouling αλλά ούτε και φαινόμενα πόλωσης.

Διάγραμμα 10:



Παρατηρούμε μια σχετικά αρμονική ροη του τελικού νερού σε σχέση με το αρχικό, παρ'ολ'αυτά στην πίεση των 1,5bar βλέπουμε μια μικρή πτώση της ροής, που στη συνέχεια επανέρχεται, που μεταφράζεται ενδεχομένως με τη πιθανότητα της εμφάνισης του φαινομένου της πόλωσης(σε πολύ μικρό βαθμό)

Διάγραμμα 11:



Σ'αυτό το διάγραμμα δεν παρατηρούμε ούτε φαινόμενα fouling αλλά ούτε και φαινόμενα πόλωσης .Μετά τα 2bar όπως προείπαμε η πιθανότητα πειραματικού σφάλματος είναι μεγάλη εξου και η απότομη κλίση του διαλύματος που θα μπορούσε να οφείλεται στο φαινόμενο της πόλωσης.



Διάγραμμα 12:

Διάγραμμα 13:



Σ'αυτό το διάγραμμα δεν παρατηρούμε ούτε φαινόμενα fouling αλλά ούτε και φαινόμενα πόλωσης

Διάγραμμα 14:



Διάγραμμα 15:



Σ'αυτό το διάγραμμα δεν παρατηρούμε ούτε φαινόμενα fouling αλλά ούτε και φαινόμενα πόλωσης

Διάγραμμα 16:



Διάγραμμα 17:



Σ'αυτό το διάγραμμα δεν παρατηρούμε ούτε φαινόμενα fouling αλλά ούτε και φαινόμενα πόλωσης

Διάγραμμα 18:



Διάγραμμα 19:



Σ'αυτό το διάγραμμα δεν παρατηρούμε ούτε φαινόμενα fouling αλλά ούτε και φαινόμενα πόλωσης

Διάγραμμα 20:



Διάγραμμα 21:



Σ'αυτό το διάγραμμα δεν παρατηρούμε ούτε φαινόμενα fouling αλλά ούτε και φαινόμενα πόλωσης

Διάγραμμα 22:



Διάγραμμα 23:



Σ'αυτό το διάγραμμα δεν παρατηρούμε ούτε φαινόμενα fouling αλλά ούτε και φαινόμενα πόλωσης

Διάγραμμα 24:



Διάγραμμα 25:



Σ'αυτό το διάγραμμα δεν παρατηρούμε ούτε φαινόμενα fouling αλλά ούτε και φαινόμενα πόλωσης

Διάγραμμα 26:



Διάγραμμα 27:



Σ'αυτό το διάγραμμα δεν παρατηρούμε ούτε φαινόμενα fouling αλλά ούτε και φαινόμενα πόλωσης

Διάγραμμα 28:



Σ' αυτό το διάγραμμα παρατηρούμε μια πτώση της ροής από τα 1-1.5bar του διαλύματος που στη συνεχεία επανέρχεται στο 100% της ροής. Αυτό οφείλεται στο φαινόμενο της πόλωσης.

Διάγραμμα 29:



Σ' αυτό το διάγραμμα δεν παρατηρούμε ούτε φαινόμενα fouling αλλά ούτε και φαινόμενα πόλωσης

Διάγραμμα 30:



Διάγραμμα 31:



Σ' αυτό το διάγραμμα παρατηρούμε ότι η ροη του διαλύματος και του τελικού νερού είναι πολύ μικρότερη από αυτή του αρχικού, αιτία αυτού είναι το φαινόμενο του fouling. Επίσης βλέπουμε ότι στις πιέσεις από 0,5 έως 1 bar παρουσιάζει και φαινόμενα πόλωσης σε μικρό βαθμό.



Διάγραμμα 32:

Σ' αυτό το διάγραμμα παρατηρούμε την πτώση της ροής του διαλύματος όσο αυξάνει η πίεση ενώ η ροη του τελικού νερού είναι ίδια με αυτή του αρχικού οπότε εδώ έχουμε την εμφάνιση του φαινομένου της πόλωσης για το διάλυμα.

Σ' αυτό το διάγραμμα παρατηρούμε μια μικρή διαφορά μεταξύ των πιέσεων του αρχικού και τελικού νερού με πιθανή αιτία το φαινόμενο fouling



Διάγραμμα 34:







Διάγραμμα 35:



Σ' αυτό το διάγραμμα παρατηρούμε την εμφάνιση του φαινομένου fouling ενώ ταυτόχρονα εμφανίζεται και το φαινόμενο της πόλωσης για τις πιέσεις από 0,5 έως 1,5bar.

Διάγραμμα 36:



Σ'αυτό το διάγραμμα παρατηρούμε την εμφάνιση του φαινομένου fouling ενώ ταυτόχρονα εμφανίζεται και το φαινόμενο της πόλωσης για τις πιέσεις από 1,5 έως 2bar

Διάγραμμα 37:



Σ'αυτό το διάγραμμα παρατηρούμε την ύπαρξη του φαινομένου fouling ενώ για το διάλυμα είχαμε και το φαινόμενο της πόλωσης σε πολύ μεγαλο βαθμο.



Διάγραμμα 38:

Σ'αυτό το διάγραμμα δεν παρατηρούμε φαινόμενα fouling όμως είναι πιθανή η εμφάνιση του φαινομένου της πόλωσης για τις πιέσεις 1,5-2bar.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β

Διάγραμμα1:



Διάγραμμα 2:



Διάγραμμα 3:



Διάγραμμα 4:



Διάγραμμα 5:



Διάγραμμα 6:



Διάγραμμα 7:



Διάγραμμα 8:



Διάγραμμα 9:



Διάγραμμα 10:


Διάγραμμα 11:



Διάγραμμα 12:





Διάγραμμα 14:



Διάγραμμα 15:



Διάγραμμα 16:



Διάγραμμα 17:



Διάγραμμα 18:



Διάγραμμα 19:



Διάγραμμα 20:



Διάγραμμα 21:



Διάγραμμα 22:



Διάγραμμα 23:



Διάγραμμα 24:



Διάγραμμα 25:



Διάγραμμα 26:





Διάγραμμα 28:



Διάγραμμα 27:

Διάγραμμα 29:



Διάγραμμα 30:



Διάγραμμα 31:



Διάγραμμα 32:



Διάγραμμα 33:



Διάγραμμα 34:



Διάγραμμα 35:



Διάγραμμα 36:



Διάγραμμα 37:



Διάγραμμα 38:



Διάγραμμα 39:



ΠΙΝΑΚΕΣ

	Time	Time		Flux	Time	Time	Time	Flux	Recovery Flux
Membranes	(sec)	(centisecond)	Time (hour)	$(L/m^2/h)$	(sec)	(centisecond)	(hour)	(L/m ² /h)	(%)
ALSG2	12	75	0,0035417	66,56128	12	1	0,003336	70,662	106,1615321
41.004	10	12	0.0007200	(2.10100	10	02	0.002502	65 625	102.00070
ALSG4	13	43	0,003/306	63,19109	12	93	0,003592	65,635	103,866976
ALSG6	13	/19	0.0037472	62 91003	12	96	0.0036	65 / 83	10/ 0895062
ALSOU	15		0,0037472	02,71005	12	70	0,0050	05,405	104,0075002
ALSG8	12	99	0,0036083	65,33151	12	48	0,003467	68,001	104,0865385
ALSG10	12	50	0,0034722	67,8925	13	27	0,003686	63,953	94,19743783
ALSG2BM	12	19	0,0033861	69,61906	11	93	0,003314	71,136	102,1793797
ALCCADM	10	54	0.0024822	(7.(7504	10	07	0.002575	65.041	07 42590744
ALSG4BM	12	54	0,0034833	67,67594	12	87	0,003575	65,941	97,43589744
ALSG6BM	12	61	0.0035028	67 30026	12	27	0.003408	69 165	102 7709861
	12	01	0,0000020	07,00020	12	27	0,005100	07,105	102,7709001
ALSG8BM	12	45	0,0034583	68,16516	12	46	0,003461	68,11	99,91974318
ALSG10BM	12	92	0,0035889	65,68547	12	45	0,003458	68,165	103,7751004

Πίνακας 1. Αναλυτικές μετρήσεις για μοριακό βάρος 2000 και Πίεση 0,5 bar

Πίνακας 2. Αναλυτικές μετρήσεις για μοριακό βάρος 2000 και Πίεση 1 bar

				-	-				
	Time	Time	Time	Flux	Time	Time	Time	Flux	
Membranes	(sec)	(centisecond)	(hour)	$(L/m^2/h)$	(sec)	(centisecond)	(hour)	$(L/m^{2}/h)$	Recovery Flux (%)
	(()	(()	()	())	(· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	
11000	0	70	0.0004000	04 45 700	0		0.002.122	06070	100 2202105
ALSG2	8	78	0,0024389	96,65789	8	76	0,002433	96,879	100,2283105
ALSG4	8	5	0.0022361	105.4231	8	67	0.002408	97.884	92.84890427
	-	-	.,		-		-,	,,,	,
11000	0	16	0.000 (070	00 50005	0	02	0.002452	06111	105 10 15 (50
ALSG6	9	46	0,0026278	89,70997	8	83	0,002453	96,111	107,1347678
ALSG8	9	2	0.0025056	94.08606	8	55	0.002375	99.258	105.497076
	-	_	.,	,,,	-		.,	,,	
41.0010	0	(0)	0.0024120	07.65005	0	02	0.002401	05.024	07 212 (2001
ALSGIO	8	69	0,0024139	97,65895	8	93	0,002481	95,034	97,31243001
ALSG2BM	8	70	0.0024167	97.5467	9	20	0.002556	92.245	94.56521739
	-		- ,	,		-	- ,	- , -	
	0	70	0.000.405	07 01140	0	10	0.000500	02.250	05.00406500
ALSG4BM	8	73	0,002425	97,21149	9	10	0,002528	93,259	95,93406593
ALSG6BM	8	95	0.0024861	94.82193	8	53	0.002369	99,491	104.9237984
	-		.,	,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,	-		.,		
	0	50	0.00000000	00.40077	0		0.000406	07.007	00 1000 1507
ALSG8BM	8	53	0,0023694	99,49077	8	66	0,002406	97,997	98,49884527
ALSG10BM	9	8	0.0025222	93.46435	8	57	0.002381	99.026	105.9509918
	-	-	.,		-		.,		

	Time	Time		Flux	Time	Time	Time	Flux	Recovery Flux
Membranes	(sec)	(centisecond)	Time (hour)	(L/m ² /h)	(sec)	(centisecond)	(hour)	(L/m ² /h)	(%)
ALSG2	7	42	0,0020611	114,3742	7	2	0,00195	120,89	105,6980057
	6	72	0.0018604	126 1005	7	2	0.001052	120.72	05 72257469
ALS04	0	75	0,0018094	120,1003	/	5	0,001955	120,72	95,75257408
ALSG6	7	28	0,0020222	116,5737	7	0	0,001944	121,24	104
			·	,			,	,	
ALSG8	7	37	0,0020472	115,1501	6	92	0,001922	122,64	106,5028902
			0.0010.117	100.0005	_		0.000050	11101	
ALSG10	6	63	0,0018417	128,0025	7	39	0,002053	114,84	89,71583221
ALSG2BM	6	95	0.0019306	122 1088	7	66	0.002128	110 79	90 7310705
ALSO2DW	0	,,,	0,0019300	122,1000	,	00	0,002120	110,79	70,7510705
ALSG4BM	6	90	0,0019167	122,9937	7	28	0,002022	116,57	94,78021978
ALSG6BM	7	29	0,002025	116,4138	7	70	0,002139	110,22	94,67532468
	_	24	0.0020111	117.0177		12	0.001001	110.02	101 540777
ALSG8BM	/	24	0,0020111	117,2177	/	13	0,001981	119,03	101,542777
ALSG10BM	6	99	0.0019417	121 4101	7	15	0.001986	118 69	97 76223776
TESSIODINI	0	,,,	0,0019417	121,4101	,	15	0,001900	110,09	>1,10223110

Πίνακας 3. Αναλυτικές μετρήσεις για μοριακό βάρος 2000 και Πίεση 1.5 bar

Πίνακας 4. Αναλυτικές μετρήσεις για μοριακό βάρος 2000 και Πίεση 2 bar

	Time	Time		Flux	Time	Time	Time	Flux	Recovery Flux
Membranes	(sec)	(centisecond)	Time (hour)	(L/m²/h)	(sec)	(centisecond)	(hour)	$(L/m^2/h)$	(%)
ALSG2	6	8	0.0016889	130 5816	5	83	0.001619	145 57	104 2881647
ALSO2	0	0	0,0010889	157,5010	5	05	0,001017	143,37	104,2001047
ALSG4	5	75	0,0015972	147,5924	6	3	0,001675	140,74	95,35655058
		-							
ALSG6	6	63	0,0018417	128,0025	6	10	0,001694	139,12	108,6885246
ALSC8	6	12	0.0017028	128 1121	5	04	0.00165	142.97	102 1086522
ALSO	0	15	0,0017028	150,4451	5	24	0,00105	142,07	105,1980552
ALSG10	5	82	0,0016167	145,8172	6	19	0,001719	137,1	94,02261712
ALSG2BM	5	81	0,0016139	146,0682	6	29	0,001747	134,92	92,36883943
	~	05	0.001/025	145.0605	6	17	0.001714	107.55	04.01261426
ALSG4BM	5	85	0,001625	145,0695	6	17	0,001/14	137,55	94,81361426
ALSG6BM	6	4	0,0016778	140,506	5	90	0,001639	143,84	102,3728814
ALSG8BM	6	14	0,0017056	138,2176	6	1	0,001669	141,21	102,1630616
		_							
ALSG10BM	6	7	0,0016861	139,8116	6	16	0,001711	137,77	98,53896104

	Time	Time		Flux	Time	Time	Time	Flux	Recovery Flux
Membranes	(sec)	(centisecond)	Time (hour)	$(L/m^2/h)$	(sec)	(centisecond)	(hour)	(L/m ² /h)	(%)
ALSG2	5	37	0,0014917	158,0366	5	13	0,001425	165,43	104,6783626
	5	70	0.0015922	140 0071	5	20	0.001444	162.0	100 6152946
ALSG4	5	70	0,0015855	148,8871	5	20	0,001444	103,2	109,0155840
ALSG6	5	96	0.0016556	142 392	5	60	0.001556	151 55	106 4285714
1125 000	U	20	0,0010000	1.2,072	U		0,001000	101,00	100,1200711
ALSG8	5	50	0,0015278	154,3011	5	20	0,001444	163,2	105,7692308
ALSG10	5	28	0,0014667	160,7304	5	45	0,001514	155,72	96,88073394
	4	0.5	0.0012472	174.0007	~	20	0.001404	157.74	00.140,0000
ALSG2BM	4	85	0,0013472	1/4,980/	5	38	0,001494	157,74	90,14869888
ALSG4BM	5	11	0.0014194	166.0776	5	22	0.00145	162 58	97 89272031
TESCIENT	5		0,0011171	100,0770	5	22	0,00110	102,50	,,0)212031
ALSG6BM	5	51	0,0015306	154,0211	5	40	0,0015	157,16	102,037037
ALSG8BM	5	37	0,0014917	158,0366	5	38	0,001494	157,74	99,81412639
		25	0.00140.01	150 (050			0.001.470	150.50	100 5 (20000
ALSG10BM	5	35	0,0014861	158,6273	5	32	0,001478	159,52	100,5639098
1	1				I				

Πίνακας 5. Αναλυτικές μετρήσεις για μοριακό βάρος 2000 και Πίεση 2.5 bar

Πίνακας 6. Μέσος όρος της ανάκτησης ροής για όλες τις πιέσεις

	Ανάκτηση Ροής (%)
Μεμβράνες	Μέσος Όρος
ALSG2	104,2108751
ALSG4	99,48407803
ALSG6	106,068274
ALSG8	105,0108777
ALSG10	94,42581022
ALSG2BM	93,99864118
ALSG4BM	96,17130354
ALSG6BM	101,3560055
ALSG8BM	100,3877107
ALSG10BM	101,3182402

	Time	Time		Flux	Time	Time		Flux	Recovery
Membranes	(sec)	(centisecond)	Time (hour)	$(L/m^{2}/h)$	(sec)	(centisecond)	Time (hour)	$(L/m^{2}/h)$	Flux (%)
	()	((
ALSG2	13	18	0.00366111	64 3897	12	81	0.0035583	66 24952	102 888368
111502	15	10	0,00500111	04,5077	12	01	0,0055505	00,24952	102,000500
ALSC4	12	27	0.00242611	68 60601	12	71	0.0028082	61 00052	00 2261122
ALS04	12	57	0,00545011	08,00001	15	/1	0,0058085	01,90055	90,2201125
17.001	10		0.0004.0000	50.0 7.7 0.4	- 10	_	0.0000500	=0.01101	100.01.1000
ALSG6	12	47	0,00346389	68,05584	12	7	0,0033528	70,31121	103,314002
ALSG8	12	3	0,00334167	70,545	12	94	0,0035944	65,58395	92,9675425
ALSG10	12	40	0,00344444	68,44002	12	35	0,0034306	68,71711	100,404858
ALSG2BM	13	13	0.00364722	64.6349	13	41	0.003725	63.28533	97.912006
	_	-	-,	- ,			- ,		,.
AI SG4BM	11	81	0.00328056	71 85913	12	23	0.0033972	69 39136	96 5658217
ALSO+DM	11	01	0,00520050	71,05715	12	25	0,0033712	07,57150	70,3030217
	10	70	0.00255	66 40502	10	70	0.00255	66 40502	100
ALSCODM	12	/0	0,00555	00,40303	12	/0	0,00555	00,40305	100
	10		0.000.000.00		10	0	0.000 (111		
ALSG8BM	12	97	0,00360278	65,43225	13	0	0,0036111	65,28125	99,7692308
ALSG10BM	12	97	0,00360278	65,43225	12	70	0,0035278	66,82333	102,125984

Πίνακας 7. Αναλυτικές μετρήσεις για μοριακό βάρος 4000 και Πίεση 0.5 bar

Πίνακας 8. Αναλυτικές μετρήσεις για μοριακό βάρος 4000 και Πίεση 1 bar

	Time	Time		Flux	Time	Time		Flux	Recovery
Membranes	(sec)	(centisecond)	Time (hour)	$(L/m^2/h)$	(sec)	(centisecond)	Time (hour)	$(L/m^2/h)$	Flux (%)
ALSG2	8	50	0,00236111	99,84192	8	80	0,0024444	96,43822	96,5909091
ALSG4	9	9	0,002525	93,36153	8	71	0,0024194	97,43471	104,362801
ALSC6	0	80	0.00244444	06 13822	0	84	0.0024556	06.00184	00 5475112
ALSOO	0	80	0,00244444	90,43822	0	04	0,0024330	90,00184	99,3473113
ALSG8	8	55	0.002375	99.25805	9	6	0.0025167	93.67067	94.3708609
			- ,		-	-	- ,	,	- ,
ALSG10	9	1	0,00250278	94,19049	9	8	0,0025222	93,46435	99,2290749
ALSG2BM	8	99	0,00249722	94,40003	8	98	0,0024944	94,50516	100,111359
ALCCADM	0	(1	0.00220167	00 56625	0	(0	0.0022880	00 (000)	100 11(270
ALSG4BM	8	61	0,00239167	98,36635	8	60	0,0023889	98,68096	100,116279
ALSG6BM	9	3	0.00250833	93 98187	9	4	0.0025111	93 87791	99 8893805
THE GOD IN		5	0,00250055	,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,			0,0025111	,0,777	,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,
ALSG8BM	8	95	0,00248611	94,82193	9	3	0,0025083	93,98187	99,1140642
ALSG10BM	9	11	0,00253056	93,15656	8	99	0,0024972	94,40003	101,334816

	Time	Time		Flux	Time	Time		Flux	Recovery
Membranes	(sec)	(centisecond)	Time (hour)	$(L/m^2/h)$	(sec)	(centisecond)	Time (hour)	$(L/m^{2}/h)$	Flux (%)
		((,	(
ALSG2	7	2	0,00195	120,8912	7	43	0,0020639	114,2202	94,4818304
ALSG4	7	85	0,00218056	108,1091	7	2	0,00195	120,8912	111,823362
ALSG6	7	32	0,00203333	115,9367	7	36	0,0020444	115,3066	99,4565217
ALSG8	7	61	0,00211389	111,5186	7	72	0,0021444	109,9296	98,5751295
ALSG10	7	60	0,00211111	111,6653	7	80	0,0021667	108,8021	97,4358974
		20	0.000	115 0 100			0.0000044	110 5500	0.5.400.54.60
ALSG2BM	1	20	0,002	117,8689	1	54	0,0020944	112,5539	95,4907162
	6		0.00195	107 4050	6		0.0010044	104 4264	07 (520590
ALSG4BM	6	66	0,00185	127,4259	6	82	0,0018944	124,4364	97,6539589
ALSCOD	7	57	0.00210278	112 1079	7	67	0.0021206	110 6462	08 606210
ALSCODM	/	57	0,00210278	112,1078	/	07	0,0021500	110,0402	98,090219
AI SG8BM	7	/18	0.00207778	113 4567	7	56	0.0021	112 2561	98 9/17989
7 LOODWI	,	70	0,00207770	113,4307		50	0,0021	112,2301	70,7417707
ALSG10BM	7	59	0.00210833	111 8124	7	31	0.0020306	116 0953	103 830369
	,	57	0,00210035	111,0124	,	51	0,0020500	110,0955	105,050509
1				1				1	1

Πίνακας 8. Αναλυτικές μετρήσεις για μοριακό βάρος 4000 και Πίεση 1.5 bar

Πίνακας 10. Αναλυτικές μετρήσεις για μοριακό βάρος 4000 και Πίεση 2 bar

	Time	Time		Flux	Time	Time		Flux	Recovery
Membranes	(sec)	(centisecond)	Time (hour)	(L/m²/h)	(sec)	(centisecond)	Time (hour)	(L/m²/h)	Flux (%)
ALSG2	6	93	0,001925	122,4612	6	33	0,0017583	134,0689	109,478673
			0.001 / 7.7	1.40.500			0.000055	110 0000	00 500 001 (
ALSG4	6	3	0,001675	140,739	7	47	0,002075	113,6086	80,7228916
ALSOC	6	7	0.00169611	120.9116	6	47	0.0017072	121 1670	02.017(100
ALSGO	0	/	0,00108011	139,8110	0	47	0,0017972	131,1079	95,8170198
ALSG8	5	95	0.00165278	142,6313	6	80	0.0018889	124 8024	87.5
TILDUG	5	,,,	0,00100270	112,0010	Ŭ	00	0,001000)	12 1,002 1	07,0
ALSG10	6	1	0,00166944	141,2074	6	10	0,0016944	139,124	98,5245902
ALSG2BM	6	34	0,00176111	133,8575	6	50	0,0018056	130,5625	97,5384615
ALSG4BM	5	93	0,00164722	143,1124	5	88	0,0016333	144,3293	100,85034
ALSG6BM	6	36	0,00176667	133,4365	6	53	0,0018139	129,9627	97,3966309
		27	0.00154165	105.0510			0.0010070	100.0751	05 2007520
ALSG8BM	6	27	0,001/416/	135,3519	6	58	0,0018278	128,9751	95,2887538
ALSCIODM	6	42	0.00179222	122 1905		50	0.0019111	120.162	08 4660577
ALSGIUBM	6	42	0,001/8333	132,1895	6	52	0,0018111	130,162	98,4002577
	1								

	Time	Time		Flux	Time	Time		Flux	Recovery
Membranes	(sec)	(centisecond)	Time (hour)	(L/m²/h)	(sec)	(centisecond)	Time (hour)	(L/m ² /h)	Flux (%)
ALSG2	5	27	0,00146389	161,0353	5	64	0,0015667	150,471	93,4397163
	-	70	0.001.50.611	1.70.1.1.1			0.001	100 0101	
ALSG4	5	53	0,00153611	153,4641	6	39	0,001775	132,8101	86,541471
ALCOC	-	57	0.00154444	152 (2)	~		0.0015417	152 011	100 10010
ALSGO	5	50	0,00154444	152,636	5	55	0,0015417	152,911	100,18018
ALSC8	5	50	0.00152778	154 3011	5	85	0.001625	145.0605	94.017094
ALSO	5	50	0,00132778	154,5011	5	05	0,001025	145,0075	94,017094
ALSG10	5	55	0.00154167	152,911	5	68	0.0015778	149.4113	97.7112676
	-		.,		-		.,	,,	,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,
ALSG2BM	5	59	0,00155278	151,8169	5	61	0,0015583	151,2756	99,6434938
ALSG4BM	5	35	0,00148611	158,6273	5	40	0,0015	157,1586	99,0740741
ALSG6BM	5	60	0,00155556	151,5458	5	73	0,0015917	148,1076	97,7312391
ALSG8BM	5	46	0,00151667	155,4316	5	71	0,0015861	148,6263	95,6217163
ALSG10BM	5	70	0,00158333	148,8871	5	87	0,0016306	144,5752	97,1039182

Πίνακας 11. Αναλυτικές μετρήσεις για μοριακό βάρος 4000 και Πίεση 2.5 bar

Πίνακας 12. Μέσος όρος της ανάκτησης ροής για όλες τις πιέσεις του Μοριακού Βάρους 4000

	Ανάκτηση Ροής (%)
Μεμρβάνες	Μέσος Όρος
ALSG2	99,37589945
ALSG4	94,73532763
ALSG6	99,26316693
ALSG8	93,4861254
ALSG10	98,66113768
ALSG2BM	98,1392072
ALSG4BM	98,85209479
ALSG6BM	98,74269392
ALSG8BM	97,74711281
ALSG10BM	100,5722692

	Time	Time		Flux	Time	Time		Flux	Recovery Flux
Membranes	(sec)	(centisecond)	Time (hour)	$(L/m^2/h)$	(sec)	(centisecond)	Time (hour)	$(L/m^2/h)$	(%)
		· · · · ·	. ,		, í	· · · · ·	. ,	. ,	
ALSG2	13	57	0,0037694	62,53915	13	45	0,0037361	63,09712	100,8921933
			,	,			,	,	,
ALSG4	12	58	0.0034944	67.46075	12	77	0.0035472	66.45703	98.51213782
			.,	,			-,	,	
ALSG6	12	40	0.0034444	68,44002	13	0	0.0036111	65.28125	95.38461538
			.,	,		-	.,	,	,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,
ALSG8	12	92	0.0035889	65.68547	13	41	0.003725	63.28533	96.34601044
		-	- ,				- ,		
ALSG10	12	75	0.0035417	66.56128	13	20	0.0036667	64.29214	96.59090909
			.,				.,		
ALSG2BM	12	48	0.0034667	68.00131	12	91	0.0035861	65,73635	96.66924864
			0,0001007	00,00101		<i>,</i> ,,	0,0000001	00,70000	,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,
ALSG4BM	13	8	0.0036333	64.88198	13	5	0.003625	65.03113	100.2298851
	10	Ũ	0,0000000	01,00170	10	C C	0,000020	00,00110	100,2290001
ALSG6BM	11	96	0.0033222	70.95788	12	15	0.003375	69.84825	98.43621399
		,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,	0,0000222	10,50100		10	0,000070	0,0.010	,
ALSG8BM	13	29	0.0036917	63.85676	13	30	0.0036944	63.80874	99.92481203
			.,	50,00070	10	20	2,002 02 11	50,00071	
ALSG10BM	12	75	0.0035417	66 56128	12	71	0.0035306	66 77075	100 3147128
	12		0,0000117	00,00120		, 1	0,0000000	00,11010	100,011/120
	1				1			1	

Πίνακας 13. Αναλυτικές μετρήσεις για μοριακό βάρος 10000 και Πίεση 0.5 bar

Πίνακας 14. Αναλυτικές μετρήσεις για μοριακό βάρος 10000 και Πίεση 1 bar

	Time	Time		Flux	Time	Time		Flux	Recovery Flux
Membranes	(sec)	(centisecond)	Time (hour)	$(L/m^2/h)$	(sec)	(centisecond)	Time (hour)	$(L/m^2/h)$	(%)
ALSG2	8	58	0,0023833	98,91099	8	87	0,0024639	95,67715	96,73055242
ALCC4	0	00	0.0024667	05.5(04	0	0	0.0025222	02 46425	07 70725(02
ALSG4	8	88	0,0024667	95,5694	9	8	0,0025222	93,46435	97,79735683
ALSG6	9	15	0.0025417	92.74932	9	0	0.0025	94.29514	101.6666667
TED C C	-	10	0,0020 117	,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,	-	Ŭ	0,0020	,,_,_,	101,0000007
ALSG8	9	14	0,0025389	92,8508	8	99	0,0024972	94,40003	101,6685206
ALSG10	9	1	0,0025028	94,19049	9	29	0,0025806	91,35159	96,98600646
	0	05	0.0024592	05 00227	0	1	0.0005000	04.100.40	00.00410524
ALSG2BM	8	85	0,0024583	95,89337	9	1	0,0025028	94,19049	98,22419534
ALSG4BM	8	57	0.0023806	99.02641	9	13	0.0025361	92 9525	93 86637459
7 LDG+DI	0	51	0,0023000	<i>yy</i> ,02041		15	0,0025501	52,5525	<i>y</i> 3,0003743 <i>y</i>
ALSG6BM	8	93	0,0024806	95,0343	9	3	0,0025083	93,98187	98,89258029
ALSG8BM	9	1	0,0025028	94,19049	9	91	0,0027528	85,63636	90,91826438
			0.0005445				0.000.0070		101 5505550
ALSG10BM	9	15	0,0025417	92,74932	8	99	0,0024972	94,40003	101,7797553

	Time	Time		Flux	Time	Time		Flux	Recovery Flux
Membranes	(sec)	(centisecond)	Time (hour)	$(L/m^2/h)$	(sec)	(centisecond)	Time (hour)	$(L/m^2/h)$	(%)
ALSG2	7	37	0,0020472	115,1501	7	44	0,0020667	114,0667	99,05913978
ALSG4	7	39	0,0020528	114,8385	7	49	0,0020806	113,3052	98,66488652
			0.0001.675	100.0001			0.000155	100.00.70	00.61.60.50.0.1
ALSG6	7	80	0,0021667	108,8021	7	83	0,002175	108,3852	99,61685824
		20	0.00005	114.00.41		25	0.0000417	115 4604	100 4001 (22
ALSG8	/	38	0,00205	114,9941	/	35	0,0020417	115,4634	100,4081633
	7	22	0.0020056	117 5424	7	54	0.0020044	112 5520	05 75506917
ALSOID	/	22	0,0020030	117,3424	/	54	0,0020944	112,3339	95,75590817
AI SG2BM	6	74	0.0018722	125 9134	7	5	0.0019583	120 3768	95 60283688
7 LDG2DW	Ū		0,0010722	125,9154	,	5	0,0017505	120,5700	,00205000
ALSG4BM	6	87	0.0019083	123.5308	7	39	0.0020528	114.8385	92,96346414
	-		.,				-,		,_,,
ALSG6BM	7	58	0,0021056	111,9599	7	60	0,0021111	111,6653	99,73684211
			,	*			,	, ,	, ,
ALSG8BM	7	30	0,0020278	116,2543	7	6	0,0019611	120,2063	103,3994334
ALSG10BM	7	20	0,002	117,8689	7	43	0,0020639	114,2202	96,90444145

Πίνακας 15. Αναλυτικές μετρήσεις για μοριακό βάρος 10000 και Πίεση 1.5 bar

Πίνακας 16. Αναλυτικές μετρήσεις για μοριακό βάρος 10000 και Πίεση 2 bar

	Time	Time		Flux	Time	Time		Flux	Recovery Flux
Membranes	(sec)	(centisecond)	Time (hour)	(L/m²/h)	(sec)	(centisecond)	Time (hour)	(L/m²/h)	(%)
ALSG2	6	45	0,0017917	131,5746	6	63	0,0018417	128,0025	97,28506787
ALSG4	6	48	0,0018	130,9655	6	49	0,0018028	130,7637	99,8459168
ALSG6	6	10	0,0016944	139,124	7	30	0,0020278	116,2543	83,56164384
ALSG8	6	47	0,0017972	131,1679	6	41	0,0017806	132,3957	100,9360374
ALSG10	6	11	0,0016972	138,8963	6	33	0,0017583	134,0689	96,52448657
ALSG2BM	6	4	0,0016778	140,506	6	28	0,0017444	135,1364	96,17834395
ALSG4BM	6	11	0,0016972	138,8963	6	40	0,0017778	132,6025	95,46875
ALSG6BM	6	44	0,0017889	131,7789	6	72	0,0018667	126,2881	95,83333333
ALSG8BM	6	56	0,0018222	129,3683	6	65	0,0018472	127,6175	98,64661654
ALSG10BM	6	33	0,0017583	134,0689	5	85	0,001625	145,0695	108,2051282

	Time	Time		Flux	Time	Time		Flux	Recovery Flux
Membranes	(sec)	(centisecond)	Time (hour)	(L/m ² /h)	(sec)	(centisecond)	Time (hour)	(L/m ² /h)	(%)
ALSG2	5	97	0,0016583	142,1535	6	0	0,0016667	141,4427	99,5
		1.2							
ALSG4	5	49	0,001525	154,5822	5	77	0,0016028	147,0808	95,14731369
ALCOC	~	50	0.0015270	154 2011		20	0.00175	124 7072	07.2015072
ALSGO	5	50	0,0015278	154,5011	0	50	0,00175	154,7075	87,3013873
ALSG8	5	69	0.0015806	149,1487	5	64	0.0015667	150.471	100.8865248
12500		0,	0,0010000	1 19,1 107	U	0.	0,0010007	100,171	100,000210
ALSG10	5	50	0,0015278	154,3011	5	63	0,0015639	150,7382	97,69094139
ALSG2BM	5	74	0,0015944	147,8495	5	79	0,0016083	146,5728	99,13644214
ALSG4BM	5	58	0,00155	152,0889	5	97	0,0016583	142,1535	93,46733668
	-	<i>(</i> 0	0.0015550	140 4110	_		0.001.0002	146 5500	00 10015051
ALSG6BM	5	68	0,0015778	149,4113	5	79	0,0016083	146,5728	98,10017271
ALCODM	5	74	0.0015044	147.9405	5	60	0.0015906	140 1497	100 9797246
ALOUODINI	3	/4	0,0013944	147,0493	5	09	0,0013800	149,140/	100,8787340
ALSG10BM	5	57	0.0015472	152 362	5	73	0.0015917	148 1076	97 20767888
THE STOP IN	5		3,0010172	102,002	, j		3,0010717	110,1070	21,20101000

Πίνακας 17. Αναλυτικές μετρήσεις για μοριακό βάρος 10000 και Πίεση 2.5 bar

Πίνακας 18. Μέσος όρος της ανάκτησης ροής για όλες τις πιέσεις του Μοριακού Βάρους 10000

	Ανάκτηση Ροής (%)
Μεμβράνες	Μέσος Όρος
ALSG2	98,69339068
ALSG4	97,99352233
ALSG6	93,50627429
ALSG8	100,0490513
ALSG10	96,70966234
ALSG2BM	97,16221339
ALSG4BM	95,19916209
ALSG6BM	98,19982849
ALSG8BM	98,7535722
ALSG10BM	100,8823433