



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΡΕΥΣΤΩΝ

ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΠΙΛΟΤΙΚΗΣ ΜΟΝΑΔΑΣ ΑΦΑΛΑΤΩΣΗΣ
ΜΕ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ ΑΠΟΣΤΑΞΗΣ ΜΕ ΜΕΜΒΡΑΝΕΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ
ΠΑΠΑΚΟΥΝΑΔΗΣ ΣΩΤΗΡΙΟΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ:
ΖΕΡΒΟΣ ΑΡΘΟΥΡΟΣ
ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ Ε.Μ.Π.

ΑΘΗΝΑ, ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ 2014

Αντί Προλόγου

Το ενδιαφέρον για τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας καθώς και η διαρκής ανησυχία για τις σχεδιαστικές τεχνικές ήταν δύο από τα πιο σημαντικά κίνητρα για την υλοποίηση της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

Με αφορμή την ολοκλήρωση της θα ήθελα να ευχαριστήσω τον καθηγητή κ. Αρθούρο Ζερβό για την ευκαιρία που μου έδωσε να μελετήσω ένα τόσο ενδιαφέρον θέμα.

Επίσης θέλω να ευχαριστήσω τον Δρ. Γεώργιο Κάραλη για την εμπιστοσύνη και την υποστήριξη του καθ' όλη την περίοδο της εργασίας.

Η παρούσα διπλωματική εργασία πραγματοποιήθηκε στο Εργαστήριο Ηλιακών & άλλων Ενεργειακών Συστημάτων του ΕΚΕΦΕ “ΔΗΜΟΚΡΙΤΟΣ”, το οποίο διαθέτει πλούσια ερευνητική δραστηριότητα και εμπειρία στον τομέα εφαρμογών της θερμικής ηλιακής ενέργειας γενικά, καθώς και μακροχρόνια πείρα στην αφαλάτωση μέσω της ανάπτυξης και εφαρμογής πιλοτικών και πειραματικών μονάδων αφαλάτωσης.

Ευχαριστώ ιδιαίτερος τον Προϊστάμενο του Εργαστηρίου, Δρ. Βασίλη Μπελεσιώτη, για την συμβολή του στον προσδιορισμό ενός τόσο πρωτότυπου θέματος και τη μοναδική ευκαιρία που μου έδωσε να πραγματοποιήσω την παρούσα διπλωματική εργασία στις εγκαταστάσεις του εργαστηρίου.

Ιδιαίτερες ευχαριστίες θα ήθελα να εκφράσω στον Δρ. Εμμανουήλ Μαθιουλάκη, για την εξαιρετική συνεργασία που είχαμε, τον πολύτιμο χρόνο που μου διέθεσε καθώς και τις συμβουλές του σε πολλά ζητήματα. Η καθοδήγηση και η συμβολή του ήταν καθοριστική για την επιτυχή ολοκλήρωση της εργασίας. Ακόμα θα ήθελα να εκφράσω την εκτίμησή μου για τους Δρ. Essam Mohamed και Δρ. Παναγιώτη Μπούτικο, για τις καίριες παρατηρήσεις τους γύρω από το αντικείμενο της αφαλάτωσης, καθώς και σε όλο το προσωπικό του εργαστηρίου για τη συνεργασία, την καλή τους διάθεση και συναδελφικότητα.

Εκφράζω τις θερμές μου ευχαριστίες στους γονείς μου και στα αδέρφια μου για την πολύχρονη στήριξη και βοήθεια που μου προσέφεραν. Ακόμα, ευχαριστώ πολύ τους φίλους μου για την αμέριστη ηθική τους συμπαράσταση.

Σωτήριος Παπακουνάδης
Αθήνα, Οκτώβριος 2014

Περίληψη

Αντικείμενο της διπλωματικής εργασίας είναι ο σχεδιασμός πιλοτικής μονάδας αφαλάτωσης βασισμένης στην τεχνολογία απόσταξης με μεμβράνες. Η έμφαση δόθηκε στις βασικές παραμέτρους οι οποίες χαρακτηρίζουν το συγκεκριμένο σύστημα καθώς και στην ανάλυση των υποσυστημάτων της. Κύριες δραστηριότητες της διπλωματικής εργασίας θα είναι ο περαιτέρω σχεδιασμός όλης της πιλοτικής μονάδας αφαλάτωσης με το σχεδιαστικό πακέτο SolidWorks. Αρχικά, γίνεται εκτεταμένη βιβλιογραφική διερεύνηση της συγκεκριμένης μεθόδου καθώς και των μεγεθών που χαρακτηρίζουν τη διεργασία. Στη συνέχεια παρουσιάζεται το πιλοτικό σύστημα που υλοποιείται καθώς και τα επιμέρους συστήματα τα οποία το αποτελούν. Αναλύονται σε βάθος ο λόγος και τα πλεονεκτήματα για τα οποία επιλέχθηκε το σχεδιαστικό πακέτο SolidWorks όπως επίσης παρουσιάζεται η τρισδιάστατη απεικόνιση της μονάδας και των υποσυστημάτων της σε αυτό. Αναδεικνύεται η σημασία του τρισδιάστατου σχεδιασμού σε συστήματα ως ένα σημαντικό εργαλείο στην απεικόνιση της δομής τους, της διασύνδεσης μεταξύ των υποσυστημάτων καθώς και στην ίδια τη διαδικασία υλοποίησης της μονάδας. Παράλληλα, διαπιστώνεται πως η συγκεκριμένη τεχνολογία αφαλάτωσης μπορεί να αποτελέσει μια πολλά υποσχόμενη τεχνολογία, η οποία θα λύσει το πρόβλημα έλλειψης σε καθαρό νερό που αντιμετωπίζει ο πλανήτης γη.

Λέξεις Κλειδιά: αφαλάτωση, απόσταξη με μεμβράνες, SolidWorks , σχεδιασμός, πιλοτική μονάδα

Abstract

The subject of the thesis is the design of a pilot desalination plant based on membrane distillation technology. Emphasis is given to the basic parameters that characterize this system and the analysis of subsystems. The main activity of the thesis will be the overall design of the aforementioned pilot desalination plant with SolidWorks, a design software. Initially, an extensive bibliography investigation of this method is carried out, as well as of main performance indicators that characterize the process. Subsequently, the various systems which constitute the pilot system are presented. The choice of using Solidworks as the design software is justified and a three-dimensional display of the unit and its subsystems are presented. The significance of the three-dimensional design in these systems is demonstrated, as a practical tool for depicting their structure, their interconnection between the subsystems and for the actual process of unit's implementation. Furthermore, it was shown that the particular desalination technology is efficient and can have a great impact on the solution of the earth's problem of clean water shortage.

Keywords: desalination, membrane distillation, SolidWorks, design, pilot plant

Εισαγωγή

Το νερό είναι μια πολύ σημαντική ανανεώσιμη πηγή, η οποία είναι απαραίτητη από τους ανθρώπους τόσο ως πόσιμο, όσο για τη γεωργία, τη βιομηχανία και για άλλους σκοπούς. Η αύξηση του παγκόσμιου πληθυσμού και η ταχύτατη επέκταση της βιομηχανίας, είχαν ως αποτέλεσμα μια τεράστια αύξηση στη ζήτηση για καθαρό νερό. Το Παγκόσμιο Συμβούλιο Ύδατος προέβλεψε πως τα δύο τρίτα του παγκόσμιου πληθυσμού θα αντιμετωπίσουν πρόβλημα έλλειψης σε καθαρό νερό μέχρι το 2025. Όσο οι φυσικές πηγές καθαρού νερού ελαττώνονται δραματικά, θα πρέπει να βρεθούν άλλες ανανεώσιμες πηγές. Ο ωκεανός αποτελεί μια ανεξάντλητη πηγή νερού, με το κυρίως πρόβλημα όμως να έγκειται στην υψηλή αλατότητα που εμπεριέχει. Ως εκ' τούτου, η αφαλάτωση του θαλασσινού νερού, θα μπορούσε να είναι μια πολλά υποσχόμενη λύση στο τεράστιο πρόβλημα της έλλειψης σε καθαρό νερό. Επιπλέον, σε πολλές από τις άγονες ή ημιάγονες περιοχές του πλανήτη (για παράδειγμα στις χώρες της Μέσης Ανατολής), οι φυσικές πηγές καθαρού νερού σπανίζουν. Η μοναδική επιλογή για την παροχή του καθαρού νερού, είναι η διεργασία της αφαλάτωσης. Η αφαλάτωση αναφέρεται σε όποια διεργασία, η οποία διαχωρίζει και αφαιρεί το διαλυμένο αλάτι από το θαλασσινό ή υφάλμυρο νερό, παράγοντας καθαρό νερό κατάλληλο για την χρήση από τον άνθρωπο. Σύμφωνα με τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας (WHO), το ανώτατο επιτρεπόμενο όριο περιεκτικότητας σε αλάτι είναι 500 ppm. Παρ' όλα αυτά, υπάρχουν σε διάφορες περιοχές της γης πηγαία νερά με πολύ μεγαλύτερη περιεκτικότητα. Μία από τις πιο πρόσφατες και καινοτόμες διεργασίες αφαλάτωσης είναι η απόσταξη με μεμβράνες (MD). Η MD είναι μία μέθοδος διαχωρισμού που οδηγείται από τη θερμοκρασιακή διαφορά, στην οποία μόνο τα μόρια ατμού είναι δυνατό να περάσουν διαμέσου μιας πορώδους υδρόφοβης μεμβράνης (σε πλήρη αντιδιαστολή με το υγρό και τα τυχόν διαλυμένα σωματίδια όπου δεν μπορούν να διαπεράσουν).

Η παρούσα διπλωματική εργασία έχει ως αντικείμενο το σχεδιασμό πιλοτικής μονάδας αφαλάτωσης βασισμένης στην τεχνολογία απόσταξης με μεμβράνες, η οποία υλοποιείται στο Εργαστήριο Ηλιακών & άλλων Ενεργειακών Συστημάτων του ΕΚΕΦΕ “ΔΗΜΟΚΡΙΤΟΣ”. Η προσέγγιση που ακολουθήθηκε συνίσταται στην επιλογή των βασικών παραμέτρων της εγκατάστασης στη βάση μιας κριτικής αξιολόγησης της υφιστάμενης εμπειρίας και στην αξιοποίηση σύγχρονων σχεδιαστικών τεχνικών για την λεπτομερή σχεδίαση του συστήματος.

Αρχικά, στο κεφάλαιο 1 δίδεται μία εκτεταμένη βιβλιογραφική διερεύνηση της συγκεκριμένης μεθόδου αφαλάτωσης, με έμφαση στις βασικές παραμέτρους οι οποίες επηρεάζουν την απόδοση της. Στο κεφάλαιο 2 παρουσιάζεται η αρχιτεκτονική του συστήματος αφαλάτωσης, καθώς και τα επιμέρους υποσυστήματα και η μεταξύ τους διασύνδεση. Στο κεφάλαιο 3 παρουσιάζεται αναλυτικά το σχεδιαστικό πακέτο SolidWorks, τα πλεονεκτήματα που παρουσιάζει και το λόγο που επιλέχθηκε για την τρισδιάστατη σχεδίαση της μονάδας.

Στο κεφάλαιο 4 απεικονίζεται η πιλοτική μονάδα σχεδιασμένη στο συγκεκριμένο πακέτο, όπως και τα επιμέρους υποσυστήματα για την ευρύτερη και ορθότερη παρουσίαση αυτής.

Στο τελευταίο κεφάλαιο, παρουσιάζονται τα συμπεράσματα από την παρούσα διπλωματική εργασία καθώς και τα πρωτότυπα στοιχεία της συγκεκριμένης εργασίας.

Περιεχόμενα

Αντί Προλόγου.....	2
Περίληψη.....	3
Abstract	4
Εισαγωγή	5
Κεφάλαιο 1: Η απόσταξη με μεμβράνες (MD)	13
1.1. Εισαγωγή.....	13
1.2. Αρχή λειτουργίας	13
1.3. Κατηγορίες συστημάτων MD.....	14
1.3.1. Απευθείας επαφής (direct contact membrane distillation – DCMD)	14
1.3.2. Συστήματα κενού (vacuum membrane distillation – VMD)	15
1.3.3. Διάκενου αέρα (air gap membrane distillation – AGMD)	15
1.3.4. Συστήματα διαχωρισμού (sweeping gas membrane distillation – SGMD).....	16
1.4. Χαρακτηριστικά της μεμβράνης	17
1.5. Επίδραση βασικών λειτουργικών παραμέτρων	18
1.6. Πλεονεκτήματα της MD.....	19
1.7. Μειονεκτήματα της MD.....	20
1.8. Οργανική ρύπανση της μεμβράνης	20
1.9. Εφαρμογές απόσταξης με μεμβράνες.....	21
1.10. Διατάξεις μεμβράνης.....	21
1.10.1. Επίπεδη μεμβράνη.....	21
1.10.2 Μεμβράνη κοίλης ίνας	22
1.10.3. Κυλινδρική μεμβράνη	22
1.10.4. Σπειροειδής μεμβράνη.....	22
1.11. Μηχανισμός.....	23
1.11.1. Μεταφορά μάζας και θερμότητας στην απόσταξη με μεμβράνες	23
1.11.2. Ανύψωση σημείου βρασμού και επιδράσεις πόλωσης.....	24
1.11.3. Πιέσεις στο υποσύστημα μεμβράνης	25
1.11.4. Η επίδραση των μη-συμπυκνωμένων αερίων (NCGs).....	25
1.10.5. Διεργασία στην καμπύλη πίεσης ατμού	26
1.12. Χαρακτηρισμός συστημάτων αφαλάτωσης τεχνολογίας απόσταξης με μεμβράνες ..	27
1.12.1. Δεδομένα λειτουργίας	27
1.12.2. Λόγος απόδοσης - “PR”	27

1.12.3. Ειδική ενεργειακή κατανάλωση - “SEC”	28
1.12.4. Ροή ατμού ανά εμβαδό μεμβράνης - “ Ροή ” ή “ LMH ”	28
1.12.5. Συντελεστής μεταφοράς θερμότητας – “ k ”	29
Κεφάλαιο 2: Πιλοτική Μονάδα Αφαλάτωσης - Δομή του Συστήματος- Βασική Αρχιτεκτονική	30
2.1. Εισαγωγή	30
2.2. Αρχή λειτουργίας	30
2.3. Πλεονεκτήματα της V-MEMD.....	31
2.4. Επισκόπηση του πιλοτικού συστήματος	32
2.5. Αρχή λειτουργίας - διαμόρφωση του υποσυστήματος μεμβράνης	34
2.6. Λειτουργικό υποσύστημα: βαθμίδες	39
2.7. Εφαρμογές της V-MEMD	40
Κεφάλαιο 3: Σχεδιαστικό Πακέτο SolidWorks.....	42
3.1. Εισαγωγή	42
3.2. Επιλογή του σχεδιαστικού πακέτου SolidWorks	42
3.3. Σχεδιασμός υποσυστημάτων στο SolidWorks	46
3.4. Επαναξιοποίηση του σχεδιασμού και αυτοματοποίηση.....	50
3.5. 2D σχέδια	50
3.6. Επικύρωση απόδοσης σχεδιασμού με εικονικά τεστ	51
3.7. Άλλες εφαρμογές.....	52
3.8. Ανταλλαγή- έξοδος δεδομένων	52
Κεφάλαιο 4: Παρουσίαση της μονάδας και των υποσυστημάτων της.....	53
4.1. Εισαγωγή.....	53
4.2. Σχεδιασμός της μονάδας	53
4.3. Υποσύστημα μεμβράνης	53
4.4. Γενικά σημεία.....	55
4.5. Διάρθρωση στήριξης-σκελετός	56
4.6. Διάρθρωση στήριξης-σύσφιξη του υποσυστήματος μεμβράνης.....	57
4.7. Κύκλος θέρμανσης	58
4.7.1. Θερμό δοχείο B1	58
4.7.2. Αντλία- κυκλοφορητής θερμού κύκλου	60
4.7.2.1. Επιλογή της αντλίας θερμού κύκλου.....	60
4.7.3. Άλλα εξαρτήματα - όργανα.....	61
4.7.4. Απεικόνιση του συνολικού κύκλου στο SolidWorks	62

4.8. Κύκλος συμπληρώματος θερμού νερού	63
4.9. Κύκλος τροφοδοσίας.....	63
4.9.1. Δοχείο τροφοδοσίας T1	64
4.9.2. Αντλία κύκλου τροφοδοσίας.....	65
4.9.2.1. Αρχή Λειτουργίας.....	65
4.9.2.2. Υλικά κατασκευής.....	66
4.9.2.3. Πλεονεκτήματα	66
4.9.3. Δοχείο τροφοδοσίας T2.....	67
4.9.4. Άλλα εξαρτήματα – όργανα	67
4.9.5. Απεικόνιση του συνολικού κύκλου στο SolidWorks	68
4.10. Κύκλος ψύξης.....	68
4.10.1. Δοχείο ψύξης B2	69
4.10.2. Ανεμιστήρας-εναλλάκτης.....	69
4.10.3. Αντλία- κυκλοφορητής κύκλου ψύξης.....	70
4.10.4. Άλλα εξαρτήματα - όργανα.....	70
4.11. Κύκλος άλμης.....	71
4.11.4. Άλλα εξαρτήματα - όργανα.....	71
4.11.5. Απεικόνιση του συνολικού κύκλου στο SolidWorks	71
4.12. Κύκλος αποστάγματος.....	72
4.12.4. Άλλα εξαρτήματα - όργανα.....	73
4.13. Σύστημα κενού	73
4.13.1. Αντλία κενού	73
4.13.1.1. Χαρακτηριστικά της αντλίας κενού	74
4.13.1.2. Αρχή λειτουργίας.....	75
4.13.1.2. Πλεονεκτήματα	75
4.13.2. Απεικόνιση του συνολικού κύκλου στο SolidWorks	75
4.14. Όψεις της εγκατάστασης.....	76
4.15. 2D σχέδιο του υποσυστήματος μεμβράνης.....	78
Κεφάλαιο 5: Συμπεράσματα-Αποτίμηση της εργασίας.....	79
5.1. Σύνοψη της εργασίας	79
5.2. Συμπεράσματα	79
5.3. Πρωτότυπα στοιχεία της εργασίας	81
5.4. Επίλογος	82
Βιβλιογραφία.....	83

Κατάλογος Σχημάτων

Σχήμα 1: Αρχή λειτουργίας απόσταξης με μεμβράνες.....	13
Σχήμα 2: (α) Σχηματική διάταξη συστήματος MD, (β) – Σχηματικό διάγραμμα MD με ανάκτηση.....	14
Σχήμα 3: MD απευθείας επαφής (Abdullah Alkudhiri et al., 2012).....	15
Σχήμα 4: MD συστήματος κενού (Abdullah Alkudhiri et al., 2012).....	15
Σχήμα 5: MD διάκενου αέρα (Abdullah Alkudhiri et al., 2012).....	16
Σχήμα 6: MD συστήματος διαχωρισμού (Abdullah Alkudhiri et al., 2012).....	17
Σχήμα 7: Συγκέντρωση πόλωσης – προφίλ θερμοκρασίας διαμέσου μιας βαθμίδας (Technical Description of Memsys Technology, 2013).....	24
Σχήμα 8: Διάγραμμα θερμοκρασίας- πίεσης υγρού- ατμού.....	26
Σχήμα 9: Ενεργειακή ισορροπία του συστήματος.....	28
Σχήμα 10: Διεργασία της V-MEMD.....	31
Σχήμα 11: Υψηλό ποσοστό ανάκτησης κοντά στο σημείο κορεσμού.....	32
Σχήμα 12: Συνολικό–εποπτικό σχέδιο πιλοτικής μονάδας.....	33
Σχήμα 13: Υποσύστημα μεμβράνης –πλάγια όψη.....	33
Σχήμα 14: Δοχεία- κάτοψη.....	34
Σχήμα 15: Σχήμα: κάτοψη αντλιών.....	34
Σχήμα 16: Ροές εισόδου και εξόδου στο κανάλι εξάτμισης, στη βαθμίδα και στο συμπυκνωτή. (Control & Operation Manual, 2013).....	35
Σχήμα 17: Εσωτερικό μέρος- συναρμολόγηση υποσυστήματος μεμβράνης.....	36
Σχήμα 18: Διαπέραση ατμού μέσα στο πλαίσιο.....	36
Σχήμα 19: Απεικόνιση του πλαισίου.....	37
Σχήμα 20: Ροή τροφοδοσίας, άλμης και ατμού στη βαθμίδα (Zhao K. Et al., 2013).....	38
Σχήμα 21: Σημειογραφία αισθητήρων (Technical Description of Memsys Technology, 2013).....	39
Σχήμα 22: Κάτοψη υποσυστήματος μεμβράνης, για την ανάδειξη των θέσεων των αισθητήρων (Technical Description of Memsys Technology, 2013).....	39
Σχήμα 23: Λειτουργικό σύστημα βαθμίδας (μία βαθμίδα και πολυβάθμιο σύστημα) (Thermal Water Treatment 2.0, 2013).....	40
Σχήμα 24: Φωτορεαλιστική απόδοση ποδηλάτου σχεδιασμένου στο SolidWorks (SolidWorks Datasheet, 2014).....	44
Σχήμα 25: Προσομοίωση στο σχεδιαστικό πακέτο SolidWorks (SolidWorks Datasheet, 2014).....	45
Σχήμα 26: Σχεδιαστικό πακέτο SolidWorks- εντολή Part.....	46
Σχήμα 27: Σχεδιαστικό πακέτο SolidWorks- εντολή Sketch.....	47
Σχήμα 28: Σχεδιαστικό πακέτο SolidWorks- εντολή Sketch 2.....	47
Σχήμα 29: Σχεδιαστικό πακέτο SolidWorks- διαστασιολόγηση Part.....	48
Σχήμα 30: Σχεδιαστικό πακέτο SolidWorks- εντολή Extruded Boss/Base.....	48
Σχήμα 31: Σχεδιαστικό πακέτο SolidWorks- ολοκληρωμένο Part.....	49
Σχήμα 32: Ολοκληρωμένο υποσύστημα Μεμβράνης, όπως σχεδιάστηκε στο SolidWorks ...	49
Σχήμα 33: Επίσπευση σχεδιασμού στο SolidWorks και μείωση σφαλμάτων κατασκευής (SolidWorks Datasheet, 2014).....	50

Σχήμα 34: Σχεδιαστικό πακέτο SolidWorks- πίνακας υλικών	51
Σχήμα 35: Ισομετρική όψη της πιλοτικής μονάδας με το PhotoView 360	54
Σχήμα 36: Ισομετρική όψη του υποσυστήματος μεμβράνης με το PhotoView 360	54
Σχήμα 37: Ισομετρική όψη του πλαισίου με την μεμβράνη με το PhotoView 360	55
Σχήμα 38: Σήμανση γενικών σημείων (Design rules memsys 4-6.4 unit, 2014)	56
Σχήμα 39: Διάρθρωση στήριξης–σκελετός (Design rules memsys 4-6.4 unit, 2014).....	56
Σχήμα 40: Όψη του υποσυστήματος μεμβράνης με το PhotoView 360	57
Σχήμα 41: Διάρθρωση σύσφιξης υποσυστήματος μεμβράνης.....	57
Σχήμα 42: Ισομετρική όψη της διάρθρωσης σύσφιξης με το PhotoView 360.....	58
Σχήμα 43: Κύκλος θέρμανσης - εποπτικό σχέδιο	59
Σχήμα 44: Ισομετρική όψη του θερμού δοχείου με το PhotoView 360.....	59
Σχήμα 45: Ισομετρική όψη της αντλίας θερμού κύκλου με το PhotoView 360.....	60
Σχήμα 46: Ισομετρική όψη της βαλβίδας αποστράγγισης με το PhotoView 360	61
Σχήμα 47: Ισομετρική όψη του Ροόμετρου με το PhotoView 360	61
Σχήμα 48: Ισομετρική όψη της Βαλβίδας Σφαίρας με το PhotoView 360	62
Σχήμα 49: Όψη του θερμού κύκλου με το Photoview 360	62
Σχήμα 50: Κύκλος συμπληρώματος θερμού νερού - εποπτικό σχέδιο	63
Σχήμα 51: Κύκλος τροφοδοσίας - εποπτικό σχέδιο	64
Σχήμα 52: Ισομετρική όψη του δοχείου τροφοδοσίας με το PhotoView 360.....	64
Σχήμα 53: Ισομετρική όψη της αντλίας τροφοδοσίας με το PhotoView 360	65
Σχήμα 54: Αρχή λειτουργίας της αντλίας τροφοδοσίας.....	66
Σχήμα 55: Υλικά κατασκευής της αντλίας τροφοδοσίας	66
Σχήμα 56: Ισομετρική όψη του δεύτερου δοχείου τροφοδοσίας με το PhotoView 360	67
Σχήμα 57: Ισομετρική όψη της ηλεκτροβάνας με το PhotoView 360	68
Σχήμα 58: Όψη του κύκλου τροφοδοσίας με το Photoview 360	68
Σχήμα 59 : Ισομετρική όψη του δοχείου ψύξης με το PhotoView 360.....	69
Σχήμα 60: Ισομετρική όψη του ανεμιστήρα-εναλλάκτη με το PhotoView 360.....	70
Σχήμα 61: Κύκλος άλμης - εποπτικό σχέδιο	71
Σχήμα 62: Όψη του κύκλου ψύξης με το Photoview 360	72
Σχήμα 63: Κύκλος αποστάγματος - εποπτικό σχέδιο.....	72
Σχήμα 64: Σύστημα κενού - εποπτικό σχέδιο	73
Σχήμα 65: Ισομετρική όψη της αντλίας κενού με το PhotoView 360.....	74
Σχήμα 66: Διάγραμμα χωρητικότητας ροής- κενού για την αντλία κενού.....	74
Σχήμα 67: Όψη του συστήματος κενού με το Photoview 360	76
Σχήμα 68: Πλάγια όψη της πιλοτικής μονάδας με το PhotoView 360.....	76
Σχήμα 69: Κάτοψη της πιλοτικής μονάδας με το PhotoView 360.....	77
Σχήμα 70: Όψη της πιλοτικής μονάδας με το PhotoView 360.....	77
Σχήμα 71: Όψη της πιλοτικής μονάδας με το PhotoView 360	78
Σχήμα 72: 2D σχέδιο του υποσυστήματος μεμβράνης.....	78

Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 1: Επιφανειακή ενέργεια για ορισμένα υλικά μεμβρανών.....	18
Πίνακας 2: Αποτελέσματα διαφόρων μελετών	18
Πίνακας 3: Εφαρμογές απόσταξης με μεμβράνες (Abdullah Alkudhiri et al., 2012)	21
Πίνακας 4: Ορολογία του υποσυστήματος μεμβράνης	35

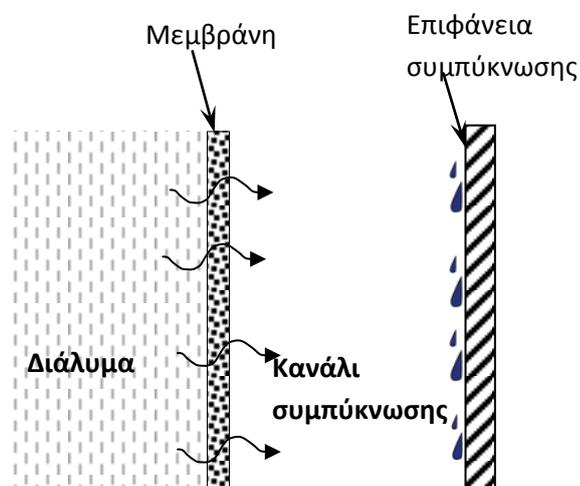
Κεφάλαιο 1: Η απόσταξη με μεμβράνες (MD)

1.1. Εισαγωγή

Στην παρούσα ενότητα παρουσιάζονται οι βασικές προσεγγίσεις οι οποίες συναντώνται στη βιβλιογραφία για την αφαλάτωση με την τεχνολογία απόσταξης με μεμβράνες.

1.2. Αρχή λειτουργίας

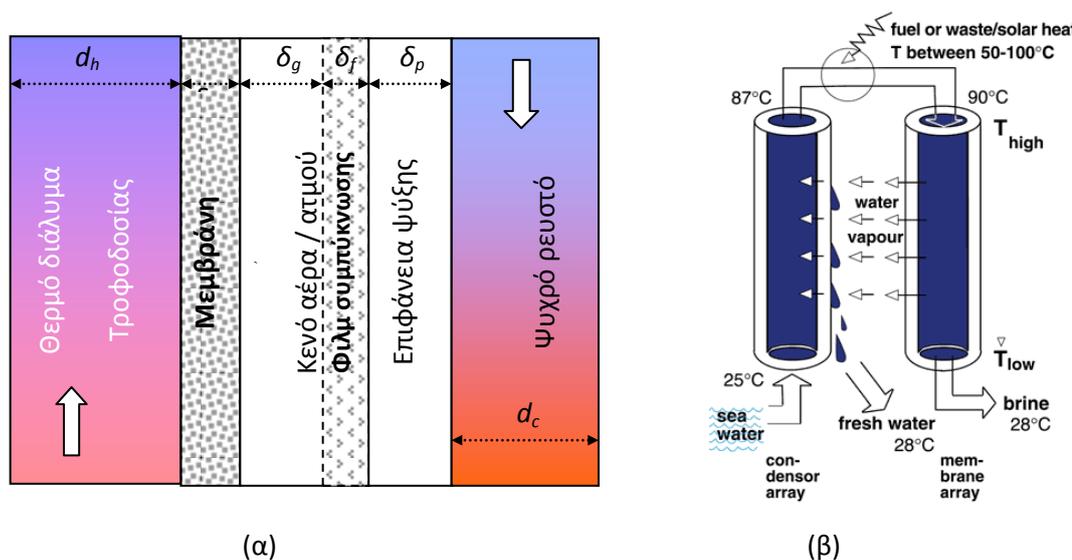
Η απόσταξη με μεμβράνη (Membrane Distillation, MD) είναι μια πολλά υποσχόμενη τεχνολογία για την αφαλάτωση αλμυρών και υφάλμυρων νερών παρότι είναι η πλέον πρόσφατη σε εμφάνιση. Είχαμε την πρώτο-εμφάνιση της στα τέλη της δεκαετίας του '60, όμως το υψηλό κόστος και τα διάφορα προβλήματα καταλληλότητας εμπόδισαν αρχικά την ανάπτυξη εμπορικών προϊόντων, παρότι υπήρχε έντονο ενδιαφέρον για χρήση στην αφαλάτωση. Η συγκεκριμένη διεργασία χρησιμοποιήθηκε παλαιότερα και χρησιμοποιείται ακόμα και σε άλλες εφαρμογές οι οποίες σχετίζονται με την αφαίρεση νερού από οργανικούς διαλύτες, την αφύγρανση αλκοόλης και γενικότερα το διαχωρισμό ουσιών από διαλύματα (π.χ. οργανικών και βαριών μετάλλων από υδατικά διαλύματα). Η MD είναι μία μέθοδος διαχωρισμού που οδηγείται από τη θερμοκρασιακή διαφορά, στην οποία μόνο τα μόρια ατμού είναι δυνατό να περάσουν διαμέσου μιας πορώδους υδρόφοβης μεμβράνης (σε πλήρη αντιδιαστολή με το υγρό και τα τυχόν διαλυμένα σωματίδια τα οποία δεν μπορούν να διαπεράσουν). Υπάρχει ένα διάλυμα τροφοδοσίας, το οποίο έρχεται σε επαφή με τη μία επιφάνεια μιας κατάλληλα επιλεγμένης μεμβράνης και τον χώρο που βρίσκεται στην άλλη πλευρά της ίδια μεμβράνης (το ονομάζουμε κανάλι συμπύκνωσης-Σχήμα 1). Αυτή η θερμοκρασιακή διαφορά, έχει ως αποτέλεσμα μια διαφορά πίεσης ατμών και ως εκ' τούτου, την μεταφορά του παραγόμενου ατμού διαμέσου της μεμβράνης στην άλλη πλευρά, όπου λαμβάνει χώρα και η συμπύκνωση στην επιφάνεια συμπύκνωσης.



Σχήμα 1: Αρχή λειτουργίας απόσταξης με μεμβράνες

Η διεργασία MD ειδικότερα πραγματοποιείται σε ατμοσφαιρική πίεση και σε θερμοκρασία όχι μεγαλύτερη από 80°C, με μόνη ενεργειακή απαίτηση την τροφοδοσία σε θερμότητα. Παρά το ότι υπάρχουν πολλές εναλλακτικές διευθετήσεις, οι χρησιμοποιούμενες εγκαταστάσεις έχουν τη γενική μορφή του σχήματος 2.

Το θερμό αλμυρό διάλυμα ρέει σε απευθείας επαφή με μια υδρόφοβη πορώδη μεμβράνη, ενώ μια ψυχρή ροή διαβρέχει την άλλη πλευρά της. Η διαφορά θερμοκρασίας είναι η αιτία της διαφοράς πίεσης ατμών ανάμεσα στις δύο πλευρές, με αποτέλεσμα τη μετακίνηση ατμών από τη θερμή στην ψυχρή πλευρά και τη συμπύκνωση τους στην ψυχρή επιφάνεια.



Σχήμα 2: (α) Σχηματική διάταξη συστήματος MD, (β) – Σχηματικό διάγραμμα MD με ανάκτηση

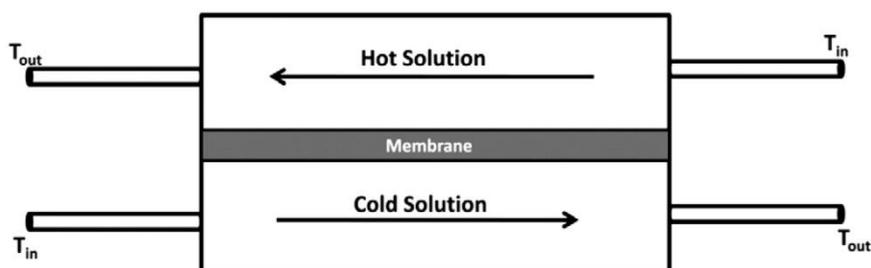
1.3. Κατηγορίες συστημάτων MD

Τα συστήματα MD μπορούν να καταταγούν σε 4 κατηγορίες, ανάλογα με τη διαμόρφωση της ψυχρής πλευράς:

1.3.1. Απευθείας επαφής (direct contact membrane distillation – DCMD)

Σε αυτή τη διαμόρφωση (Σχήμα 3), το θερμό διάλυμα τροφοδοσίας βρίσκεται σε απευθείας επαφή με τη θερμή πλευρά της επιφάνειας της μεμβράνης. Η εξάτμιση λαμβάνει χώρα στη διεπιφάνεια τροφοδοσίας-μεμβράνης. Ο σχηματιζόμενος ατμός μετακινείται λόγω της διαφοράς πίεσης ατμών, καθ' όλη την έκταση της μεμβράνης στην πλευρά διαπέρασης, όπου λαμβάνει χώρα η συμπύκνωση μέσα στο υποσύστημα της μεμβράνης. Εξαιτίας των υδροφοβικών δυνάμεων, το διάλυμα τροφοδοσίας δεν μπορεί να διεισδύσει στη μεμβράνη (υπάρχει μόνο ατμός μέσα στους πόρους της μεμβράνης). Η DCMD είναι η απλούστερη διαμόρφωση MD, ενώ παράλληλα είναι

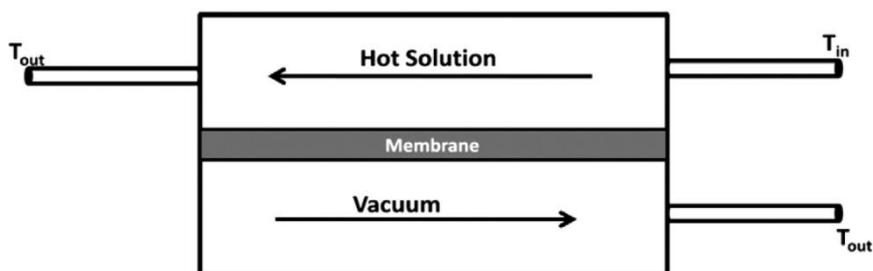
ευρέως χρησιμοποιούμενη σε διαδικασίες αφαλάτωσης και συγκέντρωσης υδατικών διαλυμάτων σε βιομηχανίες τροφίμων (V.D. Alves and I.M. Coelho 2006, S. Gunko, et al. 2006, M.P. Godino, et al. 1997, S.T. Hsu et al. 2002, V. Calabro et al. 1994) ή παραγωγής οξέων (M. Tomaszewska, M. Gryta and A.W. Morawski, 1995). Το κύριο μειονέκτημα αυτής της διαμόρφωσης είναι η απώλεια θερμότητας από αγωγή.



Σχήμα 3: MD απευθείας επαφής (Abdullah Alkhudhiri et al., 2012)

1.3.2. Συστήματα κενού (vacuum membrane distillation – VMD)

Στην διαμόρφωση συστημάτων κενού, χρησιμοποιείται μία αντλία για να δημιουργήσει κενό στην πλευρά διαπέρασης (Σχήμα 4). Η συμπύκνωση λαμβάνει χώρα έξω από το υποσύστημα της μεμβράνης. Η απώλεια θερμότητας είναι αμελητέα, το οποίο αποτελεί ένα εξαιρετικό πλεονέκτημα. Ο συγκεκριμένος τύπος MD, χρησιμοποιείται για να διαχωρίσει υδατικά πτητικά διαλύματα.

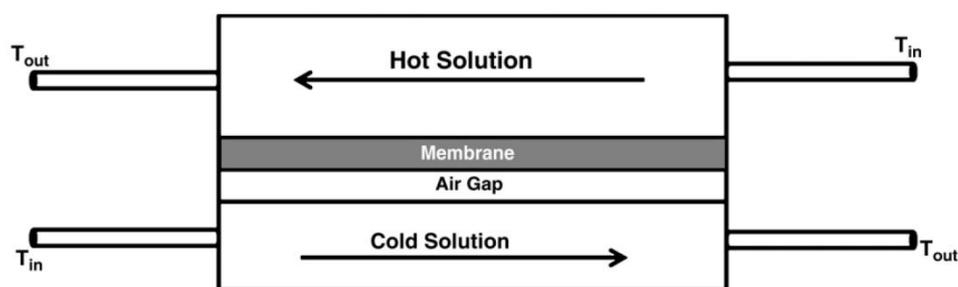


Σχήμα 4: MD συστήματος κενού (Abdullah Alkhudhiri et al., 2012)

1.3.3. Διάκενου αέρα (air gap membrane distillation – AGMD)

Το διάλυμα τροφοδοσίας βρίσκεται σε απευθείας επαφή μόνο με την θερμή πλευρά της επιφάνειας της μεμβράνης. Στάσιμος αέρας υπάρχει μεταξύ της μεμβράνης και της επιφάνειας συμπύκνωσης (Σχήμα 5). Ο ατμός διαπερνάει το διάκενο του αέρα, ώστε να συμπυκνωθεί πάνω από την ψυχρή επιφάνεια μέσα στο

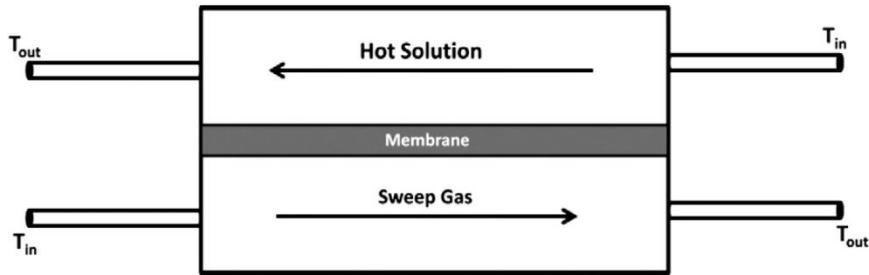
κελί της μεμβράνης. Το πλεονέκτημα αυτής της διαμόρφωσης είναι η μειωμένη απώλεια θερμότητας από αγωγή. Απεναντίας, δημιουργείται επιπλέον αντίσταση στη μεταφορά μάζας, κάτι το οποίο θεωρείται ένα σημαντικό μειονέκτημα. Αυτή η διαμόρφωση είναι ιδανική για αφαλάτωση (F.A. Banat, J. Simandl 1998, J. Walton, et al. 2004) αλλά και για την αφαίρεση πτητικών συστατικών από υδατικά διαλύματα. (M.C. García-Payo et al. 2000, S. Kimura et al. 1987, F.A. Banat, J. Simandl 1999)



Σχήμα 5: MD διάκενου αέρα (Abdullah Alkudhiri et al., 2012)

1.3.4. Συστήματα διαχωρισμού (sweeping gas membrane distillation – SGMD)

Στην απόσταξη σάρωσης αερίου με μεμβράνες (SGMD- Σχήμα 6), αδρανές αέριο χρησιμοποιείται για να συμπαρασύρει ατμό στην πλευρά διαπέρασης της μεμβράνης, έτσι ώστε να καταφέρει να συμπυκνωθεί εκτός του υποσυστήματος της μεμβράνης. Υπάρχει ένα διάκενο αερίου, όπως και στην AGMD, όπου μειώνει την απώλεια θερμότητας, αλλά αυτό δεν είναι σταθερό. Έτσι, ενισχύεται ο συντελεστής μεταφοράς μάζας. Η διαμόρφωση αυτή είναι χρήσιμη για την απομάκρυνση των πτητικών ενώσεων από υδατικά διαλύματα (J. Walton, et al, 2004). Το κύριο μειονέκτημα αυτής της διάταξης είναι ότι ένας μικρός όγκος του παραγόμενου ατμού διαχέεται σε έναν μεγάλο όγκο αερίου σαρώσεως, κάτι το οποίο απαιτεί ένα μεγάλο συμπυκνωτή. Αξίζει να σημειωθεί ότι η AGMD και η SGMD μπορούν να συνδυαστούν σε μία διεργασία, η οποία ονομάζεται θερμοστατικό σύστημα διαχωρισμού απόσταξης με μεμβράνες (TSGMD). Το αδρανές αέριο στην περίπτωση αυτή, διέρχεται διαμέσου του διάκενου μεταξύ της μεμβράνης και της επιφάνειας συμπυκνώσεως. Μέρος του ατμού συμπυκνώνεται πάνω από την επιφάνεια συμπύκνωσης (AGMD) και το υπόλοιπο συμπυκνώνεται εκτός της μεμβράνης από τον εξωτερικό συμπυκνωτή (SGMD). (M. Khayet 2011, M.C. García-Payo, et al. 2002)



Σχήμα 6: MD συστήματος διαχωρισμού (Abdullah Alkhudhiri et al., 2012)

1.4. Χαρακτηριστικά της μεμβράνης

Στη διεργασία της MD χρησιμοποιούνται υδρόφοβες μεμβράνες (μη διαβρεχόμενες). Σε γενικές γραμμές, η μεμβράνη που χρησιμοποιούμε σε σύστημα MD θα πρέπει να έχει (Abdullah Alkhudhiri et al., 2012):

- λεπτό πάχος, δεδομένου ότι η διαπερνούσα ροή είναι αντιστρόφως ανάλογη του πάχους της μεμβράνης
- αμελητέα διαπερατότητα στην υγρή φάση
- υψηλή διαπερατότητα στην αέρια φάση
- μακρόχρονη αντοχή στην επαφή με το θαλασσινό νερό
- μη διαβροχή, ώστε το διάλυμα να μην «φράζει» τους πόρους
- επαρκές πορώδες (περίπου 70-80%)
- χαμηλή αντίσταση στη μεταφορά μάζας
- χαμηλή θερμική αγωγιμότητα, για την πρόληψη της απώλειας θερμότητας καθ' όλο το μήκος της μεμβράνης
- καλή θερμική σταθερότητα σε ακραίες θερμοκρασίες
- αντίσταση σε χημικά, όπως οξέα και βάσεις

Προκύπτει ότι απαιτείται λογικά μικρό μέγεθος πόρων της τάξης των μm, μεγάλη επιφανειακή τάση, και χαμηλή επιφανειακή ενέργεια του υλικού της μεμβράνης. Οι τιμές για την επιφανειακή ενέργεια για ορισμένα υλικά μεμβρανών φαίνονται στον Πίνακα 1.

Υλικά που έχουν χρησιμοποιηθεί από ερευνητές έως τώρα είναι:

- polytetra-fluoroethylene (PTFE)
- polyvinylidene fluoride (PVDF)
- polyethylene (PE)
- polypropylene (PP)

Πίνακας 1: Επιφανειακή ενέργεια για ορισμένα υλικά μεμβρανών

Υλικό μεμβρανών	Επιφανειακή Ενέργεια (kJ/m)
PTFE	9.1
PP	30.0
PVDF	30.3
PE	33.2

Τυπικά μεγέθη για το πορώδες είναι από 0.06 έως 0.85, για το μέγεθος των πόρων από 0.2 έως 1.0 μm και για το πάχος από 0.06 έως 0.25 mm. Τυπικές τιμές για τη θερμική αγωγιμότητα είναι 0.15-0.20 $\text{Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$ για το PP, 0.22-0.45 $\text{Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$ για τα PVDF και PTFE.

1.5. Επίδραση βασικών λειτουργικών παραμέτρων

Οι βασικές λειτουργικές παράμετροι της MD είναι η θερμοκρασία T_{hi} του θερμού αλμυρού διαλύματος τροφοδοσίας, η παροχή m_h του διαλύματος τροφοδοσίας, το πάχος του διάκενου αέρα/ατμού δ_g και η παροχή m_c του ψυχρού ρευστού ή η ταχύτητα διαχωρισμού u_{ci} στην περίπτωση της SGMD. Για τις επιδράσεις αυτών έχουμε:

Πίνακας 2: Αποτελέσματα διαφόρων μελετών

Reference	MD configuration	T_{hi} °C	T_{co} °C	$(T_{hi}-T_{co})$, °C	w_{hi}	δ_g , mm	Flow rate, l/min	J , kg/m ² h	K_{sp} , J/m ² sK
Hsu et al.	DCMD	45	20	25	0.030	0	3.3	40	1070
Drioli et al.	DCMD	50	20	30	0.0058	0	N/A	5	111
Martinez and Florido	DCMD	50	14	36	0.058	0	1.2	28	519
Kurokawa and Sawa	DCMD	90	50	40	N/A	0	0.31	4.6	77
Lawson and Lloyd	DCMD	75	20	55	0.035	0	3.78	129	1560
Ugrozov et al.	DCMD	70	10	60	0	0	4.17	17	189
Ohta et al.	DCMD	60	25	35	0	0	0.06 m/s	2.8	53
Banat	AGMD	90	7	82	0.001	8	4.5	26	211
Hsu et al.	AGMD	45	20	25	0.03	5	3.3	5	133
Liu et al.	AGMD	75	20	55	0.003	4	3.8	28	339
Guijit et al.	AGMD	90	65	25	0	4	0.02	7	187
Khayet et al.	SGMD	50	20	30	0	N/A	0.21 m/s	21	467

- ♣ Επίδραση της θερμοκρασίας του αλμυρού διαλύματος τροφοδοσίας: πολλές μελέτες έδειξαν τη σημασία της παραμέτρου αυτής, οφειλόμενη βασικά στην εκθετική αύξηση της πίεσης ατμών με τη θερμοκρασία.
- ♣ Επίδραση της θερμοκρασίας του ρευστού ψύξης: η επίδραση αυτή, αν και παραμένει σημαντική, είναι δύο φορές μικρότερη από την προαναφερθείσα.
- ♣ Επίδραση της παροχής του διαλύματος τροφοδοσίας: η απόδοση της MD αυξάνει με την αύξηση της παροχής (2-3 φορές μικρότερη από την επίδραση της θερμοκρασίας τροφοδοσίας), τουλάχιστον μέχρι μια μέγιστη τιμή στην οποία σταθεροποιείται.
- ♣ Επίδραση της παροχής του ρευστού ψύξης: μικρότερη από όλες τις προαναφερθείσες.
- ♣ Επίδραση του πάχους του διάκενου αέρα/ατμού: η απόδοση αυξάνει με τη μείωση του πάχους, ειδικότερα για πάχη μικρότερα από 1mm.
- ♣ Επίδραση του ρεύματος διαχωρισμού: η ταχύτητά του συνιστά κρίσιμη παράμετρο, ενώ αυξητική επίδραση έχει και η υγρασία του αέρα, αντίθετα με τη θερμοκρασία του που πρέπει να είναι χαμηλή.

1.6. Πλεονεκτήματα της MD

Η συγκεκριμένη μέθοδος έχει πολλά ελκυστικά χαρακτηριστικά, όπως τις χαμηλές θερμοκρασίες λειτουργίας σε σύγκριση με αυτές που συναντάμε στις συμβατικές διεργασίες (Abdullah Alkhudhiri et al., 2012). Έτσι, το διάλυμα τροφοδοσίας δεν είναι απαραίτητο να θερμανθεί μέχρι το σημείο βρασμού. Επιπλέον, η υδροστατική πίεση που προκύπτει στην MD είναι χαμηλότερη από αυτή που συναντάμε στις διεργασίες οδήγησης ατμού, όπως η αντίστροφη όσμωση (RO). Εξάλλου, αναμένεται να είναι οικονομικά αποδοτικότερη μέθοδος, κάτι το οποίο σημαίνει λιγότερο απαιτητικά χαρακτηριστικά της μεμβράνης. Αντίστοιχα, φθηνότερα υλικά μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε αυτή, όπως πλαστικά για παράδειγμα, με τα οποία δεν υφίσταται προβλήματα διάβρωσης. Σύμφωνα με την αρχή ισορροπίας υγρού-ατμού, η διαδικασία MD έχει υψηλό δείκτη απόρριψης. Στην πραγματικότητα, θεωρητικά, λαμβάνει χώρα πλήρης διαχωρισμός (αλατιού – καθαρού νερού). Επιπλέον, το μέγεθος των πόρων που χρειάζεται για την MD είναι σχετικά μεγαλύτερο από αυτό των άλλων μεθόδων διαχωρισμού μεμβράνης, όπως η RO (αντίστροφη όσμωση). Η MD υποφέρει λιγότερο από το πρόβλημα της οργανικής ρύπανσης της μεμβράνης. Ένα σημαντικό πλεονέκτημα της συγκεκριμένης μεθόδου είναι πως μπορεί να συνδυάζεται με άλλες μεθόδους διαχωρισμού, όπως η υπέρ-διήθηση- UF (M. Gryta, 2001) ή η αντίστροφη όσμωση- RO (A. Criscuoli, E. Drioli, 1999), ώστε να συγκροτείται ένα ολοκληρωμένο σύστημα. Τέλος το μεγαλύτερο πλεονέκτημα, κάτι στο οποίο θα πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη βάση στο μέλλον, είναι πως η MD έχει την ικανότητα να χρησιμοποιεί εναλλακτικές πηγές ενέργειας, όπως η ηλιακή ενέργεια (H. Kurokawa, T. Sawa 1996, J. Blanco Gálvez et al. 2009) ή η απορριπτόμενη θερμότητα από μεγάλες εγκαταστάσεις (π.χ. δυλιστήρια).

1.7. Μειονεκτήματα της MD

Η MD ως διεργασία έχει κάποια μειονεκτήματα, όπως η χαμηλή ροή διήθησης (συγκριτικά με άλλες διαδικασίες διαχωρισμού, όπως η RO), η υψηλή ευαισθησία ροής διήθησης στην συγκέντρωση και στη θερμοκρασία (των συνθηκών τροφοδοσίας) λόγω του φαινομένου πόλωσης συγκέντρωσης και θερμοκρασίας (Abdullah Alkhudhiri et al., 2012). Επίσης, ο παγιδευμένος αέρας ανάμεσα στη μεμβράνη δημιουργεί επιπρόσθετη αντίσταση μεταφοράς μάζας, η οποία μειώνει την διαπερνούσα ροή, ενώ η απώλεια θερμότητας από αγωγή είναι αρκετά υψηλή. Τέλος, το μεγαλύτερο μειονέκτημα της συγκεκριμένης μεθόδου είναι η σχετικά υψηλή κατανάλωση ενέργειας, η οποία όμως μπορεί να μειωθεί τοποθετώντας την αφαλάτωση σε εγκαταστάσεις όπου απορρίπτεται θερμότητα, ώστε αυτή να αποτελέσει την αναγκαία θερμική ενέργεια.

1.8. Οργανική ρύπανση της μεμβράνης

Με την έννοια οργανική ρύπανση εννοείται η επικάλυψη σωματιδίων, κολλοειδών, γαλακτωμάτων, αιωρημάτων και μακρομορίων πάνω ή στο εσωτερικό της μεμβράνης, με αρνητικές επιπτώσεις στη διαπερατότητά της.

Το κύριο πρόβλημα στην περίπτωση της MD δεν είναι τόσο ο σχηματισμός ενός στρώματος επικαθίσεων το οποίο μπλοκάρει τους πόρους, αλλά η απώλεια του υδρόφοβου χαρακτήρα της μεμβράνης, με αποτέλεσμα την είσοδο νερού σε αυτούς. Αυτό εξάλλου μπορεί να προκαλέσει μια πτώση πίεσης και υψηλότερο αποτέλεσμα θερμοκρασιακής πόλωσης. Επιπλέον, επιπρόσθετη θερμική αντίσταση δημιουργείται από το στρώμα της ρύπανσης, το οποίο επικάθεται στην επιφάνεια της μεμβράνης. Παράλληλα, από τη φύση της διεργασίας (αλμυρό νερό σε υψηλή θερμοκρασία) προκύπτουν τα γνωστά προβλήματα επικαθίσεων αλάτων. Υπάρχουν όμως σήμερα στην αγορά προϊόντα, οι κατασκευαστές των οποίων ισχυρίζονται ότι η οργανική ρύπανση δεν συνιστά σοβαρό πρόβλημα και ότι δεν απαιτείται χημική προκατεργασία του διαλύματος τροφοδοσίας.

Οι Lawson and Lloyd (1997) ισχυρίζονται ότι η οργανική ρύπανση της μεμβράνης είναι λιγότερο σημαντική στην περίπτωση της MD από αυτή της RO ή της UF (συμβατικές διαδικασίες διαχωρισμού μεμβράνης), λόγω του μεγαλύτερου μεγέθους των πόρων (μικρότεροι από 2 nm αντί για πόρους της τάξης του μm στην MD). Παρόλα αυτά, η οργανική ρύπανση της μεμβράνης παραμένει ένα πρόβλημα, όπως διαπιστώθηκε και από τις σχετικές μετρήσεις (Drioli and Wu, 1985), το οποίο επιβάλλει τη χρήση κατάλληλων λύσεων.

Σήμερα, η προ-κατεργασία και ο καθαρισμός της μεμβράνης είναι οι κύριες τεχνικές για τον έλεγχο της ρύπανσης. Οι Alklaibi and Lior (2005) διερεύνησαν την επίδραση της ρύπανσης μέσω τριών διαλυμάτων: προ-κατεργασία του νερού με μικροδιήθηση, θαλασσινό νερό και υδατικό διάλυμα με 3% NaCl. Συμπέραναν πως

η προ-κατεργασία του νερού αύξησε κατά 25% τη ροή του προϊόντος, κάτι το οποίο καταδεικνύει πως η διαδικασία της προ-κατεργασίας είναι πολύ σημαντική προκειμένου να ενισχυθεί η διαπερνούσα ροή. Ο Gryta (2008) πρότεινε πως η ένταση της ρύπανσης μπορεί να μειωθεί με τη λειτουργία σε χαμηλές θερμοκρασίες (θερμοκρασία τροφοδοσίας), όπως επίσης αυξάνοντας το ποσοστό ροής τροφοδοσίας.

1.9. Εφαρμογές απόσταξης με μεμβράνες

Η απόσταξη με μεμβράνες, έχει πολλές εφαρμογές. Στον πίνακα 3 (Abdullah Alkudhiri et al., 2012) αποτυπώνονται μερικές από τις εφαρμογές όπως η παραγωγή νερού, η αφαίρεση βαριών μετάλλων και οι βιομηχανίες τροφίμων. Οι περισσότερες από τις εφαρμογές MD είναι σε πειραματικό ή σε μικρό πιλοτικό στάδιο. Υπάρχουν μερικά πιλοτικά συστήματα τα οποία πρόσφατα αναπτύχθηκαν, ώστε να παράγουν καθαρό νερό.

Πίνακας 3: Εφαρμογές απόσταξης με μεμβράνες (Abdullah Alkudhiri et al., 2012)

MD process	Membrane type	Thickness (μm)	Pore size (μm)	Feed solution
DCMD	TF200	178	0.2	Pure water and humic acid
	PVDF	125	0.22	
DCMD	PVDF	125	-	Humic acid/NaCl
DCMD	PVDF	126	0.22	Pure water, NaCl, brackish and seawater
DCMD	PVDF	-	0.45	Apple juice
DCMD	PTFE	175	0.2	Seawater and NaCl
AGMD			0.5	
DCMD	PTFE	60	0.1	Pure water
	PTFE	60	0.3	
	PVDF	100	0.2	
DCMD	PVDF	-	0.4	Pure water, NaCl and sugar
DCMD	PTFE	55	0.198	Olive mill wastewaters
DCMD	PVDF	140	0.11	Orange juice
DCMD	PVDF	120	0.22	Pure water, NaCl
		125	0.2	
DCMD	PVDF	125	0.22	Pure water and humic acid
DCMD	Not mentioned	120	0.25	Heavy metals waste
DCMD	PTFE	55	0.8	Pure water, NaCl, bovine plasma and bovine blood
		90		
AGMD	PTFE	-	0.2	LiBr and H ₂ SO ₄
AGMD	PTFE	80	0.2	NaCl, H ₂ SO ₄ , NaOH, HCl and HNO ₃
VMD	PTFE	-	0.2	Acetone, ethanol, isopropanol and MTBE
VMD	PTFE	60	0.2	Pure water, ethanol and degassing water
VMD	3MC	76	0.51	Pure water and ethanol
	3 MB	81	0.4	
	3MA	91	0.29	
SGMD	PTFE	178	0.2	NaCl
	PTFE	178	0.45	

1.10. Διατάξεις μεμβράνης

1.10.1. Επίπεδη μεμβράνη

Η μεμβράνη και τα δίκτυα διαχωρισμού τοποθετούνται μαζί ανάμεσα σε δύο πλάκες (επίπεδα φύλλα). Η επίπεδη σε φύλλο μεμβράνη είναι ευρέως

χρησιμοποιούμενη σε εργαστηριακό επίπεδο, καθώς είναι εύκολος ο καθαρισμός και η αντικατάσταση της. Ωστόσο, η πυκνότητα στοιβάγματος, δηλαδή ο λόγος της επιφάνειας της μεμβράνης προς τον όγκο στοιβάγματος, είναι χαμηλή και η μεμβράνη χρειάζεται συντήρηση. Ο πίνακας 3 αποτυπώνει μερικά χαρακτηριστικά για τις επίπεδες μεμβράνες, οι οποίες χρησιμοποιούνται από κάποιους ερευνητές. Όπως φαίνεται, η επίπεδη μεμβράνη χρησιμοποιείται ευρέως σε εφαρμογές MD, όπως η αφαλάτωση και η επεξεργασία νερού.

1.10.2 Μεμβράνη κοίλης ίνας

Η διάταξη μεμβράνης κοίλης ίνας, η οποία χρησιμοποιείται σε εφαρμογές MD, αποτελείται από χιλιάδες κοίλες ίνες τυλιγμένες και επισφραγισμένες σε ένα σωλήνα τύπου κελύφους. Το διάλυμα τροφοδοσίας ρέει διαμέσου της κοίλης ίνας και το διήθημα συλλέγεται στο εξωτερικό μέρος της (εσωτερικά-εξωτερικά) (E. Curcio, E. Drioli, 2005), ή αλλιώς το διάλυμα τροφοδοσίας ρέει στην εξωτερική πλευρά της κοίλης ίνας και το διήθημα συλλέγεται στο εσωτερικό της (εξωτερικά-εσωτερικά). Τα κύρια πλεονεκτήματα της διαμόρφωσης κοίλης ίνας είναι η υψηλή πυκνότητα στοιβάγματος και η χαμηλή ενεργειακή κατανάλωση. Από την άλλη πλευρά όμως, έχει υψηλή τάση για ρύπανση καθώς επίσης υπάρχει δυσκολία στον καθαρισμό και στη συντήρηση. Αξίζει να σημειωθεί πως, εάν το διάλυμα τροφοδοσίας διαπερνά τους πόρους της μεμβράνης στη διαμόρφωση σωλήνα τύπου κελύφους, σε αυτήν την περίπτωση θα πρέπει να αντικατασταθεί το συνολικό υποσύστημα μεμβράνης (E. Curcio, E. Drioli 2005 , M.D. Kennedy, et al. 2008).

1.10.3. Κυλινδρική μεμβράνη

Σε αυτό το είδος της διαμόρφωσης, η μεμβράνη έχει κυλινδρικό σχήμα και εισάγεται μεταξύ δύο κυλινδρικών θαλάμων (θερμός και ψυχρός θάλαμος ρευστού). Στο εμπορικό πεδίο, η κυλινδρική διαμόρφωση είναι πιο ελκυστική καθώς έχει χαμηλότερη τάση για ρύπανση, είναι εύκολη στον καθαρισμό και επιτρέπει την αξιοποίηση μεγάλων επιφανειών μεμβράνης. Ωστόσο, η πυκνότητα στοιβάγματος είναι χαμηλή και έχει υψηλό κόστος λειτουργίας. Οι κυλινδρικές μεμβράνες χρησιμοποιούνται σε διαδικασίες MD. Κυλινδρικές κεραμικές μεμβράνες χρησιμοποιήθηκαν σε τρεις MD διαμορφώσεις: DCMD, AGMD και VMD σε αλατώδες υδατικό διάλυμα, όπου η απόρριψη του αλατιού είναι περισσότερο από 99%. (S. Cerneaux, et al., 2009)

1.10.4. Σπειροειδής μεμβράνη

Σε αυτόν τον τύπο, οι μεμβράνες και τα δίκτυα διαχωρισμού περιβάλλονται, καθώς είναι τυλιγμένα, από έναν διάτρητο σωλήνα κεντρικής συλλογής. Η

τροφοδοσία κινείται σε αξονική κατεύθυνση, καθώς το διήθημα ρέει ακτινικά προς το κέντρο και εξέρχεται από το σωλήνα συλλογής. Η σπειροειδής μεμβράνη έχει καλή πυκνότητα στοιβάγματος, μέση τάση για οργανική ρύπανση και αποδεκτή ενεργειακή κατανάλωση.

Αξίζει να σημειωθεί, πως υπάρχουν δύο πιθανότητες για ροή σε ένα σύστημα μικρό-διήθησης: διασταυρούμενη ροή και ροή σε αδιέξοδο. Όσον αφορά τη διασταυρούμενη ροή, η οποία χρησιμοποιείται στη MD, το διάλυμα τροφοδοσίας αντλείται εφαπτομενικά στην μεμβράνη. Το διήθημα περνάει μέσα από τη μεμβράνη, καθώς η τροφοδοσία επανακυκλοφορεί. Ωστόσο, στην περίπτωση της ροής σε αδιέξοδο όλη η τροφοδοσία περνάει μέσα από τη μεμβράνη. (M.D. Kennedy, et al., 2008)

1.11. Μηχανισμός

1.11.1. Μεταφορά μάζας και θερμότητας στην απόσταξη με μεμβράνες

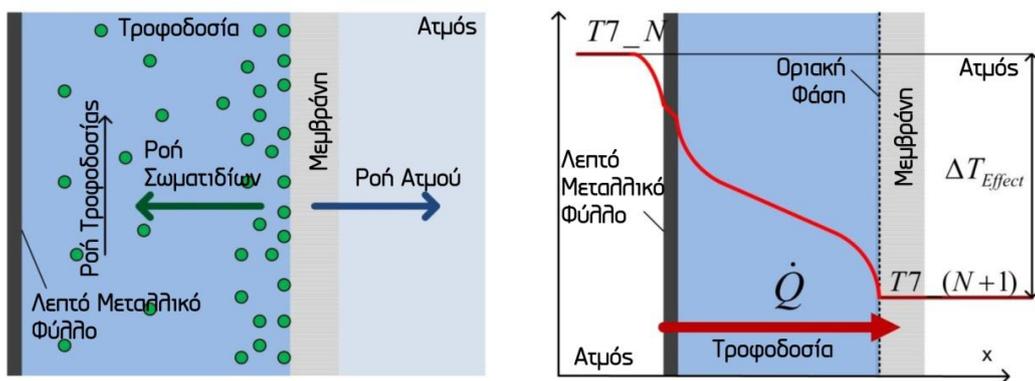
Κάθε θερμική διαδικασία υπακούει στους νόμους μεταφοράς μάζας και θερμότητας, το οποίο συνεπάγεται πως η ροή θερμότητας κινείται με κατεύθυνση προς τις ψυχρότερες θερμοκρασίες και η ροή μάζας με κατεύθυνση προς τις χαμηλότερες πιέσεις (Technical Description of Memsys Technology, 2013). Αυτό αιτιολογεί την θερμοκρασιακή μείωση στο σύστημα, όπως μεταφέρεται η θερμότητα από την πρώτη βαθμίδα στην τελευταία, προς το συμπυκνωτή και στη συνέχεια εκτός του συστήματος. Η μεταφορά μάζας και θερμότητας διαμέσου μιας βαθμίδας συνδυάζονται μεταξύ τους: ο ατμός ρέει από τη μία βαθμίδα διαμέσου του καναλιού στην επόμενη, όπου συμπυκνώνεται στην ψυχρότερη επιφάνεια του αδιαπέραστου λεπτού μεταλλικού φύλλου και έτσι μεταφέρεται η ενέργεια συμπύκνωσης. Η απώλεια όγκου στην επιφάνεια του λεπτού μεταλλικού φύλλου εξαναγκάζει στην αναρρόφηση νέου ατμού από την προηγούμενη βαθμίδα. Αυτή η διαδικασία συμπύκνωσης λαμβάνει χώρα, ανεξάρτητα από την πίεση, στην άλλη πλευρά του λεπτού μεταλλικού φύλλου και είναι θερμοκρασιακής οδήγησης μόνο.

Η θερμότητα μεταφέρεται με αγωγή και συναγωγή, διαμέσου του λεπτού μεταλλικού φύλλου και του στρώματος τροφοδοσίας στη μεμβράνη. Η μεμβράνη είναι διαπερατή όσον αφορά τον ατμό αλλά είναι μη-διαπερατή για τα υγρά. Συγκροτείται μια οριακή φάση όπου το νερό της τροφοδοσίας εξατμίζεται μερικά (ενώ παράγεται καινούργιος ατμός) καθώς η πίεση στην άλλη μεριά της μεμβράνης είναι χαμηλότερη από την πίεση εξάτμισης του υγρού. Όσο μεγαλύτερη είναι η θερμοκρασιακή διαφορά του λεπτού μεταλλικού φύλλου από την οριακή φάση και υπάρχει περισσότερη περιοχή διαθέσιμη, τόσο περισσότερη θερμότητα μεταφέρεται στην οριακή φάση, ενώ αντίστοιχα και τόσο περισσότερος ατμός μπορεί να παραχθεί. Η ροή διαμέσου της μεμβράνης και προς το επόμενο κανάλι (στην επόμενη βαθμίδα) παρεμποδίζονται από μία πτώση πίεσης. Η συγκεκριμένη πτώση πίεσης της αέριας

φάσης από την εξάτμιση στη συμπύκνωση του ατμού, μπορεί να μεταφερθεί με μια θερμοκρασιακή διαφορά στην καμπύλη πίεσης του ατμού. Η θερμοκρασιακή διαφορά είναι μικρή σε σύγκριση με την απαιτούμενη ΔT για την μεταφορά θερμότητας διαμέσου της συνολικής βαθμίδας. Αυτός είναι ακριβώς και ο λόγος, για τον οποίο η συγκεκριμένη διαδικασία απόσταξης στην τρέχουσα κατάσταση είναι μία διαδικασία θερμοκρασιακής οδήγησης. Η μεταφορά μάζας στην MD ελέγχεται από τρεις βασικούς μηχανισμούς, οι οποίοι είναι η διάχυση Knudsen, η ροή Poiseuille (ιξώδης ροή) και η μοριακή διάχυση. Αυτό αυξάνει αρκετούς τύπους της αντίστασης από μεταφορά μάζας, με αποτέλεσμα τη μεταφορά του οριακού στρώματος στη μεμβράνη (ιξώδης), τη σύγκρουση των μορίων με άλλα μόρια (μοριακή διάχυση) ή με την ίδια τη μεμβράνη (διάχυση Knudsen).

1.11.2. Ανύψωση σημείου βρασμού και επιδράσεις πόλωσης

Τα διαλυμένα ιόντα άλατος σε ένα υγρό οδηγούν σε ανύψωση του σημείου βρασμού, κάτι το οποίο σημαίνει υψηλότερη θερμοκρασία βρασμού στην ίδια πίεση και χαμηλότερη πίεση βρασμού σε σταθερή θερμοκρασία. Παρόλα αυτά, ο ατμός συμπυκνώνεται σε συνθήκες καθαρού υγρού, υπάρχει επομένως μείωση της θερμοκρασιακής διαφοράς σε κάθε βαθμίδα, όπως επίσης λιγότερο απόσταγμα στην έξοδο. Αυτή η αναμενόμενη επίδραση είναι μεγαλύτερη σε υψηλότερες συγκεντρώσεις και θερμοκρασίες. Η πόλωση σωματιδίων, ιδιαίτερα ιόντων άλατος, στο οριακό στρώμα επιβάλλει τοπική ανύψωση του σημείου βρασμού και μπορεί να μειωθεί από ασταθείς κινήσεις του υγρού στο κανάλι τροφοδοσίας. Το αποτέλεσμα φαίνεται στο σχήμα 7.



Σχήμα 7: Συγκέντρωση πόλωσης – προφίλ θερμοκρασίας διαμέσου μιας βαθμίδας (Technical Description of Memsys Technology, 2013)

Το δεξί μέρος του σχήματος 7 απεικονίζει το συμβολικό προφίλ θερμοκρασίας διαμέσου μίας βαθμίδας: Ο ατμός της βαθμίδας N-1 υπερθερμαίνεται ελαφρώς μέχρι την ανύψωση του σημείου βρασμού και την πτώση πίεσης διαμέσου

της μεμβράνης αλλά και του καναλιού ατμού. Ψύχεται σε κορεσμένη φάση, στο ψυχρότερο όριο του καναλιού και στο λεπτό μεταλλικό φύλλο της βαθμίδας N. Εκεί ο ατμός μεταφέρει την ενέργεια συμπύκνωσης στο λεπτό μεταλλικό φύλλο, περαιτέρω στο κανάλι τροφοδοσίας και τελικά στην οριακή φάση, όπου παράγεται νέος ατμός. Οι απότομες κλίσεις στο κανάλι τροφοδοσίας ονομάζονται θερμοκρασιακή πόλωση.

1.11.3. Πιέσεις στο υποσύστημα μεμβράνης

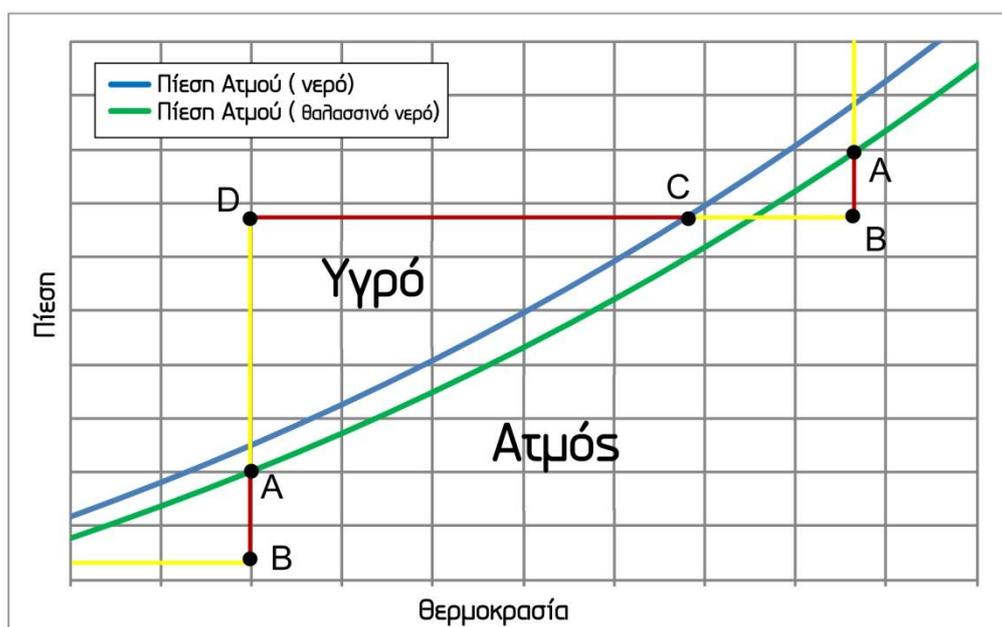
Οι εφαρμοζόμενες πιέσεις στο υποσύστημα μεμβράνης κυμαίνονται σε ένα εύρος μεταξύ 30 και 500 mbar απόλυτης πίεσης. Οι πιέσεις στα υγρά είναι πάντα υψηλότερες από την πίεση ατμού της θερμοκρασίας των υγρών. Οι απώλειες της ροής πίεσης στην ψυχρή και στη θερμή ροή, αυξάνουν την πίεση στο κανάλι εξάτμισης και στο συμπυκνωτή. Οι μεγάλες διαφορές πίεσης στο υποσύστημα μεμβράνης οδηγούν σε ισχυρές δυνάμεις και θα πρέπει να αποφεύγονται. Αυτό εξηγεί γιατί τα δοχεία θερμού υγρού και ψυχρού αντίστοιχα, συνδέονται με το σύστημα κενού με ένα μικρό εύκαμπτο σωλήνα και είναι ο λόγος για μέγιστες εφαρμοζόμενες ροές όγκου του υγρού. Το θερμοκρασιακό επίπεδο μειώνεται κατά τη διεύθυνση του καναλιού εξάτμισης ως το συμπυκνωτή. Οι πιέσεις στο κανάλι ατμού κινούνται κοντά στην πίεση κορεσμού, επειδή μειώνεται (από τις απώλειες θερμότητας στο περίβλημα του ψυχρότερου καναλιού ατμού) η υπερθέρμανση λόγω των απωλειών πίεσης και της ανύψωσης του σημείου βρασμού. Η κατώτατη πίεση στο υποσύστημα μεμβράνης, δηλαδή η πίεση στην πλευρά ατμού του συμπυκνωτή, μειώνεται λόγω της υψηλότερης θερμοκρασίας στο συμπυκνωτή αλλά και από την παρουσία των μη-συμπυκνωμένων αερίων.

1.11.4. Η επίδραση των μη-συμπυκνωμένων αερίων (NCGs)

Τα αδρανή αέρια είναι αέρια στο υποσύστημα μεμβράνης, με μία χαμηλότερη πίεση ατμού, από ότι οι πιέσεις στο υποσύστημα μεμβράνης. Τα περισσότερα από τα γνωστά NCGs είναι το άζωτο, το οξυγόνο και το διοξείδιο του άνθρακα (ατμοσφαιρικός αέρας), τα οποία εισάγονται στο υποσύστημα μεμβράνης ως διαλυμένα αέρια από την τροφοδοσία ή διαμέσου διαρροών του συστήματος. Αυτά τα αέρια μετατρέπουν την καθαρή ροή ατμού σε μία ροή διάχυσης, όπως επίσης αυξάνουν την πίεση του συστήματος και των θερμοκρασιών συμπύκνωσης. Ως αποτέλεσμα, μειώνεται η διαθέσιμη θερμοκρασιακή διαφορά στο σύστημα καθώς και η πιθανή μεταφορά θερμότητας. Τα NCGs μειώνουν την παραγωγή αποστάγματος και θα πρέπει να μεταφέρονται εκτός συστήματος με μία συνεχή λειτουργία της αντλίας κενού. Οι διαρροές στο υποσύστημα μεμβράνης και στα υπόλοιπα υποσυστήματα θα πρέπει να αποφεύγονται. Εάν η πίεση μέσα στον συμπυκνωτή είναι πολύ μεγαλύτερη από την πίεση κορεσμού του ψυχρού υγρού (πίεση εξόδου από το συμπυκνωτή), τότε τα NCGs ίσως παγιδεύονται στα πλαίσια του λεπτού μεταλλικού φύλλου του συμπυκνωτή.

1.10.5. Διεργασία στην καμπύλη πίεσης ατμού

Το σχήμα 8 επεξηγεί ποιοτικά τη διεργασία της αφαλάτωσης του θαλασσινού νερού με υψηλή αλατότητα. Λόγω της εξάτμισης και της συμπύκνωσης, σχετίζεται με την καμπύλη πίεσης ατμού του θαλασσινού νερού και του καθαρού νερού. Ακόμη περιγράφονται τα ενδιάμεσα βήματα της μεταφοράς θερμότητας και μάζας. Η συγκέντρωση της τροφοδοσίας αυξάνει συνεχώς μέσα στο υποσύστημα μεμβράνης (αυτό το αποτέλεσμα δεν απεικονίζεται εδώ). Το συγκεκριμένο σχήμα περιγράφει τη διεργασία μόνο για μια βαθμίδα, ενώ συνεχίζεται για την επόμενη βαθμίδα ή την προηγούμενη βαθμίδα στο πάνω δεξιά μέρος και στο κάτω αριστερά αντίστοιχα.



Σχήμα 8: Διάγραμμα θερμοκρασίας- πίεσης υγρού- ατμού
(Technical Description of Memsys Technology, 2013)

- A Εξάτμιση από θαλασσινό νερό στην οριακή φάση (μεμβράνη)
- A-B Πτώση πίεσης στην μεμβράνη και στο κανάλι ατμού
- B Ατμός στο κανάλι ατμού
- B-C Απώλεια θερμοκρασίας από πτώση πίεσης και Ανύψωση Σημείου Βρασμού C Συμπύκνωση του ατμού νερού στο λεπτό μεταλλικό φύλλο
- C-D Θερμοκρασιακή διαφορά για την μεταφορά θερμότητας κατά το λεπτό μεταλλικό φύλλο και το κανάλι τροφοδοσίας
- D Θερμοκρασία στην οριακή φάση
- D-A Πτώση πίεσης λόγω της μεταφοράς θερμότητας και την Ανύψωση Σημείου Βρασμού

1.12. Χαρακτηρισμός συστημάτων αφαλάτωσης τεχνολογίας απόσταξης με μεμβράνες

Ο χαρακτηρισμός των συστημάτων αφαλάτωσης τεχνολογίας απόσταξης με μεμβράνες εμπεριέχει κάποιες ποσοτικές τιμές, οι οποίες περιγράφουν την απόδοση ή συμπεριφορά του συστήματος. Χρησιμοποιούνται για να κάνουν το σύστημα συγκρίσιμο σε διαφορετικά μεγέθη του ίδιου είδους ή άλλων τεχνολογιών. Είναι βοηθητικές για τη σχεδίαση μονάδας ή για οικονομικούς υπολογισμούς, όπως επίσης για τον προσδιορισμό των καλύτερων συνθηκών λειτουργίας μιας μονάδας σε δοκιμαστική λειτουργία. Αυτή η ενότητα, περιγράφει κοινά τεχνικά στοιχεία για τη διεργασία MD.

1.12.1. Δεδομένα λειτουργίας

Για τα δεδομένα λειτουργίας της εγκατάστασης έχουμε:

Προϊόν απόσταξης – Το καθαρό προϊόν της απόσταξης εξαρτάται από την διαμόρφωση του συστήματος. Σε κοινές μονάδες, μετράται ως ο όγκος ροής απόσταξης αφαιρώντας τον όγκο ροής εισόδου, ο οποίος συμπληρώνεται στο σύστημα θέρμανσης από μία ηλεκτροβόανα, εξαιτίας των απωλειών του ατμού από το κανάλι αδρανούς αερίου της πρώτης βαθμίδας (δεν πρόκειται για την κοινή επανακυκλοφορία απόσταξης).

Θερμοκρασιακό επίπεδο - Το θερμοκρασιακό επίπεδο “ $T7_1 - T7_ (N+1)$ ” δείχνει το θερμοκρασιακό εύρος στο οποίο εκτείνεται η διεργασία και η οδήγηση θερμοκρασιακής διαφοράς, για τη μεταφορά θερμότητας.

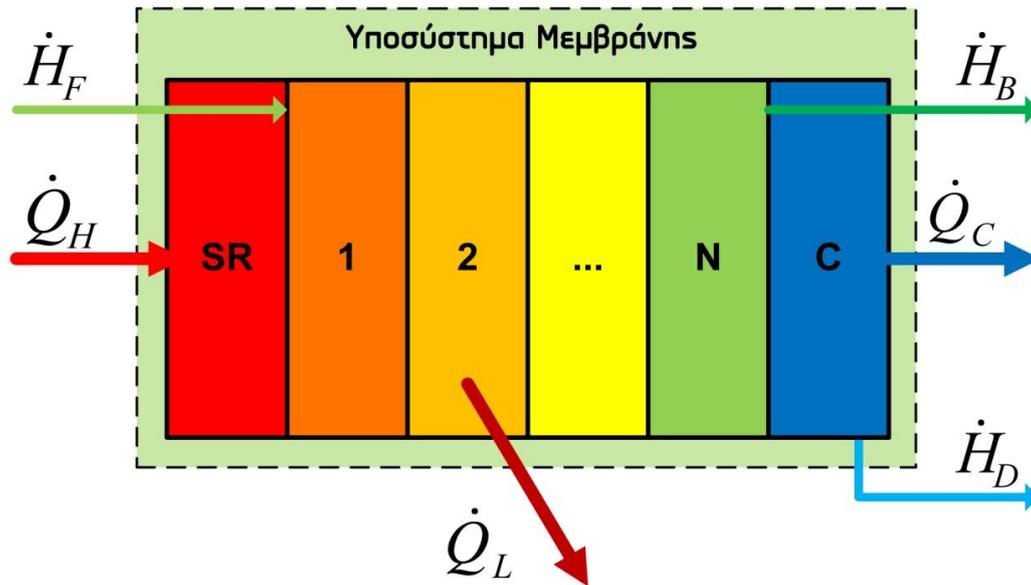
1.12.2. Λόγος απόδοσης - “PR”

Ο λόγος απόδοσης ή PR είναι ο λόγος της ροής θερμότητας, η οποία είναι απαραίτητη για την εξάτμιση της παραγόμενης ροής του αποστάγματος (η ροή μάζας επί την ειδική ενθαλπία εξατμίσεως), προς τη ροή εισόδου θερμότητας για την διεργασία, (η θερμότητα οδήγησης της πρώτης βαθμίδας).

$$PR = \frac{\dot{Q}_{\text{αποστάγματος}}}{\dot{Q}_{\text{θέρμανσης}}} = \frac{\dot{m}_{\text{αποστάγματος}} \Delta h_v}{\dot{Q}_{\text{θέρμανσης}}}$$

Περιγράφει την αποδοτικότητα του συστήματος καθώς δείχνει πόσο συχνά η θερμική ενέργεια επαναχρησιμοποιείται για την απόσταξη. Διαφορετικές θερμοκρασίες περιβάλλοντος έχουν μία επιρροή στο λόγο απόδοσης, με σταθερές τις ροές ενθαλπίας της τροφοδοσίας, της άλμης και του αποστάγματος. Το Σχήμα 9

δείχνει μια γενικευμένη άποψη των ενεργειακών ροών για το υποσύστημα μεμβράνης.



Σχήμα 9: Ενεργειακή ισορροπία του συστήματος
(Technical Description of Memsys Technology, 2013)

1.12.3. Ειδική ενεργειακή κατανάλωση - “SEC”

Ένα κατάλληλο και αποδοτικό στοιχείο, ειδικά για την MD σε συνδυασμό με την μηχανική συμπίεση ατμού (MVC) είναι η ειδική ενεργειακή κατανάλωση (SEC). Αποτελεί το λόγο της ενέργειας εισόδου για την διεργασία προς την ολική μάζα ροής εξόδου του υγρού αποστάγματος.

$$SEC = \frac{P_{\text{εισόδου}}}{\dot{m}_{\text{αποστάγματος}}} [\text{SEC}] = \frac{KWh}{t}$$

Εκφράζει την συνολική ενέργεια για τη διεργασία ή ακόμη και για όλο το σύστημα, συμπεριλαμβανομένων όλων των θερμικών ή ηλεκτρικών καταναλώσεων όπως αντλίες, βαλβίδες, το σύστημα ελέγχου, την προθέρμανση ή την ψύξη. Ωστόσο, η θερμική και η ηλεκτρική ενέργεια είναι διαφορετικές ποιοτικά και δεν θα πρέπει να συγκρίνονται.

1.12.4. Ροή ατμού ανά εμβαδό μεμβράνης - “Ροή” ή “LMH”

Ροή ή LMH, είναι η συνολική ροή μάζας του παραγόμενου αποστάγματος, διαιρεμένη με τη συνολική έκταση μεμβράνης (των βαθμίδων), μέσα στο υποσύστημα μεμβράνης.

$$Flux = \frac{\dot{m}_{\text{αποστάγματος}}}{A_{\text{μεμβράνης}}}, [Flux] = kg/(m^2h)$$

Η πυκνότητα του νερού είναι προσεγγιστικά, ένα κιλό ανά λίτρο. Η ροή είναι ανάλογη της μεταφερόμενης ροής θερμότητας και εκφράζει το θερμικό φορτίο του υποσυστήματος μεμβράνης.

1.12.5. Συντελεστής μεταφοράς θερμότητας – “ k ”

Υψηλή παραγωγή αποστάγματος παράγεται σε υψηλή ροή θερμότητας μέσα στο υποσύστημα της μεμβράνης. Μπορεί να περιγραφεί με τον παρακάτω τύπο:

$$\dot{Q} = kA_{\text{μεμβράνης}}\Delta T_{\text{σταδίου}} \Rightarrow k = \frac{\dot{Q}N}{A(T_{7_1} - T_{7_{N+1}})} [k] = \frac{W}{m^2K}$$

Η αποτελεσματική περιοχή για τη μεταφορά θερμότητας σε μία βαθμίδα, από τη συμπύκνωση του ατμού στο λεπτό μεταλλικό φύλλο ως την εξάτμιση στους πόρους της μεμβράνης, είναι ίση με την έκταση της μεμβράνης. Οι θερμοκρασιακές διαφορές μεταξύ των βαθμίδων θα πρέπει να είναι μικρές για μια αποτελεσματική διεργασία. Όλα τα εσωτερικά φαινόμενα μεταφοράς θερμότητας μπορούν να συνοψιστούν σε ένα συντελεστή, τον “k”. Στην πραγματικότητα είναι έγκυρος μόνο για τη μεταφορά θερμότητας από το λεπτό μεταλλικό φύλλο στην οριακή φάση, παρόλο που η μεταφορά θερμότητας είναι ο κύριος μηχανισμός στο υποσύστημα μεμβράνης. Όσο οι απώλειες πίεσης στην αέρια φάση είναι μικρές σε γενικές γραμμές, ο συντελεστής k μπορεί να προσεγγιστεί, μετρώντας τις θερμοκρασιακές διαφορές των καναλιών ατμού και υπολογίζοντας τη θερμότητα συμπύκνωσης, ως την εσωτερική ροή θερμότητας διατρέχοντας τις διαδοχικές βαθμίδες. Περιγράφει την ικανότητα μεταφοράς θερμότητας των βαθμίδων. Πλευρικά φαινόμενα, όπως η ανύψωση του σημείου βρασμού και οι απώλειες πίεσης θα πρέπει να τηρούνται σε ακριβείς υπολογισμούς διάταξης.

Κεφάλαιο 2: Πιλοτική Μονάδα Αφαλάτωσης - Δομή του Συστήματος- Βασική Αρχιτεκτονική

2.1. Εισαγωγή

Στα πλαίσια του προγράμματος «Διεργασίες αφαλάτωσης με τη μέθοδο της απόσταξης με μεμβράνες: κατευθύνσεις πειραματικής διερεύνησης και κρίσιμες παράμετροι βελτιστοποίησης», στο εργαστήριο Ηλιακών & άλλων Ενεργειακών Συστημάτων του ΕΚΕΦΕ “ΔΗΜΟΚΡΙΤΟΣ” υλοποιείται μια πιλοτική μονάδα αφαλάτωσης με σκοπό τη διερεύνηση των σημαντικότερων παραμέτρων που επηρεάζουν την ποιότητα και την ποσότητα του αφαλατωμένου νερού, σε συνδυασμό με την ενεργειακή βελτιστοποίηση των συστημάτων της.

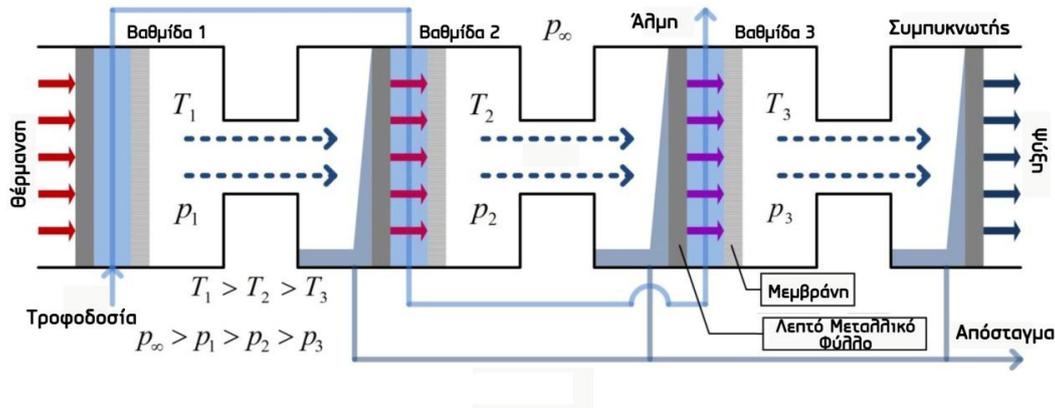
Υπάρχουν πολλών ειδών αρχές απόσταξης με μεμβράνες. Για το πιλοτικό σύστημα που αναπτύσσεται στον εργαστήριο επιλέχθηκε, στη βάση των συμπερασμάτων από την ανάλυση της σχετικής βιβλιογραφίας και των αποτελεσμάτων από τη διερεύνηση της εμπορικής διαθεσιμότητας των επιμέρους υποσυστημάτων, ένα υποσύστημα μεμβράνης το οποίο αποκτήθηκε από την εταιρεία Memsys. Πρόκειται για υποσύστημα μεμβρανών με διάκενο αέρα τριών βαθμίδων, με χρήση κενού (Vacuum-Multi Effect-Membrane Distillation ή V-MEMD).

2.2. Αρχή λειτουργίας

Το σύστημα V-MEMD βασίζεται σε μια διεργασία θερμικού διαχωρισμού. Αυτό σημαίνει πως η θερμότητα χρησιμοποιείται για μια μερική εξάτμιση, από ένα υγρό μείγμα στοιχείων με διαφορετικά σημεία βρασμού. Η χρησιμότητα των πολλαπλών βαθμίδων είναι για τη συμπίκνωση του παραγόμενου ατμού και τη χρησιμοποίηση εκ' νέου της λανθάνουσας θερμότητας για μία επιπλέον εξάτμιση, ενώ σε κάθε βαθμίδα αυξάνεται ο βαθμός απόδοσης του συστήματος. Παράλληλα με την θερμική ενέργεια, η V-MEMD απαιτεί βοηθητικά ηλεκτρική ενέργεια για τον έλεγχο του συστήματος, τις αντλίες, τους αισθητήρες και τις βαλβίδες. (Technical Description of Memsys Technology, 2013)

Το σχήμα 10 απεικονίζει την συνολική διεργασία που λαμβάνει χώρα στο υποσύστημα μεμβράνης (σύστημα με τρεις βαθμίδες).

Η διεργασία υποστηρίζεται ενεργειακά από μία πηγή θερμότητας, η οποία στη συγκεκριμένη εγκατάσταση, αποτελείται από τρία δοχεία-boiler με αντιστάσεις, με το σύνολο της θερμικής ισχύος που παρέχεται από το σύστημα να είναι 16 KW. Το υποσύστημα μεμβράνης βρίσκεται εγκατεστημένο σε ένα σύνθετο περίβλημα: μια συνολική επιφάνεια περίπου 64 m² παρέχεται σε όγκο περίπου 1 κυβικού μέτρου.



Σχήμα 10: Διεργασία της V-MEMD
(Technical Description of Memsys Technology, 2013)

2.3. Πλεονεκτήματα της V-MEMD

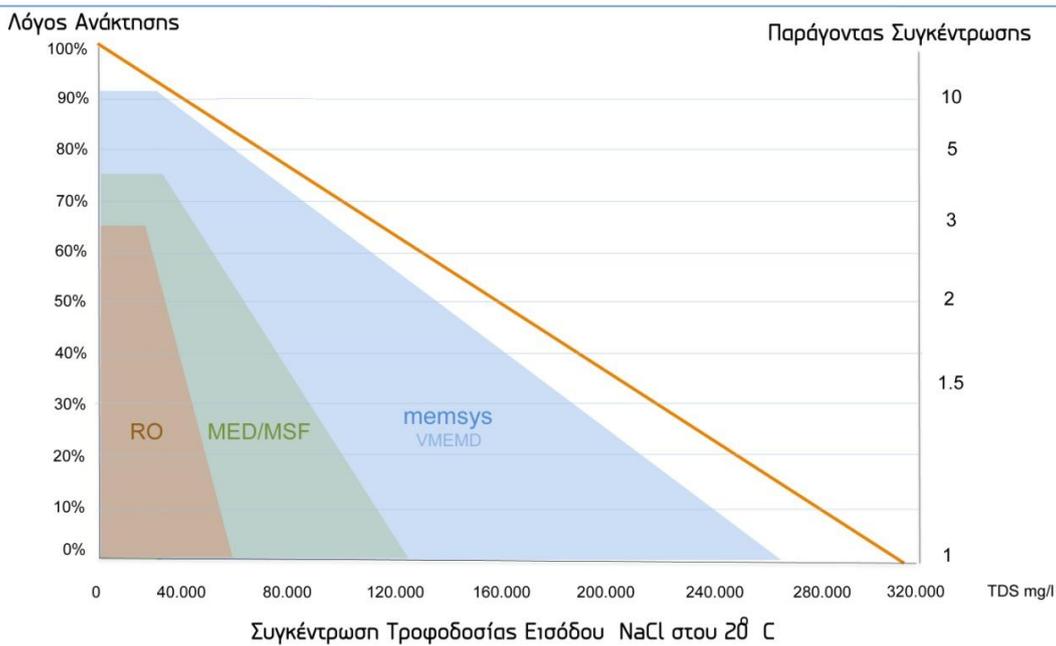
Το συγκεκριμένο σύστημα έχει εξαιρετικά πλεονεκτήματα, καθώς όλα τα στοιχεία του υποσυστήματος μεμβράνης είναι κατασκευασμένα από υψηλής ποιότητας πλαστικά (PP, PTFE). Ως αποτέλεσμα το υποσύστημα μεμβράνης είναι απόλυτα ανθεκτικό στην διάβρωση όπως επίσης και τα υλικά που χρησιμοποιούνται έχουν χαμηλό κόστος (Thermal Water Treatment 2.0, 2013).

Υπάρχουν δύο υγρά προϊόντα, παραγόμενα από την διεργασία: το καθαρό απόσταγμα και η άλμη σε υψηλή συγκέντρωση. Τα παραγόμενα έχουν πολύ υψηλή ποιότητα, με το απόσταγμα να έχει 1-10 μS αγωγιμότητα και να είναι ανεξάρτητα από την ποιότητα του ακατέργαστου νερού (για παράδειγμα από την υψηλή αλατότητα ή το pH).

Όσον αφορά το σχεδιασμό του υποσυστήματος μεμβράνης, το θερμικό σύστημα που χρησιμοποιείται είναι εύκολο και σε μεγάλο εύρος επεκτάσιμο, όπως επίσης υλοποιήσιμο σε ποικίλα μεγέθη. Έχει μικρό αποτύπωμα (μικρός όγκος) και χαμηλή συντήρηση, ιδιαίτερα σημαντικά στοιχεία.

Οι θερμοκρασίες που χρησιμοποιούνται είναι αρκετά χαμηλές, με αυτές να κυμαίνονται από τους 50 έως τους 80° C. Η θερμοκρασία λυμάτων, η ηλιακή ή γεωθερμική θερμότητα μπορεί να τροφοδοτήσει έως 90% την ενέργεια που είναι αναγκαία.

Η αφαλάτωση θαλασσινού νερού και άλλες ειδικές διαδικασίες απόσταξης, ιδίως με υψηλή συγκέντρωση έχουν δοκιμαστεί ήδη με επιτυχία. Επιπλέον, έχουμε μια πολύ ισχυρή διεργασία, καθώς η λειτουργία είναι σταθερή ακόμα και εάν αλλάξουν οι οριακές συνθήκες (όπως η θερμοκρασία ή η ποιότητα του ακατέργαστου νερού). Οι μεμβράνες MD είναι λιγότερο επιρρεπείς στο πρόβλημα οργανικής ρύπανσης της μεμβράνης. Επίσης, υφίσταται μικρότερη ανάγκη για χημική προεπεξεργασία επιβλαβή στο περιβάλλον. Τέλος, έχουμε υψηλό ποσοστό ανάκτησης κοντά στο σημείο κορεσμού σε σχέση με άλλες μεθόδους (RO, MSF-Σχήμα 11).

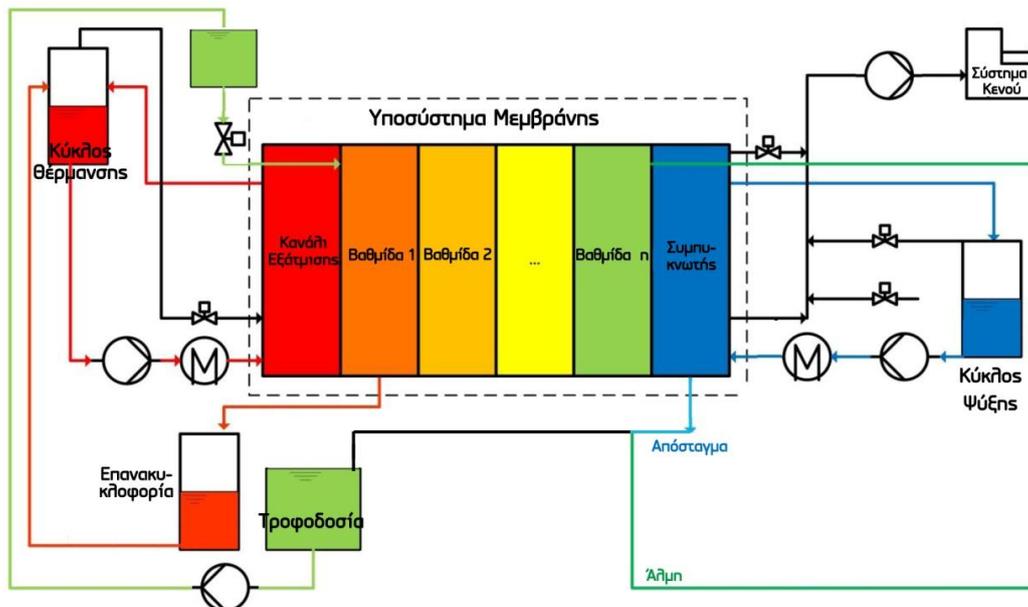


Σχήμα 11: Υψηλό ποσοστό ανάκτησης κοντά στο σημείο κορεσμού (Thermal Water Treatment 2.0, 2013)

2.4. Επισκόπηση του πιλοτικού συστήματος

Το πιλοτικό σύστημα που υλοποιείται στο εργαστήριο, συνίσταται από πολλά υποσυστήματα, τα οποία αποτυπώνονται στο σχέδιο της εγκατάστασης που παρατίθεται (Σχήμα 12).

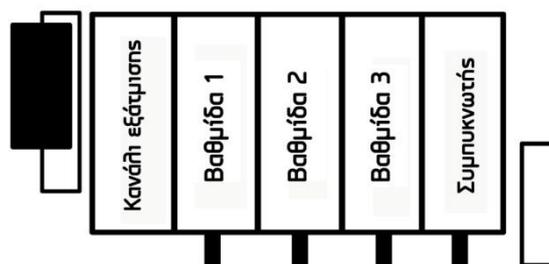
Η τροφοδοσία αναρροφάται στο υποσύστημα μεμβράνης και διαχωρίζεται σε άλμη και απόσταγμα. Η αντλία που έπεται του δοχείου τροφοδοσίας είναι απαραίτητη ώστε να μεταφέρει τα δύο αυτά προϊόντα από χαμηλή πίεση σε ατμοσφαιρική, οδηγώντας τα από το δοχείο τροφοδοσίας στο υποσύστημα μεμβράνης (για την επαναλειτουργία του κύκλου). Στον κύκλο θέρμανσης, το θερμό υγρό από το δοχείο αποθήκευσης θερμαίνεται μέσα στα δοχεία-boiler και αντλείται στο κανάλι εξάτμισης στο υποσύστημα μεμβράνης, όπου εξατμίζεται μερικώς. Ο παραγόμενος ατμός συμπυκνώνεται στην πρώτη βαθμίδα και επανακυκλοφορεί στο δοχείο. Στην άλλη πλευρά του υποσυστήματος, ο ψυχρός κύκλος παρέχει χαμηλές θερμοκρασίες, οι οποίες είναι απαραίτητες ως οδήγηση για τη διεργασία λόγω θερμοκρασιακής διαφοράς.



Σχήμα 12: Συνολικό–εποπτικό σχέδιο πιλοτικής μονάδας
(Technical Description of Memsys Technology, 2013)

Το κύριο στοιχείο είναι ο συμπυκνωτής, στον οποίο ο ατμός της τελευταίας βαθμίδας συμπυκνώνεται. Ο ψυχρός κύκλος λειτουργεί ανάλογα με τον θερμό. Τέλος, το σύστημα κενού είναι απαραίτητο για τη διεργασία απόσταξης, καθώς οι πιέσεις κενού των υγρών στο υποσύστημα μεμβράνης είναι συνήθως χαμηλότερες από την ατμοσφαιρική πίεση.

Επειδή υπάρχουν διαφορετικά υποσυστήματα, τα σχήματα 13-14-15 παρουσιάζουν τρεις διαφορετικές όψεις του συστήματος για την καλύτερη εμπέδωση και κατανόηση της δομής της εγκατάστασης.



Σχήμα 13: Υποσύστημα μεμβράνης –πλάγια όψη
(Control & Operation Manual, 2013)



Σχήμα 14: Δοχεία- κάτοψη
(Control & Operation Manual, 2013)



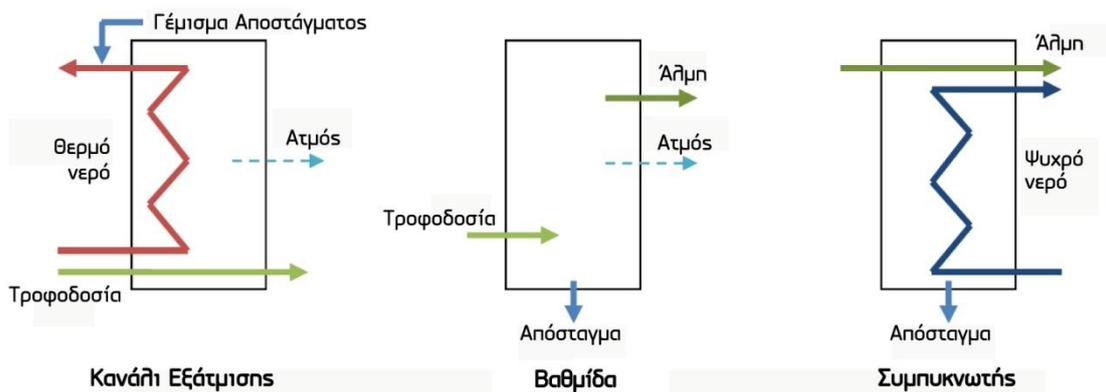
Σχήμα 15: Σχήμα: κάτοψη αντλιών
(Control & Operation Manual, 2013)

Κάθε μονάδα του συστήματος απεικονίζεται με ένα διάγραμμα σωληνώσεων και οργάνων (στο κεφάλαιο 4), ώστε να παρουσιαστεί εκτενώς η σύνδεση των αντλιών, των βαλβίδων, των σημείων μετρήσεων, των βαθμίδων της μονάδας και των κύκλων λειτουργίας.

2.5. Αρχή λειτουργίας - διαμόρφωση του υποσυστήματος μεμβράνης

Το υποσύστημα Μεμβράνης αποτελείται από (το ελάχιστο) τρία στοιχεία με διαφορετικές διαμορφώσεις πλαισίων (πλαίσιο μεμβράνης, πλαίσιο λεπτού φύλλου μετάλλου, άδειο πλαίσιο). Παρακάτω επεξηγούνται όλες οι διαμορφώσεις (Σχήμα 16).

Σε μία κοινή διαμόρφωση το υποσύστημα μεμβράνης αποτελείται από τρία διαφορετικά μέρη: το κανάλι εξάτμισης, έναν αριθμό από βαθμίδες και ένα συμπυκνωτή. Κάθε μέρος, συνίσταται σε έναν αριθμό πλαισίων, τα οποία είναι συγκολλημένα μεταξύ τους με τη διαδικασία συγκόλλησης με τριβή. Τα πλαίσια έχουν από την εμπρόσθια και την οπίσθια πλευρά επενδύσεις, οι οποίες καλύπτουν τα πλαίσια και στεγάζουν τα μπλοκ πολυπροπυλενίου σφιχτά. (Control & Operation Manual, 2013)



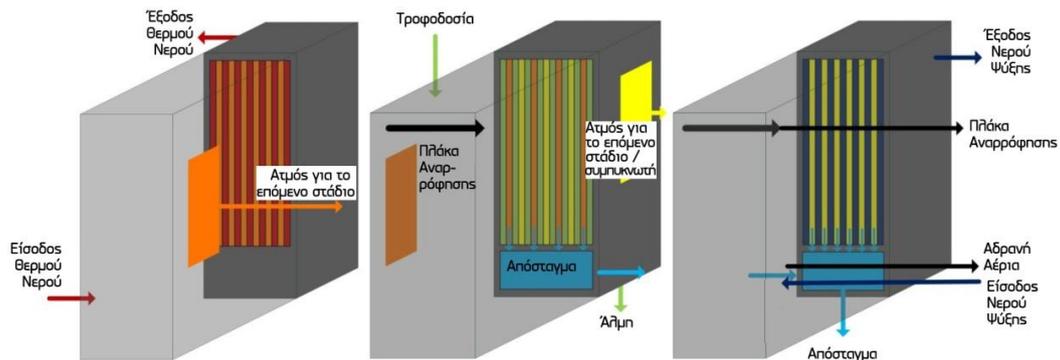
Σχήμα 16: Ροές εισόδου και εξόδου στο κανάλι εξάτμισης, στη βαθμίδα και στο συμπυκνωτή. (Control & Operation Manual, 2013)

Πίνακας 4: Ορολογία του υποσυστήματος μεμβράνης

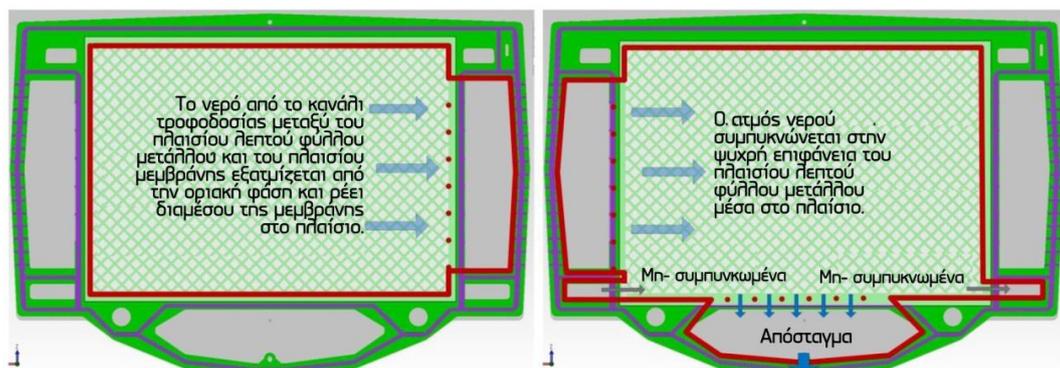
Ορολογία	Περιγραφή
Πλαίσιο μεμβράνης	Δύο κομμάτια των μεμβρανών (μέγεθος ενός κομματιού: 600 × 360 mm) είναι συγκολλημένα επάνω σε δύο πλευρές ενός PP (πολυπροπυλένιο) πλαισίου σε ένα ξεχωριστό στάδιο παραγωγής (Σχήμα 19).
Πλαίσιο λεπτού μεταλλικού φύλλου	Δύο κομμάτια φιλμ (~ 20 μm πάχος, ίδιο μέγεθος με της μεμβράνης) είναι συγκολλημένα επάνω σε δύο πλευρές ενός PP (πολυπροπυλένιο) πλαισίου σε ένα ξεχωριστό στάδιο παραγωγής (Σχήμα 19)
Απλή βαθμίδα	Τα πλαίσια μεμβράνης και φύλλου είναι συγκολλημένα μαζί με την μέθοδο της τριβής, για να σχηματίσουν την βαθμίδα (αριθμός των πλαισίων φύλλου = αριθμός των πλαισίων μεμβράνης + 1). Κατά την συγκόλληση των πλαισίων μεταξύ τους, τα απαραίτητα κανάλια που σχηματίζονται και υποστηρίζεται από ένα PP δίκτυο διαχωρισμού, όπως φαίνεται στο σχήμα 23), δύο πλάκες κάλυψης PP οι οποίες χρησιμοποιήθηκαν για να μεταβάλλουν την κατεύθυνση της τροφοδοσίας και την ροή του ατμού
Πολυβάθμια υποσυστήματα	Βαθμίδες στοιβάζονται για να σχηματίσουν πολυβάθμια υποσυστήματα με σφιχτά κενά ελαστικής στεγανοποίησης από σιλικόνη, όπως φαίνεται στο σχήμα 23

Στο σχήμα 17 απεικονίζεται αναλυτικά η συναρμολόγηση του υποσυστήματος μεμβράνης. Ο ατμός διαπερνάει το πλέγμα μέσα στα πλαίσια, κάτι το οποίο απεικονίζεται στο σχήμα 18.

Υπάρχουν αρκετά κανάλια στα πλαίσια για τη διανομή της τροφοδοσίας, των μη-συμπυκνωμένων αερίων, τη ροή του ατμού, τη διάθεση της άλμης και του αποστάγματος όπως και της αναρρόφησης η οποία πραγματοποιείται στο υποσύστημα μεμβράνης. Το κανάλι της αναρρόφησης συνδέεται με το σύστημα κενού. Στη συνέχεια, τα μπλοκ συμπίεζονται σε ένα περίβλημα, το οποίο συνδέει τα κανάλια ρευστών σφιστά μεταξύ τους.



Σχήμα 17: Εσωτερικό μέρος- συναρμολόγηση υποσυστήματος μεμβράνης (Technical Description of Memsys Technology, 2013)



Σχήμα 18: Διαπέραση ατμού μέσα στο πλαίσιο (Technical Description of Memsys Technology, 2013)

Κανάλι εξάτμισης

Η διαμόρφωση του πλαισίου για το κανάλι εξάτμισης βελτιστοποιείται για να παράγει ατμό από καθαρό νερό, με τη διεργασία να οδηγείται από μια θερμική ενεργειακή πηγή. Η συγκεκριμένη είναι και η μοναδική πηγή ενέργειας για τη

διεργασία. Το κανάλι εξάτμισης δημιουργείται από κενά πλαίσια και πλαίσια μεμβράνης εναλλάξ.

Μειώνοντας την πίεση μέσα στο σύστημα (μικρότερη από 400 mbar), το νερό εξατμίζεται σε χαμηλότερη θερμοκρασία και το σύστημα μπορεί να λειτουργήσει με θερμοκρασίες από 50 έως 80° C.

Στο κανάλι εξάτμισης πραγματοποιείται η εξάτμιση του νερού από το θερμό κύκλο. Κατά την εξάτμιση, το συνολικό ποσό του νερού στο θερμό κύκλο μειώνεται και είναι αναγκαίο να συμπληρωθεί. Έτσι, το απόσταγμα της πρώτης βαθμίδας συλλέγεται και μέσω ενός εύκαμπτου σωλήνα οδηγείται στο δοχείο θέρμανσης. Μόνο μία μικρή ποσότητα από το υγρό απόσταγμα διαφεύγει μέσω της οπής των μη-συμπυκνωμένων αερίων στις επόμενες βαθμίδες. Το νερό τροφοδοσίας ρέει σε έναν κλειστό σωλήνα διαμέσου του καναλιού εξάτμισης στην πρώτη βαθμίδα. Το νερό τροφοδοσίας δεν έρχεται σε καμία επαφή με το κανάλι εξάτμισης.

Βαθμίδα

Η διαμόρφωση του πλαισίου μιας βαθμίδας (πλαίσιο λεπτού μεταλλικού φύλλου και πλαίσιο μεμβράνης εναλλάξ) βελτιστοποιείται για να παράγει τον ατμό από το αλατούχο διάλυμα.



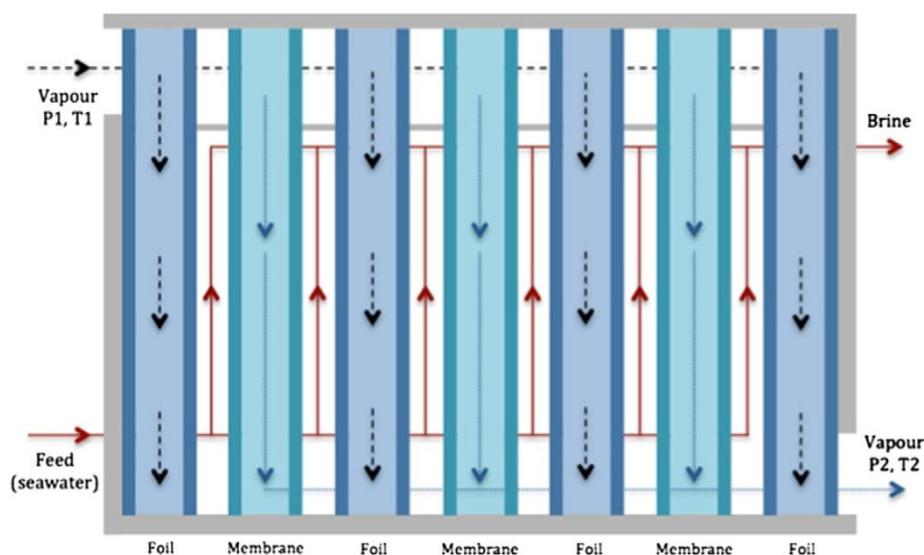
Σχήμα 19: Απεικόνιση του πλαισίου
(Thermal Water Treatment 2.0, 2013)

Ο θερμός ατμός ο οποίος παράγεται στο κανάλι εξάτμισης μεταφέρεται στην πρώτη βαθμίδα και στη συνέχεια στις επόμενες, για να συμπυκνωθεί. Οι βαθμίδες εμπεριέχουν ένα θάλαμο συμπύκνωσης (πλαίσιο λεπτού μεταλλικού φύλλου) και ένα θάλαμο εξάτμισης (πλαίσιο μεμβράνης-Σχήμα 20). Το αλατούχο διάλυμα ρέει μεταξύ του θαλάμου συμπύκνωσης και του θαλάμου εξάτμισης. Η λανθάνουσα θερμότητα της συμπύκνωσης χρησιμοποιείται για να θερμάνει την τροφοδοσία μέχρι το σημείο κορεσμού. Σύμφωνα με τη διαφορά πίεσης των ατμών, ο ατμός περνάει διαμέσου της μεμβράνης στο θάλαμο εξάτμισης, ο οποίος έχει χαμηλότερη πίεση. Οι βαθμίδες

ενσωματώνουν μία εσωτερική διαμόρφωση ανάκτησης θερμότητας, στην οποία ατμός από το προγενέστερο στάδιο χρησιμοποιείται για να θερμάνει και να εξατμίσει το αλατούχο διάλυμα.

Κάθε επόμενη βαθμίδα επομένως, έχει μικρότερη πίεση και θερμοκρασιακό επίπεδο από το προγενέστερη. Ο συμπυκνωμένος ατμός από κάθε βαθμίδα συλλέγεται και οδηγείται μέσω σωλήνωσης στο δοχείο τροφοδοσίας.

Το συγκεντρωμένο αλατούχο διάλυμα της πρώτης βαθμίδας ρέει στην δεύτερη βαθμίδα και ούτω κάθε εξής. Η άλμη της τελευταίας βαθμίδας συλλέγεται μέσω σωλήνωσης και οδηγείται στο δοχείο τροφοδοσίας για την επαναλειτουργία του κύκλου.



Σχήμα 20: Ροή τροφοδοσίας, άλμης και ατμού στη βαθμίδα (Zhao K. Et al., 2013)

Συμπυκνωτής

Η διαμόρφωση πλαισίου του συμπυκνωτή βελτιστοποιείται για τη μεγιστοποίηση της συμπύκνωσης (πλαίσιο λεπτού μεταλλικού φύλλου και κενό πλαίσιο εναλλάξ). Το ψυχρό νερό χρησιμοποιείται για να συμπυκνώσει τον ατμό, ο οποίος περνάει στην τελευταία βαθμίδα. Το κενό το οποίο παράγεται από τη συμπύκνωση του ατμού στην τελευταία βαθμίδα μέσα στο συμπυκνωτή, είναι η κινητήρια δύναμη που αναρροφά τον παραγόμενο ατμό από τις βαθμίδες στο συμπυκνωτή.

Στο τέλος, τα μη συμπυκνωμένα αέρα αναρροφώνται από την αντλία κενού δια μέσου του συστήματος κενού. Η άλμη ρέει διαμέσου αγωγού μέσα στο συμπυκνωτή. Η άλμη δεν έχει καμία επαφή με το κύκλο συμπύκνωσης. Το απόσταγμα από τις βαθμίδες (ξεκινώντας από τη δεύτερη βαθμίδα) ρέει στο συμπυκνωτή διαμέσου κατάλληλα διαμορφωμένων οπών μεταξύ κάθε βαθμίδας. Από το συμπυκνωτή, το απόσταγμα συλλέγεται και οδηγείται για την επαναλειτουργία του κύκλου, στο δοχείο τροφοδοσίας.

Σύστημα κενού

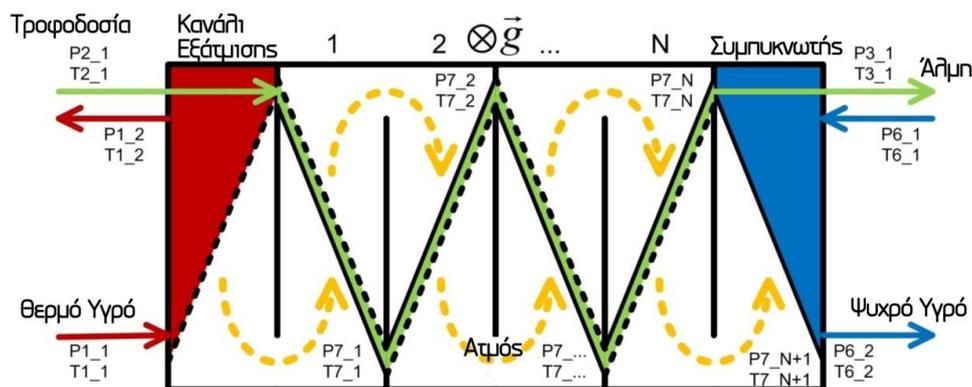
Μία αντλία κενού χρησιμοποιείται για να μειώσει την ολική πίεση του συστήματος και να εξάγει τα μη-συμπυκνωμένα αέρια από το σύστημα.

Αισθητήρες

Οι αισθητήρες χρησιμοποιούνται για να καθορίζουν την εσωτερική κατάσταση του υποσυστήματος μεμβράνης. Η κάτοψη στο σχήμα 22 αποδεικνύει τη χωροθέτηση των αισθητήρων. Η σημειογραφία που χρησιμοποιείται για τους αισθητήρες παρακάτω είναι: XY_Z (Σχήμα 21).

X	Y	Z
P – Πίεση [mbar]	1 – Σύστημα θέρμανσης	5 – Σύστημα Κενού
T – Θερμοκρασία [°C]	2 – Τροφοδοσία	6 – Σύστημα Ψύξης
F – Ροή Όγκου [l/min], [l/h]	3 – Άλημ	7 – Κανάλη Ατμού
MV – Σωληνοειδής Βαθβίδα	4 – Απόσταγμα	Z – Νούμερο Βαθβίδας

Σχήμα 21: Σημειογραφία αισθητήρων (Technical Description of Memsys Technology, 2013)



Σχήμα 22: Κάτοψη υποσυστήματος μεμβράνης, για την ανάδειξη των θέσεων των αισθητήρων (Technical Description of Memsys Technology, 2013)

2.6. Λειτουργικό υποσύστημα: βαθμίδες

Οι θερμοδυναμικές βαθμίδες συγκροτούνται με την άρθρωση ενός αριθμού από σκελετούς και αντίστοιχα δύο πλακών στο τέλος, οι οποίες συγκολλούνται

εφαρμόζοντας τη μέθοδο συγκόλλησης με τριβή. Ο συνδυασμός των διαφορετικών σκελετών επιτρέπει στη βαθμίδα να εκτελεί τα βασικά βήματα της διεργασίας διαχωρισμού: παραγωγή ατμού, εξάτμιση, ενεργειακή ανάκτηση, εξαέρωση, συμπύκνωση του αποστάγματος και συλλογή άλμης. Οι πολλαπλές βαθμίδες παρατάσσονται για να σχηματίσουν ένα υποσύστημα μεμβράνης. Καθένα από αυτά τα υποσυστήματα μπορεί να συγκροτείται από μία ή περισσότερες βαθμίδες. (Memsys Datasheet 4.6.4,2012)



Σχήμα 23: Λειτουργικό σύστημα βαθμίδας (μία βαθμίδα και πολυβάθμιο σύστημα)
(Thermal Water Treatment 2.0, 2013)

2.7. Εφαρμογές της V-MEMD

Οι παρακάτω εφαρμογές έχουν εφαρμοστεί επιτυχημένα με την διεργασία V-MEMD ή έχουν εξαιρετικές δυνατότητες:

Αφαλάτωση

- Αφαλάτωση θαλασσινού νερού για πόσιμο νερό ή διαδικασία παραγωγής νερού
- Περαιτέρω συγκέντρωση της άλμης
- Αφαλάτωση υφάλμυρου νερού από δύσκολα εδαφικά νερά
- Υψηλό ποσοστό ανάκτησης αφαλάτωσης
- Εφαρμογές ναυτιλίας
- Ηλιακή Αφαλάτωση

Εξόρυξη Πετρελαίου και φυσικού αερίου

- Μείωση της κατανάλωσης νερού στις εγκαταστάσεις παραγωγής πετρελαίου και φυσικού αερίου

- Επεξεργασία του παραγόμενου νερού από συμβατικές και μη συμβατικές πηγές (υδραυλική ρωγμάτωση, μεθάνιο από άνθρακα)
- Επεξεργασία λυμάτων από διυλιστήρια

Βιομηχανία και εξόρυξη

- Συγκέντρωση σιροπιού ζάχαρης
- Ανάκτηση πολύτιμων συστατικών από λύματα (π.χ. διαλύματα άλμης)
- Συγκέντρωση οργανικών λυμάτων
- Αλκαλικά χλωριούχα λύματα
- Συγκέντρωση οξέων από ορυχεία αποστράγγισης με στόχο την ελαχιστοποίηση των αποκρυπτόμενων ρύπων
- Συγκέντρωση πτητικών οργανικών ενώσεων (συγκέντρωση αιθανόλης, εξαγωγή αμμωνίας)

Τρόφιμα και ποτά

- Επεξεργασία της διαδικασίας παραγωγής νερού στην βιομηχανία τροφίμων και ποτού
- Συγκέντρωση και διαχωρισμός του ελαιολάδου στα λύματα πετρελαίου
- Διαχωρισμός και συγκέντρωση των πολύτιμων συστατικών από το τυρόγαλα
- Διαχωρισμός αλκοόλης
- Αποσταγμένο νερό από υδροπονική καλλιέργεια

Τομέας Ενέργειας

- Ανάκτηση του απορριπτόμενου νερού ψύξης
- Αφαλάτωση νερού τροφοδοσίας ενός λέβητα
- Αφαλάτωση νερού τροφοδοσίας για πύργο υγρής ψύξης

Κεφάλαιο 3: Σχεδιαστικό Πακέτο SolidWorks

3.1. Εισαγωγή

Το σχεδιαστικό πακέτο Solidworks αποτελεί ένα ολοκληρωμένο σχεδιαστικό πακέτο το οποίο επιτρέπει τη δημιουργία, την επικύρωση, την επικοινωνία και τη διαχείριση του σχεδιασμού προϊόντων (SolidWorks Datasheet, 2014). Στη συγκεκριμένη ενότητα παρουσιάζεται μια αναλυτική αναφορά στις δυνατότητες και στα πλεονεκτήματα του συγκεκριμένου πακέτου.

3.2. Επιλογή του σχεδιαστικού πακέτου SolidWorks

Το σχεδιαστικό πακέτο Solidworks έχει συγκριτικά πλεονεκτήματα, τα οποία οδήγησαν στην επιλογή του συγκεκριμένου για την τρισδιάστατη απεικόνιση της πιλοτικής μονάδας (Advantages of SolidWorks 3D CAD, 2014). Μερικά από τα πλεονεκτήματα είναι:

- Απλό περιβάλλον εργασίας

Με το σχεδιαστικό πακέτο Solidworks, είναι εύκολο ο κάθε χρήστης να εμπεδώσει και να χρησιμοποιήσει τη διαισθητική επιφάνεια του περιβάλλοντος εργασίας. Στο μενού περιβάλλοντος παρουσιάζονται οι κατάλληλες εντολές την κατάλληλη στιγμή. Τα εργαλεία που χρησιμοποιούνται συχνότερα εμφανίζονται όταν αυτό απαιτείται. Σχεδιασμένο για την άμεση παραγωγικότητα, μπορεί να προσαρμοστεί ώστε να γίνει ταχύτερη η εργασία. Η εξατομίκευση του περιβάλλοντος μπορεί να προσαρμοστεί στις εκάστοτε προτιμήσεις, οδηγώντας την παραγωγή σε πολύ υψηλό επίπεδο. Τα διαγνωστικά εργαλεία αφαιρούν την πολυπλοκότητα από το σχεδιασμό, όπως επίσης δυναμικά εργαλεία σχεδιασμού παράγουν εύκολα τις σύνθετες μορφές που χρειαζόμαστε σήμερα για τον απαιτητικό σχεδιασμό.

- Έξυπνος Σχεδιασμός

Ο δυσδιάστατος και ο τρισδιάστατος σχεδιασμός είναι η βάση της τρισδιάστατης μοντελοποίησης. Τα σχέδια ενημερώνονται κατά τη διαδικασία του σχεδιασμού. Το λογισμικό του πακέτου Solidworks αντιλαμβάνεται εύκολα τις σχέσεις μεταξύ των σχεδίων, κάτι το οποίο επιτρέπει στο χρήστη να συλλαμβάνει την πρόθεση σχεδιασμού κατευθείαν στα 3D CAD μοντέλα. Έτσι, όταν εφαρμόζουμε κάποια αλλαγή, ενημερώνεται αυτόματα όλο το σχέδιο. Εάν προκύψει κάποιο σφάλμα κατά το σχεδιασμό, το Solidworks SketchXpert αξιολογεί τις σχέσεις σχεδίασης και αυτόματα αντιμετωπίζει τα τυχόν προβλήματα.

- Δυναμικός Σχεδιασμός

Ο δυναμικός σχεδιασμός ως λογισμικό του Solidworks, επιτρέπει την εύκολη παραγωγή εξελιγμένων και αισθητικά όμορφων μοντέλων, τα οποία διαφοροποιούν πολύ τη σχεδίαση. Από την απλή πρισματική γεωμετρία ως τα πιο σύνθετα σχέδια, το λογισμικό είναι πάντα γρήγορο και αποτελεσματικό, αυτοματοποιώντας επαναλαμβανόμενες εργασίες οι οποίες θα καθυστερούσαν το σχεδιασμό και την ανάπτυξη. Το 3D CAD του Solidworks επιταχύνει τη σχεδίαση, δίνοντας στο χρήστη την επιλογή για αντιγραφή, κατοπτρισμό και επαναληπτική χρήση μιας γεωμετρίας. Επίσης, ο χρήστης δύναται με ιδιαίτερη ευκολία να δημιουργήσει έναν ατελείωτο αριθμό παραλλαγών σχεδίασης από ένα απλό μοντέλο.

- Εκτέλεση πολύπλοκων συναρμολογήσεων

Η δημιουργία σχεδίων, ειδικότερα μεγάλων και σύνθετων, μπορεί να είναι δύσκολη σε ένα δυσδιάστατο περιβάλλον. Όσο ο σχεδιασμός γίνεται πολυπλοκότερος, τόσο δυσκολεύει η απεικόνιση και η κατανόηση των αλληλεπιδράσεων αλλά και των τοποθετήσεων των εξαρτημάτων στο σύνολο των συναρμολογήσεων. Το Solidworks 3D Solution απλοποιεί το σχεδιασμό της συναρμολόγησης. Ο χρήστης συνδέει τα συναρμολογημένα μέρη με τον τρόπο που θα γινόταν στην πραγματικότητα. Με την υψηλή ικανότητα απεικόνισης, μπορεί ο χρήστης να δει, να περιστρέψει ακόμα και να «διαπεράσει» το σχέδιο του για περισσότερη σαφήνεια. Μπορεί επίσης, να μετακινήσει το συναρμολογημένο σχέδιο για να διαπιστώσει πως λειτουργεί στην πραγματικότητα καθώς και να ελέγξει παρεμβολές, εκκαθαρίσεις και ευθυγραμμίσεις σε όλο το φάσμα της κίνησης.

Τα εργαλεία του Solidworks βοηθούν το χρήστη να δημιουργήσει εξ' αρχής ένα ποιοτικό σχέδιο, με έξυπνες βιβλιοθήκες από επαναχρησιμοποιούμενα μέρη και με βιβλιοθήκη έξυπνων συνδέσμων. Τέλος, οι δυνατότητες σχεδίασης συντελούν στον εντοπισμό δυνητικά επαναξιοποιήσιμων σχεδίων καθώς και την ολοκληρωμένη πρόσβαση σε διαδικτυακούς καταλόγους των 3D προμηθευτών εξαρτημάτων, τα οποία απλοποιούν την εύρεση στοιχείων που απαιτούνται.

- Ισχυρή Οπτικοποίηση

Ένα σαφές πλεονέκτημα των μοντέλων του Solidworks 3D CAD είναι η ικανότητα να απεικονίσουν και να αποτυπώσουν πώς θα λειτουργήσουν στην πραγματικότητα. Με την ισχυρή οπτικοποίηση και τα εργαλεία συνεργασίας, ο χρήστης μπορεί να δημιουργήσει ένα έτοιμο φυλλάδιο για το μοντέλο επιλέγοντας μέσα από μια ποικιλία για τα υλικά, την υφή και το παρασκήνιο απεικόνισης. Σε αντίθεση με τα παραδοσιακά εργαλεία απόδοσης, το Solidworks PhotoView360 δεν απαιτεί καμία φωτογραφική εμπειρία και λειτουργεί δυναμικά, επιτυγχάνοντας αποτελέσματα υψηλής ποιότητας ταχύτερα. Υπάρχει ακόμη η δυνατότητα για την παραγωγή κινούμενων σχεδίων. Το Solidworks eDrawings Viewer επιτρέπει στο χρήστη να μοιραστεί τα 3D μοντέλα, σχέδια, κινούμενα σχέδια και προσομοιώσεις μέσω του ηλεκτρονικού ταχυδρομείου. Τέλος, η κινούμενη εικόνα όσον αφορά το συναρμολογημένο μέρος αποδεικνύει τις βασικές λειτουργίες του σχεδιασμού που

έχει υλοποιηθεί, εφαρμόζοντας την κίνηση, τη βαρύτητα και την επαφή του κάθε στοιχείου μετακινώντας χειροκίνητα τα εξαρτήματα.



Σχήμα 24: Φωτορεαλιστική απόδοση ποδηλάτου σχεδιασμένου στο SolidWorks (SolidWorks Datasheet, 2014)

- Υψηλή ικανότητα σχεδίασης

Το σχεδιαστικό πακέτο Solidworks παρέχει τα εργαλεία για τη δημιουργία ολοκληρωμένων σχεδίων. Το 2D σχέδιο συνδέεται αυτόματα με το 3D μοντέλο. Όταν το 3D μοντέλο τροποποιηθεί, το σχέδιο 2D ανανεώνεται αυτόματα και αντίστροφα, διασφαλίζοντας ότι οι σχεδιαστικές όψεις είναι ενημερωμένες όπως και το σχέδιο όσον αφορά την κλίμακα. Η δημιουργία και η τοποθέτηση οποιοδήποτε όψεων μπορεί να γίνει με μερικά μόνο κλικ του ποντικιού. Ευφυή εργαλεία διαστασιολογούν αυτόματα τα στοιχεία για να εξασφαλιστεί ότι τα σχέδια έχουν τις απαραίτητες πληροφορίες κατασκευής. Καθιερωμένα πρότυπα και αυτόματοι έλεγχοι του σχεδίου εξορθολογούν τα κοινά σχέδια ελέγχου των εργασιών. Το πρόγραμμα δημιουργεί αυτόματα (όταν ζητηθεί από το χρήστη) το λογαριασμό των υλικών (BOMs), όπως επίσης περιλαμβάνει ειδικά εργαλεία όσον αφορά τη διαστασιολόγηση και τις ανοχές.

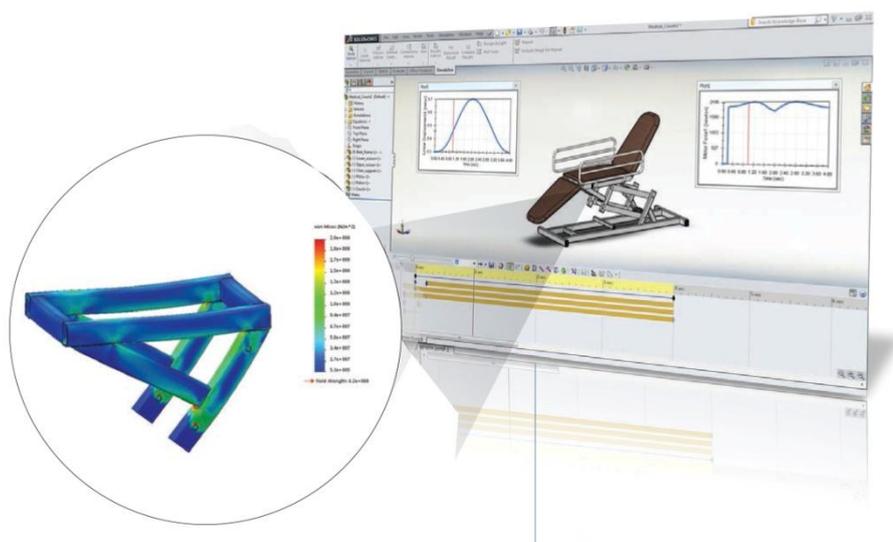
- Επιδόσεις και επεκτασιμότητα

Το μοναδικό σύνολο εργαλείων λογισμικού του Solidworks, μας επιτρέπει να ασχοληθούμε με οποιοδήποτε μέγεθος του συναρμολογημένου μέρους και εξαλείφει τη συμφόρηση (όπως την αργή ταχύτητα επεξεργασίας του σχεδιασμού), η οποία συμβαίνει κατά την εργασία με σύνθετα συναρμολογημένα υποσυστήματα. Ως εκ τούτου, έχουμε τον πλήρη έλεγχο σε ποια στοιχεία φορτώνονται και εκφορτώνονται από τη μνήμη. Αρκετές εργασίες εκτελούνται στο παρασκήνιο, εκμεταλλευόμενοι έτσι το χρόνο αδράνειας της CPU ο οποίος εμφανίζεται μεταξύ των εργασιών.

Υποστηρίζει ένα ευρύ φάσμα των υπολογιστικών πλατφόρμων, καθώς επίσης το λογισμικό έχει τη δυνατότητα να αξιοποιήσει πλήρως 64-bit υπολογιστές για βέλτιστη απόδοση. Το Solidworks ακόμα υποστηρίζει πολλαπλούς πυρήνες και πολλαπλές λειτουργίες, καθώς το σύστημα λειτουργεί παρασκηνιακά.

- Προσομοίωση

Η απρόσκοπτη ενσωμάτωση μεταξύ CAD και προσομοίωσης μας επιτρέπει να δοκιμάσουμε κάθε αλλαγή στο σχεδιασμό όπως επίσης και τη διερεύνηση των επιπτώσεων στις επιδόσεις του προϊόντος υπό πραγματικές συνθήκες. Η προσομοίωση του Solidworks (Σχήμα 25) είναι αρκετά εύχρηστη, αλλά και αρκετά ισχυρή για την εκτέλεση προηγμένης ανάλυσης. Χρησιμοποιώντας την προσομοίωση σε όλη τη διαδικασία του σχεδιασμού, εντοπίζονται προβλήματα από νωρίς, όταν αυτά είναι ευκολότερο να αντιμετωπιστούν.



Σχήμα 25: Προσομοίωση στο σχεδιαστικό πακέτο SolidWorks (SolidWorks Datasheet, 2014)

- Εργαλεία Παραγωγικότητας

Το Solidworks 3D CAD Solution προσφέρει μοναδικές δυνατότητες οι οποίες ελέγχουν αυτόματα την εργασία μας, μειώνουν το ανθρώπινο λάθος, και εξαλείφουν τη συμφόρηση του σχεδιασμού, αυτοματοποιώντας τη διαδικασία ελέγχου των σχεδίων. Οπτικά εργαλεία συγκρίνουν σχέδια και μοντέλα, δίνοντας έμφαση στις

διαφορές μεταξύ των εκδόσεων του σχεδιασμού. Επιπλέον έχουμε την επιλογή να συγκρίνουμε τα σχέδια για τις αποκλίσεις και να ψάξουμε για σχέδια που έχουν ξανά χρησιμοποιηθεί στο παρελθόν. Παρέχονται ακόμη εργαλεία για τον έλεγχο των σχεδίων, προειδοποιώντας το χρήστη πως η τρέχουσα γεωμετρία είναι αδύνατο να κατασκευαστεί όταν απαιτείται.

Συνοψίζοντας, τα βασικά πλεονεκτήματα για τα οποία συνήθως επιλέγεται το Solidworks είναι:

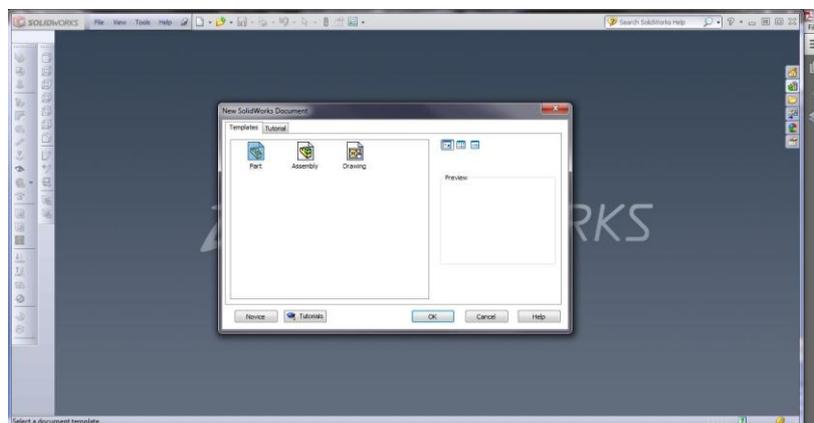
- η οπτικοποίηση και η επικοινωνία με φωτορεαλιστικά και κινούμενα σχέδια.
- η γρήγορη δημιουργία οποιασδήποτε γεωμετρίας, εμπεριέχοντας σύνθετα σχήματα και σχήματα συνεχούς καμπύλης
- η εύκολη δημιουργία, η προώθηση και η διαχείριση σχεδιασμού μεγάλης κλίμακας, η συνεργασία και τα εργαλεία διαχείρισης δεδομένων
- η εγγυημένη απόδοση, η παραγωγή και ο υπολογισμός του κόστους χρησιμοποιώντας την ενσωματωμένη ανάλυση

Όλα αυτά τα σημαντικά πλεονεκτήματα τα οποία αναφέρθηκαν παραπάνω, συντέλεσαν στην απόφαση να επιλεγεί το συγκεκριμένο σχεδιαστικό πακέτο για το σχεδιασμό και την απεικόνιση της εγκατάστασης που αναπτύχθηκε στο εργαστήριο Ηλιακών & άλλων Ενεργειακών Συστημάτων του ΕΚΕΦΕ "ΔΗΜΟΚΡΙΤΟΣ".

3.3. Σχεδιασμός υποσυστημάτων στο SolidWorks

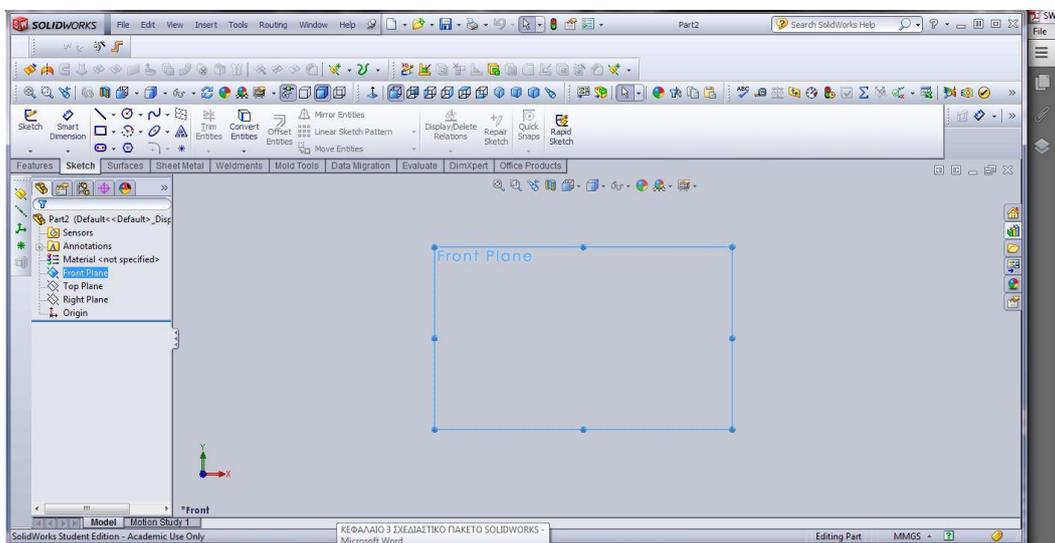
Το σχεδιαστικό πακέτο Solidworks μας επιτρέπει να σχεδιάσουμε προϊόντα και εφαρμογές μεταφέροντας τα σχέδια από το 2D σχεδιασμό στον 3D χώρο. Έτσι, ενδεικτικά για την δημιουργία 3D στερεών μοντέλων έχουμε την εξής διαδικασία:

1. Ανοίγουμε το πρόγραμμα.
2. Πατάμε την καρτέλα File -- > New.
3. Πατάμε στην καρτέλα Template την επιλογή Part και την επιλογή ok (Σχήμα 26).



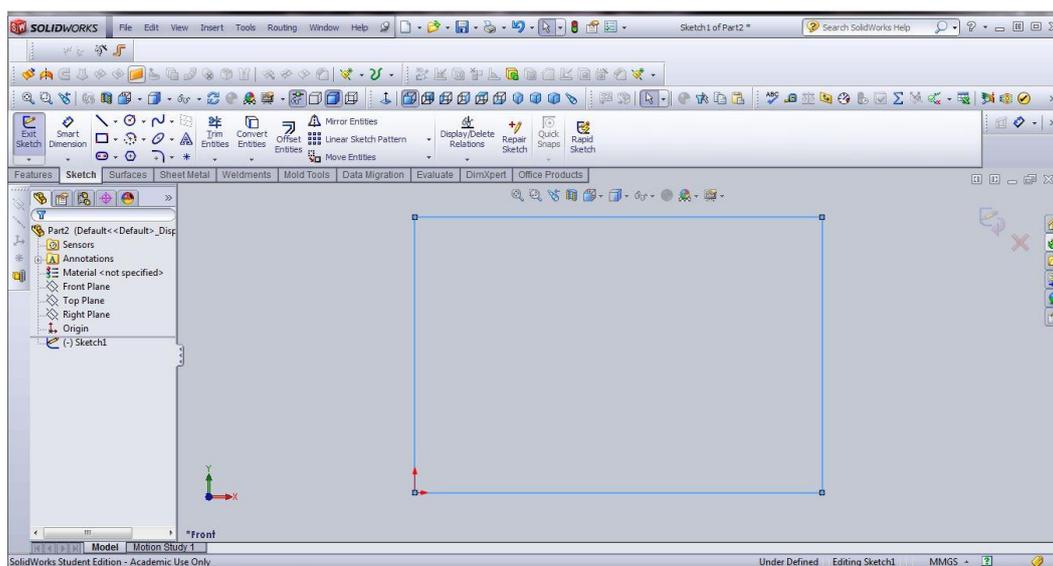
Σχήμα 26: Σχεδιαστικό πακέτο SolidWorks- εντολή Part

4. Ανοίγοντας το περιβάλλον εργασίας πηγαίνουμε στην καρτέλα sketch και επιλέγουμε ένα από τα τρία επίπεδα στο αριστερό μέρος της οθόνης (Front Plane, Top Plane, Right Plane- Σχήμα 27)



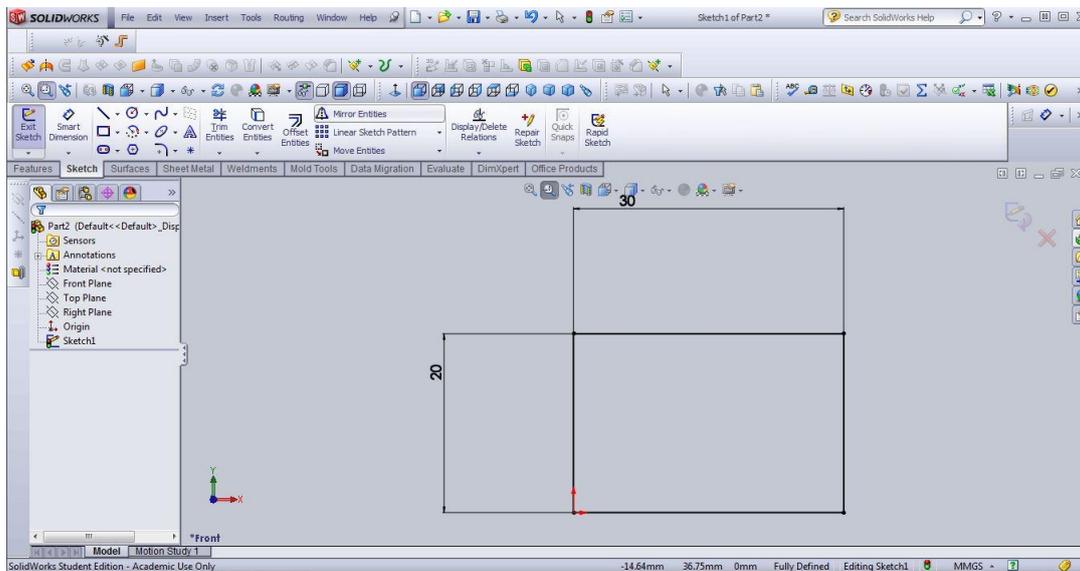
Σχήμα 27: Σχεδιαστικό πακέτο SolidWorks- εντολή Sketch

5. Επιλέγουμε το επίπεδο και ξεκινάμε να σχεδιάζουμε, επιλέγοντας μία από τις εντολές που εμπεριέχει η καρτέλα.
6. Ξεκινάμε πάντα τον σχεδιασμό από το origin σημείο. Εδώ σχεδιάσαμε ένα παραλληλόγραμμο (Σχήμα 28).



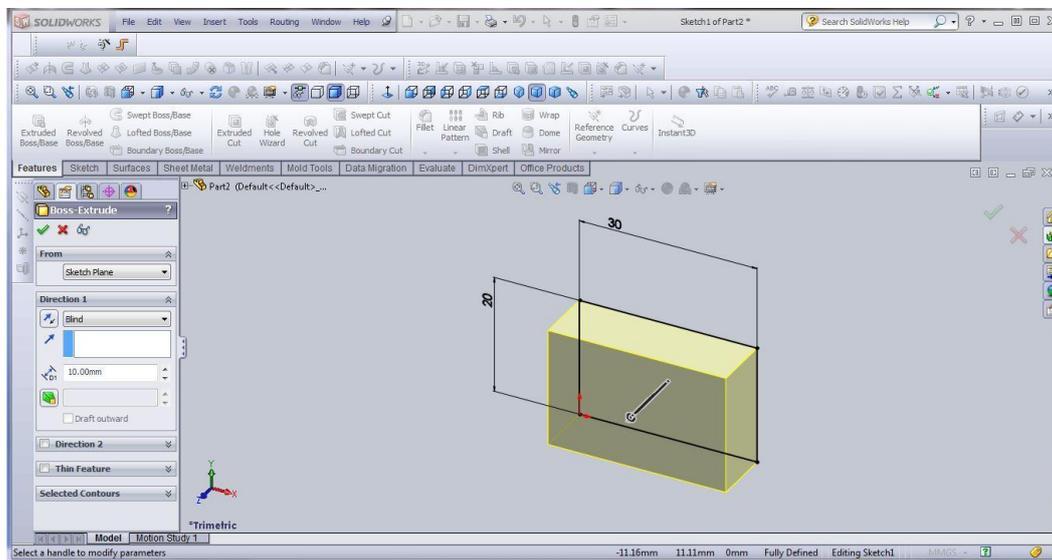
Σχήμα 28: Σχεδιαστικό πακέτο SolidWorks- εντολή Sketch 2

7. Στην συνέχεια εισάγουμε τις διαστάσεις που επιθυμούμε (εδώ για παράδειγμα 30x20 mm. -Σχήμα 29)



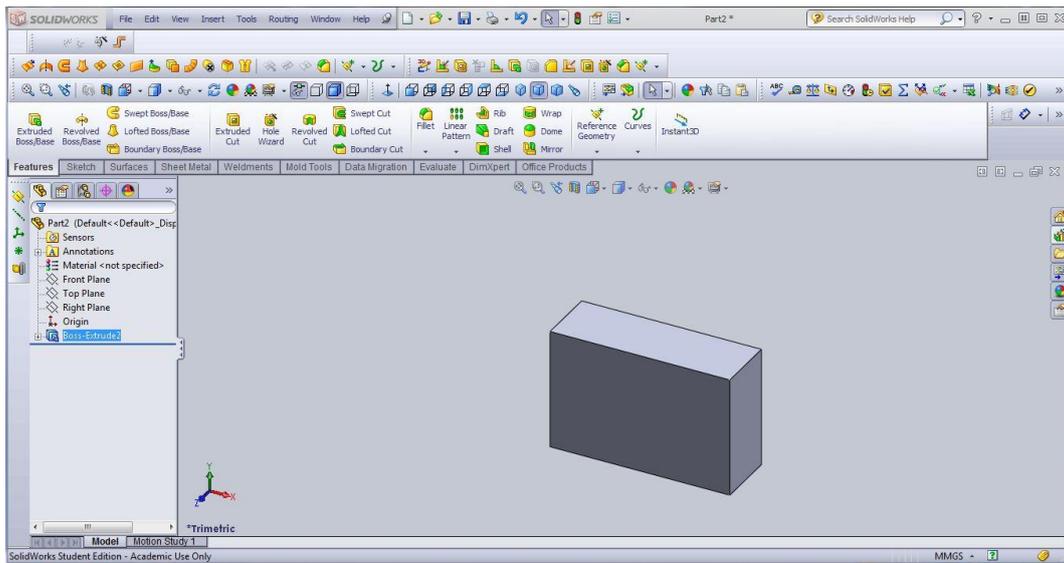
Σχήμα 29: Σχεδιαστικό πακέτο SolidWorks- διαστασιολόγηση Part

8. Επιλέγουμε την καρτέλα Features και στην συνέχεια την εντολή Extruded Boss/Base, εισάγοντας την τρίτη διάσταση ως 10 mm (Σχήμα 30).



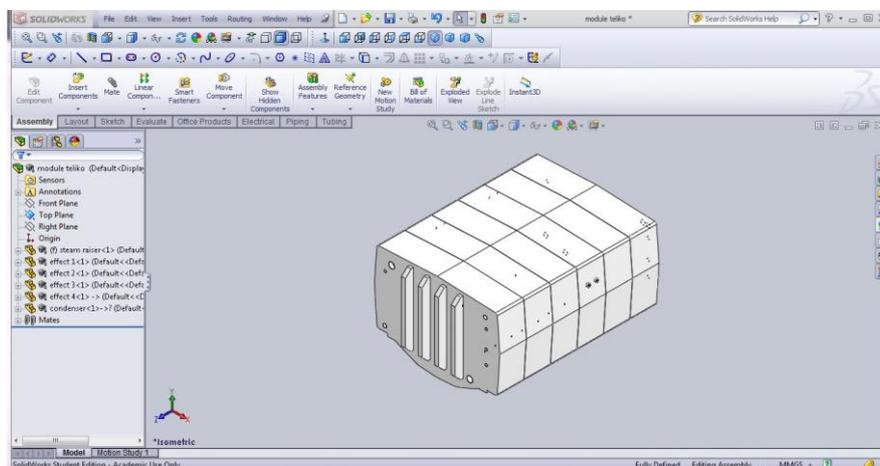
Σχήμα 30: Σχεδιαστικό πακέτο SolidWorks- εντολή Extruded Boss/Base

9. Έτσι, δημιουργήσαμε ένα στερεό τριών διαστάσεων (Σχήμα 31).



Σχήμα 31: Σχεδιαστικό πακέτο SolidWorks- ολοκληρωμένο Part

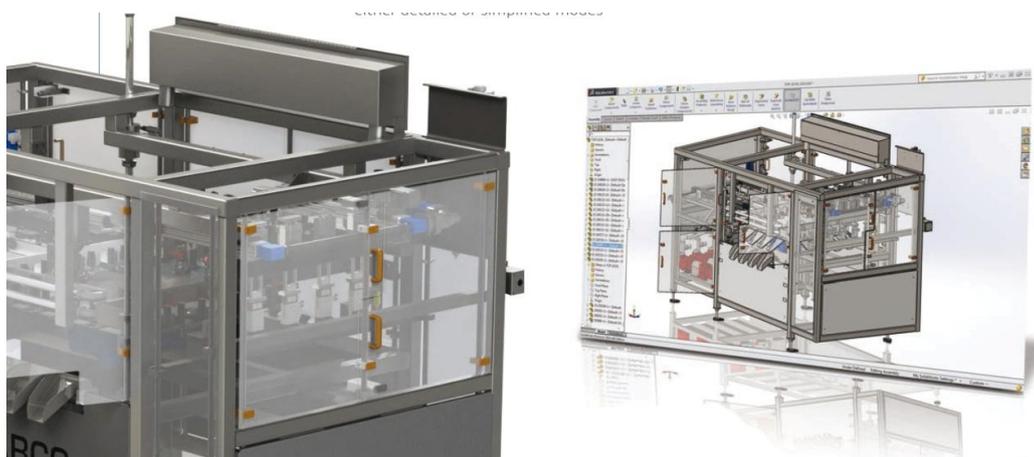
Όλη η παραπάνω διαδικασία, αποτυπώνει τον τρόπο της μεταφοράς ενός σχεδίου από το δυσδιάστατο σχέδιο στην τρισδιάστατη απεικόνιση στον χώρο. Για την παρούσα διπλωματική εργασία και το σχεδιασμό, χρησιμοποιήθηκαν διάφορες εντολές του προγράμματος οι οποίες όμως είναι αδύνατο να αναφερθούν εκτενώς. Ενδεικτικά, χρησιμοποιήθηκαν σχεδόν όλες οι εντολές από τις πέντε πρώτες καρτέλες: Feature, Sketch, Surfaces, Sheet Metal, Weldments. Χρησιμοποιήθηκε σε μεγάλο βαθμό και το SolidWorks Online Help, ένα manual του σχεδιαστικού πακέτου, το οποίο περιγράφει αναλυτικά όλες τις εντολές του πακέτου. (SolidWorks Help, 2014). Αντίστοιχα, στη λειτουργία συναρμολόγησης των επιμέρους στοιχείων (Assembly) χρησιμοποιήθηκαν όλες οι εντολές της καρτέλας Assembly (Σχήμα 32). Έτσι, με τη βοήθεια αυτού του ολοκληρωμένου εργαλείου σχεδιάστηκε με ρεαλιστικό τρόπο η πιλοτική μονάδα που υλοποιείται.



Σχήμα 32: Ολοκληρωμένο υποσύστημα Μembrάνης, όπως σχεδιάστηκε στο SolidWorks

3.4. Επαναξιοποίηση του σχεδιασμού και αυτοματοποίηση

Το συγκεκριμένο πακέτο έχει τη δυνατότητα να επιταχύνει την ανάπτυξη των νέων σχεδίων με τη επαναχρησιμοποίηση υπάρχουσών εργασιών, χρησιμοποιώντας εργαλεία αυτοματισμού του σχεδιασμού (SolidWorks Datasheet, 2014). Το SolidWorks διαθέτει μηχανή αναζήτησης, στην οποία μπορεί να αναζητηθεί οποιοδήποτε αρχείο στον υπολογιστή μας, στο διαδίκτυο ή στο Σύστημα Διαχείρισης Προϊόντων και Δεδομένων του SolidWorks. Επίσης, στη βιβλιοθήκη σχεδιασμού μπορούμε να αποθηκεύουμε τμήματα που χρησιμοποιούνται συχνά, αλλά και πρότυπα για εύκολη πρόσβαση. Η εργαλειοθήκη του SolidWorks περιέχει πάνω από ένα εκατομμύριο εξαρτήματα και άλλα στοιχεία για να προσθέτει ο χρήστης στα συναρμολογημένα υποσυστήματα. Υπάρχει ακόμα διαδικτυακή βιβλιοθήκη η 3D ContentCentral®, όπου μπορεί ο χρήστης να μειώσει το χρόνο σχεδίασης, με την εύρεση 2D και 3D στοιχείων τα οποία παρέχονται από διάφορους προμηθευτές (Σχήμα 33).

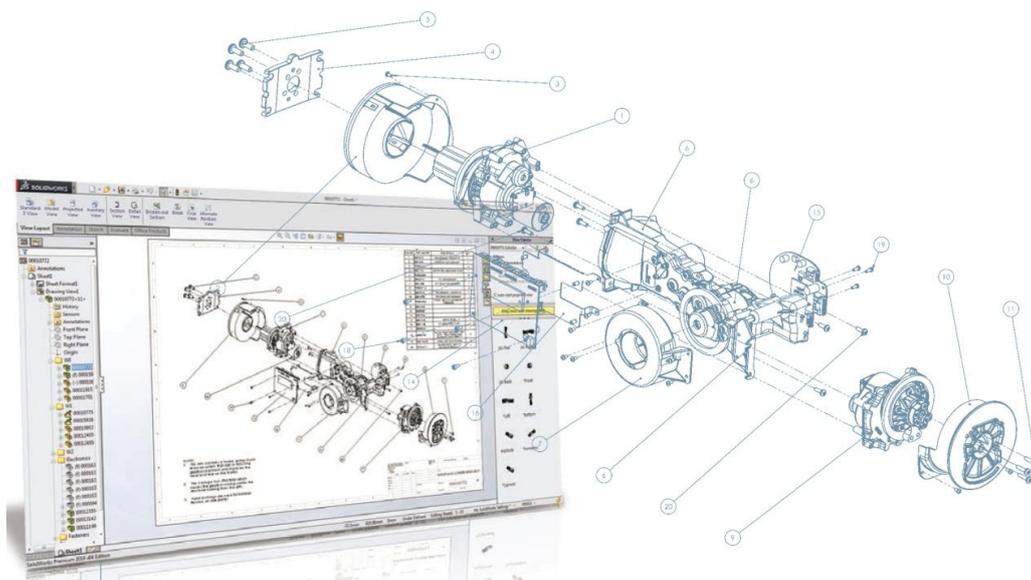


Σχήμα 33: Επίσπευση σχεδιασμού στο SolidWorks και μείωση σφαλμάτων κατασκευής (SolidWorks Datasheet, 2014)

3.5. 2D σχέδια

Ο χρήστης με το σχεδιαστικό πακέτο μπορεί να δημιουργήσει 2D σχέδια με ιδιαίτερη ευκολία από το μοντέλο, τα οποία αποτυπώνουν άμεσα πως θα πρέπει να κατασκευαστεί και να συναρμολογηθεί κάθε προϊόν που δημιουργούμε στον υπολογιστή (Σχήμα 34). Έτσι, με μία απλή τοποθέτηση του 3D μοντέλου στο περιβάλλον εργασίας του σχεδίου, δημιουργούνται αυτόματα όψεις του μοντέλου με ή χωρίς κρυφές γραμμές ή με σκίαση. Όπως επίσης, υπάρχει η δυνατότητα για τη δημιουργία όψεων ενός τμήματος ή ενός μερικού τμήματος. Η αυτόματη δημιουργία όψεων σχεδίασης μπορεί να συγχρονίσει τις όψεις σχεδίασης με την αυτόματη προβολή σχεδίασης και ενημερώνεται κάθε φορά που το 3D μοντέλο αλλά και τα συναρμολογημένα κομμάτια τροποποιούνται. Τέλος, εμπεριέχονται και οι απαραίτητες επισημάνσεις, καθώς η δημιουργία ενός ολοκληρωμένου σχεδίου 2D θα

πρέπει να εμπεριέχει τα απαραίτητα σύμβολα, τις σημειώσεις, όπως επίσης και επεξηγήσεις των οπών και των πινάκων.



Σχήμα 34: Σχεδιαστικό πακέτο SolidWorks- πίνακας υλικών (SolidWorks Datasheet, 2014)

3.6. Επικύρωση απόδοσης σχεδιασμού με εικονικά τεστ

Με την επικύρωση του σχεδιασμού ο χρήστης βεβαιώνεται ότι οι ιδέες του θα λειτουργήσουν όπως ακριβώς έχουν σχεδιαστεί. Τα εργαλεία προσομοίωσης όντας πλήρως ολοκληρωμένα μέσα στο SolidWorks CAD, είναι κατασκευασμένα για τους μηχανικούς. Η επικύρωση γίνεται με τέσσερα εργαλεία τα οποία είναι:

- η χρονικά βασισμένη κίνηση, η οποία χρησιμοποιεί τους δεσμούς συναρμολόγησης, τις επαφές του κάθε σχεδιασμένου υποσυστήματος και αποτελεί ένα ισχυρό εργαλείο βασισμένο στην φυσική κίνηση. Έτσι προσδιορίζονται με ακρίβεια οι φυσικές δυναμικές κινήσεις ενός συναρμολογημένου στοιχείου υπό φορτίο, ώστε να επιβεβαιωθεί ότι έχουν εκπληρωθεί οι στόχοι του σχεδιασμού καθ' όλη τη διάρκεια του κύκλου λειτουργίας.
- η γραμμική στατική προσομοίωση, η οποία υπολογίζει τάσεις, παραμορφώσεις καθώς και τον παράγοντα ασφαλείας της γεωμετρίας. Έτσι προσδιορίζονται διαισθητικά οι περιοχές οι οποίες είναι επιρρεπείς σε αστοχία ή οι υπερ-διαστασιολογημένες περιοχές. Επίσης αξιολογούνται οι αλλαγές στο σχεδιασμό για την ενίσχυση της ποιότητας και της απόδοσης.
- το SustainabilityXpress, το οποίο εκτιμάει τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις του σχεδιασμένου προϊόντος και βελτιστοποιεί την επιλογή υλικών, τη γεωμετρία του κάθε υποσυστήματος και τις πηγές.

- το FloXpress, το οποίο παρέχει την προσομοίωση για την αρχική ροή του ρευστού και την υποβολή ολοκληρωμένης έκθεσης.

3.7. Άλλες εφαρμογές

Υπολογισμός του κόστους: γίνεται ο αυτόματος υπολογισμός του, καθώς εκτιμάται το κόστος κατασκευής του κάθε μοντέλου χρησιμοποιώντας ενσωματωμένα πρότυπα κόστους. Έτσι, ο χρήστης επιταχύνει τον σχεδιασμό, αλλά και παίρνει αποφάσεις όσον αφορά αυτόν, όντας ενήμερος για το κόστος. Υπάρχει, επιπροσθέτως, η δυνατότητα για προσαρμόσιμες ρυθμίσεις κατασκευής, δηλαδή για την προσαρμογή των προτύπων ώστε να εισαχθούν συγκεκριμένες δαπάνες και δεδομένα παραγωγής (όπως το κόστος των υλικών, της εργασίας, η ταχύτητα της μηχανής και των δεδομένων εισόδου, αλλά και το κόστος συγκρότησης της εγκατάστασης).

Σύστημα Ελεύθερης Διαδρομής: δίνεται η δυνατότητα παραγωγής ηλεκτρικής καλωδίωσης, για να παραχθούν σχέδια από τον πίνακα ανακοινώσεων καθώς και λίστες κοπής καλωδίων για την ηλεκτρική παραγωγή. Επιπλέον, ο χρήστης μπορεί με ιδιαίτερη ευκολία να σχεδιάσει ολοκληρωμένα δίκτυα σωληνώσεων, για καλύτερη βιομηχανική παραγωγή ή μεταφορά.

3.8. Ανταλλαγή- έξοδος δεδομένων

Το SolidWorks εμπεριέχει ενσωματωμένους μεταφραστές οι οποίοι επιτρέπουν την έξοδο των δεδομένων κατευθείαν για την παραγωγή:

- 3D για ταχεία προτυποποίηση: εξόδος STL (πρότυπη γλώσσα ψηφοθέτησης) και άλλες μορφές αρχείων για τον ταχύ πρωτότυπο εξοπλισμό απευθείας από 3D μοντέλα του SolidWorks.
- 2D στοιχεία κατασκευής: αυτόματη εξαγωγή CNC-ready DXF™ και DWG αρχείου πληροφοριών απευθείας από 3D μοντέλα του SolidWorks
- Βελτίωση προετοιμασίας παραγωγής: αυτόματη έξοδος των διαγραμμάτων οπών, πίνακες συγκολλήσεων, λίστες κοπής, πίνακες εργαλείων διάτρησης, και CNC δεδομένα ανάμειξης σωλήνων.

Κεφάλαιο 4: Παρουσίαση της μονάδας και των υποσυστημάτων της

4.1. Εισαγωγή

Στην παρούσα ενότητα παρουσιάζονται αναλυτικά τα υποσυστήματα της εγκατάστασης με τις προδιαγραφές τους καθώς και όλα τα εξαρτήματα αυτής, όπως ακριβώς σχεδιάστηκαν στο σχεδιαστικό πακέτο SolidWorks. Τέλος, παρουσιάζονται οι συνδέσεις μεταξύ των υποσυστημάτων όπως επίσης και η δικαιολόγηση της επιλογής τους.

4.2. Σχεδιασμός της μονάδας

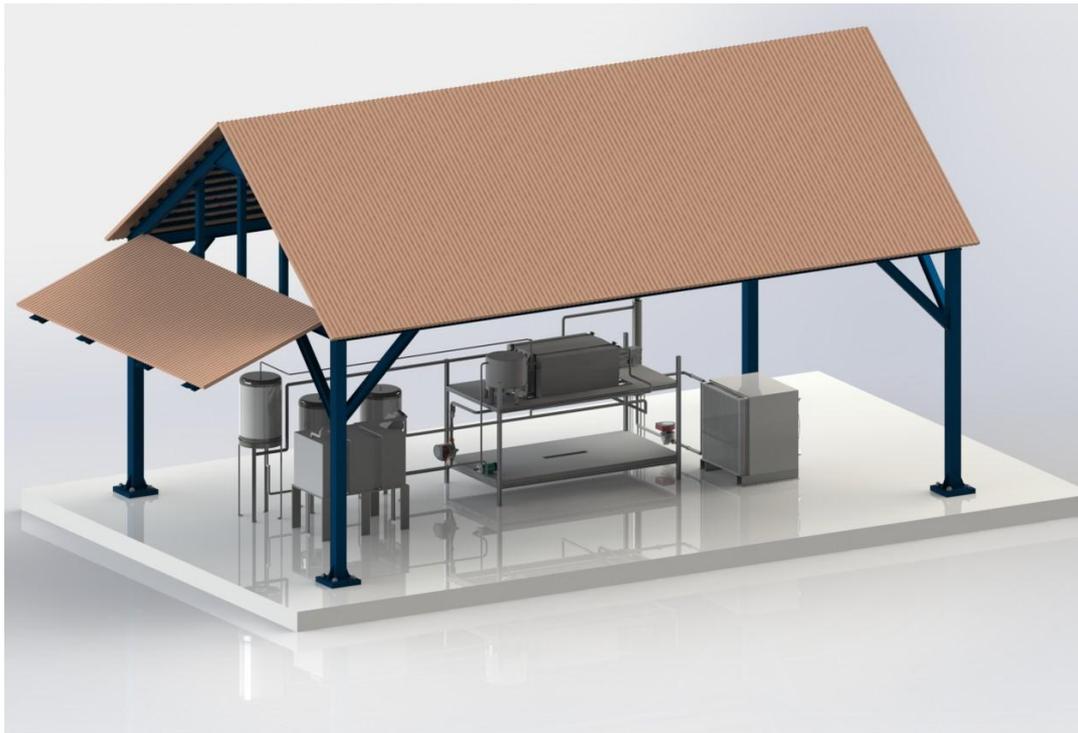
Στο εργαστήριο, σχεδιάστηκε η πιλοτική μονάδα, με βασικό στοιχείο το υποσύστημα μεμβράνης το οποίο επιλέχθηκε για την διεργασία της αφαλάτωσης. Ξεκινώντας από εκεί, επιδιώχθηκε με βάση τις λειτουργικές συνθήκες του συστήματος που δόθηκαν από την εταιρεία κατασκευής, να συγκροτηθεί το υπόλοιπο σύστημα (Technical description of process, modules and applications, 2012). Οι λειτουργικές συνθήκες του συστήματος είναι:

- 2.8 m³/h η παροχή του ρευστού στο θερμό κύκλο (αντίστοιχα και στον ψυχρό)
- 16 KW η θερμική ενεργειακή απαίτηση όπως δόθηκε για το σύστημα
- η ηλεκτρική ενέργεια να κυμαίνεται στα 400/230 V, 3 φασική σε δίκτυο των 50 Hz
- η ροή τροφοδοσίας σε ονομαστικές συνθήκες δόθηκε 80 έως 120 l/h
- η ροή του αποσταγμένου νερού δόθηκε 30 έως 50 l/h
- η απόρριψη άλμης δόθηκε 50-70 l/h

Στη συνέχεια θα παρουσιαστούν αναλυτικά οι αντίστοιχοι κύκλοι, εμπεριέχοντας όλα τα μέρη του καθενός. Στο σχήμα 35 δίνεται μία συνολική άποψη της πιλοτικής μονάδας σχεδιασμένης στο SolidWorks.

4.3. Υποσύστημα μεμβράνης

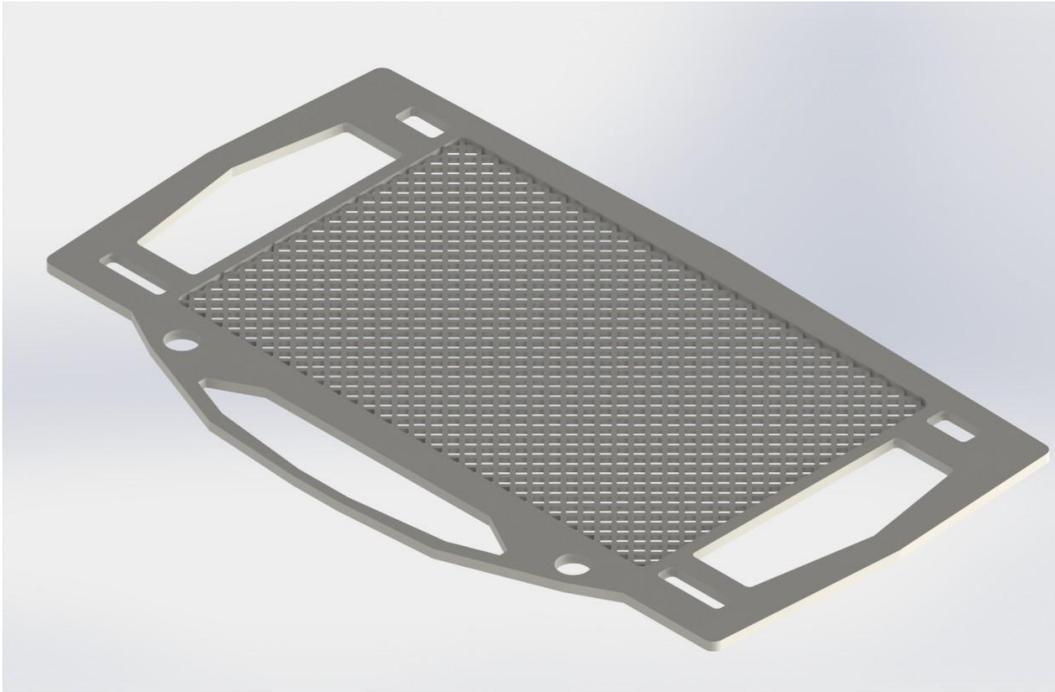
Το υποσύστημα μεμβράνης σχεδιάστηκε με όλες τις λεπτομέρειες, οι οποίες δόθηκαν αναλυτικά από την εταιρεία κατασκευής. Η ανάλυση του συστήματος έχει γίνει στο κεφάλαιο 2 με εκτενή αναφορά. Παρακάτω απεικονίζεται (Σχήμα 36) το υποσύστημα της μεμβράνης καθώς και το πλαίσιο με την μεμβράνη (Σχήμα 37), σχεδιασμένα στο Solidworks.



Σχήμα 35: Ισομετρική όψη της πιλοτικής μονάδας με το PhotoView 360



Σχήμα 36: Ισομετρική όψη του υποσυστήματος μεμβράνης με το PhotoView 360



Σχήμα 37: Ισομετρική όψη του πλαισίου με την μεμβράνη με το PhotoView 360

4.4. Γενικά σημεία

Για την εγκατάσταση, υπάρχουν κάποια γενικά σημεία τα οποία περιγράφουν λεπτομέρειες της εγκατάστασης, τα οποία είναι (Design rules memsys 4-6.4 unit, 2014):

1. Οι βαλβίδες αποστράγγισης για κάθε κύκλο θα πρέπει να τοποθετούνται πάντοτε στο χαμηλότερο σημείο
2. Θα πρέπει να χρησιμοποιούνται μεγάλες διαμέτροι στις σωληνώσεις, με στόχο τη χαμηλή πτώση πίεσης
3. Θα πρέπει να χρησιμοποιούνται ημιδιαφανείς σωληνώσεις (Polypropylene) έως 40 mm εξωτερικής διαμέτρου
4. Όλες οι αντλίες είναι 220 V, ενώ οι σωληνοειδείς βαλβίδες 24V
5. Οι σωλήνες κενού που χρησιμοποιούνται είναι φτιαγμένες από πολυουρεθάνη (PU)
6. Θα πρέπει να σχεδιαστούν διαμέτροι σωλήνα για μέγιστη ταχύτητα ροής 1 m/s

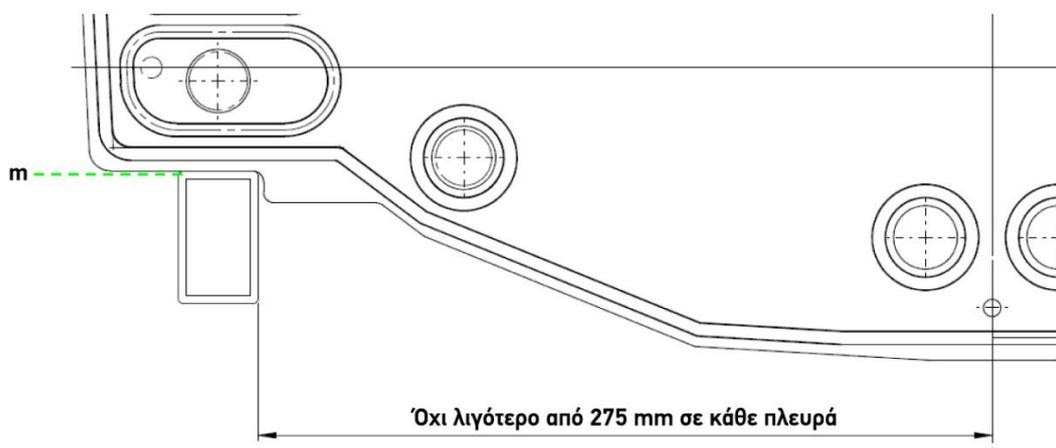
Τέλος, χρησιμοποιείται στις επόμενες ενότητες μία συγκεκριμένη σήμανση , η οποία επεξηγείται ως εξής:

-  Απαραίτητοι αισθητήρες
-  PP σωλήνωση
-  PU σωλήνας
-  m= ύψος αναφοράς του υποσυστήματος μεμβράνης

Σχήμα 38: Σήμανση γενικών σημείων (Design rules memsys 4-6.4 unit, 2014)

4.5. Διάρθρωση στήριξης-σκελετός

Ο υποστηριζόμενος σκελετός είναι κατασκευασμένος από αλουμίνιο, ενώ οι βιδωτές συνδέσεις από ανοξείδωτο χάλυβα. Η συγκρότηση του σκελετού έγινε με τέτοιο τρόπο ώστε να είναι προσβάσιμος από την κάτω πλευρά. Η στήριξη του υποσυστήματος μεμβράνης γίνεται αποκλειστικά και μόνο από τις μπάρες του σκελετού, χωρίς να εισάγονται στο σκελετό επιπλέον αγκώνες. Ακόμη οι μπάρες του σκελετού του υποσυστήματος μεμβράνης δεν θα πρέπει να έχουν απόσταση μεγαλύτερη από 550 mm (Σχήμα 39). Το υποσύστημα της μεμβράνης θα πρέπει να είναι πλευρικά προσβάσιμο, καθώς επίσης το υποσύστημα να συσφίγγεται από εγκάρσιες ράβδους. Τέλος, η βασική επίστρωση του υποστηριζόμενου σκελετού θα πρέπει να πραγματοποιείται με υλικό PP (πολυπροπυλένιο) ούτως ώστε να αποφεύγεται η διάβρωση.



Σχήμα 39: Διάρθρωση στήριξης-σκελετός (Design rules memsys 4-6.4 unit, 2014)

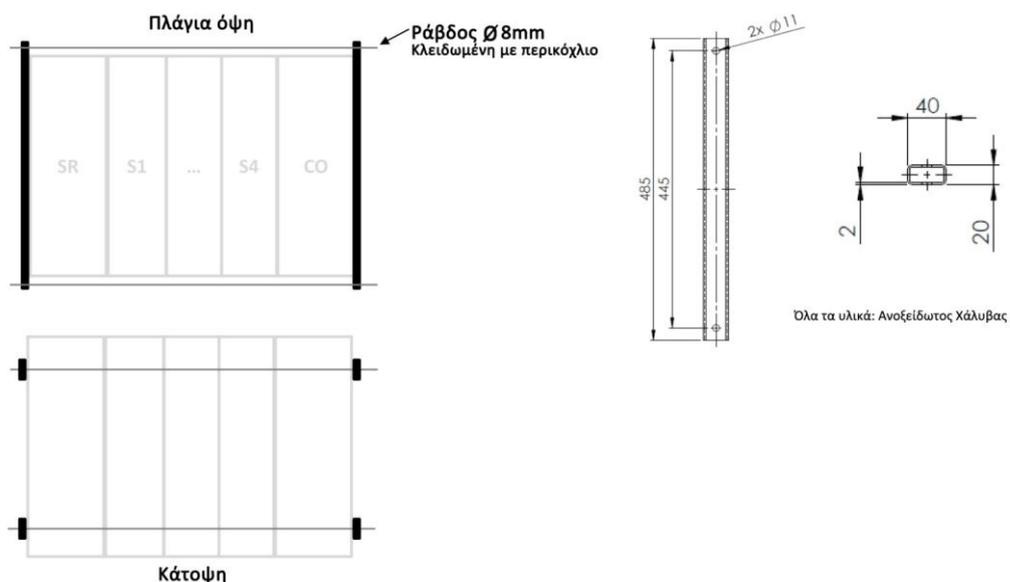
Έτσι, κατασκευάστηκε ο σκελετός, με έτοιμα προφίλ αλουμινίου 40 mm x 40 mm (Profile 8) τα οποία συνδέθηκαν μεταξύ τους. Ο σκελετός στήριξης παρουσιάζεται παρακάτω (Σχήμα 40) όπως ακριβώς σχεδιάστηκε στο SolidWorks.



Σχήμα 40: Όψη του υποσυστήματος μεμβράνης με το PhotoView 360

4.6. Διάρθρωση στήριξης-σύσφιξη του υποσυστήματος μεμβράνης

Το υποσύστημα μεμβράνης θα πρέπει να συσφίγγεται με τέτοιο τρόπο, έτσι ώστε να αποφεύγεται η μετακίνηση του καθ' όλες τις διευθύνσεις. Αυτό επιτυγχάνεται με τέσσερις ράβδους οι οποίες τοποθετούνται στις δύο πλευρές του υποσυστήματος και συσφίγγονται. Οι όψεις της διάρθρωσης σύσφιξης φαίνονται παρακάτω (Σχήμα 41).



Σχήμα 41: Διάρθρωση σύσφιξης υποσυστήματος μεμβράνης

Παρακάτω απεικονίζεται το υποσύστημα μεμβράνης μαζί με την διάρθρωση σύσφιξης, όπως ακριβώς σχεδιάστηκε στο SolidWorks (Σχήμα 42).



Σχήμα 42: Ισομετρική όψη της διάρθρωσης σύσφιξης με το PhotoView 360

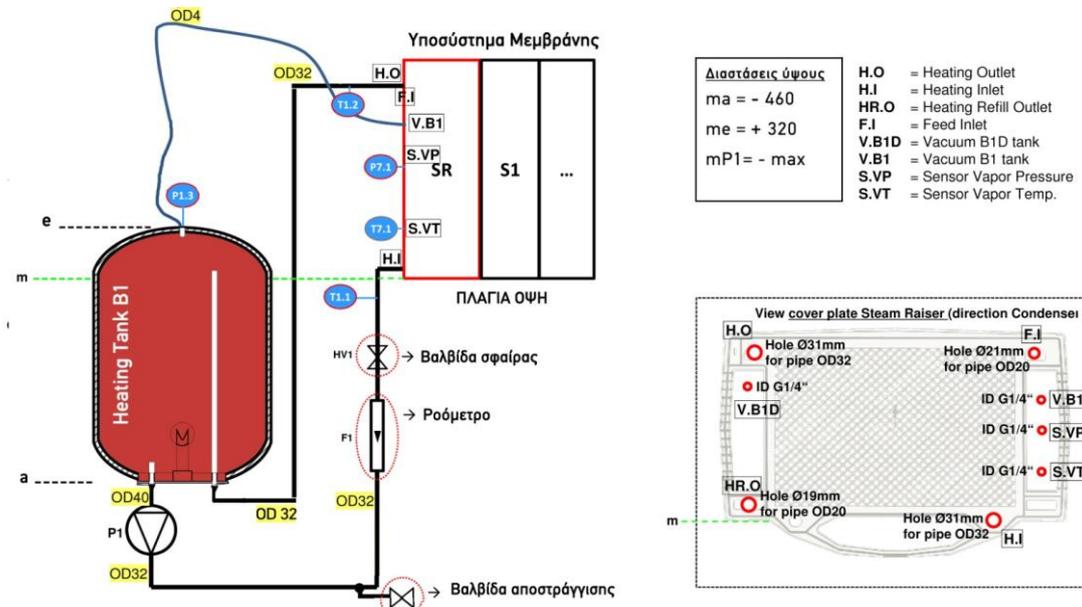
4.7. Κύκλος θέρμανσης

Ο κύκλος θέρμανσης αναλύθηκε και περιγράφηκε εκτενώς στο δεύτερο κεφάλαιο, καθώς και η χρησιμότητα του στη διαδικασία της απόσταξης με μεμβράνη. Στην παρούσα παράγραφο αναλύονται και παρουσιάζονται τα υποσυστήματα, τα οποία τον αποτελούν. Στο σχήμα 43 απεικονίζεται το συνολικό εποπτικό σχέδιο του κύκλου.

4.7.1. Θερμό δοχείο B1

Στο υποσύστημα, επιλέχθηκαν για τον κύκλο θέρμανσης τρία θερμά δοχεία τα οποία είναι boiler από ειδικό inox, με τις αντιστάσεις να έχουν συνολική θερμική ενέργεια και για τα τρία δοχεία 16 KW. Ακριβώς δηλαδή όσο δίνεται από τους κατασκευαστές του υποσυστήματος μεμβράνης. Τα τρία δοχεία μπήκαν σε σειρά ώστε να έχουμε τη μέγιστη δυνατή παροχή στο κύκλωμα. Υπάρχει μόνωση στην εξωτερική πλευρά τους, ώστε να αποφεύγεται η απώλεια θερμότητας. Το κάθε δοχείο έχει μία είσοδο και μία έξοδο για την εισαγωγή και την εξαγωγή του θερμού νερού από την κάτω πλευρά, καθώς και ένα θηλυκό σπείρωμα στην πάνω για την εισαγωγή

οργάνου μέτρησης (όργανο μέτρησης της πίεσης). Παρακάτω απεικονίζεται το θερμό δοχείο, όπως ακριβώς σχεδιάστηκε στο SolidWorks (Σχήμα 44).



Σχήμα 43: Κύκλος θέρμανσης - εποπτικό σχέδιο



Σχήμα 44: Ισομετρική όψη του θερμού δοχείου με το PhotoView 360

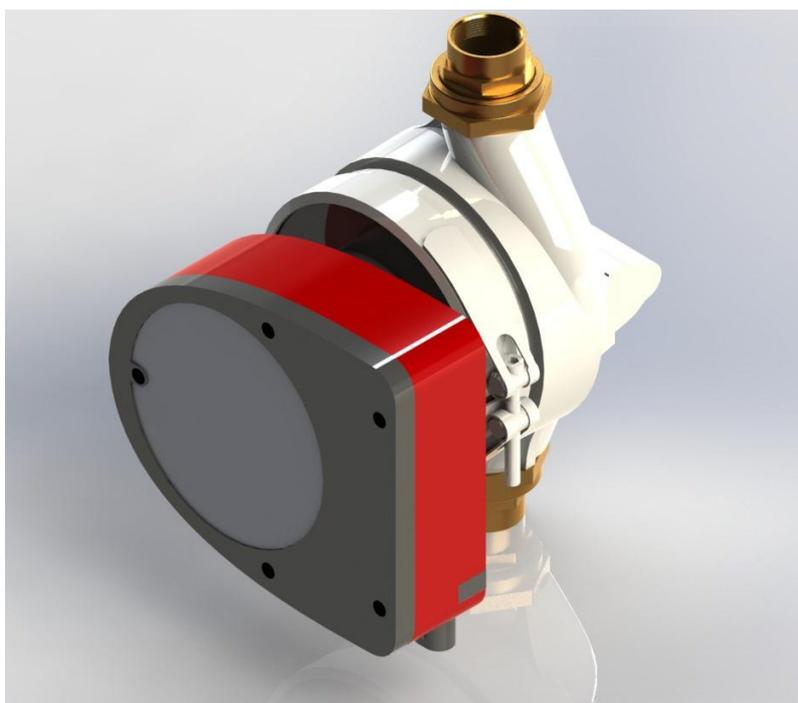
4.7.2. Αντλία- κυκλοφορητής θερμού κύκλου

Η αντλία του θερμού κύκλου, επιλέχθηκε σύμφωνα με τις απαιτήσεις του υποσυστήματος μεμβράνης, δηλαδή για παροχή $2.8 \text{ m}^3/\text{h}$ ενώ όσον αφορά την πτώση πίεσης, σύμφωνα με τους υπολογισμούς που έγιναν(με το εργαλείο dp pressure drop), αυτή κυμαίνεται στα 3 m στήλης νερού. Έτσι στα πλαίσια της ομάδας η οποία ασχολήθηκε με τον σχεδιασμό της μονάδας, επιλέχθηκε η αντλία Magna 1 N 25-60 της εταιρείας Grundfos (Grundfos Data Booklet Magna 1, 2014). Πρόκειται για μία αντλία-κυκλοφορητή κατασκευασμένη από ανοξείδωτο χάλυβα, η οποία στο σημείο λειτουργίας έχει τα εξής χαρακτηριστικά:

$$Q=2.8 \text{ m}^3/\text{h}, H= 5.07 \text{ m}, P = 75.06 \text{ W}$$

4.7.2.1. Επιλογή της αντλίας θερμού κύκλου

Η αντλία Magna της Grundfos, εκτός των απαιτήσεων σε παροχή και μανομετρικό ύψος, έχει πολλά συγκριτικά πλεονεκτήματα. Καταρχήν, την διακρίνει μεγάλο θερμοκρασιακό εύρος λειτουργίας, το οποίο κυμαίνεται από -10 έως 110°C . Χαρακτηρίζεται από πολύ χαμηλή ενεργειακή κατανάλωση καθώς και μέγιστη πίεση 16 bar. Τέλος, έχει εύκολη συντήρηση και μεγάλη διάρκεια ζωής, είναι εύκολη στην εγκατάσταση και δεν παράγει υψηλό θόρυβο. Όλοι αυτοί οι λόγοι, συντέλεσαν στην επιλογή της συγκεκριμένης αντλίας για τη μεταφορά του θερμού ρευστού στο υποσύστημα μεμβράνης (Σχήμα 45).



Σχήμα 45: Ισομετρική όψη της αντλίας θερμού κύκλου με το PhotoView 360

4.7.3. Άλλα εξαρτήματα - όργανα

Στον συγκεκριμένο κύκλο χρησιμοποιήθηκαν επίσης (εκτός από τις σωληνώσεις)

- Βαλβίδα αποστράγγισης, ώστε να μπορούμε να αδειάσουμε το κύκλωμα από το νερό εάν το επιθυμούμε. Παρακάτω απεικονίζεται η βαλβίδα αποστράγγισης, όπως ακριβώς σχεδιάστηκε στο SolidWorks (Σχήμα 46).



Σχήμα 46: Ισομετρική όψη της βαλβίδας αποστράγγισης με το PhotoView 360

- Ροόμετρο, ώστε να μετράται η ροή όγκου που εισέρχεται στο υποσύστημα μεμβράνης (Σχήμα 47).



Σχήμα 47: Ισομετρική όψη του Ροόμετρου με το PhotoView 360

- Βαλβίδα σφαίρας, ώστε να υπάρχει η δυνατότητα όποια στιγμή το επιθυμούμε να εφαρμόσουμε συντήρηση ή αλλαγές στο υπόλοιπο τμήμα του κύκλου. Παρακάτω απεικονίζεται η βαλβίδα σφαίρας, όπως ακριβώς σχεδιάστηκε στο SolidWorks (Σχήμα 48).

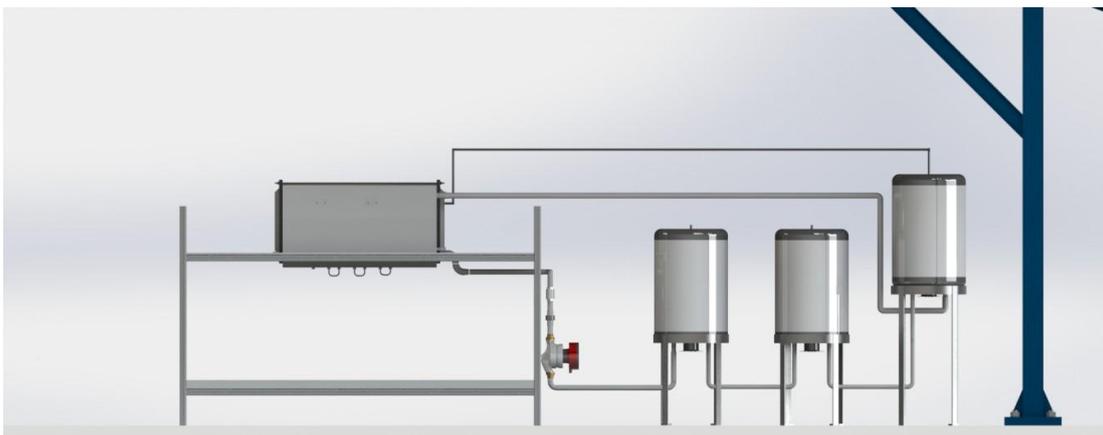


Σχήμα 48: Ισομετρική όψη της Βαλβίδας Σφαίρας με το PhotoView 360

- Αισθητήρες θερμοκρασίας και πίεσης στο σύστημα (απεικονίζονται στα σημεία που θα τοποθετηθούν)

4.7.4. Απεικόνιση του συνολικού κύκλου στο SolidWorks

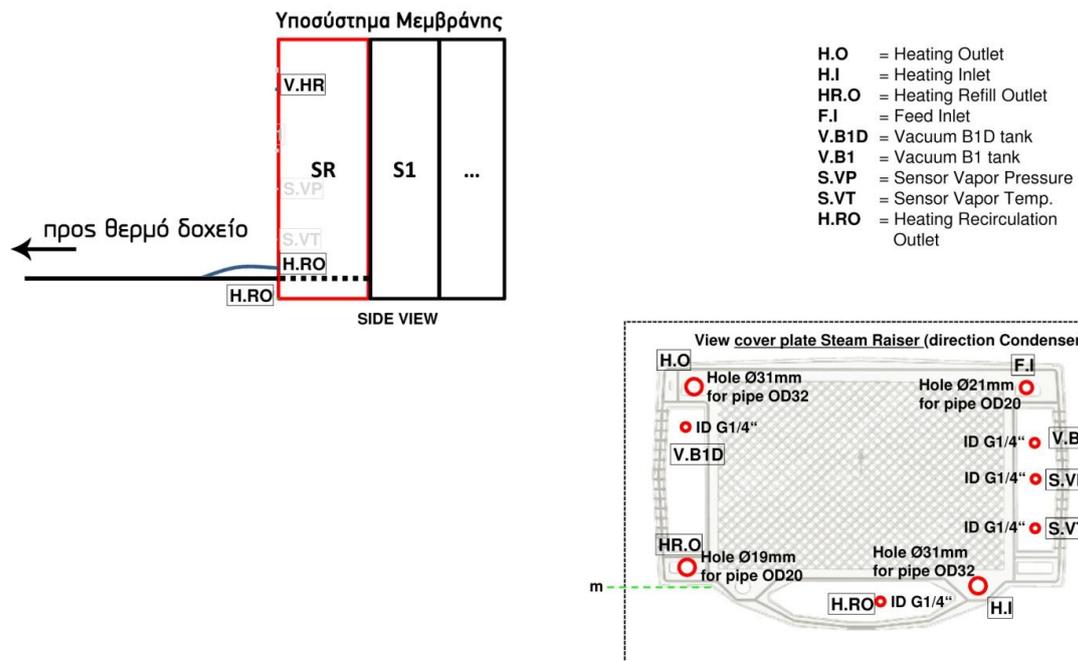
Παρακάτω δίνεται η συνολική απεικόνιση του θερμού κύκλου, σχεδιασμένου στο σχεδιαστικό πακέτο SolidWorks (Σχήμα 49).



Σχήμα 49: Όψη του θερμού κύκλου με το Photoview 360

4.8. Κύκλος συμπληρώματος θερμού νερού

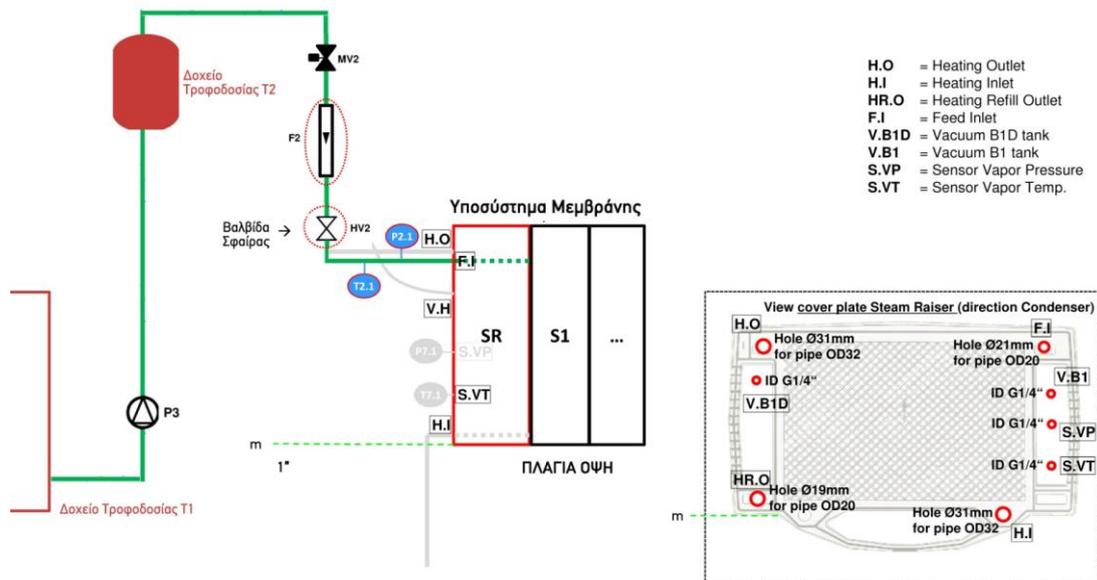
Στο κανάλι εξάτμισης, καθώς εισέρχεται το θερμό διάλυμα της τροφοδοσίας αυτό εξατμίζεται στην επιφάνεια της μεμβράνης και ο σχηματιζόμενος ατμός διαπερνάει τις μεμβράνες στα επόμενα στάδια. Το θερμό νερό συλλέγεται σε δύο διαφορετικά σημεία του καναλιού εξάτμισης. Εκεί τοποθετούμε μία σωλήνωση (μαύρος χρωματισμός) και έναν εύκαμπτο σωλήνα (μπλε χρωματισμός) για την συλλογή του θερμού νερού εξόδου. Ουσιαστικά, αυτό συμβαίνει ώστε να μην έχουμε καμία απώλεια θερμού νερού και να λειτουργεί ομαλά η διεργασία. Σε κάθε άλλη περίπτωση, θα έπρεπε να συμπληρώνουμε με θερμό νερό συνεχώς τη μονάδα. Οι δύο σωληνώσεις οδηγούνται σε έναν εύκαμπτο σωλήνα, ο οποίος με την σειρά του, εισάγει το συμπλήρωμα του θερμού νερού στην υψηλότερη δεξαμενή του θερμού κύκλου. Παρακάτω απεικονίζεται ο κύκλος συμπληρώματος του θερμού νερού (Σχήμα 50).



Σχήμα 50: Κύκλος συμπληρώματος θερμού νερού - οπτικό σχέδιο

4.9. Κύκλος τροφοδοσίας

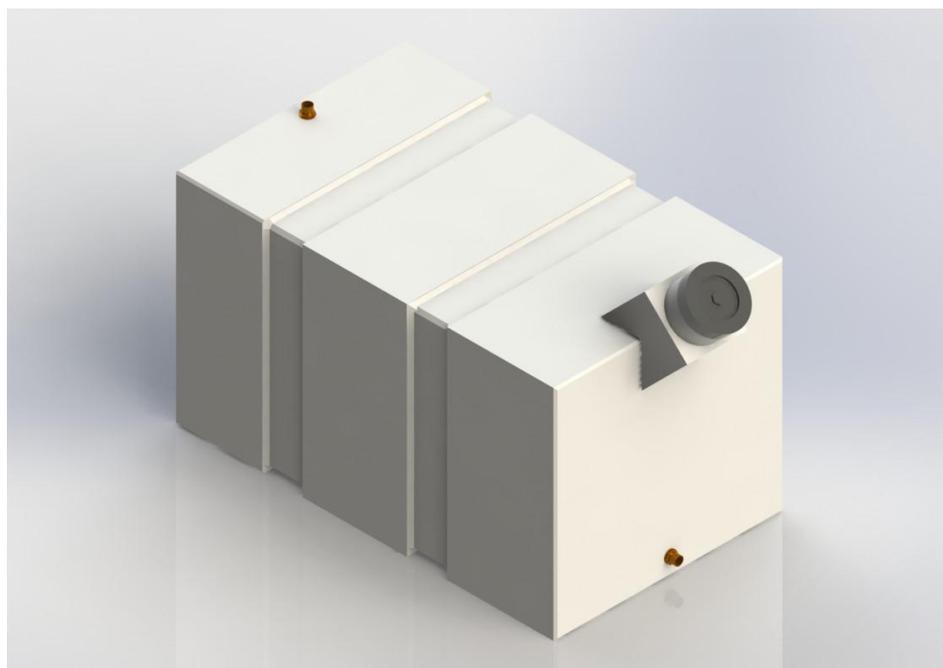
Σε αυτόν τον κύκλο λειτουργίας, το θαλασσινό νερό τροφοδοσίας αποθηκεύεται στο δοχείο τροφοδοσίας T1, στη συνέχεια με μία φυγοκεντρική αντλία προωθείται στο δοχείο τροφοδοσίας T2. Το συγκεκριμένο δοχείο βρίσκεται σε υψηλότερη στάθμη από την είσοδο του υποσυστήματος μεμβράνης (Feed Inlet), ούτως ώστε το ρευστό να εισέρχεται ομαλά στο υποσύστημα (Σχήμα 51).



Σχήμα 51: Κύκλος τροφοδοσίας - εποπτικό σχέδιο

4.9.1. Δοχείο τροφοδοσίας T1

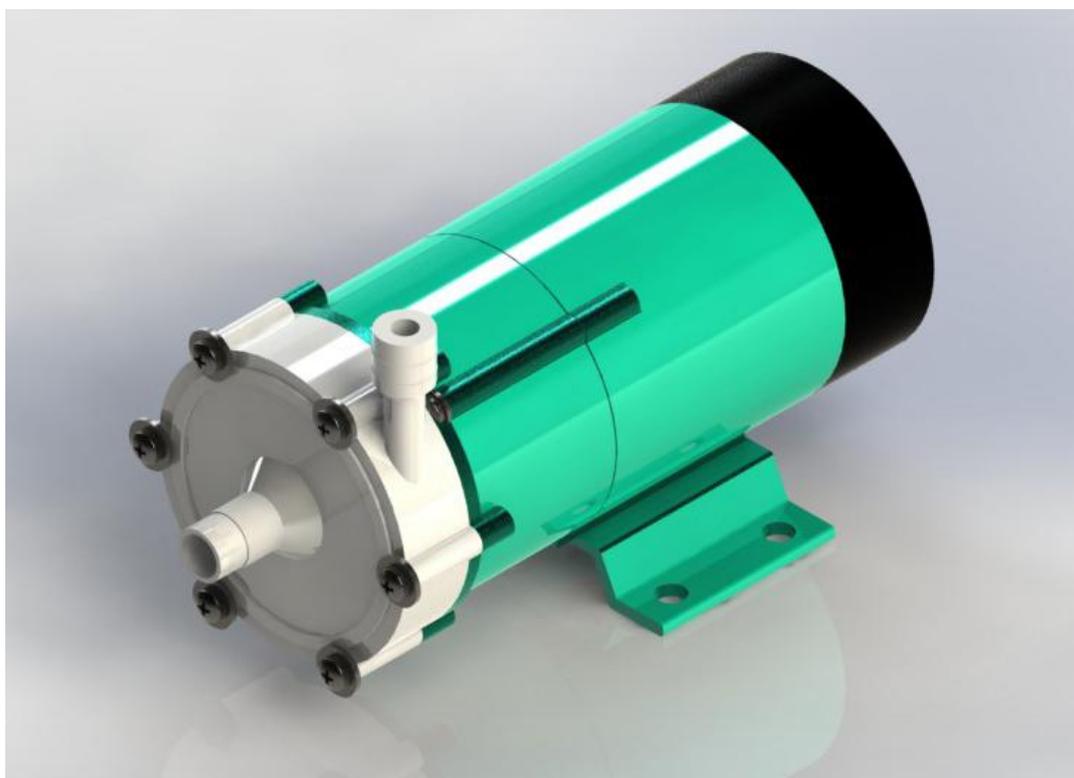
Το δοχείο τροφοδοσίας T1 όπου αποθηκεύεται ο μεγάλος όγκος του θαλασσινού νερού, είναι κατασκευασμένο από πλαστικό (πολυαιθυλένιο γραμμικής χαμηλής πυκνότητας), ώστε να αντέχει στη διάβρωση. Υπάρχει μία είσοδος, μία έξοδος και ένα καπάκι κατασκευασμένο από το ίδιο υλικό σε περίπτωση που θέλουμε να εισάγουμε ρευστό από εκεί. Ο όγκος του είναι 300 λίτρα, με τις διαστάσεις να ανέρχονται σε 610cm X 920cm X 830cm (Πλάτος- Ύψος- Μήκος). Παρακάτω απεικονίζεται το δοχείο τροφοδοσίας, όπως ακριβώς σχεδιάστηκε στο SolidWorks (Σχήμα 52).



Σχήμα 52: Ισομετρική όψη του δοχείου τροφοδοσίας με το PhotoView 360

4.9.2. Αντλία κύκλου τροφοδοσίας

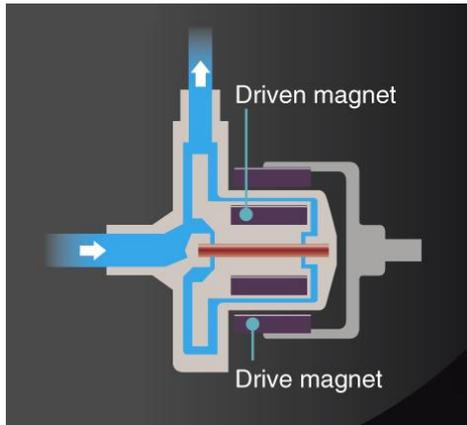
Η συγκεκριμένη αντλία επιλέχθηκε ούτως ώστε να μεταφέρει το θαλασσινό νερό στο υποσύστημα μεμβράνης. Επομένως, μία απαίτηση για αυτήν ήταν η ανθεκτικότητα στην διάβρωση. Η ροή τροφοδοσίας όπως ακριβώς δόθηκε από την εταιρεία κατασκευής του υποσυστήματος μεμβράνης ήταν 80 l/h, με την θερμοκρασία εισόδου να πλησιάζει τους 40° C. Λαμβάνοντας υπ' όψιν όλα τα δεδομένα, επιλέχθηκε η αντλία MD 30 RZ της εταιρείας Iwaki (Iwaki Magnetic drive pumps MD Series, 2012). Παρακάτω απεικονίζεται η αντλία του κύκλου τροφοδοσίας, όπως ακριβώς σχεδιάστηκε στο SolidWorks (Σχήμα 53).



Σχήμα 53: Ισομετρική όψη της αντλίας τροφοδοσίας με το PhotoView 360

4.9.2.1. Αρχή Λειτουργίας

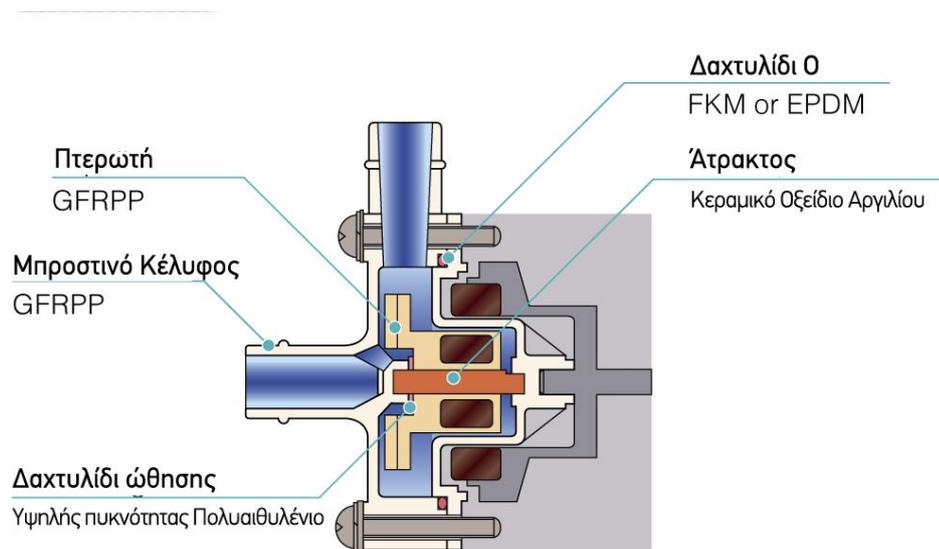
Η φυγοκεντρική αντλία κινείται από ένα ζεύγος μαγνητών οι οποίοι ενσωματώνονται στον άξονα της προπέλας και του κινητήρα. Η δομή της αντλίας χωρίς στεγανωτικά εξαλείφει τις στεγανοποιήσεις του άξονα, διότι ο θάλαμος της αντλίας είναι θωρακισμένος από τα περιβλήματα και η φτερωτή λειτουργεί με τους μαγνήτες. Η συνδυασμένη ροπή σύζευξης του μαγνήτη κίνησης και του μαγνήτη της φτερωτής παρέχει επαρκή δύναμη οδήγησης έναντι της ροπής του κινητήρα (Σχήμα 54).



Σχήμα 54: Αρχή λειτουργίας της αντλίας τροφοδοσίας
(Iwaki Magnetic drive pumps MD Series, 2012)

4.9.2.2. Υλικά κατασκευής

Παρακάτω απεικονίζονται τα υλικά, από τα οποία είναι κατασκευασμένα όλα τα μέρη της αντλίας. Έτσι, υπάρχει καλύτερη οπτική για το εσωτερικό της αντλίας (Σχήμα 55).



Σχήμα 55: Υλικά κατασκευής της αντλίας τροφοδοσίας
(Iwaki Magnetic drive pumps MD Series, 2012)

4.9.2.3. Πλεονεκτήματα

Η αντλία τροφοδοσίας του θαλασσινού νερού είναι μια αντλία μαγνητικής οδήγησης, η οποία δεν εμφανίζει προβλήματα διαρροής. Το σημαντικό πλεονέκτημα της, είναι η υψηλή αντίσταση στην διάβρωση. Αυτό συμβαίνει διότι στο σημείο διαβροχής από το υγρό (άσπρο μέρος), είναι κατασκευασμένη από πολυπροπυλένιο (GFRPP). Τέλος, είναι πολύ εύκολη η συντήρησή της, καθώς η μονάδα της αντλίας

αποτελείται από ένα μικρό αριθμό ολοκληρωμένων τμημάτων. Έτσι απλουστεύεται η διαδικασία της συντήρησης.

4.9.3. Δοχείο τροφοδοσίας T2

Όπως απεικονίζεται και στο εποπτικό σχέδιο του κύκλου τροφοδοσίας, χρησιμοποιείται ένα δεύτερο δοχείο τροφοδοσίας, το οποίο βρίσκεται υψηλότερα από το υποσύστημα μεμβράνης. Ο λόγος τοποθέτησης στο συγκεκριμένο ύψος, είναι η ομαλή εισαγωγή του θαλασσινού νερού στο υποσύστημα (δηλαδή η τροφοδοσία), όπως ο έλεγχος της πίεση και της ροής. Είναι κατασκευασμένο από πλαστικό, ενώ ο όγκος του είναι τριάντα λίτρα. Παρακάτω απεικονίζεται το δεύτερο δοχείο τροφοδοσίας, όπως ακριβώς σχεδιάστηκε στο SolidWorks (Σχήμα 56).

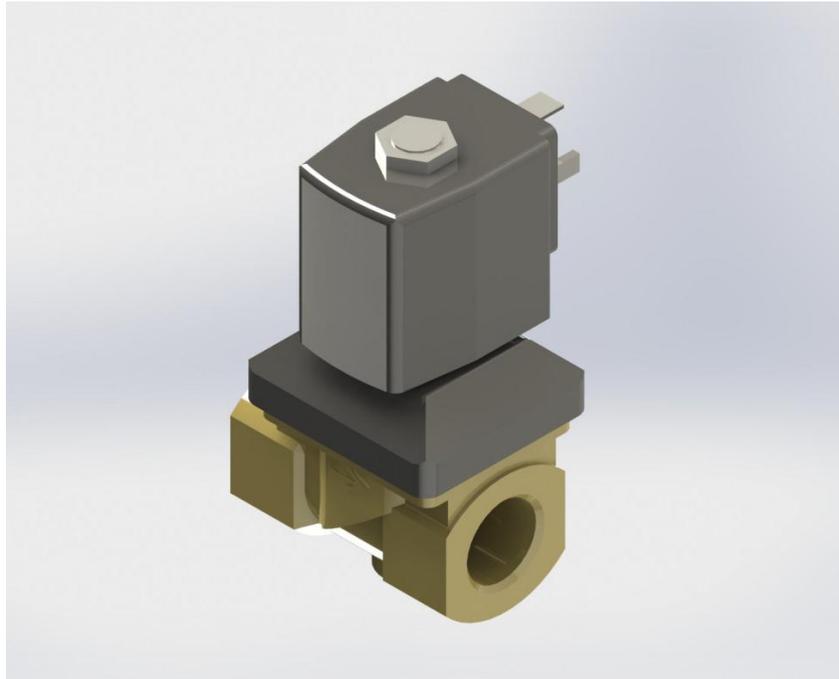


Σχήμα 56: Ισομετρική όψη του δεύτερου δοχείου τροφοδοσίας με το PhotoView 360

4.9.4. Άλλα εξαρτήματα – όργανα

Στον συγκεκριμένο κύκλο, χρησιμοποιήθηκαν επίσης (εκτός από τις σωληνώσεις) :

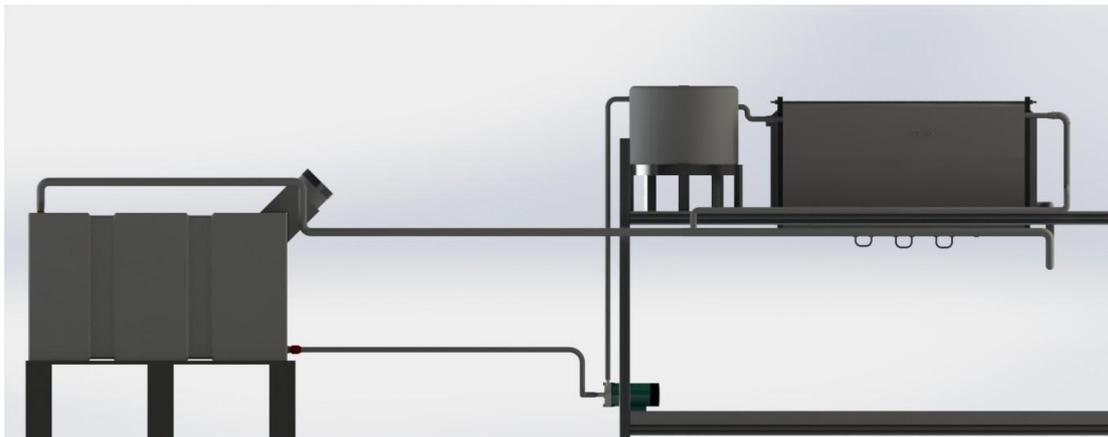
- Ηλεκτροβάννα, η οποία δέχεται ηλεκτρική εντολή από τον θερμοστάτη χώρου και αυτή με την σειρά της δίνει εντολή στην αντλία. Παρακάτω απεικονίζεται η ηλεκτροβάννα, όπως ακριβώς σχεδιάστηκε στο SolidWorks (Σχήμα 57).
- Ροόμετρο
- Βαλβίδα σφαίρας



Σχήμα 57: Ισομετρική όψη της ηλεκτροβάννας με το PhotoView 360

4.9.5. Απεικόνιση του συνολικού κύκλου στο SolidWorks

Παρακάτω δίνεται η συνολική απεικόνιση του κύκλου τροφοδοσίας (μαζί με τους κύκλους άλμης και αποστάγματος), όπως ακριβώς σχεδιάστηκε στο σχεδιαστικό πακέτο SolidWorks.



Σχήμα 58: Όψη του κύκλου τροφοδοσίας με το Photoview 360

4.10. Κύκλος ψύξης

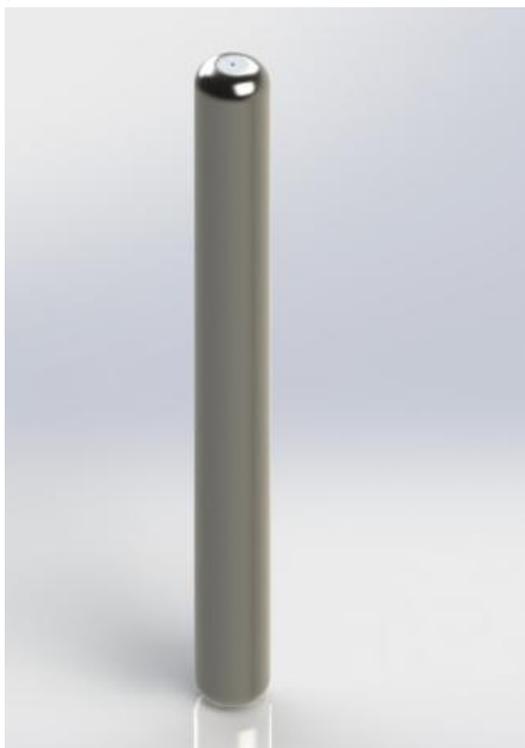
Ο κύκλος ψύξης αναλύθηκε και περιγράφηκε εκτενώς στο δεύτερο κεφάλαιο, όπως επίσης η χρησιμότητα του στη διεργασία της απόσταξης με μεμβράνη. Στην

παρούσα παράγραφο θα αναλυθούν και θα παρουσιαστούν τα εξαρτήματα του κύκλου. Στην εικόνα παρακάτω επεξηγείται το συνολικό εποπτικό σχέδιο αυτού.

4.10.1. Δοχείο ψύξης B2

Η θερμοκρασία του κύκλου ψύξης κυμαίνεται γύρω στους 25° C, επομένως επιλέχθηκε ένα δοχείο ψύξης από ανοξείδωτο χάλυβα ύψους ενός μέτρου και διαμέτρου 0.1 μέτρα.

Παρακάτω απεικονίζεται το δοχείο ψύξης, όπως ακριβώς σχεδιάστηκε στο SolidWorks (Σχήμα 59).



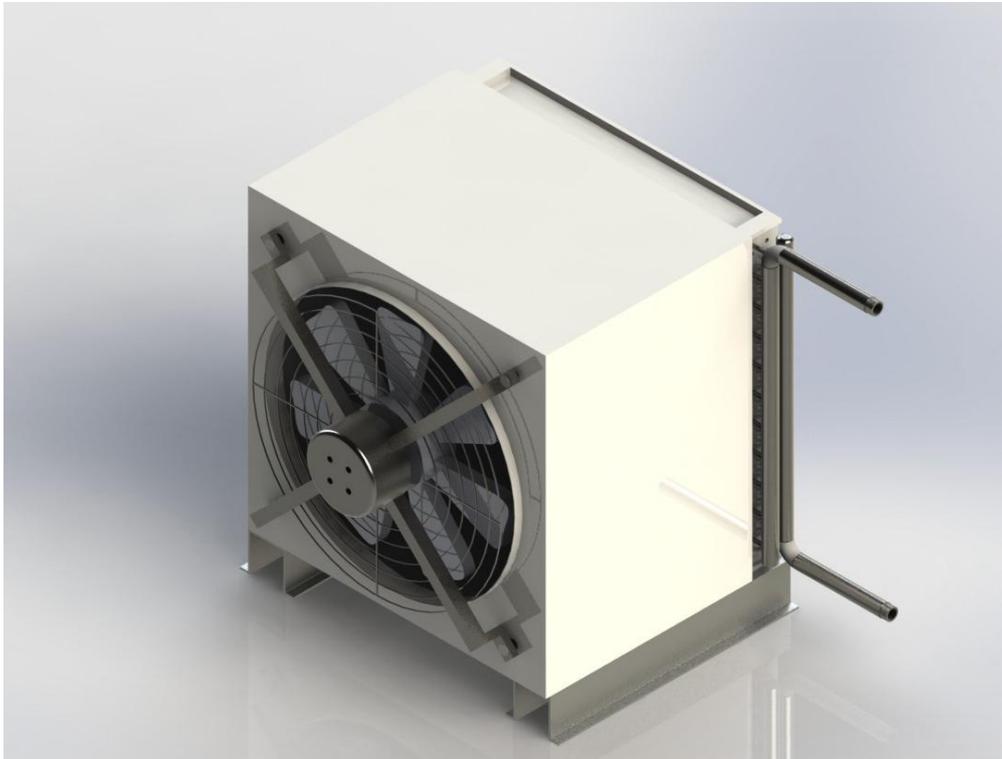
Σχήμα 59 : Ισομετρική όψη του δοχείου ψύξης με το PhotoView 360

4.10.2. Ανεμιστήρας-εναλλάκτης

Ο ανεμιστήρας-εναλλάκτης που χρησιμοποιήσαμε είναι ένας τυπικός εναλλάκτης νερού / αέρα. Τα ρευστά τα οποία ανταλλάσσουν ενέργεια είναι από τη μία πλευρά υγρό και από την άλλη αέριο. Οι εναλλάκτες αυτού του τύπου ονομάζονται στοιχεία και ανάλογα με το ρευστό που κυκλοφορεί μέσα στους σωλήνες, διαχωρίζονται σε στοιχεία νερού (το νερό ανταλλάσσει θερμότητα με τον αέρα όπως π.χ. στο ψυγείο του αυτοκινήτου), στοιχεία φρέον (το ρευστό που κυκλοφορεί μέσα στους σωλήνες είναι ψυκτικό υγρό όπως στα κλιματιστικά), στοιχεία λαδιού και άλλα.

Στην εγκατάσταση που υλοποιείται, στην εξωτερική πλευρά των σωληνώσεων του εναλλάκτη ρέει αέρας με βεβαιωμένη κυκλοφορία με την προσθήκη ενός

ανεμιστήρα. Ο ανεμιστήρας είναι αξονικός. Παρακάτω απεικονίζεται ο ανεμιστήρας-εναλλάκτης, όπως ακριβώς σχεδιάστηκε στο SolidWorks (Σχήμα 60).



Σχήμα 60: Ισομετρική όψη του ανεμιστήρα-εναλλάκτη με το PhotoView 360

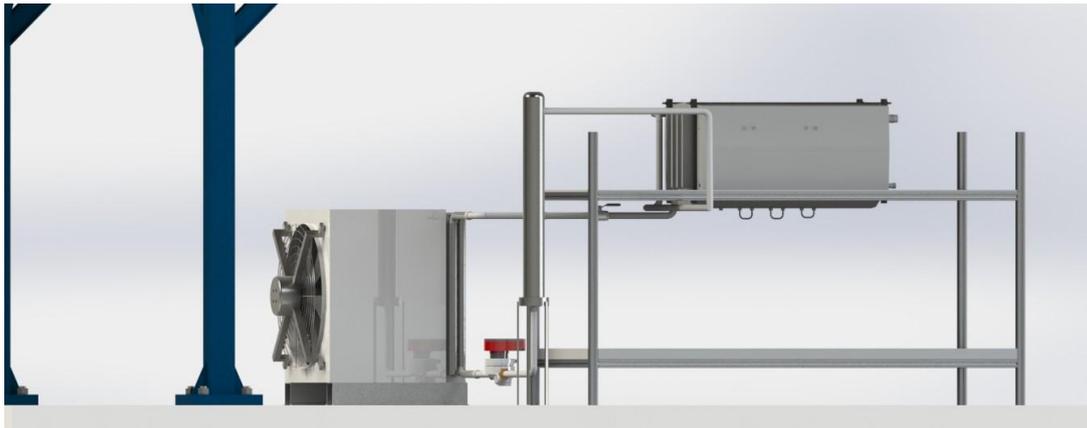
4.10.3. Αντλία- κυκλοφορητής κύκλου ψύξης

Η αντλία που επιλέχθηκε ήταν για τους ίδιους ακριβώς λόγους (παράγραφος 4.7.2.) με τον κύκλο θέρμανσης, η Magna 1 N 25-60 της εταιρείας Grundfos.

4.10.4. Άλλα εξαρτήματα - όργανα

Στον συγκεκριμένο κύκλο, χρησιμοποιήθηκαν επίσης (εκτός από τις σωληνώσεις) :

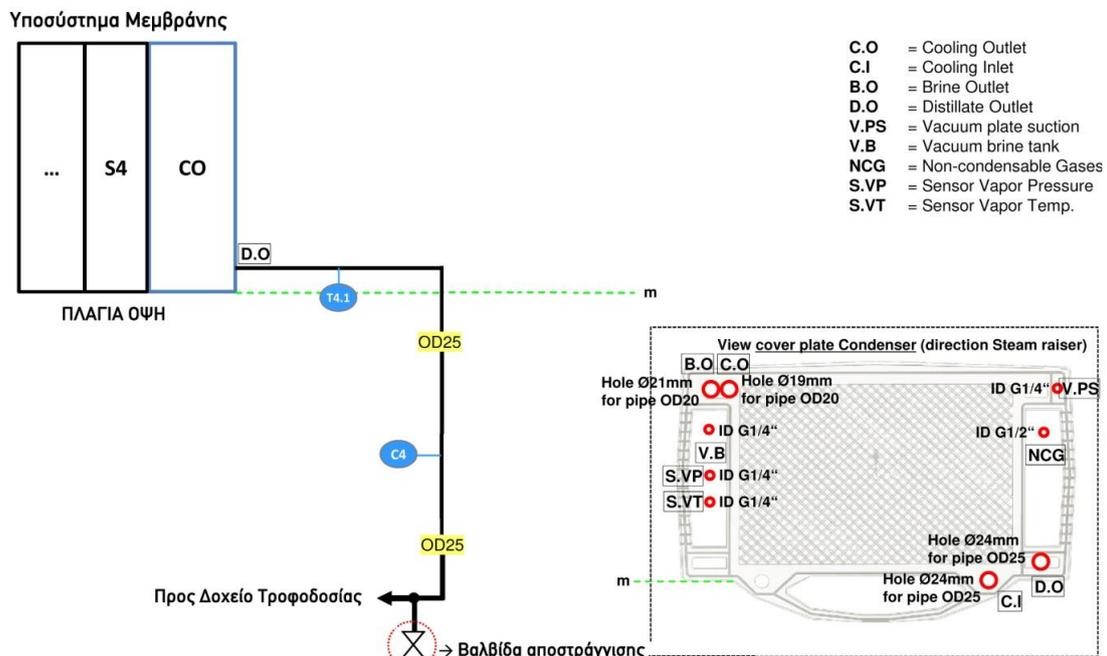
- Βαλβίδα αποστράγγισης
- Ροόμετρο
- Βαλβίδα σφαίρας



Σχήμα 62: Όψη του κύκλου ψύξης με το Photoview 360

4.12. Κύκλος αποστάγματος

Όπως φαίνεται και στην εικόνα που ακολουθεί (Σχήμα 63), το αποσταγμένο νερό εξέρχεται από την συμπυκνωτή από ένα σημείο. Από εκεί συλλέγεται και οδηγείται με μία σωλήνωση στο δοχείο τροφοδοσίας για επαναλειτουργία του κύκλου της απόσταξης. Η σωλήνωση του αποστάγματος, μαζί με την σωλήνωση της άλμης οδηγούνται σε μία σωλήνωση, η οποία είναι και η είσοδος του δοχείου τροφοδοσίας.



Σχήμα 63: Κύκλος αποστάγματος - εποπτικό σχέδιο

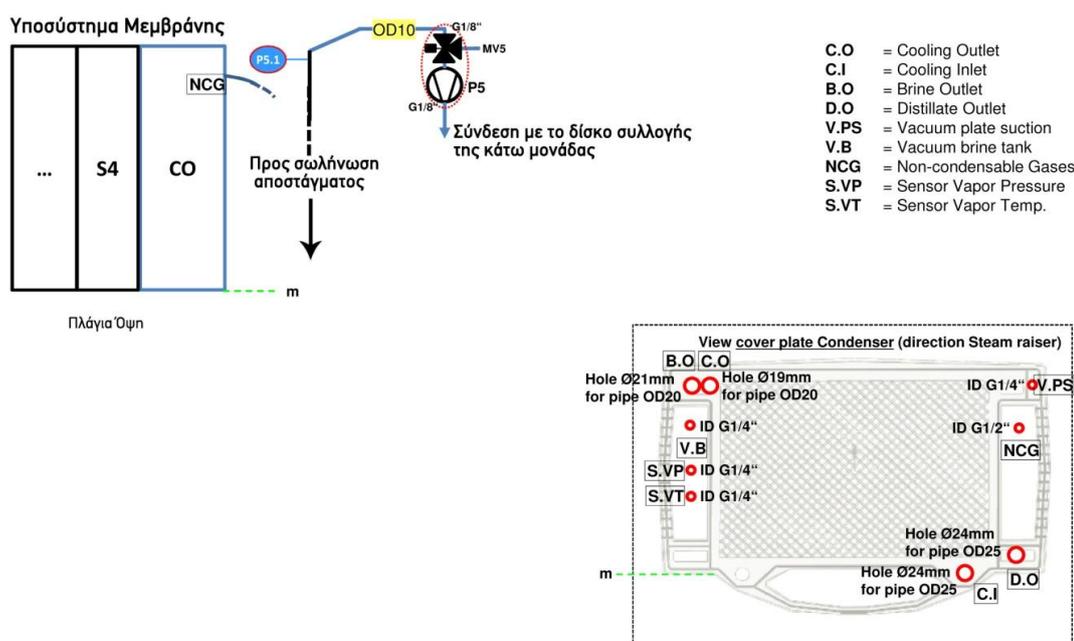
4.12.4. Άλλα εξαρτήματα - όργανα

Στον συγκεκριμένο κύκλο, χρησιμοποιήθηκαν επίσης (εκτός φυσικά από τις σωληνώσεις):

- Βαλβίδα αποστράγγισης

4.13. Σύστημα κενού

Η αντλία του κενού χρησιμοποιείται για να μειώσει την ολική πίεση του συστήματος και να εξάγει τα μη-συμπυκνώσιμα αέρια (non-condensable gases-Σχήμα 64). Επίσης, το σύστημα κενού συνδέεται με τις δεξαμενές ψύξης και θέρμανσης καθώς και με τη σωλήνωση της άλμης για να εξομαλύνει τις μεγάλες διαφορές πίεσης που μπορεί να δημιουργηθούν μέσα στο υποσύστημα μεμβράνης.



Σχήμα 64: Σύστημα κενού - εποπτικό σχέδιο

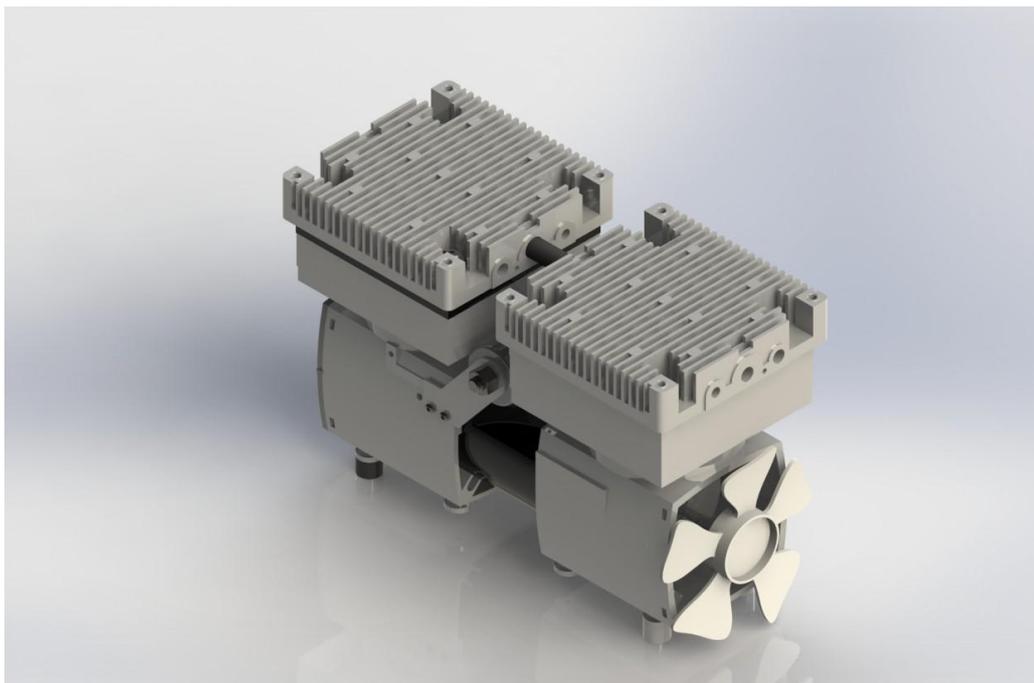
4.13.1. Αντλία κενού

Για τη συγκεκριμένη αντλία, υπήρξε η απαίτηση για την δημιουργία κενού με υποπίεση της τάξης του 0.5 bar. Έτσι, επιλέχθηκε μία αξιόπιστη και όχι τόσο ακριβή αντλία κενού, η N 836.3 AP.40 E από την εταιρεία KNF (DATA SHEET KNF E180, 2008). Παρακάτω απεικονίζεται η αντλία κενού, όπως ακριβώς σχεδιάστηκε στο SolidWorks (Σχήμα 65).

4.13.1.1. Χαρακτηριστικά της αντλίας κενού

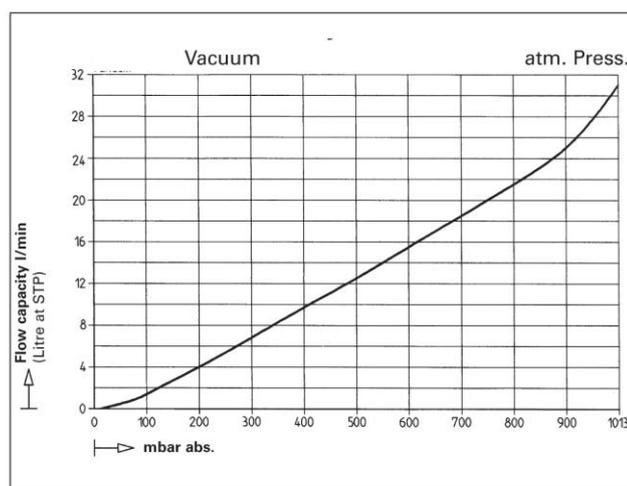
Τα χαρακτηριστικά της αντλίας είναι τα ακόλουθα:

- Κενό= 10 mbar
- Πίεση= 0.5 bar
- Βάρος= 7.2 kg
- Ισχύς Κινητήρα 100 W
- Ρεύμα Λειτουργίας Κινητήρα= 0.6 A



Σχήμα 65: Ισομετρική όψη της αντλίας κενού με το PhotoView 360

Ενώ το διάγραμμα χωρητικότητας ροής- κενού είναι το παρακάτω (Σχήμα 66):



Σχήμα 66: Διάγραμμα χωρητικότητας ροής- κενού για την αντλία κενού (DATA SHEET KNF E180, 2008)

4.13.1.2. Αρχή λειτουργίας

Η επιλεγθείσα αντλία κενού βασίζεται σε μια απλή αρχή. Ένα ελαστικό διάφραγμα, εφαρμοσμένο στο πάνω της άκρο, κινείται πάνω και κάτω σε σχέση με το κεντρικό σημείο μέσω ενός έκκεντρου. Με αυτόν τον τρόπο το μέσο μεταφέρεται με τη χρήση αυτόματων βαλβίδων. Οι αντλίες είναι εξοπλισμένες με ένα βελτιστοποιημένο διάφραγμα, με αποτέλεσμα έναν υψηλό πνευματικό βαθμό απόδοσης, ένα ανθεκτικό προϊόν και συμπαγές μέγεθος. Ειδικές βαλβίδες εξασφαλίζουν ότι το προϊόν μπορεί να αντιμετωπίσει εύκολα τον ατμό και τη συμπύκνωση. Χάρη στο αρθρωτό σύστημα, τα μέρη τα οποία χρησιμοποιούνται για να μεταφέρουν τα αέρια, μπορούν να κατασκευαστούν από υλικά με διάφορους βαθμούς ανθεκτικότητας. Διάφοροι AC κινητήρες είναι διαθέσιμοι για την κίνηση της αντλίας.

4.13.1.2. Πλεονεκτήματα

Η συγκεκριμένη αντλία κενού έχει πολλά συγκριτικά πλεονεκτήματα, τα οποία είναι:

- Αμόλυντη ροή- καμία μόλυνση των μέσων
- Μηδενική συντήρηση
- Καινοτόμο σύστημα για τον αεροστεγή λέβητα βρασμού
- Χαμηλό κόστος
- Ενσωματωμένη μαγνητική βαλβίδα για αυτόματο ξέβγαλμα
- Επιπρόσθετη ψύξη των κεφαλών αντλίας για τη συμπύκνωση των υδρατμών και τη σύνδεση για ψύξη του νερού
- Πολύ υψηλή τάση ατμών και συμβατότητα συμπύκνωσης
- Υψηλό επίπεδο στεγανότητας των αερίων
- Μεγάλη διάρκεια ζωής
- Αμελητέα απώλεια

4.13.2. Απεικόνιση του συνολικού κύκλου στο SolidWorks

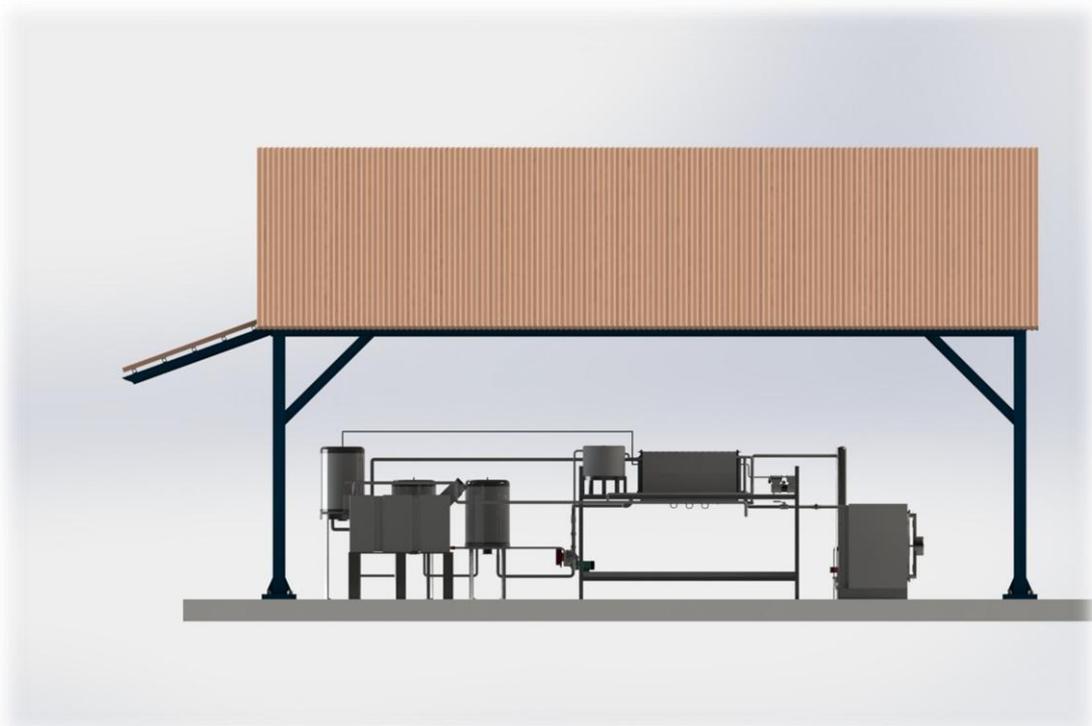
Παρακάτω δίνεται η συνολική απεικόνιση του συστήματος κενού, όπως ακριβώς σχεδιάστηκε στο σχεδιαστικό πακέτο SolidWorks (Σχήμα 67).



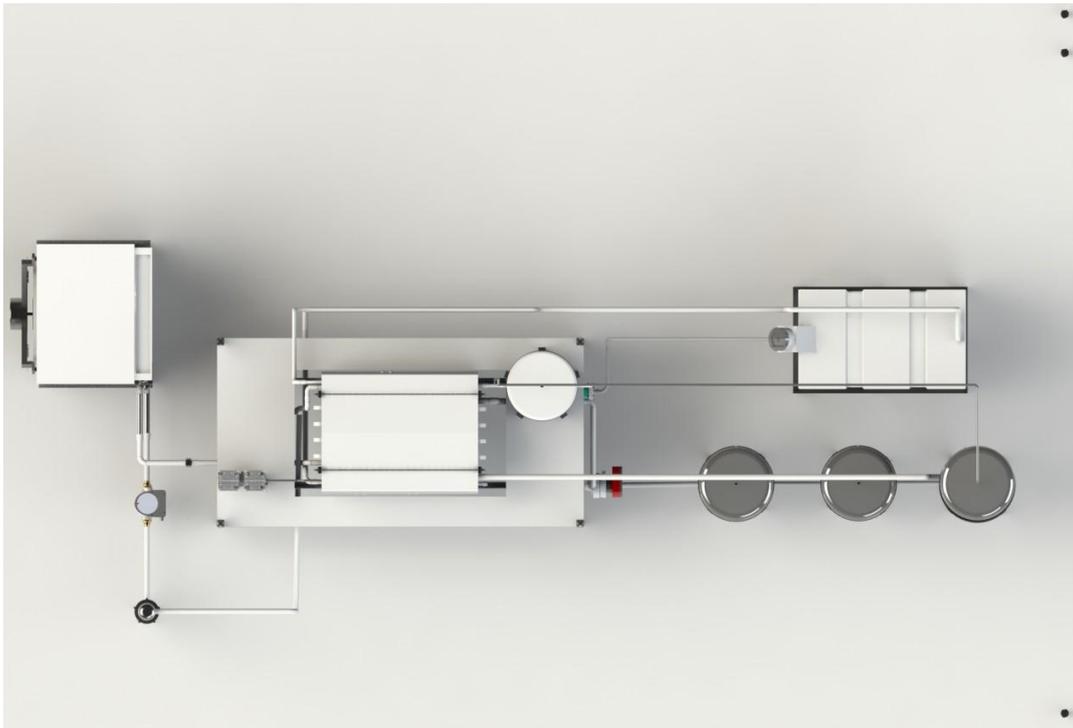
Σχήμα 67: Όψη του συστήματος κενού με το Photoview 360

4.14. Όψεις της εγκατάστασης

Για την καλύτερη εποπτεία της εγκατάστασης, παρατίθενται παρακάτω μερικές ακόμα όψεις (Σχήματα 68-69-70-71).



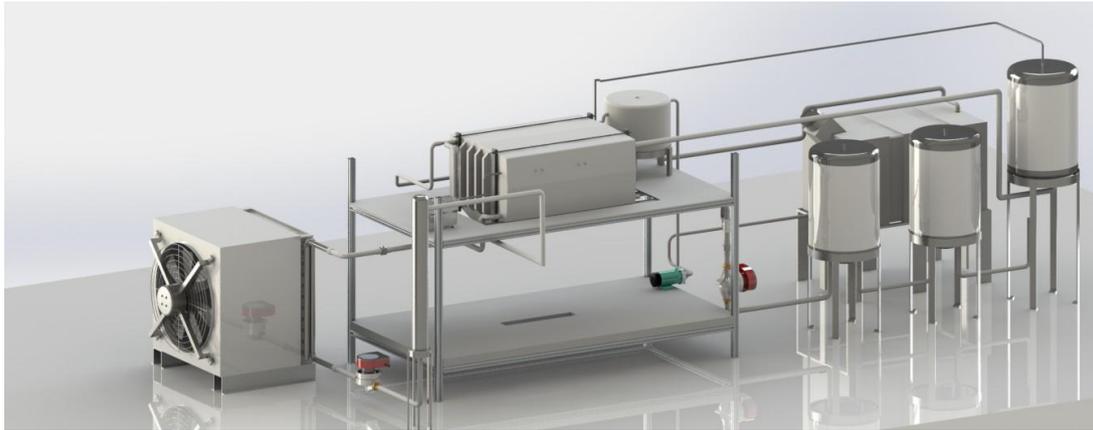
Σχήμα 68: Πλάγια όψη της πιλοτικής μονάδας με το PhotoView 360



Σχήμα 69: Κάτοψη της πιλοτικής μονάδας με το PhotoView 360



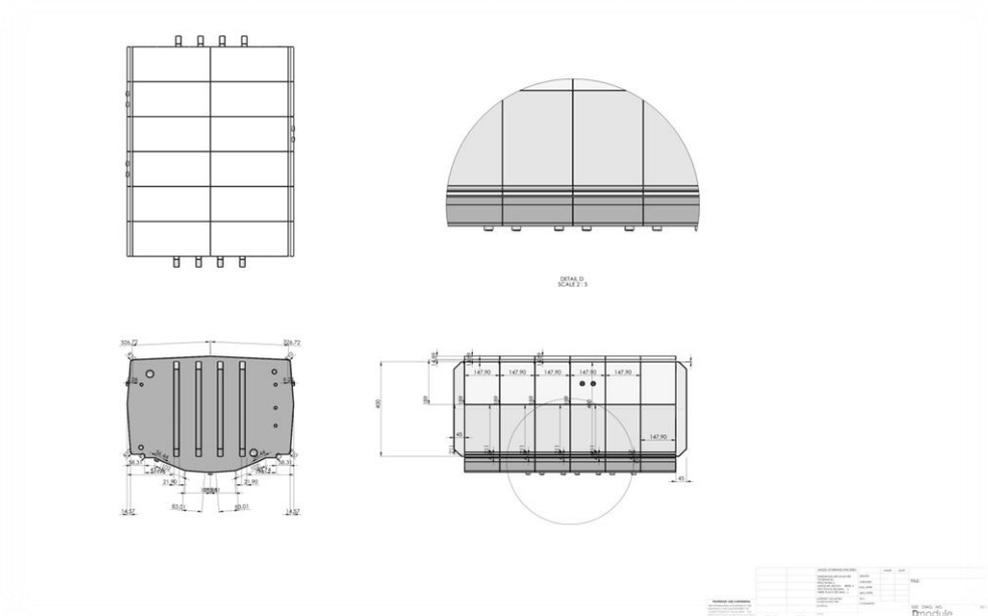
Σχήμα 70: Όψη της πιλοτικής μονάδας με το PhotoView 360



Σχήμα 71: Όψη της πιλοτικής μονάδας με το PhotoView 360

4.15. 2D σχέδιο του υποσυστήματος μεμβράνης

Όπως ακριβώς αναλύθηκε και στο δεύτερο κεφάλαιο, μία από τις εξαιρετικές δυνατότητες του σχεδιαστικού πακέτου είναι η αυτόματη παραγωγή 2D σχεδίων, με τη διαστασιολόγηση τους. Παρακάτω παρατίθεται το σχέδιο του υποσυστήματος της μεμβράνης (Σχήμα 72).



Σχήμα 72: 2D σχέδιο του υποσυστήματος μεμβράνης

Κεφάλαιο 5: Συμπεράσματα-Αποτίμηση της εργασίας

5.1. Σύνοψη της εργασίας

Αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας αποτελεί ο σχεδιασμός πιλοτικής μονάδας αφαλάτωσης βασισμένης στην τεχνολογία απόσταξης με μεμβράνες, η οποία υλοποιείται στο Εργαστήριο Ηλιακών & άλλων Ενεργειακών Συστημάτων του ΕΚΕΦΕ “ΔΗΜΟΚΡΙΤΟΣ”.

Η εργασία αναπτύχθηκε γύρω από τρεις διακριτούς άξονες:

- Τη βιβλιογραφική διερεύνηση για την τεχνολογία αφαλάτωσης απόσταξης με μεμβράνες, με στόχο την απόκτηση γνώσης σε σχέση με τις παραμέτρους που επηρεάζουν τη λειτουργία της
- Την παρουσίαση της βασικής αρχιτεκτονικής για το πιλοτικό σύστημα αφαλάτωσης που υλοποιείται, καθώς και των επιμέρους υποσυστημάτων και τη διασύνδεση μεταξύ τους
- Την ανάλυση του σχεδιαστικού πακέτου SolidWorks, την αιτιολόγηση της επιλογής του, καθώς και τη συνολική παρουσίαση της πιλοτικής μονάδας σχεδιασμένης σε αυτό

5.2. Συμπεράσματα

Από τη βιβλιογραφική διερεύνηση προέκυψε ότι η αφαλάτωση με την τεχνολογία απόσταξης με μεμβράνες (Membrane Distillation, MD) είναι μια πολλά υποσχόμενη τεχνολογία για την αφαλάτωση αλμυρών και υφάλμυρων νερών παρότι είναι η πλέον πρόσφατη σε εμφάνιση. Εμφανίζει πολλά συγκριτικά πλεονεκτήματα όπως τις χαμηλές θερμοκρασίες λειτουργίας, χαμηλότερη υδροστατική πίεση σε σχέση με άλλες μεθόδους, υψηλό δείκτη απόρριψης, μικρότερη οργανική ρύπανση της μεμβράνης καθώς και το γεγονός πως μπορεί να συνδυάζεται με άλλες μεθόδους διαχωρισμού, δημιουργώντας έτσι ένα ολοκληρωμένο σύστημα. Ίσως το μεγαλύτερο όμως πλεονέκτημα, στο οποίο θα πρέπει να δοθεί βάρος στην έρευνα και στην ανάπτυξη πιλοτικών συστημάτων, είναι η ικανότητα να χρησιμοποιεί εναλλακτικές πηγές ενέργειας, όπως η ηλιακή ενέργεια ή η απορριπτόμενη θερμότητα από μεγάλες εγκαταστάσεις (π.χ. διυλιστήρια). Απεναντίας, στα αρνητικά συγκαταλέγονται η χαμηλή ροή διήθησης, η επιπρόσθετη αντίσταση στη μεταφορά μάζας λόγω του παγιδευμένου αέρα καθώς και η μεγάλη απώλεια θερμότητας από αγωγή.

Η απόσταξη με μεμβράνες, έχει πολλές εφαρμογές. Μερικές από τις εφαρμογές είναι η παραγωγή νερού, η αφαίρεση βαριών μετάλλων και οι βιομηχανίες τροφίμων. Οι περισσότερες από τις εφαρμογές MD είναι σε πειραματικό στάδιο ή σε μικρό πιλοτικό στάδιο, επομένως υπάρχει πολύ μεγάλο έδαφος για την ανάπτυξη

μεγάλων μονάδων αφαλάτωσης με την συγκεκριμένη τεχνολογία απόσταξης. Υπάρχουν πολλές κατηγορίες συστημάτων MD ανάλογα με τη διαμόρφωση της ψυχρής πλευράς, καθώς επίσης και πολλές διατάξεις μεμβράνης (επίπεδη μεμβράνη, κοίλης ίνας, σωληνοειδής, σπιράλ).

Η ανάλυση της εμπειρίας από παρεμφερείς εγκαταστάσεις έδειξε ότι η ευρύτερη αξιοποίηση στην πράξη των συστημάτων αφαλάτωσης, που υποστηρίζονται ενεργειακά από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, προϋποθέτει την ανάπτυξη λύσεων τεχνολογικά ώριμων, ενεργειακά αποτελεσματικών και οικονομικοτεχνικά ανταποδοτικών. Στα πλαίσια αυτά, το Εργαστήριο Ηλιακών & άλλων Ενεργειακών Συστημάτων του ΕΚΕΦΕ “ΔΗΜΟΚΡΙΤΟΣ” υλοποιεί πιλοτικό σύστημα βασισμένο στη μέθοδο Vacuum-Multi Effect-Membrane Distillation (V-MEMD). Πρόκειται για μια διεργασία θερμικού διαχωρισμού, πολλαπλών σταδίων η οποία μας δίνει δύο προϊόντα υψηλής ποιότητας (καθαρό απόσταγμα και συγκεντρωμένη άλμη) με το απόσταγμα να έχει 1-10 μS αγωγιμότητα και να είναι ανεξάρτητο από την ποιότητα του ακατέργαστου νερού (για παράδειγμα από την υψηλή αλατότητα ή το pH).

Η τεχνολογία που επιλέχθηκε χαρακτηρίζεται από ευκολία επέκτασης, ενώ το υποσύστημα της μεμβράνης έχει μικρό αποτύπωμα αλλά και χαμηλή συντήρηση. Ένα επιπλέον πλεονέκτημα, είναι πως τα στοιχεία του υποσυστήματος μεμβράνης κατασκευάστηκαν από υψηλής ποιότητας πλαστικά, δημιουργώντας έτσι ένα σύστημα απόλυτα ανθεκτικό στη διάβρωση. Η λειτουργία της διεργασίας είναι σταθερή ακόμα και αν αλλάζουν οι οριακές συνθήκες (όπως η θερμοκρασία ή η ποιότητα του ακατέργαστου νερού). Παρατηρείται υψηλό ποσοστό ανάκτησης κοντά στον κορεσμό σε σχέση με άλλες μεθόδους (RO, MSF).

Σημαντικό ρόλο στην αποτελεσματική σχεδίαση της πιλοτικής μονάδας και στην ελαχιστοποίηση των πιθανών αστοχιών στη φάση της υλοποίησης, αποδείχθηκε ότι είναι η ίδια η μεθοδολογία σχεδιασμού. Για το λόγο αυτό επιλέχθηκε το σχεδιαστικό πακέτο SolidWorks, ένα ολοκληρωμένο σχεδιαστικό πρόγραμμα το οποίο επιτρέπει τη δημιουργία, επικύρωση, επικοινωνία και τη διαχείριση του σχεδιασμού προϊόντων και μοντέλων. Ο σχεδιασμός στο περιβάλλον του πακέτου, επιτέλεσε πολύ σημαντικά τμήματα της εργασίας που ήταν αναγκαία να πραγματοποιηθούν στο επίπεδο συγκρότησης και κατάρτισης της μονάδας. Ελαχιστοποίησε τα σφάλματα, βοήθησε στην υλοποίηση του πιλοτικού συστήματος, διόρθωσε πιθανές αστοχίες κατά την επιλογή των υποσυστημάτων. Επίσης, εξορθολόγησε τον απαιτούμενο αριθμό των υποσυστημάτων (σωληνώσεων, αντλιών και άλλων) . Συντέλεσε ακόμη στη διασύνδεση και την επιλογή των κατάλληλων υποσυστημάτων. Αποτέλεσε λοιπόν ένα επιτελικό εργαλείο, ώστε να επιτευχθεί η υλοποίηση της πιλοτικής μονάδας σε πλήρη συνεργασία με τα υπόλοιπα μέλη του εργαστηρίου.

Πέραν όμως από τη συμβολή του σχεδιαστικού εργαλείου στο συνολικό σχεδιασμό της μονάδας, το SolidWorks επέτρεψε την ιδιαίτερα ρεαλιστική αποτύπωση της αρχιτεκτονικής του συστήματος, δίνοντας την ευκαιρία στον καθένα να κατανοήσει ποια είναι τα επιμέρους υποσυστήματα και πως ακριβώς διασυνδέονται λειτουργικά. Διαπιστώθηκε πως η παρουσίαση της μονάδας στο

συγκεκριμένο πακέτο, δίνει μια πολύ καλή αίσθηση για το πώς είναι δομημένη στον χώρο η συνολική εγκατάσταση. Επιπροσθέτως, στο συγκεκριμένο σχεδιαστικό πακέτο πραγματοποιήθηκε εύκολα η τροποποίηση οποιασδήποτε αλλαγής, χωρίς να υπάρξει αλλοίωση στο συνολικό σχεδιασμό. Τέλος, το συνολικό προσωπικό συμπέρασμα που εξάγεται από τη χρήση του SolidWorks στην διπλωματική εργασία, είναι πως το συγκεκριμένο πακέτο αποτελεί ένα ισχυρό εργαλείο στα χέρια των μηχανικών τη σημερινή εποχή.

5.3. Πρωτότυπα στοιχεία της εργασίας

Η παρούσα εργασία εισήγαγε κάποια στοιχεία πρωτοτυπίας στα οποία θα άξιζε μία ειδικότερη αναφορά. Το πρώτο αφορά την ίδια την τεχνολογία αφαλάτωσης που επιλέχθηκε, και η οποία αποτελεί μια υβριδική μέθοδο. Τα τελευταία χρόνια, εκδηλώνεται ιδιαίτερο ενδιαφέρον από τη διεθνή ερευνητική κοινότητα πάνω στη συγκεκριμένη τεχνολογία αφαλάτωσης. Πρόκειται για ένα συνδυασμό δύο διαφορετικών διαμορφώσεων μεμβράνης, του διάκενου αέρα και της διαμόρφωσης του συστήματος κενού. Η μέθοδος αυτή εξακολουθεί να αποτελεί αντικείμενο έρευνας και ανάπτυξης καθώς, παρά το ότι παρουσιάζει αρκετά συγκριτικά πλεονεκτήματα σε σχέση με άλλες μεθόδους αφαλάτωσης, δεν έχει ακόμα μελετηθεί σε τόσο εκτενή βαθμό από τους ερευνητές, ενώ παράλληλα έχει εφαρμοστεί σε λίγα πιλοτικά συστήματα.

Επιπλέον, ένα ακόμη στοιχείο πρωτοτυπίας αναφέρεται στην επιλογή του να γίνει ο συνολικός σχεδιασμός της εγκατάστασης με ένα σύγχρονο σχεδιαστικό πακέτο. Η προσέγγιση αυτή απαντάται συνηθέστερα σε περιβάλλον σχεδιασμού βιομηχανικών προϊόντων, σπανιότερα όμως σε εφαρμογές υλοποίησης πιλοτικών εγκαταστάσεων ερευνητικού σκοπού. Η δυνατότητα όμως σχεδιαστικής βελτιστοποίησης συνιστά στοιχείο καινοτομίας, το οποίο μπορεί να συμβάλει σημαντικά στη σχεδιαστική και λειτουργική βελτιστοποίηση των εγκαταστάσεων σε πραγματική κλίμακα. Στη συγκεκριμένη περίπτωση, η αξιοποίηση ενός σύγχρονου σχεδιαστικού πακέτου εντάχθηκε οργανικά στην όλη διαδικασία σχεδίασης, προσδίδοντας σε αυτήν στοιχεία ευελιξίας, εποπτικής σαφήνειας και αποτελεσματικότητας. Η σχεδίαση έγινε με ακριβείς διαστάσεις και συνδέσεις οι οποίες μπορούν εύκολα να τροποποιηθούν, ενώ η κατάτμηση σε επιμέρους υποσυστήματα επιτρέπει την επαναχρησιμοποίηση τους σε τροποποιημένες εκδοχές διαμόρφωσης της όλης εγκατάστασης. Επιτρέπει επιπλέον δυναμικά την αξιοποίηση, σε επόμενο στάδιο, του μοντέλου που αναπτύχθηκε για την προσομοίωση της ροής μάζας και θερμότητας, την ανάλυση του κύκλου λειτουργίας καθώς και την εκπόνηση μελέτης κόστους-οφέλους μέσω των δυνατοτήτων που παρέχονται από το σχεδιαστικό πακέτο. Επιπλέον, υπάρχει η δυνατότητα το παρόν σχεδιαστικό έργο στο μέλλον, να χρησιμοποιηθεί ούτως ώστε εάν προκύψει οποιαδήποτε τροποποίηση στο σύστημα να εισαχθεί με ιδιαίτερη ευκολία.

Τέλος, αποτυπώνοντας την πιλοτική μονάδα σε τρισδιάστατο σχέδιο, δίνεται μια ολοκληρωμένη και συνολική άποψη της διεργασίας, διευκολύνοντας την

κατανόηση της λειτουργίας της και των μηχανισμών μεταφοράς μάζας και θερμότητας, τόσο σε θεωρητικό επίπεδο, όσο και στο επίπεδο της διασύνδεσης των διαφόρων υποσυστημάτων μεταξύ τους.

5.4. Επίλογος

Όλες οι προβλέψεις συνηγορούν πως το μέλλον επιφυλάσσει ακόμα μεγαλύτερες εντάσεις στο υδρολογικό ισοζύγιο, σε εθνικό και περιφερειακό επίπεδο. Η αφαλάτωση με ενεργειακή υποστήριξη από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας μπορεί και πρέπει να αποτελέσει συνιστώσα της λύσης στο πρόβλημα αυτό, υπό την προϋπόθεση της ύπαρξης τεχνολογικά ώριμων και οικονομοτεχνικά αποδοτικών συστημάτων. Η αξιοποίηση αποτελεσματικών εργαλείων σχεδίασης μπορεί να συμβάλει σημαντικά στην επίτευξη του στόχου αυτού, διασφαλίζοντας ευελιξία στις επιλογές και αξιοπιστία στο τελικό αποτέλεσμα. Η παρούσα διπλωματική εργασία, πέρα από τα προφανή οφέλη από την εξοικείωση με τεχνικές σχεδίασης που προσφέρουν ευρύτερες δυνατότητες αξιοποίησης, εκπονήθηκε και με την ελπίδα της συμβολής, σε κάποιο βαθμό, στην επίτευξη του στόχου αυτού.

Βιβλιογραφία

- Advantages of SolidWorks 3D CAD (www.3dsolidcadworks.co.uk)
- Alkudhiri Abdullah, Darwish Naif and Hilal Nidal, Membrane distillation: A comprehensive review *Desalination* 287 (2012) 2–18
- Alklaibi A.M. and Lior N., Membrane-distillation desalination: status and potential, *Desalination* 171 (2) (2005) 111–131.
- Alves V.D. and Coelho I.M., Orange juice concentration by osmotic evaporation and membrane distillation: a comparative study, *J. Food Eng.* 74 (1) (2006) 125–133.
- Banat F.A. and Simandl J., Desalination by membrane distillation: a parametric study, *Sep. Sci. Technol.* 33 (2) (1998) 201–226.
- Banat F.A., Membrane distillation for desalination and removal of volatile organic compounds from water, Ph.D. Thesis, McGill University, 1994.
- Banat F.A. and Simandl J., Membrane distillation for dilute ethanol: separation from aqueous streams, *J. Membr. Sci.* 163 (2) (1999) 333–348.
- Blanco Gálvez J., García-Rodríguez L. and Martín-Mateos I., Seawater desalination by an innovative solar-powered membrane distillation system: the MEDESOL project, *Desalination* 246 (1–3) (2009) 567–576.
- Calabro V., Jiao B.L. and Drioli E., Theoretical and experimental study on membrane distillation in the concentration of orange juice, *Ind. Eng. Chem. Res.* 33 (7) (1994) 1803–1808.
- Cerneaux S., et al., Comparison of various membrane distillation methods for desalination using hydrophobic ceramic membranes, *J. Membr. Sci.* 337 (1–2) (2009) 55–60.
- Control & Operation Manual, Memsys, www.memsys.eu/products.htm, 2013
- Criscuoli A. and Drioli E., Energetic and exergetic analysis of an integrated membrane desalination system, *Desalination* 124 (1–3) (1999) 243–249.
- Curcio E. and Drioli E., Membrane distillation and related operations — a review, *Sep. Purif. Rev.* 34 (1) (2005) 35–86.
- DATA SHEET KNF E180, KNF, 2008
- Design rules memsys 4-6.4 unit, Memsys, www.memsys.eu/products.html , 2013
- Drioli E. and Wu Y., Membrane distillation: an experimental study, *Desalination*, 53 (1985) 339- 346.
- García-Payo M.C., Izquierdo-Gil M.A. and Fernández-Pineda C., Air gap membrane distillation of aqueous alcohol solutions, *J. Membr. Sci.* 169 (1) (2000) 61–80
- Godino M.P., et al., Water production from brines by membrane distillation, *Desalination* 108 (1–3) (1997) 91–97.
- Grundfos Data Booklet Magna 1, Grundfos, 2014

Gryta M., Karakulski K. and Morawski A.W., Purification of oily wastewater by hybrid UF/MD, *Water Res.* 35 (15) (2001) 3665–3669.

Gryta M., Fouling in direct contact membrane distillation process, *J. Membr. Sci.* 325 (1) (2008) 383–394.

Guijit C.M., Racz I.G., van Heuven J.W., T. Reith and De Haan A.B., Modeling of a transmembrane evaporation module for desalination of seawater, *Desalination*, 126 (1999) 119-125.

Gunko S., et al., Concentration of apple juice using direct contact membrane distillation, *Desalination* 190 (1–3) (2006) 117–124.

Hsu S.T., Cheng K.T. and Chiou J.S., Seawater desalination by direct contact membrane distillation, *Desalination* 143 (3) (2002) 279–287.

Iwaki Magnetic drive pumps MD Series, Iwaki, 2012

Kennedy M.D., et al., Water treatment by microfiltration and ultrafiltration, in: A. Li, et al., (Eds.), *Advance Membrane Technology and Application*, John Wiley, New Jersey, 2008.

Khayet M., Godino P. and Mengual J. I., Theory and experiments on sweeping gas membrane distillation, *J. Membr. Sci.*, 165 (2000) 261-272.

Kurokawa H. and Sawa T., Heat recovery characteristics of membrane distillation, *Heat transfer-Japanese Research* 25 (1996) 135–150.

Lawson K.W. and Lloyd D.R., Membrane distillation. II. Direct contact MD, *J. Membr. Sci.*, 120 (1996) 123-133.

Lawson K.W. and Lloyd D.R., Review membrane distillation, *J. Membr. Sci.*, 124 (1997) 1-25.

Liu G.L., Zhu C., Cheung C.S. and Leung C.W., Theoretical and experimental studies on air gap membrane distillation, *Heat Mass Transf.*, 34 (1998) 329-335.

Martinez-Diez L. and Florido-Diaz F.J., Theoretical and experimental studies on membrane distillation, *Desalination*, 139 (2001) 373-379.

Memsys Datasheet 4.6.4, memDist 4-6.4 Technical description of process, modules and applications, 2012), Memsys, www.memsys.eu/products.htm,2014

Ohta K., Kikuehi K., Hayano I, Okabe T., Goto T., Kimura S. and Ohya H., Experiments on seawater desalination by membrane distillation, *Desalination* 78 (1990) 177-185.

SolidWorks Datasheet, SolidWorks Datasheet Premium Design without limits, Dassault, 2014

SolidWorks Web Help (www.help.solidworks.com)

Technical Description of memsys Technology, Memsys, www.memsys.eu/products.html 2013

Thermal water treatment 2.0, Memsys, www.memsys.eu/products.html ,2013

Tomaszewska M., Gryta M. and Morawski A.W., Study on the concentration of acids by membrane distillation, *J. Membr. Sci.* 102 (1995) 113–122.

Ugrozov V.V., Elkina I.B., Nikulin V.N. and Kataeva L.I., Theoretical and experimental research of liquid-gas membrane distillation process in membrane module, *Desalination*, 157 (2003) 325-331.

Zhao K., Heinzl W., Wenzel M., Büttner S., Bollen F., Lange G., Heinzl S. and Sarda N. Experimental study of the memsys vacuum-multi-effect-membrane-distillation(V-MEMD) module, *Desalination* 323 (2013),150–160