

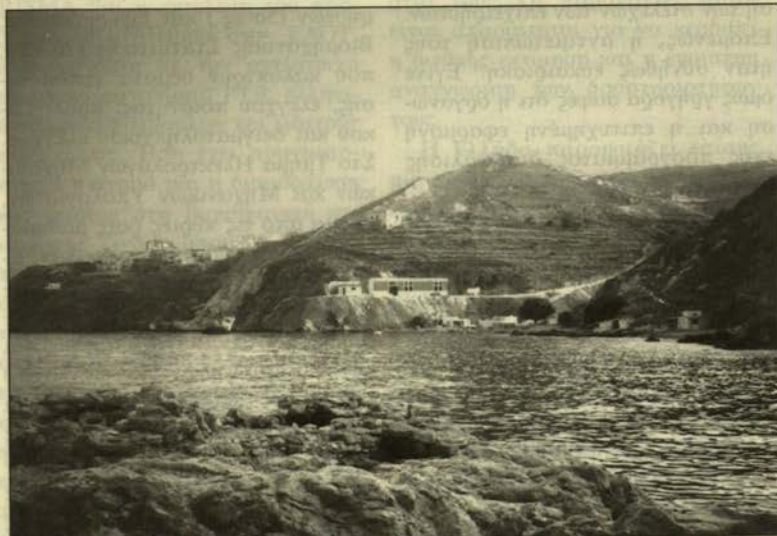


Αντικειμενοστρεφής Σχεδιασμός Μονάδας Αντίστροφης Όσμωσης

των Δ. Ασημακόπουλου και Δ. Βοϊβόντα

1. Εισαγωγή

Στη Χημική Μηχανική ο σχεδιασμός των διεργασιών είναι μια επαναληπτική διαδικασία η οποία μέσα από διαδοχικές προσεγγίσεις των απαιτήσεων, το σχεδιασμό της δομής και του ελέγχου της, μετατρέπει αφηρημένες ιδέες σε βιομηχανικές εφαρμογές. Για την τυποποίηση του προβλήματος έχουν αναπτυχθεί διάφορες μέθοδοι, που στις περισσότερες περιπτώσεις όμως δεν κατάφεραν να ενσωματώσουν τη βασική ιδέα, αυτήν της επαναληπτικής διαδικασίας. Η επαναληπτική προσέγγιση δεν είναι δυνατή, επειδή η ανάλυση και ο σχεδιασμός αντιμετωπίζονται ως διαφορετικές φάσεις ανάπτυξης και όχι σαν μια συνεχής και ενιαία διαδικασία. Εμφανίζεται, έτσι, ένα χάσμα ανάμεσα στην ανάλυση των απαιτήσεων και το σχεδιασμό της διεργασίας, το οποίο προσπαθούν να καλύψουν οι αντικειμενοστρεφείς μέθοδοι. Αντίθετα με την παραδοσιακή τακτική, οι αντικειμενοστρεφείς μέθοδοι σχεδιασμού διεργασιών δεν εισάγουν



Μονάδα αφαλάτωσης με αντίστροφη όσμωση, Ερμούπολις Σύρου

ένα διαφορετικό τρόπο ανάλυσης ή σύνθεσης του προβλήματος αλλά στηρίζονται στη συνολική αντιμετώπιση του πάνω στο σταθερό πλαίσιο το οποίο διαμορφώνει η ανάλυση των απαιτήσεων του σχεδιαστή. Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιείται μια αντικειμενοστρεφής

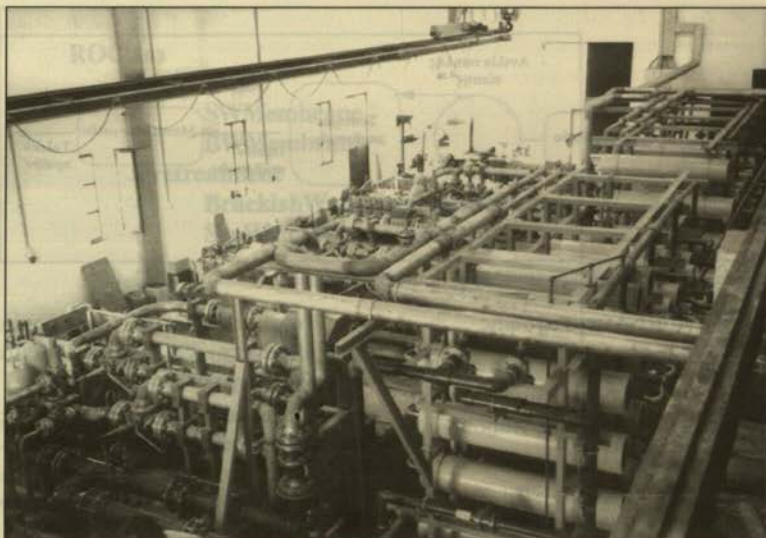
μέθοδος ανάλυσης, σύνθεσης και υλοποίησης, σε μια προσπάθεια να αναπτυχθεί υπολογιστικό μοντέλο για το βασικό σχεδιασμό μονάδων αφαλάτωσης.

Μεθοδολογίες για το σχεδιασμό διεργασιών μπορούν να αναζητηθούν στη βιβλιογραφία [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11]. Ο Venkatasubramanian [11] παρουσίασε το 1987 τις βασικές αρχές της Τεχνητής Νοημοσύνης και της ανάπτυξης έμπειρων συστημάτων. Οι Lien et al. [6] το

Ο Δ. Ασημακόπουλος είναι Επίκουρος Καθηγητής στο Τμήμα Χημικών Μηχανικών του ΕΜΠ. Ο Δ. Βοϊβόντας είναι μεταπτυχιακός σπουδαστής στο Τμήμα Χημικών Μηχανικών του ΕΜΠ

1987 προσάρισαν τις γενικές αρχές ανάπτυξης έμπειρων συστημάτων στη σύνθεση διεργασιών. Ο Stephopoulos [10] το 1990 και οι Muretet et al. [7] το 1993 διερεύνησαν την καταλληλότητα και εφαρμογή της Τεχνητής Νοημοσύνης σε όλα τα προβλήματα μηχανικών (σύνθεση διεργασιών, ανάπτυξη διαγραμμάτων ροής, διάγνωση, προγραμματισμός εργασιών, επιλογή εξοπλισμού, προσομοίωση διεργασιών). Οι Renard et al. [8] το 1993 παρουσίασαν έναν αλγόριθμο για τον έλεγχο της πληρότητας της βάσης γνώσης έμπειρων συστημάτων. Παραδείγματα εφαρμογής έμπειρων συστημάτων σε προβλήματα σχεδιασμού διεργασιών ή επιλογής μοντέλων μπορούν να αναζητηθούν στη βιβλιογραφία [12, 13, 14, 15, 16]. Οι Gani et al. [12] το 1989 ανέπτυξαν ένα έμπειρο σύστημα για την επιλογή του κατάλληλου μοντέλου για τον υπολογισμό των φυσικών ιδιοτήτων ενός μίγματος. Το 1991 οι Bikos et al. [13] παρουσίασαν ένα έμπειρο σύστημα για τον προκαταρκτικό σχεδιασμό μιας μονάδας αφαλάτωσης με εξάτμιση. Οι Parafiotiu et al. [14] το 1992 ανέπτυξαν ένα έμπειρο σύστημα για το βασικό σχεδιασμό μιας μονάδας αφαλάτωσης με αντίστροφη όσμωση. Οι Paranjape et al. [15] το 1993 ανέπτυξαν ένα έμπειρο σύστημα για την επιλογή της κατάλληλης μεθόδου υπολογισμού των φυσικών ιδιοτήτων μιγμάτων. Οι Fujiwara et al. [16] το 1994 παρουσίασαν ένα έμπειρο σύστημα για τη σύνθεση κύκλων χημικών αντιδράσεων. Στρατηγικές για την επίλυση του προβλήματος σύνθεσης μιας μονάδας αντίστροφης όσμωσης παρουσιάστηκαν από τον Evangelista [17] το 1986, ο οποίος ανέπτυξε μια γραφική αναλυτική μέθοδο για το σχεδιασμό μονάδων αντίστροφης όσμωσης και από τον El-Halwagi [18], ο οποίος παρουσίασε το 1992 έναν αναλυτικό αλγόριθμο σύνθεσης μονάδων αντίστροφης όσμωσης για τον καθαρισμό αποβλήτων.

Το κεντρικό σημείο κατά την ανάπτυξη ενός έμπειρου συστήμα-



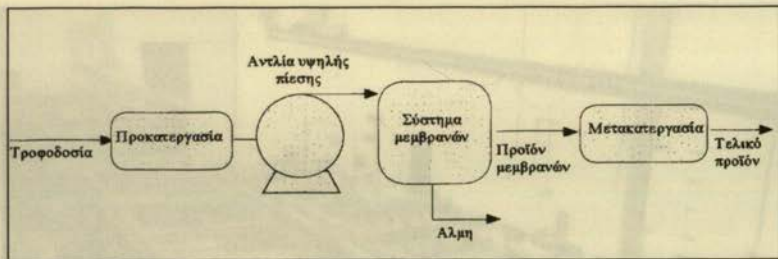
Εσωτερικό μονάδας αφαλάτωσης με αντίστροφη όσμωση

τος είναι η τυποποίηση, ο έλεγχος και η διαχείριση της εξειδικευμένης γνώσης με στόχο τη λήψη γενικών αποφάσεων. Στις περισσότερες περιπτώσεις, δεν δίνεται ιδιαίτερη έμφαση στη δυναμική αλληλεπίδραση γενικών αποφάσεων και αναλυτικών υπολογισμών. Όμως, η συνεχής εναλλαγή ποιοτικών αποφάσεων και λεπτομερών υπολογισμών είναι ο βασικός τρόπος προσέγγισης ενός προβλήματος σύνθεσης διεργασιών από το μηχανικό. Στην παρούσα εργασία αναπτύχθηκε ένα υβριδικό σύστημα που λύνει το πρόβλημα του βασικού σχεδιασμού μονάδων αφαλάτωσης σε δύο επίπεδα λεπτομέρειας. Στο πρώτο επίπεδο, το οποίο αποτελεί το έμπειρο μέρος του συστήματος, χρησιμοποιεί ποιοτικά δεδομένα και με τη βοήθεια ευρετικών μεθόδων (heuristics) παίρνει αποφάσεις για τη δομή της μονάδας. Στο επόμενο επίπεδο, το οποίο αποτελεί το υπολογιστικό μέρος του συστήματος, οι αποφάσεις που αφορούν τη δομή της μονάδας χρησιμοποιούνται για την ολοκλήρωση του βασικού σχεδιασμού με τον υπολογισμό των ισοζυγίων μάζας και την αριστοποίηση.

Οι βασικές αρχές ανάπτυξης του έμπειρου μέρους του συστήματος προέρχονται από τη βιβλιογραφία [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11]. Οι κανόνες που περιέχονται στη βάση

γνώσης του συστήματος προέρχονται από έμπειρους σχεδιαστές και προτάσεις των κατασκευαστών των μεμβρανών αντίστροφης όσμωσης. Οι αναλυτικοί υπολογισμοί βασίζονται σε εξισώσεις ισοζυγίων μάζας και σχέσεις που δίνονται από τους κατασκευαστές για τον υπολογισμό της διαπερατότητας των μεμβρανών [19, 20, 21].

Για να οργανωθούν και να συγκεντρωθούν τα διαφορετικά είδη γνώσης που χρειάζονται και να δημιουργηθεί μια εφαρμογή, απαιτείται μια μεθοδολογία ικανή να κωδικοποιήσει αυτή τη γνώση. Οι Coad και Yourdon [2, 3] παρουσίασαν το 1991 μια πλήρως αντικειμενοστρεφή μεθοδολογία ανάπτυξης εφαρμογών που δίνει τη δυνατότητα στον σχεδιαστή να δημιουργήσει ένα αφηρημένο μοντέλο του προβλήματος και να το χρησιμοποιήσει σταθερά κατά τη διάρκεια της ανάλυσης των απαιτήσεων, του σχεδιασμού της εφαρμογής, της ανάπτυξης του κώδικα και της δοκιμής του προϊόντος. Αυτή η προσέγγιση δείχνει ικανή να εξασφαλίσει την ισχυρή σύνδεση ποιοτικών και ποσοτικών υπολογισμών και δεδομένων, καθώς προσφέρει ένα εύκολο τρόπο προσθήκης λεπτομερειών σε ένα αφηρημένο μοντέλο μέχρι αυτό να καλύψει τις προδιαγραφές που έχουν τεθεί.



Σχήμα 1. Γενική δομή μιας μονάδας αντίστροφης όσμωσης

2. Μονάδα Αντίστροφης Όσμωσης

Η γενική δομή μιας μονάδας αντίστροφης όσμωσης παρουσιάζεται στο Σχήμα 1.

Η τροφοδοσία μπορεί να είναι υφάλμυρο ή θαλασσινό νερό με ολικά διαλυμένα στερεά (TDS) 2,000 - 50,000 ppm. Η προκατεργασία είναι ένα σύνολο από επιμέρους διεργασίες καθαρισμού της τροφοδοσίας που στοχεύουν στην προστασία των μεμβρανών από επικαθίσεις αλάτων ή οξειδίων μετάλλων, ανάπτυξη κολλοειδών, αιωρούμενα σωματίδια και βιολογική ανάπτυξη στην επιφάνεια τους. Ανάλογα με το είδος της προκατεργασίας οι διεργασίες αυτές μπορεί να είναι: Προσθήκη οξέος, έλεγχος του βαθμού της μετατροπής, προσθήκη παρεμποδιστών επικαθίσεων, ιονεναλλαγή, ρύθμιση pH, απομάκρυνση σιδήρου, φίλτραση, συσσωμάτωση κολλοειδών και φίλτραση, χλωρίωση, αποχλωρίωση. Η αντλία υψηλής πίεσης χρησιμοποιείται για την αύξηση της πίεσης του νερού τροφοδοσίας σε $25 \cdot 10^5$ - $80 \cdot 10^5$ Pa ώστε να δημιουργηθεί η απαραίτητη διαφορά πίεσης για την αντίστροφη όσμωση.

Η δομή του συστήματος μεμβρανών αντίστροφης όσμωσης είναι από τα πρώτα προβλήματα που πρέπει να επιλύσει ο σχεδιαστής μιας μονάδας αντίστροφης όσμωσης. Πρέπει να καθοριστεί αν θα χρησιμοποιηθεί ανακύκλωση του ρεύματος άλμης, ο αριθμός και η διάταξη των σταδίων που θα χρησιμοποιηθούν καθώς και ο τύπος των μεμβρανών που θα χρησιμοποιηθεί. Οι διατάξεις που χρησιμοποιούνται συνήθως είναι:

- **Ενός σταδίου:** Η τροφοδοσία μοιράζεται σε μια συστοιχία παράλληλων μεμβρανών.
- **Δύο σταδίων:** Το ρεύμα άλμης του πρώτου σταδίου τροφοδοτείται στο δεύτερο στάδιο και το προϊόν των δύο σταδίων αναμιγνύεται.
- **Δύο περασμάτων:** Το προϊόν του πρώτου σταδίου τροφοδοτείται στο δεύτερο στάδιο και το προϊόν του σταδίου αυτού αποτελεί το προϊόν της μονάδας.

Το προϊόν του συστήματος μεμβρανών χαρακτηρίζεται από χαμηλή περιεκτικότητα σε ολικά διαλυμένα στερεά και η μετακατεργασία του αποσκοπεί στην αύξηση της σκληρότητας, τη μείωση της διαβρωτικότητας και την αποφυγή βιολογικής ανάπτυξης.

Ένα έμπειρο σύστημα που λύνει το πρόβλημα σχεδιασμού αυτής της μονάδας πρέπει να καλύπτει τις εξής προδιαγραφές:



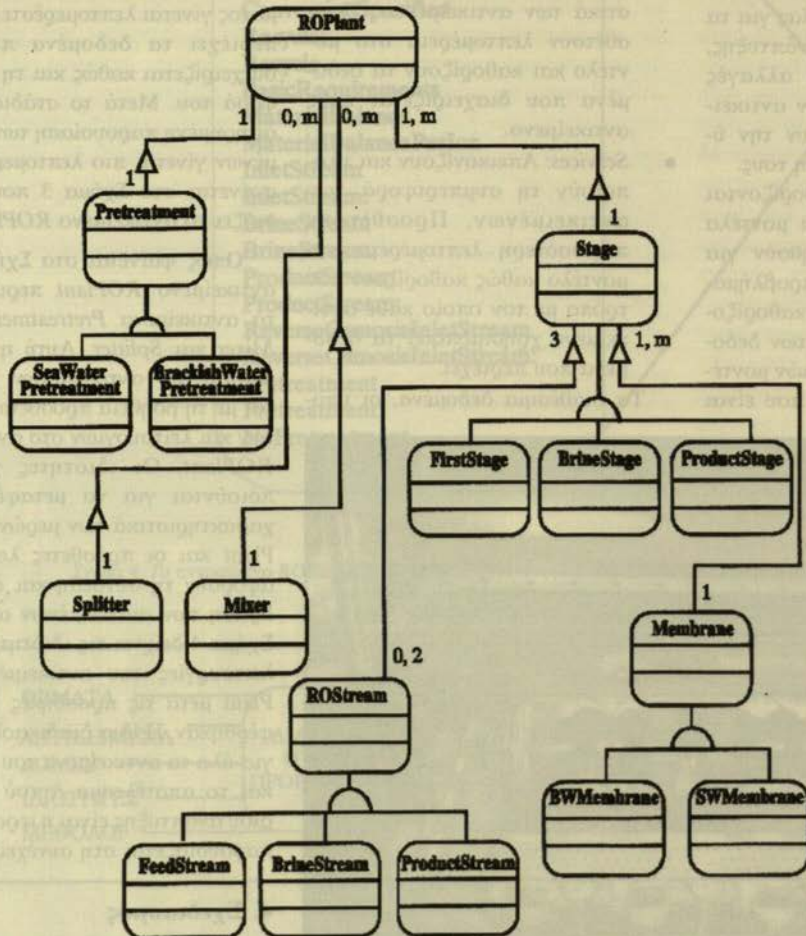
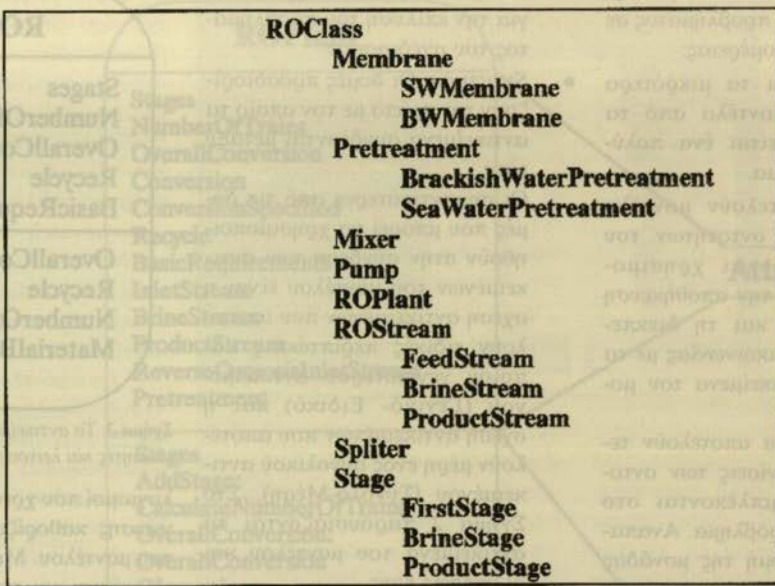
Συστήματα μεμβρανών

1. Να διεκπεραιώνει το σχεδιασμό σε κάθε επίπεδο λεπτομέρειας ανάλογα με τις επιλογές του χρήστη.
2. Να επιτρέπει στο χρήστη να εμπλακεί στο σχεδιασμό οποιοδήποτε μέρους της μονάδας.
3. Να προτείνει την καλύτερη δομή για τη μονάδα και να ολοκληρώνει την αριστοποίησή της.
4. Να επιλύει τα ισοζύγια μάζας για όλη τη μονάδα και να κάνει αναλυτικούς υπολογισμούς για όλα τα μέρη της μονάδας.
5. Να μπορεί να χρησιμοποιήσει διαφορετικές μεμβράνες και να κάνει τους αντίστοιχους υπολογισμούς ανάλογα με τις επιλογές του χρήστη.
6. Να παρουσιάζει τα αποτελέσματα με τη μορφή διαγραμμάτων ροής και να επιτρέπει την εύκολη πρόσβαση στις ακριβείς πληροφορίες για κάθε μέρος της μονάδας.

Αφετηρία της ανάπτυξης του συστήματος αποτελεί η ανάλυση των απαιτήσεων, η οποία έχει στόχο να οπτικοποιήσει τις γενικές ιδέες και να τις μετατρέψει σε λεπτομερείς απαιτήσεις δημιουργώντας ένα αφηρημένο μοντέλο, το οποίο αποτελείται από αντικείμενα, ιδιότητες και λειτουργίες. Το επόμενο βήμα είναι ο σχεδιασμός της εφαρμογής και το ταίριασμα των απαιτήσεων σε διαδικασίες υλοποίησης. Στο σημείο αυτό γίνεται η επιλογή του περιβάλλοντος ανάπτυξης και του interface της εφαρμογής. Στο επόμενο στάδιο γίνεται ο προγραμματισμός της εφαρμογής.

3. Ανάλυση απαιτήσεων

Θα παρουσιαστούν στη συνέχεια η μελέτη του φυσικού προβλήματος και ο προσδιορισμός των γενικών χαρακτηριστικών της εφαρμογής. Πιο συγκεκριμένα, θα παρουσιαστεί η μέθοδος μετατροπής του φυσικού προβλήματος στο μοντέλο πάνω στο οποίο θα αναπτυχθεί η εφαρμογή.



Σχήμα 2. Αντικείμενα και δομή του μοντέλου

Η ανάλυση υλοποιείται με την αναπαράσταση του προβλήματος σε πέντε επίπεδα λεπτομέρειας:

- **Subjects:** Είναι τα μικρότερα ανεξάρτητα μοντέλα από τα οποία αποτελείται ένα πολύπλοκο πρόβλημα.
- **Objects:** Αποτελούν μοντέλα των φυσικών οντοτήτων του προβλήματος και χρησιμοποιούνται για την αποθήκευση πληροφοριών και τη διεκπεραίωση της επικοινωνίας με τα υπόλοιπα αντικείμενα του μοντέλου.

Τα αντικείμενα αποτελούν τεχνικές απεικονίσεις των οντοτήτων που εμπλέκονται στο πραγματικό πρόβλημα. Αναπαριστούν τη δομή της μονάδας και τη διαδικασία σχεδιασμού. Επίσης, οριοθετούν ένα σταθερό περιβάλλον εργασίας για τα επόμενα στάδια της ανάπτυξης, αφού οποιοσδήποτε αλλαγές στη συμπεριφορά των αντικειμένων δεν επηρεάζουν την ύπαρξη και διασύνδεση τους. Στο σημείο αυτό καθορίζονται σε αδρές γραμμές τα μοντέλα που θα χρησιμοποιηθούν για την περιγραφή του προβλήματος. Τα αντικείμενα καθορίζονται κατά τη μελέτη των δεδομένων, των μαθηματικών μοντέλων και της γνώσης που είναι

απαραίτητη στον σχεδιαστή για την επίλυση του προβλήματος του σχεδιασμού.

- **Structures:** Οι δομές προσδιορίζουν τον τρόπο με τον οποίο τα αντικείμενα συνδέονται μεταξύ τους.

Οι σημαντικότερες από τις δομές που μπορεί να χρησιμοποιηθούν στην σύνδεση των αντικειμένων του μοντέλου είναι η σχέση αντικειμένων που αποτελούν ειδικές περιπτώσεις κάποιου γενικότερου αντικειμένου (Γενικό- Ειδικό) και η σχέση αντικειμένων που αποτελούν μέρη ενός συνολικού αντικειμένου (Σύνολο-Μέρη). Στο Σχήμα 2 παρουσιάζονται τα αντικείμενα του μοντέλου και οι σχέσεις τους.

- **Attributes:** Είναι τα χαρακτηριστικά των αντικειμένων. Προσθέτουν λεπτομέρεια στο μοντέλο και καθορίζουν τα δεδομένα που διαχειρίζεται κάθε αντικείμενο.
- **Services:** Απεικονίζουν και υλοποιούν τη συμπεριφορά των αντικειμένων. Προσθέτουν περισσότερη λεπτομέρεια στο μοντέλο καθώς καθορίζουν τον τρόπο με τον οποίο κάθε αντικείμενο χρησιμοποιεί τα δεδομένα που περιέχει.

Τα διαθέσιμα δεδομένα, οι υπο-

ROPlant

Stages
NumberOfMembranes
OverallConversion
Recycle
BasicRequirements

OverallConversion
Recycle
NumberOfTrains
MaterialBalance

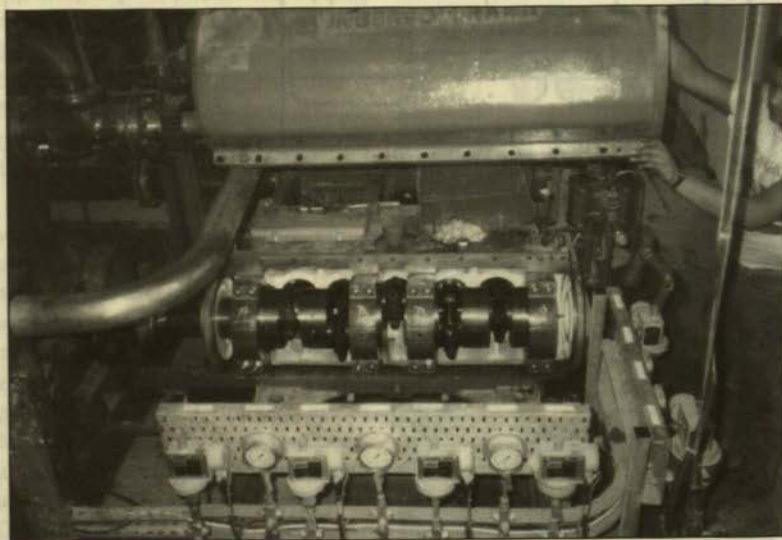
Σχήμα 3. Το αντικείμενο ROPlant, οι ιδιότητες και λειτουργίες του.

λογισμοί που χρειάζονται και η βάση γνώσης καθορίζουν τα αντικείμενα του μοντέλου. Με την προσθήκη των ιδιοτήτων και των μεθόδων σε κάθε αντικείμενο, το μοντέλο του προβλήματος γίνεται λεπτομερέστερο καθώς περιέχει τα δεδομένα που αυτό διαχειρίζεται καθώς και τη συμπεριφορά του. Μετά το στάδιο αυτό η αφηρημένη παρουσίαση των αντικειμένων γίνεται πιο λεπτομερής όπως φαίνεται στο Σχήμα 3 που παρουσιάζει το αντικείμενο ROPlant.

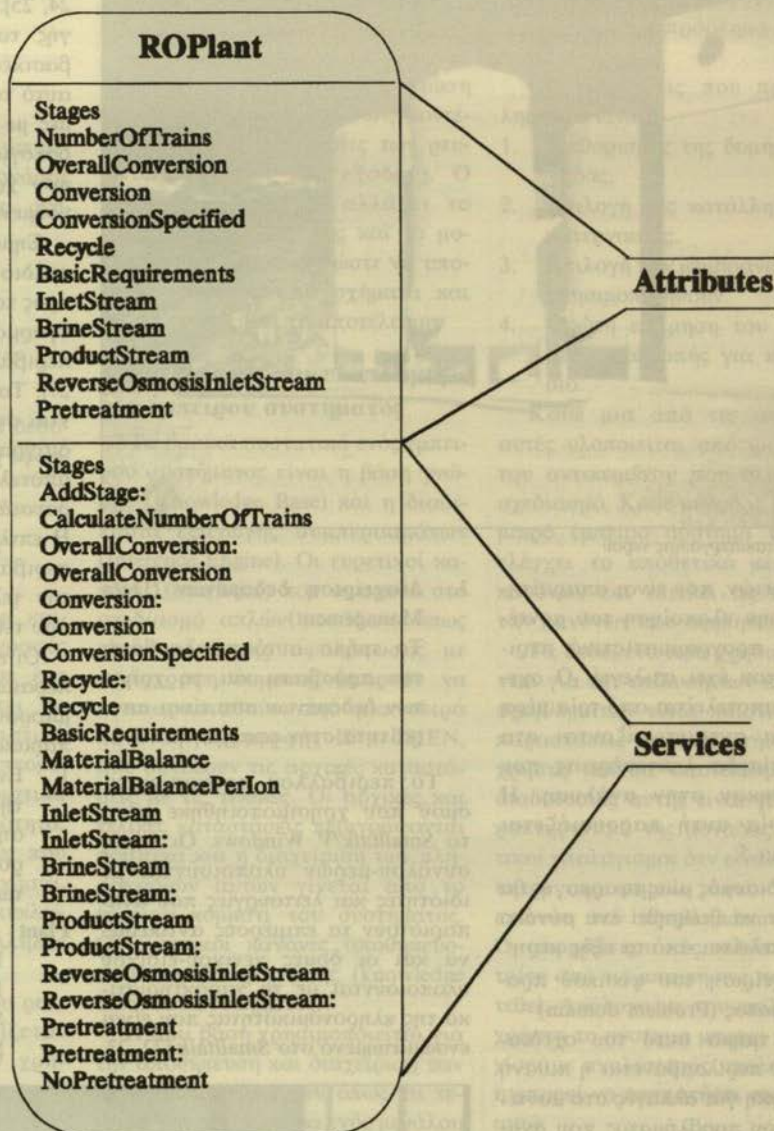
Όπως φαίνεται στο Σχήμα 2, το αντικείμενο ROPlant περιλαμβάνει τα αντικείμενα Pretreatment, Stage, Mixer και Splitter. Αυτή η σύνδεση μεταξύ των αντικειμένων υλοποιείται με τη βοήθεια πρόσθετων ιδιοτήτων και λειτουργιών στο αντικείμενο ROPlant. Οι ιδιότητες χρησιμοποιούνται για να μεταφέρουν τα χαρακτηριστικά των μερών του ROPlant και οι πρόσθετες λειτουργίες αφορούν τη σύνδεση και αλληλεπίδραση των αντικειμένων αυτών. Το Σχήμα 4 δείχνει τις ιδιότητες και τις λειτουργίες του αντικειμένου ROPlant μετά τις προσθήκες που αναφέρθηκαν. Η ίδια διαδικασία γίνεται για όλα τα αντικείμενα του μοντέλου και το αποτέλεσμα αυτού του σταδίου ανάπτυξης είναι η ιεραρχία που παρουσιάζεται στη συνέχεια.

4. Σχεδιασμός

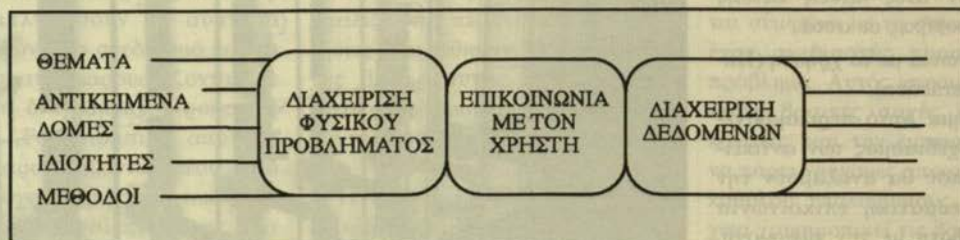
Κατά τη φάση του σχεδιασμού της εφαρμογής έγινε προσθήκη



Αντλία υψηλής πίεσης



Σχήμα 4. Το αντικείμενο ROPlant, οι ιδιότητες και λειτουργίες, που υλοποιούν τις συνδέσεις του.



Σχήμα 5. Σχεδιασμός της εφαρμογής.



Σύστημα μετακατεργασίας νερού

λεπτομερειών, που είναι απαραίτητες για την υλοποίηση του μοντέλου στο προγραμματιστικό περιβάλλον που έχει επιλεγεί. Ο σχεδιασμός αποτελείται από τρία μέρη τα οποία αντιμετωπίζονται στα πέντε επίπεδα λεπτομέρειας που αναφέρθηκαν στην ανάλυση. Η διαδικασία αυτή παρουσιάζεται στο Σχήμα 5.

Ο σχεδιασμός μιας εφαρμογής θα μπορούσε να θεωρηθεί ένα σύνολο που αποτελείται από τα εξής μέρη:

1. Διαχείριση του φυσικού προβλήματος (Problem domain)
Στο τμήμα αυτό του σχεδιασμού περιλαμβάνεται η πιθανή ανάγκη για αλλαγές στο μοντέλο του προβλήματος που αναπτύχθηκε κατά την ανάλυση. Οι αλλαγές αυτές αφορούν κυρίως αναδιατάξεις των αντικειμένων, των ιδιοτήτων και των μεθόδων τους καθώς επίσης και προσθήκες σε αυτά.
2. Επικοινωνία με το χρήστη (Human interaction).
Στο τμήμα αυτό περιλαμβάνεται ο σχεδιασμός των αντικειμένων που θα αναλάβουν την αποτελεσματική επικοινωνία του χρήστη με την εφαρμογή. Μεγάλη σημασία για το κομμάτι αυτό έχει το λειτουργικό περιβάλλον στο οποίο θα αναπτυχθεί η εφαρμογή.

3. Διαχείριση δεδομένων (Data Management)

Το τμήμα αυτό περιλαμβάνει την πρόσβαση και τη χρήση των δεδομένων που είναι απαραίτητα στην εφαρμογή.

Το περιβάλλον προγραμματισμού που χρησιμοποιήθηκε είναι το Smalltalk/V Windows. Οι δομές συνόλου-μερών υλοποιούνται με ιδιότητες και λειτουργίες που αναπαριστούν τα επιμέρους αντικείμενα και οι δομές γενικού-ειδικού υλοποιούνται με το χαρακτηριστικό της κληρονομικότητας που είναι ενσωματωμένο στο Smalltalk [22, 23,

24, 25]. Ο βασικός λόγος της επιλογής του Smalltalk/V είναι ότι οι βασικές ιδέες προγραμματισμού σε αυτό το περιβάλλον είναι ταυτόσημες με αυτές τις γενικότερης μεθόδολογίας ανάλυσης και σχεδιασμού που χρησιμοποιήθηκαν στα προηγούμενα στάδια.

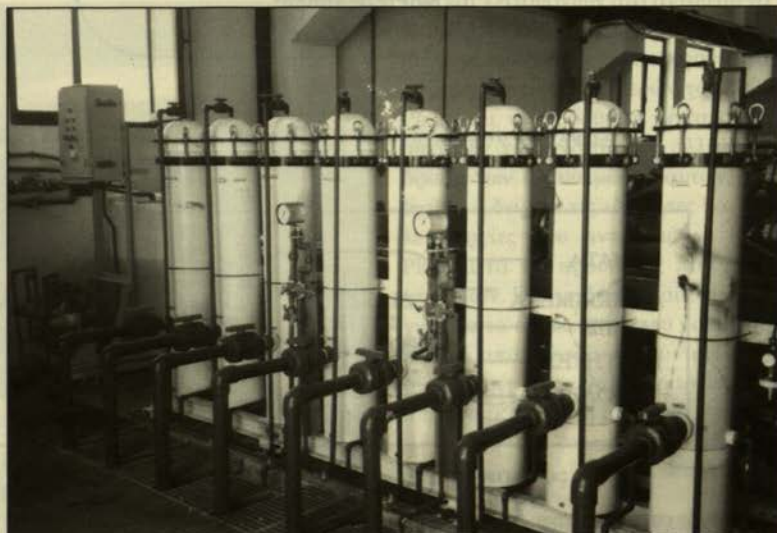
Σημαντική απόφαση σε αυτό το στάδιο ανάπτυξης είναι ο καθορισμός του interface της εφαρμογής. Η εφαρμογή λειτουργεί κάτω από το περιβάλλον Microsoft Windows [26, 27]. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται σε ένα γραφικό παράθυρο σαν διάγραμμα ροής της μονάδας. Τα αποτελέσματα του σχεδιασμού παρουσιάζονται διαμέσου διαλόγων. Η επιλογή αυτού του λειτουργικού περιβάλλοντος είναι σημαντική για την τελευταία από τις απαιτήσεις που τέθηκαν.

Οι ενέργειες που πρέπει να διεκπεραιωθούν από την εφαρμογή, θα μπορούσαν να ταξινομηθούν στις παρακάτω κατηγορίες:

1. Εντολές που αφορούν συνολικά τη μονάδα αντίστροφης όσμωσης και τη διαχείριση και παρουσίαση των αποτελεσμάτων των υπολογισμών:

Plant

New
Load
Save
SaveAs



Φίλτραση νερού, Προκατεργασία

Overall Characteristics

Calculate

Cost

Print

Exit

2. Εντολές που αφορούν επιμέρους διεργασίες της μονάδας (προκατεργασία, στάδια, ρεύματα):

Part (Selected)

Open (View)

Update (Change)

Add

Delete

3. Εντολές που αφορούν τα δεδομένα που διαχειρίζεται η εφαρμογή:

Data

New Membrane Remove Membrane

Το σύστημα σχεδιάζει μια καινούρια μονάδα με τις προδιαγραφές του χρήστη που δίνονται σε ένα διάλογο. Ο χρήστης πρέπει να προσδιορίσει τα χαρακτηριστικά της τροφοδοσίας (παροχή, λεπτομερή ανάλυση), τα χαρακτηριστικά του προϊόντος (παροχή, ποιότητα, πίεση) και τους υπολογισμούς που πρέπει να γίνουν (προκατεργασία, ανακύκλωση ενέργειας, ανακύκλωση ρεύματος άλμης, παράλληλες συστοιχίες).

Η λεπτομερής ανάλυση του ρεύματος τροφοδοσίας καθορίζεται διαμέσου ενός διαλόγου. Ο χρήστης πρέπει να προσδιορίσει τη θερμοκρασία, την πίεση, το pH και τις συγκεντρώσεις των ιόντων αυτού του ρεύματος. Ο χρήστης μπορεί να ελέγξει την ορθότητα των συγκεντρώσεων των ιόντων του ρεύματος.

Όταν οι προδιαγραφές του χρήστη συμπληρωθούν το σύστημα διεκπεραιώνει το σχεδιασμό και τα αποτελέσματα παρουσιάζονται με τη μορφή διαγράμματος ροής της μονάδας. Τα αναλυτικά αποτελέσματα παρουσιάζονται μέσα από ένα διάλογο (χαρακτηριστικά ρευμάτων τροφοδοσίας, άλμης και προϊόντος, ολικός συντελεστής μετατροπής, πίεση και θερμοκρασία λειτουργίας).

Ένας διαφορετικός διάλογος

χρησιμοποιείται για την παρουσίαση των αποτελεσμάτων του σχεδιασμού κάθε σταδίου της μονάδας (συντελεστής μετατροπής, πτώση πίεσης, αριθμός μεμβρανών, μοντέλο μεμβράνης, αναλύσεις των ρευμάτων εισόδου και εξόδου). Ο χρήστης μπορεί να αλλάξει το συντελεστή μετατροπής και το μοντέλο των μεμβρανών ώστε να υπολογίσει εναλλακτικά σχήματα και να αριστοποιήσει το αποτέλεσμα.

5. Σχεδιασμός και υλοποίηση του έμπειρου συστήματος

Τα βασικά συστατικά ενός έμπειρου συστήματος είναι η βάση γνώσης (Knowledge Base) και η διαδικασία εξαγωγής συμπερασμάτων (Inference Engine). Οι ευρετικοί κανόνες (heuristics) που αφορούν στο σχεδιασμό απλών μονάδων, όπως είναι αυτή της αφαλάτωσης με αντίστροφη όσμωση, μπορούν να αναπαρασταθούν από μια σειρά κανόνων της μορφής IF - THEN, που συνδέουν τις αρχικές καταστάσεις με τις τελικές. Οι αρχικές και τελικές καταστάσεις περιγράφονται ποιοτικά και η διαχείριση των πληροφοριών αυτών γίνεται από το έμπειρο κομμάτι του συστήματος. Οι ευρετικοί κανόνες αποθηκεύονται στη βάση γνώσης (knowledge base) του συστήματος.

Η ίδια βάση χρησιμοποιείται για την αποθήκευση και διαχείριση των ποσοτικών δεδομένων όπως τα τεχνικά χαρακτηριστικά ενός μεγάλου αριθμού μεμβρανών, οι τιμές των μεταβλητών σχεδιασμού και οι απαιτήσεις του χρήστη. Ο αριθμός των μοντέλων των μεμβρανών που είναι αποθηκευμένες στη βάση εξασφαλίζει την πέμπτη από τις απαιτήσεις που τέθηκαν. Ο χαρακτήρας της βάσης αυτής επιτρέπει την εύκολη επέκταση των τεχνικών χαρακτηριστικών που χρησιμοποιούνται.

Η διαδικασία εξαγωγής συμπερασμάτων (inference engine) του έμπειρου κομματιού του συστήματος καθορίζει τη σειρά με την οποία λαμβάνονται οι αποφάσεις και χρησιμοποιεί τους κανόνες και τις

απαιτήσεις του χρήστη για να λύσει κάθε επιμέρους πρόβλημα που προκύπτει.

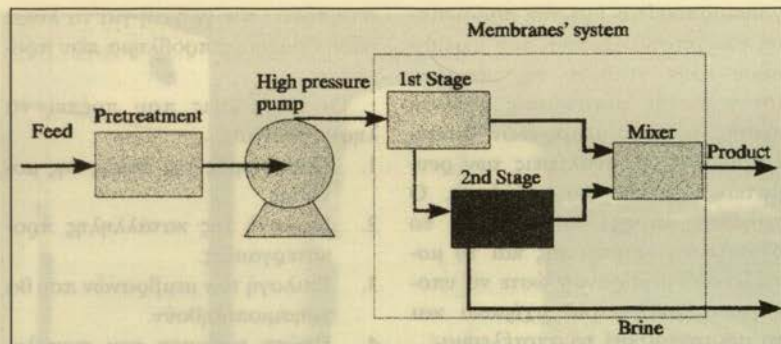
Οι αποφάσεις που πρέπει να ληφθούν είναι:

1. Καθορισμός της δομής της μονάδας.
2. Επιλογή της κατάλληλης προκατεργασίας.
3. Επιλογή των μεμβρανών που θα χρησιμοποιηθούν.
4. Πρώτη εκτίμηση του συντελεστή μετατροπής για κάθε στάδιο.

Κάθε μια από τις αποφάσεις αυτές υλοποιείται από μια μέθοδο του αντικειμένου που υλοποιεί το σχεδιασμό. Κάθε μέθοδος είναι ένα μικρό έμπειρο σύστημα το οποίο ελέγχει το υποθετικό μέρος των κανόνων και εκτελεί τις ενέργειες των κανόνων που επαληθεύονται.

Τα δεδομένα που χρησιμοποιούνται για την επίλυση των επιμέρους προβλημάτων είναι ποιοτικές αναπαραστάσεις των απαιτήσεων του χρήστη και τα αποτελέσματα της διαδικασίας αυτής είναι γενικά χαρακτηριστικά της μονάδας. Αναλυτικοί υπολογισμοί δεν είναι απαραίτητοι στο σημείο αυτό για την επίλυση των προβλημάτων αυτών. Οι αποφάσεις αυτές καλύπτουν την τρίτη από τις απαιτήσεις που έχουν τεθεί. Ανάλογα με την επιλογή του χρήστη το σύστημα μπορεί να συνεχίσει με αναλυτικούς υπολογισμούς ή μπορεί να σταματήσει στο σημείο αυτό.

Η διαδικασία εξαγωγής συμπερασμάτων του έμπειρου συστήματος επιφορτίζεται επίσης με τη σύνδεση των ποιοτικών και ποσοτικών υπολογισμών. Η βασική σύνδεση γίνεται σύμφωνα με τη στρατηγική που ένας σχεδιαστής προσεγγίζει το πρόβλημα. Αυτός χρησιμοποιεί κάποιες βασικές αρχές, ευρετικούς κανόνες, και την εμπειρία του για να πάρει γρήγορες αποφάσεις χωρίς καθόλου υπολογισμούς. Στη συνέχεια χρησιμοποιεί τις βασικές αυτές ιδέες σαν βάση για να αρχίσει αναλυτικούς υπολογισμούς και με συνεχείς αναθεωρήσεις φτάνει στη λύση του προβλήματος.



Σχήμα 6. Μονάδα αντίστροφης όσμωσης δυο σταδίων.

Το έμπειρο σύστημα που αναπτύχθηκε επιλύει το πρόβλημα της σύνθεσης με το ίδιο τρόπο. Τα αποτελέσματα του εμπειρικού μέρους αποτελούν μια πρώτη προσέγγιση της λύσης και χτίζουν τη βάση πάνω στην οποία γίνονται οι αναλυτικοί υπολογισμοί. Καθώς οι υπολογισμοί προχωρούν, υπάρχει συχνά η ανάγκη για μια από τις αποφάσεις που αναφέρθηκαν προηγουμένως. Στην περίπτωση αυτή η μέθοδος που υλοποιεί την απόφαση αυτή καλείται πριν προχωρήσουν οι υπολογισμοί.

6. Σχεδιασμός και υλοποίηση των αλγορίθμων

Ο σημαντικότερος από τους υπολογισμούς που πρέπει να κάνει το σύστημα είναι η επίλυση των ισοζυγίων μάζας. Ο υπολογισμός αυτός υλοποιείται από μια μέθοδο του αντικειμένου ROPlant. Για να ολοκληρωθούν οι υπολογισμοί αυτοί πρέπει να είναι γνωστή η δομή του συστήματος των μεμβρανών και όλα τα χαρακτηριστικά του ρεύματος εισόδου του πρώτου σταδίου της μονάδας. Η δομή του συστήματος

των μεμβρανών προέρχεται από το έμπειρο μέρος του συστήματος ενώ τα χαρακτηριστικά του ρεύματος τροφοδοσίας του πρώτου σταδίου είναι τα αποτελέσματα των υπολογισμών της προκατεργασίας.

Τα ισοζύγια μάζας λύνονται σε δυο επίπεδα. Στο πρώτο το σύστημα υπολογίζει την παροχή κάθε ρεύματος. Στη συνέχεια χρησιμοποιεί αυτά τα αποτελέσματα για να υπολογίσει τα ισοζύγια μάζας για κάθε στάδιο της μονάδας, χρησιμοποιώντας τις συσχετίσεις που δίνουν οι κατασκευαστές των μεμβρανών για το υπολογισμό της διαπερατότητας των μεμβρανών σε ιόντα. Έτσι υπολογίζονται οι συγκεντρώσεις των ιόντων για κάθε ρεύμα.

Τα αποτελέσματα αυτά χρησιμοποιούνται στη συνέχεια για να προχωρήσουν οι υπολογισμοί για ολόκληρη τη μονάδα σε μεγαλύτερο επίπεδο λεπτομέρειας. Έτσι όλα τα ρεύματα είναι πλήρως καθορισμένα όπως και η δομή της μονάδας.

Αφού ολοκληρωθεί η διαδικασία αυτή και το σύστημα προτείνει ένα διάγραμμα ροής που καλύπτει τις προδιαγραφές, ο χρήστης μπορεί να αλλάξει τις τιμές των μεταβλητών σχεδιασμού της μονάδας (συντελεστές μεταροής, παροχές των ρευμάτων). Οι αλλαγές αυτές μπορεί να επηρεάσουν είτε τη δομή της μονάδας είτε μόνο τα αποτελέσματα του σχεδιασμού, ανάλογα με την έκταση των αλλαγών. Η λειτουργία αυτή καλύπτει την απαίτηση για συνεχή αλληλεπίδραση του χρήστη και του συστήματος.

Stage Characteristics	
Conversion:	55.17
Flow Balancing Pressure Drop:	20.0 psig
Number of Membranes:	15.0
Membrane	
Type:	B-10 Arami
Model:	0840
Select...	
Inlet Stream	
TDS:	1920.78 mg / l
Flowrate:	1333.33 m ³ / d
Pressure:	400.0 psig
Analysis...	
Brine Stream	
TDS:	4089.41 mg / l
Flowrate:	598.28 m ³ / d
Pressure:	332.52 psig
Analysis...	
Product Stream	
TDS:	144.38 mg / l
Flowrate:	735.05 m ³ / d
Pressure:	30.0 psig
Analysis...	
Ok Cancel Help	

Σχήμα 7. Υπολογισμοί πρώτου σταδίου (προτεινόμενο μοντέλο).

7. Μελέτη περίπτωσης

Οι προδιαγραφές της μονάδας είναι:

Ανάλυση τροφοδοσίας:

Ca ⁺⁺	80.2	Cl ⁻	567.4
Mg ⁺⁺	24.3	HCO ₃ ⁻	480.3
Na ⁺	551.7	SO ₄ ⁻	244.2
K ⁺	0.0	SiO ₂	15
Fe ⁺⁺	0.0	CO ₂	10

Συνολική μετατροπή: 75%

Δυναμικότητα: 1000m³/d

TDS προϊόντος: 500 ppm

(πόσιμο νερό)

Η μονάδα που καλύπτει τις προδια-

γραφές αυτές παρουσιάζεται στο Σχήμα 6.

Τα αποτελέσματα των υπολογισμών είναι:

Πίεση λειτουργίας:	400 psig
Θερμοκρασία λειτουργίας:	25°C
Παροχή τροφοδοσίας:	1333 m ³ / d
TDS τροφοδοσίας:	1963.1 mg / l
Προκατεργασία:	171.56mg / l H ₂ SO ₄ (προσθήκη)
Παροχή άλμης:	333 m ³ / d
TDS άλμης:	7186.2 mg / l
Παροχή προϊόντος:	1000 m ³ / d
TDS προϊόντος:	165.4 mg / l

Όπως φαίνεται από το Σχήμα 6 το σύστημα προτείνει ότι μια μονάδα δυο σταδίων είναι επαρκής για το διαχωρισμό. Τα Σχήματα 7 και 8 παρουσιάζουν τα αποτελέσματα των υπολογισμών για κάθε στάδιο της μονάδας. Η διαφορά ανάμεσα στις συγκεντρώσεις των TDS του ρεύματος εισόδου της μονάδας και του ρεύματος εισόδου του πρώτου σταδίου οφείλεται στην προκατεργασία που χρησιμοποιήθηκε.

Τα Σχήματα 9 και 10 δείχνουν τα ίδια αποτελέσματα μετά την αλλαγή του μοντέλου της μεμβράνης από το χρήστη. Η αλλαγή αυτή επηρέασε όλα τα χαρακτηριστικά των ρευμάτων. Οι συντελεστές μετατροπής και οι πτώσεις πίεσης και στα δυο στάδια είναι χαμηλότερες. Αυτό σημαίνει ότι η δεύτερη μεμβράνη μπορεί να κάνει καλύτερο διαχωρισμό αν χρησιμοποιηθεί στο πρώτο στάδιο της μονάδας.

8. Συμπεράσματα

Η σημαντικότερη συνεισφορά της παρούσας εργασίας είναι η ενιαία αντιμετώπιση της ανάλυσης, του σχεδιασμού και της υλοποίησης της διαδικασίας σύνθεσης μονάδων αντίστροφης όσμωσης για την αφάλτωση νερού. Η ενιαία αντιμετώπιση όλων των φάσεων ανάπτυξης εξασφαλίστηκε με τη χρήση ενός αφηρημένου μοντέλου, το οποίο απεικονίζει τις φυσικές οντότητες που εμπλέκονται σε μια μονάδα αντίστροφης όσμωσης. Το μοντέλο που αναπτύχθηκε τελικά, ολοκληρώθηκε σε μια εύχρηστη μεθοδολο-

Σχήμα 8. Υπολογισμοί δεύτερου σταδίου (προτεινόμενο μοντέλο).

Σχήμα 9. Υπολογισμοί πρώτου σταδίου (εναλλακτικό μοντέλο)

Stage Characteristics	
Conversion:	45.38
Flow Balancing Pressure Drop:	20.0 psig
Number of Membranes:	7.0
Membrane	
Type:	B-10 Arami
Model:	0840
Select...	
Inlet Stream	
TDS:	4030.3 mg / l
Flowrate:	610.2 m ³ / d
Pressure:	348.23 psig
Analysis...	
Brine Stream	
TDS:	7170.44 mg / l
Flowrate:	333.33 m ³ / d
Pressure:	297.36 psig
Analysis...	
Product Stream	
TDS:	249.72 mg / l
Flowrate:	276.87 m ³ / d
Pressure:	30.0 psig
Analysis...	
Ok	
Cancel	
Help	

Σχήμα 10. Υπολογισμοί δεύτερου σταδίου (εναλλακτικό μοντέλο).

για λύσης του προβλήματος, μέσα από μια επαναληπτική διαδικασία συνεχών αναθεωρήσεων και προσθήκης λεπτομερειών.

Η μέθοδος σύνθεσης μονάδων αντίστροφης όσμωσης που αναπτύχθηκε μπορεί να βελτιωθεί είτε προς την κατεύθυνση των αναλυτικών υπολογισμών (υπολογισμός συντελεστών μεταφοράς μάζας στις μεμβράνες, υπολογισμός κόστους), είτε προς την κατεύθυνση της επέκτασης της βάσης γνώσης ώστε τελικά το σύστημα να επιφορτισθεί με περισσότερες αποφάσεις (σχεδιασμό της προκατεργασίας, επιλογή της κατάλληλης αντλίας).

Η προσπάθεια τυποποίησης της διαδικασίας σύνθεσης διεργασιών παρουσιάζει ιδιαίτερο ερευνητικό ενδιαφέρον και το έμπειρο σύστημα που παρουσιάζεται στην εργασία αυτή καθώς και τα έμπειρα συστήματα στα οποία έγινε αναφορά [12, 13, 14, 15, 16], αποδεικνύουν ότι η σύνθεση διεργασιών μπορεί να προσομοιωθεί και να υλοποιηθεί μέσα από μια υπολογιστική εφαρμογή.

9. Βιβλιογραφία

- Clive, L. D. and L. E. Raymond, «Knowledge-Based Systems in Engineering», McGraw-Hill, Singapore, (1991).
- Coad, P., and E. Yourdon, «Object-Oriented Analysis», Prentice-Hall, New Jersey, (1991).
- Coad, and E. Yourdon, «Object-Oriented Design», Prentice-Hall, New Jersey, (1991).
- Douglas, J.M., «Conceptual Design of Chemical Processes», McGraw-Hill, New York (1988).
- Douglas, J.M., «A Hierarchical Decision Procedure for Process Synthesis», AIChE J., **31**, 353-362 (1985).
- Lien, K., G. Suzuki and A. Westerberg, «The Role of Expert Systems Technology in Design», Chem. Eng. Sci., **42**, 1049-1071 (1987).
- Muretet, G., and P. Bourseau, «Artificial Intelligence for Process Engineering - State of the Art», Eur. Symp. Comp.-Aid. Proc. Eng., October 1992, Tou-

- louse, France, Comp. Chem. Eng., **17**, S381-S388 (1993).
- Renard, F. X., L. Sterling and C. Brosilow, «Knowledge Verification in Expert Systems Combining Declarative and Procedural Representations», Comp. Chem. Eng., **17**, 1067-1090 (1993).
- Rich, E., «Artificial Intelligence», McGraw-Hill, New York (1983).
- Stephanopoulos, G., «Artificial Intelligence in Process Engineering - Current State and Future Trends», Comp. Chem. Eng., **14**, 1259-1270 (1990).
- Venkatasubramanian, V., «Knowledge-Based System in Process Engineering», CACHÉ Monograph, Columbia University, New York (1987).
- Gani, R. and P. O'Connell, «A Knowledge-Based System for the Selection of Thermodynamics Models», Comp. Chem. Eng., **13**, 397-404 (1989).
- Bikos, S. C. and J. R. Flower, «Preliminary Design and Energy Analysis of Evaporative Desalination Cascades», Desalination, **81**, 483-503 (1991).
- Papafotiou, K., D. Assimacopoulos and D. Marinou-Kouris, «Synthesis of a Reverse-Osmosis Desalination Plant», Trans. IChem. E, **70**, Part A, 304-312 (1992).
- Paranjape, P. K., A. P. Kudchadker, «A Knowledge-Intensive Methodology for Thermodynamic Choices», Comp. Chem. Eng., **17**, 717-738 (1993).
- Fujiwara, I., M. Sato and E. Kunugita, «EXPRESS: an expert system for synthesizing chemical reaction cycles», Comp. Chem. Eng., **18**, 469-480 (1989).
- Evagelista, F., «Improved Graphical-Analytical Method for the Design of Reverse-Osmosis Plants», Ind. Eng. Chem. Process Des. Dev. **25**, 366-375 (1986).
- El-Halwagi, M. M., «Synthesis of Reverse-Osmosis Networks

for Waste Reduction», AICHE J., 38, 1185-1198 (1992).

19. «PERMASEP ENGINEERING MANUAL», E.I. Du Pont De Nemours, USA, December 1982.
20. «PERMASEP B-9 TECHNICAL INFORMATION MANUAL», E.I. Du Pont De Nemours, USA, December 1984.
21. «PERMASEP B-10 TECHNICAL INFORMATION MAN-

UAL», E.I. Du Pont De Nemours, USA, December 1984.

22. «Smalltalk/V Windows Manual Encyclopedia Of Classes», Digitalk, 1992.
23. «Smalltalk/V Windows Manual Tutorial And Programming Handbook», Digitalk, 1992.
24. Savic, D., «Object-Oriented Programming with Smalltalk/V», Ellis Harwood, Chichester, West

Sussex, (1993).

25. Shafer, D., «Smalltalk Programming for Windows», Prima Publishing, Rocklin, California, (1993).
26. «The Windows Interface: An Application Design Guide» Microsoft Co, Redmond.
27. «Common User Access Guide To User Interface Design», IBM, October 1991.