

Πρόλογος

Το ανά χείρας πόνημα είναι προϊόν ενός λάθους. Όταν αναλάβαμε τη διδασκαλία του “Σχεδιασμού Χημικών Βιομηχανιών και Διεργασιών” δεν είχαμε δισταγμό για την επιλογή της βασικής πηγής που θα χρησιμοποιούσαν οι φοιτητές. Το πολύ καλό βιβλίο των Μαρίνου-Κουρή και Μαρούλη “Σχεδιασμός Χημικών Βιομηχανιών” ήταν, κατά τη γνώμη μας, η ενδεδειγμένη λύση και όντως αυτό χρησιμοποιήσαμε κατά το εαρινό εξάμηνο του 2007-2008. Με τις πρόσφατες νομοθετικές αλλαγές επηρεάστηκε και ο τρόπος διανομής βιβλίων, οπότε και μας ζητήθηκε είτε να προτείνουμε δύο τουλάχιστον βιβλία από την αγορά είτε να γράψουμε δικές μας σημειώσεις (και όποιος καταλάβει γιατί έγινε τόση φασαρία για το πολλαπλό σύγγραμμα όταν είναι αποδεκτή λύση οι σημειώσεις του διδάσκοντος, παρακαλείται να μας το εξηγήσει).

Μη βρίσκοντας δεύτερο βιβλίο πάνω στο αντικείμενο που να είναι γραμμένο ή μεταφρασμένο στην ελληνική γλώσσα, αναγκαστικά προτείναμε να γράψουμε τη δική μας ύλη. Αργότερα, διαπιστώσαμε ότι τελικά υπήρχε και δεύτερο σχετικό βιβλίο, η μετάφραση στα ελληνικά του “Plant Design and Economics for Chemical Engineers” των Peters, Timmerhaus και West, μα ήταν πια αργά γιατί η διαδικασία είχε προχωρήσει. Αν μπορούσαμε να αποφύγουμε το πικρό ποτήρι του να γράψουμε σημειώσεις για ένα αντικείμενο που, αν και ιδιαίτερα ενδιαφέρον, δεν είναι αυτό στο οποίο έχουμε τη μεγαλύτερη πείρα, θα το κάναμε ευχαρίστως. Αλλά αφού μπήκαμε στο χορό έπρεπε να χορέψουμε...

Τα προβλήματα που θελήσαμε να αντιμετωπίσουμε γράφοντας αυτές τις σημειώσεις ήταν: α) να δώσουμε μια μικρή ιδέα από τις πιο πρόσφατες εξελίξεις στον τομέα της αριστοποίησης, β) να καταστήσουμε το αντικείμενο πιο προσιτό στους φοιτητές μηχανικούς επιστήμης υλικών, γ) να δώσουμε έμφαση σε παραδείγματα τα οποία άπτονται της επιστήμης και τεχνολογίας υλικών. Ο πρώτος στόχος μπορούμε να πούμε ότι επιτεύχθηκε σε ένα μικρό βαθμό, με τις σποραδικές αναφορές στο μικτό αέριο προγραμματισμό, τις μεθόδους καθολικής αριστοποίησης και τις μεθόδους υπερδομών, ενώ επίσης τα δύο τελευταία κεφάλαια για την εγγενή ασφάλεια και την καθαρή τεχνολογία δίνουν μια άλλη διάσταση που ξεφεύγει από ένα ασφυκτικά τεχνοκρατικό πλαίσιο. Οι άλλοι δύο στόχοι πρέπει να παραδεχτούμε ότι παραμένουν στον ένα ή τον άλλο βαθμό ζητούμενα. Ελπίζουμε στην αλληλεπίδραση με τους φοιτητές μας για τη συγγραφή μιας έκδοσης βελτιωμένης από αυτές τις απόψεις.

Τα δάνεια και οι επιρροές από το βιβλίο των Μαρίνου-Κουρή και Μαρούλη είναι εμφανή και όχι μόνο λόγω της εκτίμησής μας γι' αυτό αλλά και αναγκαστικά, για λόγους ομαλής μετάβασης από την ύλη της προηγούμενης χρονιάς στην παρούσα, για όσους παρακολουθούν το μάθημα όντας από μεγαλύτερα έτη. Ελπίζουμε ότι οι παλιοί μας δάσκαλοι θα το έβλεπαν ως τιμή τους και όχι ως ξεδιάντροπη υπεξαίρεση. Τα καλά στοιχεία αυτών των σημειώσεων έχουν τη δική τους σφραγίδα ενώ τα κακά είναι αποκλειστικά προϊόν της ασχετοσύνης μας. Από εκεί και πέρα, κάναμε ένα μικρό κόπο να ανατρέξουμε και σε κάποιες άλλες αντιπροσωπευτικές πηγές και διάφορα σχετικά βοηθήματα. Η βιβλιογραφία στην τελευταία σελίδα περιέχει σχετικές αναφορές. Ελπίζουμε ότι έτσι πετύχαμε μια πιο “σφαιρική” κάλυψη του αντικειμένου.

Οι σημειώσεις διαιρούνται σε δέκα ενότητες. Η πρώτη εισαγωγική ενότητα αναφέρεται σε αυτά που πιστεύουμε ότι είναι τα βασικά στοιχεία ή δομικοί λίθοι της χημικής τεχνολογίας (αν το δούμε από μια οπτική γωνία που διαφέρει ελαφρά από την παραδοσιακή, των unit operations και unit

processes): τα ισοζύγια μάζας και ενέργειας (με όλες τις εξισώσεις ισορροπίας φάσεων, χημικής κινητικής κλπ που τα συνοδεύουν), την έννοια και ανάγκη για αριστοποίηση και την αλλαγή κλίμακας που, ουσιαστικά, είναι αυτό που κάνει τη χημική μηχανική διακριτό επιστημονικοτεχνικό πεδίο. Εδώ εισάγεται και το “μοντέλο του κρεμμυδιού” για τη μελέτη και το σχεδιασμό παραγωγικών μονάδων, του οποίου η λογική διατρέχει πολλά από τα υπόλοιπα κεφάλαια.

Η Ενότητα 2 εμβαθύνει στην αριστοποίηση και την επιδίωξή της στην πράξη, με παραδείγματα που αναδεικνύουν την ουσία της ως συμβιβασμού αντίθετων τάσεων και με εισαγωγή εννοιών που θα μας συνοδεύσουν στο υπόλοιπο μέρος του βιβλίου, όπως οι μεταβλητές σχεδιασμού και η Αντικειμενική Συνάρτηση. Στην Ενότητα 3 γίνεται μια εισαγωγή στην οικονομική ανάλυση βιομηχανικών επενδύσεων και διεργασιών γιατί αφ' ενός το πρόβλημα της αριστοποίησης συνήθως καταλήγει στην οικονομική αξιολόγηση και αφ' ετέρου τα οικονομικά δεδομένα είναι από τη φύση τους εύκολο να εκφραστούν μαθηματικά, οδηγώντας στη διατύπωση της αντικειμενικής συνάρτησης. Δίνονται παραδείγματα εκτίμησης πάγιου και λειτουργικού κόστους, εισάγεται η έννοια της χρονικής αξίας του χρήματος και πάνω σε αυτή στηριζόμαστε για να διατυπώσουμε κριτήρια αξιολόγησης επενδύσεων,

Η θεωρητική-μαθηματική ανάλυση του προβλήματος του σχεδιασμού βασίζεται στην παρατήρηση ότι αυτό μπορεί να υποδιαιρεθεί σε δύο υποπροβλήματα. Το ένα είναι η επίλυση ενός συστήματος εξισώσεων και ανισοτήτων που εκφράζουν φυσικοχημικούς, τεχνολογικούς, οικονομικούς κλπ περιορισμούς και απαρτίζουν το μοντέλο της διεργασίας. Η Ενότητα 4 πραγματεύεται αυτό το θέμα, δηλαδή τη διάκριση των Μεταβλητών Σχεδιασμού από τις υπόλοιπες “μεταβλητές επίλυσης” και την επίλυση του συστήματος εξισώσεων του μοντέλου για να ανοίξει το δρόμο προς την παραμετρική αριστοποίηση, δηλαδή την άριστη λύση για ένα δεδομένο διάγραμμα ροής. Το άλλο πρόβλημα είναι η ίδια η αριστοποίηση, δηλαδή η εύρεση των ακρότατων της αντικειμενικής συνάρτησης και η παρουσίαση αυτού μαζί με τις σχετικές μεθόδους και τεχνικές γίνεται στην Ενότητα 5. Συζητείται επίσης και μια άλλη διάκριση που αποτελεί βασικό άξονα ο οποίος διατρέχει όλη την ύλη που εκτίθεται εδώ: η δυνατότητα, εκτός από την παραμετρική και για δομική αριστοποίηση, δηλαδή εξεύρεση εναλλακτικών λύσεων για το διάγραμμα ροής.

Στο υπόλοιπο μέρος των σημειώσεων, αφήνουμε τον κόσμο της θεωρητικής ανάλυσης και προσγειωνόμαστε στο έδαφος των πραγματικών διεργασιών. Ακολουθώντας το μοντέλο του κρεμμυδιού, επικεντρώνουμε σε διαφορετικές όψεις της χημικής βιομηχανικής παραγωγής. Αρχίζουμε από την καρδιά της παραγωγικής διαδικασίας συζητώντας κριτήρια επιλογής ομογενών όσο και ετερογενών (καταλυτικών και μη) χημικών αντιδραστήρων, στην Ενότητα 6. Τόσο τα προϊόντα όσο και οι πρώτες ύλες πρέπει να υποστούν κάποια επεξεργασία, συνήθως με τη μορφή διαχωρισμού συστατικών, οπότε μια σειρά από διαχωριστήρες πρέπει να τοποθετηθούν και να συνδεθούν μεταξύ τους κατάλληλα. Αυτό είναι αντικείμενο της Ενότητας 7. Τόσο στην Ενότητα 6 όσο και στην 7 δίνονται παραδείγματα εφαρμογής της τεχνικής των υπερδομών που εισήχθη στην Ενότητα 5, για την εύρεση δομικά άριστων λύσεων με σταδιακή αφαίρεση πλεοναζόντων στοιχείων από ένα αρχικό διάγραμμα ή τροποποίηση αυτού.

Η κεντρική διεργασία και οι διαχωρισμοί που τη συνοδεύουν απαιτούν ενέργεια που πρέπει να χρησιμοποιηθεί με τον οικονομικότερο τρόπο και αυτό επιτυγχάνεται με τη σύνθεση του καταλληλότερου δικτύου εναλλακτών θερμότητας και εξωτερικών παροχών θέρμανσης και ψύξης. Η Ενότητα 8 μελετά αυτό το αντικείμενο και τη μέθοδο “pinch point” σε δύο παραλλαγές: τη γραφική, που παρουσιάζεται πρώτη ως καταλληλότερη για να εισάγει τις βασικές έννοιες και τη μέθοδο του καταρράκτη θερμότητας. Με τα δεδομένα που προκύπτουν από τον προσδιορισμό του pinch point και με τη βοήθεια αρχών που έχουν στέρεη θερμοδυναμική θεμελίωση, προσδιορίζεται το ενεργειακά άριστο δίκτυο το οποίο μετά απλοποιείται με ελαχιστοποίηση του

αριθμού εναλλακτών θερμότητας. Η οικονομική αριστοποίηση οδηγεί στην τελική επιλογή. Η Ενότητα 8 είναι δυσανάλογα μεγάλη σε σχέση με τις υπόλοιπες και έτσι η μέθοδος υπερδομών για τα δίκτυα εναλλακτών παραπέμπεται σε μελλοντική έκδοση για καλύτερη ανάπτυξη.

Αφού ολοκληρώνεται ο σχεδιασμός της παραγωγικής μονάδας, είναι ώρα να σπάσουμε τα στενά τεχνικοοικονομικά πλαίσια και να ασχοληθούμε με τον άνθρωπο που "είναι η ρίζα του πράγματος", αλλά και να βγούμε από τα όρια της παραγωγής την οποία θα δούμε ως μέρος του όλου που είναι το περιβάλλον. Στην Ενότητα 9 παρουσιάζουμε τις αρχές της εγγενούς ασφάλειας οι οποίες επιβάλλουν περιορισμούς στο σχεδιασμό με σκοπό την πρόληψη των κινδύνων φωτιάς, έκρηξης και διαρροής τοξικών. Δείχνουμε ότι οι περιορισμοί μακράν του να δυσκολεύουν το έργο του μηχανικού σχεδίασης, τον διευκολύνουν γιατί τον καθοδηγούν προς λύσεις απλούστερες και συχνά πιο συμφέρουσες οικονομικά, εκτός από το ανυπολόγιστο κέρδος της προστασίας ανθρώπινων ζώων και της υγείας. Στο ίδιο πνεύμα, οι αρχές της καθαρής τεχνολογίας που εκτίθενται στη δέκατη και τελευταία Ενότητα, δείχνουμε ότι είναι ουσιαστικά οι ίδιες αρχές που θα αυξήσουν την αποδοτικότητα των φυσικοχημικών μετατροπών περιορίζοντας τα απόβλητα και τις εκπομπές ρύπων λόγω παραπροϊόντων.

Το αντικείμενο της ρύθμισης και του αυτόματου ελέγχου δε συζητείται εδώ. Ένα σχετικό κεφάλαιο είναι υπό επεξεργασία και πιθανά θα προστεθεί ως παράρτημα στην ηλεκτρονική έκδοση των σημειώσεων που είναι ανηρητημένη στην ιστοσελίδα μας¹. Γενικότερα, αυτές οι σημειώσεις θα εξελίσσονται, εμπλουτίζονται, διορθώνονται και ανανεώνονται συνεχώς προς την κατεύθυνση της επίτευξης των στόχων που έχουμε θέσει, όπως περιγράφουμε σε προηγούμενες παραγράφους. Οι ενδιαφερόμενοι και ιδιαίτερα οι φοιτητές του τμήματος Μ.Ε.Υ., μπορούν να παρακολουθούν διαδικτυακά αυτή την εξέλιξη και αν ήθελαν να συμβάλλουν με παρατηρήσεις, σχόλια και προτάσεις θα είμαστε ιδιαίτερα ευτυχείς.

Τελειώνοντας τη φλυαρία μας θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε τους συναδέλφους χημικούς μηχανικούς Βαγγέλη Βογιατζή, Γιώργο Μπουλουγούρη και Βασίλη Θεοχαρίδη για τις χρήσιμες προτάσεις και υποδείξεις και εποικοδομητικές συζητήσεις που είχαν την καλωσύνη να κάνουν μαζί μας όποτε ζητήσαμε βοήθεια και συμβουλές σχετικά με το αντικείμενο αυτών των σημειώσεων και συναφή με αυτό θέματα.

Ιωάννινα, 3 Ιουνίου 2009

Ο διδάσκων

B. P.

Για την ανατύπωση του 2010

Η πρόσφατη κυκλοφορία και νέων καλών βιβλίων στα ελληνικά πάνω στο Σχεδιασμό Χημικών Βιομηχανιών (η μετάφραση του γνωστού έργου των Peters, Timmerhaus, West και ένα ενδιαφέρον βιβλίο από τον Ι. Κούκο του πανεπιστημίου Πατρών), ενδέχεται να καταστήσει τελικά αυτές τις σημειώσεις αχρείαστες κατά τα επόμενα ακαδημαϊκά έτη. Ωστόσο, μέχρι να κλείσουν τον κύκλο τους, θα αναθεωρούνται, διορθώνονται, βελτιώνονται και εμπλουτίζονται με νέα στοιχεία, ιδίως σε ό,τι αφορά τις πιο πρόσφατες εξελίξεις του τομέα.

Στην παρούσα ανατύπωση, σημεία του αρχικού κειμένου διορθώθηκαν και επεκτάθηκαν ενώ επίσης προστέθηκε καινούριο υλικό για την πληρέστερη "χαρτογράφηση" του πεδίου και ιδίως

¹ <http://users.uoi.gr/brapt>

των “νέων περιοχών” που ορίζονται από τις πιο πρόσφατες εξελίξεις. Στην Ενότητα 3 προστέθηκαν αναλυτικές εξηγήσεις για τις έννοιες της απόσβεσης, του κόστους ευκαιρίας και της εκτίμησης κόστους μηχανολογικού εξοπλισμού, καθώς και μια ενότητα για την Ανάλυση Κόστους-Οφέλους που κερδίζει έδαφος σήμερα και έχει στενή σχέση με την “ολιστική” αντίληψη των υπέρ και των κατά μιας επένδυσης, όπως την εκθέτουμε στα κεφάλαια περί υγιεινής & ασφάλειας και περί καθαρής τεχνολογίας. Επίσης, κάποια λυμένα παραδείγματα εξηγούνται πιο αναλυτικά.

Στην Ενότητα 5, ένα απλό αλλά ενδιαφέρον παράδειγμα δομικής αριστοποίησης μέσω υπερδομής για το οποίο η προηγούμενη έκδοση έδινε μόνο τη λύση, τώρα λύνεται “με το χέρι”. Ο σκοπός είναι διττός: η εξοικείωση με τη μέθοδο των υπερδομών στην πράξη και ένα παράδειγμα του τρόπου με τον οποίο ο μηχανικός αναλαμβάνει πρωτοβουλία και μελετώντας τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά του εκάστοτε προβλήματος, προβαίνει σε απλές αλλά αποτελεσματικές λύσεις εκεί όπου αρχικά φαινόταν δυνατή μόνο η χρήση δύσκολων μεθόδων ή εξειδικευμένου λογισμικού.

Σε όλες τις Ενότητες υπάρχουν σημεία όπου αναδιατυπώθηκε το κείμενο, δόθηκαν σαφέστερες και πιο αναλυτικές εξηγήσεις, προστέθηκαν διαγράμματα και έγιναν διευκρινίσεις ώστε να διαλευκανθούν σημεία που ίσως ήταν δυσνόητα και να διορθωθούν όσες αβλεψίες εντοπίσαμε. Ελπίζουμε ότι η προσπάθειά μας έφερε καλά αποτελέσματα, αλλά δε θα σταματήσουμε εδώ. Το επόμενο υλικό που θα προστεθεί και θα αναρτηθεί ηλεκτρονικά πριν την επόμενη ανατύπωση, θα περιλαμβάνει, μεταξύ άλλων, μια εισαγωγή στη ρύθμιση διεργασιών (τόσο με τις κλασσικές μεθόδους όσο και με αυτές του ευφυούς ελέγχου), στοιχεία Περιβαλλοντικής Οικονομίας σε συνδυασμό με το αντικείμενο της καθαρής τεχνολογίας και με παραδείγματα αξιολόγησης επενδύσεων με Ανάλυση Κόστους-Οφέλους, καθώς και περισσότερα στοιχεία γύρω από την Αξιολόγηση Κύκλου Ζωής. Εν τω μεταξύ, παρατηρήσεις, σχόλια και προτάσεις θα είναι πάντα ευπρόσδεκτες.

Ιωάννινα, 19 Απριλίου 2010

B. P.

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΑΡΙΘΜΗΜΕΝΩΝ ΣΧΗΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΕΙΚΟΝΩΝ

Σχήμα	Κείμενο	Σελίδα
1-1	Συνεχής συνάρτηση μίας μεταβλητής με ολικό ελάχιστο (A), τοπικό μέγιστο (B) και τοπικό ελάχιστο (C).	1-8
1-2	Διάγραμμα ισοϋψών συνάρτησης F δύο μεταβλητών x, y. Φαίνεται ένα ελάχιστο (σύμβολο "o"). Καθώς απομακρυνόμαστε από το ελάχιστο, συναντούμε ισοϋψείς καμπύλες που αντιστοιχούν σε όλο και μεγαλύτερη τιμή της συνάρτησης.	1-9
1-3	Διάγραμμα ισοϋψών συνάρτησης F δύο μεταβλητών x, y και γραφική παράσταση περιορισμού της μορφής $ax + by = c$ που αναπαρίσταται με την κόκκινη ευθεία. Η λύση του προβλήματος της F υπό αυτόν τον περιορισμό είναι κάποιο σημείο A πάνω στην εικονιζόμενη ευθεία.	1-10
1-4	Διάγραμμα ισοϋψών συνάρτησης F δύο μεταβλητών x, y και γραφική παράσταση περιορισμών της μορφής $a < x < b, c < y < d$ που παριστάνονται από τις κόκκινες ευθείες. Η λύση του προβλήματος της F υπό αυτούς τους περιορισμούς είναι κάποιο σημείο M (στην περίπτωση μας τυχαίνει να είναι στο σύνορο του τετραγώνου ABCD. Αν κάποιο τοπικό ελάχιστο περιλαμβανόταν στο τετράγωνο, θα αποτελούσε τη λύση υπό τους δεδομένους περιορισμούς).	1-10
2.1	Πλήρως ορισμένα συστήματα. Γραμμικό (α) και μη γραμμικό (β).	2-7
2.2	Ένα υποορισμένο (αν και τετριμμένο!) σύστημα (α) και ένα υπερορισμένο (β).	2-7
3-1	Παράδειγμα διεργασίας της οποίας ζητείται να καταστρωθεί το μοντέλο και να διατυπωθεί η αντικειμενική συνάρτηση, Παράδειγμα 3-1.	3-3
3.2	Γραφική λύση για το πρόβλημα ελαχιστοποίησης κόστους κατασκευής πιστικού δοχείου για δεδομένο όγκο. Το διάγραμμα αντιστοιχεί σε όγκο $V = 70 \text{ m}^3$.	3-8
3.3	Ένα απλό επενδυτικό χρονοδιάγραμμα.	3-10
3.4	Τυπικό επενδυτικό χρονοδιάγραμμα με τις φάσεις του επενδυτικού σχεδίου	3-11
3.5	Θέση του νεκρού σημείου σε διάφορες περιπτώσεις. (α) $C = 100,000, a = 10, p = 20, \text{Νεκρό σημείο} = 10,000$ (β) Σε σχέση με (α), αλλάζουμε το C σε 200,000 και το νεκρό σημείο αυξάνεται σε 20,000 (γ) Σε σχέση με (α), αλλάζουμε το a σε 12 και το νεκρό σημείο αυξάνεται σε 12,500.	3-19, 3-20
4.1	Πίνακας απεικόνισης μοντέλου για διεργασία ανάκτησης βενζοϊκού οξέος από υδατικά απόβλητα. Ο αναγνώστης καλείται να εφαρμόσει τη μέθοδο LCR για την επίλυση του αντίστοιχου συστήματος και την εύρεση των ΜΣ και ΜΕ του μοντέλου.	4-9
4.2	Το διάγραμμα ροής της διεργασίας που μοντελοποιείται στον πίνακα του Σχ. 4-1	4-10

Σχήμα	Κείμενο	Σελίδα
5.1	Μεταβολή αντίστροφου συντελεστή απόδοσης αντλίας θερμότητας σε συνάρτηση με τη θερμοκρασία-στόχο, αν η θερμοκρασία περιβάλλοντος είναι 300K.	5-5
5.2	“Γεννήτριες” κατανομών. $x_0 = 1$, $x_F = 0$, $a_1 = 3$, $a_2 = 2$, $s_{total} = 50$	5-15
5.3	Διαφορετικές δυνατότητες απόκτησης πρώτης ύλης για την παρασκευή ζητούμενου τελικού προϊόντος συνοψίζονται εδώ σε ένα διάγραμμα υπερδομής από όπου μπορούν να ληφθούν διαφορετικές δομές ανάλογα με τις τιμές των δυαδικών μεταβλητών Y_i	5-22
5.4	Περιορισμός για τις μεταβλητές A_2 και B_P (παχειά γραμμή) και ισοϋψείς της Αντικειμενικής Συνάρτησης (λεπτές γραμμές). Το βέλος δείχνει την κατεύθυνση αύξησης της ΑΣ. Οι ισοϋψείς σχεδιάστηκαν για τιμές της ΑΣ ίσες με 0, 0.85 και 1.7 (από αριστερά προς δεξιά) .	5-24
5.5	Περιορισμός για τις μεταβλητές A_3 και B_P (παχειά γραμμή) και ισοϋψείς της Αντικειμενικής Συνάρτησης (λεπτές γραμμές). Το βέλος δείχνει την κατεύθυνση αύξησης της ΑΣ. Οι ισοϋψείς σχεδιάστηκαν για τιμές της ΑΣ ίσες με 0, 0.95 και 1.9 (από αριστερά προς δεξιά) .	5-25
5.6	Τιμές Αντικειμενικής Συνάρτησης (παχειά γραμμή) και μεταβλητής A_2 (λεπτή γραμμή) υποκείμενης σε περιορισμό από κοινού με την ανεξάρτητη μεταβλητή A_3 . Η κατακόρυφη διακεκομμένη συνδέει το μέγιστο της ΑΣ με την τιμή της A_3 όπου αυτό παρατηρείται. Η τομή της κατακόρυφης με την καμπύλη της A_3 , δίνει την αντίστοιχη τιμή της τελευταίας για το μέγιστο (οριζόντια διακεκομμένη)	5-27
6.1	Συστάσεις ρευμάτων για μόνιμη κατάσταση διεργασίας με αντιστρεπτή αντίδραση και ανακύκλωση υλικού που δεν αντέδρασε. Ρεύματα και συστάσεις για διεργασία με αντιστρεπτή αντίδραση και ανακύκλωση υλικού που δεν αντέδρασε, σε μόνιμη κατάσταση . Η διεργασία περικλείεται από τη διακεκομμένη γραμμή, περιλαμβάνει δε, όχι μόνο τον αντιδραστήρα αλλά επίσης το διαχωριστήρα, το ρεύμα ανακύκλωσης και το σημείο όπου αυτό αναμιγνύεται με την τροφοδοσία.	6-2
6.2	Απλό παράδειγμα υπερδομής για ομογενή αντίδραση με εμβολική ροή και πλήρη ανάδευση σε παράλληλη σύνδεση	6-14
6.3	Απλό παράδειγμα υπερδομής για ομογενή αντίδραση με εμβολική ροή και πλήρη ανάδευση σε παράλληλη σύνδεση όταν έχουμε δύο φάσεις και (πιθανά) δύο προϊόντα.	6-14
7.1	Δυνατές ακολουθίες διαχωρισμού για τριαδικό μίγμα	7-2
7.2	Διάγραμμα παράγοντα διαχωρισμού για εκχύλιση με απόσταξη (α) και για εκχύλιση υγρού-υγρού (β), ως συνάρτηση του αντίστοιχου παράγοντα για συνήθη απόσταξη. Χρησιμοποιείται στα πλαίσια της μεθόδου Souders για επιλογή μεθόδων φυσικού διαχωρισμού. Για παράδειγμα, έστω ότι για την εναλλακτική της εκχύλισης υγρού/υγρού σε κάποια διεργασία βρήκαμε παράγοντα διαχωρισμού α_{LL} και για τη συνήθη απόσταξη βρήκαμε	7-5

Σχήμα	Κείμενο	Σελίδα
	αντίστοιχη τιμή α_D . Η εκχύλιση επιλέγεται μόνο αν το σημείο (α_{LL} , α_D) βρίσκεται πάνω από την αντίστοιχη καμπύλη.	
7-3	(α) Υποδέντρο των δυνατών ακολουθιών διαχωρισμών πολυσυστατικού μίγματος υδρογονανθράκων, ABCDEF (β) Βέλτιστη ακολουθία διαχωρισμών για το εν λόγω μίγμα.	7-7
7-4	Διάγραμμα ροής για την υλοποίηση της βέλτιστης ακολουθίας διαχωρισμών του Σχήματος 7.2 (β)	7-7
8-1	(α) Παράδειγμα 8-1: απλή διεργασία με ένα θερμό και ένα ψυχρό ρεύμα και επιθυμητές μεταβολές θερμοκρασίας (β) Η ίδια διεργασία με βοηθητικές παροχές για την επίτευξη των θερμοκρασιών-στόχων και η μεταφερόμενη ενέργεια σε κάθε εναλλάκτη.	8-2
8-2	Καμπύλες H-T για τη διεργασία εναλλαγής θερμότητας του Σχήματος 8-1. Το μηδέν της ενέργειας είναι αυθαίρετο	8-4
8-3	Διεργασία με δύο θερμά και δύο ψυχρά ρεύματα, αναφορικά με το Παράδειγμα 8-2	8-6
8-4	Σύνθετη καμπύλη θερμών (α) και ψυχρών (β) ρευμάτων για τη διεργασία του Σχήματος 8-3. Και στα δύο διαγράμματα, το μηδέν της ενέργειας είναι αυθαίρετο.	8-7
8-5	Διάγραμμα κρίσιμου σημείου (pinch point) με τις σύνθετες καμπύλες του Σχήματος 3 τοποθετημένες ώστε να ικανοποιούν τον περιορισμό κατακόρυφης απόστασης $\Delta T_{\min} = 10 \text{ }^\circ\text{C}$. Η διάστικτη βοηθητική γραμμή απέχει κατά $10 \text{ }^\circ\text{C}$ από την ψυχρή καμπύλη και χρησιμεύει στον εντοπισμό του κρίσιμου σημείου. Το μηδέν στον άξονα της ενέργειας είναι αυθαίρετο	8-8
8-6	Διεργασία με δύο ψυχρά και ένα θερμό ρεύμα, παράδειγμα 8-3	8-9
8-7	Διάγραμμα κρίσιμου σημείου (pinch point) για τη διεργασία του Σχήματος 8-6 με τον περιορισμό $\Delta T_{\min} = 10 \text{ }^\circ\text{C}$. Το μηδέν στον άξονα της ενέργειας είναι αυθαίρετο	8-10
8-8	Διπλή κλίμακα θερμοκρασιών και θερμά/ψυχρά ρεύματα για τη διεργασία του Σχήματος 8-6, με περιορισμό διαφοράς ΔT μεταξύ θερμών και ψυχρών ίσης με 10 βαθμούς	8-11
8-9	Ενέργειες (ολικές, θερμών και ψυχρών ρευμάτων) για κάθε διάστημα θερμοκρασιών που ορίστηκε στο 8-8	8-11
8-10	Καταρράκτης θερμότητας που κατασκευάζεται με βάση το 8-9	8-12
8-11	Κρίσιμο σημείο και βοηθητικές παροχές για τη διεργασία του Σχήματος 8-6 με τη βοήθεια του καταρράκτη θερμότητας από το 8-10	8-12
8-12	Θερμά και ψυχρά στοιχεία στη διεργασία του Παραδείγματος 8-3.	8-14
8-13	Ελάχιστες ΜΕΘ για τη διεργασία του παραδείγματος 8-3.	8-15
8-14	Δίκτυο ΜΕΘ με βρόχο για την κάλυψη ενεργειακού ελλείμματος	8-15
8-15	Εφικτή (αριστερά) και ανέφικτη (δεξιά) ανταλλαγή θερμότητας	8-18

Σχήμα	Κείμενο	Σελίδα
8-16	Δίκτυο ΜΕΘ για τη διεργασία των παραδειγμάτων 8-2 και 8-4	8-22
8-17	Δίκτυο ΜΕΘ για τη διεργασία των παραδειγμάτων 8-3 και 8-5	8-23
8-18	Κλειστός βρόχος στο δίκτυο ΜΕΘ του παραδείγματος 8-5	8-26
8-19	Κατάργηση μίας ΜΕΘ και μεταφορά αντίστοιχου θερμικού φορτίου	8-26
8-20	Τακτοποίηση θερμικών φορτίων για επαναφορά σωστού ΔΤ.	8-27
8-21	Πρώτος κλειστός βρόχος στο δίκτυο ΜΕΘ του παραδείγματος 8-4	8-29
8-22	Απαλοιφή του πρώτου βρόχου, τακτοποίηση των φορτίων και δεύτερος βρόχος	8-30
8-23	Απαλοιφή του δεύτερου βρόχου	8-30