

## Διάλεξη 1

### 1. Εισαγωγή – η έννοια του σχεδιασμού

Ο σχεδιασμός (design) χημικών διεργασιών (unit processes) και χημικών εργοστασίων (chemical plants) ή ολόκληρων βιομηχανικών είναι η πιο ολοκληρωμένη έκφραση της χημικής μηχανικής

#### 1.1. Χημική Μηχανική

##### 1.1.1. Ορισμοί της Χημικής Μηχανικής

“...ο κλάδος εκείνος της Μηχανικής ο οποίος έχει σχέση με διεργασίες που μεταβάλλουν τη χημική σύσταση ή/και τις φυσικές ιδιότητες των υλικών” (Backhurst and Harker, 1973, Institution of Chemical Engineers)

“...η Χημική Μηχανική περιλαμβάνει εκείνες τις δραστηριότητες οι οποίες σχετίζονται με προβλήματα οικονομικής παραγωγής αγαθών μέσα από διεργασίες φυσικοχημικών φαινομένων σε ένα ή περισσότερα στάδια” (Rase, The Philosophy and Logic of Chemical Engineering)

Άρα, είναι ο κλάδος που αφορά παραγωγή προϊόντων σε βιομηχανική κλίμακα, βασισμένη σε φυσικοχημικές διεργασίες.

##### 1.1.2 Οι άξονες της ΧΜ

- Ισοζύγια
- Αλλαγή κλίμακας
- Αριστοποίηση

### 1.2 Σχεδιασμός

#### 1.2.1 Ορισμοί

“...σχεδιασμός είναι μια δημιουργική δραστηριότητα και σαν τέτοια είναι μια από τις πιο ενδιαφέρουσες δραστηριότητες που διεκπεραιώνονται από ένα μηχανικό, είναι η σύνθεση ιδεών για την επίτευξη επιθυμητού σκοπού” (Coulson, Richardson and Sinnott, 1983)

“...σχεδιασμός είναι η δημιουργική δραστηριότητα με την οποία κυοφορούνται ιδέες που στη συνέχεια μεταφράζονται σε μηχανήματα και διεργασίες για την παραγωγή νέων υλικών ή τη σημαντική αναβάθμιση της αξίας υπαρχόντων” (Douglas, 1988).

“...το σύνολο των δραστηριοτήτων από τις οποίες καθορίζονται οι ακριβείς προϋποθέσεις επιλογής-εγκατάστασης συσκευών, μηχανημάτων και οι μεταξύ τους διασυνδέσεις για να επιτευχθεί προδιαγεγραμμένο παραγωγικό αποτέλεσμα”.

Άρα, βασικές γνώσεις από πιο “θεμελιώδη” επίπεδα (συγκεκριμένες φυσικές ή χημικές διεργασίες) συνδυάζονται δημιουργικά για να δώσουν ένα ολοκληρωμένο αποτέλεσμα.

Σε σχέση με τη ΧΜ και το συγκεκριμένο περιεχόμενό της (βλ. βασικοί άξονες), σχεδιασμός σημαίνει *αριστοποίηση*, δηλαδή την αναζήτηση της καλύτερης λύσης για το δεδομένο πρόβλημα.

#### 1.2.2 Αντικείμενο ή πεδίο αρμοδιοτήτων του σχεδιασμού

- Εκσυγχρονισμός και τροποποίηση παραγωγικής διαδικασίας
  - π.χ. από τη χειροκίνητη ρύθμιση στην αυτοματοποίηση, κατανεμημένο σύστημα ελέγχου κλπ.
- νέες, αποδοτικότερες συσκευές
  - π.χ. εξοικονόμηση ενέργειας
- νέες μέθοδοι παρασκευής προϊόντων, αυστηρότερες προδιαγραφές κλπ.
  - αυξημένη ζήτηση “λευκών” προϊόντων (βενζίνες) έναντι μαύρων (μαζούτ)
  - βιοτεχνολογικές ή υδρομεταλλουργικές μέθοδοι για δυσκατέργαστα μεταλλεύματα
  - μοριακά κόσκινα για καθαρισμό αερίων
  - τεχνολογία μεμβρανών για διαχωρισμό μιγμάτων
- Αύξηση δυναμικότητας υφισταμένων μονάδων
  - βλ. διακυμάνσεις αγοράς
- Υποκατάσταση πρώτης ύλης και αξιοποίηση παραπροϊόντων

- ο βλ. αειφόρος ανάπτυξη, περιορισμός αποβλήτων
- ο σιδηροπυρίτης και θείο εναλλάσσονταν βάσει της τιμής τους
- Παραγωγή νέων υλικών και προϊόντων εν γένει.
- Ασφάλεια, περιβαλλοντική προστασία, ποιοτικές προδιαγραφές προϊόντων
  - ο αποφυγή μεγάλων ατυχημάτων
  - ο υγιεινή και ασφάλεια στους χώρους εργασίας
  - ο έλεγχος και περιορισμός εκπομπών χημικών ρύπων όσο και θερμικής ρύπανσης
  - ο επιλογή τύπου (όχι κατοικημένες περιοχές, βιοτόπους κλπ)

## 2. Ο σχεδιασμός ως πρόβλημα και ως δραστηριότητα

### 2.1 Ανάλυση.

#### 2.1.1 Γενική τοποθέτηση

Γενικά, ο σχεδιασμός μιας χημικής διεργασίας ή εργοστασίου ή βιομηχανίας περιλαμβάνει τα εξής στοιχεία:

- την εύρεση ενός συνόλου εναλλακτικών *δομικών* λύσεων για τη ζητούμενη παραγωγή ή αναβάθμιση υπάρχουσας παραγωγικής διαδικασίας.
- την εύρεση των συνθηκών και όρων για την άριστη λειτουργία κάθε δομικά διαφορετικής λύσης – αυτό ονομάζεται *παραμετρική αριστοποίηση*.
- την επιλογή της άριστης εναλλακτικής δομής με βάση τα αποτελέσματα της παραμετρικής αριστοποίησης – αυτό ονομάζεται *δομική αριστοποίηση*.

Το πρόβλημα της παραμετρικής αριστοποίησης μπορεί να διατυπωθεί πολύ γενικά με την ακόλουθη μορφή:

$$\begin{aligned} \min F(\mathbf{X}), \quad \mathbf{X} &= [x_1, x_2, \dots, x_n]^T \\ G_i(\mathbf{X}) &= 0, \quad i = 1, 2, \dots, m \\ h_j(\mathbf{X}) &\geq 0, \quad i = 1, 2, \dots, p \end{aligned} \quad (1)$$

όπου  $F$  είναι η λεγόμενη Αντικειμενική Συνάρτηση,  $A\Sigma$ ,  $\mathbf{X}$  είναι οι μεταβλητές του προβλήματος, το σύστημα εξισώσεων  $G$  αποτελεί τους λεγόμενους εξισωτικούς περιορισμούς και το σύστημα ανισώσεων  $h$  τους ανισωτικούς περιορισμούς.

Σημείωση: αναφερόμαστε σε ελαχιστοποίηση γιατί οι ίδιες αρχές ισχύουν και για τη μεγιστοποίηση. Εξάλλου, αν ζητούμενο είναι η μεγιστοποίηση μιας συνάρτησης  $F$ , αυτό είναι απολύτως ισοδύναμο με την ελαχιστοποίηση της  $-F$ .

Στην περίπτωση ολόκληρης παραγωγικής μονάδας ή βιομηχανίας, αλλά συχνά και στην περίπτωση επιμέρους διεργασιών, η  $A\Sigma$  ουσιαστικά ανάγεται σε κάποιο οικονομικό κριτήριο κόστους προς ελαχιστοποίηση ή κέρδους προς μεγιστοποίηση, αλλά η μεθοδολογία του σχεδιασμού από αυτή την άποψη είναι εντελώς γενική και “αδιάφορη” για τη φύση των κριτηρίων που υιοθετούμε.

Οι μεταβλητές  $\mathbf{X}$  μπορεί να περιλαμβάνουν συνθήκες λειτουργίας όπως θερμοκρασία και πίεση σε διάφορα στάδια της παραγωγής, ποσότητες πρώτων υλών και άλλων υλικών που ανταλλάσσονται μεταξύ των διαφόρων επιμέρους μονάδων και συσκευών, σύσταση των αντίστοιχων ρευμάτων και πολλά άλλα. Η επιλογή τους εξαρτάται από τα δεδομένα του προβλήματος και γίνεται με τρόπους που θα εξηγήσουμε στη συνέχεια. Όπως θα δούμε στη συνέχεια, χωρίζονται σε Μεταβλητές Σχεδιασμού,  $M\Sigma$ , ως προς τις οποίες γίνεται ουσιαστικά η αριστοποίηση της  $F$  και Μεταβλητές Επίλυσης,  $ME$ .

Οι εξισώσεις  $G$  αποτελούν αυτό που ονομάζουμε *πρότυπο* ή *μοντέλο* της διεργασίας ή παραγωγικής διαδικασίας και προκύπτουν με τη βοήθεια των ισοζυγίων μάζας και ενέργειας, εξισώσεων χημικής κινητικής και φαινομένων μεταφοράς και άλλων εξισώσεων που περιγράφουν τη διαδικασία. Το σύστημα εξισώσεων  $G$  λύνεται ως προς τις  $ME$  για δεδομένες τιμές των  $M\Sigma$ .

Οι ανισωτικοί περιορισμοί  $h$  σχετίζονται και αυτοί με την περιγραφή της διαδικασίας είτε μέσω φυσικών περιορισμών (π.χ. δε μπορούμε να έχουμε αρνητική μάζα εισερχόμενων πρώτων υλών) είτε μέσω γνωστών περιορισμών όσον αφορά την καλύτερη λειτουργία επιμέρους μονάδων (προδιαγραφές λειτουργίας κλπ).

#### 2.1.2 Διαδικασία επίλυσης

Βάσει των παραπάνω, ο γενικός αλγόριθμος σχεδιασμού των χημικών εγκαταστάσεων εν γένει θα

μπορούσε να συνίσταται στην ακόλουθη διαδικασία δομικής αριστοποίησης:

Δομική αριστοποίηση

1. Επιλογή μιας δυνατής υλοποίησης του επενδυτικού σχεδίου από ένα σύνολο εναλλακτικών δομών της υπό σχεδιασμό παραγωγικής διαδικασίας.
2. Παραμετρική αριστοποίηση αυτής.
3. Αν επέφερε βελτίωση της ΑΣ η λύση σημειώνεται ως η μέχρι στιγμής βέλτιστη
4. Συνέχιση των βημάτων 1 – 3 μέχρι την εξάντληση του συνόλου υλοποιήσεων.

όπου με τη σειρά της η παραμετρική αριστοποίηση (βήμα 2, ανωτέρω) για δεδομένη δομή εγκατάστασης αποτελείται από τα εξής βήματα:

2.1 Αν είναι η πρώτη επανάληψη που κάνουμε:

Απόδοση αρχικών τιμών στις ΜΣ

2.2 Αν είναι κάποια επόμενη επανάληψη:

Μεταβολή των ΜΣ βάσει κάποιου αλγόριθμου αριστοποίησης

2.3 Επίλυση ως προς ΜΕ του συστήματος  $N \times N$  του μοντέλου που προκύπτει για τις δεδομένες τιμές ΜΣ

2.4 Υπολογισμός της αντικειμενικής συνάρτησης (ή και των παραγώγων της ανάλογα με τη αλγόριθμο αριστοποίησης) βάσει και των τιμών των ΜΕ που προέκυψαν

2.5 Αν δεν είναι άριστο:

Επανάληψη βημάτων 2.1 – 2.3

Αν είναι άριστο:

Τέλος αλγόριθμου.

οι δε αρχικές τιμές, συνήθως αποδίδονται με τη βοήθεια του εξής εμπειρικού κανόνα: *ως αρχικές τιμές (βήμα 1) επιλέγονται τιμές των ΜΣ που δίνουν κάποιο τοπικό άριστο ή, με άλλα λόγια, αριστοποιούν τη λειτουργία της συσκευής ή του σταδίου της παραγωγής με το οποίο σχετίζονται.*

## 2.2 Από τη θεωρία στην πράξη

### 2.2.1 Εμπόδια στην τυποποίηση

Παρά τη γενικότητα με την οποία περιγράψαμε τη διαδικασία του Σχεδιασμού, στην πραγματικότητα δεν είναι ακόμη εφικτή μια πλήρης τυποποίηση και αυτοματοποίηση αυτής της δραστηριότητας, έτσι ώστε απαιτείται επίσης δημιουργικότητα και κρίση εκ μέρους του μηχανικού, ενώ και η συνδρομή της πείρας μπορεί επίσης να είναι πολύτιμη.

Οι κυριότερες πηγές δυσκολιών προς μια τέτοια κατεύθυνση τυποποίησης και αυτοματοποίησης είναι δύο:

- η ποικιλία προβλημάτων προς επίλυση (παραγωγικών διαδικασιών), όπως και των δυνατών δομικά λύσεων κατά περίπτωση
- η απουσία γενικής λύσης για το πρόβλημα της καθολικής αριστοποίησης (global optimization).

Ο πρώτος παράγοντας αφορά την πραγματικότητα της παραγωγής ενώ ο δεύτερος είναι καθαρά μαθηματικό πρόβλημα.

Η ποικιλία των δυνατών περιπτώσεων έχει να κάνει με το τεράστιο πλήθος προϊόντων και τις ιδιαιτερότητες της παραγωγής τους, χωρίς αυτό να σημαίνει βεβιαία ότι δεν υπάρχουν κοινά σημεία και γενικές αρχές.

Η αδυναμία καθολικής αριστοποίησης γενικά, μας αναγκάζει να συμβιβάζομαστε με αναζήτηση τοπικών άριστων και να αναπτύσσουμε και εφαρμόζουμε μια ποικιλία από διαφορετικές μαθηματικές τεχνικές αριστοποίησης ή και συνδυασμούς αυτών, ενώ η επιλογή μας εξαρτάται και από τη μορφή του μαθηματικού προβλήματος η οποία με τη σειρά της έχει σχέση με τα χαρακτηριστικά της σχεδιαζόμενης παραγωγής.

Ιδιαίτερα δύσκολο γίνεται το πρόβλημα όταν υπεισέρχονται διακριτές μεταβλητές.

Τυποποιημένες λύσεις έχουν βρεθεί για το πρόβλημα σχεδιασμού δικτύου μονάδων εναλλαγής θερμότητας, καθώς και για την άριστη διαδοχή φυσικών διαχωριστήρων (π.χ. αποστακτικών στηλών).

### 2.2.2 Χαρακτηριστικά του Σχεδιασμού

Συνοψίζοντας τα προηγούμενα, ο σχεδιασμός χαρακτηρίζεται από:

- μη φορμαλιστική διαδικασία

- πολύ μεγάλη ποικιλία περιπτώσεων
- αντίστοιχα, πολύ μεγάλος αριθμός εναλλακτικών λύσεων *κρισιμότερος παράγων*
- Απαιτούνται: κρίση, τεχνάσματα (heuristics), πείρα.

Παράγοντες που επιτρέπουν μια σχετική τυποποίηση:

- βασικές αρχές που διέπουν τις επιμέρους φυσικοχημικές διεργασίες (χημεία, φυσικοχημεία, θερμοδυναμική και χημική θερμοδυναμική, φαινόμενα μεταφοράς).
- μία σχετική τυποποίηση των ίδιων των διεργασιών (διαχωρισμοί, εναλλάκτες, διακίνηση ρευστών και άλλες διεργασίες).

Περιορισμοί και κριτήρια πολλά και συχνά μη ποσοτικά, π.χ. διαφοροποίηση πρώτων υλών, ποικίλες απαιτήσεις αγοράς, κλιματολογικά, εδαφολογικά στοιχεία τύπου εγκατάστασης συνεπάγονται διαφορετική παραγωγική διαδικασία, δυναμικότητα, ποιότητα προϊόντων και κατασκευαστικά χαρακτηριστικά.

Κυριότερη και πιο δύσκολη φάση είναι ο προσδιορισμός του **διαγράμματος ροής**, ΔΡ, της παραγωγικής διαδικασίας όπου προσδιορίζεται η δομή του εργοστασίου. Αυτή η φάση αντανακλά την ποικιλία των δυνατών περιπτώσεων παραγωγής. Οι άλλες φάσεις επιδέχονται λίγο ή πολύ τυποποίηση.

### 2.2.3 Συνεισφορά των ΗΥ

- Ακριβής επίλυση ισοζυγίων μάζας και ενέργειας
- Ακριβής διαστασιολόγηση συσκευών
- Δυνατότητα εξέτασης μεγάλου αριθμού εναλλακτικών λύσεων
- Σχεδίαση διαγραμμάτων ροής
- Κατασκευαστικό σχέδιο
- Ευχερής και ταχεία εφαρμογή προηγμένων μαθηματικών μεθόδων αριστοποίησης στη σύνθεση διεργασιών και δομική αριστοποίηση.

## 3. Στάδια του Σχεδιασμού

### 3.1. Μελέτη και σχεδιασμός

Αναπτυξιακή ανάγκη => επενδυτική ιδέα =>...μελέτες...=> επενδυτικό σχέδιο υποκείμενο σε περιορισμούς: 1) οικονομικούς 2) θεσμικούς 3) τεχνολογικούς

- Στάδια μελέτης:
  - Προμελέτη
  - Μελέτη Σκοπιμότητας (με τεχνικό σκέλος: βασικό σχεδιασμό)
  - Οριστική Μελέτη (με τεχνικό σκέλος: λεπτομερή σχεδιασμό)
- Στάδια Σχεδιασμού:
  - Βασικός (επαναληπτική διαδικασία σύνθεσης – ανάλυσης – αριστοποίησης)
    - Διάγραμμα ροής
    - Ισοζύγια μάζας και ενέργειας
    - Βασικές αρχές ελέγχου και ρύθμισης
    - χαρακτηριστικά λειτουργίας
    - προϋποθέσεις ασφάλειας και αξιοπιστίας κατά τη λειτουργία
  - Λεπτομερής
    - Στοιχεία αντίστοιχα με αυτά του βασικού σχεδιασμού αλλά με ακρίβεια και πληρότητα που επιτρέπουν την κατασκευή του εργοστασίου.
  - Σχεδιασμός προμηθειών
  - Σχεδιασμός κατασκευής/ανέγερσης
  - Σχεδιασμός δοκιμαστικής λειτουργίας
  - Σχεδιασμός παραλαβής

### 3.2. Δεδομένα Σχεδιασμού

Καθορισμός επενδυτικού σχεδίου: προϊόντα, διάθεση προϊόντων, πρώτες και βοηθητικές ύλες,

πηγές προμήθειας αυτών, δυναμικότητα, μέθοδος παραγωγής, χρηματοδότηση, οικονομική αποδοτικότητα ή βιωσιμότητα κλπ.

Η σύζευξη μεταξύ των παραπάνω καθιστά ορισμένα στοιχεία πιο κρίσιμα ή πρωτεύοντα από τα οποία εξαρτώνται τα υπόλοιπα (π.χ. μέθοδος παραγωγής χρυσοφόρου σιδηροπυρίτη => τόπος εγκατάστασης και δυναμικότητα).

Εναλλακτικές λύσεις μεταξύ μεθόδων παραγωγής => επιλογή άριστης λύσης.

Διαθέσιμες τεχνολογικές πληροφορίες καθορίζουν και το αποτέλεσμα του σχεδιασμού.

Κριτήρια επιλογής μεθόδου παραγωγής:

- Οικονομικά
- Τεχνολογικά
- Περιβαλλοντικά
- Εμπορικά
- Γενικά

Συλλογή δεδομένων για τον καθορισμό του επενδυτικού σχεδίου:

<i>Πηγή δεδομένων</i>	<i>Πρώτες και Βοηθητικές Ύλες</i>	<i>Προϊόντα</i>	<i>Τόπος Εγκατάστασης</i>	<i>Δυναμικότητα</i>	<i>Μέθοδος Παραγωγής</i>
Έρευνα Αγοράς	X	X		X	
Βιβλιογραφία	X	X		X	X
Εναλλακτικές (1)			X		
Ιδιοκτήτης (2)					X
Πείραμα					X

(1) Μελέτη εναλλακτικών λύσεων με βάση οικονομικά, περιβαλλοντικά, αναπτυξιακά και άλλα κριτήρια συγκεντρωμένα από άμεση εξέταση.

(2) Πληροφορίες από τον ιδιοκτήτη της υπό εξέταση τεχνολογίας.

Βάση σχεδιασμού (design database) = ένα σύνολο δεδομένων και προδιαγραφών που επιτρέπει την ταυτόχρονη εκτέλεση και έλεγχο του σχεδιασμού. Ορίζεται στην προμελέτη και οριστικοποιείται στη μελέτη σκοπιμότητας, ορίζει δε το πλαίσιο του βασικού όσο και του λεπτομερούς σχεδιασμού. Παράδειγμα βάσης σχεδιασμού: δυναμικότητα, λειτουργία, διαθεσιμότητα εγκατάστασης, πρώτες και βοηθητικές ύλες, προδιαγραφές χαρακτηριστικών των προϊόντων, εδαφολογικά και κλιματολογικά χαρακτηριστικά, προδιαγραφές αποβλήτων.

Κώδικες σχεδιασμού = εκτενές σύνολο προδιαγραφών και προτύπων για την περιγραφή τόσο των τρόπων προσδιορισμού ορισμένων δεδομένων του σχεδιασμού όσο και της υπολογιστικής διαδικασίας των συσκευών και μηχανημάτων του έργου.

- Υποχρεωτικοί (π.χ. υγιεινής και ασφάλειας)
- Προαιρετικοί (π.χ. υπολογιστικά πρότυπα).

Επιτρέπουν:

- τυποποίηση κατασκευών,
- έλεγχο ποιότητας
- προστασία περιβάλλοντος
- προστασία εργαζομένων

κλπ.

Βασικές κατηγορίες:

- υπολογιστικά πρότυπα
- προδιαγραφές υλικών
- πρότυπα διάταξης
- πρότυπα θεμελιώσεων και συνδέσεων

### 3.3. Οικονομική Ανάλυση Επενδυτικών Σχεδίων

Στο εσωτερικό μιας οικονομικής μονάδας εφαρμόζεται σχεδιασμός και έλεγχος της κατανομής των

πόρων σύμφωνα με τις ανάγκες της παραγωγής και δεν υφίσταται η έννοια “εμπόρευμα”. Μεταξύ όμως των ανεξάρτητων οικονομικών μονάδων (παραγωγοί και καταναλωτές) παρεμβάλλεται η αγορά και τα προϊόντα υφίστανται ως εμπορεύματα που ανταλλάσσονται με χρήμα. Συνεπώς, τόσο η δυνατότητα έναρξης της υλοποίησης ενός αναπτυξιακού σχεδίου όσο και η συνέχισή του υπόκεινται σε χρηματοοικονομικούς περιορισμούς.

Συνιστώσες του χρηματοοικονομικού ισοζυγίου:

- Κεφάλαιο Ίδρυσης = Πάγιο κεφάλαιο + αρχικό κεφάλαιο κίνησης
- Κόστος Λειτουργίας
- Έσοδα

Μέθοδοι εκτίμησης πάγιου κεφαλαίου:

- Συγκέντρωση προσφορών από κατασκευαστές (η ασφαλέστερη – προϋποθέτει ολοκληρωμένο λεπτομερή ή έστω βασικό σχεδιασμό).
- Μέθοδος των δύο τρίτων
- Μέθοδος των συντελεστών

Αρχικό κεφάλαιο κίνησης = συνήθως, ποσοστό του πάγιου.

Κόστος λειτουργίας:

- από στοιχεία του βασικού σχεδιασμού (ισοζύγια μάζας και ενέργειας)
- βιβλιογραφία, χρήση κατάλληλων συντελεστών.

Έσοδα:

- έρευνα αγοράς στα πλαίσια της μελέτης σκοπιμότητας ή της οριστικής μελέτης
- βιβλιογραφία

Νεκρό σημείο (break-even point) := δυναμικότητα για την οποία έσοδα = κόστος λειτουργίας. Αποτελεί μέτρο της αποδοτικότητας ενός επενδυτικού σχεδίου.

Προϋπολογισμός επένδυσης <--- ταμειακό πρόγραμμα: εισροές και εκροές σε ετήσια βάση.

Μέθοδοι αξιολόγησης επενδυτικού σχεδίου:

- Χρόνος αποπληρωμής
- Μέθοδοι προεξόφλησης ταμειακών ροών (παίρνουν υπ' όψιν τη χρονική αξία του χρήματος, βλ. επιτόκιο αλλά και πληθωρισμός)
  - Καθαρή παρούσα αξία
  - Εσωτερικός βαθμός απόδοσης