



## Μηχανική Φυσικών Διεργασιών

<https://helios.ntua.gr/course/view.php?id=1259>

### Υλικό Υποστήριξης

- οι διαφάνειες + το υλικό στον ιστό
- 2 βιβλία στον Εύδοξο + 1 στον ιστό

## Υλικό

### Από τα παλιά χρόνια

Δημοσιεύτηκε Κυριακή 30 Σεπτεμβρίου 2018

 ΓΔ Σαραβάκος, 1973, Τεχνική Θερμικών Διεργασιών, ΕΜΠ.



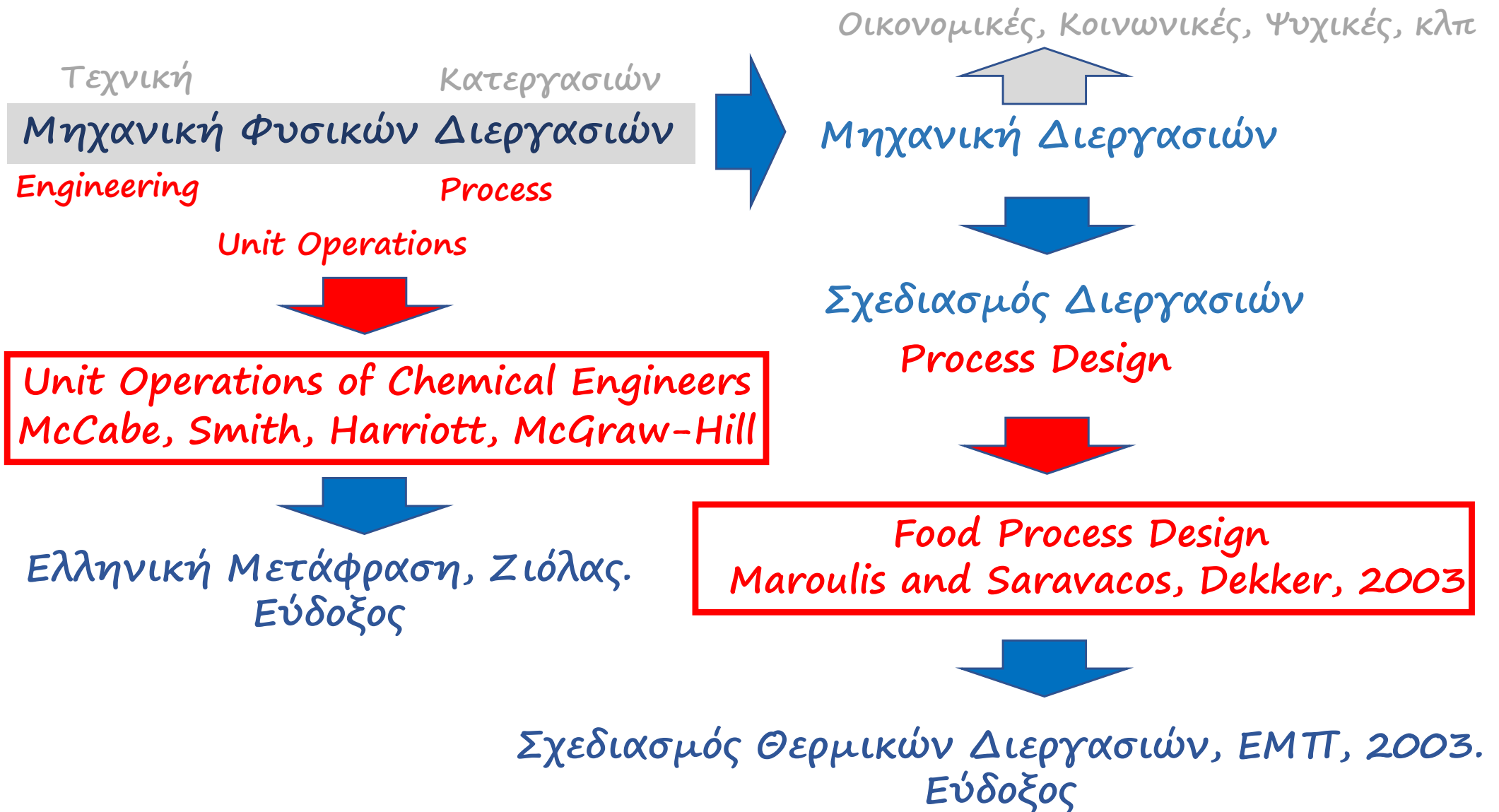
### Excel Process Design

Δημοσιεύτηκε Κυριακή 30 Σεπτεμβρίου 2018

 ZB Maroulis, GD Saravacos, 2003, Food Process Design, Marcel Dekker. Chapter 3: Computer Aided Process Design

 GD Saravacos, ZB Maroulis, 2011, Food Process Engineering Operations, CRC Press. Chapter 16: Spreadsheet Applications.

 Maroulis ZB, Kremalis C, 1995. Development of an effective cyclone simulator under Excel. Filtration and Separation, 32(10) 969-976.



# Μηχανική Φυσικών Διεργασιών



Διάρκεια Μαθήματος  
Χο, Χο, Χο.

κανονικά → μια ζωή  
στα γρήγορα → 12 βδομάδες  
αλλά αν βιαζόμαστε? → σε 2 ώρες

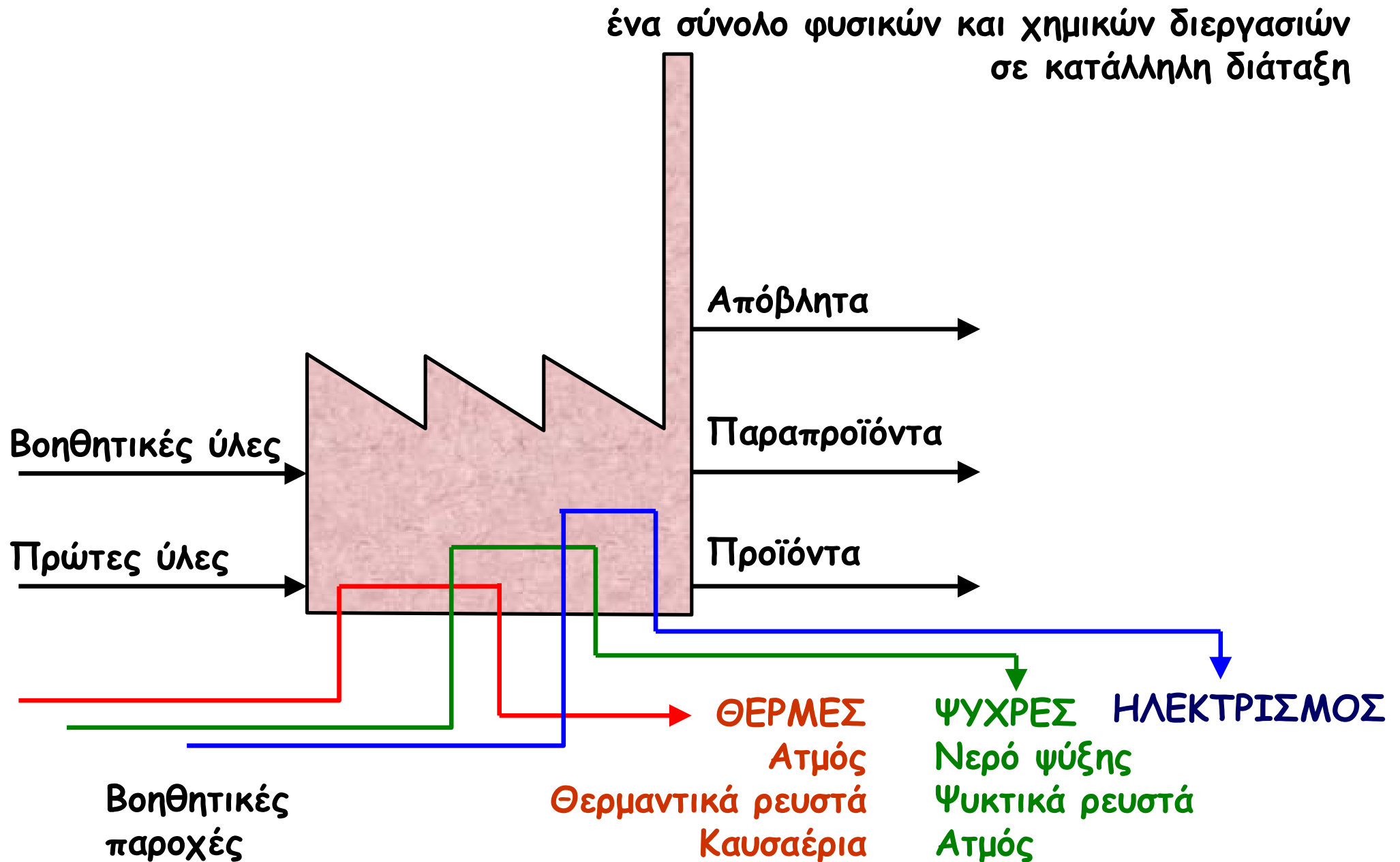


Εργαστήριο: από ανάγκη

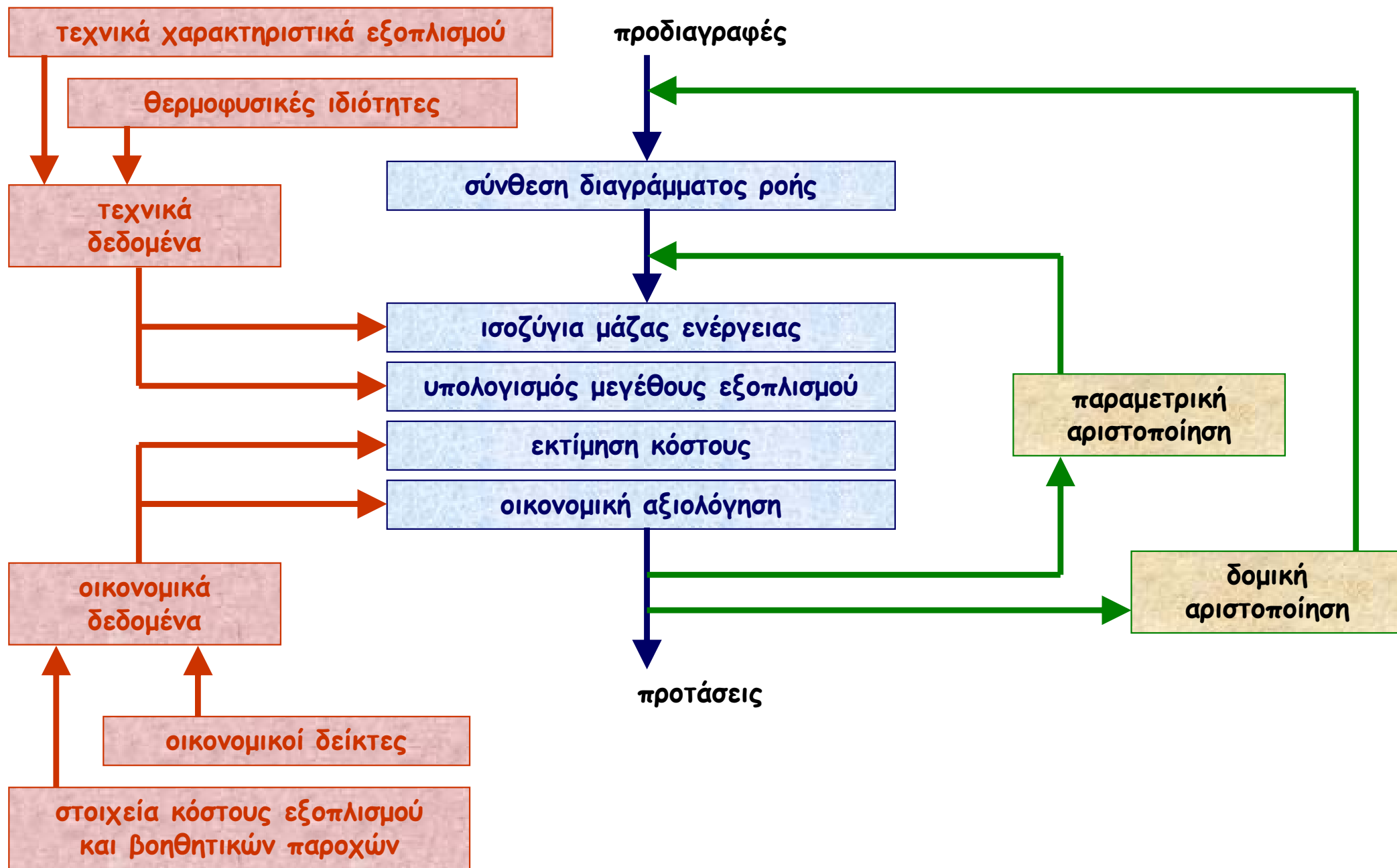
Διαλέξεις: από πεποίθηση

Η φυσιολογική σειρά (Αρχή-Μέση-Τέλος)  
και η ανατροπή της

# ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ



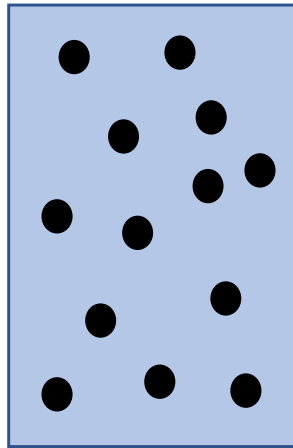
# Διάγραμμα Ροής Πληροφοριών στο Βασικό Σχεδιασμό



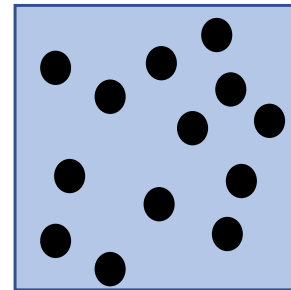
Διεργασίες  
μερικά παραδείγματα

# Εξατμιστήρας

Αραιό  
Διάλυμα



Καθαρός  
Διαλύτης

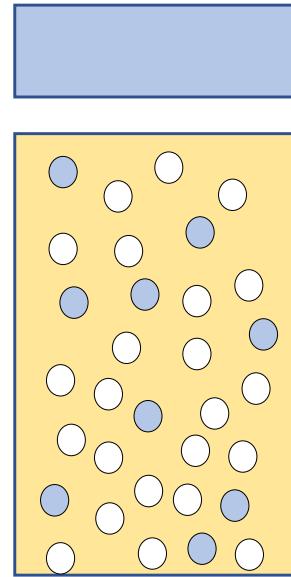
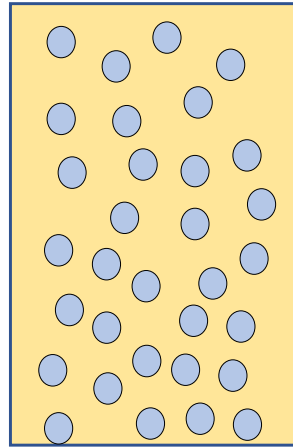


Συμπυκνωμένο  
Διάλυμα



Ξηραντήρας

Υγρό  
Προϊόν

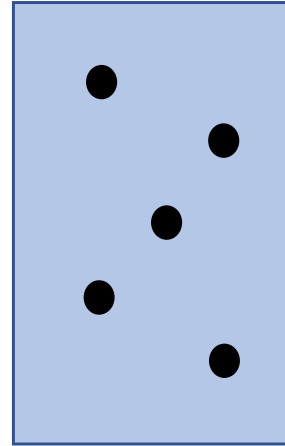
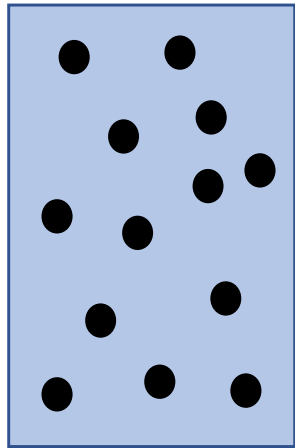


Διαλύτης

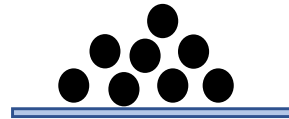
Ξηρό  
Προϊόν

Κυκλώνας

Αέρια  
με σωματίδια



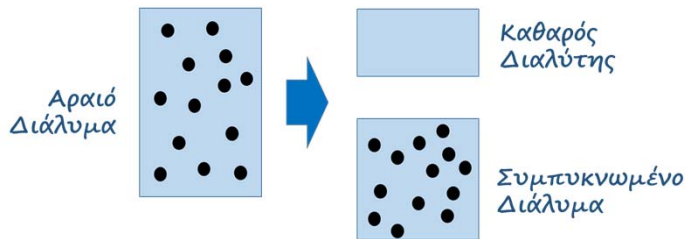
Καθαρότερα  
Αέρια



Απομακρυνόμενα  
σωματίδια

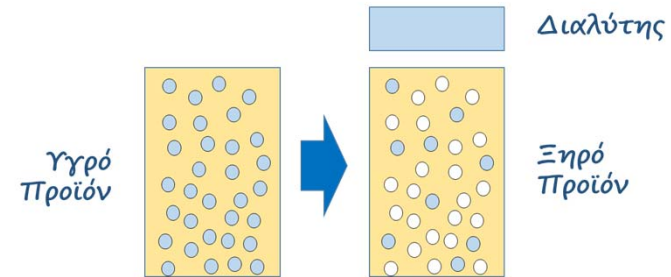
# μερικά προβλήματα που θα λύσουμε

Εξατμιστήρας



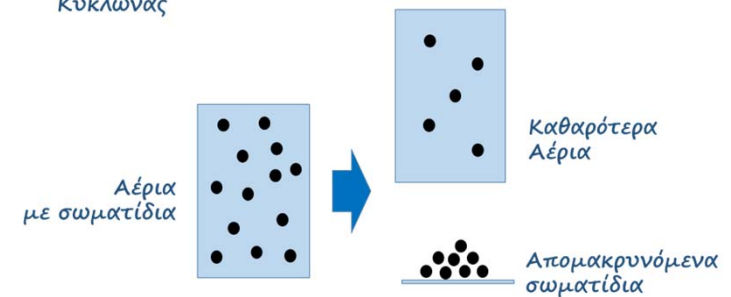
- (1) Επίλυση δύο προβλημάτων
  - (α) Σχεδιασμού
  - (β) Λειτουργίας
- (2) Εφαρμογή στο Excel

Ξηραντήρας



- (1) Προσαρμογή μοντέλων σε πειραματικά δεδομένα
- (2) Επίλυση μοντέλων στο Excel

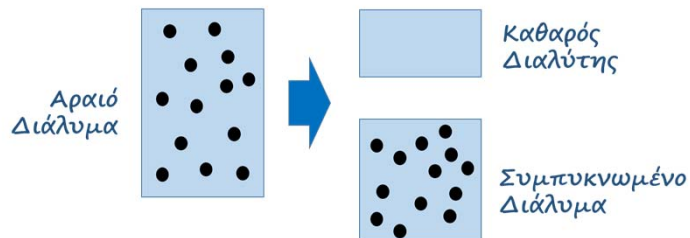
Κυκλώνας



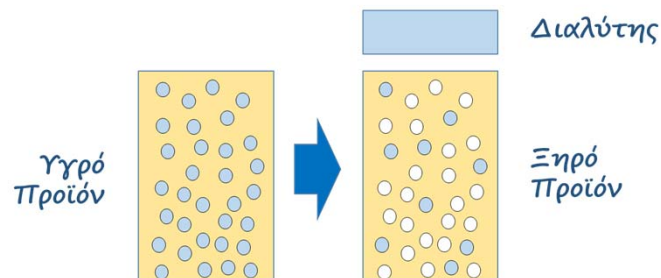
Χο, Χο, Χο.

Ένας ολόκληρος προσομοιωτής

Εξατμιστήρας

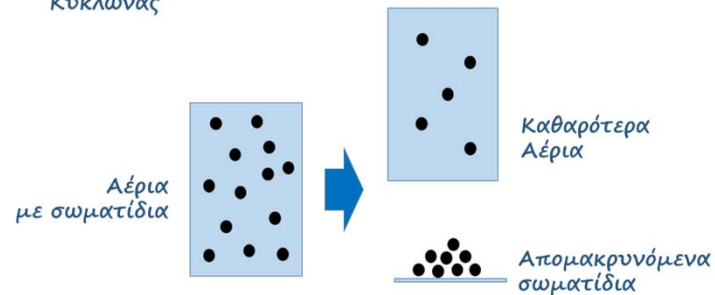


Ξηραντήρας

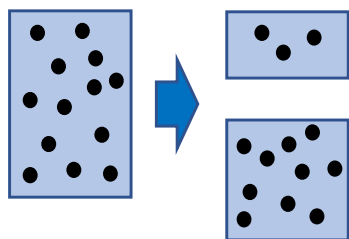


## μερικές ακόμη Διεργασίες

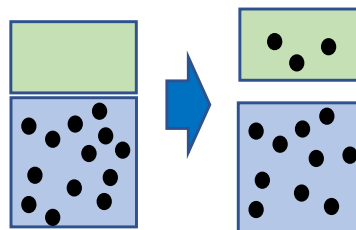
Κυκλώνας



Απόσταξη



Εκχύλιση



## Σκοπός Εργαστηρίου

- (1) Ανάπτυξη του διαγράμματος ροής και οργάνων.
- (2) Κατανόηση των σταθερών και μεταβατικών συνθηκών λειτουργίας.
- (3) Διατύπωση των ισοζυγίων μάζας και ενέργειας.
- (4) Ποσοτικές εκτιμήσεις βασικών μεγεθών και ιδιοτήτων.
- (5) Σύγκριση με τα προβλεπόμενα από βιβλιογραφικά δεδομένα ή/και μαθηματικά μοντέλα.
- (6) Πειραματικό σφάλμα (τυχαίο ή συστηματικό, εκτίμηση με επαναλήψεις ή διάδοση).
- (7) Χρήση των αποτελεσμάτων στην απάντηση τεχνικών ερωτημάτων.
- (8) Προσαρμογή μαθηματικών μοντέλων σε πειραματικά δεδομένα.
- (9) Αναμόρφωση πειραματικών δεδομένων.
- (10) Σχεδιασμός, κλιμάκωση μεγέθους, κλπ.

### Κατάλογος Ασκήσεων

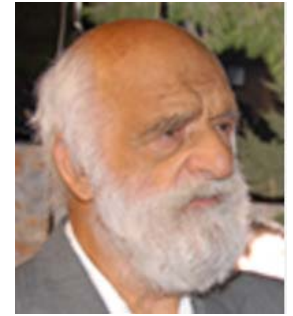
#### Άσκηση

- 1 Εναλλαγή Θερμότητας
  - 2 Ξήρανση
  - 3 Απόσταξη
  - 4 Εκχύλιση
  - 5 Κρυστάλλωση
  - 6 Ρευστοποίηση Κλίνης
-

# Οδηγός Συγγραφής Εκθέσεων

- Εξώφυλλο
- Περίληψη
- Πίνακας Περιεχομένων
- (1) Εισαγωγή. Το αντικείμενο και οι Στόχοι.
- (2) Πειραματική Διάταξη – Διαδικασία – Μετρήσεις
- (3) Επεξεργασία Πειραματικών Μετρήσεων
- (4) Συμπεράσματα
- (5) Βιβλιογραφία
- Παραρτήματα

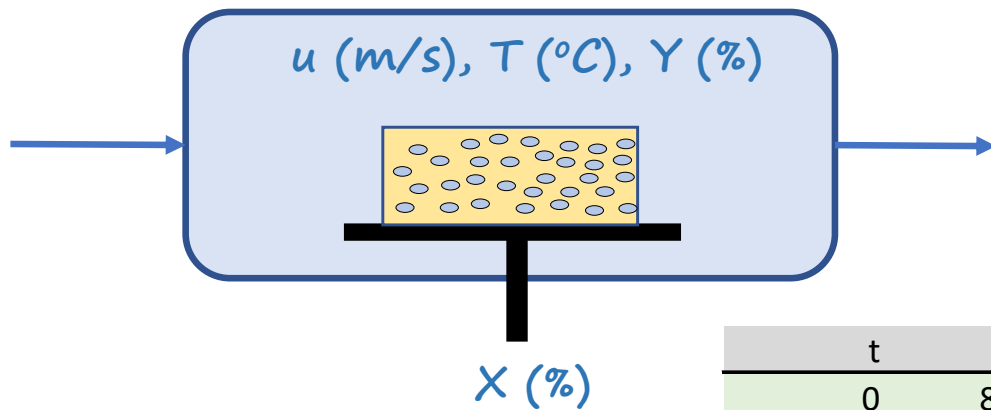
ο τύπος  
και η ουσία



## 2. Ξήρανση

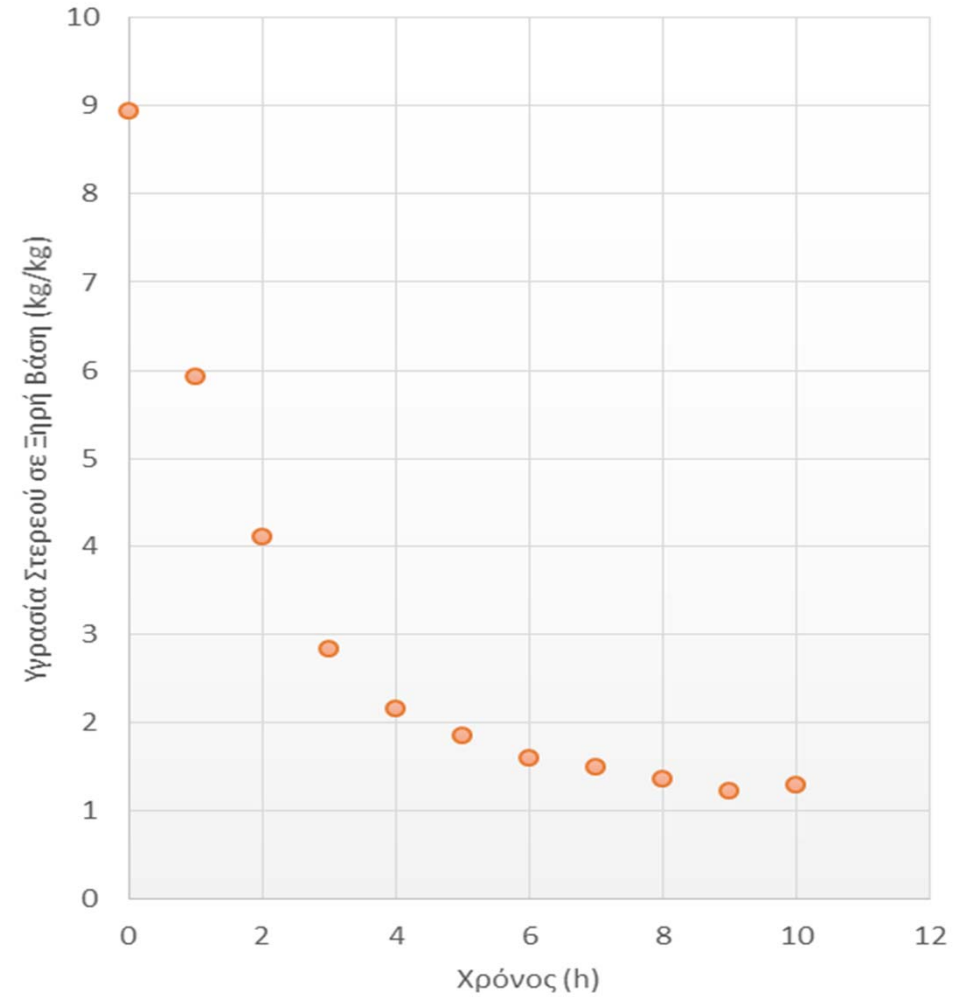
### Ένα Πείραμα σε Ξηραντήρα Ρεύματος Αέρα

το διάγραμμα ροής



οι μετρήσεις  $X(t)$

t	X
0	8.94
1	5.94
2	4.11
3	2.84
4	2.16
5	1.86
6	1.60
7	1.51
8	1.37
9	1.22
10	1.30



## Το μαθηματικό Μοντέλο

Κινητική Πρώτης Τάξης:  $dX/dt = -k (X - X_e)$

Ολοκλήρωση:  $X = X_e + (X_0 - X_e) \exp(-kt)$

Οι παράμετροι:  $X_0, X_e, k$ .



Να δούμε λίγο πιο πέρα από τη μύτη μας:



Είπαμε:

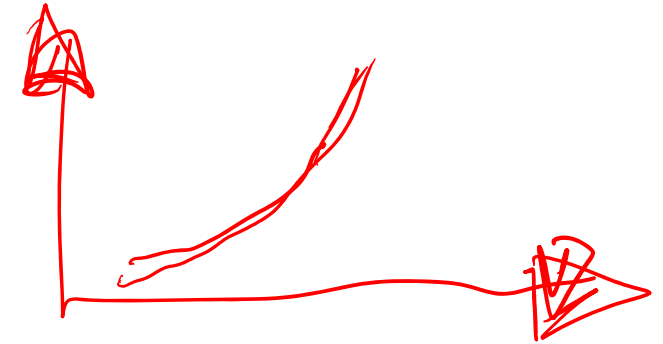
$$dX/dt = k(Xe - X)$$

ο δρόμος προς την ισορροπία, δηλαδή του τέλους.

Αν όμως:

$$dX/dt = kX$$

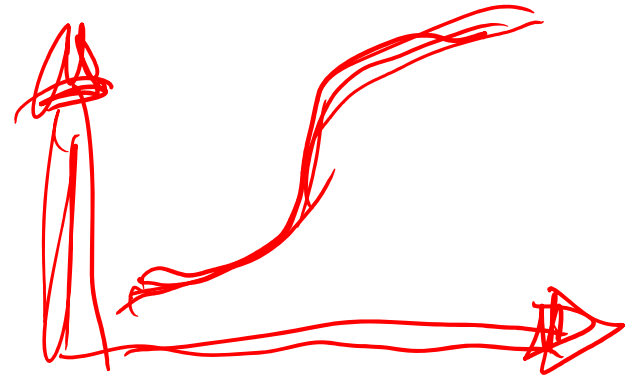
ο δρόμος της ανάπτυξης, δηλαδή της αρχής.



Και ο συνδυασμός τους:

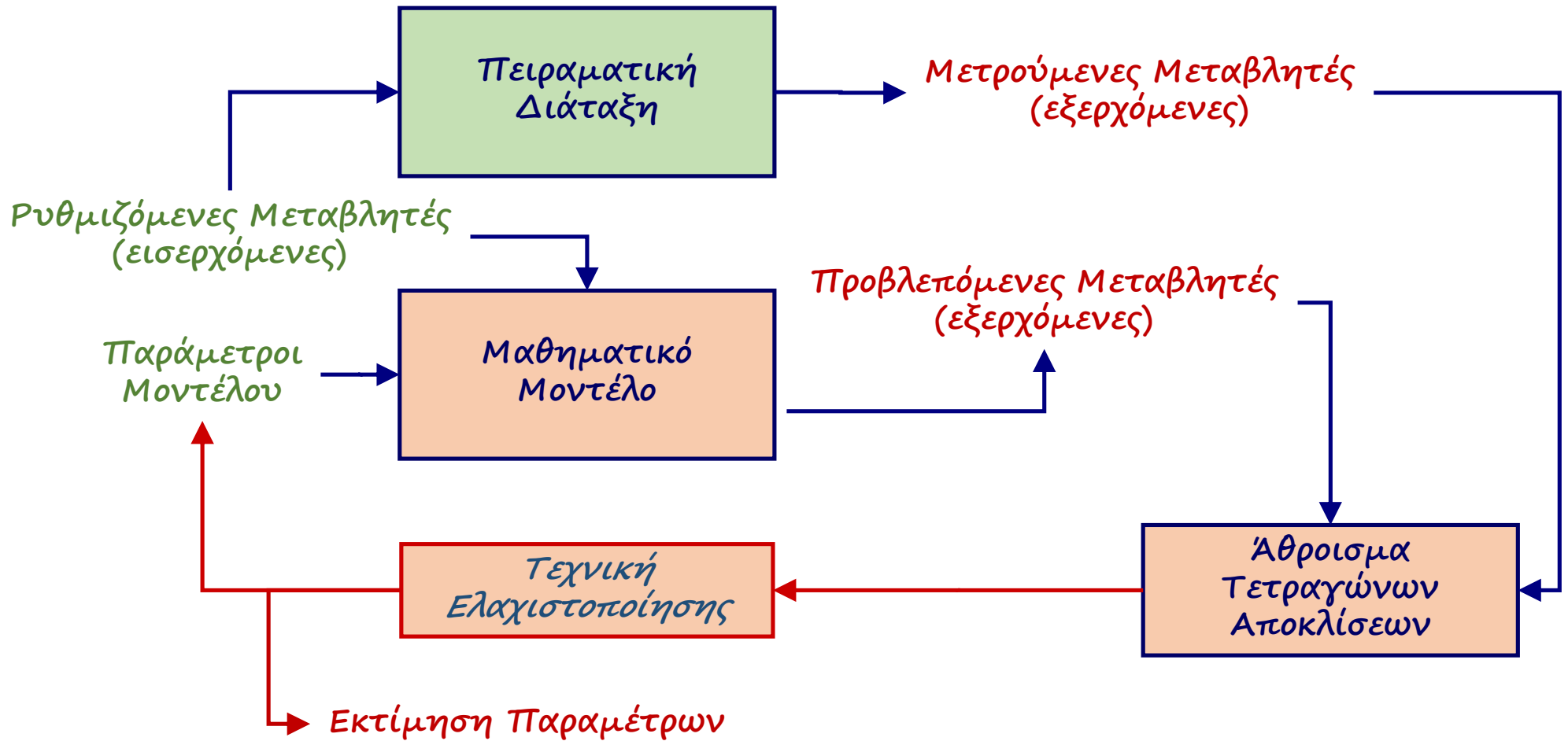
$$dX/dt = kX(Xe - X)$$

ο νόμος της ζωής.



... θα τα ξαναπούμε.

# Πειραματική Επαλήθευση Μαθηματικών Μοντέλων



## ΜΗΧΑΝΙΚΗ ΦΥΣΙΚΩΝ ΔΙΕΡΓΑΣΙΩΝ Ι

Διαγώνισμα 29/8/2022

### Ξήρανση Χαρτοπολτού σε Ξηραντήρα Περιστρεφόμενου Τύμπανου

Χαρτοπολτός με παροχή  $F=10\text{t/h db}$  (ξηρή βάση) ξηραίνεται στην επιφάνεια περιστρεφόμενου τύμπανου από αρχική υγρασία  $X_o=1.25\text{kg/kg db}$  σε τελική  $X=0.05\text{kg/kg db}$ .

Στο εσωτερικό του τύμπανου καταναλώνεται κορεσμένος ατμός  $P_s=10\text{bar}$  με παροχή  $F_s=10\text{t/h}$ .

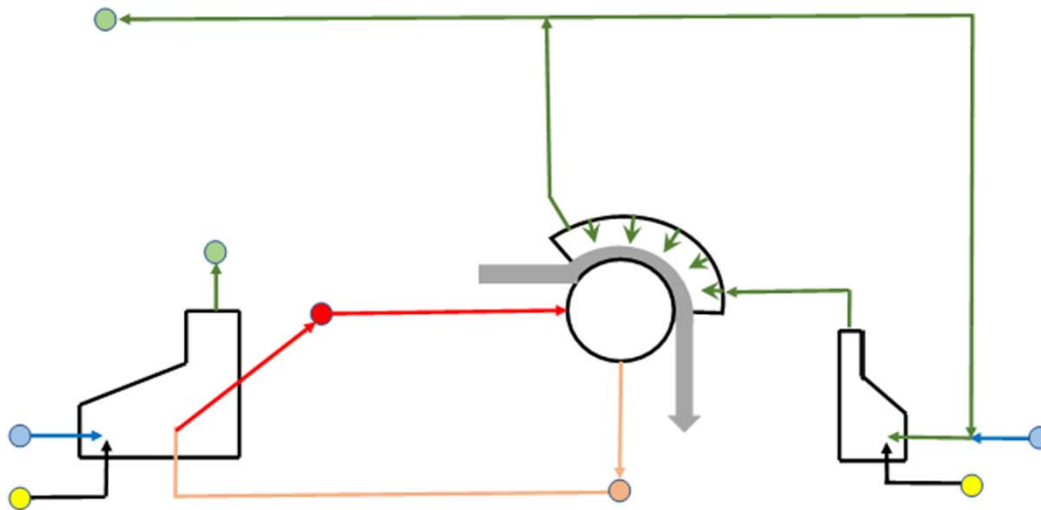
Ο ατμός παράγεται σε λέβητα φυσικού αερίου.

Εξωτερικά του τύμπανου και εντός του καλύμματος μέσω ακροφυσίων εκτοξεύονται καυσαέρια με παροχή  $F_G=120\text{t/h db}$ , θερμοκρασία  $T_o=470^\circ\text{C}$  και υγρασία  $Y_a=0.30\text{kg/kg db}$ .

Το μεγαλύτερο μέρος των καυσαερίων επανακυκλοφορεί

ενώ το υπόλοιπο απορρίπτεται με παροχή  $F_R=30\text{kg/h db}$  και θερμοκρασία  $T=350^\circ\text{C}$ .

Τα καυσαέρια παράγονται σε καυστήρα φυσικού αερίου.



## 1 Ισοζύγια Μάζας – Ψυχομετρία

(α) Να υπολογιστεί η υγρασία και η θερμοκρασία δρόσου του απορριπτόμενου ρεύματος καυσαερίων από τον ξηραντήρα.

## 2 Ισοζύγια Ενέργειας

Να υπολογιστεί:

(α) Η απαιτούμενη θερμότητα για την απομάκρυνση της υγρασίας από το χαρτί,

(β) Η θερμότητα που προσφέρει ο ατμός,

(γ) Η θερμότητα που προσφέρουν τα καυσαέρια,

(δ) Οι απώλειες θερμότητας στην ξήρανση.

## 3 Ανάκτηση θερμότητας από τα καυσαέρια

Προκειμένου να εξεταστεί η δυνατότητα ανάκτησης θερμότητας από τα απορριπτόμενα καυσαέρια του ξηραντήρα παράγοντας αρχικά ατμό, όμοιο με το χρησιμοποιούμενο, και στη συνέχεια προθερμαίνοντας τον φρέσκο αέρα προς τον καυστήρα, ζητούνται:

(α) Το διάγραμμα ροής,

(β) Η ανάκτηση θερμότητας για παραγωγή ατμού,

(γ) Η ανάκτηση θερμότητας για προθέρμανση του φρέσκου αέρα,

(δ) Το διάγραμμα ενθαλπίας-θερμοκρασίας.

Να αναφέρονται με σαφήνεια οι παραδοχές σας

(πχ η παροχή φυσικού αερίου είναι αμελητέα σε σχέση με την παροχή φρέσκου αέρα).

Να δικαιολογούνται οι επιλογές σας από πιθανές διαθέσιμες εναλλακτικές

(πχ η επιλογή της τελικής θερμοκρασίας απόρριψης εξασφαλίζει την αποφυγή υγροποίησης της υγρασίας των καυσαερίων).

## Ενδεικτικά δεδομένα:

Σταθερές εξίσωσης Antoine για το νερό:  $a_1=11.9$ ,  $a_2=3950$ ,  $a_3=232$  όπου η πίεση σε bar και η θερμοκρασία σε  $^{\circ}\text{C}$ .

Μέση ειδική θερμότητα:

Ξηρού αέρα  $C_{PA}= 1.04 \text{ kJ/kgC}$

Υδρατμού  $C_{PV}=1.88 \text{ kJ/kgC}$

Νερού  $C_{PL}=4.18 \text{ kJ/kgC}$

Ξηρού χαρτιού  $C_{PS}=2.00 \text{ kJ/kgC}$

Λανθάνουσα θερμότητα εξάτμισης νερού στους  $0^{\circ}\text{C}$   $\Delta H_v=2.50 \text{ MJ/kg}$ .

Κατωτέρα θερμογόνο δύναμη φυσικού αερίου  $\Delta H_g= 52 \text{ MJ/kg}$ .

## ΜΗΧΑΝΙΚΗ ΦΥΣΙΚΩΝ ΔΙΕΡΓΑΣΙΩΝ Ι

Διαγώνισμα 28/8/2023

Η διάρκεια του διαγωνίσματος είναι 3 ώρες. Δεν είναι απαραίτητο να απαντήσετε σε όλα.

Η βαθμολογία είναι σχετική.

Να αναφέρονται με σαφήνεια οι παραδοχές. Να εξηγούνται οι εξισώσεις.

Να περιγράφονται οι μεταβλητές που δεν αναφέρονται στην εκφώνηση.

Να προκύπτει εύκολα ο αλγόριθμος επίλυσης και οι πράξεις που οδηγούν στο αποτέλεσμα.

Θα βαθμολογηθεί η διατύπωση των σκέψεων και η μορφή της έκθεσης.

Απαγορεύεται η συνεργασία. Επιτρέπεται μόνο ένα τετράδιο προσωπικών χειρόγραφων σημειώσεων.

### Συμπύκνωση ακετόνης

Σε φαρμακευτική βιομηχανία σχεδιάζεται η ψύξη ακετόνης παροχής  $F=10\text{t/h}$  από υπέρθερμο ατμό  $T_v=200^\circ\text{C}$  σε υπόψυκτο υγρό  $T_L=25^\circ\text{C}$ , σε ατμοσφαιρική πίεση ( $P=1\text{bar}$ ) χρησιμοποιώντας νερό ψύξης  $T_{w1}=15^\circ\text{C}$ .

Η ακετόνη συμπυκνώνεται σε θερμοκρασία  $T_b=75^\circ\text{C}$  με λανθάνουσα θερμότητα  $\Delta H=500\text{kJ/kg}$ .

Η ειδική θερμότητα του νερού ψύξης είναι  $C_{pw}=4.18\text{kJ/kgK}$ ,

της υγρής ακετόνης  $C_{PL}= 2.18\text{kJ/kgK}$  και της αέριας  $C_{pV}=1.18\text{kJ/kgK}$ .

(1) Να υπολογιστεί η ελάχιστη απαιτούμενη παροχή του νερού ψύξης για ομορροή και αντιρροή.

(2) Να υπολογιστεί η θερμοκρασία επιστροφής του νερού ψύξης και στις δύο περιπτώσεις.

(3) Να σχεδιαστεί το διάγραμμα ενθαλπίας-θερμοκρασίας και για τις δύο περιπτώσεις.

## Σχεδιασμός Εγκατάστασης Παστερίωσης Γάλατος

Για την παστερίωση γάλατος το γάλα πρέπει να θερμανθεί στους 105°C από τους 5°C των βυτίων μεταφοράς και να ψυχθεί γρήγορα στην ίδια θερμοκρασία για διανομή.

Το γάλα αρχικά προθερμαίνεται στους 80°C στον εναλλάκτη ανάκτησης θερμότητας από το εξερχόμενο παστεριωμένο γάλα και στη συνέχεια θερμαίνεται στους 105°C στον θερμαντήρα με κορεσμένο ατμό θέρμανσης 120°C.

Το παστεριωμένο γάλα αρχικά προψύχεται στους 25°C στον εναλλάκτη ανάκτησης θερμότητας από το προς παστερίωση γάλα και στη συνέχεια ψύχεται στην τελική θερμοκρασία των 5°C με αντλία θερμότητας.

Στην αντλία θερμότητας το ψυκτικό εξατμίζεται στους -5°C και συμπυκνώνεται στους 45°C χρησιμοποιώντας νερό ψύξης από τους 15 μέχρι τους 35°C.

Ζητούνται:

- (1) το διάγραμμα ροής της εγκατάστασης,
- (2) το διάγραμμα ενθαλπίας-θερμοκρασίας για την εγκατάσταση
- (3) ο ιδανικός συντελεστής λειτουργίας της αντλίας θερμότητας,
- (4) το κόστος θέρμανσης και το κόστος ψύξης ανά τόνο γάλατος, με ανάκτηση θερμότητας και χωρίς.

Εναλλακτικά να δοκιμάσετε την ιδέα άντλησης θερμότητας από το εξερχόμενο ρεύμα προς το εισερχόμενο:

- (5) το διάγραμμα ροής της εναλλακτικής εγκατάστασης,
- (6) το διάγραμμα ενθαλπίας-θερμοκρασίας για την εναλλακτική εγκατάσταση

Στα (1), (2), (5), και (6) να αναγράφονται με σαφήνεια οι θερμοκρασίες.

Η ειδική θερμότητα του γάλατος είναι 3.96kJ/kgK

Το κόστος θέρμανσης και ψύξης είναι 90 και 60€/MWh, αντίστοιχα.

## Ισοζύγια Μάζας και Ενέργειας Πύργου Ψύξης

Σχεδιάζεται πύργος ψύξης με πληρωτικά υλικά για την ψύξη επιστρεφόμενου νερού ψύξης, από αρχική θερμοκρασία  $T_{w2}=45^{\circ}\text{C}$  σε τελική  $T_{w1}=30^{\circ}\text{C}$ ,

χρησιμοποιώντας ατμοσφαιρικό αέρα θερμοκρασίας  $T_1=25^{\circ}\text{C}$  και σχετικής υγρασίας  $a_{w1}=50\%$ .

Το νερό καταιωνίζεται στην κορυφή με παροχή  $L_2$  (kg/s) και απομακρύνεται από τον πυθμένα με παροχή  $L_1$  (kg/s).

Ο αέρας κατανέμεται στον πυθμένα και απομακρύνεται από την κορυφή σε ισορροπία με το εισερχόμενο νερό, δηλαδή στη θερμοκρασία του εισερχόμενου νερού και κορεσμένος σε αυτή τη θερμοκρασία.

(1) Να υπολογιστεί η παροχή του νερού ψύξης  $L_2$  (kg/s) που μπορεί να επεξεργαστεί με παροχή αέρα  $G=1\text{kg/s}$  ξβ.

(2) Να σχεδιασθεί το διάγραμμα ροής

(3) καθώς και το διάγραμμα Ενθαλπίας-Θερμοκρασίας

(4) Να σχεδιαστεί η διαδρομή του αέρα στον ψυχομετρικό χάρτη

Στα (2), (3) και (4) να αναγράφονται οι θερμοκρασίες, υγρασίες και παροχές, όπου χρειάζεται.

Σταθερές εξίσωσης Antoine για το νερό:  $a_1=11.9$ ,  $a_2=3950$ ,  $a_3=232$  όπου η πίεση σε bar και η θερμοκρασία σε  $^{\circ}\text{C}$ .

Μοριακό βάρος νερού προς μοριακό βάρος αέρα  $m=0.622$ .

Λανθάνουσα θερμότητα εξάτμισης νερού στους  $0^{\circ}\text{C}$   $\Delta H_0=2.50\text{MJ/kg}$ .

Μέση ειδική θερμότητα ξηρού αέρα  $C_{PA}=1.00\text{kJ/kgC}$ .

Μέση ειδική θερμότητα υδρατμού  $C_{PV}=1.88\text{kJ/kgC}$

Μέση ειδική θερμότητα νερού  $C_{PL}=4.18\text{kJ/kgC}$