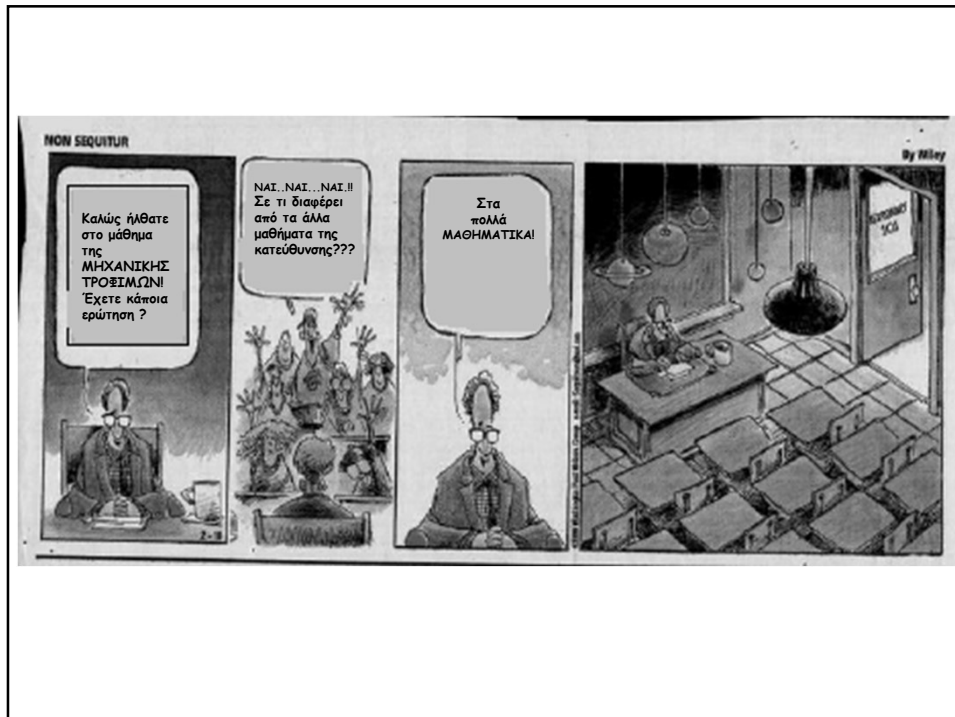
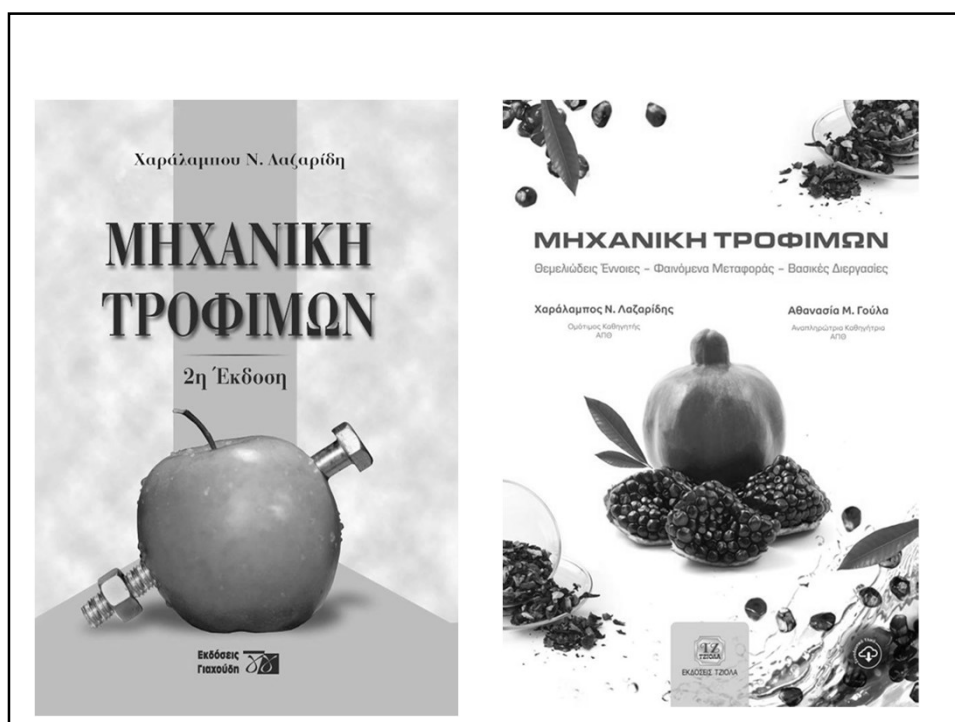


# ΜΗΧΑΝΙΚΗ ΤΡΟΦΙΜΩΝ

## Περιεχόμενο & Χρησιμότητα

Αθανάσιος Αλεξόπουλος  
Αναπληρωτής Καθηγητής Υγιεινής Τροφίμων





## Περιεχόμενο:

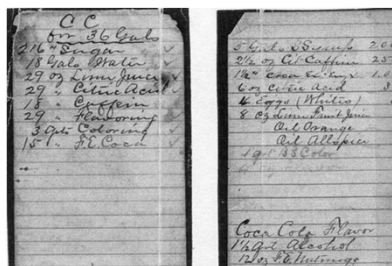
- ✱ Η εφαρμογή αρχών από τις βασικές επιστήμες (μαθηματικά, χημεία, βιολογία, μηχανική, φυσική) προκειμένου να καταγραφούν, αναλυθούν, επεξεργασθούν και κωδικοποιηθούν (δηλ να ποσοτικοποιηθούν) βασικές ή δευτερεύουσες διεργασίες οι οποίες είναι απαραίτητες στην βιομηχανία τροφίμων.

## Αιτίες - κίνητρα - ανάγκες:

- Ανάγκη για οικονομικά συμφέρουσες μεθοδολογίες παραγωγής.
- Απαίτηση για μεγαλύτερη αποτελεσματικότητα στην παραγωγή και στην συντήρηση τροφίμων.
- Ανάγκη για αύξηση της παραγωγής με ταυτόχρονη διατήρηση της ποιότητας.
- Ανάγκη για ποσοτική έκφραση (πρακτική εφαρμογή) της τεχνολογίας στην βιομηχανία.
- Ανάγκη για καινοτόμες λύσεις.

## Τι γινόταν στο παρελθόν?

- Στο παρελθόν η προσέγγιση ήταν κυρίως ποιοτική (ή περιγραφική) και η γνώση προωθούνταν με την μέθοδο της "δοκιμής και του λάθους".



<https://historiavera.com/2013/05/21/mark-pendregrast-desvela-la-formula-de-la-coca-cola/formula-de-la-cocacola/#main/trackback/>

## Μειονεκτήματα της περιγραφικής μεθόδου

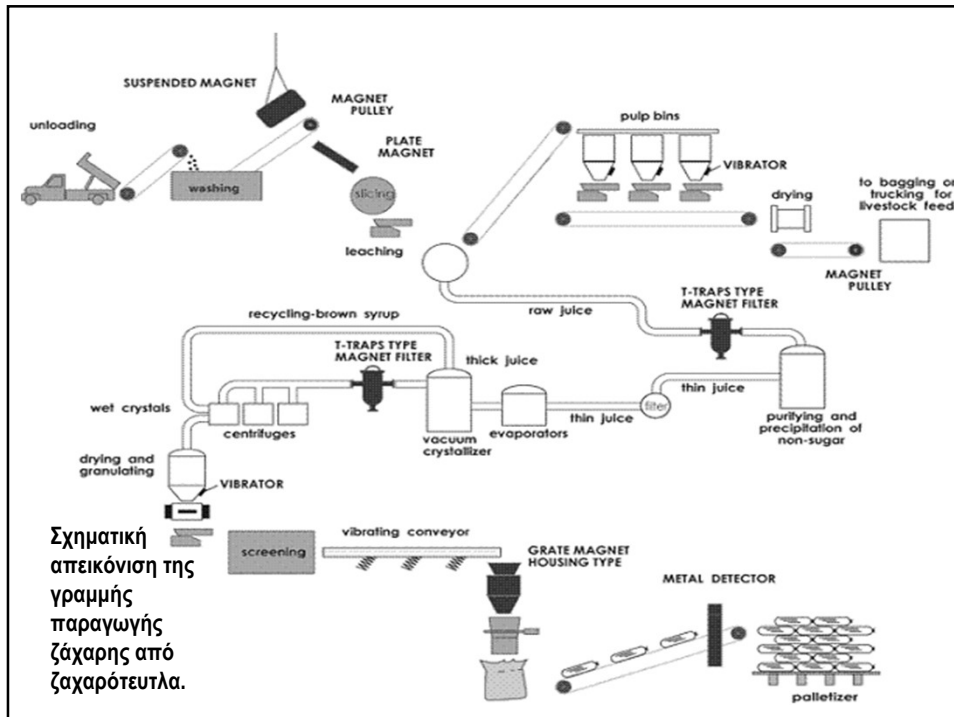
- \* Δεν γίνεται προσπάθεια να ανακαλυφθεί γιατί μια λύση (σε ένα πρόβλημα) δουλεύει, παρά μόνον ότι δουλεύει (solution oriented).
- \* Δεν γίνεται προσπάθεια να γενικευθεί το αποτέλεσμα (η λύση του προβλήματος) και να εφαρμοστεί σε άλλα ανάλογα προβλήματα (problem specific).
- \* Η μέθοδος απλά ψάχνει μια λύση και όχι όλες τις λύσεις ενός προβλήματος ή την καλύτερη λύση στο πρόβλημα (non-optimal).
- \* Η μέθοδος μπορεί να εφαρμοστεί (ή εφαρμόζεται) όπου υπάρχει λίγη ή καθόλου γνώση (no or little knowledge).

## Τι γίνεται με την μέθοδο της «δοκιμής και του λάθους» σήμερα?

- \* Πάντα θα χρησιμοποιείται δεδομένου ότι αποτελεί θεμελιώδη μέθοδο επίλυσης προβλημάτων, επισκευής ή βελτίωσης συσκευών και συστημάτων ή απόκτηση νέας γνώσης.
- \* Θα αποτελεί πάντα όμως την τελευταία λύση και εκεί όπου δεν υφίστανται κανόνες ή προδιαγραφές.
- \* Στην βιομηχανία τροφίμων χρησιμοποιείται στην φάση του σχεδιασμού νέων ή στη τροποποίηση υφιστάμενων προϊόντων και σπάνια στην παραγωγή (γραμμές επεξεργασίας, λειτουργικές μονάδες κ.α.)

## Γραμμή επεξεργασίας

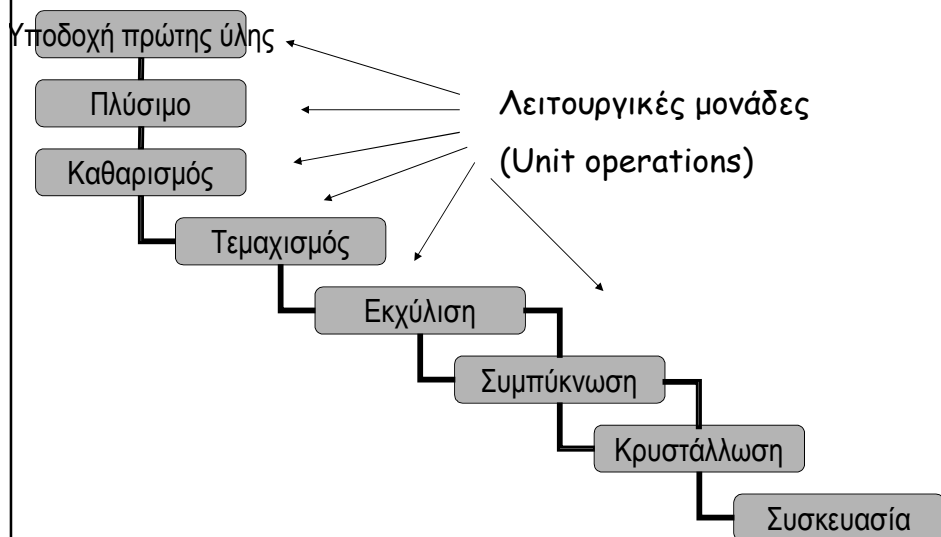
- Το τρόφιμο κατά την επεξεργασία του διέρχεται μια σειρά χειρισμών πριν καταλήξει στην τελική του μορφή.
- Οι χειρισμοί αυτοί αφορούν σε φυσικές, μηχανικές, χημικές ή βιολογικές διεργασίες.
- Η σειρά με την οποία εφαρμόζονται οι διεργασίες αυτές μέσα σε έναν ή περισσότερους χώρους (εργοστάσιο) καλείται γραμμή επεξεργασίας ή γραμμή παραγωγής (processing line).



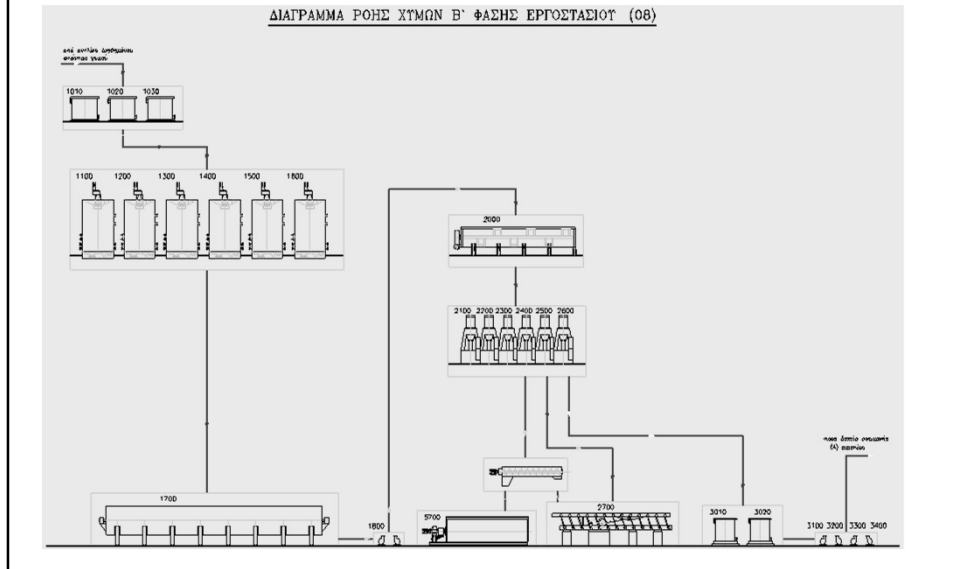
## Λειτουργικές μονάδες

- Εξετάζοντας τα διαγράμματα ροής που αφορούν την παραγωγή διαφόρων τροφίμων, θα αναγνωρίσουμε διεργασίες οι οποίες χρησιμοποιούνται με διαφορετική συχνότητα και χαρακτηρίζονται από διαφορετική σπουδαιότητα. Στη Μηχανική Τροφίμων (όπως και στη Χημική Μηχανική) τέτοιες διεργασίες προσεγγίζονται υπό τον όρο 'λειτουργικές μονάδες' (unit operations-U.O.).

## Διάγραμμα ροής επεξεργασίας



## Σχηματικό διάγραμμα ροής μιας εκ των φάσεων (U.O.) στην παραγωγή ζάχαρης (EBZ, 2005)



## Κύριες διεργασίες στις λειτουργικές μονάδες

- Ροή ρευστών
- Μεταφορά θερμότητας
- Εξάτμιση
- Ξήρανση
- Απορρόφηση
- Διαχωρισμός με μεμβράνες
- Απόσταξη
- Εκχύλιση (υγρού - υγρού, υγρού - στερεού)
- Κρυστάλλωση
- Μηχανικός διαχωρισμός

### **\* Ροή ρευστών**

Αφορά τις αρχές που προσδιορίζουν τη ροή ή μεταφορά ενός οποιουδήποτε ρευστού από ένα σημείο της γραμμής επεξεργασίας σε ένα άλλο.

Θέματα: Μεταφορά ορμής, ιξώδες, τύποι ρευστών, τύποι ροής, τριβές, αντλίες, ανάδευση και ανάμιξη ρευστών.

### **\* Μεταφορά Θερμότητας**

Ασχολείται με τις αρχές που διέπουν τη συσσώρευση και μεταφορά θερμότητας από μια θέση στην άλλη.

Θέματα: τύποι θέρμανσης, μηχανισμοί μεταφοράς, συντελεστές θερμότητας, εναλλάκτες, θερμική απόδοση εναλλακτών



### \* Εξάτμιση

Ειδική περίπτωση μεταφοράς θερμότητας και μάζας που ασχολείται με την απομάκρυνση ενός πτητικού διαλύτη, όπως το νερό, από μια (ή περισσότερες) μη πτητικές διαλυμένες ουσίες, όπως είναι το αλάτι ή άλλα διαλυτά στερεά.

Θέματα: τύποι εξατμιστήρων, τρόποι λειτουργίας, ολικοί συντελεστές θερμότητας.

### \* Ξήρανση

Ασχολείται με την ταυτόχρονη μεταφορά θερμότητας και μάζας κατά την απομάκρυνση νερού από στερεά υλικά.

**\* Απορρόφηση**

Σε αυτή την διεργασία ένα συστατικό απομακρύνεται από ένα αέριο ρεύμα με την βοήθεια ενός υγρού.

**\* Διαχωρισμός με ημιπερατές μεμβράνες**

Ασχολείται με την διέλευση ενός υγρού ή αερίου συστατικού, διαμέσου μιας ημιπερατής μεμβράνης η οποία εμποδίζει την διέλευση σε κάποιο άλλο συστατικό.

**\* Απόσταξη**

Συστατικά ενός υγρού μείγματος διαχωρίζονται με βρασμό και με βάση την διαφορετική πτητικότητα που παρουσιάζουν.

• **Εκχύλιση υγρού-υγρού**

Απομάκρυνση μιας διαλυμένης ουσίας από ένα διάλυμα μέσω της επαφής της με μια άλλη ουσία (υγρό διαλύτη) που είναι σχετικά μη-αναμίξιμη στο διάλυμα.

• **Εκχύλιση υγρού-στερεού**

Ένα στερεό υλικό υφίσταται κατεργασία με ένα διαλύτη ο οποίος διαλύει και απομακρύνει κάποιο από τα συστατικά του.

• **Κρυστάλλωση**

Απομάκρυνση κάποιας διαλυτής ουσίας όπως είναι η ζάχαρη από ένα διάλυμα, με κατακρήμνισή της από υπερκορεσμένο διάλυμα με την μορφή κρυστάλλων.

• **Φυσικό-Μηχανικοί Διαχωρισμοί**

Αφορούν το διαχωρισμό στερεών, υγρών ή αερίων με μηχανικά μέσα, όπως το φιλτράρισμα, η φυγοκέντρωση, η καθίζηση και ο τεμαχισμός.

Πολλές από τις παραπάνω διεργασίες έχουν κάποιο ή περισσότερα κοινά χαρακτηριστικά των οποίων η λειτουργία βασίζεται στις ίδιες θεμελιώδεις αρχές και μηχανισμούς.

(Τι κοινό έχουν η ψύξη, η κατάψυξη, η ξήρανση, η απόσταξη και η εξάτμιση?)

### Θεμελιώδεις αρχές (ή φαινόμενα μεταφοράς) στις διεργασίες

- \* **Μεταφορά ορμής (momentum transfer)**  
Μετακίνηση υλικών όπως σε ροές ρευστών, καθίζησης και ανάμιξης.
- \* **Μεταφορά θερμότητας (heat transfer)**  
Διεργασίες θέρμανσης-ψύξης, ξήρανσης, απόσταξης, εξάτμισης.
- \* **Μεταφορά μάζας (mass transfer)**  
Διεργασίες απόσταξης, απορρόφησης, εκχύλισης.

## Χρησιμότητα λειτουργικών μονάδων

- \* Οι αναλύσεις λειτουργικών μονάδων και τα μαθηματικά μοντέλα που αναπτύσσονται για τις διάφορες διεργασίες σχεδιάζονται για να δώσουν απαντήσεις στα κάτωθι ερωτήματα:

## Ερώτημα 1

- \* Ποιες μετρήσεις ή ποιοι δείκτες θα μας πουν πόσο καλά διεξάγεται η κάθε επεξεργασία ή θα μας δείξουν τον βαθμό ολοκλήρωσής της:
  - \* (αποδόσεις συστατικών, καθαρότητες, ποσότητες ανεπιθύμητων συστατικών, ποσοστό ενέργειας που ανακτάται, % ζώντων μικροοργανισμών στο τέλος θερμικής επεξεργασίας, άλλα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά όπως υφή, σκληρότητα, γεύση κλπ)

## Ερώτημα 2

- \* Με ποιο τρόπο σχετίζονται οι δείκτες ποιότητας ή ολοκλήρωσης μιας επεξεργασίας με το είδος και το μέγεθος του χρησιμοποιούμενου εξοπλισμού ή τον χρόνο παραμονής στον εξοπλισμό αυτό;
  - \* (σχετίζεται με το μήκος εξοπλισμού, την επιφάνεια του εξοπλισμού ή τον χρόνο παρακράτησης του υλικού ή της πρώτης ύλης)

## Ερώτημα 3

- \* Με ποιο τρόπο σχετίζεται το 'μέγεθος' του εξοπλισμού με την ποσότητα του υλικού που πρέπει να επεξεργαστεί ανά μονάδα χρόνου και πώς σχετίζεται η απόδοση του εξοπλισμού με αυξομειώσεις του ρυθμού επεξεργασίας;

## Ερώτημα 4

- \* Ποια ισοζύγια υλικών εμπλέκονται;
  - \* (στην μηχανική τροφίμων ακόμα και μικρές απώλειες χρήσιμων πρώτων υλών και η αποικοδόμησή τους προς υλικά με χαμηλή οικονομική αξία αποτελούν προβλήματα ισοζυγίων).

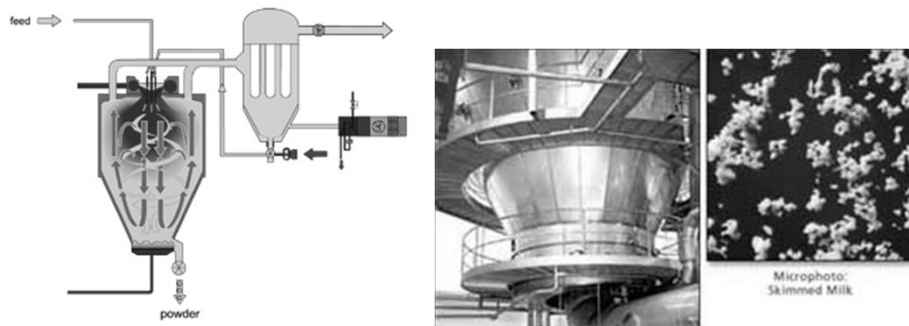
## Ερώτημα 5

- \* Πόση ενέργεια απαιτείται για την διεξαγωγή της επεξεργασίας και πώς σχετίζεται αυτό το ποσό ενέργειας με τους ρυθμούς παραγωγής και την ποιότητα των δεικτών απόδοσης; Υπάρχει δυνατότητα ελαχιστοποίησης ενεργειακών αναγκών;
  - \* (ο στόχος είναι η ελαχιστοποίηση των ενεργειακών αναγκών χωρίς την σοβαρή μείωση της απόδοσης ή της ποιότητας των προϊόντων)

## Ερώτημα 6

- \* Ποια λεπτομερή χαρακτηριστικά σχεδιασμού πρέπει να προσδιορίσουμε για τα εσωτερικά τμήματα του εξοπλισμού και πώς σχετίζονται οι λεπτομέρειες αυτές με τους ρυθμούς τροφοδοσίας και την αξιοπιστία της επεξεργασίας;
- \* (λεπτομέρειες σχεδιασμού με μεγάλη οικονομική σημασία πχ στήλες τύπου bubble tray, απόσταση γεμιστικών κεφαλών, σχεδιασμός ξηραντήρα εκνέφωσης spray - dryer κλπ), σχήματα μαχαιριών για τον τεμαχισμό προϊόντων.

## Σχηματική αναπαράσταση Spray - dryer



Διαδικασίες που συντελούνται: μεταφορά θερμότητας, μάζας και ορμής, ισοζύγια μάζας και ενέργειας, προσδιορισμός τροχιάς, ισοζύγια φάσεων.



## Ερώτημα 7

- \* Σχεδιασμός ή τροποποίηση εξοπλισμού ώστε να προσαρμοστεί καλύτερα στο είδος του προϊόντος και να αντεπεξέλθει σε πιθανές ανωμαλίες στην παραγωγική διαδικασία.
  - \* (αποτελεί πεδίο των 'συστημάτων αυτοματισμού γεωργικών βιομηχανιών' αλλά είναι και βασικό συστατικό της λειτουργικής μονάδας)

## Ερώτημα 8

- \* Πως σχετίζονται τα προηγούμενα ζητήματα με το κόστος του εξοπλισμού και της επεξεργασίας;
  - \* (πως μπορεί να τροποποιηθεί ο σχεδιασμός ώστε να ελαχιστοποιηθεί το κόστος αλλά πάντα διατηρώντας ένα προϊόν τις κατάλληλες προδιαγραφές)

## Απαντήσεις στα παραπάνω ερωτήματα:

- ☀ Με κατανόηση των βαθύτερων μηχανισμών που διέπουν την επεξεργασία.
- ☀ Με απομόνωση των μεταβλητών ή παραγόντων που είναι οι πιο σημαντικοί.
- ☀ Με προσπάθεια μαθηματικής μοντελοποίησης της διαδικασίας ώστε να συσχετισθεί το αποτέλεσμα της επεξεργασίας με τις συνθήκες λειτουργίας και τις ιδιότητες της πρώτης ύλης.



## Προβλήματα που προκύπτουν..

- \* Ισχυρές ή αδύναμες αλληλεπιδράσεις σχέσεων.
  - \* Μερικές φορές οι αλληλεπιδράσεις των σχέσεων των διεργασιών είναι πολύ δυνατές και προσεγγίζονται ως η λύση συστήματος εξισώσεων (πχ σχεδιασμός spray dryer)
  - \* Άλλες φορές η αλληλεπίδραση είναι μονόδρομη (πχ Θερμική αποστείρωση) και άρα η προσέγγιση διαφορετική.
- \* Νομικά ζητήματα (δημόσια υγεία, αρχεία καταγραφών)
- \* Τήρηση προδιαγραφών τυποποίησης (HACCP, ISO)
- \* Μεταβολές ή παραλλαγές στις ιδιότητες των υλών
- \* Ανεπάρκεια αναλυτικής (ή μαθηματικής) γνώσης

## Παρατηρήσεις στην μοντελοποίηση

- \* Τα νομικά ζητήματα περιορίζουν τις εναλλακτικές λύσεις της επεξεργασίας της βιομηχανίας τροφίμων (π.χ. συνδυασμός χρόνου-θερμοκρασίας στην παστερίωση του γάλακτος)
- \* Επίσης οι προδιαγραφές τυποποίησης μπορεί να περιορίζουν λύσεις οι οποίες δεν περικλείουν κινδύνους νοθείας ή απώλειας ποιότητας του προϊόντος.

## Παρατηρήσεις στην μοντελοποίηση

- \* Οι παραλλαγές στις ιδιότητες των πρώτων υλών είναι πολύ συχνές στην επεξεργασία τροφίμων (σε σχέση με την χημική επεξεργασία) οπότε, οι όποιες διεργασίες πρέπει να είναι ικανοποιητικά προσαρμοσμένες στις ιδιότητες αυτές.  
Ένα θέμα είναι ο ρόλος των ποικιλιών των πρώτων υλών, η επιλογή τους ή η ανάπτυξη τους (πχ γενετικά).

## Τελικές επισημάνσεις

- \* Η μαθηματική μοντελοποίηση λειτουργικών μονάδων στην επεξεργασία τροφίμων είναι σαφώς λιγότερο ανεπτυγμένη από αυτών της χημικής βιομηχανίας και υφίσταται μόνο στις διεργασίες όπου υπάρχει ανάγκη (παστερίωση, αποστείρωση) ενώ σε άλλες περιπτώσεις οι σχεδιασμοί έχουν αναπτυχθεί με την δοκιμή και το λάθος.
- \* Οι ανάγκες όμως της βιομηχανίας ωθούν στην αναλυτική και ποσοτική περιγραφή όλο και περισσότερων διεργασιών.