



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

Σχολή Χημικών Μηχανικών

Τομέας II: Σχεδιασμού, Ανάλυσης & Ανάπτυξης Διεργασιών και Συστημάτων

Εργαστήριο Μηχανικής Φυσικών Διεργασιών

Άσκηση 2.

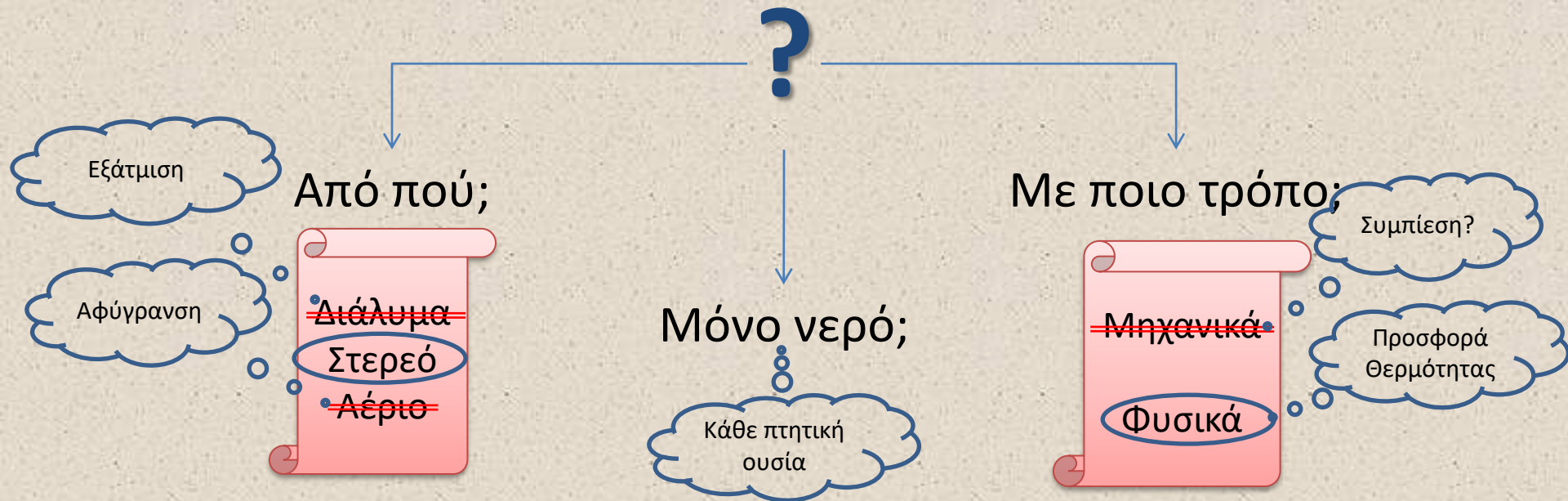
ΞΗΡΑΝΣΗ

Συνοπτική Παρουσίαση

Ακαδημαϊκό Έτος 2020-2021

Ερώτηση
Τι «είναι» Ξήρανση;

Απάντηση
Απομάκρυνση υγρασίας



Ορισμός

Ξήρανση είναι η διαδικασία απομάκρυνσης μίας πτητικής ουσίας **μέσω εξάτμισης** από ένα στερεό σώμα η οποία επιτυγχάνεται με προσφορά θερμότητας (αγωγή, συναγωγή, ακτινοβολία)

Ξήρανση διά καταψύξεως
(Λυοφιλίωση)
Συμβαίνει εξάχνωση

Διάφοροι τύποι ξηραντήρων

- Αέρος (ραφιών, σήραγγας)
- Περιστροφικοί
- Τύμπανα
- Ψεκασμού
- Κλινών (ρευστοποίηση)
- Καταψύξεως
- ...

Εφαρμογές

Ξύλο - χαρτί, απορρυπαντικά, τρόφιμα, φαρμακευτικά προϊόντα, λιπάσματα ...

Αντικείμενο Άσκησης

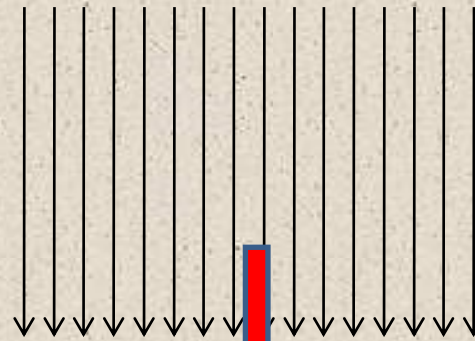
Ξήρανση δειγμάτων φρούτων και λαχανικών με ρεύμα αέρα

Απομάκρυνση
νερού
(αφυδάτωση)

Τρόφιμα

Συναγωγή

- Ελεύθερο νερό
- ▭ Δεσμευμένο νερό



Ρεύμα Αέρα

Θερμοκρασία (T)
Ταχύτητα (u)
Σχ. Υγρασία (RH%)

Ζητούμενο:

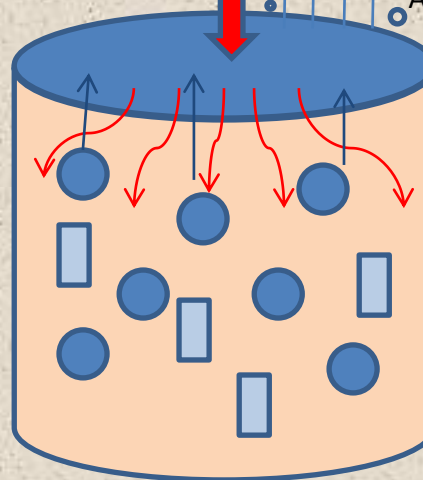
Μετά από χρόνο t πόσο νερό
έχει απομακρυνθεί; (ρυθμός;)

Ποιες παράμετροι επηρεάζουν
την ξήρανση;

Θερμότητα Q

Απομάκρυνση νερού

Μεταφορά
θερμότητας και μάζας



Γεωμετρία / Διαστάσεις
Φύση υλικού (Δομή)

Δείγμα

Συνοπτική Θεωρία



Δείγμα

- Νερό (Ελεύθερο και Δεσμευμένο)
- Σάκχαρα
- Βιταμίνες
- Ιχνοστοιχεία
- ...

Θεώρηση

Δεν επηρεάζονται από την ξήρανση (στερεά)



$$m_{\text{δείγματος}} = m_{\text{νερού}} + m_{\text{στερεών}}$$

| Χρόνος ξήρανσης (min) | $m_{\text{δείγματος}}$ (gr) | $m_{\text{νερού}}$ (gr) | $m_{\text{στερεών}}$ (gr) |
|-----------------------|-----------------------------|-------------------------|---------------------------|
| 0 | 5,000 | 4,000 | 1,000 |
| 10 | 4,700 | 3,700 | 1,000 |
| 20 | 4,560 | 3,560 | 1,000 |
| ... | 4,400 | 3,400 | 1,000 |

μείωση ←

→ σταθερό

Συνοπτική Θεωρία

Υγρασία δείγματος εκφράζει την περιεκτικότητα του δείγματος σε νερό. Έχει δύο εκφράσεις:

$$X_{\text{υγρή βάση}} = m_{\text{νερού}} / m_{\text{δείγματος}} < 1 (\%)$$

$$X_{\text{ξηρή βάση}} = m_{\text{νερού}} / m_{\text{στερεών}} > 1 (\text{αρχικά})$$

X_0 : αρχική υγρασία (περιεκτικότητα νερού σε χρόνο 0).

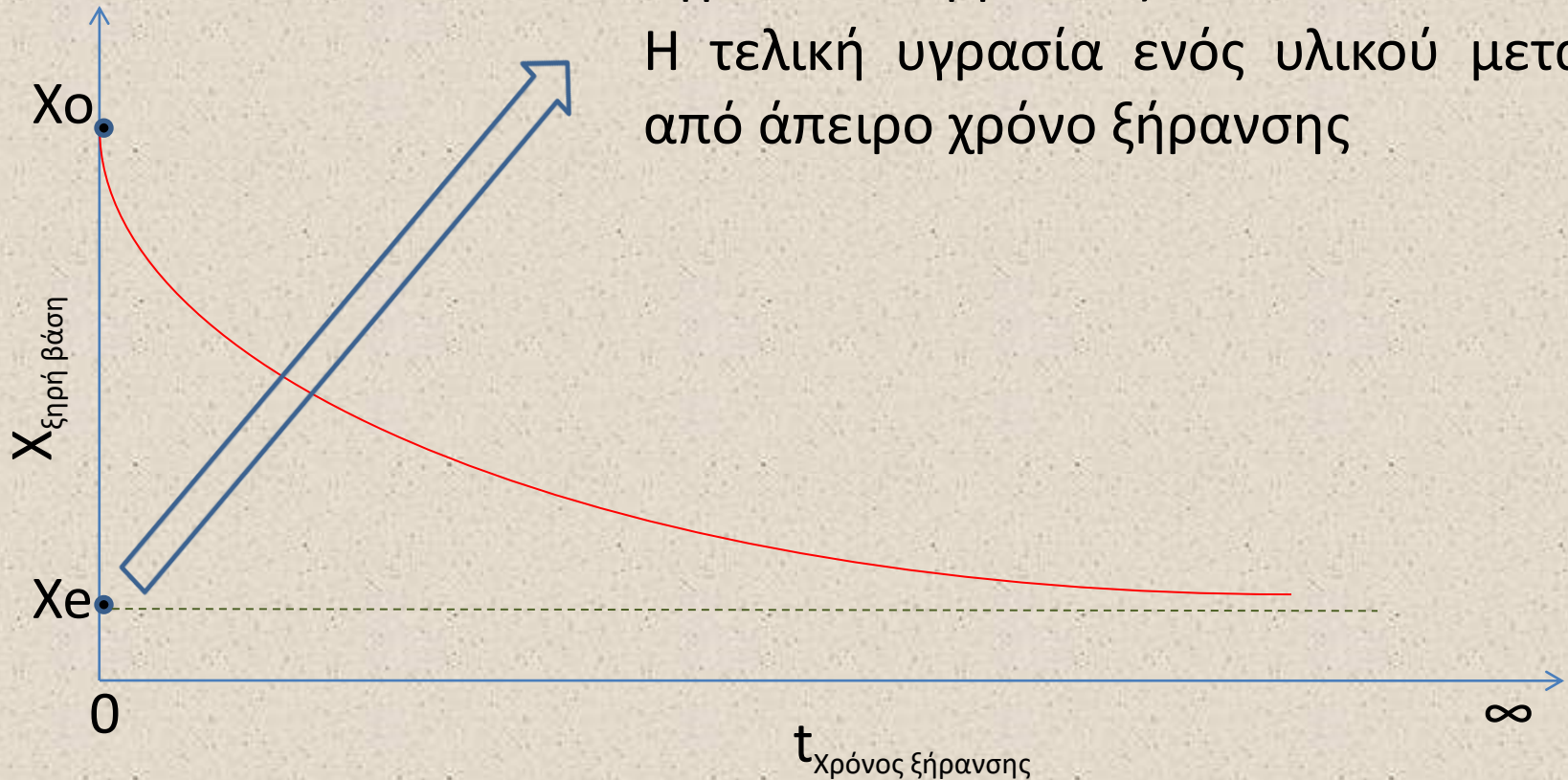
Προσδιορίζεται είτε μέσω πρότυπων μεθόδων ξήρανσης είτε από την βιβλιογραφία

Συνοπτική Θεωρία

Καμπύλη ξήρανσης εκφράζει την απώλεια του νερού κατά τη διάρκεια της ξήρανσης.

X_e : υγρασία ισορροπίας

Η τελική υγρασία ενός υλικού μετά από άπειρο χρόνο ξήρανσης

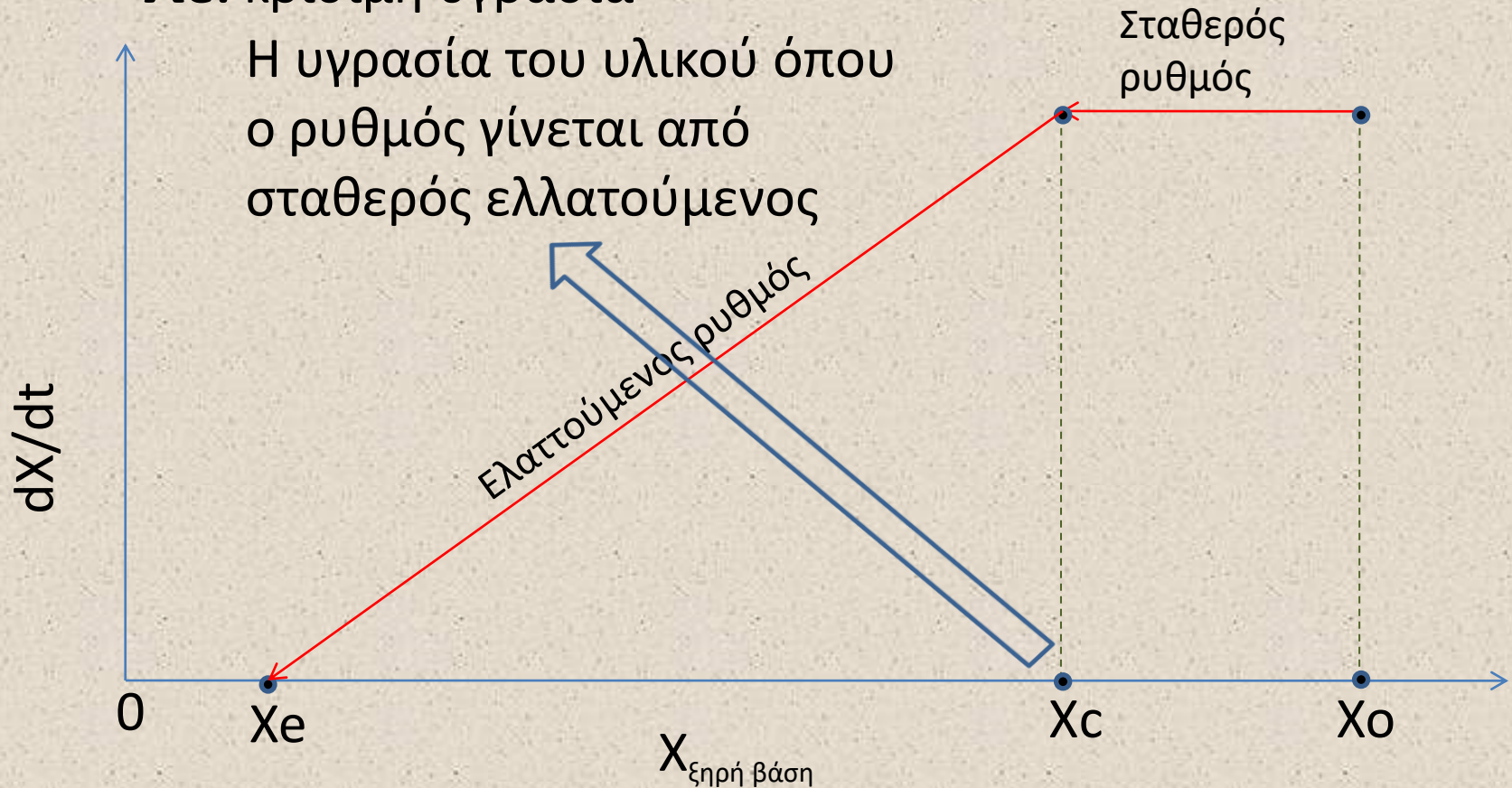


Συνοπτική Θεωρία

Καμπύλη ρυθμού ξήρανσης εκφράζει τον ρυθμό με τον οποίο απομακρύνεται το νερό από το δείγμα κατά τη διάρκεια της ξήρανσης.

X_e : κρίσιμη υγρασία

Η υγρασία του υλικού όπου ο ρυθμός γίνεται από σταθερός ελαττούμενος



Συνοπτική Θεωρία

Ο ελλατούμενος ρυθμός ξήρανσης μπορεί να εκφραστεί από την ημι-εμπειρική εξίσωση:

$$dX / dt = K \cdot (X - X_e)$$

K: σταθερά ξήρανσης (εκφράζει την εξάρτηση του ρυθμού ξήρανσης από τις παραμέτρους που επηρεάζουν τη διεργασία)

$$K = f (T, u, RH\%, d, \text{φύση υλικού} \dots)$$

Τι χρειαζόμαστε για το πείραμα

- Δείγματα

Θα χρησιμοποιήσουμε κυλινδρικά δείγματα από φρούτο και λαχανικό

- Ξηραντήρα

Το εργαστήριο διαθέτει πολλούς ξηραντήρες. Εμείς θα χρησιμοποιήσουμε ένα ημι-βιομηχανικό ξηραντήρα τύπου σήραγγας στον οποίο κυκλοφορεί θερμός αέρας. Ο Ξηραντήρας διαθέτει:

- Έναν φυσητήρα για την παροχή του αέρα
Ο φυσητήρας ουσιαστικά αποτελείται από ένα κλειστό κέλυφος με μία προσανατολισμένη έξοδο και στο εσωτερικό του υπάρχει μία φτερωτή η κίνηση της οποίας διοχετεύει αέρα προς την έξοδο του φυσητήρα. Για την κίνηση της φτερωτής ο φυσητήρας συνδέεται με έναν κινητήρα
- Έντεκα αντιστάτες (ηλεκτρικές αντιστάσεις)
Πρόκειται για μεταλλικές ράβδους (αγωγούς) συγκεκριμένης ισχύος οι οποίες όταν διαρρέονται από ρεύμα μετατρέπουν ένα μέρος της διερχόμενης ενέργειας σε θερμότητα προς το περιβάλλον χώρο. Αναλυτικότερα έχουμε 0.4 (έναν), 2 (οκτώ) και 3 (δύο) kW
- Τρεις θέσεις (ράφια) κάθετα στη ροή του αέρα
Σε αυτά τοποθετούνται τα προς ξήρανση δείγματα

Τι χρειαζόμαστε για το πείραμα

- Ξηραντήρα (συνέχεια)

...

- Έναν υγραντήρα

Πρόκειται για συσκευή η οποία περιέχει εξατμίζει νερό και στέλνει τους υγρούς ατμούς εντός του θαλάμου ξήρανσης με σκοπό να αυξήσει την υγρασία του αέρα ξήρανσης.

- Πίνακα ασφαλειών για τον χειρισμό του φυσητήρα, των ηλεκτρικών αντιστάσεων και του υγραντήρα

- Υγρόμετρο

Πρόκειται για μετρητή θερμοκρασιών (υγρού και ξηρού βολβού) από τις οποίες με τη βοήθεια του ψυχομετρικού χάρτη μπορούμε να υπολογίσουμε την σχετική υγρασία του αέρα ξήρανσης.

Τι χρειαζόμαστε για το πείραμα

- Βοηθητικός εξοπλισμός

- Κυλινδράκι / Μαχαίρι

Για την προετοιμασία των δειγμάτων

- Παχύμετρο

Για την μέτρηση των κυλινδρικών διαστάσεων (ύψος, διάμετρος)

- Ζυγαριά

Για την μέτρηση της μάζας των δειγμάτων σε τακτά χρονικά διαστήματα

- Μετρητή θερμοκρασίας και ταχύτητας αέρα

Για την παρακολούθηση της θερμοκρασίας και της ταχύτητας του αέρα ξήρανσης σε όλη τη διάρκεια του πειράματος

- Σύστημα ελέγχου και ρύθμισης

Ελέγχει και ρυθμίζει την «κατάσταση» του αέρα ξήρανσης (θερμοκρασία και υγρασία). Περιλαμβάνει θερμοστοιχεία, Η/Υ με κατάλληλο λογισμικό και διακόπτες on/off για τον αυτόματο έλεγχο λειτουργίας του υγραντήρα και του αντιστάτη των 0,4kW.

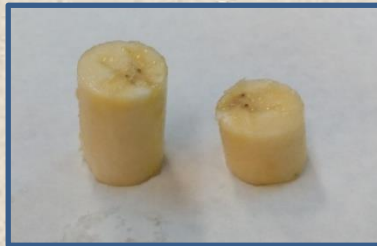
ΞΗΡΑΝΤΗΡΑΣ



Εκτέλεση Πειράματος

1. Δημιουργία δειγμάτων

- Παίρνουμε ένα φρούτο (μπανάνα) και ένα λαχανικό (αγγούρι)
- Με ένα μαχαίρι κόβουμε φέτες συγκεκριμένου πάχους και με ένα κυλινδρικό «καλούπι» φτιάχνουμε κυλινδρικά δείγματα
- Ανάμεσα στα ίδια υλικά το ένα από τα δύο δείγματα έχει το μισό ύψος (μικρό και μεγάλο δείγμα)

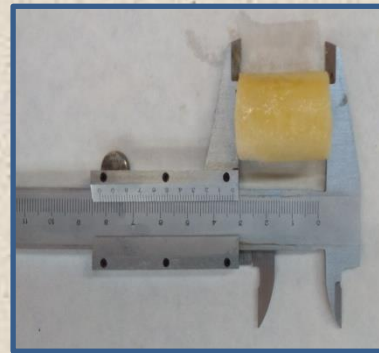
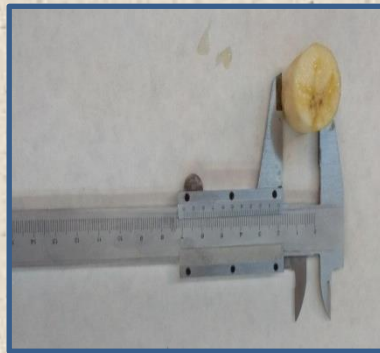


- Ανάμεσα στα διαφορετικά υλικά επιλέγουμε να έχουν ανά μέγεθος (μικρό και μεγάλο) τις ίδιες διαστάσεις

Εκτέλεση Πειράματος

2. Μέτρηση διαστάσεων

- Μετράμε τις διαστάσεις (ύψος και διάμετρος κυλίνδρων με τη βοήθεια ενός παχυμέτρου.



3. Ζύγιση

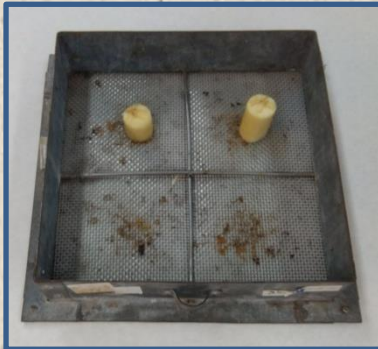
- Με τη βοήθεια ενός ζυγού καταγράφουμε τη μάζα των δειγμάτων.



Εκτέλεση Πειράματος

4. Εισαγωγή δειγμάτων στον ξηραντήρα

- Τοποθετούμε τα δείγματα «όρθια» στο ράφι και μετά τα τοποθετούμε εντός του ξηραντήρα στη δεύτερη θέση ραφιών.



5. Μέτρηση θερμοκρασίας και ταχύτητας αέρα

- Καταγράφουμε την ταχύτητα και τη θερμοκρασία του αέρα ξήρανσης με τη βοήθεια του αντίστοιχου μετρητή (εναλλαγή του επάνω διακόπτη για την επιλογή μεγέθους μέτρησης).



Εκτέλεση Πειράματος

Οι παραπάνω μετρήσεις (μάζας δειγμάτων, θερμοκρασίας και ταχύτητας αέρα) θεωρούνται ότι έγιναν τη χρονική στιγμή μηδέν.

6. Επανάληψη βημάτων 3-5 σε τακτά χρονικά διαστήματα
 - Αφήνουμε τα δείγματα εντός του ξηραντήρα για πέντε λεπτά. Τα βγάζουμε από τον ξηραντήρα και επαναλαμβάνουμε τα βήματα 3-5 (μετρήσεις μάζας δειγμάτων, θερμοκρασίας και ταχύτητας αέρα).
 - Επαναλαμβάνουμε το ίδιο για δύο ώρες (120 λεπτά) σε συγκεκριμένους χρόνους ξήρανσης των δειγμάτων (παραμονή εντός του ξηραντήρα). Οι χρόνοι αυτοί καθορίζονται ως εξής:
 - ✓ Για την πρώτη μισή ώρα (0 – 30) κάθε πέντε λεπτά
 - ✓ Για την επόμενη μισή ώρα (30 – 60) κάθε δέκα λεπτά
 - ✓ Για την δεύτερη ώρα (60 – 120) κάθε δεκαπέντε λεπτά

Εκτέλεση Πειράματος

7. Τελικές διαστάσεις δειγμάτων

Στο τέλος του πειράματος μετράμε ξανά τις διαστάσεις των δειγμάτων για να δούμε τυχόν μεταβολή σε σχέση με τις αρχικές.

Αποτελέσματα

| | Διαστάσεις (cm) | Δείγμα 1 Μεγάλη Μπανάνα MM | Δείγμα 2 μικρή Μπανάνα μM | Δείγμα 3 Μεγάλο Αγγούρι MA | Δείγμα 4 μικρό Αγγούρι μA |
|------------------|-----------------|-------------------------------------|------------------------------------|-------------------------------------|------------------------------------|
| Πριν την ξήρανση | Ύψος | 3 | 1,5 | 3 | 1,5 |
| | Διάμετρος | 2 | 2 | 2 | 2 |
| Μετά την ξήρανση | Ύψος | ... | ... | ... | ... |
| | Διάμετρος | ... | ... | ... | ... |

Διαστάσεις
κυλινδρικού
καλουπιού

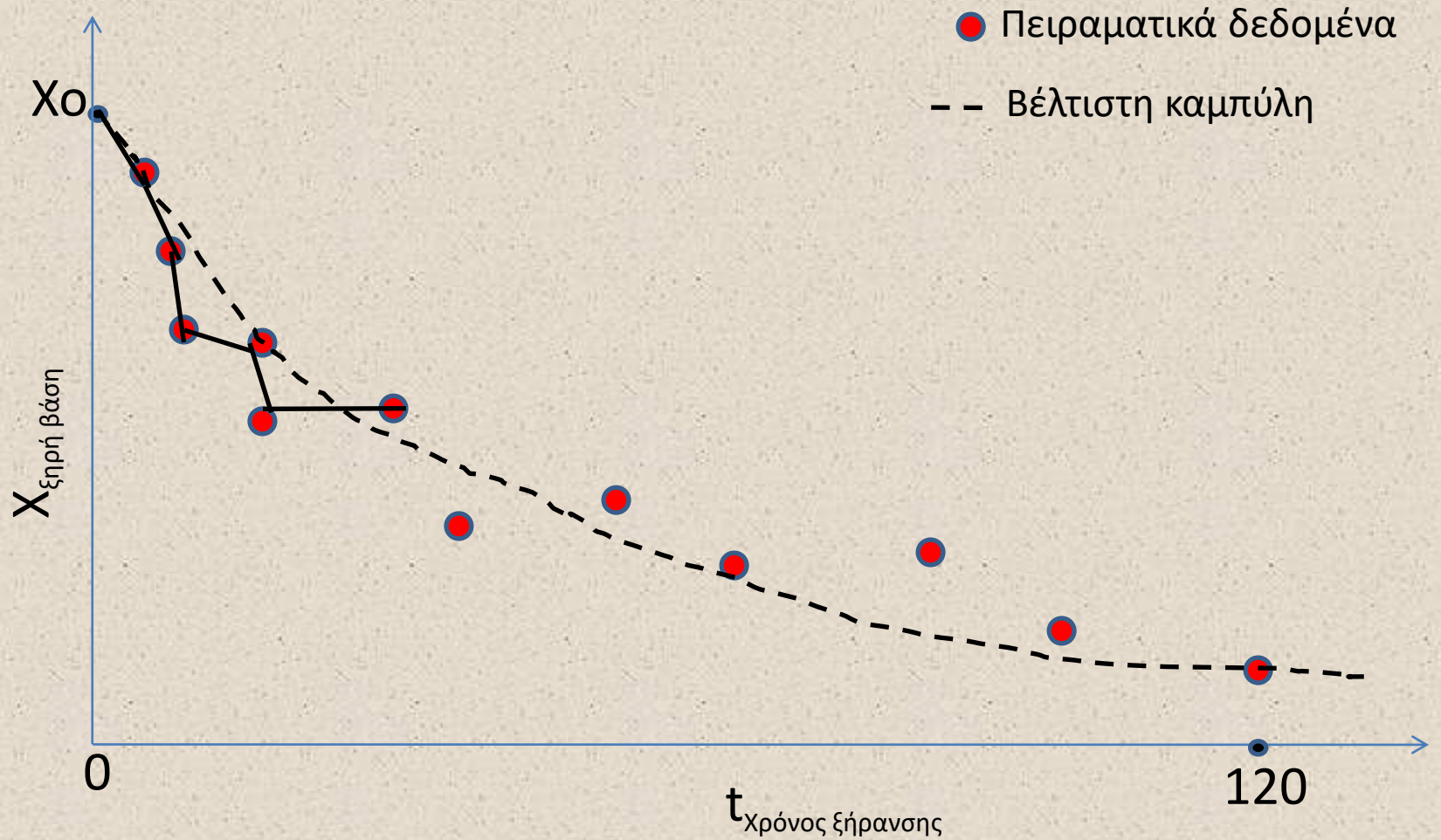
Ιδανική
περίπτωση

Αποτελέσματα

| α.α | Χρόνος ξήρασης (min) | Θερμοκρασία αέρα (°C) | Ταχύτητα αέρα (m/s) | Δείγμα 1 (gr) MM | Δείγμα 2 (gr) μM | Δείγμα 3 (gr) MA | Δείγμα 4 (gr) μA |
|-----|----------------------|-----------------------|---------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| 1. | 0 | 50 | 3 | 15,300 | 7,100 | 10,980 | 5,253 |
| 2. | 5 | ... | ... | 15,000 | ... | ... | ... |
| 3. | 10 | ... | ... | 14,782 | ... | ... | ... |
| 4. | 15 | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| 5. | 20 | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| 6. | 30 | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| 7. | 40 | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| 8. | 50 | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| 9. | 60 | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| 10. | 75 | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| 11. | 90 | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| 12. | 105 | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| 13. | 120 | ... | ... | ... | ... | ... | ... |

Ζητούμενα

Καμπύλη ξήρανσης (για κάθε δείγμα)



Ζητούμενα

Καμπύλη ρυθμού ξήρανσης (για κάθε δείγμα)



Ζητούμενα

- Να εκτιμηθούν η υγρασία ισορροπίας και η σταθερά ξήρανσης (για κάθε δείγμα). Σύγκριση με βιβλιογραφικά δεδομένα.
- Σύγκριση αποτελεσμάτων ως προς τις παραμέτρους της διεργασίας που επηρεάζουν το τελικό αποτέλεσμα:

- Είδος προϊόντος
- Μέγεθος προϊόντος
- **Θερμοκρασία του αέρα**
- **Ταχύτητα του αέρα**
- **Σχετική υγρασία του αέρα**

Με τη βοήθεια συγκριτικών διαγραμμάτων / πινάκων

Επαρκούν τα δεδομένα μας ?

Ζητούμενα

- Να προσδιοριστούν οι πηγές/αιτίες σφαλμάτων που υπεισέρχονται στην ακρίβεια των πειραματικών σας μετρήσεων

Τα πειράματα διεργασιών δεν αποτελούν μία απλή επίδειξη.

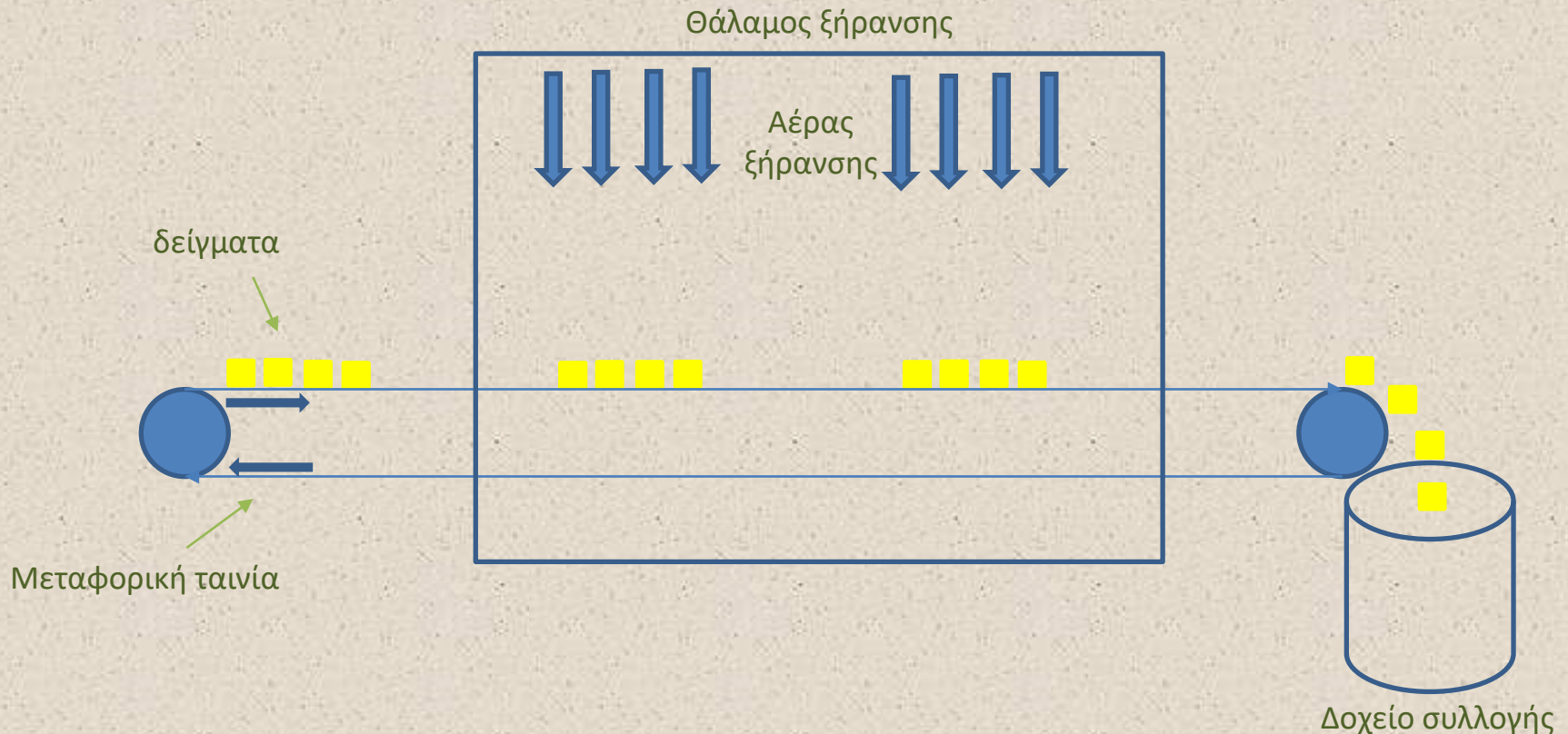
Τα αποτελέσματά τους συχνά χρησιμοποιούνται ως αφετηρία σχεδιασμού μίας βιομηχανικής παραγωγικής διαδικασίας (συνήθως αυτό εκφράζεται με τον όρο *scaleup*).

Είναι λοιπόν απαραίτητο να γνωρίζουμε την ακρίβειά τους (αριθμητική ή μη) και να μπορούμε να προσδιορίσουμε τους παράγοντες που την επηρεάζουν.

Για το λόγο αυτό θα αναφέρετε τις πηγές σφαλμάτων του πειράματος που εκτελέσατε και θα κάνετε μία ποιοτική εκτίμηση της ακρίβειας των αποτελεσμάτων σας ανάλογα με τη σημαντικότητα των προσδιορισμένων σφαλμάτων.

Ζητούμενα

- Είναι εφικτό να αξιοποιηθούν τα αποτελέσματά σας για τον σχεδιασμό ξηραντήρα μεταφορικής ταινίας με ρεύμα αέρα? Αιτιολογήστε την απάντησή σας.

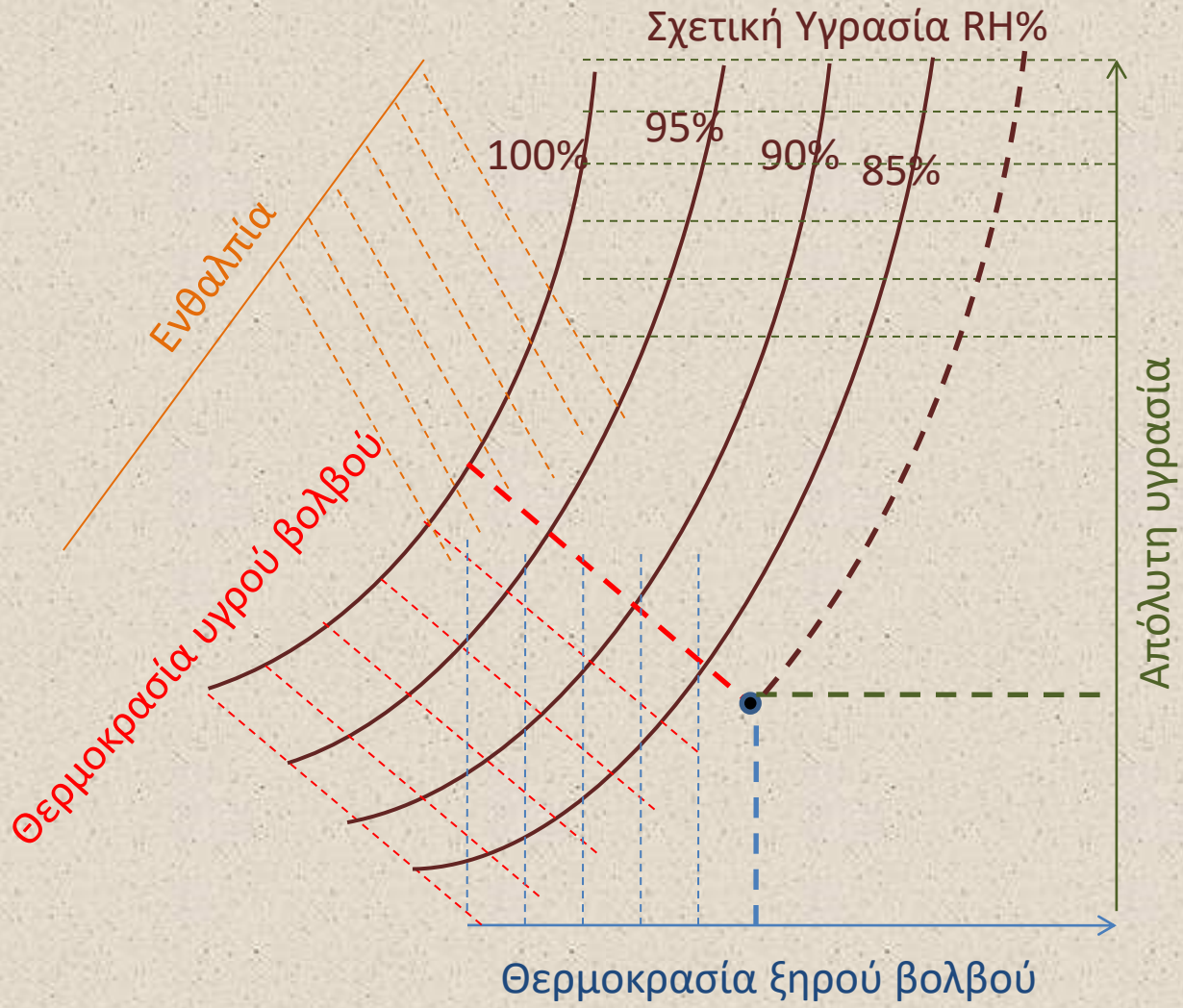


Πρόσθετες πληροφορίες

- Ερωτήματα προετοιμασίας
 - Ποια η αρχική υγρασία της μπανάνας και του αγγουριού;
 - Πως υπολογίζετε η υγρασία σε ξηρή βάση από τον πίνακα των εργαστηριακών σας μετρήσεων;
 - Πως φέρνουμε μία βέλτιστη καμπύλη;
 - Πως γίνεται η διαφόριση μίας καμπύλης;
 - Σφάλματα μετρήσεων (ποια; πως μετριούνται; πως μεταδίδονται;)
 - Ποια η χρησιμότητα ελάττωσης υγρασίας σε ένα τρόφιμο;
 - Τύποι ξηραντήρων και μέθοδοι ξήρανσης
 - Ποια τα πλεονεκτήματα και ποια τα μειονεκτήματα ενός ξηραντήρα ρεύματος αέρα σε σύγκριση με άλλες μεθόδους ξήρανσης);
 - Μπορούν να χρησιμοποιηθούν τα πειραματικά σας δεδομένα για να σχεδιαστεί ένας ξηραντήρας ρεύματος αέρα μεταφορικής ταινίας;

Πρόσθετες πληροφορίες

- Ψυχομετρικός Χάρτης



Πρόσθετες πληροφορίες

- Θερμοκρασία ξηρού βολβού: η θερμοκρασία περιβάλλοντος
- Θερμοκρασία υγρού βολβού: η ελάχιστη θερμοκρασία που μπορεί να φτάσει η θερμοκρασία υγρού αέρα (100% υγρασία) αποκλειστικά λόγω της εξάτμισης νερού

Μετριέται με ένα απλό θερμόμετρο όπου ο βολβός του διατηρείται συνέχεια υγρός (π.χ. τυλίγουμε γύρω του ένα βρεγμένο πανί) όταν εκτίθεται σε διερχόμενο ρεύμα αέρα

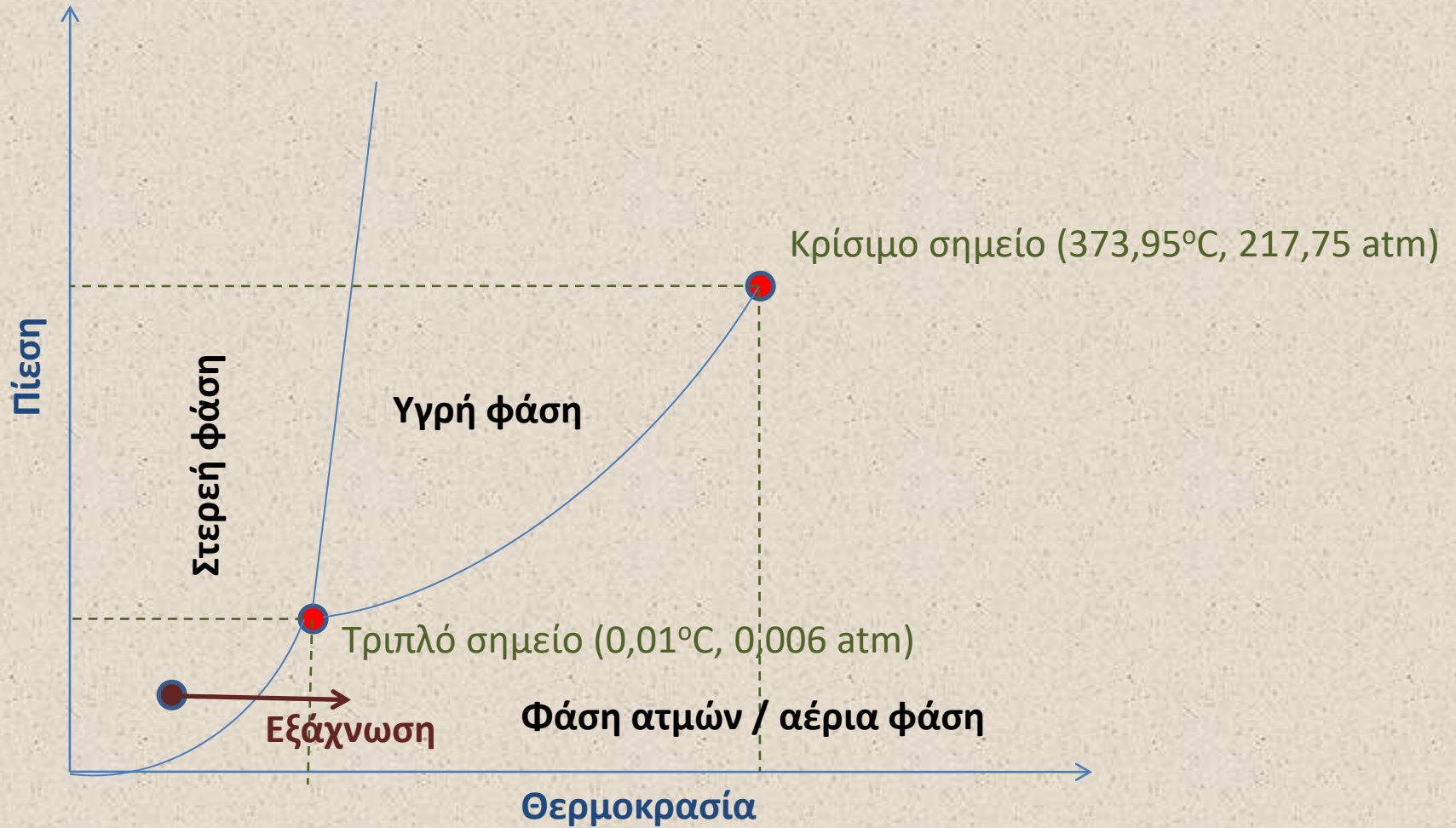
Πρόσθετες πληροφορίες

- Ξήρανση δια καταψύξεως

Βασίζεται στην κατάψυξη του τροφίμου (στους -35°C για περίπου 72 ώρες) ώστε όλο το περιεχόμενο νερό να γίνει πάγος (μετατροπή υγρής σε στερεή φάση).

Η εκτέλεση της διεργασίας πραγματοποιείται σε εξαιρετικά χαμηλές θερμοκρασίες υπό χαμηλή πίεση ώστε να περάσει το νερό κατευθείαν από την στερεή στην αέρια φάση (εξάχνωση) και να διαφύγει μέσω των πόρων του τροφίμου προς την εξωτερική επιφάνεια και στη συνέχεια προς το περιβάλλοντα χώρο.

Πρόσθετες πληροφορίες



Πρόσθετες πληροφορίες

- Ωσμωτική αφυδάτωση

Βασίζεται στην διαφορά της πίεσης που έχει το νερό εντός του τροφίμου σε σχέση με την πίεση που έχει το νερό σε ένα διάλυμα σακχάρου (φρούτα) ή αλατιού (κρέας, λαχανικά).

Το τρόφιμο βαφτίζεται εντός του διαλύματος, η εξωτερική του στοιβάδα λειτουργεί ως εκλεκτική μεμβράνη και λόγω της διαφοράς πίεσης (ώσμωση) απομακρύνεται νερό από το εσωτερικό του τροφίμου προς το διάλυμα ενώ παράλληλα προστίθεται σάκχαρο ή αλάτι από το διάλυμα στο τρόφιμο.

➤ Δεν έχω αλλαγή φάσης

➤ Θυμηθείτε τον τρόπο παρασκευής των σπιτικών γλυκών κουταλιού