



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΧΗΜΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ – ΤΟΜΕΑΣ ΙΙ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΔΙΕΡΓΑΣΙΩΝ

ΜΗΧΑΝΙΚΗ ΦΥΣΙΚΩΝ ΔΙΕΡΓΑΣΙΩΝ Ι & ΙΙ

Εργαστηριακή Άσκηση 2

ΞΗΡΑΝΣΗ

Συνοπτική Παρουσίαση

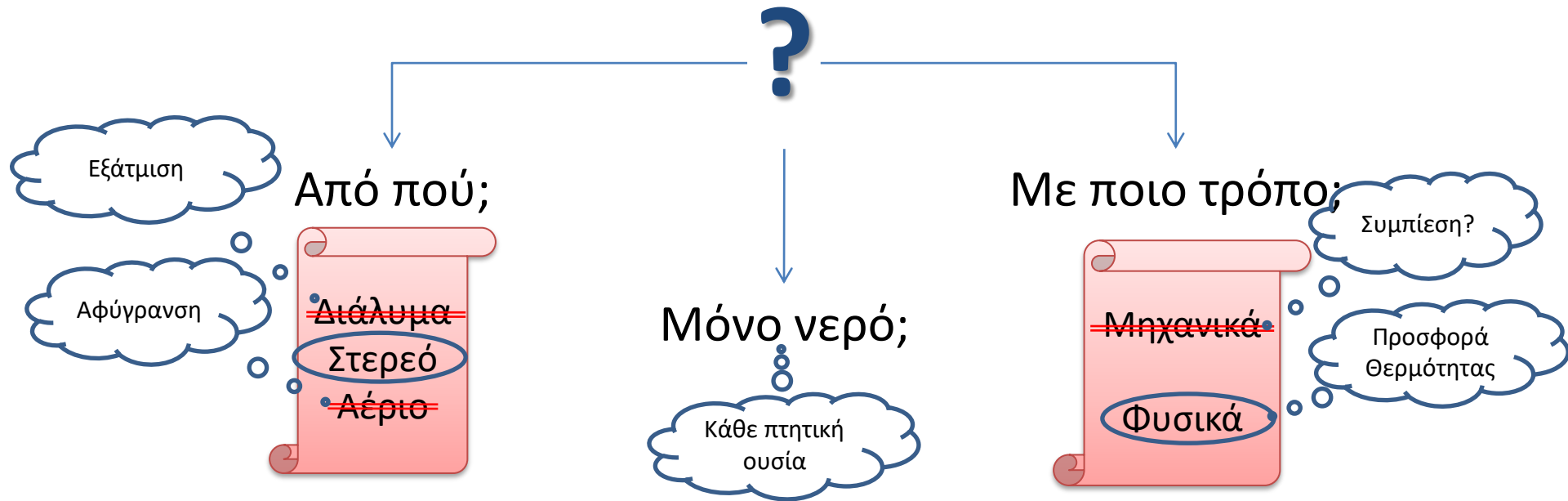
Ακαδημαϊκό Έτος 2023-2024

Ερώτηση

Τι «σημαίνει» 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

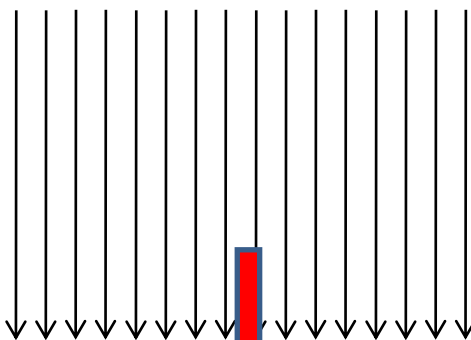
Ξήρανση δειγμάτων φρούτων και λαχανικών με ρεύμα αέρα

Απομάκρυνση
νερού
(αφυδάτωση)

Τρόφιμα

Συναγωγή

- Ελεύθερο νερό
- Δεσμευμένο νερό



Ρεύμα Αέρα

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

Θερμότητα Q

Απομάκρυνση νερού

Μεταφορά
θερμότητας και μάζας

Ζητούμενο:

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

Ποιες παράμετροι επηρεάζουν
την ξήρανση;

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).

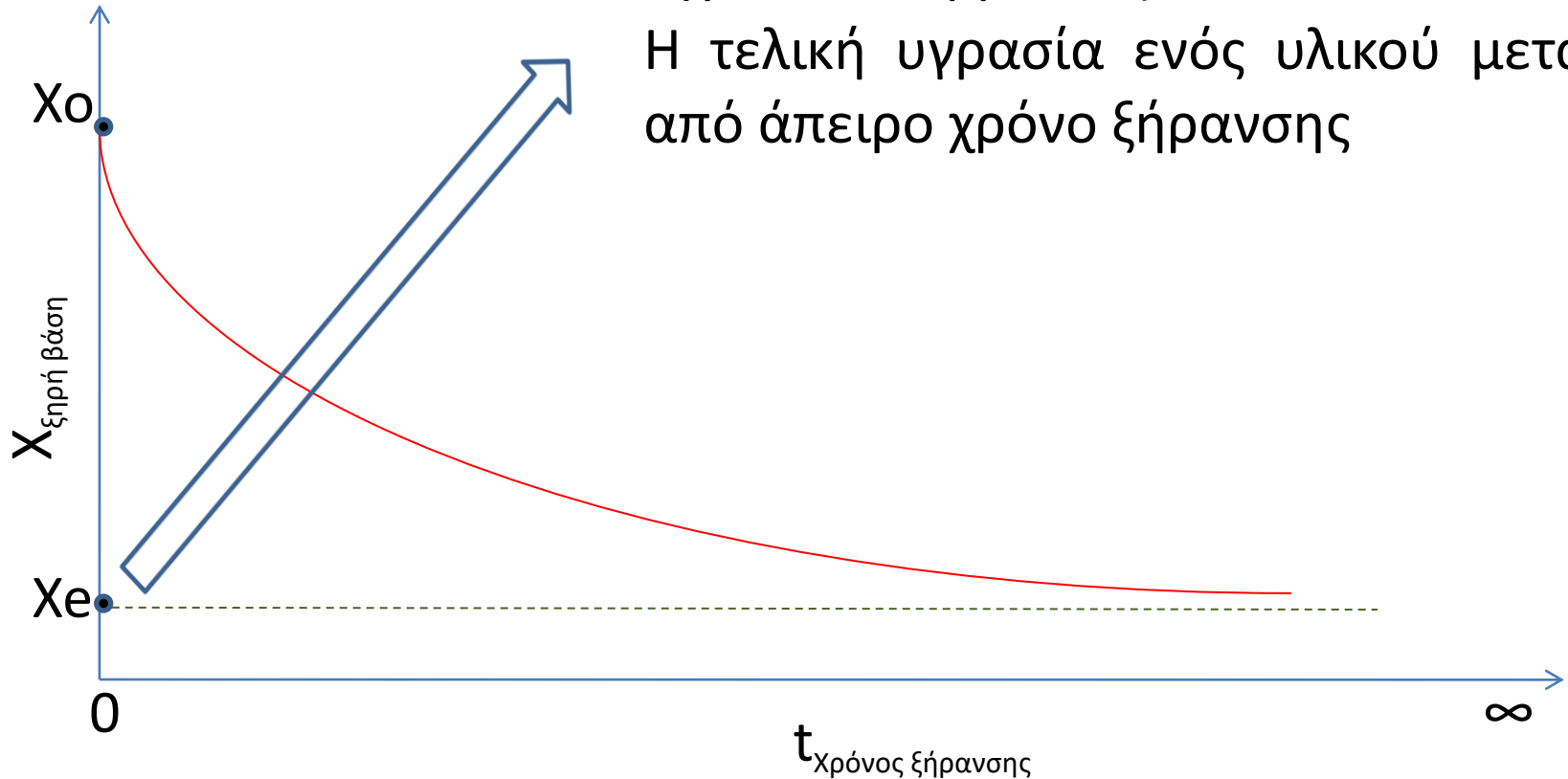
Προσδιορίζεται είτε μέσω πρότυπων μεθόδων ξήρανσης είτε από την βιβλιογραφία

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

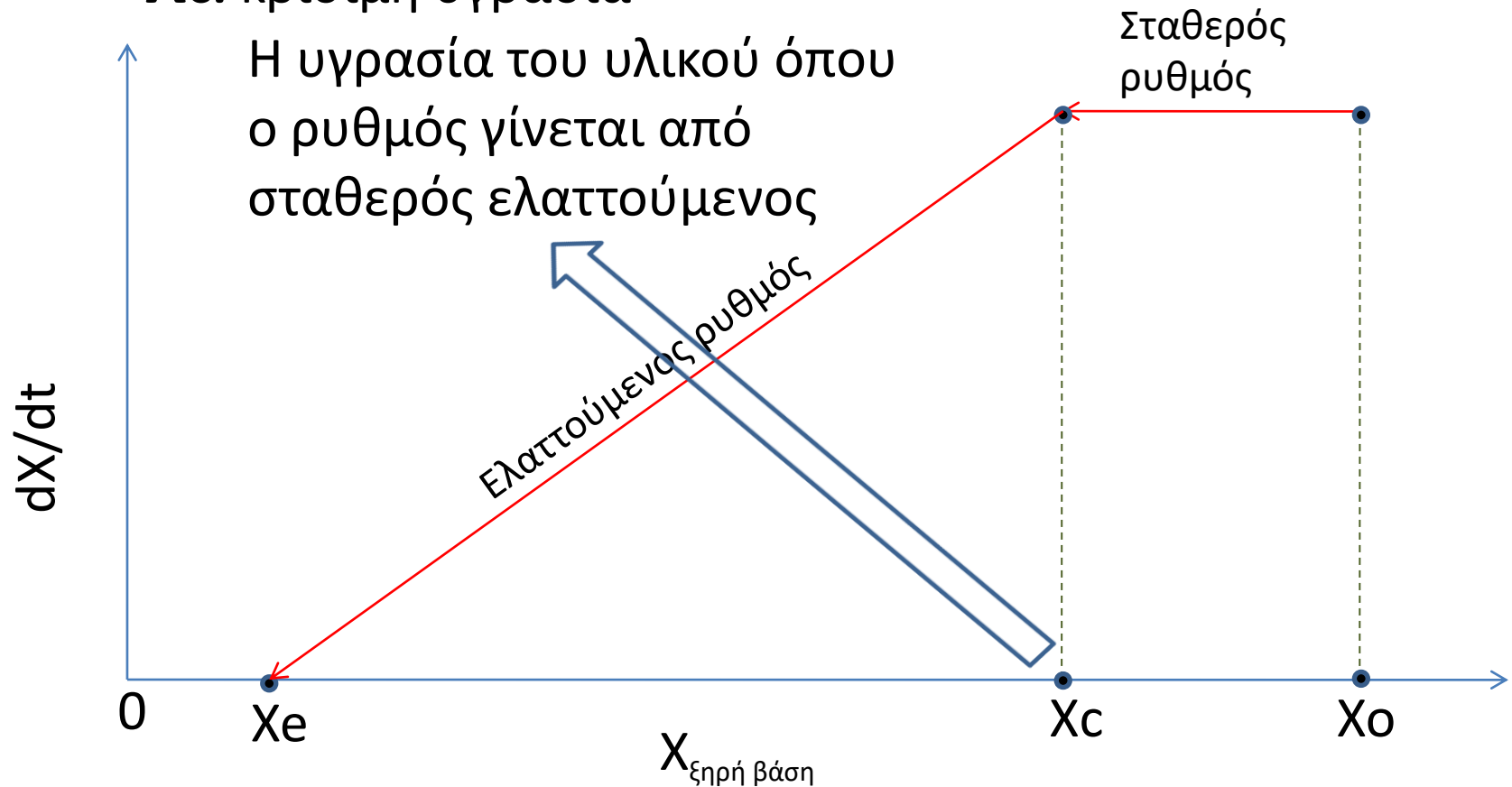


Συνοπτική Θεωρία

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

X_c : κρίσιμη υγρασία

Η υγρασία του υλικού όπου ο ρυθμός γίνεται από σταθερός ελαττούμενος



Συνοπτική Θεωρία

Ο ελαττούμενος 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)

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

ΞΗΡΑΝΤΗΡΑΣ ΑΣΚΗΣΗΣ



Περιλαμβάνει

- 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
- 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.
- Τρεις θέσεις (ράφια) κάθετα στη ροή του αέρα.
Σε αυτά τοποθετούνται τα προς ξήρανση δείγματα
- Υγραντήρα
Πρόκειται για συσκευή η οποία εξατμίζει νερό και στέλνει τους υγρούς ατμούς εντός του θαλάμου ξήρανσης με σκοπό να αυξήσει την υγρασία του αέρα ξήρανσης.
- 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
- Πίνακα ασφαλειών για τον χειρισμό του φυσητήρα, των ηλεκτρικών αντιστάσεων και του υγραντήρα

Βοηθητικός εξοπλισμός

- Ειδικό Μαχαίρι
Για την προετοιμασία των δειγμάτων
- Παχύμετρο
Για την μέτρηση των διαστάσεων των δειγμάτων
- 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

Ενδεικτική πειραματική διαδικασία

1. Με τη βοήθεια ενός ειδικού μαχαιριού δημιουργούμε συγκεκριμένα (σε σχήμα και διαστάσεις) δοκίμια από τα υπό εξέταση υλικά (συνήθως φρούτα ή/και λαχανικά).
2. Κάθε δοκίμιο αξιολογείται ποιοτικά ως προς διάφορες παραμέτρους (π.χ. χρώμα, σχήμα, δομή, ...).
3. Με τη βοήθεια του παχυμέτρου μετράμε τις διαστάσεις που καθορίζουν το σχήμα των δοκιμίων (π.χ. εάν έχουμε κύλινδρο, μετράμε ύψος και διάμετρο).
4. Στη συνέχεια κάθε δοκίμιο ζυγίζεται σε ζυγό και καταγράφεται η μάζα του με ακρίβεια τριών δεκαδικών
5. Τα δοκίμια στη συνέχεια μεταφέρονται εντός του ξηραντήρα σε ένα από τα τρία ράφια. Η εισαγωγή των δοκιμίων στον ξηραντήρα σημαίνει και την έναρξη μέτρησης του χρόνου ξήρανσης.
6. Γίνεται μέτρηση της θερμοκρασίας και της ταχύτητας του αέρα ξήρανσης.
7. Σε συγκεκριμένο χρόνο τα δοκίμια εξέρχονται από τον ξηραντήρα, ζυγίζονται στο ζυγό για την καταγραφή της μάζας τους και επανατοποθετούνται στον ξηραντήρα. Μαζί με τη ζύγιση των δοκιμίων καταγράφεται ξανά η θερμοκρασία και η ταχύτητα του αέρα ξήρανσης.
8. Το παραπάνω βήμα (6) επαναλαμβάνεται σε τακτά χρονικά διαστήματα ανάλογα με το σχεδιασμό του πειράματος.
9. Στο τέλος του πειράματος (α) μετρούνται οι διαστάσεις που καθορίζουν το τελικό σχήμα των δοκιμίων (β) γίνεται εκ νέου ποιοτική αξιολόγηση των δοκιμίων

Μετρήσεις – Αποτελέσματα

1. Όλες οι μετρήσεις κατά τη διάρκεια του πειράματος σημειώνονται υπό μορφή πινάκων

Ενδεικτική μορφή πινάκων

		Διαστάσεις			
		Πριν την ξήρανση		Μετά την ξήρανση	
Δείγμα	Σχήμα	Ύψος (cm)	Διάμετρος (cm)	Ύψος (cm)	Διάμετρος (cm)
Μήλο 1	Κυλινδρικό	3,1	2,1	2,2	1,4
Μήλο 2	Κυλινδρικό	1,7	1,9	1,3	1,4

Χρόνος ξήρανσης (min)	Ξήρανση			
	Μήλο 1	Μήλο 2	T(οC)	u(m/s)
0	10,730	6,464	48,20	2,38
5	10,330	6,160	48,20	2,38
10	9,992	5,903	48,40	2,39
15	9,659	5,666	48,70	2,37
20	9,293	5,425	48,70	2,42
25	8,917	5,175	48,80	2,38
35	8,345	4,785	48,80	2,40
45	7,898	4,464	48,90	2,36
55	7,463	4,176	49,00	2,36
65	7,058	3,909	48,90	2,40
75	6,687	3,638	48,70	2,39
85	6,361	3,409	48,40	2,40
95	6,044	3,200	48,50	2,40
105	5,720	2,992	48,50	2,40

2. Τυχόν παρατηρήσεις (π.χ. χρώμα δοκιμίων, λανθασμένη μέτρηση, ...) σημειώνονται σε ελεύθερο κείμενο κάτω από τους πίνακες

Μετρήσεις – Αποτελέσματα

3. Βασικός στόχος είναι ο προσδιορισμός της κινητικής της ξήρανσης.

- Υπολογίζεται για κάθε δοκίμιο η μάζα των στερεών πριν την ξήρανση (είτε γνωρίζοντας την αρχική υγρασία του δοκιμίου είτε πειραματικά)
- Υπολογίζεται η υγρασία των δοκιμών σε ξηρή βάση ($X_{\xi\beta}$: μάζα νερού/μάζα στερεών) για κάθε χρονική στιγμή
- Υπολογίζεται ο ρυθμός ξήρανσης ($dX_{\xi\beta}/dt$) για κάθε χρονική στιγμή

Ενδεικτικοί τρόποι:

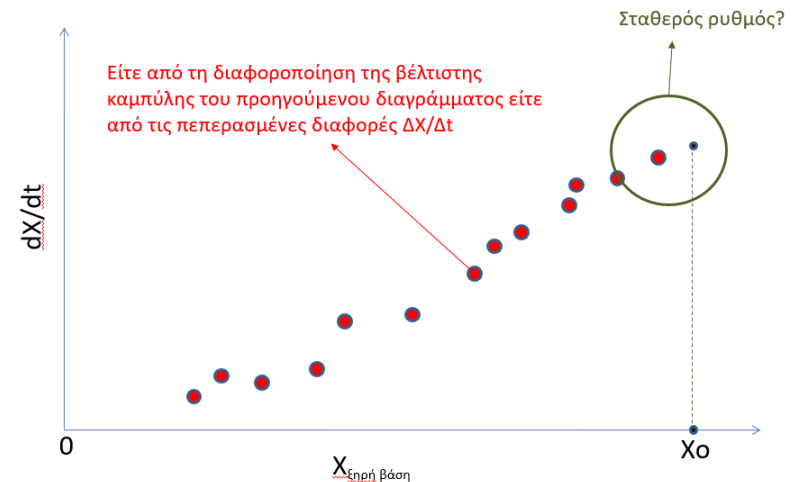
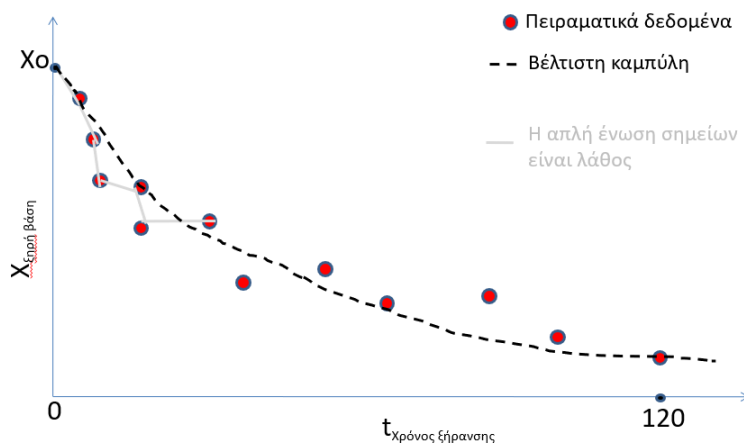
- Μέσω υπολογιστικών εργαλείων (π.χ. Solver). Αυτό προϋποθέτει τη βέλτιστη προσαρμογή καμπύλης στα πειραματικά δεδομένα $X_{\xi\beta}$ και μετά την εύρεση της παραγώγου ως προς το χρόνο (dX_{calc}/dt).

Προσοχή στην επιλογή της καμπύλης

- Μέσω πεπερασμένων διαφορών ανάμεσα στις συνεχόμενες χρονικές στιγμές

$$[dX/dt = \Delta X/\Delta t = (X_n - X_{n-1})/(t_n - t_{n-1})]$$

- Δημιουργούνται τα δύο διαγράμματα (καμπύλη ξήρανσης και καμπύλη ρυθμού ξήρανσης)



Μετρήσεις – Αποτελέσματα

3. Βασικός στόχος είναι ο προσδιορισμός της κινητικής της ξήρανσης.

- Υπολογίζεται για κάθε δοκίμιο η υγρασία ισορροπίας X_e , και η σταθερά ξήρανσης (k)

Ενδεικτικοί τρόποι:

- Μέσω διαγραμμάτων προσεγγιστικά
 - Με τη δημιουργία νέων διαγραμμάτων
 - Με τη βοήθεια της καμπύλης που προσαρμόστηκε στα πειραματικά δεδομένα
- Γίνεται σύγκριση για ομοιότητες/διαφορές ανάμεσα στα εξεταζόμενα δοκίμια αλλά και σε σχέση με τα παρουσιαζόμενα στη διεθνή βιβλιογραφία (π.χ. αναζήτηση επιστημονικών άρθρων στο scopus με λέξεις κλειδιά «air, drying kinetics, ονομασία υλικού» όλες μαζί).

Σημειώνεται ότι τυχόν διαφορές θα πρέπει να εξηγούνται όσο το δυνατόν με σαφήνεια. Η γενική φράση «πειραματικά σφάλματα» πρέπει να αποφεύγεται και να εξειδικεύεται (π.χ. λάθος ανάγνωση των τιμών, αδυναμία μετρητή να σταθεροποιηθεί σε συγκεκριμένη τιμή, λάθος παραδοχή για κ.α.).

4. Σύνδεση πειραματικών μετρήσεων και σχεδιασμού νέας εγκατάστασης.

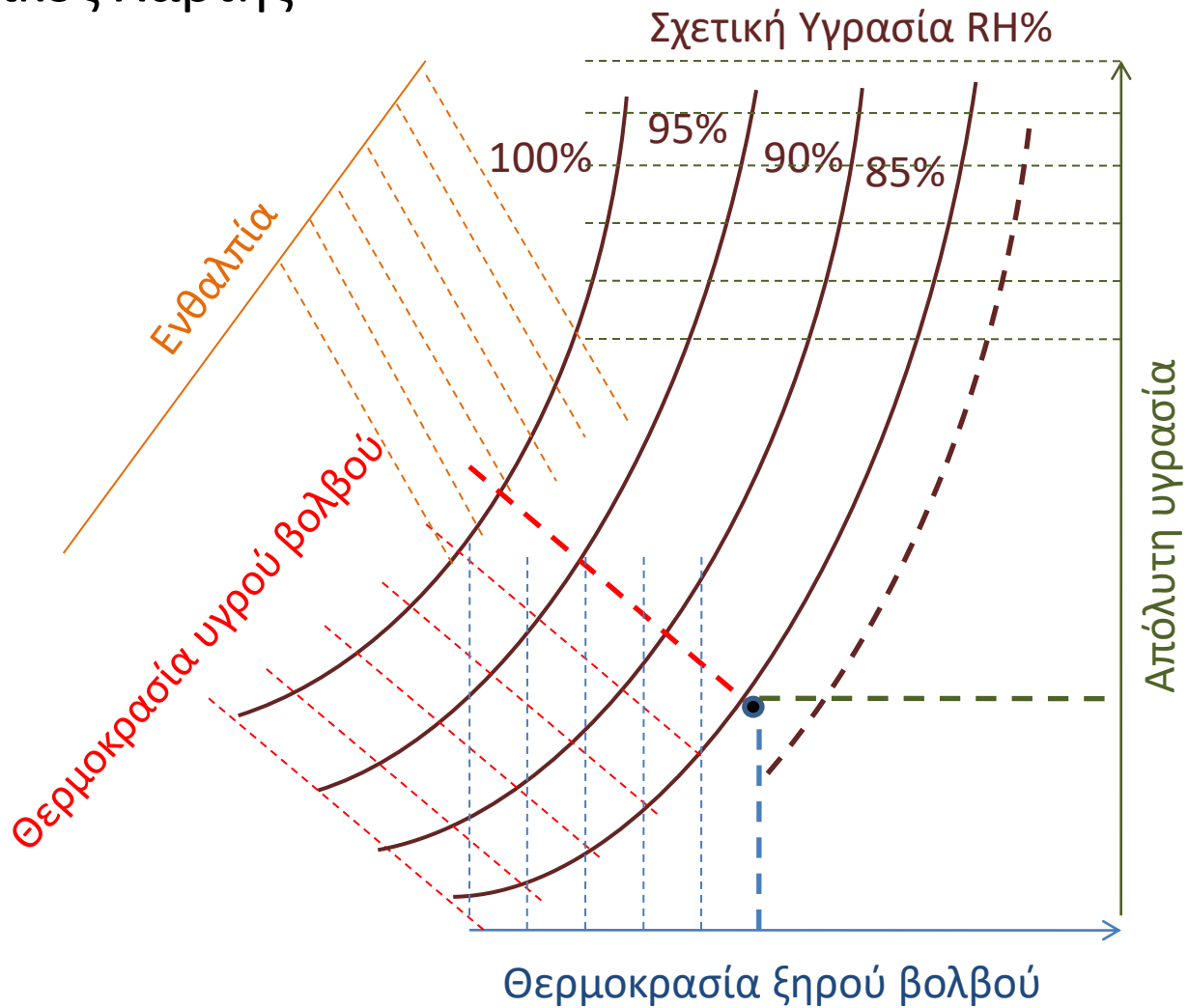
Προτείνεται ο σχεδιασμός ενός θαλάμου ξήρανσης που θα λειτουργεί με τις συνθήκες/παραμέτρους στις οποίες έγινε ή εργαστηριακή άσκηση. Ως προδιαγραφή σχεδιασμού δίνεται η ποσότητα προϊόντος συγκεκριμένης τελικής (μετά την ξήρανση) υγρασίας.

Πρώτη επιδίωξη του μηχανικού σχεδιασμού είναι ο προσδιορισμός:

- του απαιτούμενου χρόνου ξήρανσης
- του ελάχιστου όγκου που πρέπει να έχει ο ξηραντήρας (σημειώνεται αν και δεν είναι ζητούμενο ότι το σχήμα του θαλάμου σε συνδυασμό με την εσωτερική κατανομή του προς ξήρανση υλικού επηρεάζουν την τελική εκτίμηση).

Πρόσθετες πληροφορίες

- Ψυχομετρικός Χάρτης

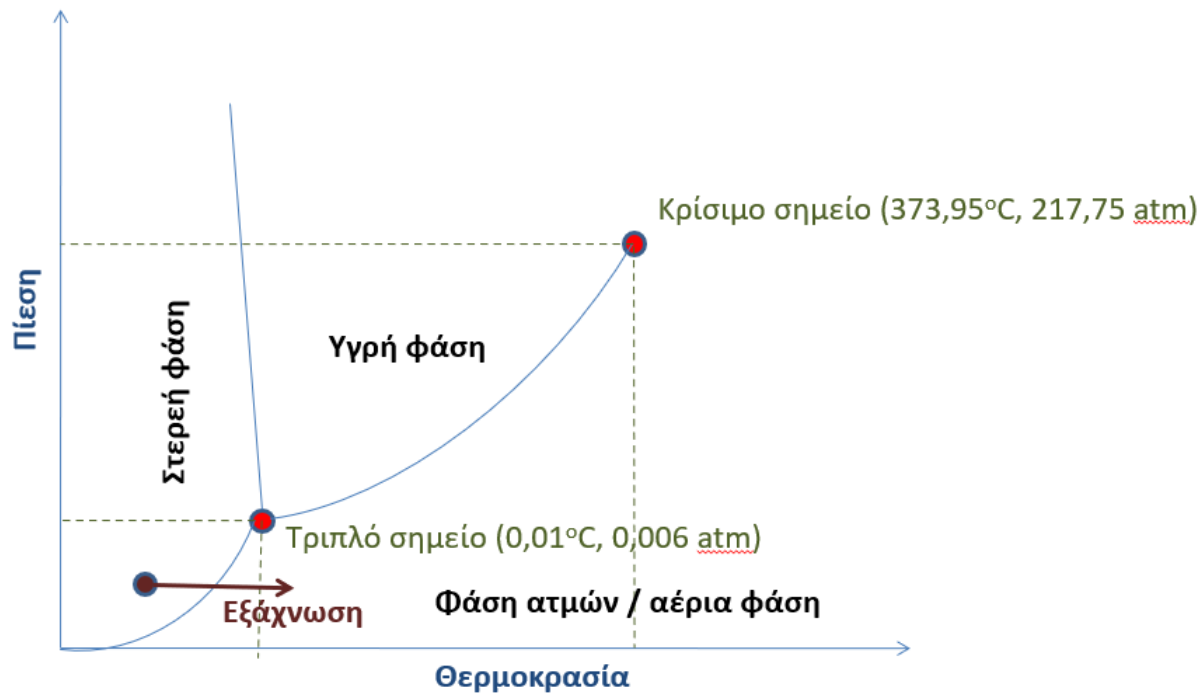


Πρόσθετες πληροφορίες

- 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

- 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 (του νερού που περιέχεται στο δείγμα)

➤ Θυμηθείτε τον τρόπο παρασκευής των σπιτικών γλυκών κουταλιού