

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΕΣ ΣΗΜΕΙΩΣΕΙΣ

Μέτρηση Πυκνότητας Υγρών Τροφίμων & Συσχέτιση με Σακχαροπεριεκτικότητα

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ & ΘΕΜΕΛΙΩΔΕΙΣ ΕΝΝΟΙ

1.1 Ορισμός Πυκνότητας και Σχετικής Πυκνότητας:

- Πυκνότητα (ρ):** Ορίζεται ως ο λόγος της μάζας m ενός υλικού προς τον όγκο V που καταλαμβάνει: $\rho = m / V$ (Μονάδες SI: kg/m^3 ή g/cm^3 / g/mL).
- Σχετική Πυκνότητα (Specific Gravity - SG):** Αδιάστατο μέγεθος που εκφράζει τον λόγο της πυκνότητας του υγρού προς την πυκνότητα του καθαρού νερού υπό καθορισμένες συνθήκες θερμοκρασίας (συνήθως 20°C): $SG = \rho_{\text{υγρού}} / \rho_{\text{νερού}}$.

1.2 Αρχή του Αρχιμήδη & Λειτουργία Αραιόμετρου:

Η μέτρηση της πυκνότητας με αραιόμετρο (υδρόμετρο) βασίζεται στην Αρχή του Αρχιμήδη: «Κάθε σώμα που εμβαπτίζεται πλήρως ή εν μέρει σε ένα ρευστό δέχεται άνωση (F_A) ίση με το βάρος του ρευστού που εκτοπίζει». Όταν ένα αραιόμετρο μάζας M επιπλέει κατακόρυφα σε ισορροπία, το βάρος του εξισώνεται με την άνωση:

$$W = F_A \Rightarrow M \cdot g = \rho_{\text{υγρού}} \cdot V_{\text{βυθ}} \cdot g \Rightarrow M = \rho_{\text{υγρού}} \cdot V_{\text{βυθ}}$$

όπου $V_{\text{βυθ}}$ είναι ο όγκος του τμήματος του οργάνου που βυθίζεται. **Συμπέρασμα:** Όσο μεγαλύτερη είναι η πυκνότητα του υγρού, τόσο μικρότερος είναι ο απαιτούμενος όγκος βύθισης. Συνεπώς, σε πυκνότερα υγρά το αραιόμετρο βυθίζεται λιγότερο (ανεβαίνει ψηλότερα).

2. ΣΥΣΧΕΤΙΣΗ ΠΥΚΝΟΤΗΤΑΣ ΚΑΙ ΣΑΚΧΑΡΟΠΕΡΙΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑΣ

Στα υγρά τρόφιμα (χυμοί, γλεύκος, αναψυκτικά, μέλι), τα διαλυμένα σάκχαρα (γλυκόζη, φρουκτόζη, σακχαρόζη) αποτελούν το κύριο μέρος των ολικών διαλυτών στερεών (TSS). Η προσθήκη σακχάρων στο νερό αυξάνει τη μάζα του διαλύματος σημαντικά περισσότερο από τον όγκο του. Έτσι, η πυκνότητα αυξάνεται γραμμικά με τη συγκέντρωση των σακχάρων.

Κλίμακες Μέτρησης Σακχάρων

Κλίμακα	Ορισμός / Φυσική Σημασία	Πεδίο Εφαρμογής
Degrees Brix ($^\circ\text{Bx}$)	Grams σακχαρόζης ανά 100 g διαλύματος (% w/w) στους 20°C .	Χυμοί, αναψυκτικά, μαρμελάδες, γλεύκος.
Degrees Baumé ($^\circ\text{Bé}$)	Αυθαίρετη κλίμακα. Για γλεύκος: $1^\circ\text{Bé} \approx 1.8\% \text{ w/v}$ σάκχαρα.	Οινολογία, παραδοσιακά οиноποιεία.
Degrees Plato ($^\circ\text{P}$)	Grams εκχυλίσματος ανά 100 g γλεύκους ζύθου.	Ζυθοποιία.
Degrees Oechsle ($^\circ\text{Oe}$)	$^\circ\text{Oe} = (SG - 1.000) \times 1000$. Εκφράζει τη σχετική πυκνότητα.	Οινολογία (Γερμανία, Ελβετία).

3. ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΕΣ ΣΧΕΣΕΙΣ & ΜΕΤΑΤΡΟΠΕΣ (20°C)

- Σχέση $^\circ\text{Brix}$ και Σχετικής Πυκνότητας (SG):** $^\circ\text{Brix} \approx 261.3 \cdot (1 - 1 / SG)$ (Εμπειρικά: $1^\circ\text{Brix} \approx 0.004$ μονάδες SG)
- Σχέση $^\circ\text{Baumé}$ και Σχετικής Πυκνότητας (SG):** $^\circ\text{Bé} = 145 - (145 / SG)$ (για υγρά πυκνότερα του νερού)
- Σχέση $^\circ\text{Brix}$ και $^\circ\text{Baumé}$:** $^\circ\text{Brix} \approx 1.8 \times ^\circ\text{Bé}$

4. ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΙ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ

- Μη Εκλεκτικότητα:** Το αραιόμετρο μετρά τη συνολική πυκνότητα. Άλλα διαλυμένα συστατικά (άλατα, οξέα, πρωτεΐνες) επηρεάζουν την ένδειξη.
- Παρουσία Αλκοόλης:** Κατά τη ζύμωση, η παραγόμενη αιθανόλη ($\rho \approx 0.789 \text{ g/mL}$) μειώνει την πυκνότητα, απαιτώντας διορθωτικούς υπολογισμούς για τον προσδιορισμό των υπολειμματικών σακχάρων.

5. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΟ ΜΕΤΡΗΣΗΣ

Απαιτούμενος Εξοπλισμός

- Αραιόμετρο (π.χ. 0–30 °Brix ή 1.000–1.100 SG)
- Ογκομετρικός Κύλινδρος (250 mL ή 500 mL, ψηλός)
- Εργαστηριακό Θερμόμετρο (ακρίβειας $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$)
- Ποτήρι Ζέσεως (Beaker) 500 mL & Σταγονόμετρο
- Υδροβολέας με απεσταγμένο νερό & χαρτί καθαρισμού

Δείγματα Τροφίμων

- Χυμοί φρούτων (π.χ. πορτοκάλι, μήλο)
- Εμπορικά αναψυκτικά (απανθρακωμένα)
- Νωπό γλεύκος (μούστος) / Αραιωμένο μέλι

⚠ Προφυλάξεις & Κρίσιμα Σημεία Προσοχής

- Ευθραυστότητα:** Τα αραιόμετρα είναι γυάλινα και φέρουν βάρος μολύβδου στον πυθμένα. Χειριστείτε τα με προσοχή.
- Καθαριότητα:** Λίπη στα δάχτυλα μεταβάλλουν την επιφανειακή τάση. Κρατάτε το όργανο μόνο από το πάνω άκρο του στελέχους.
- Φυσαλίδες Αέρα:** Φυσαλίδες προσκολλημένες στο σώμα αυξάνουν την άνωση, προκαλώντας θετικό σφάλμα μέτρησης.

Βήμα-προς-Βήμα Πειραματική Διαδικασία

ΒΗΜΑ 1 Προετοιμασία & Καθαρισμός

Πλύνετε σχολαστικά τον κύλινδρο και το αραιόμετρο με απεσταγμένο νερό και στεγνώστε με χαρτί χωρίς χνούδι. Χειριστείτε το όργανο από την κορυφή του στελέχους.

ΒΗΜΑ 2 Προετοιμασία Δείγματος (Απομάκρυνση CO_2 & Αιωρημάτων)

Για ανθρακούχα υγρά, μεταγγίστε διαδοχικά μεταξύ δύο ποτηριών 5–6 φορές για πλήρη απανθράκωση. Για θολούς χυμούς, διηθήστε μέσω γάζας για απομάκρυνση της σάρκας.

ΒΗΜΑ 3 Πλήρωση του Ογκομετρικού Κυλίνδρου

Γείρετε τον κύλινδρο κατά 45° και ρέετε αργά το υγρό στα τοιχώματα (αποφυγή αφρού) μέχρι τα 3/4 του ύψους του.

ΒΗΜΑ 4 Εισαγωγή & Περιστροφή Αραιόμετρου

Εισάγετε αργά το αραιόμετρο. Δώστε μια ελαφριά περιστροφική κίνηση (στριφογύρισμα) για να απομακρυνθούν τυχόν φυσαλίδες. Βεβαιωθείτε ότι επιπλέει ελεύθερα χωρίς να αγγίζει τα τοιχώματα.

ΒΗΜΑ 5 Ανάγνωση Ένδειξης & Θερμοκρασίας

Φέρτε τα μάτια στο επίπεδο της επιφάνειας του υγρού και διαβάστε την τιμή στη **βάση του μηνίσκου**. Καταγράψτε αμέσως τη θερμοκρασία του δείγματος ($T_{\text{δειγμ}}$).

ΒΗΜΑ 6 Διόρθωση Θερμοκρασίας

Αν $T_{\text{δειγμ}} \neq 20^{\circ}\text{C}$, εφαρμόστε τη διόρθωση: $Brix_{\text{διορθ}} = Brix_{\text{μετρ}} + (T_{\text{δειγμ}} - 20) \cdot c$ (όπου $c \approx 0.06^{\circ}\text{Brix}/^{\circ}\text{C}$).

6. Πρότυπο Φύλλο Καταγραφής Δεδομένων

Παράμετρος Μέτρησης	Δείγμα (Χυμός)	
Θερμοκρασία Δείγματος ($T_{\text{δειγμ}}$)		
Ανεπεξέργαστη Ένδειξη (R_{raw})		
Διόρθωση Θερμοκρασίας (ΔC)		
Τελική Διορθωμένη Τιμή (R_{corr})		

Πίνακας συσχέτισης °Brix – σακχαροπεριεκτικότητας

°Brix	Πυκνότητα (g/mL)	Σάκχαρα (g/L)	°Baumé	°Oechsle	Δυνητικός αλκοολικός βαθμός (% vol)
10	1,040	104	5,6	40	6,1
12	1,048	126	6,7	48	7,4
14	1,057	148	7,8	57	8,7
16	1,065	170	8,9	65	10,0
18	1,074	193	10,0	74	11,4
20	1,083	217	11,1	83	12,7
21	1,087	228	11,7	87	13,4
22	1,092	240	12,2	92	14,1
23	1,097	252	12,8	97	14,8
24	1,101	264	13,3	101	15,5
25	1,106	277	13,9	106	16,3
26	1,111	289	14,4	111	17,0
27	1,115	301	15,0	115	17,7
28	1,120	314	15,5	120	18,4

Πώς υπολογίζονται οι τιμές

- Σάκχαρα (g/L) $\approx$ °Brix $\times$ πυκνότητα $\times$ 10
- Δυνητικός αλκοολικός βαθμός $\approx$ σάκχαρα (g/L) $\div$ 17 (περίπου 17 g/L σακχάρων δίνουν 1% vol)
- °Baumé $\approx$ °Brix $\div$ 1,8
- °Oechsle = (πυκνότητα – 1) $\times$ 1000

Υπολογισμοί

Διόρθωση θερμοκρασίας

Το αραιόμετρο είναι βαθμονομημένο στους 20 °C. Αν η μέτρηση έγινε σε θερμοκρασία T, για χυμούς των 10–13 °Brix ισχύει προσεγγιστικά:

$$\rho_{20} \approx \rho_T + 0,0003 \times (T - 20)$$

Ο συντελεστής 0,0003 g/mL ανά °C είναι προσεγγιστικός. Η πιο αξιόπιστη λύση είναι να γίνεται η μέτρηση όσο πιο κοντά στους 20 °C.

γ) Εκτίμηση % σακχάρων

Από την καμπύλη βαθμονόμησης (ή με γραμμική παρεμβολή ανάμεσα σε δύο γειτονικές τιμές) βρείτε τη % w/w που αντιστοιχεί στην ρ_{20} του χυμού.

Παράδειγμα υπολογισμού

- Ένδειξη στους 23,0 °C: 1,0430 g/mL, $\Delta_0 = 0$.
- $\rho_{20} = 1,0430 + 0,0003 \times (23,0 - 20) = 1,0439 \text{ g/mL}$
- Ο χυμός βρίσκεται ανάμεσα στο 10% (1,0381) και στο 15% (1,0592):

$$\% = 10 + 5 \times (1,0439 - 1,0381) / (1,0592 - 1,0381) = 10 + 5 \times 0,275 \approx 11,4 \text{ \% w/w}$$

δ) Στατιστική επεξεργασία

Υπολογίστε τη μέση τιμή, την τυπική απόκλιση (s) και τη σχετική τυπική απόκλιση:

$$\text{RSD (\%)} = (s / \text{μέση τιμή}) \times 100$$

ε) Σχετικό σφάλμα

Ως προς τιμή αναφοράς (ετικέτα ή βιβλιογραφία):

$$\text{Σχετικό σφάλμα (\%)} = (\text{πειραματική} - \text{αναφοράς}) / \text{αναφοράς} \times 100$$

8. Πιθανές πηγές σφάλματος

- Το αραιόμετρο ακουμπά στα τοιχώματα ή στον πυθμένα του κυλίνδρου.
- Φυσαλίδες που κολλούν στο στέλεχος ή αφρός στην επιφάνεια του χυμού.
- Η ένδειξη λαμβάνεται πριν ηρεμήσει το όργανο.
- Σφάλμα παράλλαξης ή λάθος σημείο ανάγνωσης στο μηνίσκο.
- Λερωμένο ή λιπαρό αραιόμετρο, που αλλάζει το σχήμα του μηνίσκου.
- Ο χυμός δεν είναι θερμοστατημένος και δεν εφαρμόστηκε διόρθωση.
- Πολτός ή ανομοιογενές δείγμα.
- Λάθος στη ζύγιση των διαλυμάτων σακχαρόζης (Μέρος Γ) ή ατελής διάλυση.
- Η ανάγνωση περιορίζεται από την ανάλυση της κλίμακας ($\pm 0,0005 \text{ g/mL}$), οπότε η μέθοδος είναι λιγότερο ακριβής από το πυκνόμετρο.

9. Ερωτήσεις

- Εξηγήστε με βάση την αρχή του Αρχιμήδη γιατί το αραιόμετρο βυθίζεται λιγότερο σε υγρό μεγαλύτερης πυκνότητας.
- Γιατί η κλίμακα του αραιομέτρου έχει τις μεγαλύτερες τιμές στο κάτω μέρος;
- Γιατί το αραιόμετρο πρέπει να επιπλέει ελεύθερο και να μην ακουμπά στα τοιχώματα;
- Πώς επηρεάζει η θερμοκρασία την ένδειξη; Αν μετρήσατε σε 25 °C, η διορθωμένη τιμή θα είναι μεγαλύτερη ή μικρότερη από την ένδειξη; Γιατί;
- Γιατί στους αδιαφανείς χυμούς η ένδειξη λαμβάνεται στο πάνω όριο του μηνίσκου;

6. Ποιες είναι οι διαφορές ακρίβειας ανάμεσα στο αραιόμετρο και το πυκνόμετρο (pycnometer);
7. Αν ένας χυμός νοθευτεί με νερό, πώς θα μεταβληθεί η ένδειξη; Μπορεί η μέθοδος να χρησιμοποιηθεί ως έλεγχος νοθείας;
8. Γιατί τα πραγματικά δείγματα (π.χ. ο χυμός πορτοκαλιού) δεν ταυτίζονται ακριβώς με τα διαλύματα σακχαρόζης της καμπύλης βαθμονόμησης;
9. Συγκρίνετε το αποτέλεσμα σας με τη βιβλιογραφική τιμή και σχολιάστε τη διαφορά.

Πίνακας διόρθωσης Baumé ως προς τη θερμοκρασία

Αραιόμετρο βαθμονομημένο στους 15 °C

Ο πίνακας ισχύει για γλεύκος / διαλύματα ζάχαρης, με προσεγγιστική διόρθωση $\approx 0,05$ °Bé ανά 1 °C.

Κανόνες:

- Θερμοκρασία μεγαλύτερη των 15 °C → **προσθέτεις** τη διόρθωση στην ένδειξη.
- Θερμοκρασία μικρότερη των 15 °C → **αφαιρείς** τη διόρθωση από την ένδειξη.

Θερμοκρασία (°C)	Διόρθωση (°Bé)	Θερμοκρασία (°C)	Διόρθωση (°Bé)
5	-0,50	16	+0,05
6	-0,45	17	+0,10
7	-0,40	18	+0,15
8	-0,35	19	+0,20
9	-0,30	20	+0,25
10	-0,25	21	+0,30
11	-0,20	22	+0,35
12	-0,15	23	+0,40
13	-0,10	24	+0,45
14	-0,05	25	+0,50
15	0,00	26	+0,55
		27	+0,60
		28	+0,65
		29	+0,70
		30	+0,75
		32	+0,85
		34	+0,95
		35	+1,00
		38	+1,15
		40	+1,25

Παράδειγμα: Ένδειξη 12,0 °Bé στους 25 °C → $12,0 + 0,50 = \mathbf{12,5 \text{ °Bé}}$ (στοις 15 °C).

Σημειώσεις:

- Ο πίνακας είναι προσεγγιστικός. Ο ακριβής συντελεστής αλλάζει λίγο με τη συγκέντρωση (περίπου 0,04–0,06 °Bé/°C). Για επίσημες μετρήσεις, φέρε το δείγμα στους 15 °C.
- Για άλλα υγρά (άλμη, οξέα, σιρόπια υψηλής συγκέντρωσης) ο συντελεστής διαφέρει σημαντικά και χρειάζεται ειδικός πίνακας.