



ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

**ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΤΟΞΙΚΩΝ ΚΑΙ ΕΠΙΚΙΝΔΥΜΩΝ
ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ**

**ΑΣΤΙΚΑ ΣΤΕΡΕΑ ΑΠΟΒΛΗΤΑ – ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΚΑΙ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ
ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ**

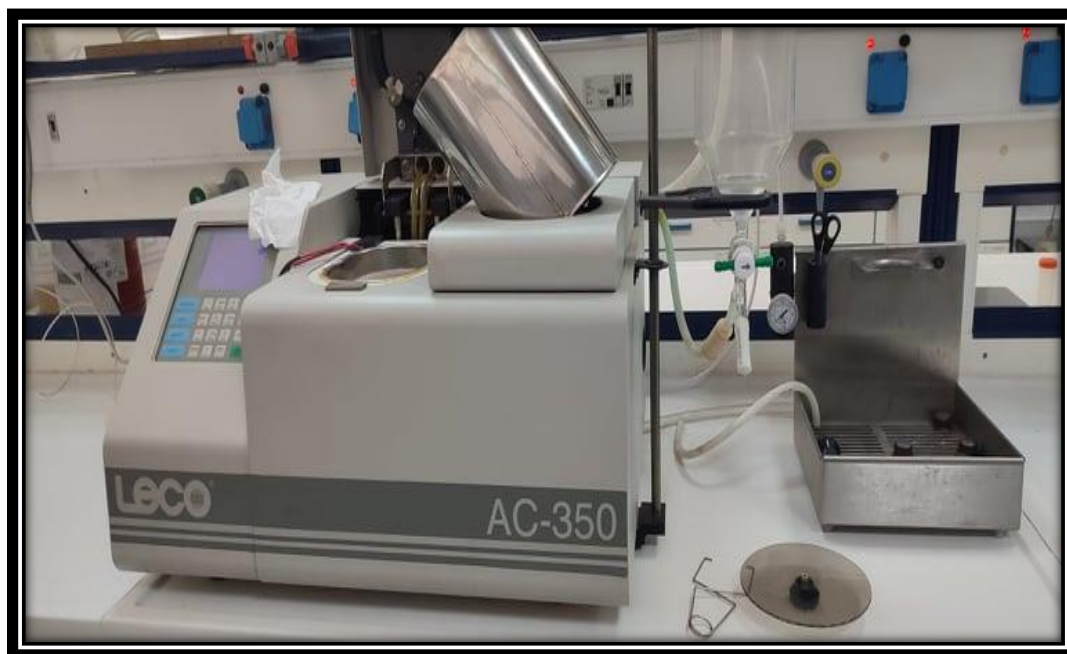
Εργαστήριο 3^ο

<<Θερμογόνος Δύναμη Στερεών Απορριμμάτων >>

Ομάδα 21

Παντής Άγγελος 2018050055

Κυριακή Θεοχάρη 2018050043



1. Τι είναι η θερμογόνος δύναμη (ΘΔ) ενός οργανικού υλικού και σε τι μονάδες μετριέται.

Απάντηση

Ως θερμογόνος δύναμη ενός οργανικού υλικού ορίζεται η θερμική ενέργεια που εκλύεται κατά τη πλήρη και τέλεια καύση του παρουσία οξυγόνου. Η θερμογόνος δύναμη έχει μονάδες ειδικής ενέργειας (kJ/kg) και αναφέρεται είτε σε ξηρό είτε σε φυσικό δείγμα. Όσον αφορά τη μέτρηση στο θερμιδόμετρο, διεξάγεται πάντα επί ξηρού.

2. Εξηγήστε την λειτουργία του θερμιδόμετρου. Η μέτρηση της ΘΔ γίνεται με άμεσο ή έμμεσο τρόπο; Γιατί προτιμάμε να χρησιμοποιούμε το νερό στον κάδο μέσα στον οποίο βάζουμε την οβίδα; Θα μπορούσαμε να βάλουμε και άλλο υγρό εκτός από νερό;

Απάντηση

Η αρχή λειτουργίας του θερμιδόμετρου βασίζεται στην μέτρηση της εκλυόμενης θερμότητας από την πλήρη καύση ενός καυσίμου σε περιβάλλον οξυγόνου.

Στο θερμιδόμετρο, η αντίδραση λαμβάνει χώρα σε ένα ασφαλισμένο δοχείο υπό σταθερό όγκο (οβίδα), το οποίο είναι κατασκευασμένο από χάλυβα υψηλής θερμικής αγωγιμότητας. Συγκεκριμένα, η καύση του ξηρού (και αλεσμένου) δείγματος γίνεται στο εσωτερικό της οβίδας, μέσα σε μεταλλικό δοχείο (κάψα) που στηρίζεται σε μεταλλική στεφάνη.

Η οβίδα είναι εμβυθισμένη σε μεταλλικό δοχείο με συγκεκριμένη ποσότητα νερού. Η θερμότητα που θα εκλυθεί από τη καύση εντός της οβίδας, θα διαπεράσει τα τοιχώματά της και θα απορροφηθεί από το νερό. Η οβίδα και το περιβάλλον νερό, που είναι σε άμεση θερμική επαφή, αποτελούν το σύστημα μέτρησης του θερμιδόμετρου. Η θερμοκρασιακή μεταβολή του νερού μπορεί να μετρηθεί με ακρίβεια, και είναι ενδεικτική του θερμικού περιεχομένου του δείγματος που υποβλήθηκε σε καύση.

Το δοχείο με τον νερό και την οβίδα τοποθετείται εντός ενός δεύτερου δοχείου στη συσκευή μέτρησης. Το σύστημα αυτό περιβάλλεται από μονωμένα τοιχώματα τα οποία εξασφαλίζουν αδιαβατικές συνθήκες λειτουργίας. Για τη μέτρηση της θερμοκρασίας του νερού πριν και μετά τη καύση χρησιμοποιείται θερμόμετρο ακρίβειας.

Πριν ασφαλιστεί και τοποθετηθεί η οβίδα στο δοχείο με το νερό – και ακολούθως το δοχείο στη συσκευή – έχει γίνει κατάλληλη προετοιμασία της οβίδας. Η προετοιμασία περιλαμβάνει τη κατάλληλη τοποθέτηση σύρματος βολφραμίου (καθορισμένου μήκους) και την εισροή οξυγόνου στην οβίδα (μέσω φιάλης), μέχρι η πίεση εντός της να φτάσει περίπου τα 30bar. Προφανώς η κάψα έχει ελεγχθεί ώστε να μην υπάρχουν μικροποσότητες ουσιών ή υγρασίας, που ενδέχεται να αλλοιώσουν το μετρούμενο θερμικό περιεχόμενο του δείγματος κατά τη καύση του. Εντός της οβίδας, η συνύπαρξη της καύσιμης ύλης μαζί με το οξυγόνο και τον σπινθήρα που θα προκληθεί από το σύρμα βολφραμίου, θα προκαλέσει τη καύση.

Συνεπώς, ο προσδιορισμός της θερμογόνου δύναμης της καύσιμης ύλης γίνεται έμμεσα, μέσω του υπολογισμού της μεταβολής θερμοκρασίας του περιβάλλοντος νερού. Το νερό χρησιμοποιείται λόγω της μεγάλης θερμοχωρητικότητας (ειδικής θερμότητας) που το χαρακτηρίζει. Αυτό μεταφράζεται ως μεγάλη ικανότητα αντίστασης στις θερμοκρασιακές μεταβολές, υποδεικνύοντας ότι η μεταβολή της θερμοκρασίας του θα χρειαστεί περισσότερο χρόνο για να αναιρεθεί. Άλλα υγρά με μικρή θερμοχωρητικότητα δεν προσφέρονται για χρήση στο θερμιδόμετρο καθώς δυσχεραίνουν τον προσδιορισμού της μεταβολής θερμοκρασίας. Υποθετικά, θα μπορούσε να βρεθεί κάποιο υγρό με μεγάλη θερμοχωρητικότητα όπως το νερό, αλλά πιθανόν να μην ήταν τόσο προσιτό και οικονομικό.

3. Το θερμιδόμετρο υπολογίζει την ΑΘΔ. Εάν σας δίνονται οι τιμές ΑΘΔ των ξηρών υλικών για τις 4 κατηγορίες ΑΣΑ που εξετάστηκαν στο πρώτο εργαστήριο υπολογίστε την κατώτερη θερμογόνο δύναμη επί του φυσικού δείγματος για τις 4 κατηγορίες ΑΣΑ.

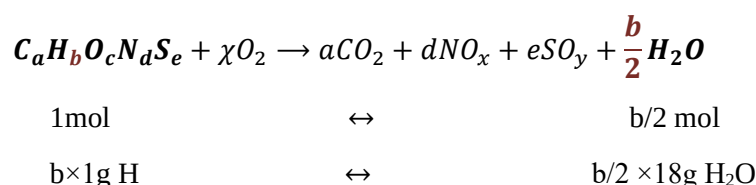
Απάντηση

Πειραματικές μετρήσεις (eclass)

Κατηγορία ΑΣΑ	Χαρτί	Πλαστικό	Ζυμώσιμα	ΔΥΞΛ
Α.Θ.Δ. (cal/g)	4450	8250	4100	5200
Α.Θ.Δ. (kJ/kg)	18631	34541	17166	21771
Υγρασία %	15,97	2,91	74,20	12,00
H%	5,62	7,49	5,94	5,97

Οι μετρήσεις του θερμιδόμετρου αναφέρονται στην ανώτερη θερμογόνο δύναμη του ξηρού δείγματος, καθώς μαζί με τη θερμότητα της καύσης παρεμβάλλεται και η λανθάνουσα θερμότητα αλλαγής φάσης των υδρατμών (από την αέρια στην υγρή).

Η Κ.Θ.Δ. (επί ξηρού) ισούται με την Α.Θ.Δ. μείον την λανθάνουσα θερμότητα συμπύκνωσης του νερού. Η λανθάνουσα θερμότητα υπολογίζεται με τη βοήθεια της στοιχειομετρίας της καύσης. Συγκεκριμένα, για τη καύση ξηρού οργανικού δείγματος ισχύει:



Άρα για κάθε 1g H του δείγματος προκύπτουν 9g H₂O

Γνωρίζοντας τη περιεκτικότητα του δείγματος σε υδρογόνο, μάζα του νερού που δημιουργείται από τη καύση υπολογίζεται ως:

$$m_{H_2O} = 9 \times H\% \times \Delta h_{L,H_2O} = 9 \times H\% \times 2509$$

Αντικαθιστώντας τη μέτρηση του ποσοστού H σε κάθε δείγμα βρίσκεται η Κ.Θ.Δ από τη σχέση:

$$K\Theta\Delta = A\Theta\Delta - 9 \times H\% \times 2509$$

Ενδεικτικά για το ξηρό δείγμα χαρτιού:

$$K\Theta\Delta = 18631 \text{ kJ/kg} - 9 \times 0,0562 \times 2509 \text{ kJ/kg} = 17362 \text{ kJ/kg}$$

Κατηγορία ΑΣΑ	Χαρτί	Πλαστικό	Ζυμώσιμα	ΔΥΞΛ
Α.Θ.Δ. (kJ/ dry kg)	18631	34541	17166	21771
Κ.Θ.Δ. (kJ/ dry kg)	17362	32850	15825	20423

Τα δείγματα μετρούνται σε ξηρή μορφή, αλλά στη μορφή που συναντώνται στη φύση έχουν υγρασία. Η ΚΘΔ επί φυσικού δείγματος υπολογίζεται λαμβάνοντας υπόψη την υγρασία κάθε δείγματος.

$$K\Theta\Delta_{\text{φυσικό}} = K\Theta\Delta_{\text{ξηρό}} \times (1 - \text{Υγρασία}\%)$$

Για το δείγμα χαρτιού: $K\Theta\Delta_{\text{φυσικό}} = 17362 \text{ kJ/kg} \times (1 - 0,1597) = 14589 \text{ kJ/kg}$

Κατηγορία ΑΣΑ	Χαρτί	Πλαστικό	Ζυμώσιμα	ΔΥΞΛ
Κ.Θ.Δ. (kJ/ dry kg)	17362	32850	15825	20423
Κ.Θ.Δ. (kJ/ kg)	14589	31894	4083	17972

Όπως ήταν αναμενόμενο, τα φυσικά δείγματα εμφανίζουν μικρότερη (Κ)ΘΔ από τα ξηρά, λόγω της υγρασίας. Η αλλαγή φάσης του νερού από την υγρή στην αέρια φάση (λόγω της καύσης) θα απορροφήσει ένα ποσό της θερμότητας που θα εκλυόταν στο περιβάλλον.

Όσο αυξάνεται η υγρασία, τόσο μειώνεται η κατώτερη θερμογόνος δύναμη του υλικού. Παραδείγματα αποτελούν τα δείγματα των ζυμώσιμων και του πλαστικού, όπου λόγω μεγάλου και μικρού ποσοστού υγρασίας παρουσιάζουν μεγάλη και μικρή αντίστοιχα μείωση της ΚΘΔ από το ξηρό στο φυσικό δείγμα.

- 4. Με το θερμιδόμετρο μετράμε την ΑΘΔ ενώ στην πράξη μας ενδιαφέρει η ΚΘΔ. Εξηγήστε ποια είναι η διαφορά κατώτερης και ανώτερης θερμογόνου δύναμης. Σε τι μορφή είναι το νερό σε κάθε περίπτωση;**

Απάντηση

Το θερμιδόμετρο μετρά την ΑΘΔ σε cal/g. Η ΑΘΔ περιλαμβάνει μαζί με τη θερμότητα λόγω καύσης τη θερμότητα υγροποίησης των υδρατμών που προέκυψαν από τη καύση του δείγματος. Συγκεκριμένα, όταν το στοιχειακό υδρογόνο του δείγματος ενωθεί με το οξυγόνο που παρέχεται για να γίνει η καύση, σχηματίζονται υδρατμοί (H_2O σε αέρια φάση). Οι υδρατμοί συμπυκνώνονται λόγω της θερμοκρασίας περιβάλλοντος ($20^{\circ}C$, 30bar). Έτσι, κατά την υγροποίηση των ατμών, η λανθάνουσα θερμότητα προστίθεται στη, υπάρχουσα θερμότητα λόγω καύσης.

Αέρια προϊόντα καύσης: H_2O , CO_2 , NO , NO_2 , $SO_2 \rightarrow$ το H_2O υγροποιείται

Η ΚΘΔ υπολογίζεται αφαιρώντας από την ΑΘΔ το ποσό της θερμότητας που αντιστοιχεί στη θερμότητα που εκλύεται λόγω αλλαγής φάσης του νερού. Για τον προσδιορισμό της απαιτείται γνώση της περιεκτικότητας του δείγματος σε υδρογόνο.

- 5. Επιλέξτε την σωστή απάντηση στα παρακάτω ερωτήματα.**

- **Η αρχή λειτουργίας ενός θερμιδομέτρου είναι:**

A. Καίγεται ένα οργανικό υλικό με περίσσεια οξυγόνου και γίνεται μέτρηση της θερμότητας, που εκλύεται με έμμεσο τρόπο μέσω της αύξησης της θερμοκρασίας του δείγματος που εξετάζουμε.

Λάθος, δεν γίνεται μέτρηση θερμοκρασίας του ίδιου του δείγματος.

B. Καίγεται ένα οργανικό υλικό με περίσσεια οξυγόνου και γίνεται μέτρηση της θερμότητας που εκλύεται με έμμεσο τρόπο μέσω της αύξησης της θερμοκρασίας του νερού που περιβάλλει την οβίδα μέσα στην οποία καίγεται το δείγμα.

Σωστό

Γ. Καίγεται ένα οργανικό υλικό με περίσσεια οξυγόνου και γίνεται μέτρηση της θερμότητας που εκλύεται με άμεσο τρόπο μέσω της αύξησης της θερμοκρασίας του χώρου (οβίδα) μέσα στην οποία καίγεται το δείγμα που εξετάζουμε.

Λάθος, η μέτρηση της θερμότητας γίνεται έμμεσα με μέτρηση διαφοράς θερμοκρασίας του περιβάλλοντος νερού της οβίδας.

- Δείγμα τροφικών υπολειμμάτων (ζυμώσιμα) έχουν θερμογόνο δύναμη ΚΘΔ (επί ξηρού) 4000cal/g. Η θερμογόνος δύναμη του φυσικού υλικού (πριν τη ξήρανση), αν η υγρασία είναι 80%, είναι:

A. <4000 cal/g

B. = 4000 cal/g

Γ. > 4000 cal/g

Η θερμογόνος δύναμη στα φυσικά δείγματα (πριν υποστούν ξήρανση) είναι μικρότερη από ότι στα ξηρά. Η μείωση της θερμογόνου δύναμης οφείλεται στην ύπαρξη υγρασίας, και όσο περισσότερη υγρασία υπάρχει, τόσο λιγότερη θα είναι και η θερμογόνος δύναμη του δείγματος.

Στα δείγματα των ζυμώσιμων συναντάται το μεγαλύτερο ποσοστό υγρασίας, επομένως η ΚΘΔ του φυσικού δείγματος του παραδείγματος θα είναι πολύ μικρότερη από 4000cal/g ($4000 \times (1 - 0,8) = 800\text{cal/g}$).

- Στο θερμιδόμετρο το δείγμα μπαίνει σε μια οβίδα από χάλυβα με θερμική αγωγιμότητα:

A. Υψηλή για να μην επιτρέπεται η ανταλλαγή θερμότητας.

Υψηλή θερμική αγωγιμότητα επιτρέπει τη διέλευση θερμότητας δια μέσω του υλικού

B. Χαμηλή για να μην επιτρέπεται η ανταλλαγή θερμότητας και το σύστημα να είναι μονωμένο.

Ένα μονωμένο σύστημα δεν θα επέτρεπε τον έμμεσο προσδιορισμό της ΑΘΔ.

Γ. Υψηλή για να επιτρέπεται η ανταλλαγή θερμότητας.

Η ανταλλαγή θερμότητας μεταξύ τοιχωμάτων οβίδας και νερού πρέπει να γίνεται όσο το δυνατόν χωρίς απώλειες, γι' αυτό το υλικό της οβίδας πρέπει να έχει υψηλή θερμική αγωγιμότητα. Χαμηλή αγωγιμότητα έχει το εξωτερικό του οργάνου, για να μην υπάρχει ανταλλαγή θερμότητας με το περιβάλλον

Βιβλιογραφία

- Αστικά Στερεά Απόβλητα: Διαχείριση και Σχεδιασμός Συστημάτων, Εργαστηριακές σημειώσεις, Πολυτεχνείο Κρήτης
- Κομίλης Δ., Διαχείριση και Μηχανική Στερεών Αποβλήτων, 2^η Έκδοση, Τζιόλα, 2021