

2. Φυσική της καπνοδόχου

Εισαγωγή

Τα παράγωγα αέρια της καύσης ελευθερώνονται στην ατμόσφαιρα θερμοκρασίας T_{Air} διαμέσου μιας υψηλής καπνοδόχου εμβαδού διατομής A και ύψους h (δες εικ. 1). Ένα στερεό καίγεται στον κλίβανο ο οποίος βρίσκεται σε θερμοκρασία T_{Smoke} . Ο όγκος των αερίων που παράγονται ανά μονάδα χρόνου στον κλίβανο είναι B .

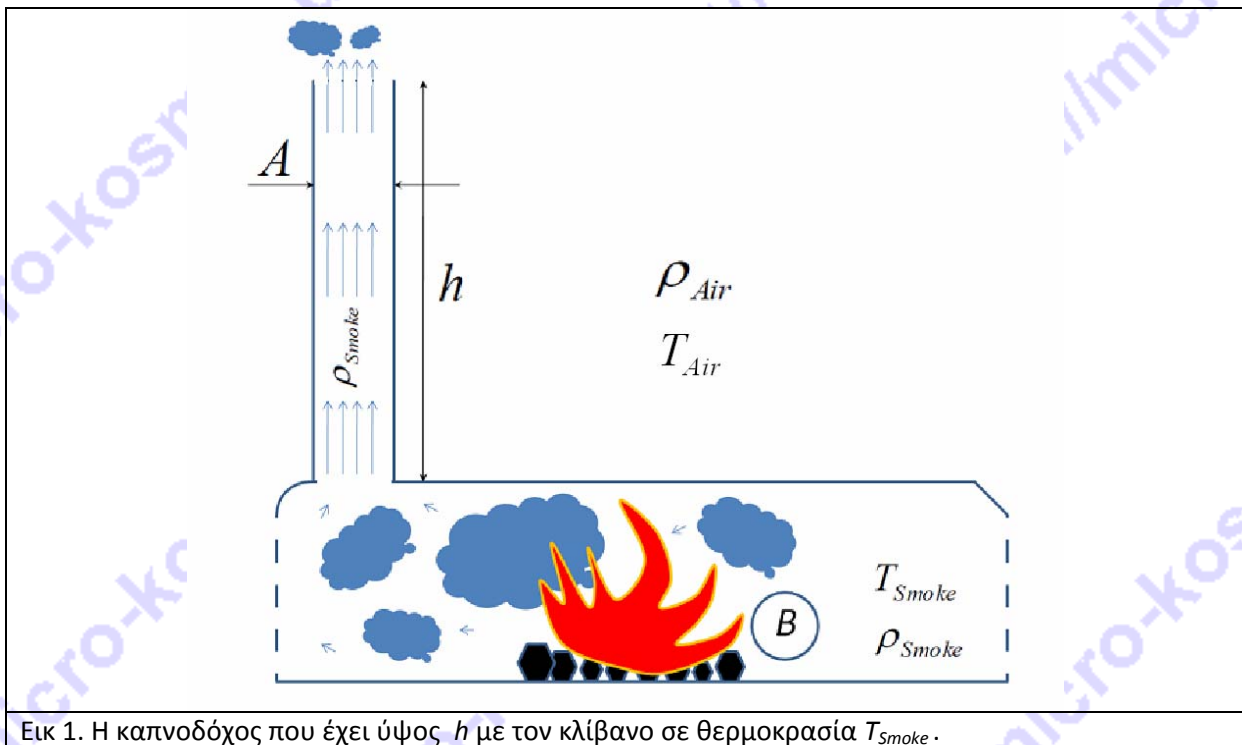
Υποθέστε ότι:

- Η ταχύτητα των αερίων στον κλίβανο είναι αμελητέα
- Η πυκνότητα των αερίων (καπνός) δεν διαφέρει από την πυκνότητα του αέρα στην ίδια θερμοκρασία και πίεση. Το αέριο στον κλίβανο μπορεί να θεωρηθεί ιδανικό
- Η πίεση του αέρα αλλάζει με το ύψος σύμφωνα με το νόμο της υδροστατικής. Η μεταβολή της πυκνότητας του αέρα με το ύψος είναι αμελητέα
- Η ροή των αερίων ικανοποιεί την εξίσωση του Bernoulli σύμφωνα με την οποία η παρακάτω ποσότητα διατηρείται σε όλα τα σημεία της ροής:

$$\frac{1}{2} \rho v^2(z) + \rho g z + p(z) = \text{σταθ},$$

όπου ρ η πυκνότητα του αερίου, $v(z)$ η ταχύτητά του, $p(z)$ η πίεση, και z το ύψος

- Η μεταβολή της πυκνότητας του αερίου από την αρχή μέχρι το τέλος της καπνοδόχου είναι αμελητέα.



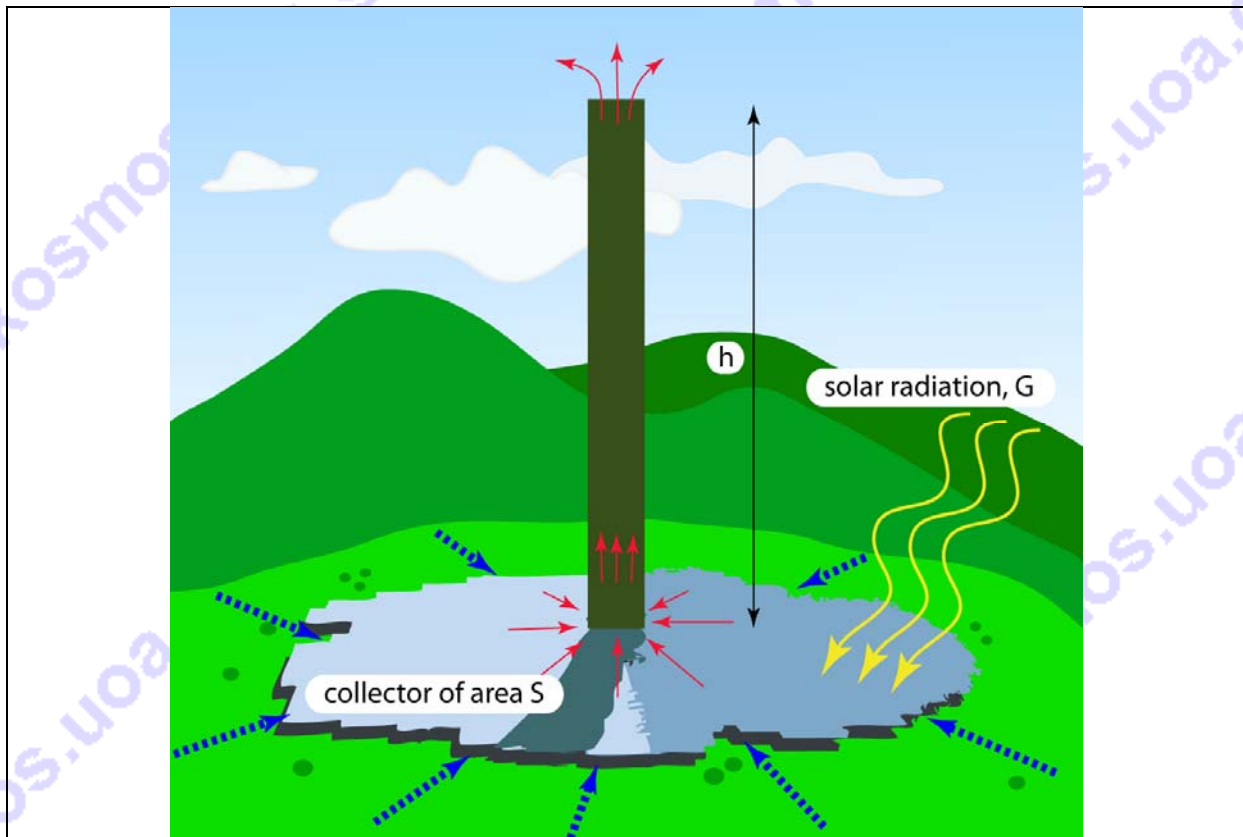
Εικ 1. Η καπνοδόχος που έχει ύψος h με τον κλίβανο σε θερμοκρασία T_{Smoke} .

Ζήτημα 1

- a) Ποιο είναι το ελάχιστο ύψος της καπνοδόχου ώστε να λειτουργεί αποδοτικά, έτσι ώστε να μπορεί να ελευθερώνει στην ατμόσφαιρα όλα τα αέρια που παράγονται; Εκφράστε το αποτέλεσμα συναρτήσει των B , A , T_{Air} , $g=9.81\text{m/s}^2$, $\Delta T=T_{Smoke}-T_{Air}$. **Σημαντικό: Σε όλα τα επόμενα ζητήματα υποθέστε ότι αυτό το ελάχιστο ύψος είναι το ύψος της καπνοδόχου.** (3.5 μόρια).
- b) Υποθέστε ότι δύο καπνοδόχοι κατασκευάστηκαν για τον ίδιο σκοπό. Οι διατομές τους είναι πανομοιότυπες, αλλά σχεδιάστηκαν για να λειτουργούν σε διαφορετικά μέρη του κόσμου: Η μια σε ψυχρές περιοχές, όπου σχεδιάστηκε να λειτουργεί με μέση ατμοσφαιρική θερμοκρασία -30°C και η άλλη σε θερμές περιοχές, όπου σχεδιάστηκε να λειτουργεί με μέση ατμοσφαιρική θερμοκρασία $+30^{\circ}\text{C}$. Η θερμοκρασία της κλιβάνου είναι 400°C . Υπολογίστηκε ότι το ύψος της καπνοδόχου που σχεδιάστηκε να λειτουργεί σε ψυχρές περιοχές είναι 100 m. Πόσο είναι το ύψος της καπνοδόχου που σχεδιάστηκε να λειτουργεί σε θερμές περιοχές; (0.5 μόρια).
- c) Εξηγήστε αν μεταβάλλεται η ταχύτητα των αερίων κατά μήκος της καπνοδόχου. Να κάνετε ένα σχεδιάγραμμα υποθέτοντας ότι η διατομή της καπνοδόχου δεν αλλάζει με το ύψος. Σημειώστε το σημείο όπου τα αέρια εισέρχονται στην καπνοδόχο. (0.6 μόρια).
- d) Πώς μεταβάλλεται η πίεση των αερίων κατά μήκος της καπνοδόχου; (0.5 μόρια).

Ηλιακό εργοστάσιο παραγωγής ισχύος

Η ροή των αερίων στην καπνοδόχο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την κατασκευή ενός ειδικού συστήματος ηλιακού εργοστασίου παραγωγής ισχύος (με ηλιακή καπνοδόχο). Η ιδέα φαίνεται στην Εικ. 2. Ο ήλιος θερμαίνει τον αέρα κάτω από το συλλέκτη (collector) ο οποίος έχει εμβαδόν S και αφήνει περιμετρικά ένα άνοιγμα που επιτρέπει την απρόσκοπτη ροή του αέρα προς την καπνοδόχο (δες Εικ. 2). Καθώς ο θερμός αέρας ανεβαίνει την καπνοδόχο (λεπτά συνεχόμενα βέλη), κρύος αέρας εισέρχεται στο συλλέκτη από το περιβάλλον (χοντρά διακεκομμένα βέλη), επιτρέποντας συνεχή ροή αέρα διαμέσου της καπνοδόχου. Η ροή του αέρα διαμέσου της καπνοδόχου θέτει σε λειτουργία μια τουρμπίνα, η οποία παράγει ηλεκτρική ενέργεια. Η ηλιακή ενέργεια ανά μονάδα χρόνου και ανά μονάδα οριζόντιας επιφάνειας του συλλέκτη είναι G . Υποθέστε ότι όλη η ενέργεια μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να θερμάνει τον αέρα στο συλλέκτη (η ειδική θερμότητα του αέρα είναι c , και μπορείτε να αγνοήσετε την εξάρτησή της από τη θερμοκρασία του αέρα). Ορίζουμε την απόδοση της ηλιακής καπνοδόχου ως ο λόγος της κινητικής ενέργειας του ρέοντος αερίου προς την ηλιακή ενέργεια που απορροφάται για τη θέρμανση του αέρα πριν την είσοδό του μέσα στην καπνοδόχο.



Εικ2. Ηλιακό εργοστάσιο παραγωγής ισχύος.

Ζήτημα 2

- Ποιός είναι ο συντελεστής απόδοσης της ηλιακής καπνοδόχου; (2.0 μόρια)
- Σχεδιάστε ένα διάγραμμα που να δείχνει πώς ο συντελεστής απόδοσης της ηλιακής καπνοδόχου μεταβάλλεται με το ύψος της. (0.4 μόρια)

Το πρότυπο Manzanares

Το πρωτότυπο μιας καπνοδόχου που κτίστηκε στη Manzanares, στην Ισπανία, είχε ύψος 195 m και ακτίνα διατομής 5 m. Ο συλλέκτης σε σχήμα κύκλου είχε διάμετρο 244 m. Η ειδική θερμότητα του αέρα κάτω από τυπικές συνθήκες λειτουργίας της πρωτύπου ηλιακής καπνοδόχου είναι 1012 J/Kg.K , η πυκνότητα του θερμού αέρα είναι περίπου 0.9 kg/m^3 , και η τυπική θερμοκρασία της ατμόσφαιρας είναι $T_{Air} = 295 \text{ K}$. Στη Manzanares, η ηλιακή ισχύς ανά μονάδα οριζόντιας επιφάνειας είναι περίπου 150 W/m^2 , κατά διάρκεια μιας ηλιόλουστης μέρας.

Ζήτημα 3

- Από ποιά σχέση δίνεται ο συντελεστής απόδοσης της πρώτυπης ηλιακής καπνοδόχου; Γράψτε και την αριθμητική εκτίμησή σας (0.3 points)
- Να υπολογίσετε την ισχύ που μπορεί να παράγει η πρώτυπη ηλιακή καπνοδόχος; (0.4 points)

- c) Να υπολογίσετε την ενέργεια που μπορεί να παράγεται από την πρωτότυπη ηλιακή καπνοδόχο, κατά τη διάρκεια μιας ηλιόλουστης μέρας (0.3 μόρια)

Ζήτημα 4

- a) Ποιά η διαφορά θερμοκρασίας του αέρα που εισέρχεται στην καπνοδόχο (θερμός αέρας) από τον περιβάλλοντα αέρα πριν εισέλθει στο συλλέκτη (ψυχρός αέρας); Γράψτε τον τελικό τύπο και την αριθμητική σας εκτίμηση για την πρώτυπη καπνοδόχο. (1.0 μόρια)
- b) Να υπολογίσετε τη μάζα του αέρα που ρέει στο σύστημα ανά μονάδα χρόνου. (0.5 μόρια)