Μικρομηχανικός αισθητήρας ροής βρίσκεται τοποθετημένος σε τοίχωμα σωλήνα.

Α) Έστω επιθυμητό μετρητικό πεδίο 0 – 100 lt / min (SLPM). Ποια συνθήκη πρέπει να ισχύει έτσι ώστε να είναι εξασφαλισμένη η σωστή λειτουργία του αισθητήρα στο πεδίο αυτό;

Β) Για παροχή 50 Lt/min να βρεθεί η μέγιστη και η μέση ταχύτητα ροής εντός του σωλήνα.

Γ) Έστω η συνάρτηση μεταφοράς του αισθητήρα $V(Q)=A_0 + A_1 \cdot Q + A_2 \cdot Q^2 + A_3 \cdot Q^3$ με
$A_0 = 2\text{mV}$, $A_1 = 5\text{ mV / (L/min)}$, $A_2 = 2\text{ mV / (L/min)}^2$, $A_3 = -1\text{ mV / (L/min)}^3$

i) Ποια η ευαισθησία του αισθητήρα S(Q); Που γίνεται αυτή μέγιστη;

ii) Να ορίσετε το μετρητικό πεδίο του αισθητήρα

Δ) Η απόκριση του αισθητήρα θα είναι ίδια αν τοποθετηθεί σε ενδιάμεσο σημείο του σωλήνα και όχι στο τοίχωμα;

Ε) Έστω ότι μειώνεται η διάμετρος του σωλήνα από D_1= σε D_2= D_1 /2. Ποιες θα είναι οι άμεσες επιδράσεις στη μορφή της ροής; (Διατηρείται σταθερή τιμή ρυθμού ροής)

Α) Έστω επιθυμητό μετρητικό πεδίο 0 – 100 lt / min (SLPM). Ποια συνθήκη πρέπει να ισχύει έτσι ώστε να είναι εξασφαλισμένη η σωστή λειτουργία του αισθητήρα στο πεδίο αυτό;

Ομαλή λειτουργία αισθητήρα εννοείται στρωτή ροή η οποία υφίσταται στην περιοχή όπου ο αριθμός Reynolds είναι μικρότερος του 1800.

Είναι $$\mathrm{Re} = \frac{\rho u D}{\mu} < 1800$$

Τα μεγέθη της **πυκνότητας** και του **ιξώδους** έχουν να κάνουν με τη φύση του ρευστού. Για το νερό σε θερμοκρασία ~ 20°C ισχύει ***ρ***=1000kg/m³ και μ= 0.001 N·s/m².

Είναι $$\frac{\rho u D}{\mu} = \left(\frac{1000\,Kgr/m^3}{0.001 N\cdot s/m^2}\right)\cdot uD = 10^6\cdot uD\left(\frac{Kgr/m}{Kgr\cdot\frac{m}{s^2}\cdot s}\right) = 10^6\cdot uD\left(\frac{1}{\frac{m^2}{s}}\right)$$

Με λίγο προσοχή φαίνεται ότι οι μονάδες είναι «σωστές». Ο αριθμός Re είναι αδιάστατος, ενώ το μέγεθος ***u·D*** έχει μονάδες m²/s.

Τελικά από την τελευταία σχέση προκύπτει ότι: $uD < 1.8\cdot 10^{-3} \quad (1.1)$

Το μετρητικό πεδίο είναι 0-10 lt/min, άρα $$Q_{\max} = 100\,\frac{10^{-3}m^3}{60s} = 1.67\cdot 10^{-3} m^3/s$$

Γενικά όμως για το ρυθμό ροής ισχύει: $$Q = u\cdot A \Rightarrow u = \frac{Q}{\pi\cdot r^2}$$

Αντικαθιστώντας στην (1.1) $\frac{Q}{\pi\cdot r^2}\cdot 2r < 1.8\cdot 10^{-3}$ Για $Q=Q_{max}$ παίρνουμε $r > 0.59m$

Άρα η τελική συνθήκη για να έχουμε στρωτή ροή είναι η ακτίνα του σωλήνα να είναι τουλάχιστον ~59cm.

Β) Για παροχή 50 Lt/min να βρεθεί η μέγιστη και η μέση ταχύτητα ροής εντός του σωλήνα.

Εντός του σωλήνα, για μια πλήρως ανεπτυγμένη ροή, η κατανομή ταχυτήτων δίνεται από τον τύπο: $$u(r) = 2u_{avg}\left[1-\left(\frac{r}{r_o}\right)^2\right] \quad (1.2)$$

με $\boldsymbol{U_{avg}}$ τη μέση ταχύτητα που συνδέεται με το ρυθμό ροής μέσω του τύπου : $$Q = \frac{V}{t} = A\cdot u_{avg}$$

Οπότε

$$u_{avg} = \frac{Q}{A} = \frac{50lt/\min}{\pi r^2} = \frac{8.3\cdot 10^{-4}m^3/s}{3.14\cdot(10\cdot 10^{-3})^2 m^2} = 2.6m/s$$

Στη συνέχεια, ένας τρόπος για να υπολογιστεί η μέγιστη ταχύτητα του ρευστού είναι να βρούμε που έχει τη μέγιστη ταχύτητά της η ροή, και να βάλουμε αυτή την τιμή του r στην σχέση (1.2).

Για να βρεθεί το μέγιστο της (1.2), υπολογίζεται η παράγωγός της και στη συνέχεια το που μηδενίζεται:

$$\frac{du(r)}{dr} = \frac{-4u_{avg}r}{r_o^2}$$

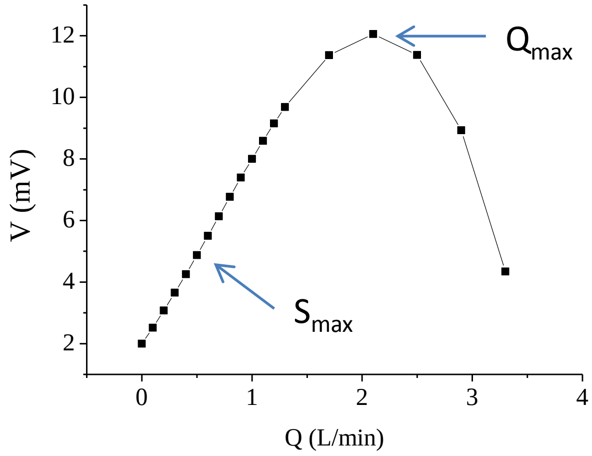
Η οποία προφανώς έχει τιμή μηδέν για r=0, ενώ είναι θετική πριν και αρνητική μετά από αυτό. Οπότε αντικαθιστώντας στην (1.2) προκύπτει:

$$u_{\max}(r=0) = 2u_{avg} = 5.2m/s$$

Γ) Έστω η συνάρτηση μεταφοράς του αισθητήρα $V(Q)=A_0 + A_1 \cdot Q + A_2 \cdot Q^2 + A_3 \cdot Q^3$ με $A_0 = 2mV$, $A_1 = 5$ mV / (L/min) , $A_2 = 2$ mV / (L/min)^2 , $A_3 = -1$ mV / (L/min)^3

i) Ποια η ευαισθησία του αισθητήρα S(Q); Που γίνεται αυτή μέγιστη;

ii) Να ορίσετε το μετρητικό πεδίο του αισθητήρα



i) Για την ευαισθησία του αισθητήρα :

$$S(Q) = \frac{dV}{dQ} = 5 + 4Q - 3Q^2$$

Για να βρεθεί το ακρότατο, υπολογίζεται η παράγωγος αυτής:

$$\frac{dS}{dQ} = \frac{d^2V}{dQ^2} = 4 - 6Q$$

Η συνάρτηση αυτή είναι θετική για Q < (4/6) και αρνητική για Q > (4/6). Αντίστοιχα η S είναι αύξουσα στο 0 < Q < (4/6) και φθίνουσα για Q > (4/6).
Στο σημείο Q=4/6 βρίσκεται το μέγιστο της συνάρτησης S(Q) το οποίο είναι

$$S(\frac{4}{6}) = 9\frac{mV}{(L/\min)}$$

ii) Ένας τρόπος ορισμού του μετρητικού πεδίου, είναι να ληφθεί η ως μέγιστη τιμή του μετρούμενου μεγέθους αυτή όπου πλέον σταματάει να ισχύει η σχέση 1-1 μεταξύ του μετρούμενου μεγέθους και της απόκρισης του αισθητήρα.

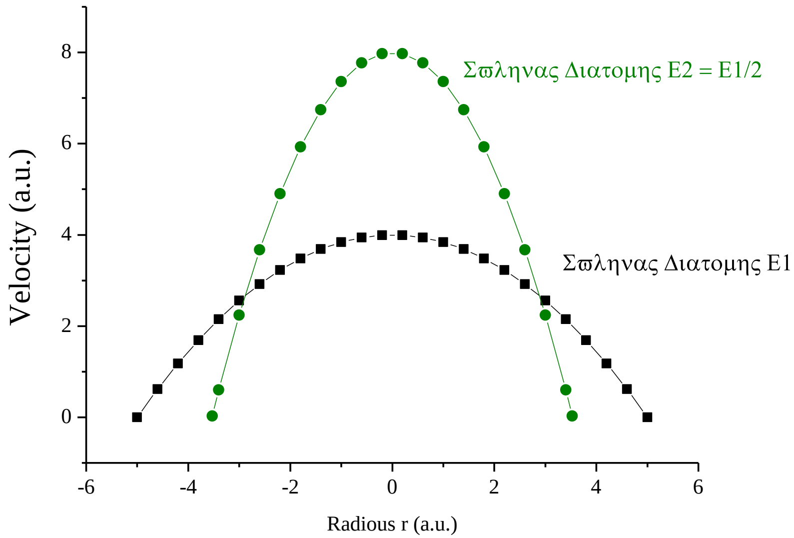
Εκεί δηλαδή όπου $S(Q_{\max}) = 0 \Rightarrow Q_{\max} = 2.1\frac{L}{\min}$

Δ) Η απόκριση του αισθητήρα θα είναι ίδια αν τοποθετηθεί σε ενδιάμεσο σημείο του σωλήνα και όχι στο τοίχωμα;

Εντός του σωλήνα, η κατανομή των ταχυτήτων ακολουθεί παραβολικό προφίλ

$$u(r) = 2u_{avg}\left[1-\left(\frac{r}{r_o}\right)^2\right] \quad (1.2)$$

Τοποθετώντας τον αισθητήρα σε ενδιάμεσο σημείο και όχι στο τοίχωμα, σημαίνει ότι ο αισθητήρας θα εκτίθεται σε πολύ μεγαλύτερο πεδίο ταχυτήτων. Κατά συνέπεια η συνάρτηση μεταφοράς που δόθηκε πριν παύει να ισχύει, ενώ για την εύρεση της καινούριας συνάρτησης θα πρέπει να ξαναγίνει η διαδικασία της ***βαθμονόμησης***.



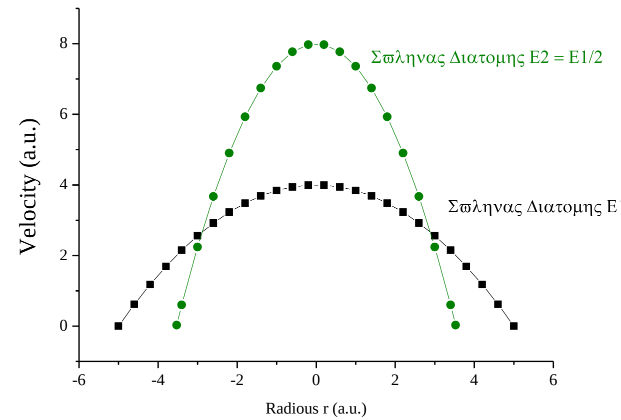
Αν η συνάρτηση μεταφοράς δίνεται με όρισμα την *ταχύτητα u* αντί για το *ρυθμό ροής Q*, τότε:

- Αν ο αισθητήρας είναι σε συγκεκριμένη απόσταση από το κέντρο (r_1), τότε αντικαθιστώντας την τιμή αυτή στην (1.2), προκύπτει μια τιμή ταχύτητας u (r_1). Στη συνέχεια αυτή η τιμή μπορεί να εισέρθει στην συνάρτηση μεταφοράς για αν υπολογιστεί η τιμή της εξόδου V (σε συνθήκες πραγματικής λειτουργίας μια τέτοια προσέγγιση δεν θα έδινε ακριβή αποτελέσματα).
- Αν μεταβληθεί η διατομή ενός σωλήνα, για σταθερό ρυθμό ροής η μέση τιμή της ταχύτητας δεν παραμένει η ίδια.

Ε) Έστω ότι μειώνεται η διάμετρος του σωλήνα από D_1= σε D_2= D_1 /2. Ποιες θα είναι οι άμεσες επιδράσεις στη μορφή της ροής; (Διατηρείται σταθερή τιμή ρυθμού ροής)

Γενικά, μεταβάλλοντας την επιφάνεια της διατομής του σωλήνα, συνεπάγεται μεταβολή της ταχύτητας, εφόσον ο ρυθμός ροής παραμένει σταθερός.

$$u(r) = 2u_{avg}\left[1-\left(\frac{r}{r_o}\right)^2\right]$$



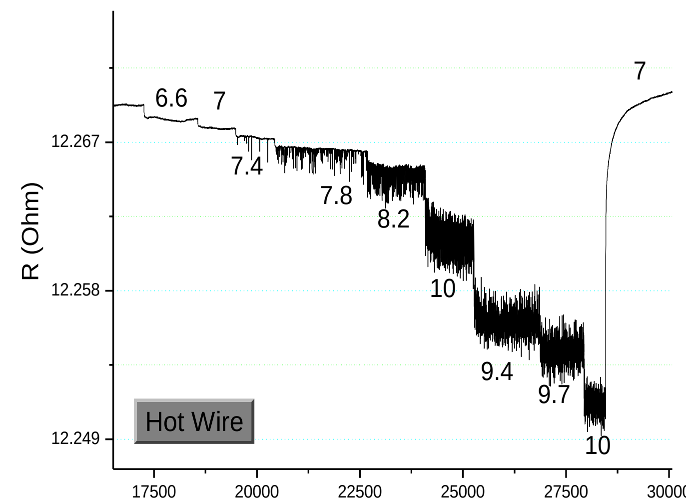
Ισχύει ότι η μέση ταχύτητα του ρευστού εντός ενός σωλήνα, είναι το μισό της μέγιστης. Ισχύει δηλαδή:

$$u_{\max} = 2u_{avg}$$

Με τη u_{max} να βρίσκεται στο μέσο του σωλήνα. Υπενθυμίζεται ότι για τη μέση ταχύτητα ισχύει:

$$u_{avg} = \frac{1}{A}\int_A u\,dA$$

$$u_{avg} = \frac{1}{\pi r_o^2}\int_0^{r_o}\int_0^{2\pi} u(r)\,r\,dr$$



Η επίδραση της τύρβης στο σήμα του αισθητήρα σε πραγματικό χρόνο (λειτουργία θερμού νήματος). Παρατηρείται ότι αυξάνεται διαδοχικά το επίπεδο θορύβου για αυξανόμενες τιμές του ρυθμού ροής (σε SLPM)

Ε) Έστω ότι μειώνεται η διάμετρος του σωλήνα από D_1= σε D_2= D_1 /2. Ποιες θα είναι οι άμεσες επιδράσεις στη μορφή της ροής; (Διατηρείται σταθερή τιμή ρυθμού ροής)

Για την μελέτη της επίδρασης της μείωσης της διαμέτρου από D1 σε D_2= D_1 /2, αναζητείται η επίδραση στον αριθμό Reynolds:

$$\mathrm{Re}_2 = \frac{\rho u_{avg,2} D_2}{\mu}$$

Πέρα από την μείωση της διαμέτρου, διαφοροποιείται και η ταχύτητα. Από τη στιγμή που ο ρυθμός ροής Q παραμένει αμετάβλητος, ισχύει

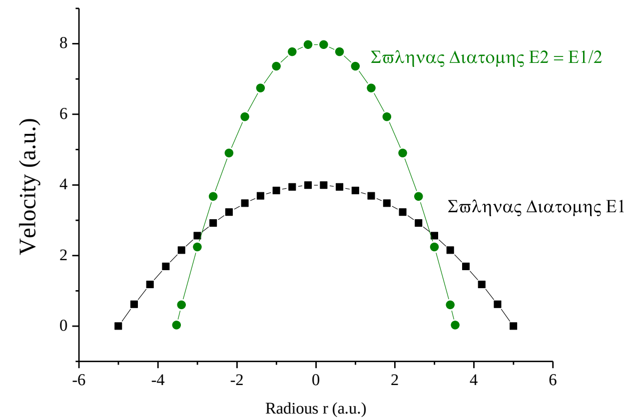
$$Q_1 = Q_2 \Rightarrow E_1 u_{avg,1} = E_2 u_{avg,2} \Rightarrow u_{avg,2} = \frac{E_1 u_{avg,1}}{E_2}$$

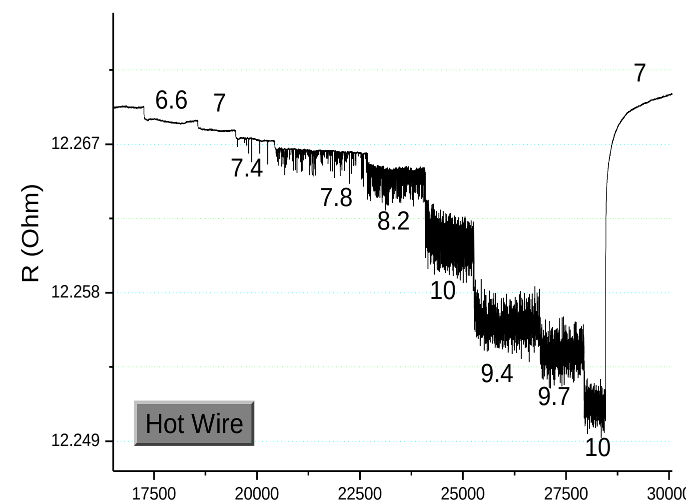
$$u_{avg,2} = \frac{E_1 u_{avg,1}}{E_2} = 4 u_{avg,1}$$

Άρα ο αριθμός Reynolds γίνεται

$$\mathrm{Re}_2 = 2\,\mathrm{Re}_1$$

Άρα με τη μείωση της διαμέτρου, αυξάνεται ο Re, άρα ενισχύεται η τυρβώδης συμπεριφορά της ροής.





Η επίδραση της τύρβης στο σήμα του αισθητήρα σε πραγματικό χρόνο (λειτουργία θερμού νήματος). Παρατηρείται ότι αυξάνεται διαδοχικά το επίπεδο θορύβου για αυξανόμενες τιμές του ρυθμού ροής (σε SLPM)

Μικρομηχανικός αισθητήρας ροής βρίσκεται τοποθετημένος σε τοίχωμα σωλήνα, ο οποίος είναι σε θέση να λειτουργεί τόσο υπό την αρχή του θερμού νήματος, όσο και υπό αυτή της διαφορικής μέτρησης.

Έστω ότι τα αισθητήρια στοιχεία (upstream & downstream) αποτελούνται από λεπτά υμένια (φιλμ) Pt με TCR= 3.7×10^{-3}/°C, ενώ ο θερμαντήρας αποτελείται από πολυκρυσταλλικό πυρίτιο (polysilicon) με TCR= 4.8×10^{-4}/°C. Ο αισθητήρας λειτουργεί σε συνθήκες σταθερού ρεύματος I_o=15mA.

Vo : 1,6V	
a_H : 0,5	V / (lt/min)
b_H : $5\cdot10^{-3}$	V / (lt/min)^2
Q : ρυθμός ροής	

Α) Στη λειτουργία θερμού νήματος η συνάρτηση μεταφοράς του αισθητήρα είναι:

$$V_H=Vo+a_HQ+b_HQ^2$$

Να βρεθεί η μεταβολή της θερμοκρασίας του θερμαντήρα, για ρυθμό ροής Q=10 lt/min σε σχέση με μηδενική ροή.

Β) Στη λειτουργία διαφορικής μέτρησης η συνάρτηση μεταφοράς του αισθητήρα είναι:

$$\Delta V_H= a_C\Delta T+b_c\Delta T^2$$

Η σχέση που συνδέει την διαφορά θερμοκρασίας στα άκρα του αισθητήρα με τη ροή δίνεται στη γραφική παράσταση. Να βρείτε το σήμα του αισθητήρα για ροή Q=20 lt/min

Μικρομηχανικός αισθητήρας ροής βρίσκεται τοποθετημένος σε τοίχωμα σωλήνα, ο οποίος είναι σε θέση να λειτουργεί τόσο υπό την αρχή του θερμού νήματος, όσο και υπό αυτή της διαφορικής μέτρησης.
Έστω ότι τα αισθητήρια στοιχεία (upstream & downstream) αποτελούνται από λεπτά υμένια (φιλμ) Pt με TCR= 3.7×10^{-3}/°C, ενώ ο θερμαντήρας αποτελείται από πολυκρυσταλλικό πυρίτιο (polysilicon) με TCR= 1.5×10^{-4}/°C. Ο αισθητήρας λειτουργεί σε συνθήκες σταθερού ρεύματος I_o=15mA.

A) Στη λειτουργία θερμού νήματος η συνάρτηση μεταφοράς του αισθητήρα είναι:

$$V_H=Vo+a_HQ+b_HQ^2$$

Να βρεθεί η μεταβολή της θερμοκρασίας του θερμαντήρα, για ρυθμό ροής Q=10 lt/min σε σχέση με μηδενική ροή.

Vo :	1,6V	
a_H :	$2.5\cdot10^{-3}$	V / (lt/min)
b_H :	$5\cdot10^{-5}$	V / (lt/min)^2
Q :	ρυθμός ροής	

Συνθήκες σταθερού ρεύματος σημαίνει ότι για όλη τη μέτρηση ο θερμαντήρας διαρρέεται από ρεύμα I_o=15mA. Ισχύει:

$$V_H(0)=1.6V$$

$$V_H(10)=1.6+0.0025\cdot10+0.00005\cdot10^2=1.63V$$

Είναι

$$R_H^{Q=0}=\frac{V_H(0)}{I_o}=\frac{1.6}{15\cdot10^{-3}}=106\Omega \qquad R_H^{Q=10}=\frac{V_H(10)}{I_o}=\frac{1.63}{15\cdot10^{-3}}=108\Omega$$

Άρα η μεταβολή της αντίστασης στον θερμαντήρα είναι ΔR_H=2Ω
Για να βρεθεί η αντίστοιχη μεταβολή της θερμοκρασίας στον θερμαντήρα, χρησιμοποιούμε τον τύπο:

$$\frac{\Delta R}{R_o}=a\Delta T_H \Rightarrow \Delta T_H=\frac{1}{\alpha}\frac{\Delta R}{R_o}$$

$$\Delta T_H=\frac{1}{1.5\cdot10^{-4}}\frac{2}{106}=13^oC$$

Υπενθύμιση

$$a\rightarrow TCR \qquad R=R_o(1+a\Delta T)\Rightarrow$$

$$R=R_o+R_oa\Delta T\Rightarrow$$

$$\frac{R-R_o}{R_o}=a\Delta T$$

Μικρομηχανικός αισθητήρας ροής βρίσκεται τοποθετημένος σε τοίχωμα σωλήνα, ο οποίος είναι σε θέση να λειτουργεί τόσο υπό την αρχή του θερμού νήματος, όσο και υπό αυτή της διαφορικής μέτρησης.
Έστω ότι τα αισθητήρια στοιχεία (upstream & downstream) αποτελούνται από λεπτά υμένια (φιλμ) Pt με TCR= 3.7×10^{-3}/°C, ενώ ο θερμαντήρας αποτελείται από πολυκρυσταλλικό πυρίτιο (polysilicon) με TCR= 1.5×10^{-4}/°C. Ο αισθητήρας λειτουργεί σε συνθήκες σταθερού ρεύματος I_o=15mA.

Στη λειτουργία διαφορικής μέτρησης η συνάρτηση μεταφοράς του αισθητήρα είναι:

$$\Delta V_H = a_C \Delta T + b_c \Delta T^2$$

Η σχέση που συνδέει την διαφορά θερμοκρασίας στα άκρα του αισθητήρα με τη ροή δίνεται στη γραφική παράσταση. Να βρείτε το σήμα του αισθητήρα για ροή Q=20 lt/min

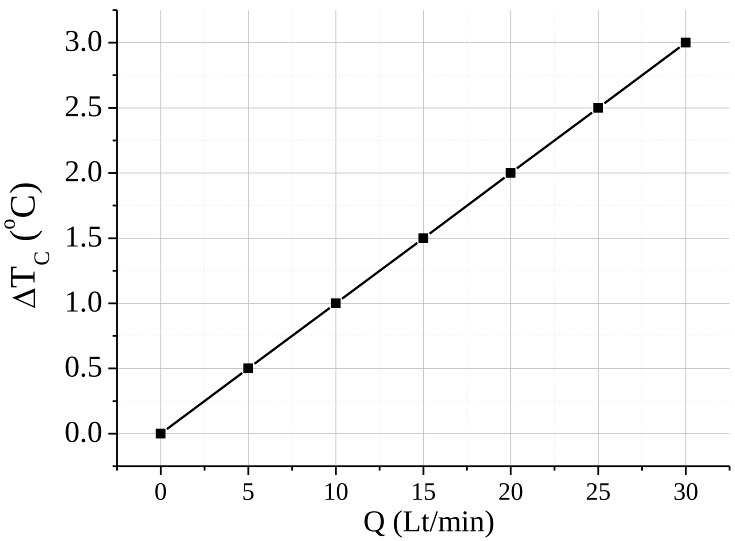
a_C : 0.2 V / (lt/min)
b_C : 0.015 V / (lt/min)^2
Q : ρυθμός ροής

Από τη γραφική παράσταση φαίνεται ότι για Q=20SLPM η διαφορά θερμοκρασίας παίρνει τιμή

$$\Delta T_C = 2^o C$$

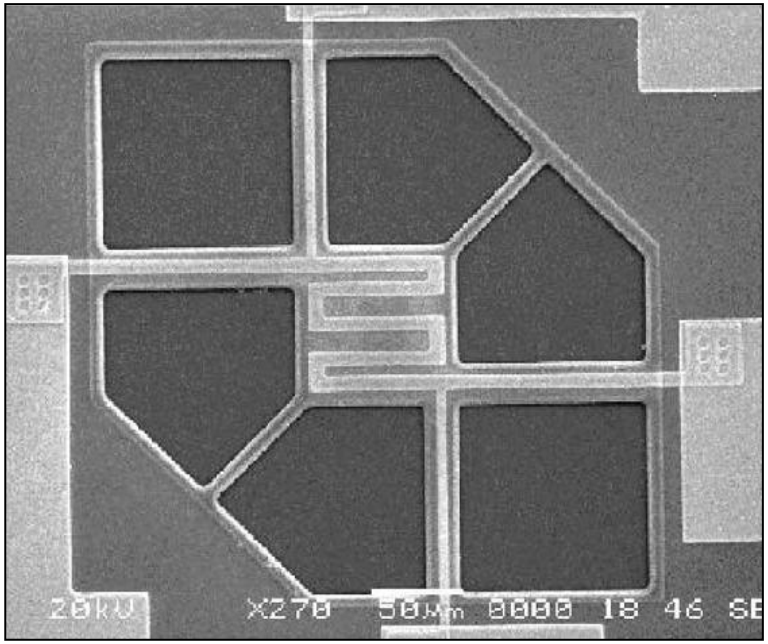
Το σήμα του αισθητήρα προκύπτει με απλή αντικατάσταση

$$\Delta V_C(2) = 0.2 \cdot 2 + 0.015 \cdot 2^2 = 640 mV$$

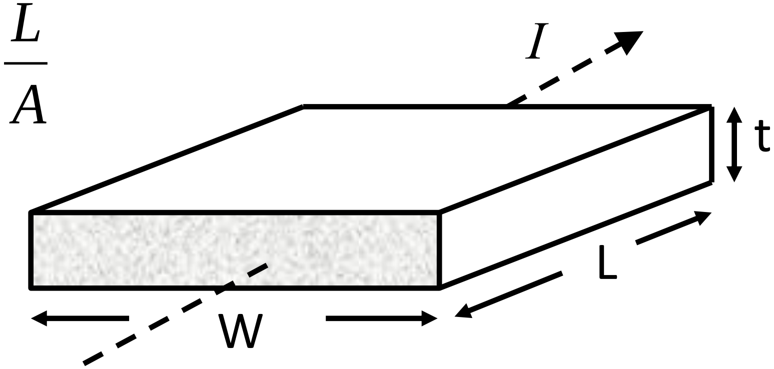


Sheet Resistance

Άσκηση

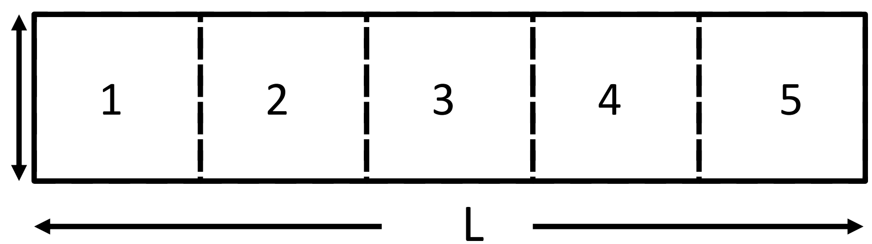


$$R = \rho \frac{L}{A}$$



$$R = \rho \frac{L}{t \cdot W} = \frac{\rho}{t} \frac{L}{W} \Longrightarrow R = R_S \frac{L}{W}$$

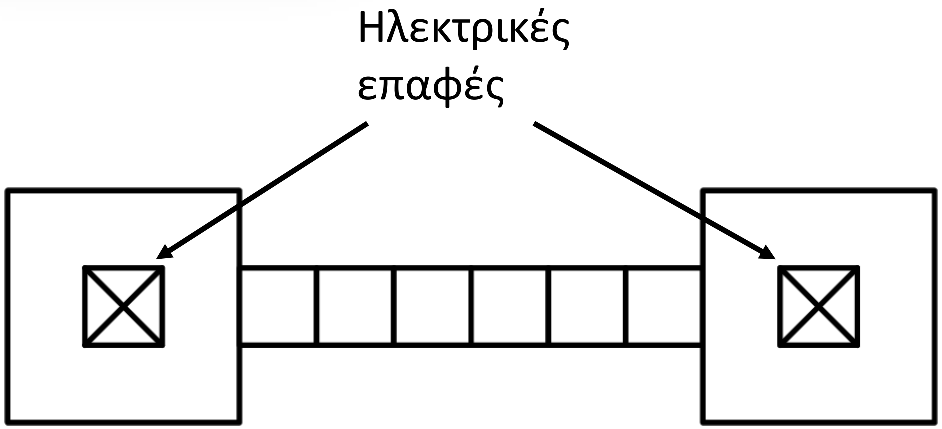
Sheet Resistance



$$\frac{L}{W} = 5$$

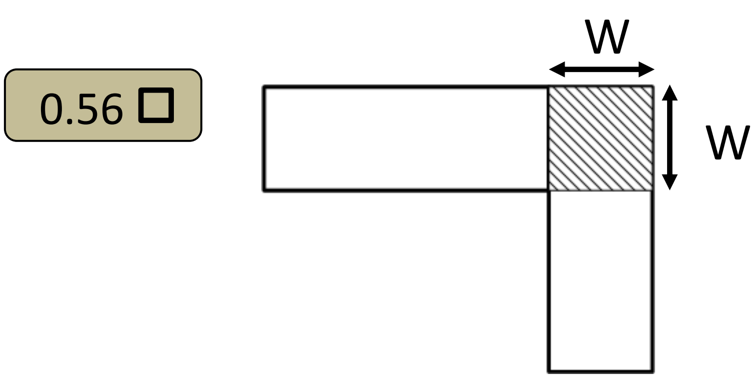
Sheet Resistance

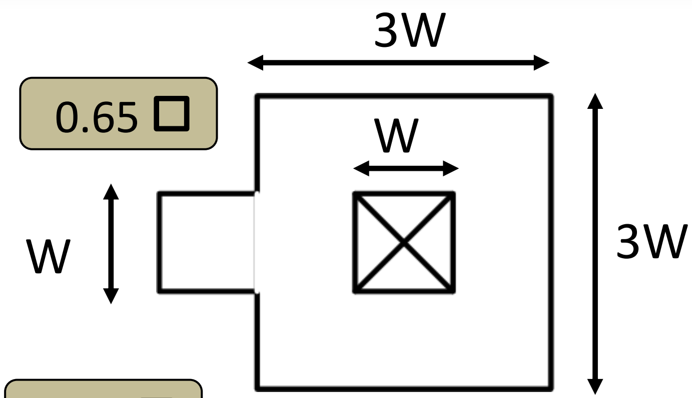
Άσκηση

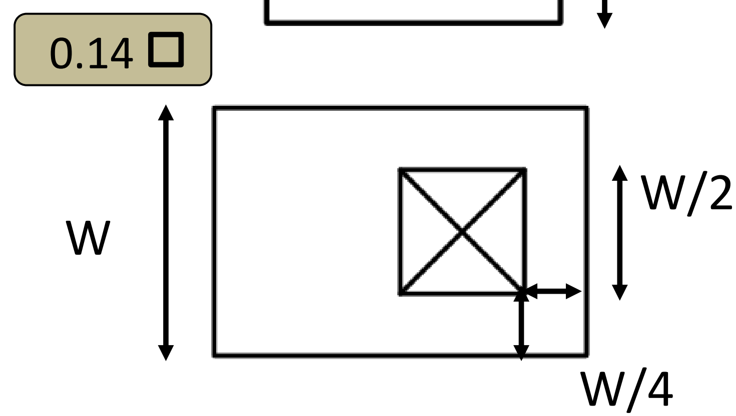


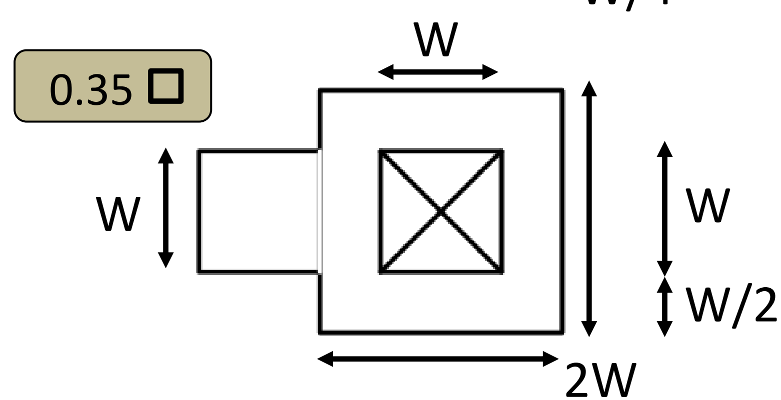
$R_s = 120\Omega/\square$

$R_{tot} = ?$



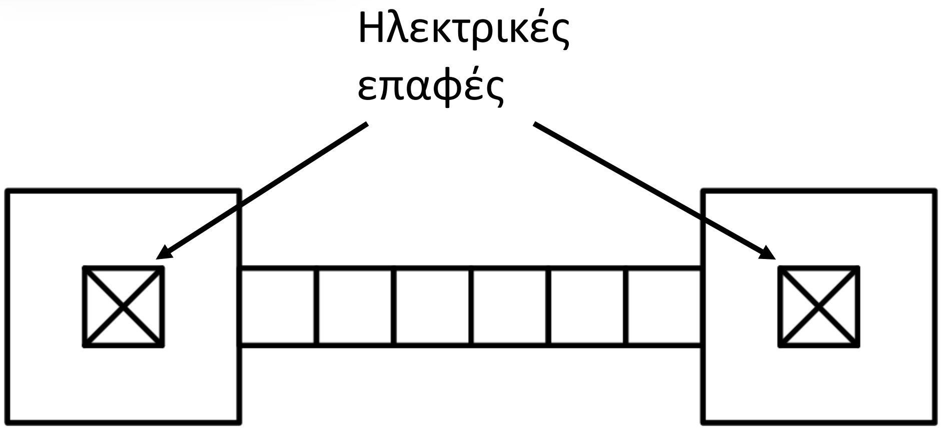






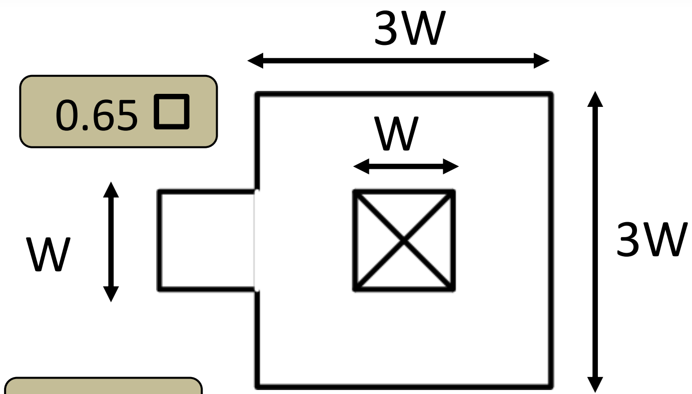
Sheet Resistance

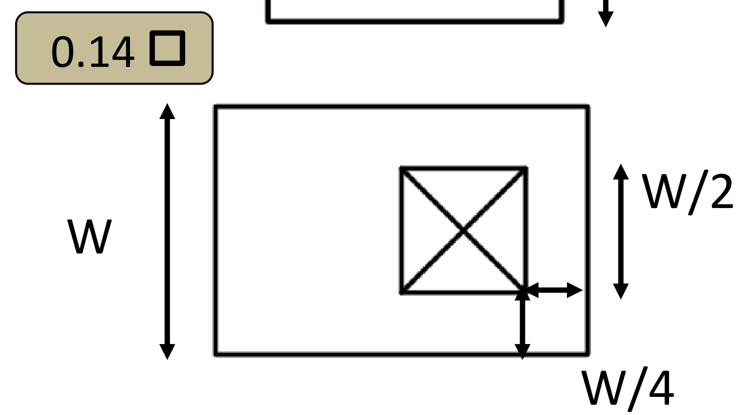
Άσκηση

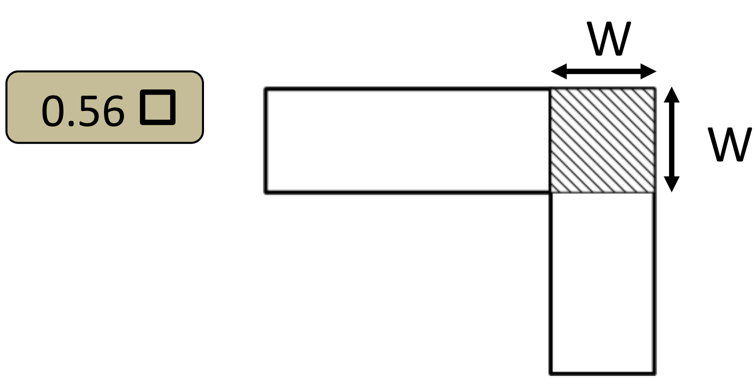


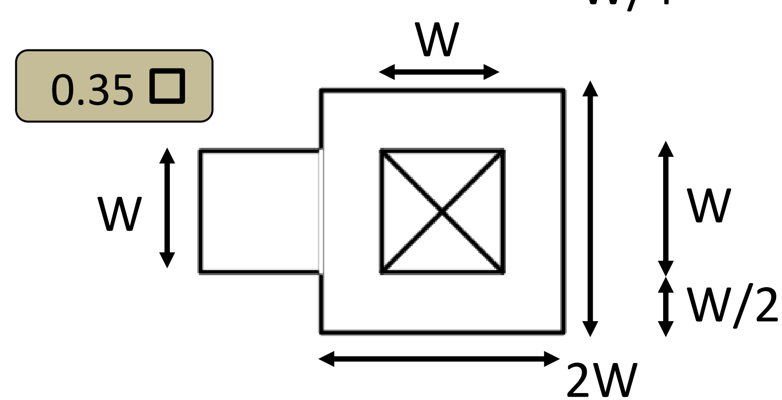
$R_s = 120\Omega/\square$

$R_{tot} = ?$









1. Έστω ότι θέλουμε να κατασκευάσουμε αντιστάτη R=5kΩ, στο σχήμα του αντιστάτη της προηγούμενης διαφάνειας. Με Rs=200Ω/□, πόσα τετράγωνα θα χρειαστούν;

2. Με Rs=200Ω/□, να υπολογίσετε την συνολική αντίσταση της παρακάτω διάταξης