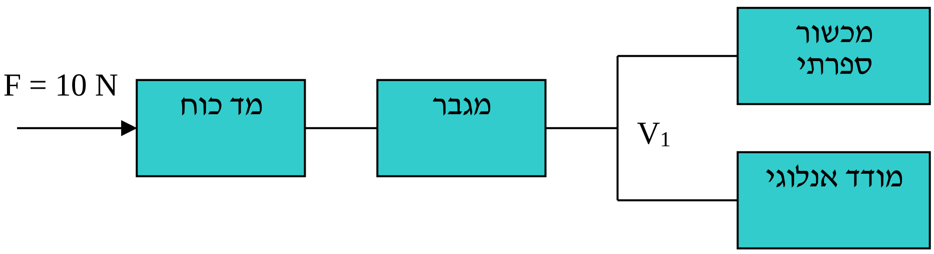
תרגיל כיתה מס׳ 4.

מה בתרגול?

- *העמסה חשמלית*
- *מדי עיבור*

שאלה מס.1

נתונה מערכת הרכיבים הבאה:



הנתונים של המכשירים מרוכזים במפרט הבא:

$S = 1[mV/N]$ $(\pm 0.5\%)$ $R_o = 1[k\Omega]$	מד כוח
$K = 200$ $(\pm 0.5\%)$ Drift = $25[\mu V/^oC]$ (ref. $T = 10[^oC]$) $R_{in} = 500$ $[k\Omega]$ $R_o = 1$ $[k\Omega]$ $\Delta T = 10 - 30$ $[^oC]$ (Drift range)	מגבר
10 [bit] $V = \pm 20[V]$ (F.S.) $R_{in} = 500$ $[k\Omega]$	מכשור ספרתי(דוגם)
$V = \pm 10[V]$ (F.S.) $R_{in} = 20$ $[k\Omega]$ Accuracy = $\pm 1\%$	מודד אנלוגי

א) חיישן דיגיטלי

- קבע את רגישות המערכת כך שהחיישן יקרא ביחידות $\left[\frac{1}{N}\right]$?
- מהו כושר ההבחנה (רזולוציה) של המערכת עם החיישן הדיגיטלי?

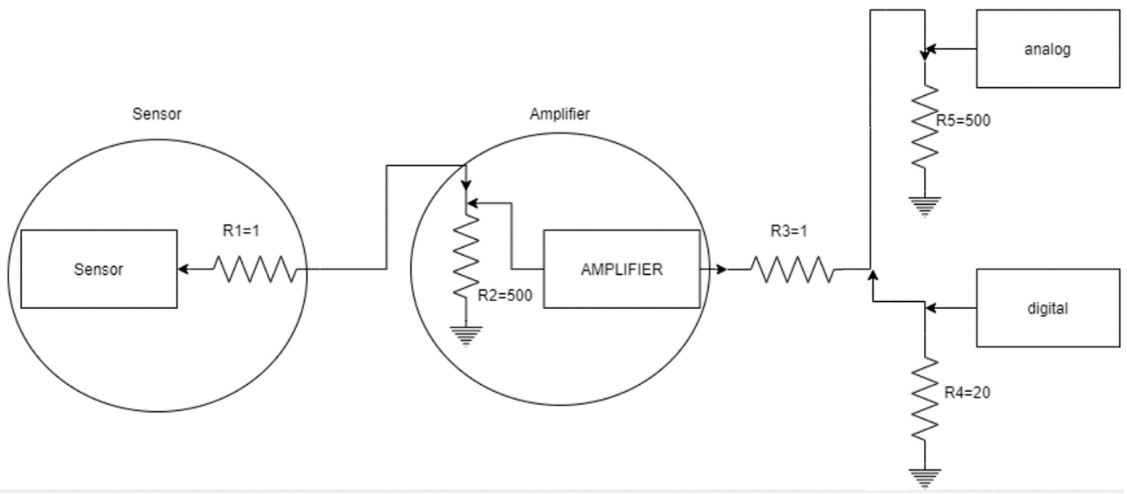
ב) חיישן אנלוגי

- קבע את רגישות המערכת כך שהחיישן יקרא ביחידות $\left[\frac{V}{N}\right]$?

ג) מהו דיוק המדידה הכללי עבור טווח טמפרטורות וקריאה של כוח של 10[N]:

- בחיישן האנלוגי ?
- בחיישן הדיגיטלי?

פתרון:



רגישות של חיישן: $1\left[\frac{mV}{N}\right]$

$$V_{out} = V_{in}\frac{R_2}{R_1+R_2} = V_{in}\frac{500}{500+1}$$

רגישות בין חיישן כח לכניסה של מגבר $\frac{R_2}{R_1+R_2} = 0.998 \cong 1$

רגישות של מגבר 200

רגישות בין יציאת מגבר לכניסה למודד: $\frac{R_5 \| R_4}{R_5 \| R_4 + R_3} = \frac{19.23}{19.23+1}$

רגישות של המערכת: $S_S = 1\left[\frac{mV}{N}\right]\frac{R_2}{R_1+R_2}200\frac{R_5 \| R_4}{R_5 \| R_4 + R_3} = 0.189\left[\frac{V}{N}\right]$

רזולוציה של הדוגם הדיגיטאלי: $Res = \frac{40[V]}{1024} = 0.039[V]$

רגישות של הדוגם: $S_D = \frac{1}{Res} = 25.64\left[\frac{1}{V}\right]$

רגישות כוללת של המערכת של דוגם דיגיטאלי: $S_{tot} = S_S S_D = 4.846\left[\frac{1}{N}\right]$

$$Res = \frac{1}{S_{tot}} = 0.206[N]$$

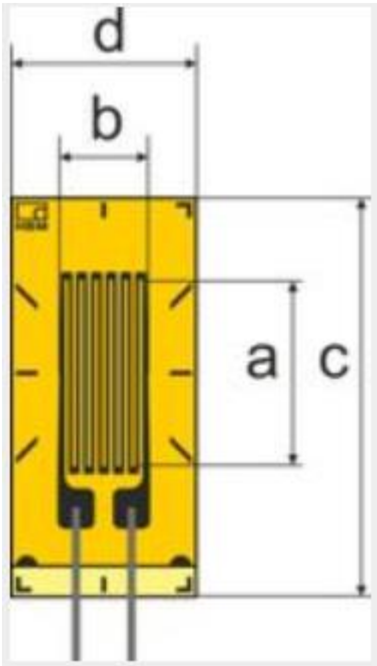
<u>מדי עיבור – התנגדות</u>

- מדי עיבור מבוססים על שינוי בהתנגדות תחת מאמץ מכני.
- התנגדות של חוט מוליך : $R = \rho l / A$
  כאשר : ρ - התנגדות סגולית , l – אורך, A – שטח
- את השינוי בהתנגדות ניתן לתאר ע״י :

$$dR / R = \delta = G\varepsilon$$

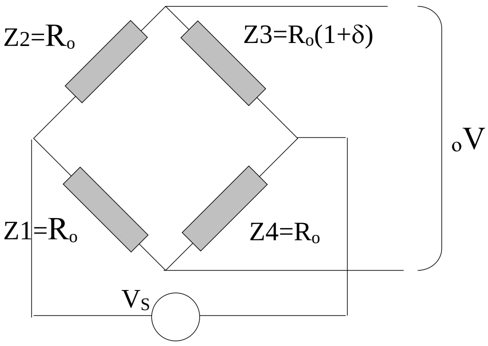
לרוב המתכות G (gauge factor) ≈ 2 , עבור פלטינה G ≈ 6 .
בד״כ השינוי בהתנגדות לא עובר 2%, וההתנגדות נתונה ע״י הקשר הליניארי :
$R = R_0(1 + G\varepsilon) = R_0(1 + \delta)$.

- רגישות צידית (Transverse) – רגישות המדיד למעוות גזירה (בכיוון המאונך לכיוון המדיד). בד״כ הרגישות של המדידים למעוות גזירה קטנה מאד וניתנת להזנחה.



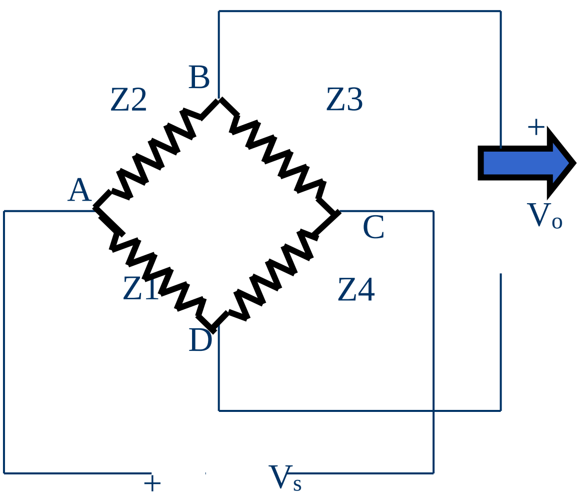
<u>מדי עיבור – גשר</u>

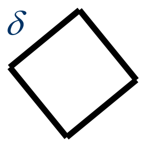
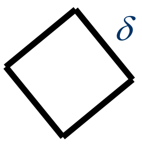
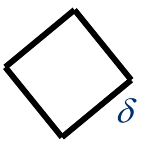
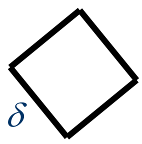
חיבור לגשר עבור ענף פעיל 1 :



$$
\begin{aligned}
V_o &= V_S\left[\frac{Z_1}{Z_1+Z_4}-\frac{Z_2}{Z_2+Z_3}\right]= \\
&V_S\left[\frac{R_0}{2R_0}-\frac{R_0}{R_0\left(1+1+\delta\right)}\right]= \\
&V_S\left[\frac{1}{2}-\frac{1}{\left(2+\delta\right)}\right]= \\
&V_S\left[\frac{2+\delta-2}{4+2\delta}\right]\underset{\delta<<1}{=} \\
&V_S\,\frac{\delta}{4}
\end{aligned}
$$

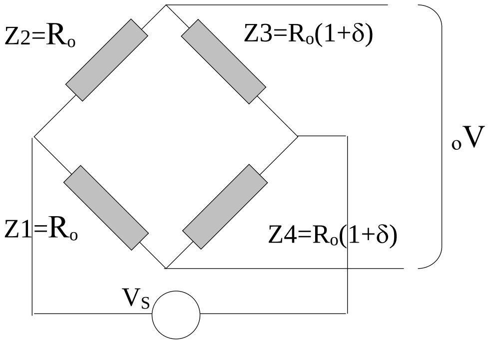
חיבור לגשר באופן הכללי (4 ענפים פעילים) :



	General property	Strain measurement
	$V_0=-V_o(\delta)$	$V_0=-V_s\frac{\delta}{4}$
	$V_0=V_o(\delta)$	$V_0=V_s\frac{\delta}{4}$
	$V_0=-V_o(\delta)$	$V_0=-V_s\frac{\delta}{4}$
	$V_0=V_o(\delta)$	$V_0=V_s\frac{\delta}{4}$

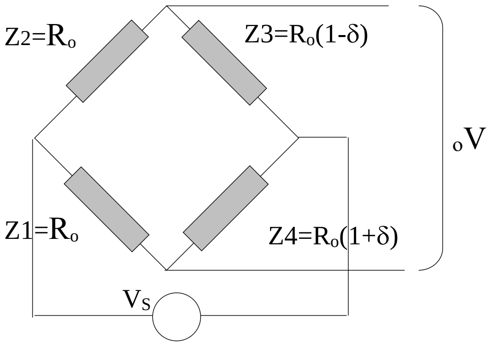
<u>דוגמא:</u>

עבור קונפיגורציה הבאה של גשר (מדי עיבור שכנים) כאשר שני מדידים מושפעים מאותו שינוי:
עבור הגשר המתואר בציור



$$V_o = V_S \frac{\delta}{4} - V_S \frac{\delta}{4} = 0$$

עבור קונפיגורציה הבאה של גשר כאשר שני מדידים מודדים שינוי הפוך בסימן:



$$V_o = V_S \frac{\delta}{4} + V_S \frac{\delta}{4} = V_S \frac{\delta}{2}$$

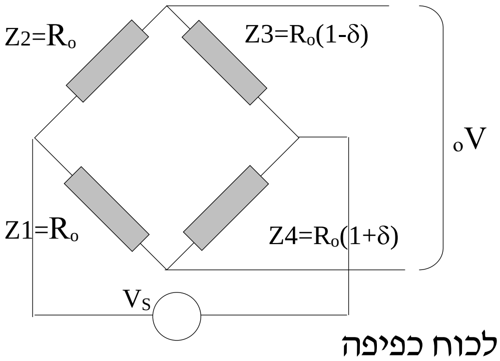
<u>שאלה מס.2</u>

נתונה קורה ונדרש למדוד את המאמץ הפועל על הקורה בעזרת מדי עיבור בצורה הכי אופטימאלית מבחינת שיקולים של דיוק וקיזוז טמפרטורה.

א) מהו מתח האספקה המקסימלי המותר, אם הזרם העובר דרך מדי העיבור מוגבל ל $i_{\max}=30[mA]$

נבחר מתח אספקה של $V_S=5[V]$

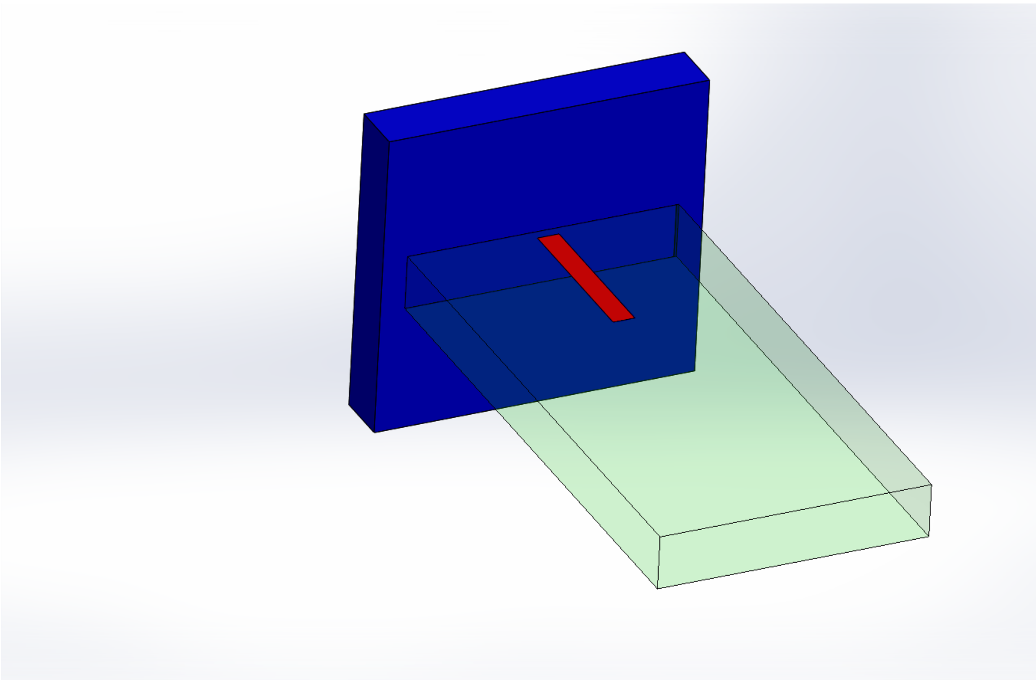
נתון מעגל הגשר הבא :



הקורה אליה הודבקו המדידים עשויה מפלדה בעלת מודול אלסטיות $E=210[GPa]$

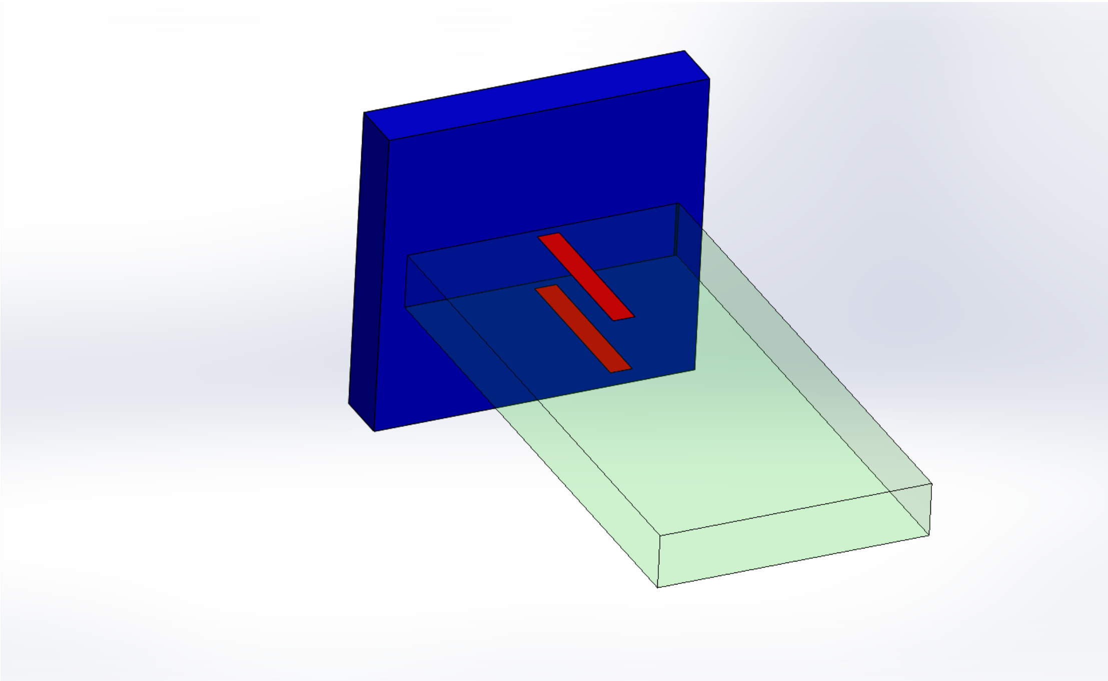
כמו כן נתון : $G=2$ $R_0=120[\Omega]$

ב) מד העיבור 3 הודבק על קורה הנתונה לכוח כפיפה כמתואר בציור הבא :



מהו אות היציאה מהגשר כאשר המאמץ על מד עיבור מס׳ 3 הוא $\sigma=70\left[\frac{N}{cm^2}\right]$?

ג) מדי העיבור 3 ו-4 הודבקו על קורה הנתונה לכוח כפיפה כמתואר בציור הבא:



מהו אות היציאה מהגשר במקרה זה?

ד) קיימת אפשרות של חיבור ארבעה מדי עיבור במעגל גשר. באיזו צורה נמקם את מדי עיבור כדי לקבל מתח יציאה עם רגישות יותר גבוהה.

ה) נדרש להתחשב בשינויים של טמפרטורת הסביבה כדי להקטין את השגיאה. אילו שיטות מתאימות לקיזוז של טמפרטורת הסביבה ממתח היציאה ובאילו מצבים?

פתרון

א) נחשב את הזרם המקסימלי דרך מד העיבור, נעשה זאת כאשר אין עומס:

$$i_{\max} = \frac{V_{\max}}{Z_1 + Z_4} = \frac{V_{\max}}{2R_0} \Rightarrow V_{\max} = i_{\max} 2R_0 = 7.2[V]$$

ב) נחשב את מתח היציאה של הגשר בעזרת הקירוב הליניארי שחישבנו לפני:

$$V_0=\frac{1}{4}V_S\delta_3=\frac{1}{4}V_S\delta=\frac{1}{4}V_SG_f\varepsilon=\frac{1}{4}V_SG_f\frac{\sigma}{E}=$$

$$=\frac{1}{4}5[V]\bullet 2\frac{70\left[\frac{N}{cm^2}\right]\frac{1}{\left(10^{-2}\right)^2}\left[\frac{cm^2}{m^2}\right]}{210\bullet 10^9\left[\frac{N}{m^2}\right]}=8.3[\mu V]$$

ג) מסימטריית הבעיה, אם מד עיבור מס' 3 מועמס במאמץ $\sigma=70\left[\frac{N}{cm^2}\right]$ אז
מד עיבור מס' 4 יהיה מועמס במאמץ $\sigma=-70\left[\frac{N}{cm^2}\right]$:

$$V_0=\frac{1}{4}V_S\delta_3-\frac{1}{4}V_S\delta_4=\frac{1}{4}V_S\delta-\frac{1}{4}V_S\left(-\delta\right)=\frac{1}{2}V_S\delta=$$
$$=16.6[\mu V]$$

ד)

$$V_0=V_S\left[\frac{Z_1}{Z_1+Z_4}-\frac{Z_2}{Z_2+Z_3}\right]=$$
$$=V_S\left[\frac{R_0\left(1+\delta_1\right)}{R_0\left(1+\delta_1\right)+R_0\left(1+\delta_4\right)}-\frac{R_0\left(1+\delta_2\right)}{R_0\left(1+\delta_2\right)+R_0\left(1+\delta_3\right)}\right]=$$
$$=V_S\left[\frac{\left(1+\delta_1\right)}{2+\delta_1+\delta_4}-\frac{\left(1+\delta_2\right)}{2+\delta_2+\delta_3}\right]$$
$$=V_S\left[\frac{\left(1+\delta_1\right)\left(2+\delta_2+\delta_3\right)-\left(1+\delta_2\right)\left(2+\delta_1+\delta_4\right)}{\left(2+\delta_1+\delta_4\right)\left(2+\delta_2+\delta_3\right)}\right]=$$
$$=V_S\left[\frac{2+2\delta_1+\delta_2+\delta_1\delta_2+\delta_3+\delta_3\delta_1-\left(2+2\delta_2+\delta_1+\delta_2\delta_2+\delta_4+\delta_2\delta_4\right)}{\left(2+\delta_1+\delta_4\right)\left(2+\delta_2+\delta_3\right)}\right]\approx$$
$$\approx V_S\left[\frac{\delta_1-\delta_2+\delta_3-\delta_4}{4}\right]$$

ה)

$$\delta_3=\delta_{tension}+\delta_{temperature}$$
$$\delta_4=-\delta_{tension}+\delta_{temperature}$$

שאלה מס.3

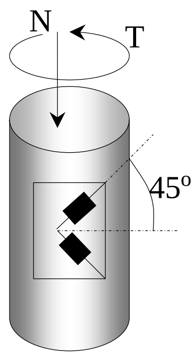
נתון מוט בקוטר d המועמס ע"י מומנט פיתול T, וכוח צירי N. המוט נמצא בסביבה בה הטמפרטורה משתנה . לרשותך עומדים שני מדי עיבור זהים.

א. קבעו את מיקום מדי העיבור כך שהרגישות לפיתול תהיה מקסימאלית והרגישות לכוח תהיה אפסית. כמו כן נדרש לבטל את השפעת הטמפרטורה.

ב. האם יש אפשרות של גשר מלא ואם כן איך למקם את מדי העיבור?

פתרון

א. מדי עיבור יודבקו בכיוונים הראשיים של הגזירה, ז"א בזוית 45^o לציר הקורה (שם יתקבל עיבור מקסימלי עקב גזירה).

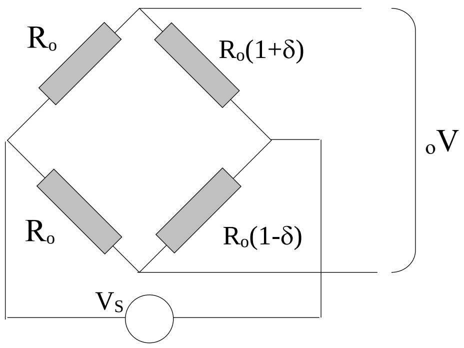


חוק הוק בגזירה:

$$\tau_{\max} = \frac{T\cdot\frac{d}{2}}{I_p} = \frac{T\cdot\frac{d}{2}}{\frac{\pi d^4}{32}} = \frac{16T}{\pi d^3} \qquad (1$$

$$\varepsilon_{\max} = \frac{\tau_{\max}}{2G} = \frac{16T}{2G\pi d^3} = \frac{8T}{\pi G d^3} \qquad (2$$

עבור הגשר המתואר בציור:



$$V_0 = V_S\frac{\delta_3}{4} - V_S\frac{\delta_4}{4}$$

$$\delta_3 = \delta_{torsion} + \delta_{axial} + \delta_{temperature}$$

$$\delta_4 = -\delta_{torsion} + \delta_{axial} + \delta_{temperature}$$

$$V_0 = V_S\frac{\delta_{torsion}}{2}$$

עבור כוח צירי , בזוית 45^o אין מאמצים נורמליים ולכן אין עיבורים נורמליים, אלא גזירה טהורה.

השפעת הטמפרטורה: קיזוז הטמפרטורה במקרה זה הוא מושלם מאחר וכל הנגדים נמצאים באותה הטמפרטורה.

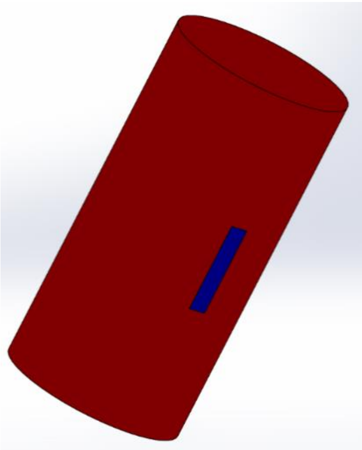
<u>שאלה מס.4</u>

נדרש למדוד לחץ פנימי של פחית קולה בעזרת מדי עיבור.

א) איך ניתן לעשות זאת?

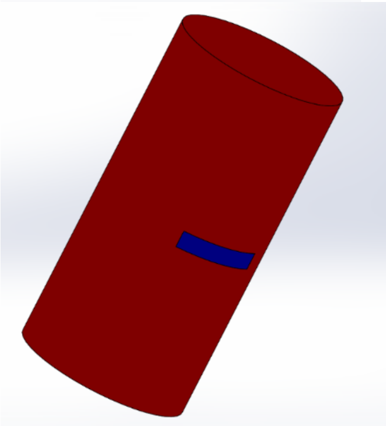
ב) באיזו צורה ניתן למקם את מדי עיבור כדי לקבל את התוצאה הרצויה ואיך לעשות את זה בצורה האופטימאלית?

פתרון:



אם נמקם אנכית, במקרה הזה המעוות הוא:

$$\varepsilon_L = \frac{PR}{2tE}$$



אם נמקם אופקית, במקרה הזה מקבלים:

$$\varepsilon_R = \frac{PR}{tE}$$

כפי שאנחנו רואים לצורך מדידת לחץ של פחית עדיף למקם את מד העיבור בצורה אופקית. ניתן למקם שני מדי עיבור באותו האופן, ולחברם למיקומים מקבילים בגשר כדי לקבל רגישות כפולה.

$$\varepsilon_R + \varepsilon_R = \frac{PR}{tE} + \frac{PR}{tE} = 2\frac{PR}{tE}$$