

שאלה 8

באיור לשאלה 8 נראה חתך של תנור. התנור מחמם לטמפרטורה פנימית של 250°C . כדי למנוע הפסדי חום, דופנות התנור מורכבות משלוש שכבות:

השכבה הפנימית (I) – עובייה 2 מ"מ והיא עשויה מחומר קרמי שמוליכותו התרמית

$$k_1 = 0.4 \frac{\text{W}}{\text{m K}}$$

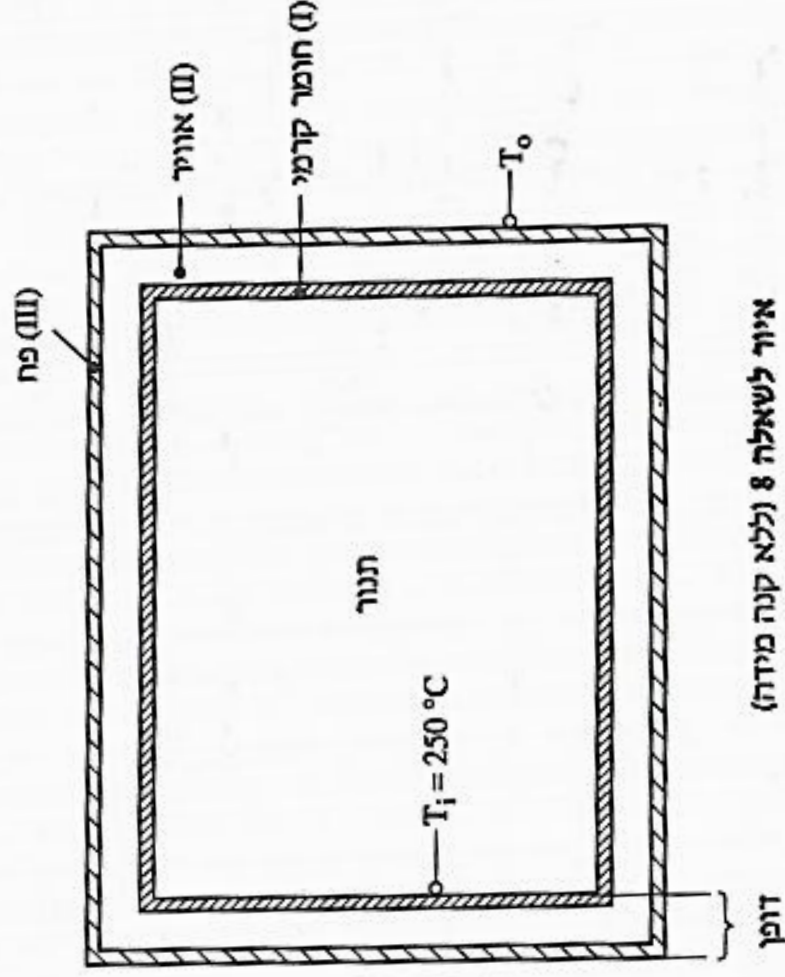
שכבת הביניים (II) – עובייה 10 מ"מ ויש בה אוויר שמוליכותו התרמית

$$k_2 = 0.262 \frac{\text{W}}{\text{m K}}$$

השכבה החיצונית (III) – עובייה 0.5 מ"מ והיא עשויה פח שמוליכותו התרמית

$$k_3 = 60 \frac{\text{W}}{\text{m K}}$$

השטח הכולל של דופנות התנור: $A = 1.2\text{ מ}^2$. (הזנה את הבדלי השטחים בין השכבות) בתנאים אלה הטמפרטורה החיצונית של הפח מגיעה ל- 34°C .

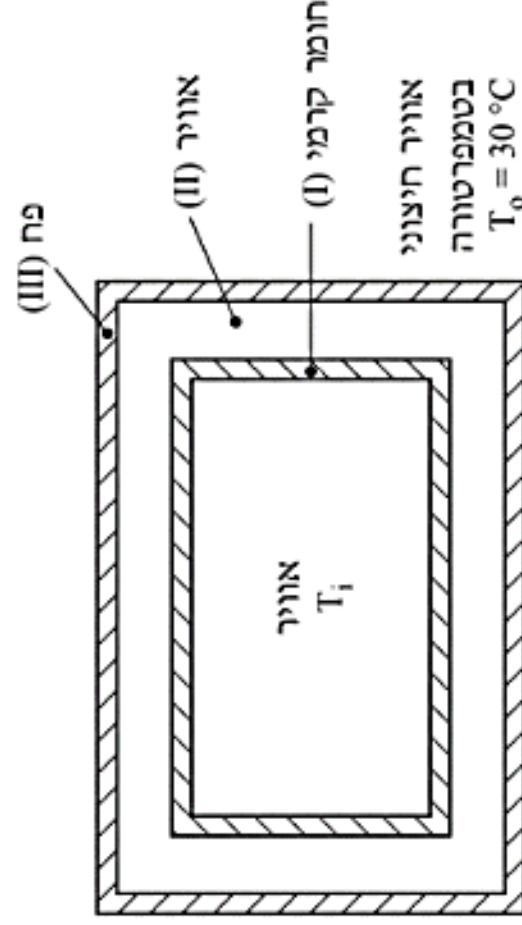


איור לשאלה 8 (נלא קנה מידה)

- חשב את ההתנגדות התרמית של דופן התנור.
- חשב את הספק החום הנדרש כדי לשמור על תנאי הטמפרטורה הנ"ל.
- במבנה אחר של התנור, החומר הקרמי צמוד אל הפח ואין מרווח לאוויר ביניהם. חשב את הטמפרטורה החיצונית של הפח (בהנחה שהספק החום והטמפרטורה הפנימית לא השתנו).

שאלה 10

באיור לשאלה 10 מתואר חתך של תא קירור.



איור לשאלה 10

דופן התא עשויה שתי שכבות, שביניהן שכבת אוויר בטמפרטורה אחידה.

הטמפרטורה החיצונית של האוויר היא: $T_o = 30^\circ\text{C}$

עובי השכבה הפנימית (I) הוא 2.5 מ"מ, והיא עשויה מחומר קרמי שמוליכותו התרמית היא:

$$K_1 = 0.5 \frac{\text{W}}{\text{mK}}$$

עובי שכבת האוויר (II) הוא 14.4 מ"מ. המוליכות התרמית של האוויר היא: $K_2 = 0.262 \frac{\text{W}}{\text{mK}}$.

עובי השכבה החיצונית (III) הוא 0.6 מ"מ, והיא עשויה מפה שמוליכותו התרמית: $K_3 = 60 \frac{\text{W}}{\text{mK}}$.

שטח הפנים הכולל של דופן תא הקירור הוא: $A = 2.4 \text{ m}^2$. (הבדלי השטח בין השכבות – זניחים).

על-מנת לשמור על טמפרטורה קבועה של האוויר שבתוך תא הקירור, משתמשים במקרר המסלק חום כשיעור 1 kW .

א. חשב את ההתנגדות התרמית של דופן התא.

ב. חשב את הטמפרטורה של האוויר, T_i , שבתוך תא הקירור.

ג. חשב את הטמפרטורה בתא הקירור, אם דופן התא עשויה מן השכבות I ו-II, כשהן צמודות זו לזו ואין אוויר ביניהן. הנח ששיעור החום המסולק והטמפרטורה החיצונית של האוויר

אינם משתנים.

שאלה 7

באיור א' לשאלה 7 נראה חתך של צינור.

דופן הצינור עשויה שתי שכבות שביניהן אוויר בטמפרטורה אחידה.

חציו התחתון של הצינור טבול בתוך מים, שהטמפרטורה שלהם: $T_{O2} = 10^\circ\text{C}$.

חציו העליון של הצינור נמצא באוויר, שהטמפרטורה שלו: $T_{O1} = 90^\circ\text{C}$.

בצינור זורם גז שהטמפרטורה שלו, T_i , אחידה.

השכבה הפנימית של דופן הצינור (I) – עוביה 5 מ"מ, והיא עשויה חומרי קרמי שהמוליכות

התרמית שלו היא $K_1 = 0.4 \frac{\text{W}}{\text{mK}}$.

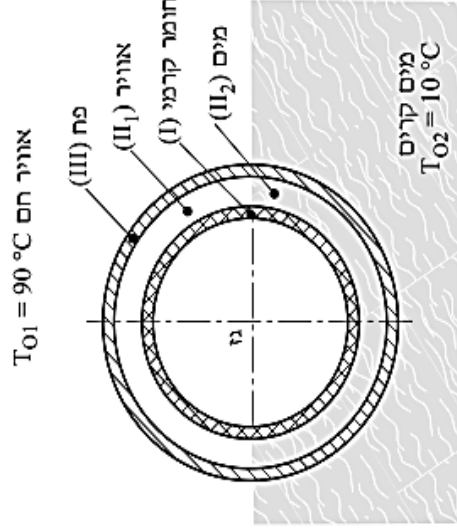
שכבת האוויר (II) שבין שתי שכבות הדופן – עוביה 12 מ"מ; והמוליכות התרמית של האוויר

היא $K_2 = 0.262 \frac{\text{W}}{\text{mK}}$.

השכבה החיצונית של דופן הצינור (III) עשויה פח ועוביה 1 מ"מ; המוליכות התרמית של הפח

היא $K_3 = 60 \frac{\text{W}}{\text{mK}}$.

שטח הפנים של דופן הצינור כולה: $A = 2\text{m}^2$. (הבדלי השטח בין השכבות זניחים.)



איור ב' לשאלה 7

איור א' לשאלה 7

א. חשב את ההתנגדות התרמית של דופן הצינור.

ב. מה צריך להיות היחס בין קצב המעבר של החום הנכנס דרך החצי העליון של הצינור לבין קצב המעבר של החום היוצא דרך החצי התחתון של הצינור, כדי שהטמפרטורה של הגז שבתוך הצינור תישאר קבועה?

ג. חשב את הטמפרטורה, T_i , של הגז שבתוך הצינור.

ד. הצינור נסדק, ומים חודרים לחלל שבין שתי שכבות הדופן וממלאים אותו עד מחציתו

במקום האוויר, כמתואר באיור ב' לשאלה. המוליכות התרמית של המים: $K_4 = 6.5 \frac{\text{W}}{\text{mK}}$.

חשב את ההתנגדות התרמית של דופן הצינור במקום שהיא כוללת את השכבות I ו-III ואת המים שביניהן.

שאלה 6

באיור לשאלה 6 נתון סרטוט חתך של תנור שמטרתו לחמם לוחות העשויים מחומרים מיוחדים. לתנור שתי דפנות אופקיות גדולות, עליונה ותחתונה. המרחק בין הדפנות קטן, כך שניתן להכניס לתנור לוח אחד בלבד.

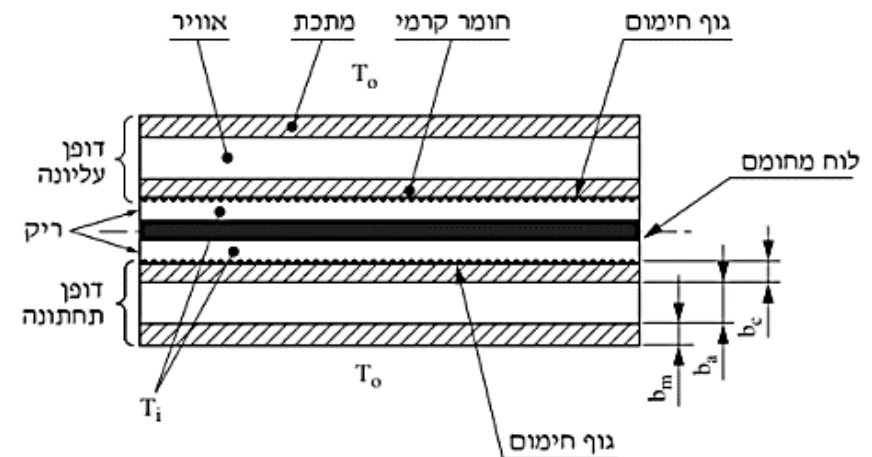
לכל אחת משתי הדפנות האופקיות יש בידוד המורכב משלוש שכבות:

שכבת מתכת בעובי: $b_m = 4 \text{ mm}$, שכבת אוויר בעובי: $b_a = 6 \text{ mm}$, ושכבת חומר קרמי בעובי: $b_c = 4 \text{ mm}$.

שטח הפנים של כל אחת מדפנות התנור (האופקיות) זהה לשטח הלוח המחומם וערכו: $A = 0.075 \text{ m}^2$. שטח הדפנות האנכיות זניח.

לכל אחד מן המשטחים הפנימיים של שכבות החומר הקרמי מוצמד גוף חימום חשמלי. הטמפרטורה של גופי החימום היא T_i . גופי החימום מקרינים חום אל הלוח שהטמפרטורה הקבועה שלו היא T_b . הטמפרטורה החיצונית של דופן הבידוד: $T_o = 50^\circ \text{C}$.

הספק החום של שני גופי החימום הוא: $\dot{Q} = 639 \text{ W}$. חלק מהחום שנוצר בגופי החימום עובר אל הלוח באמצעות קרינה ($\dot{Q}_R$). יתר החום ($\dot{Q}_L$) יוצא באמצעות הולכה דרך הדפנות האופקיות והולך לאיבוד. $\dot{Q}_L = 500 \text{ W}$. הנח שאין מעבר חום דרך הדפנות האנכיות של התנור.



איור לשאלה 6

נתונים:

המוליכות התרמית של המתכת: $k_m = 59 \frac{\text{W}}{\text{m K}}$

המוליכות התרמית של החומר הקרמי: $k_c = 0.45 \frac{\text{W}}{\text{m K}}$

המוליכות התרמית של האוויר: $k_a = 0.0262 \frac{\text{W}}{\text{m K}}$

הגוף החשמלי והלוח הנם גופים שחורים בעלי אמיסיביות: $\varepsilon = 1$

מקדם סטפן-בולצמן: $\sigma = 5.67 \cdot 10^{-8} \frac{\text{J}}{\text{m}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{K}^4}$

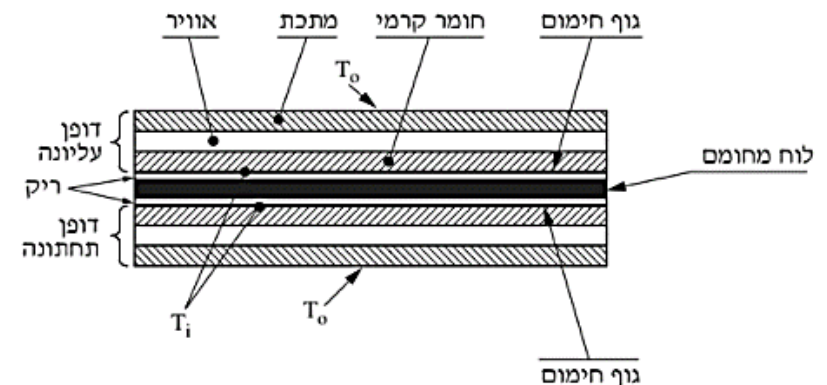
- חשב את ההתנגדות התרמית של דופנות התנור.
- חשב את הטמפרטורה, T_i , של גופי החימום החשמליים.
- חשב את כמות החום ליחידת זמן, $\dot{Q}_R$, המועברת מגופי החימום אל הלוח באמצעות קרינה.
- חשב את הטמפרטורה, T_b , של הלוח.

שאלה 6

באיור לשאלה 6 מסורטט חתך של תנור שתפקידו לחמם לוחות העשויים מחומרים מיוחדים. לתנור שתי דפנות אופקיות גדולות, עליונה ותחתונה. המרחק בין הדפנות קטן מאוד, כך שניתן להכניס לתנור לוח אחד בלבד. שטח הדפנות האנכיות זניח. לכל אחת משתי הדפנות האופקיות יש בידוד המורכב משכבת מתכת בעובי של $b_m = 2 \text{ mm}$, שכבת אוויר בעובי של $b_a = 6 \text{ mm}$ ושכבת חומר קרמי בעובי של $b_c = 5 \text{ mm}$. החימום בתנור מתבצע בריק (בוואקום). שטח הפנים של כל אחת מדופנות התנור (האופקיות), הזהה לשטח הלוח המחומם, הוא $A = 0.2 \text{ m}^2$.

לכל אחד מן השטחים הפנימיים של השכבות הקרמיות מוצמד גוף חימום חשמלי שהטמפרטורה שלו $T_i = 410^\circ \text{C}$. גופי החימום מקרינים חום אל הלוח שהטמפרטורה שלו קבועה: $T_b = 200^\circ \text{C}$. הטמפרטורה החיצונית של דופן הבידוד היא T_o .

הספק החום של גופי החימום הוא $\dot{Q} = 4,450 \text{ W}$. רוב החום שנוצר כתוצאה מהזרמת זרם דרך גופי החימום החשמליים עובר אל הלוח באמצעות קרינה $(\dot{Q}_R)$. יתר החום, $(\dot{Q}_L)$, מועבר באמצעות הולכה דרך הדפנות האופקיות והולך לאיבוד. הנח שאין מעבר חום דרך הדפנות הצדדיות של התנור.



איור לשאלה 6

נתונים:

— המוליכות התרמית של המתכת: $k_m = 59 \frac{\text{W}}{\text{mK}}$

— המוליכות התרמית של החומר הקרמי: $k_c = 0.45 \frac{\text{W}}{\text{mK}}$

— המוליכות התרמית של האוויר: $k_a = 0.0262 \frac{\text{W}}{\text{mK}}$

— הגוף החשמלי והלוח הם גופים שחורים בעלי אמיסיביות: $\varepsilon = 1.0$

— מקדם סטפן בולצמן: $\sigma = 5.67 \times 10^{-8} \frac{\text{J}}{\text{m}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{K}^4}$

א. חשב את כמות החום ליחידת זמן המועברת מגופי החימום אל הלוח המחומם באמצעות קרינה.

ב. חשב את כמות החום ליחידת זמן שמועברת דרך דופנות התנור (והולכת לאיבוד).

ג. חשב את ההתנגדות התרמית של דופנות התנור.

ד. חשב את הטמפרטורה החיצונית של דופנות התנור, T_o .

שאלה 8

באזור לשאלה 8 מסורטט חתך של תנור שמטרתו לחמם לוחות העשויים מחומרים מיוחדים. לתנור שתי דפנות אופקיות גדולות, עליונה ותחתונה. המרחק בין הדפנות קטן ביותר, כך שניתן להכניס לתנור לוח אחד בלבד. שטח הדפנות האנכיות, זניח. לכל אחת משתי הדפנות האופקיות בידוד המורכב משכבת מתכת בעובי: $b_m = 4 \text{ mm}$, שכבת אוויר בעובי: $b_a = 6 \text{ mm}$, ושכבת חומר קרמי בעובי: $b_c = 5 \text{ mm}$. החימום בתנור מתבצע בריק (בוואקום).

שטח הפנים של כל אחת מדפנות התנור (האופקיות), הזהה לשטח הלוח המחומם, הוא $A = 0.3 \text{ m}^2$.

לכל אחד מן השטחים הפנימיים של השכבות הקרמיות מוצמד גוף חימום חשמלי שהטמפרטורה שלו: $T_i = 400^\circ \text{C}$. גוף החימום מקרין חום אל לוח שהטמפרטורה שלו קבועה: $T_b = 270^\circ \text{C}$. הטמפרטורה החיצונית של דפנות הבידוד היא: $T_o = 40^\circ \text{C}$.

רוב החום, שנוצר כתוצאה מהזרמת זרם דרך הגוף החשמלי, עובר אל הלוח באמצעות קרינה. יתר החום יוצא באמצעות הולכה דרך הדפנות האופקיות והולך לאיבוד. הנח שאין מעבר חום דרך הדפנות הצדדיות של התנור.

נתונים:

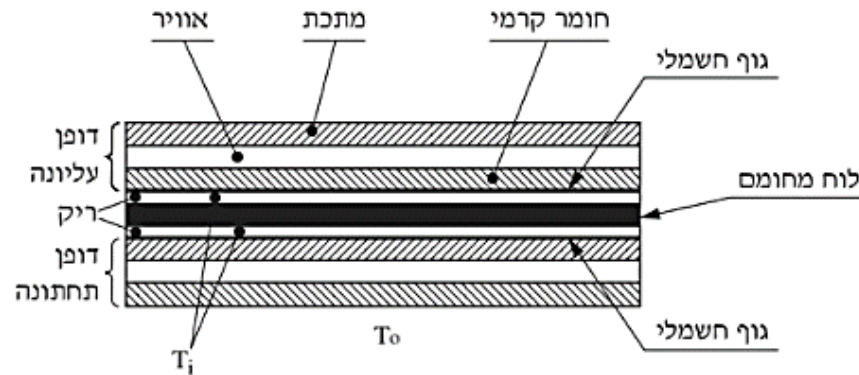
$$k_m = 58 \frac{\text{W}}{\text{mK}} \quad \text{המוליכות התרמית של המתכת:}$$

$$k_c = 0.43 \frac{\text{W}}{\text{mK}} \quad \text{המוליכות התרמית של החומר הקרמי:}$$

$$k_a = 0.0262 \frac{\text{W}}{\text{mK}} \quad \text{המוליכות התרמית של האוויר:}$$

$$\varepsilon = 1 \quad \text{האמיסיוויות של הגוף החשמלי ושל הלוח (גופים שחורים) היא:}$$

$$\sigma = 5.67 \times 10^{-8} \frac{\text{J}}{\text{m}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{K}^4} \quad \text{מקדם סטפן-בולצמן:}$$



איור לשאלה 8

א. חשב את ההתנגדות התרמית של דופן התנור.

ב. חשב את איבוד החום ליחידת זמן (kW) דרך דפנות התנור.

ג. חשב את כמות החום ליחידת זמן המועברת מהגוף החשמלי אל הלוח המחומם באמצעות קרינה. מהו הספק החום שיש לספק לגוף החימום כדי לחמם את הלוח?

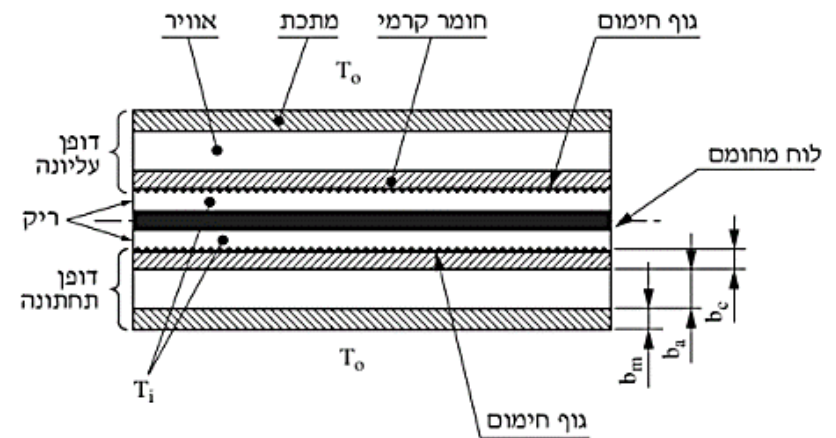
שאלה 6

באיור לשאלה 6 נתון סרטוט חתך של תנור שמטרתו לחמם לוחות העשויים מחומרים מיוחדים. לתנור שתי דפנות אופקיות גדולות, דופן עליונה ודופן תחתונה. המרחק בין הדפנות קטן ביותר כך שניתן להכניס לתנור לוח אחד בלבד. שטח הדפנות האנכיות זניח. לכל אחת משתי הדפנות האופקיות יש בידוד בעל שלוש שכבות: שכבת מתכת בעובי של $b_m = 3 \text{ mm}$, שכבת אוויר בעובי של $b_a = 6 \text{ mm}$, ושכבת חומר קרמי בעובי של $b_c = 5 \text{ mm}$.

שטח הפנים של כל אחת מדפנות התנור (האופקיות): $A = 0.15 \text{ m}^2$, והוא זהה לשטח הלוח המחומם.

לכל אחד מן השטחים הפנימיים של השכבות הקרמיות מוצמד גוף חימום חשמלי שהטמפרטורה שלו $T_i = 450^\circ \text{C}$. גופי החימום מקרינים חום אל הלוח כך שהטמפרטורה שלו קבועה: $T_b = 230^\circ \text{C}$. הטמפרטורה החיצונית של דופן הבידוד היא $T_o = 50^\circ \text{C}$.

הספק החום של שני גופי החימום הוא $\dot{Q}$. רוב החום שנוצר בגופי החימום עובר אל הלוח באמצעות קרינה $(\dot{Q}_R)$. יתר החום, $(\dot{Q}_L)$, יוצא באמצעות הולכה דרך הדפנות האופקיות והולך לאיבוד. הנח שאין מעבר חום דרך הדפנות הצדדיות של התנור.



איור לשאלה 6

נתונים:

המוליכות התרמית של המתכת: $k_m = 59 \frac{\text{W}}{\text{m K}}$

המוליכות התרמית של החומר הקרמי: $k_c = 0.45 \frac{\text{W}}{\text{m K}}$

המוליכות התרמית של האוויר: $k_a = 0.0262 \frac{\text{W}}{\text{m K}}$

הגוף החשמלי והלוח הם גופים שחורים בעלי אמיסיביות: $\epsilon = 1$

מקדם סטפן-בולצמן: $\sigma = 5.67 \cdot 10^{-8} \frac{\text{J}}{\text{m}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{K}^4}$

א. חשב את ההתנגדות התרמית של דפנות התנור.

ב. חשב את כמות החום ליחידת זמן, $\dot{Q}_L$, שיוצאת דרך דפנות התנור (איבודי חום).

ג. חשב את כמות החום ליחידת זמן, $\dot{Q}$, המועברת מגופי החימום אל הלוח באמצעות קרינה.

מהו הספק החום שיש לספק לגופי החימום על מנת לבצע את התהליך? (הנח שאין איבודי הספק בגופי החימום).

שאלה 6 (20 נקודות)

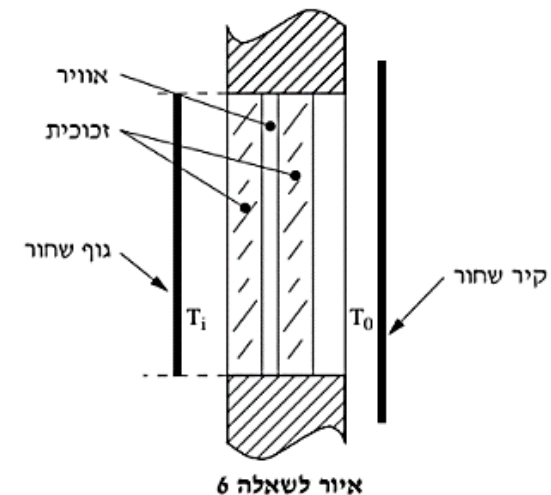
באיור לשאלה 6 מתואר חתך דרך חלון של תנור אפייה.

החלון מורכב משתי שכבות של זכוכית שקופה שביניהן שכבת אוויר, כדי למזער איבודי חום מהתנור.

סעיפים א' – ג' מתייחסים למצב שבו יש בתוך התנור אוויר בלבד.

נתונים:

- עוביה של כל אחת משכבות הזכוכית: 2 mm
- עוביה של שכבת האוויר: 1 mm
- שטח החלון: $A = 0.04 \text{ m}^2$
- הטמפרטורה בתוך התנור: $T_i = 280^\circ \text{C}$
- הטמפרטורה מחוץ לתנור: $T_o = 25^\circ \text{C}$
- המוליכות התרמית של הזכוכית: $k_g = 7.6 \text{ W/m K}$
- המוליכות התרמית של האוויר: $k_a = 0.0262 \text{ W/m K}$



איור לשאלה 6

א. חשב את ההתנגדות התרמית של החלון.

ב. חשב את כמות החום ליחידת זמן (kW) שהולכת לאיבוד דרך החלון.

ג. אילו הייתה בחלון רק זכוכית אחת בעלת עובי של 3 mm (ללא שכבת אוויר), איזה שטח חלון היה נדרש כדי שאיבוד החום דרך החלון יהיה זהה לזה שחישבת בסעיף ב'! לו שטח החלון לא היה משתנה, האם האיבודים היו גדלים, קטנים או לא משתנים? נמק את תשובתך.

ד. לתוך התנור מוכנס גוף שחור הנמצא בטמפרטורה T_i . שטחו זהה לשטח החלון. הגוף פולט חום בקרינה, והחום נקלט על-ידי קיר, המתנהג כגוף שחור, מעברו השני של החלון. הטמפרטורה של הקיר היא T_o .

חשב את איבודי החום מהתנור הנובעים מהקרינה של הגוף השחור.

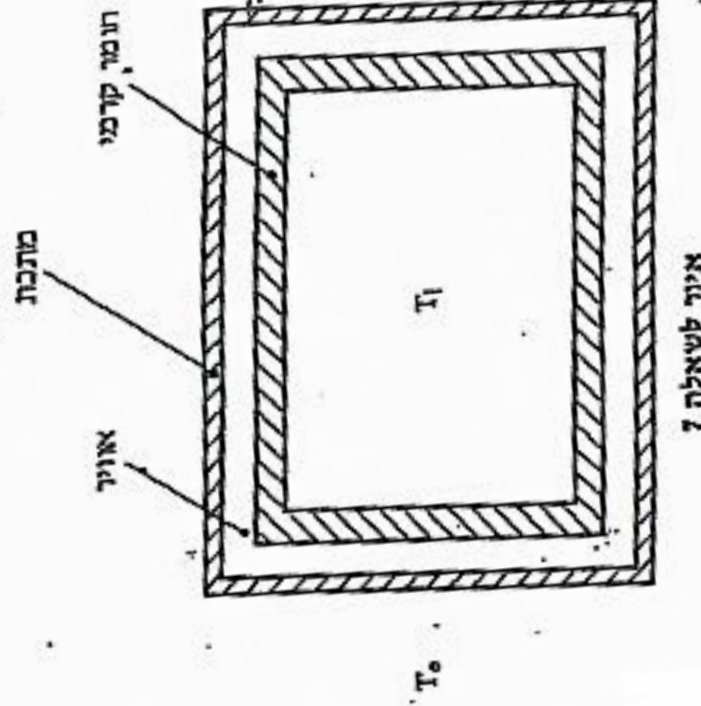
לגופים השחורים כושר קרינה: $\epsilon = 1$

מקדם סטפן-בולצמן: $\sigma = 5.67 \cdot 10^{-8} \frac{\text{J}}{\text{m}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{K}^4}$

שאלה 7

באור לשאלה 7 מתואר החץ של תנור אפיון שצורתו תיבת דופן הבדוד של התנור מורכבת משכבת מתכת בעלת עובי של $b_m = 3$ סמ"מ, משכבת אוויר בעלת עובי של $b_a = 9$ סמ"מ, ומשכבת חומרי קרמי בעלת עובי של $b_c = 7$ סמ"מ. $\therefore b_c = 7$ סמ"מ.

מניחים ששטח הפנים של התנור זהה לכל השכבות וערכו $A = 1.2$ מ"מ². הטמפרטורה בתוך התנור היא $T_i = 180^\circ\text{C}$, והטמפרטורה החיצונית של שכבת המתכת היא $T_o = 30^\circ\text{C}$.



נתונים:

$$k_m = 58 \frac{\text{W}}{\text{mK}}$$

$$k_a = 0.43 \frac{\text{W}}{\text{mK}}$$

$$k_c = 0.026 \frac{\text{W}}{\text{mK}}$$

- האם יעילות התנור גדלה עם עלייה בהתנגדות התרמית של דופן התנור או קטנה? נמק את תשובתך.
- חשב את ההתנגדות התרמית של דופן התנור.
- חשב את כמות החום ליחידת זמן (kW) שנפלטת דרך דופן התנור.
- מהנדס המפעל שבו מייצרים את התנורים החליט להגדיל כ-10% את עובי שכבת האוויר. תחן שהספק החום בתנור והטמפרטורה הפנימית שלו אינם משתנים, וחשב את הטמפרטורה החיצונית שאליו תגיע שכבת המתכת, לאחר השינוי בעובי שכבת האוויר.

שאלה 7

באיור לשאלה זו נראה חתך של תא כדורי המכיל גז. דופן התא מורכבת משלוש שכבות:

– שכבת מתכת שעוביה: $b_m = 1 \text{ mm}$

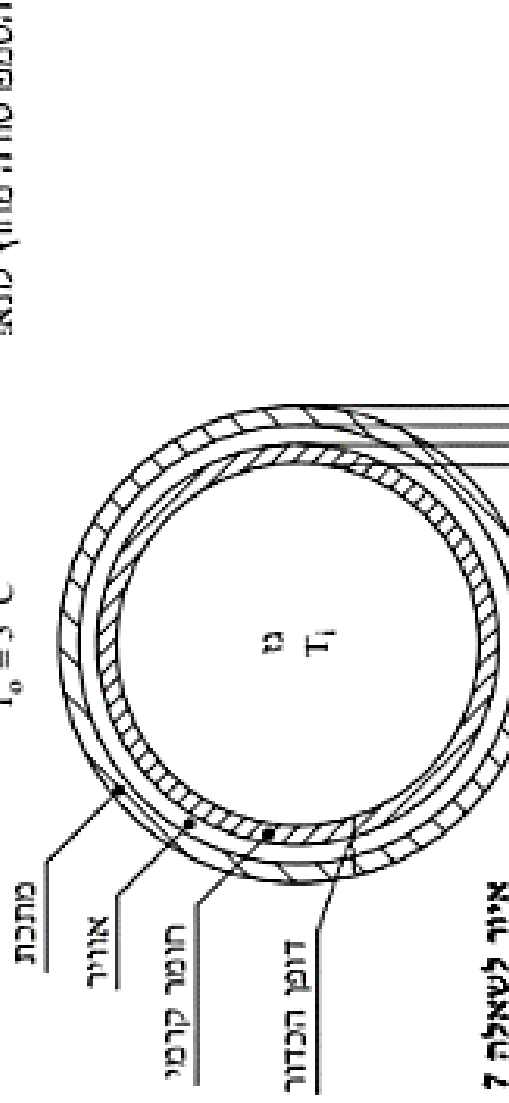
– שכבת אוויר שעוביה: $b_a = 0.5 \text{ mm}$

– שכבת חומר קרמי שעוביה: $b_c = 2 \text{ mm}$

שטח הפנים של הכדור: $A = 0.4 \text{ m}^2$ (זוהי לכל השכבות)

הטמפרטורה בתוך התא: $T_i = 25^\circ \text{C}$

הטמפרטורה מחוץ לתא: $T_o = 5^\circ \text{C}$



נתונים:

– המוליכות התרמית של המתכת: $K_m = 60 \frac{\text{W}}{\text{mK}}$

– המוליכות התרמית של האוויר: $K_a = 0.0262 \frac{\text{W}}{\text{mK}}$

– המוליכות התרמית של החומר הקרמי: $K_c = 0.4 \frac{\text{W}}{\text{mK}}$

א. חשב את ההתנגדות התרמית של דופן הכדור.

ב. חשב את כמות החום ליחידת זמן (W) שיוצאת דרך דופן הכדור.

ג. 1. כתוצאה מתקלה בתהליך הייצור של דופן הכדור, נדבקו שכבת המתכת ושכבת החומר הקרמי זו לזו, ולא נשאר ביניהן רווח לאוויר. חשב את כמות החום ליחידת זמן (W) שיוצאת דרך דופן הכדור במצב זה.

2. חשב את היחס, באחוזים, בין קצב מעבר החום כאשר שכבת האוויר קיימת, לבין קצב מעבר החום כאשר שכבת האוויר אינה קיימת.

שאלה 8

באיור לשאלה זו מתואר חתך של חלון בתנור אפייה.

על מנת למזער את איבוד החום מן התנור, החלון מורכב משני לוחות זכוכית שקופה המופרדים באמצעות שכבת אוויר.

נתונים:

עוביו של כל אחד מלוחות הזכוכית: 2 mm

עובייה של שכבת האוויר: 1 mm

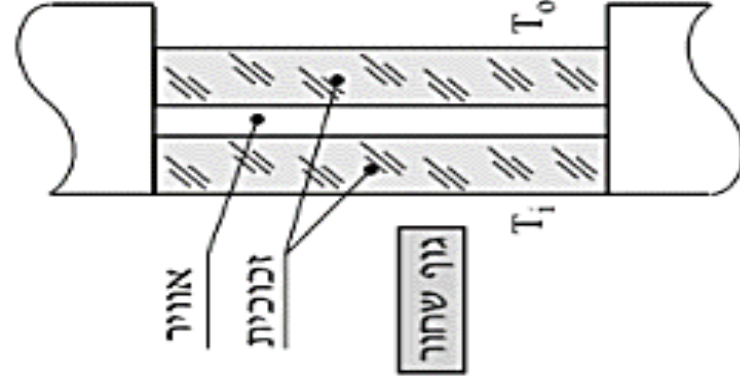
שטח החלון: 0.2 m^2

הטמפרטורה בתוך התנור: $T_i = 250^\circ\text{C}$

הטמפרטורה מחוץ לתנור: $T_o = 25^\circ\text{C}$

המוליכיות התרמית של הזכוכית: $k_g = 7.6 \frac{\text{W}}{\text{m K}}$

המוליכיות התרמית של האוויר: $k_a = 0.0262 \frac{\text{W}}{\text{m K}}$



איור לשאלה 8

א. חשב את ההתנגדות התרמית של החלון.

ב. חשב את כמות החום ליחידת זמן (kW) הנפלטת דרך החלון.

ג. אילו חלון התנור היה עשוי מלוח זכוכית אחד בלבד, בעל עובי של 4 mm (ללא אוויר), איזה שטח חלון היה נדרש כדי לקבל אותה פליטת חום, כמו בסעיף ב'?

ד. לתוך התנור מוכנס גוף שחור הנמצא בטמפרטורה T_i . האם פליטת החום דרך חלון התנור תגבר, תפחת או לא תשתנה עקב קרינת הגוף השחור? נמק את תשובתך.