

רדידי אלומיניום וביניהם שכבת פוליאטילן עם בועות אוויר. שימוש ביריעות אלה בגגות רעפים מונע חדירת לחות בחורף ומחזיר את קרינת השמש בקיץ. ישנם מספר מדדים המשמשים לתיאור את יכולת הבידוד של החומר המבודד או של המערכת כולה (למשל קיר עם חללי אוויר וסיבי זכוכית):

- **מוליכות תרמית K** = מתארת את הנטייה של חומר להוליך חום. חומרים בעלי מוליכות תרמית גבוהה מעבירים חום היטב ולכן נחשבים למבודדים פחות טובים. טבלה 1 מתארת מדיד מוליכות תרמית של חומרים נפוצים. מדד זה אינו תלוי בעובי החומר.

- **התנגדות תרמית כוללת R** : ההשפעה של חומר בנייה מסויים על מעבר החום למבנה מושפע הן מהנטייה של חומר להוליך חום או להתנגד למעבר חום, הן מעובי החומר המבודד והן מהאוויר הנמצא במגע ישיר עם פני השטח שלו. גם האוויר הנמצא על פני השטח מתנגד להולכת חום. ערכי התנגדות פני שטח של חומר נקבעים ע"י ניסויים. ההתנגדות התרמית הכוללת משקללת את כל הגורמים המשפיעים על מעבר החום דרך חומר הבנייה. מערכת מבודדת תרמית תהיה בעלת ערך R גבוה. ערך זה יושג על ידי בחירת חומרים מתאמים בעלי ערכי בידוד טובים. למשל, ככל שיכולת הבידוד של מרכיב מסויים גדולה יותר כך יהיה לו ערך R גדול יותר. בנוסף בחירת חומר מבודד בעל ערך K נמוך תבטיח הולכת חום מועטה.

טבלה 1: השוואה בין ערכי בידוד של לחומרים נבחרים.

שם החומר	מוליכות תרמית K (W/mk)	עובי החומר במטרים	התנגדות תרמית R (m^2k/w)
אוויר	0.02	0.01	0.45
סיבי זכוכית	0.07	0.01	0.14
קלקר	0.03	0.01	0.37
זכוכית	0.84	0.01	0.01
בטון	2.10	0.01	0.005
בלוק שחור	1.2	0.01	0.008
איטונג	0.18	0.01	0.06
פלדה	45	0.01	0.00

מהנדסים משתמשים בנוסחאות ומדדי בידוד כדי לחשב את הרכב החומרים המבודדים הדרושים לבידוד המבנה
למשל משוואה 1:

$$\frac{\Delta Q}{\Delta t} = \frac{k * A * \Delta T}{t}$$

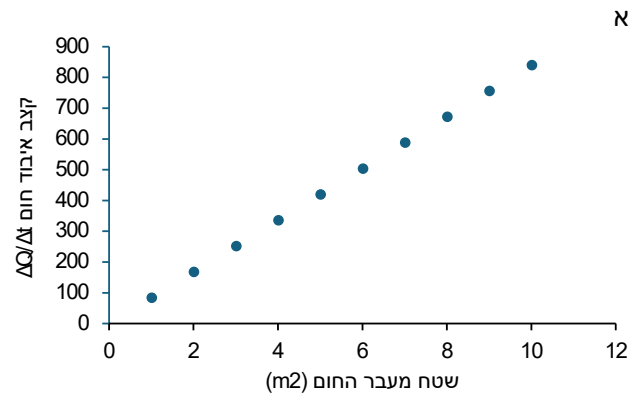
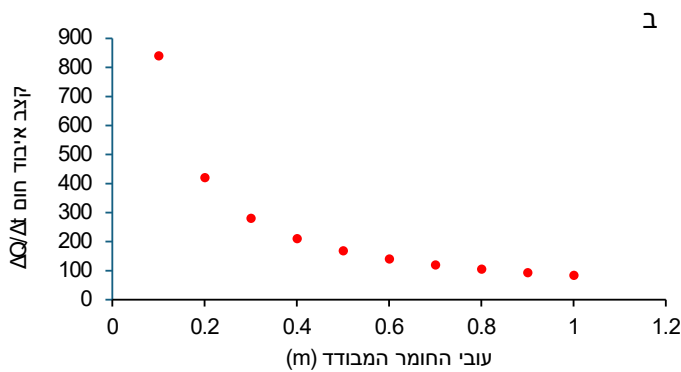
לפי משוואה זו, קצב מעבר החום (Q) נמצא ביחס יש למקדם המוליכות התרמית (K), לשטח החתך דרכו עובר החום (A) ולהפרש הטמפרטורה בין שתי הסביבות (ΔT). כמו כן קצב מעבר החום נמצא ביחס הפוך לעובי של החומר המבודד (l). משוואה זו נכונה בצורה רגעית ככל שעובר הזמן, הפרש הטמפרטורה משתנה ולכן גם קצב מעבר החום משתנה. נוסחה נוספת היא הנוסחה המקשרת בין מעבר החום לאנרגיה. אנרגיה עוברת בקצב מסויים ממקום חם למקום קר. הגודל הפיזיקלי המתאר קצב מעבר אנרגיה נקרא הספק. (משוואה 2):

$$\frac{\Delta Q}{\Delta t} = P = \frac{E}{t}$$

משוואה 2: הקשר בין אנרגיה לזמן. P = הספק ביחידות של וואט, E = אנרגיה ביחידות של ג'ול, t = זמן בשניות. שאחד וואט שווה למעבר אנרגיה של 1 ג'ול בשנייה אחת.

$$1W = \frac{1Joule}{second}$$

בעת תכנון מבנה, יש חשיבות לבחירת חומרים מבודדים בעלי מוליכות תרמית טובה, צריך להתייחס ליחס בין שטח הפנים לבין הנפח של המבנה, לעובי של החומרים המבודדים ולמיקום הגיאוגרפי. לפי משוואה 1 קצב מעבר החום נמצא ביחס ישר לשטח הפנים וביחס הפוך לעובי החומר המבודד. אם כך, מה תהיה ההשפעה של שינוי כל אחד מהמפרמטרים האלה על קצב מעבר החום?
לפניכם תוצאות של קצב מעבר חום שחושבו על פי משוואה 1. תמונה א' מציגה את השינוי בקצב מעבר החום ככל ששטח הפנים הלך וגדל. ניתן לראות שינוי לינארי ומשמעותי בקצב מעבר החום. לעומת זאת, תמונה ב', שטח הפנים נשאר קבוע על 10 מטר מרובע אבל עובי המבודד הלך ועלה. ניתן לראות שככל שהמבודד עבה יותר קצב מעבר החום קטן. אולם, ההשפעה של עובי המבודד הולכת וקטנה.



תמונה 2: השפעת שינוי פרמטרים שונים על קצב מעבר החום דרך חומר מבודד, בעל מוליכות תרמית $(k=0.84)$. ככל ששטח פנים גדול יותר קצב מעבר החום גדול יותר. מתקבל קשר ליניארי לאורך הזמן. (ב) עבור אותו חומר בידוד ובשטח פנים קבוע של 10 מטר מרובע, התרומה של הגדלת עובי הבידוד הולכת וקטנה ככל שעובי המבודד גדל.

תרגיל בחיסכון

במכשירי חשמל כמו מזגן ביתי נהוג לציין מדד שנקרא יחידות חום לשעה (BTU/h) (יחידות חום בריטיות). יחידת חום בריטית אחת, שווה לכמות החום הנדרשת להעלאת כ- 450 גרם מים ב- 0.56 מעלות צלסיוס. ערך זה שווה בערך ל- 252 קלוריות. כדי לקשר בין BTU לבין וואט שהן יחידות המידה לאנרגיה ועל פיהן מחושב למשל חשבון החשמל שלנו נוכל להגיד שכל 3.143 יחידות חום בריטיות שוות בממוצע להספק של 1 וואט לשעה. צריך לקחת בחשבון כמובן שהחישוב תיאורטי, הרי לא בטוח שצריכת המזגן אחידה לכל טווח הטמפרטורה בחלל, וגם יתכנו גורמים נוספים שישפיעו על יעילות המזגן, אולי המדחס חשוף לשמש, המזגן ישן, ועוד ועוד. אבל החישוב יכול לתת הערכה מקורבת. בצעו את החישובים הבאים:

1. אם מחיר קילואט 1 של חשמל הוא בערך 60 אגורות. חשבו כמה צפויה לעלות הפעלת המזגן בעל ערך של 28000 BTU לשעה, במשך לילה אחד (10 שעות).
2. אם הייתם יכולים לבדוד את החלל ולחסוך 20 אחוזים בצריכת החשמל כמה כסף הייתם חוסכים בחודש? בשנה?

שיקולים נוספים של התייעלות באנרגיה

היבט נוסף שיש להתחשב בו בעת תכנון המבנה הוא יכולת הבידוד האקוסטי שלו. צפיפות האוכלוסיה במדינה הולכת וגדלה. אנשים רבים מתגוררים בסמיכות למקורות רעש כמו מסילות רכבת, שדות תעופה וכבישים סואנים. לא כל רעש נופל תחת ההגדרה של מפגע או מטרד. רעש מוגדר כמזיק או מטריד כאשר הוא חורג מעל עוצמה מסוימת בתדרים מסוימים לאורך זמן. חשיפה לרעש ובעיקר כזו הנמשכת לאורך זמן רב גורמת למגוון רחב של השפעות מזיקות גופנית ומנטאלית וביניהן אבדן שמיעה זמנית או כרוני, עלייה במתח נפשי וכדומה. תכנון נכון ובחירת חומרי בנייה שמבודדים גם בידוד תרמי וגם בידוד אקוסטייוביל לחיסכון מקסימלי באנרגיה, וייעל את הבידוד האקוסטי של המבנה ללא צורך בשימוש בשכבות בידוד אקוסטיות נוספות שיכבידו כמובן גם על עלויות הבנייה וגם על הסביבה. שילוב נכון המאפשר את שני סוגי הבידוד תורם לשיפור איכות הסביבה, בריאות המשתמשים במבנה, וחיסכון בעלויות אנרגיה. מכאן ששילוב נכון בין בידוד תרמי לאקוסטי הוא בעל משמעות גבוהה בבנייה ירוקה.

מטרות האתגר

1. להשתמש במדדים כמותיים לחישוב איבוד חום וקליטת חום על ידי מבנה מבודד.
 2. לחקור את הקשר בין בידוד תרמי ובידוד אקוסטי.
- באתגר זה התלמידים ימדדו את הטמפרטורה במבנה שעשוי מחומרי בידוד שונים. התלמידים יבחנו את ההשפעה של אותם החומרים גם על הבידוד האקוסטי של המבנה.

מהלך האתגר - הנחיות כלליות:

1. חשפו את התלמידים להיבטים הכמותיים של מדדי בידוד החום. הציגו להם דוגמאות מספריות. עודדו אותם לחפש ברשת נתונים כמותיים של חומרי בנייה שונים.
2. יצירת מבנה למחקר:
 1. לצורך האתגר יש לבנות מבנה קטן שבו יערכו המדידות. אפשר להשתמש במבנה מהאתגר השני. במידה והאתגר השני לא בוצע, הציגו לתלמידים להשתמש בקופסת נעליים או בקופסה אחרת בגודל דומה. יש לבנות לפחות שלושה מבנים זחים.

2. בחרו חומרים מבודדים אשר תרצו לבדוק את יכולתם לשמש כמבודדים תרמיים, אקוסטיים או גם וגם. אפשר להשתמש בחומרי בידוד מקובלים או לנסות חומרי בידוד לא שגרתיים. אפשר כמובן לשלב בין יותר מחומר בידוד אחד.
 3. חישבו בעזרת התלמידים על האופן שבו יש לחקור את התכונות של כל אחד מחומרי הבידוד שבחרתם.
 4. תכננו ניסוי חקר מתאים.
- במידה והזמן לא מאפשר לקיים חקר פתוח אנו מציעים לבצע את הניסוי הבא ולהרחיב אותו במידת האפשר.

חלק ראשון - חוקרים בידוד תרמי

בניסוי נשתמש בכוס המכילה מים קרים, המדמה גוף שאת הטמפרטורה שלו אנחנו רוצים לבדוד.

1. כסו שניים מהמבנים שבניתם בחומרי הבידוד אותם תרצו לבחון. בחרו משתנה אותו תרצו לבחון. המשתנה יכול להיות סוג החומר המבודד, עובי החומר המבודד או שטח המבנה המכוסה בחומר בידוד. לדוגמה אם בחרת לבחון את השפעת השטח המבודד: השאירו מבנה אחד ללא חומר בידוד. כסו מבנה שני "קירות" של המבנה השני בחומר בידוד. כסו את כל הקירות של המבנה השלישי באותו חומר בידוד (מאותו סוג ובאותו עובי).
2. הניחו בתוך כל אחד מהמבנים שהכנתם כוס כימית עם מים קרים בטמפרטורה של 10 מעלות צלזיוס. תוכלו גם להכניס את שני המבנים למקרר עד שטמפרטורת האוויר שבתוכם תתייצב.
3. במשך שעה, מדדו את טמפרטורת האוויר בתוך המבנים, את טמפרטורת המים בכוס באופן רציף. (השתמשו במד טמפרטורה אנלוגי באופן שתוכלו לראות את השנתות מחוץ לקופסה או באוגר נתונים דיגיטלי). מדדו גם את הטמפרטורה בחדר שבו מתבצע הניסוי כדי לוודא שהיא לא משתנה במהלך הניסוי.
4. הכינו את הטבלה הבאה

טבלה 1: השפעת הבידוד על קצב שינוי הטמפרטורה.

זמן מתחילת הניסוי	טמפרטורה המים בזמן t (מעלות צלזיוס).	שיעור עליית הטמפרטורה Δt .
0	10	0

רעיון להרחבת הניסוי

- הדגמת העקרון שמעבר חום תלוי בשטח הפנים של החלל, ולא בנפחו: בנו מספר מבנים מחומרים זהים. שמרו על נפח המבנה אבל שנו את הצורה שלו. לדוגמה: הכינו קופסה בצורה של קוביה בנפח 1000 סמ"ק (אורך צלע 10 ס"מ). הכינו קופסה נוספת בעלת אותו הנפח אבל במידות שונות, למשל $10 \times 5 \times 20$ ס"מ (תיבה). מדדו את קצב שינוי הטמפרטורה בשני המבנים.

חלק שני – מחשבים מעברי חום

הגדרות:

- "קלוריה" – יחידת האנרגיה התרמית 1: קלוריה היא תוספת האנרגיה הדרושה כדי לחמם 1 גרם מים במעלת צלזיוס אחת כאשר לחץ האוויר הוא 1 אטמוספירה.
- קיבול חום סגולי, c , של חומר מסוים הוא תוספת האנרגיה (בקלוריות) הדרושה כדי להעלות את הטמפרטורה של 1 גרם מאותו חומר במעלה אחת. טבלה 1 מציגה נתונים על קיבול חום של מספר חומרים.

החומר	קיבול חום סגולי c (קלוריות למעלה ל-1 גרם)
מים	1.00
קרח	0.50
אלכוהול	0.57
זהב	0.03
אלומיניום	0.21
נחושת	0.09
ברזל	0.11
חול	0.20
עופרת	0.03

אנחנו יכולים להשתמש בנתונים הללו כדי לחשב למשל, את תוספת האנרגיה הדרושה כדי להעלות את הטמפרטורה של 1 ליטר מים במעלה 1 צלזיוס :
מסתם של ליטר מים היא 1000 גרם.

$$1000g \cdot c = 1000g \cdot 1 = 1000 \text{ cal}$$

אם טמפרטורת המים היתה עולה מ-10 מעלות צלזיוס ל-20 מעלות צלזיוס, היינו צריכים להכפיל את מספר הקלוריות בהפרש הטמפרטורה (בדוגמה 10 מעלות צלזיוס). כמות האנרגיה שמתקבלת בחישוב היא כמות האנרגיה שיש להוסיף למערכת. כלומר, תוספת האנרגיה הדרושה כדי להעלות את הטמפרטורה של גוף בעל מסה כלשהי נמצאת ביחס ישר למסה של הגוף ולשינוי בטמפרטורה שלו. ככל שלגוף יש מסה גדולה יותר, כך נדרשת תוספת אנרגיה גדולה יותר כדי להעלות את הטמפרטורה שלו במעלה אחת.
כדי לבצע את החישוב הכפלנו את המסה של הגוף (m), בקיבול החום הסגולי של החומר שממנו הוא עשוי (c) ואת התוצאה כפלנו בשינוי הטמפרטורה Δt .
המשוואה המתקבלת מחישוב זה היא:

$$Q = cm\Delta t.$$

משוואה 3: תוספת אנרגיה כחום של חומר. c = קיבול חום, m מסה בגרמים, Δt הפרש הטמפרטורה.

באילו יחידות משתמשים במשוואה זו?

יחידת הקלוריה משמשת כיחידת אנרגיה בחיי היום-יום, בעיקר בהקשר של הערך הקלורי של מזון ושל שתייה. אבל בשיח המדעי מקובל להשתמש ביחידת אנרגיה שנקראת ג'ול. אם נרצה לבדוק את כמות האנרגיה בג'ול שהושקעה בהעלאת 1 ליטר של מים (קילוגרם מים) במעלה אחת, נצטרך לבטא גם את יחידות קיבול החום בג'ול. קיבול החום של מים בג'ול שווה ל-4200 ג'ול לקילוגרם למעלה צלזיוס. לכן נבצע את החישוב הבא:

$$m=1 \text{ kg}, c=4200 \text{ J/kg}(\text{°C}), \Delta t=1\text{°C}.$$

$$Q = cm\Delta t.$$

$$Q = 4200 \cdot 1 \cdot 1 = 4200 \text{ J}$$

שאלות:

העזרו במשוואה 3 וחשבו את תוספת החום שנדרשה להעלות את טמפרטורת המים מהטמפרטורה ההתחלתית לטמפרטורה הסופית בניסוי שבצעתם .

1. הציגו באמצעות תרשים מתאים, את השינוי בקצב עליית הטמפרטורה של כפונקציה של הזמן.

2. הציגו באמצעות תרשים את כמות החום שהתווספה למבנה כפונקציה של הזמן.

חלק שלישי - חוקרים בידוד אקוסטי

5. בדיקת בידוד אקוסטי עבור חומרי הבידוד התרמי השונים (מסעיף קודם):

a. התקינו את שני היישומונים הבאים:

i. יישומון המייצר צלילים בתדרים שונים - Frequency sound generator.

ii. יישומון ארדואינו בכדי למדוד עצמת שמע של צלילים - Arduino Science Journal

b. הניחו טלפון נייד אחד בתוך המבנה המבודד וכוונו אותו בעזרת האפליקציה לייצר צליל בתדר ועוצמה קבועים מראש.

c. הניחו טלפון נייד נוסף במרחק קבוע מחוץ למבנה המחקר והקליטו את עצמת הרעש. התחילו את מדידת הרעש ממרחק 10 ס"מ מהמבנה והרחיקו אותו במרחק קבוע עבור כל מדידה. (אם את חלש מידי קרבו את הממכשיר ואם חזק הרחיקו).

d. חזרו על הניסוי עם המבנה שאינו מבודד.

חלק רביעי – מארגנים תוצאות

1. ארגנו את התוצאות של שני הניסויים.

2. הציגו בעזרת תרשימים מתאימים את השפעת התכונות של החומר המבודד (סוג, עובי או שטח) על יכולת הבידוד התרמית והאקוסטית של המבנה.

3. סכמו את הממצאים העולים מהניסוי: מה היתה תרומת החומר המבודד תרמי לשמירת הטמפרטורה? מה היתה תרומת החומר המבודד אקוסטי לבידוד הרעש?

4. כתבו המלצה לשימוש נכון בחומרים שבחרתם.

בהצלחה !