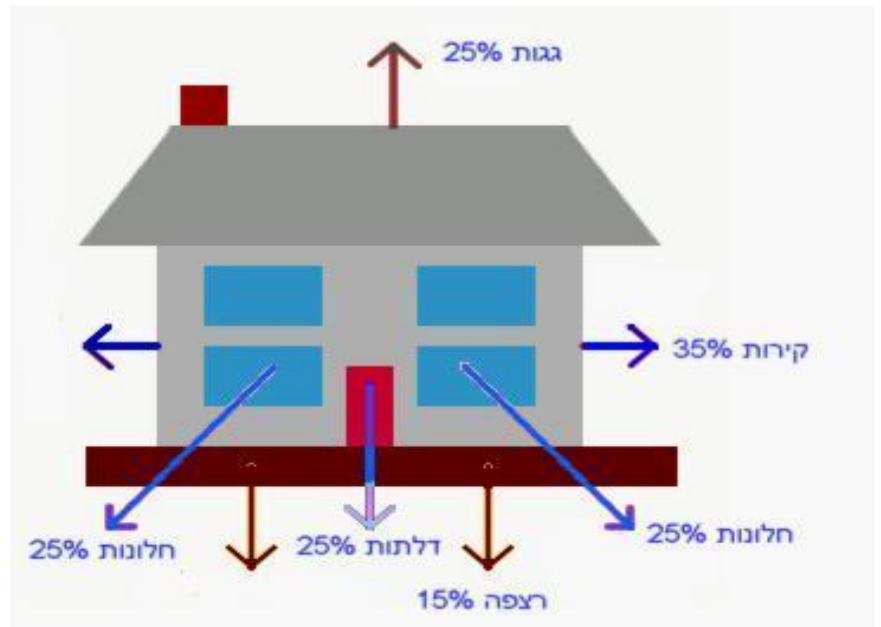


חישובים תרמיים ובידוד תרמי:

לבידוד תרמי במבנים ודירות מגורים קיימת חשיבות רבה, ליקויים תרמיים מהווים תופעה שכיחה במרב הדירות ובתי המגורים, מעבר לצריכת אנרגיה גבוהה, ליקויים תרמיים מהווים כר נרחב לתופעות העיבוי המוכרות (התפתחות כתמי עובש, תפרחת, בקטריות, הזעה וכו'). בבואנו לבחון נושאים אלו בהקשר לאיבודי אנרגיה, רצ"ב איור לצורך המחשה.



בידוד תרמי נועד בעיקר לתת מענה לנושאים אלו:

- חיסכון באנרגיה.
- נוחות תרמית.
- מניעת עיבוי.

דרכי מעבר חום ואיבודי אנרגיה באות לידי ביטוי במונחים אלו: הולכה, הסעה, קרינה. על מנת להבין משמעויות אלו על ביתנו, נסקור בקצרה מונחים אלו וחשיבותם הרבה לתכנון המוקדם של המבנים לסוגיהם.

חום עובר באחת משלוש צורות המעבר:

- הולכה-דרך חומרי הבנייה.
- הסעה-על ידי תנועה של חומר (כמו רוח).
- קרינה-על ידי פליטת חום (כמו החום המגיע מהשמש).

העברת חום בהולכה: היא מעבר חום בין החלקים של חומר זהה או חומר אחר אשר צמודים זה לזה.

העברת חום בהסעה: היא העברת חום ממקום אחד למקום שני באמצעות חומר מתווך, כגון: אוויר או מים.

מעבר חום בקרינה: הוא מעבר חום ללא אמצעי/חומר מתווך ובאמצעות גלים אלקטרומגנטיים, כגון: קרינת השמש על כדור הארץ.

ביה"ס למקצועות הקירור ומיזוג אוויר

תפקיד המעטפה החיצונית של המבנה לשמש כשכמייה אשר נועדה כדי להגן על פנים המבנה, ועל תנאי האקלים שבו, בנוסף למניעת מעבר אוויר שאינו מבוקר, הגורם לשינוי ברמת החום (טמפ' מורגשת) והלחות (חום כמוס).

ישנם שלושה חלקים במבנה המעטפת הקשורים זה בזה:

1. סביבת חוץ של המבנה.

2. סביבת פנים מבנה.

3. המערכת הכוללת של המבנה (מעטפת המבנה).

ההתייחסות הראשונית במכלול המעטפת הינה לציפוי החיצוני של המבנה כלומר, מערכות הטיח והצביעה ולאחר מכן מערכות פנים המבנה, כשבתווך נמצא שלד המבנה שחומריו יקבעו את היכולת הסופית של המבנה לבדוד את החלל הפנימי מהסביבה. המכלול מורכב מהמרכיבים הבאים:

1. רצפת המבנה.

2. קירות מעטפת המבנה.

3. חלונות ודלתות.

4. גג המבנה.

בעת התכנון של הבית, חשוב להתייחס להיבטים אלו כחלק בלתי נפרד מתכנון הבניין תוך התייחסות למיקומו הגיאוגרפי, התייחסות לת"י 1045 (חלק 1) ובנוסף, התייחסות להעמדת המבנה, תכנון נכון של הבית וכיוון העמדתו לניצול של תאורה טבעית, אוורור טבעי וניצול אנרגיית השמש, להיבטים אלו קוראים "בנייה ירוקה".

חישובים תרמיים של מבנה:

א. התייחסות למיקום גיאוגרפי:

מדינת ישראל מחולקת ל-4 אזורים גיאוגרפיים:

- אזור א'-מישור החוף.
- אזור ב'-גבעות השפלה.
- אזור ג'-הרי יהודה עד הגליל.
- אזור ד'-עמק הירדס ועד אילת.

רצ"ב טבלה מתוך ת"י 1045 לבידוד מבני מגורים - התנגדות תרמית אופיינית נדרשת (R) לקירות חוץ.

מסקל הקיר ק"ג למ"ר	אזור א' מישור החוף	אזור ב' השפלה	אזור ג' צפת וירושלים	אזור ד' בית שאן והערבה
$300 \leq$	0.4	0.50	0.70	0.90
200	0.6	0.70	0.85	1.00
150	0.8	0.90	1.00	1.20
$100 \geq$	1.25	1.25	1.50	1.50

מפת אזורי האקלים



התנגדות תרמית (R) לחומרים שונים והתאמה לטבלת דרישות תקן.

סוג קיר	התנגדות תרמית	משקל למ"ר	איזור א'	איזור ב'	איזור ג'	איזור ד'
בטון 30 ס"מ	0.15	720	0.40	0.50	0.70	0.90
בטון 20 ס"מ	0.10	480	0.40	0.50	0.70	0.90
בלוק 20 ס"מ (5 ח')	0.40	300	0.40	0.50	0.70	0.90
בלוק פומיס 20 ס"מ	0.70	200	0.60	0.70	0.85	1.00
בלוק איטונג 20 ס"מ	0.90	150	0.80	0.90	1.00	1.20
קיר קל		100	1.25	1.25	1.50	1.50

איטום המבנה:

בבואנו לתכנן ולבנות, חובה עלינו להתייחס לביצוע של מערכות איטום ייעודיות משלב היסודות ועד לגג המבנה, למערכות איטום ייעודיות קיימת חשיבות רבה בהקשר לבידוד התרמי, הואיל ומעבר רטיבות דרך החומר, פוגם באפקטיביות של הבידוד התרמי של מבנה המגורים.

ביח"ס למקצועות הקירור ומיזוג אוויר

בנייה ירוקה = חיסכון באנרגיה

בנייה ירוקה הינה למעשה בנייה חכמה אשר מטרתה להקנות לדיירי המבנה איכות חיים וסביבה בריאה יותר ע"י בניית מערכת אקלימית אופטימלית מחד ותוך כדי שימוש בחומרים ובטכנולוגיות המאפשרים חיסכון באנרגיה הנדרשת לקבלת ושמירת התנאים האקלימיים הרצויים.



- קיימת חשיבות בעת התיכנון המוקדם להתייחס למספר פרמטרים כגון:
- בידוד תרמי יעיל של הגג, הקירות והחלונות (מעטפת המבנה).
- ניצול מסה תרמית ובידוד תרמי לחיסכון באנרגיה לצורך חימום ומיזוג דירת המגורים.
- תיכנון חלונות, גובהי תקרה, פתחי איורור, מיקום החללים במבנה עצמו.
- תכנון השלד לבידוד תרמי ביסודות, במרתפים, מקלטים, בקירות, ובידוד הגג.
- בידוד תרמי לחלונות ומפתחים.
- בידוד מערכות הצנרת, מיחזור המים, מערכות חימום, איורור, בקרת אקלים, גופי תאורה, חוסכי אנרגיה, הולכת אור טבעי.
- שימוש בצבעים בהירים למעטפת המבנה החיצונית.
- תכנון מוקדם מחייב גם התייחסות נוספת לנושאים אלו:
- תכנון נכון של מבנה המגורים, לרבות ניצול של אור טבעי, איורור טבעי ואנרגיית השמש.

- מיקומו הגיאוגרפי של המבנה.
- שימוש באביזרים חוסכי אנרגיה.

עקרונות בעלי חשיבות בעת התיכנון המוקדם:

מערכות המיזוג והחימום - עיקרון הבנייה הירוקה יתבסס על ניצול נכון של האנרגיה ושימורה לאורך זמן, על מנת להמעיט ככל הניתן שימוש באנרגיה לחימום ו/או קירור מבנים ודירות מגורים.

היבט חשוב בתכנון מוקדם לשימור האנרגיה הינו-צמצום שטחי קירות החוץ ושטחי המפתחים (חלונות ודלתות) ככל הניתן, תכנון מבנה מרובע, מהווה יחס היקף/שטח סביר ומאפשר תכנון נוח של החללים הפנימיים בחלקו הפנימי של המבנה.

חלונות ודלתות פתוחים/הנפתחים לסרוגין מהווים גורם עיקרי לאיבוד אנרגיה באחוזים גבוהים, עקרון התכנון המוקדם מחייב התייחסות לנושאים אלו כחלק בלתי מהליך התכנון.

לכל אזור על פני כדור הארץ יש טבלת שמש המתאימה לו. ההתחשבות בטבלה זו מהווה גורם מכריע לגבי כמות הקרינה הנכנסת למבנה.

בישראל השמש נמצאת לאורך כל היום בדרום, ותכנון חזיתות דרומיות בבניינים מצריכות טיפול מיוחד בנושאים הקשורים לקרינה אולטרא סגולה.

קווים מנחים בבנייה ירוקה- בידוד תרמי בדירות מגורים.

חובת בידוד תרמי- כל בניין מגורים חייב לעמוד בדרישות ת"י 1045.

כמו כן, כל בניין אחר המשמש כבית ספר או גן ילדים ואו כל מבנה ציבורי, חייב לעמוד בדרישות התקן.

בניינים אחרים חייבים לעמוד ולהבטיח בידוד תרמי כמפורט בתקנון התכנון והבנייה.

ביח"ס למקצועות הקירור ומיזוג אוויר

היבטים בנושא בידוד תרמי של מעטפת המבנה.

בידוד של גגות ותקרות: הבטון אינו חומר בידוד טוב, ולכן כדי להגיע לתוצאות משביעות רצון, צריך להוסיף שכבות חומרי בידוד נוספים כמו "בט-קל" או "קל-קר".

בידוד קירות חיצוניים (בלוקים מבודדים): יש לדעת כי גם אם הבלוק עצמו הינו מחומר מבודד ברמה גבוהה, אין פירוש הדבר שכך הדבר בנוגע לקיר/תקרה כמכלול, זאת מכיוון שישנן נקודות תורפה שונות הפוגעות ברצף הבידוד, וכן גם פתחי חלונות ודלתות.

כדי להשוות את רמת הבידוד של כל שטחו של הקיר החיצוני, דבר הנדרש על מנת למנוע קונדנסציה (עיבוי) בצידו הפנימי, יוצקים את הקורה והעמודים בעובי קטן ב 2 ס"מ מעובי הקיר, ויוצרים השלמת בידוד ע"י לוחות קלקר הצמודים לבטון מבחוץ, מתחת לפני הטיח.

פתחי חלונות ודלתות: הקיר החיצוני מכיל גם פתחי חלונות ודלתות, לרבות דלתות רחבות ידיים אל מרפסות סלון פתוחות בבנייני מגורים או ויטרינות במקומות מסחר, כלומר, שטחים מזוגגים, הזכוכית היא מוליכת חום טובה ולכן יש לקחת בחשבון שימוש בהצללה חיצונית למניעת כניסת אנרגיה של קרינת חום וזכוכית מבודדת למניעת חדירת חום בהולכה. הזכוכית הבידודית הינה זכוכית כפולת דופן כאשר בתווך יש אוויר או גז שמשמשים כמבודדים טרמיים, הבידוד המושג בדרך זו הוא בידוד תרמי ובידוד אקוסטי.

בידוד תרמי לגגות רעפים: קיימת חשיבות מיוחדת בבידוד תרמי של החללים השונים הנמצאים מתחת לגגות עשויים מחומר קל, בעיקר גגות רעפים, שבהם רמת הטמפר' מגיעה בימים חמים במיוחד לכ- 60°C ואף יותר. סוגי הבידוד השימושיים לגגות אלו יהיו: לוחות פוליסטיראן (קלקר), צמר סלעים, רדיד אלומיניום.

בידוד טרמי לגגות שטוחים: מערכות הבידוד הנפוצות הקיימות בארץ לגגות שטוחים הינם: לוחות פוליסטיראן (קלקר), בט-קל, שכבת חצץ לבן וכו'.

מניעת חדירת קרינת שמש למעטה החיצוני של המבנה: ניתן להקטין באופן משמעותי את חשיפת המבנה לחום הקיץ באמצעות מערכת הלבנה לגג המבנה, צביעת המבנה בצבעים בהירים ככל שניתן, בניית קירות בעלות דופן כפול ו/או שימוש בבלוקים מבודדים בעלי כושר בידוד תרמי גבוה יותר כמו: בלוקי איטונג, פומיס, חיפוי באמצעות בנייה מאבן ויישום מערכות בידוד תרמי לפני ביצוע החיפוי.

פתרונות לאיוורור לצינור: איוורור המבנה מסייע להורדת הטמפרטורה הפנימית ניתן לאוורר את המבנה באמצעים שאינם דורשים אנרגיה לצורך ביצוע פעולת האיוורור כגון:

מפוח גג יונק: מפוח זה המורכב על גג המבנה יכול להיות מופעל הן ע"י מנוע חשמלי (קטן) והן באמצעות זרם האוויר החם העולה בחלל הפנימי.

הוצאת האוויר החם מחלל המבנה הוא הפיתרון האידיאלי להפחתת עומס החום בבית ולמניעת הצורך לשימוש במזגן.

מפוח גג חשמלי המותקן על גג הבית ומופעל ע"י תרמוסטט.

בקץ, כשטמפרטורה בחלל /או בסמוך לגג מגיעה לכ- 30°C , המפוח מופעל ע"י תרמוסטט ומתחיל לשאוב את האוויר החם מחלל הגג.

שאיבת האוויר החם החוצה גורמת לכניסת אוויר טרי וקר יחסית מבחוץ, עד שהטמפר' בסמוך לגג יורדת ואז הטרמוסטט מכבה את המפוח. בערב תקרת הבית קרירה ולכן הבית לא מתחמם.

שיטת אוורור דומה וישנה יותר הייתה נהוגה במבנים גבוהים באמצעות חלונות שהותקנו בגובה התקרה ונפתחו בעונת הקיץ.

ביה"ס למקצועות הקירור ומיזוג אוויר

לסיכום:

ההשקעה בבניית מבנה, אינה מסתכמת בבניית שלד הבניין, מעטפת וקירות, קיימת חשיבות כפי שצויין לעיל בתכנון נכון של מערכת הבידוד התרמית על מנת שנוכל להנות העל אקלים איכותי תוך כדי חיסכון בעלויות החימום והמיזוג.

מומלץ כבר בשלב התיכנון החיצוני לשקול את נושא הבידוד התרמי על כך מרכיביו כגון: בידוד חללים מתחת לגגות רעפים, בידוד גגות מבנה, מרפסות, קומת מסד, מעטפת חיצונית.

בעזרת יישום מערכות בידוד נכונים ניתן לחסוך עד 70% מההוצאות של חימום ומיזוג מבנים החל מדירות מגורים וכלה בבנייני ציבור ומבני משרדים מאוכלסים בצפיפות. ניתן להוסיף על כך אמצעי הצללה שונים וחלונות בידודית לשיפור רמת הבידוד התרמי. בידוד חיצוני של מבנה (בידוד מעטפת המבנה) מספק את ההגנה הטובה ביותר, הן אקלימית, הן נגד רעש והן להקטנת מאמצים תרמיים על המבנה.

נספחים

1. כמויות חום אופיניות לאנשים

דרגת הפעילות	דגמא מיצגת	כמות חום כוללת $\text{BTU}\backslash\text{hr}$	חום מורגש $\text{Btu}\backslash\text{hr}$	חום כמס $\text{Btu}\backslash\text{hr}$	כמות נוזלים $\text{Ponds}\backslash\text{hr}$
ישיבה במנוחה	תאטרון אחה"צ	330	225	105	0.11
	תאטרון ערב	350	245	105	0.11
ישיבה, עבודה קלה	משרדים, מלונות	400	245	155	0.16
עבודה בפעילות	משרדים, חנויות	450	250	200	0.21

בינונית או הליכה איטית	בנקים				
עבודה בישיבה	מסעדה (כולל חום האוכל)	550	275	275	0.29
עבודה קלה ליד שולחן	מפעל	750	275	475	0.50
ריקוד במאמץ בינוני	אולם ריקודים	850	305	545	0.58
עבודה במאמץ בינוני	מפעל	1000	375	625	0.66
עבודה קשה	מפעל	1450	580	870	0.92
עבודה מאוד קשה (חריפה)		2000-2400			

חומרי בנייה כמבודדים טרמיים

כללי:

- לכל חומר קיימת תכונה ספציפית של איכות בידוד טרמי, הנמדדת ביחידת מידה המסומנת - λ – שהיא "מוליכות טרמית סגולית" של החומר. איכות הבידוד הטרמי תלויה במידה רבה בצפיפות החומר המשקל המרחבי שלו. ככל שצפיפות החומר (משקלו המרחבי) יורדת – יורדת גם המוליכות הטרמית שלו – λ . דהיינו, רמת הבידוד הטרמי שלו עולה. הבידוד הטרמי מושג בצורה זו או אחרת ע"י בועות האוויר הנמצאות בחומר. ככל שתכולתן גבוהה יותר, יורדת צפיפות החומר וגדלה איכות הבידוד שלו.
- ביח"ס למקצועות הקירור ומיזוג אוויר

סוגי חומרים כמבודדים טרמיים

- ככל החומרים שבשימוש הבנייה ניתן, עקרונית, לחלוקה לשני סוגים:
- חומרי בנייה המקובלים לסוגיהם, אשר אין להם, כללית, תכונות בידוד טרמי בולטות.
 - חומרי בידוד מיוחדים שזה תפקידם העיקרי.

חומרי בניה:

משקל מרחבי $\frac{kg}{m^3}$	$\frac{w}{m^0 c}$ ג	
עד 500	0.17	איטונג קל
500-650	0.22	בינוני
650-800	0.25	רגיל
300	0.13	חצץ איטונג
2000	1.25	טיח צמנט
1700	0.85	טיח סיד
1600	0.73	טיח גבס
2600	2.60-3.50	אבן טבעית וקרקע
	1.75-2.30	גרניט, בזלת, שיש
	1.40	אבן חול, סיד וכו'
	0.60	חול – לחות טבעית
	0.93	יבש
	0.46	חרסית כבדה
	0.80	חרסית קלה
		חצץ

ב. חומרי בנייה אחרים – מתכות, עץ וזכוכית

בקבוצה זו סולם ערכי הבידוד בחומרים השונים רחב מאוד ותלוי בגורמים רבים, בנוסף לצפיפות החומר (משקלו המרחבי).

עץ ומוצריו: המשקל המרחבי נע בגבולות 100-1100 ק"ג/מ³

תחומי המוליכות הטרמית $\lambda = 0.05-0.25$

כלומר: חומרים טובים לבידוד טרמי.

מתכות: המשקל המרחבי בגבולות: 2,700-20,00 ק"ג/מ³

$$\lambda = 50-400$$

מקדם המוליכות הסגולית

$$\lambda = 50-60 \text{ פלדה : כאשר}$$

$$\lambda = 200 \text{ אלומיניום}$$

כלומר : מתכות הן חומרים הגורעים ביותר מבחינה טרמית.

טבלה מס' 1 – ג חישוב של חומרי בנייה

משקל מרחבי $\frac{kg}{m^3}$	$\frac{w}{m^3 c}$ ג	
370-1130	0.11-0.26	עץ קשה – תחום
350-740	0.10-0.16	עץ רך – תחום
200-300	0.05-0.06	לוחות סיבים
90	0.05	שעם
2230-2450	1.02	זכוכית
1900	0.44	אסבסט צמנט
7250-7870	50-60	מתכות
8940	390	ברזל ופלדה
2750	220	נחושת
		אלומיניום

חומרי בידוד

חומרי הבידוד המקובלים כיום בענף הבנייה הם בעיקר חומרים פולימריים, כגון פוליסטרין ופוליאורתין מוקצפים לסוגיהם השונים.

חומרים אלו קלים מאוד, בעלי צפיפות קטנה ביותר וכושר בידוד טרמי גבוה.

$$\lambda = 0.02-0.04 \text{ משקלם המרחבי נע בין } 10-80 \text{ ק"ג/מ}^3$$

ובהתאם לכך המוליכות הטרמית

טבלה מס' 1 – חומרי בידוד ומינרליים

משקל מרחבי $\frac{kg}{m^3}$	$\frac{w}{m^3 c}$ ג	
50-200	0.04	חומרי בידוד ומינרליים
50-200	0.04	צמר סלעים,
1200-1400	0.19	צמר זכוכית
2100	0.70	לינולאום
1050	0.17	אספלט
		ביטומן
13-32	0.035-0.041	חומרי בידוד פולימריים :
		פוליסטרין מוקצף
		("קלקר")
30-80	0.020-0.035	(1) פוליאורתין מוקצף

אלמנטים במבנה כמבודדים טרמית

איכות הבידוד של אלמנט מעטפת המורכב מחומר אחד תלויה באיכותו הספציפי של החומר λ – ועובי האלמנט t .

איכות הבידוד נקראת התנגדות טרמית I – של האלמנט.

איכות הבידוד I – תגדל עם הקטנת המוליכות הטרמית λ – והגדלת עובי האלמנט t .

דוגמא לחישוב הערך I

קיר בטון = משקל מרחבי 2400 ק"ג/מ³ המוליכות של הבטון $\lambda = 2.00$ עובי הקיר 0.20 מ' $t =$

$$r = \frac{0.20}{2.00} = 0.10 \quad \text{ההתנגדות הטרמית}$$

כאשר האלמנט מורכב ממספר שכבות מחומרים שונים תהיה ההתנגדות הטרמית הכוללת מורכבת מסכום ההתנגדות של השכבות

$$r = \frac{t_1}{\lambda_1} + \frac{t_2}{\lambda_2} + \frac{t_3}{\lambda_3} \quad \text{הנוסחה: השונות.}$$

לדוגמא: קיר בעובי כולל 25 ס"מ: הבנוי מ: 1. בטון (2400 ק"ג/מ³) בעובי כולל 18 ס"מ $\lambda = 2.0$

2. פוליסטרין מוקצף 2 ס"מ $\lambda = 0.04$ 3. בלוקי איטונג (700 ק"ג/מ³) בעובי 5 ס"מ $\lambda = 0.25$

$$r = \frac{0.18}{2.00} + \frac{0.02}{0.04} + \frac{0.05}{0.25} = 0.79 \quad \text{ההתנגדות הטרמית הכוללת של הקיר תהיה:}$$

כל הזכויות שמורות להגדל