

2.5 פתחים

פתחים הם נקודת שבר תרמית במעטפת הבניין. תפקודם כנטל או כנכס תלוי בשאלות תכנוניות וביצועיות של הפתח וסגירתו. מומלץ להרבות בפתחים בחזית הדרומית ולמעט בהם לפי ההכרח בלבד בחזית הצפונית, וכן מומלץ להימנע מפתחים בחזיתות המזרחיות והמערביות. העברת האנרגיה על ידי הפתחים בהסעה ובחולכה היא בדרך כלל חיסרון שכדאי לצמצמו. העברת אנרגיה בקרינה עשויה להיות מנוצלת בחורף לחימום בקרינת השמש.

הפתחים בבניין מהווים שבר תרמי במעטפת החיצונית שלו. מעבר אנרגיה הן פנימה והן החוצה הוא מהיר יותר דרך הפתחים מאשר דרך המעטפת (אפילו אם אינה מבודדת כראוי), והוא ייעשה בהולכה, בהסעה ובקרינה. הפחת במעטפת הבניין אכן עלול להיות נקודת תורפה מבחינה אנרגטית אם אינו מתוכנן כראוי, אך הוא יכול גם להביא תועלת בתכנון נכון. להלן ניתוח אנרגטי של פתחים מוזגים.

כנקודת תורפה אנרגטית גורם הפתח:

א. בחורף - אבדן אנרגיה מפנים הבניין החוצה דרך הולכה (בחומר החלון), הסעה (דרך סדקים בחיבורים שבין הקיר והחלון) וקרינה (דרך זיגוג החלון). בשל כך מתקרר הבניין ויש צורך להשקיע אנרגיה בחימומו.

ב. בקיץ - תוספת אנרגיה מהחוץ אל הפנים (באותן דרכים כמו בחורף אך בכיוון הפוך). בשל כך מתחמם פנים הבניין ויש צורך לקררו.

התועלת האנרגטית הטבעת מפתח:

א. בחורף - ניתן בתכנון נכון להגיע למאזן אנרגיה חיובי של החלון; כלומר: כמות האנרגיה שהבניין יפסיד דרך החלון תהיה קטנה מכמות האנרגיה שיאסוף מקרינת השמש. דבר זה נכון במיוחד בחלונות דרומיים.

ב. בקיץ - מאפשר החלון אזור טבעי בלילה וקרור הבניין לקראת השימוש בו ביום.

פתחים בבניין ממלאים את התפקידים האלה:

- ♦ הכנסת אור יום;
- ♦ חדירת אויר טרי;
- ♦ אזור;
- ♦ מבט מהבניין החוצה;
- ♦ מעבר פנימה/החוצה (במקרה של דלתות כניסה, דלתות חודי מגורים הפניות לחצרות פרטיות וכו');

טבלה 2-3: התנגדות תרמית ממצעת של פתחים (רשימה חלקית מתוך תקן ישראלי 1045)

סוג הפתח	ההתנגדות תרמית הממוצעת R - [SQ.M*DEG.C/WATT]
חלון עץ, זיגוג רגיל 2 מ"מ עובי	0.19
חלון עץ, זיגוג כפול	0.30
חלון פלדה או אלומיניום, זיגוג רגיל 2 מ"מ	0.17
חלון פלדה או אלומיניום, זיגוג כפול	0.28
דלתות חץ למרפסות, עשויות עץ, זיגוג יחיד 2 מ"מ	0.20
דלתות חץ למרפסות, עשויות עץ, זיגוג כפול	0.33

♦ חימום סולארי.

כאן יידונו רק אור היום, חדירת אוויר ואורור. לנושאים האחרים אין נגיעה באספקטים האנרגטיים של הבניין. להלן ניתוח תמציתי מאוד של אספקטים אחדים של תפקוד חלונות.

2.5.1 אור יום

משמעותו הפיסיקלית של אור היום היא קרינה בטווח אורכי הגל 0.4-0.7 מיקרון. בחדירתה לבניין גורמת הקרינה, פרט לתאורת אור יום, להתחממות פנים הבניין. מחקרים הראו שהגדלת שטח חלונות מעל ל-1/10 או 1/8 משטח הרצפה של חללים לא הגדילה את עוצמת התאורה הממוצעת בחדרים אלה בצורה ליניארית (15). בחדר שקירותיו בעלי מקדם החזרה ממוצע (0.4) הגבירה הגדלת שטח החלונות מ-1/6 שטח הרצפה ל-1/3 את עוצמת התאורה הממוצעת בחדר רק ב-60%.

התאורה החודרת לחדר היא תוצאה של תאורה ישירה (מהשמש) או עקיפה (מוחזרת ומפוזרת). בחדרים ממוצעים תהיה עוצמת האור גבוהה במיוחד ליד החלונות, שם מרכיב התאורה הישירה הוא גבוה במיוחד, וחלשה יותר בעומק החדר, שם רוב התאורה נובע מקרינה מוחזרת ממשטחי החדר עצמם (ציור 2-17).

מיקום החלונות בתכנית: יעילות התאורה ואחידותה משתפרות עם קירוב החלון אל קיר צדדי בחדר, זאת בשל ההחזרה המתקבלת מהקיר. עמודים בין החלונות יקטינו את אחידות התאורה בחדר. קירוב החלונות אל משטחי הקירות הניצבים לקיר שבו נמצא החלון גם יקטין את בעיית הבהק הנגרמת בשל ההבדל בין עוצמות התאורה בחוץ ובפנים, הנובע מההחזרות מהקיר הסמוך לחלון (ציור 2-18).

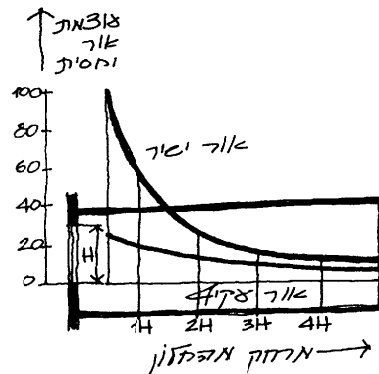
מיקום גבוה יותר של החלון בחדר (בחדר) יתן רמת תאורה נמוכה יותר בגובה משטחי העבודה אבל אחידות רבה יותר בתאורה בשל ההחזרים מהתקרה. נקודות שברן עוצמת התאורה תהיה שווה לעוצמת התאורה הממוצעת, או אף גבוהה יותר, תימצאנה בעומק גדול יותר בחדר (ציור 2-19).

השגת תאורה ברמה קרובה לאחידה בתוך חללי הבניין נעשית על ידי הוספת מקורות אור באזורים הרחוקים מהחלון. דבר זה יכול להיעשות על ידי תאורה מלאכותית או על ידי תאורה טבעית הבאה מהקיר המקביל או מהתקרה (ציור 2-20).

15. תאורה ממוצעת בחדר: עוצמה ממוצעת של תאורה המתקבלת ממספר נקודות מדידה הנמצאות בתוך החדר בגובה של 1 מטר מעל לרצפתו.

ציור 2-17

היחס בין תאורה ישירה ועקיפה בתוך חדר



ציור 2-18

עדיף למקם חלונות קרוב לקצה הקיר (בתכנית)



4138

2.5.2 חדירת אוויר

הכוונה היא לחדירת אוויר בלתי מבוקרת לתוך הבניין דרך אזור הפתח (infiltration).

אוויר חודר בצורה בלתי מבוקרת דרך פתחים בעיקר בגלל אטימה בלתי מספיקה ובלתי מושלמת בין מסגרת הפתח לקיר ובין הכנפיים הסוגרות אותו. חדירה רצינית של אוויר היא גורם חשוב במאזן האנרגיה של בניין, בייחוד אם הבניין מבודד היטב: כאן הופכת תנועת האנרגיה עם האוויר לגורם בעל חשיבות יחסית הרבה יותר גדולה מאשר בבנין שאינו מבודד היטב (16).

כמות האוויר החודרת דרך חריצים ואטימה בלתי מספקת של כנפי הפתחים תלויה בגורמים האלה:

F - מקדם התצורה הפנימית של הבניין;

C - מקדם טיפוס החלון;

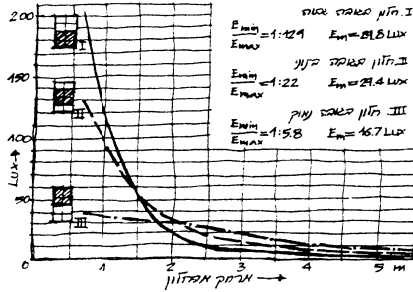
P - הפרש לחץ האוויר בין שני צדי החלון [PA] (17).

כמות האוויר שתחדור לבניין דרך מטר אורך של חריץ ניתנת לאומדן לפי הנוסחה האמפירית שלהלן (crack length method) (18,19):

$$V = \frac{1}{1000} * F * C * P^{0.63} \quad [CU.M/(M*SEC)]$$

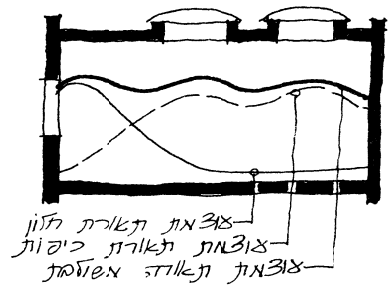
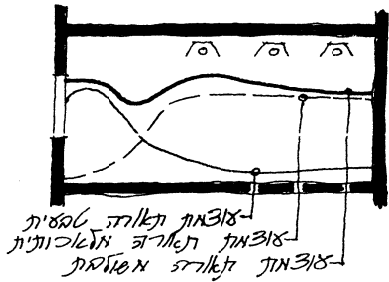
[2.5-A]

ציור 2-19
קירוב החלון לתקרה יגרום לתאורה אחידה יותר ולרמת תאורה ממתצעת גבוהה יותר בחדר



ציור 2-20

תאורה טבעית ליד החלון, תוספת תאורה מלאכותית או טבעית בחלק העמוק של החלל (סכמטית)



16. ראה סעיף 2.7 מאזן אנרגטי של בניינים.

17. [FA]=1/9.8 [GRAM/SQ.CM]
ליתר פירוט ראה Adler D. & Tutt P. 1969

18. לחישוב הספק היצאת החום מהבניין ראה סעיף 1.12 חדירת אוויר.

19. להזגמת החשיבות היחסית של חדירת אוויר ראה שם.

טבלה 2-4: מקדם התצורה הפנימית - F

מקדם	תכנון פנימי	סוג חלון
1	תכנית 'פתוחה'	סטנדרטי
1	חדרים מסודרים סביב למסדרון	היקף קצר של חלון, איטום גרוע (20%-40% מהחזית נפתח).
0.8	בניין מחולק במחיצות רבות; מעט קשר בין החללים	
0.8	חדרים מסודרים סביב למסדרון	היקף בינוני של חלון, איטום גרוע (40%-50% מהחזית נפתח).
0.65	בניין מחולק במחיצות רבות; מעט קשר בין החללים	
0.65	חדרים מסודרים סביב למסדרון	היקף ארוך מאוד של חלון, איטום גרוע (מעל 50% מהחזית, נפתח).
0.4	בניין מחולק במחיצות רבות; מעט קשר בין החללים	

טבלה 2-5: מקדם התצורה של חלונות - C

מקדם	טיפוס חלון
0.05	חלון אטום היטב, ציר אנכי או אופקי
0.125	חלון אטום היטב, הזזה אופקית או אנכית
0.25	חלון ללא איטימה מכל סוג שלעיל

טבלה 2-6: הפרשי לחץ משני צדי הבניין P[PA]

גובה הבניין (מטר)	שדה פתוח מהירות רוח 9 מ/ש	בנייה נמוכה מהירות רוח 5.5 מ/ש	מרכז עירוני מהירות רוח 3 מ/ש
10	58	21	6
20	70	31	11
30	78	38	15

הערות: טבלה זו מתארת הפרשי לחצים בין שני צדי הבניין. לצרכים מעשיים יש לקחת חצי מהערך בטבלה כלחץ האוויר בין שני צדי חלון.

דוגמה: בניין מגורים באזור בנייה נמוכה, שתי קומות על עמודים, גובה הבניין 10 מ'. חלונות ללא איטימה מכסים 30% מהחזית. הכנית מחולקת לחדרים קטנים ודלתות ביניהם. מהו השיעור הממוצע של חזירת האוויר?

מטבלה 4 $F = 0.8$

מטבלה 5 $C = 0.25$

מטבלה 6 $P = 21$

חזירת האוויר (ביטוי [2.5-A])

$$V = \frac{1}{1000} * 0.8 * 0.25 * \left(\frac{21}{2} \right)^{0.63} = 8.8 * 10^{-3} \text{ CU.M/(M*SEC)}$$

כלומר: דרך כל מטר מהיקף החלון יחדיו לבניין $8.8 * 10^{-3}$ מטרים מעוקבים של אוויר חוץ בשנייה. אם היקף החלונות בזירה הוא כ-50 מטר, יהיה שיעור חזירת האוויר

$$50 * 8.8 * 10^{-3} = 0.44 \text{ CU.M/SEC}$$

2.5.3 אורור (טבעי או מאלץ)

האורור הטבעי או המאלץ דרוש לשם -

- ♦ אספקת אוור טרי לתוך המבנה;
- ♦ הגדלת שיעור אידוי הזיעה מגופם של השוהים במבנה בשל תנועת האוויר;
- ♦ קירור פנים המבנה על ידי החלפת אוור פנימי חם יחסית באוויר חיצוני קריר יותר.

חשוב לציין שבתנאי מדבר (יובש וחום) שני האספקטים האחרונים מעשיים בעיקר בשעות הלילה, שבהן טמפרטורת האוויר החיצוני נמוכה באופן משמעותי מזו שבתוך המבנה.

האורור הטבעי נעשה באחת משתי הדרכים האלה:

א. הפרש צפיפיות (אפקט הארובה) נוצר כאשר קיים הפרש טמפרטורה בין ננים הבניין לבין החוץ. הטמפרטורה הגבוהה יותר בבניין גורמת להקטנת הצפיפות של האוויר בתוכו ולעלייתו כלפי מעלה. אם יש פתח למעלה, האוויר החם יוצא דרכו ומפנה מקום לאוויר קר יותר החודר לבניין דרך הפתח הנמוך. יעילות האורור תלויה בהפרשי הטמפרטורה בין הפנים לבין החוץ, בגודל הפתחים (יציאה וכניסה) וכן בהפרש הגבהים בין פתחי הכניסה לפתחי היציאה.

כאשר טמפרטורת האוויר בבניין גבוהה מטמפרטורת האוויר החיצוני, ניתן לחשב את שיעור זרימת האוויר בבניין הנובעת מהפרשי צפיפות לפי הנוסחה הזו:

$$[2.5-B] \quad W_1 = 4.43 * C * A * \sqrt{\frac{H (T_{in} - T_{ex})}{273 + T_{in}}}$$

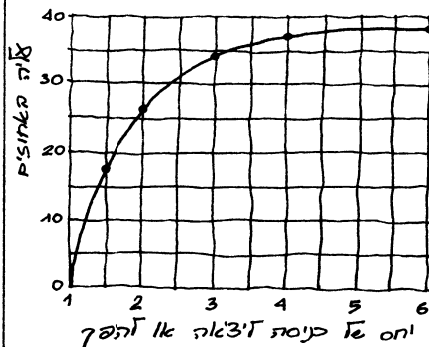
- W_1 - תנועת האוויר [CU.M./SEC]
- C - מקדם יעילות הפתח (ערכים שימושיים: 0.5-0.65)
- H - הפרשי הגובה בין מרכזי פתחי היציאה והכניסה [M]
- A - שטחו של הפתח הקטן (כניסה או יציאה) [SQ.M]
- T_{in} - טמפרטורת אוור בתוך הבניין (DEG.C)
- T_{ex} - טמפרטורת אוור חיצונית (DEG.C)

נוסחה [2.5-B] נכונה, כאשר פתחי היציאה והכניסה של האוויר הם בגודל זהה. כאשר הם שונים, יש להגדיל את שיעור האורור לפי העקומה בציור 2-21 (20).

20. נוסחה [2.5-B] יכולה לשמש גם לצורך חישוב תנועת האוויר בבניין, כאשר הטמפרטורה בחוץ נמוכה יותר מאשר בפנים. אז יש צורך להחליף את המכנה בתוך השורש ל - $(273+T_{ex})$

ציור 2-21

עלייה בזרימת האוויר בבניין הנגרמת בשל הגדלת אחד מפתחי האורור (כניסה או יציאה)



ב. לחץ רוח חיצוני על דפנות הבניין: נוסחה מקורבת לצורך חישוב קצב האוורור היא

$$W_2 = C * A * V \quad [W.M./SEC] \quad [2.5-C]$$

- W₂ - תנועת האוויר [CU.M./SEC]
 - A - שטח הפתח הקטן (כניסה או יציאה) [SQ.M]
 - V - מהירות הרוח מחוץ לבניין [M/SEC]
 - C - מקדם יעילות הפתח
- 0.5-0.65 לרוחות ניצבות לחלון הכניסה
0.25-0.35 לרוחות אלכסוניות לכיוון חלון הכניסה

אם לפתחי היציאה והכניסה שטח שונה, משתמשים לצורך החישוב בשטחו של הפתח הקטן ומגדילים את התוצאה לפי המקדם המתאים שעל העקומה בציור 2-21.

ג. שילוב לצורך אוורור של אפקט הארובה ירוחות מבחוץ: שילובם של שני גורמי האוורור אינו ליניארי - התוצאה של פעולת אוורור אחת אינה מסוכמת ישירות עם השנייה. נוסחה מקורבת לפעולת שני כוחות האוורור:

$$W = \sqrt{W_1^2 + W_2^2} \quad [CU.M./SEC] \quad [2.5-D]$$

- W - השיעור המשולב של זרימת האוויר בבניין [CU.M./SEC]
- W₁ - השיעור של זרימת האוויר בבניין עקב אפקט הארובה [CU.M./SEC]
- W₂ - השיעור של זרימת האוויר בשל רוחות חיצוניות [CU.M./SEC]

מיקום הפתחים לצורך האוורור

מיקומם הנכון של הפתחים במבנה הוא בעל חשיבות עליונה להשגת אוורור טבעי ויעיל בו. יש לדאוג לאפשרות מעבר בלתי מופרע של האוויר, בין חלונות הכניסה והיציאה, אם על ידי השארת פתחים במחיצות או על ידי הימנעות ממחיצות העומדות בניצב לכיוון הזרימה של האוויר.

מהסתכלויות שנעשו במגרות רוח (21) מתברר שמקום פתח היציאה של אוויר מהבניין אינו משנה את מהירות האוויר וצורת זרימתו (ציור 2-22). לעומת זאת, שינוי מיקומו של פתח הכניסה הוא בעל משמעות רבה בקביעת מהירות האוויר וצורתו. עם קירוב הפתח לתקרה או לרצפה תוטה זרימת האוויר כלפיהם בהתאם. באזורים מדבריים רצוי לכוון את גובה זרימת האוויר העיקרית בגובה ראשם של המשתמשים בבניין, ואי לכך ימוקם החלון בגבהים של בין מטר אחד לשני מטרים (ציור 2-23).

דוגמה

עומק החוד 3 מ'

שני פתחים בגודל של 1.5 מ"ר כל אחד, הפרש הגבהים בין מרכזיהם 3 מ', טמפרטורה פנימית 28 מעלות צלסיוס, טמפרטורה חיצונית 18 מעלות צלסיוס (בלילה).

אפקט האוורור:

1. כמות האוויר שתוחלף לפי נוסחה [2.5-B]:

$$W_1 = 4.43 * 0.6 * 1.5 * \sqrt{\frac{28 - 18}{273 + 18}} = 1.28 \text{ CU.M./SEC} = 4608 \text{ CU.M./HR}$$

ובחוד שבשטרטוט (שנפחו 192 מ"ק) יהיו 24 חילופי אוויר טבעיים בשל הפרשי צפיפות האוויר.

ניתן להגביר את אפקט הארובה על ידי הגדלת אחד הפתחים או הגדלת הפרש הגובה בין שני הפתחים. לדוגמה: אם הפרש הגבהים בין מרכזי החלונות יוגדל ל-4 מ' ושטח החלון התחתון יוגדל ל-2.25 מ"ר, יתקבלו התוצאות האלה:

$$W_1 = 4.43 * 0.6 * 1.5 * 1.17 * \sqrt{\frac{28 - 18}{273 + 18}} = 1.73 \text{ CU.M./SEC} = 6228 \text{ CU.M./HR}$$

(הערך 1.17 שבנוסחה נלקח מציור 2-21).

דוגמה

חוד בעל מידות של 3*3 מ', גובה 2.5 מ', שני חלונות בגודל 1.5 מ"ר בשני קירות מקבילים, מהירות אוויר בחוץ 5 מ/שנייה.

כמות אוויר שתוחלף לפי נוסחה [2.5-C]:

$$W_2 = 0.6 * 1.5 * 5 = 4.5 \text{ CU.M./SEC} = 16200 \text{ CU.M./HR}$$

מספר החלפות האוויר בחוד יהיה

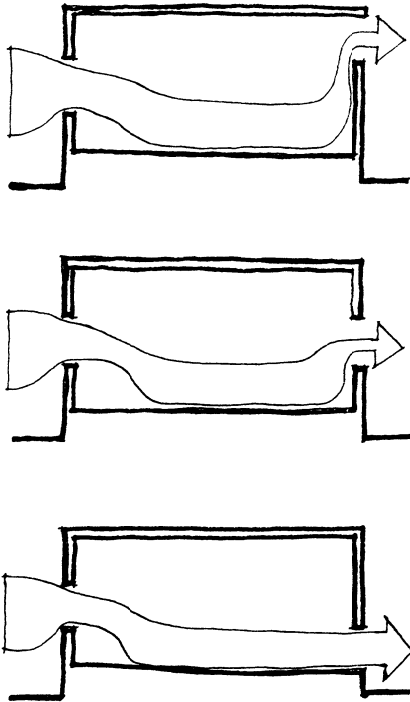
$$N = 16200 / (3 * 3 * 2.5) = 720$$

הגדלת אחד הפתחים לגודל של 2.5 מ"ר תגדיל את ההספקים ב-17% בקירוב (בציור 2-21).

21. Olgyay V., 1973

ציור 2-22

מיקום פתח יציאת האוויר אינו משנה את זרימת האוויר בבניין



ניתן לכוון את זרימת האוויר הן מבחינת עוצמתה והן מבחינת צורתה על ידי מתקנים המחוברים לקיר הבניין מהצד החיצוני או על ידי מדפים בתוך שטח החלון:

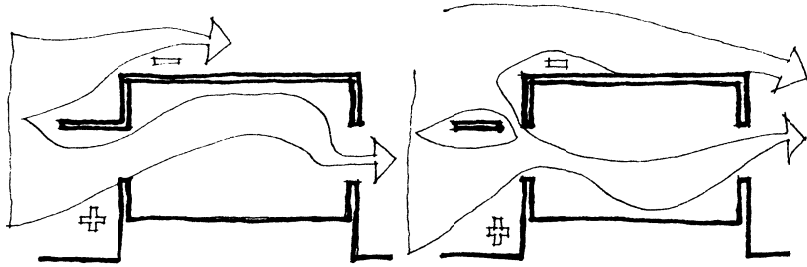
♦ גגון במישור הגג או מדף לצד החלון: יגביר את לחץ האוויר לפני החלון ויקטינו מצדיו. התוצאה: זרימת אוויר מהירה יותר דרך החלון (ציור 2-24).

♦ גגון מעל החלון: גגון מסיבי מחובר למבנה יהיה בעל השפעה שלילית על זרימת האוויר לתוך חדר משום שיטה את זרימת האוויר כלפי מעלה, גבוה מעל מפלס הראשים. גגון שאינו מחובר מסיבית לקיר הבניין לא יגרום לתופעה זו, והאוויר בחדר שמאחוריו יזרום כאילו הגגון אינו קיים (ציור 2-25).

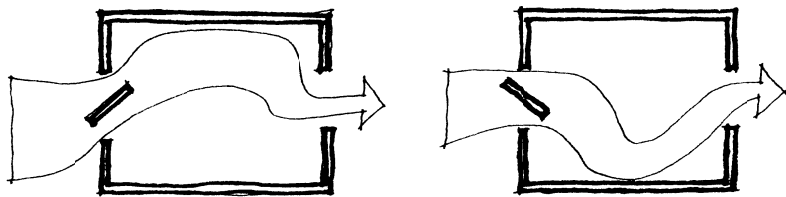
♦ כנפי החלון: בכוחן של כנפי החלון להסיט את כיוון זרימת האוויר החודר דרך החלון. חלון בעל ציר אופקי יכול להסיט את כיוון זרימת האוויר כלפי מעלה או כלפי מטה, תלוי בזווית ההטיה שלו עצמו (ציור 2-26).

המלצה: תנועת אוויר שוטפת דרך הבניין תובטח בתנאי שאין מכשולים משמעותיים (קירות, מחיצות) בין פתחי הכניסה והיציאה של האוויר. מומלץ למקם את פתח הכניסה בגובה 1-2 מ' מהרצפה כדי להבטיח תנועת אוויר בגובה ראשם של המשתמשים בחלל. לצורך הגברת מהירות האוויר בפתח הכניסה יש להוסיף גוונים במישור הגג או מדפים אנכיים לצדו של החלון. כנפי חלונות הנפתחים על צירים אופקיים או אנכיים מאפשרים הסטה וויסות של כיוון זרימת האוויר.

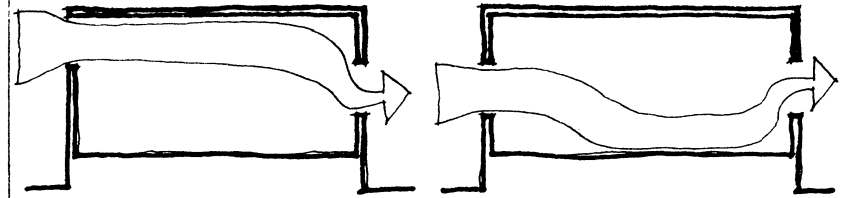
ציור 2-25
השפעת גננים על זרימת האוויר בחדר



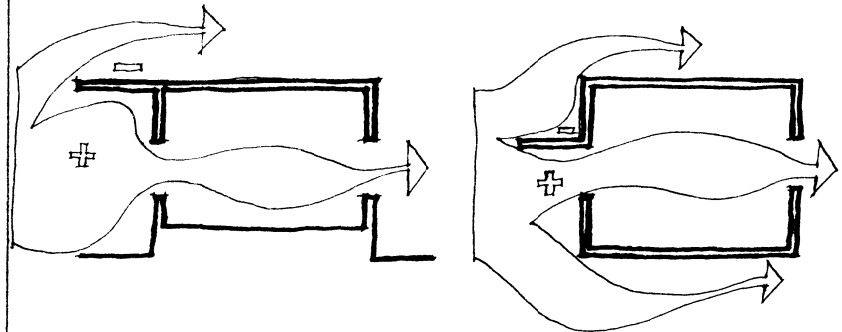
ציור 2-26
השפעת כנפי החלון על צורת זרימת האוויר בחדר.



ציור 2-23
מיקום פתח כניסת האוויר משנה את צורת זרימת האוויר בבניין



ציור 2-24
גגון על הבניין או קיר לצד החלון מגבירים את זרימת האוויר בחלון



2.5.4 חומרי זיגוג

תפקודו התרמי של הלון נקבע במידה רבה לפי חומר הזיגוג ותכונותיו. ניתן לחלק את חומרי הזיגוג השונים לפי -

- ◆ שקיפות (שקופים לחלוטין או אטומים סלקטיבית לסוגי קרינה שונים ואורכי גל שונים);
- ◆ חומרים (זכוכית, פוליקרבונטים, פיברגלס, אקריליים וכו');
- ◆ חתך האלמנט (שכבה אחת, שתי שכבות עם מרווחי אוויר ביניהן וכו').

לכל חומר זיגוג שלוש תכונות הקובעות את תפקודו:

- ההחזרה מפניו (מקדם ההחזרה R);
- ההעברה דרכו (מקדם ההעברה T);
- הספיגה בתוכו (מקדם הספיגה A);

בכל חומר זיגוג נקבעות התכונות לפי הגודל היחסי בין המקדמים אבל נכון לכל זיגוג:

$$R + T + A = 1$$

המקדמים הניתנים בספרות המקצועית מתארים את היחס בין המקדמים לגבי קרן אור הניצבת למשטח הזיגוג. עם השתנות זווית הפגיעה משתנים היחסים בין המקדמים. בזווית של 60 מעלות לניצב יהיה מקדם ההחזרה עצמו קרוב ל-1; כלומר: רוב הקרינה הפוגעת בזיגוג תוחזר ממנו מיד (כמו ממראה). הקרינה הנספגת בתוך הזיגוג תגרום להעלאת הטמפרטורה של עצמו, כך שאם המשטח מתחמם או מתקרר הוא פועל כמקרן חום או קור אל תוך החלל. מקדם ההעברה מצביע על כושרו של חומר הזיגוג להעביר אנרגיה מצד לצד ועל כושר קליטת החום ואיבודו בין שני צדיו של חומר הזיגוג.

קשה להמליץ על סוג מסוים של זיגוג, מכיוון שבחירתו תלויה במקרים רבים בגורמים שאינם קשורים באנרגיה (פתיחה לנוף, דרישות עיצוביות וכו') ומכיוון שלכל סוג יתרונות וחסרונות משלו. חשוב לזכור שתפקוד החומרים השונים משתנה לפי זווית הצבתם (אנכית, אופקית, משופעת) בגלל שינוי זווית הפגיעה של קרינת השמש ועמה היחס בין מעבר הקרינה והחזרתה. להלן מוצגים הסוגים השונים של הזיגוג על תכונותיהם (ערכים ראה בטבלה 2.7) (22), (23).

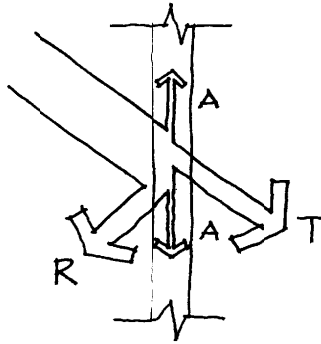
א. זכוכית שקופה רגילה: זהו סוג הזיגוג הנפוץ ביותר לזיגוג פתחי בניינים. עוביו של לוח הזכוכית נע בין 3 ל-5 מ"מ. זיגוג מסוג זה מאפשר חדירה כמעט מוחלטת של אור (90-88%) ומחדיר חלק גדול מסך כל קרינת השמש הפוגעת בו (86-77%). תכונות אלה מקנות לו עריפות בשימוש בחלונות דרומיים ובחממות. חשוב לזכור כי מקדם ההתנגדות התרמית של הזכוכית נמוך

22. Watson D. & Labs K. pp 188 1983

23. Mazria E., 1979, pp.360-363

ציור 2-27

קרינה הפוגעת בחומר זיגוג מוחזרת, מועברת ונספגת בכמויות שונות לפי תכונות חומר הזיגוג



מאד $R = 0.18$ [WATT/(DEG.C.*SQ.M)] והאיגו הופך לנקודת תורפה תרמית במעטפת הבניין.

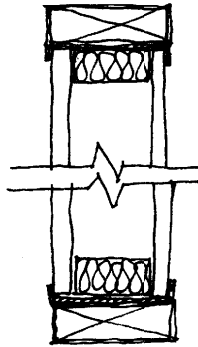
ב. זכוכית כפולה: שני לוחות זכוכית עם מרווח אוויר ביניהם; עובי לוחות הזכוכית ומרווח האוויר שביניהם משתנים. שינויים אלה משפיעים עד גבול מסוים על אחוז הקרינה החודרת ועל המוליכות התרמית של הרכיב (כאשר עובי שכבת האוויר עולה על 2.5 ס"מ, השפעתו השולית הולכת וקטנה). היתרון העיקרי של חתך מסוג זה טמון בקושי במעבר של החום מלוח הזכוכית האחד אל האוויר וממנו ללוח הזכוכית השני. מעבר זה מחומר אחד למשנהו הוא איטי, וכך קטן מאוד מקדם ההולכה של הרכיב, בלי להשפיע כמעט על כושרו להעביר אור. האיגוג הכפול יקר, והאפקטיביות שלו קטנה בהרבה כאשר הפתח אינו אטום היטב. בעל שלושה לוחות זכוכית יהיה בעל מקדם מוליכות קטן ב-20% בקירוב מאה של האיגוג הכפול, אך תוספת החיסכון באנרגיה קטנה יחסית לתוספת במחירו של אלמנט כזה. בחישובים שנעשו במכון לחקר המדבר הועמדה בספק הכדאיות הכלכלית של השימוש באיגו כפול בתנאי הארץ.

ג. זכוכית סופגת: סוג זה של זיגוג מאפשר חדירה של אור (בסביבות 80% בהתאם לעובי הלוח), אך מעביר חלק יחסית קטן של סך כל קרינת השמש באורכי גל שונים הפוגעת בו (48%-65%). מוצרים תעשייתיים שונים השייכים לקבוצה זו בנויים בדרך כלל משתי שכבות זכוכית עם שכבת חומר סופג ביניהן או מזכוכית מצופה בשרפים שונים. התוספים השונים הללו סופגים קרינה באורכי גל שונים (מאולטרה-סגול עד לאינפרא-אדום) והאפקטיביות שלהם משתנה. זיגוג מסוג זה מונע במידה רבה דהיייה של צבעים, ממתן את האור החודר ומקטין את סך כל הקרינה החודרת. יחד עם זאת, ספיגת הקרינה בזכוכית תעלה את טמפרטורת הרכיב, וחומו יועבר בהסעה לאוויר בפנים המבנה הבא במגע עם פני הזיגוג.

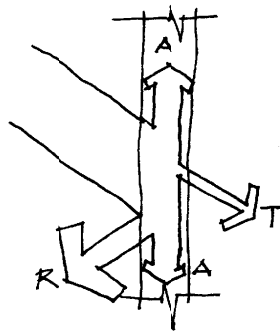
ד. זכוכית כהה: זכוכית מסוג זה מקטינה גם את כמות האור וגם את כמות הקרינה החודרים דרכה, אך כמות הקרינה הגדולה יחסית הנספגת בזכוכית עצמה תגרום להעלאת הטמפרטורה של משטח הזכוכית עצמו. בכך הופכת הזכוכית עצמה למקור חום הנפלט אל החדר. הזכוכית הכהה עשויה להוות פתרון במבנים שבהם יש דרישה לשמירה על סינון מסוים של אור היום החודר תוך שמירה על פתחים גדולים.

ה. זכוכית מחזירה (מראה): חומר זה מקטין באופן משמעותי ביותר את חדירת הקרינה מהצד המחזיר של הזכוכית אל הצד הבלתי מחזיר (חדידת קרינה 11%-37% מסך כל הקרינה הפוגעת). זיגוג זה יכול לשמש במקרים שבהם רצוי לשמור על קשר עין עם החוץ אבל גם רצוי למנוע חדידת קרינה (למשל כשיש נוף בצד המערבי של בניין) או באזורים שבהם חם ברוב ימות השנה, כמו באזורים רבים בערבה. יחד עם זאת יש לזכור כי החזרת הקרינה הגבוהה עלולה להוות מטרד הן למבנים סמוכים והן לאנשים הנמצאים בשטח הפתוח הסמוך. הקרינה המחוזרת עלולה לגרום להעלאת הטמפרטורה של משטחים שבהם

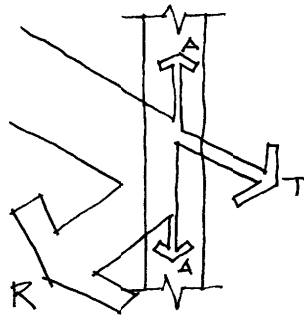
ציור 2-28
איגו כפול



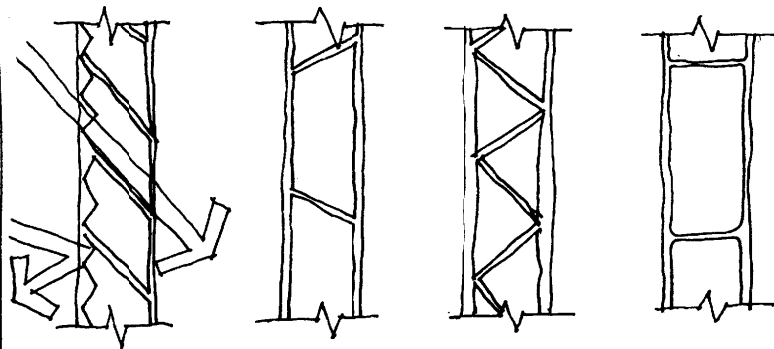
ציור 2-30
זכוכית מחזירה



ציור 2-29
זכוכית סופגת



ציור 2-31
חתכים שונים של פליקריבנט כפול



היא פוגעת (קירות של מבנים סמוכים, שטחים מרוצפים) וגם לסנוור. הפניית זיגוג מראה לעבר כביש עלולה להוות בעיה בטיחותית!

ו. פוליקרבונט: חומר זה מאפשר חדירת אור (כ-85%), מתחמם פחות מזכוכית והוא עמיד ממנה בפגיעות מכניות. כמוכן, זהו גם חומר גמיש וניתן לנצל ליצירת משטחים לא מישוריים. אפשר להשיגו שקוף, כהה או לבן.

ז. פוליקרבונט כפול עם מרווח אוויר: קיימים מספר מוצרים תעשייתיים מסוג זה. שני לוחות הפוליקרבונט מחוברים ביניהם בפסים מאותו חומר בחתך היוצר תאים מלבניים, משולשים או טרפזיים. המוצרים השונים הם בעלי שקיפות קטנה מזו של הלוח הבודד, אך מרווח האוויר מגדיל את ההתנגדות התרמית שלהם. לאחרונה הופיעו בשוק לוחות בעלי חתך מיוחד אשר, לטענת היצרן, מאפשרים חדירת קרינה סלקטיבית המותנית בזווית פגיעת השמש.

ח. פיברגלס גלי: ניתן להשיגו בגוונים ובעוביים שונים. בכל מקרה אין הוא מאפשר קשר עין עם החוץ והבלאי שלו מהיר למדי. ניתן להשיג חומר זה שקוף, כהה או לבן.

ט. לוחות אקריליים: דומים בתכונותיהם לחומרים הפלסטיים האחרים. ניתן להשיגם שקופים, כהים או לבנים. ברוב המקרים הם פחות שבירים מזכוכית אך מתבלים מהר בגלל הקרינה האולטרה-סגולה. באזורים מדבריים תהליך הבלאי מואץ בגלל שחיקה של חול ואבק.

המלצה: בתנאים האקלימיים והכלכליים בארץ מומלץ ברוב המקרים להשתמש בזיגוג בזכוכית בוזדת שקופה. כאשר אין דרישה לקשר עין עם החוץ מומלץ להשתמש בלוחות פוליקרבונט כפולים העמידים יותר מחומרים פלסטיים אחרים ומבודדים טוב יחסית. שימוש בלוחות כפולים עם מרווח אוויר משפר את התכונות התרמיות של האלמנט. אפשר להשתמש בזכוכית מראה בחזית מזרחית, מערבית ואף צפונית, ובלבד שהקרינה המוחזרת לא תהווה מטרד. לא מומלץ להשתמש בזיגוג כהה ורצוי להגביל את השימוש בחומרים פלסטיים לפתחים עיליים שבהם הבלאי לא יהווה הפרעה אסתטית.

טבלה 7-2: תכונות חומרי זיגוג

(הנתונים מבוססים על Watson & Labs - ראה (22))

חדירת אור וס"כ קרינת שמש

זכוכית	% אור	% ס"כ קרינה
שקיפה בודדת 3 מ"מ	90	86
5 מ"מ	88	77
שקיפה כפולה 3 מ"מ	82	71
5 מ"מ	78	60
סופגת 3 מ"מ	84	65
5 מ"מ	76	48
כהה 3 מ"מ	62	63
5 מ"מ	42	44
ראי	34-8	37-11
פוליקרבונטים		
בודד 3 מ"מ	86	89
5 מ"מ	82	86
כפול	80-73	60-21
פיברגלס גלי		
שקוף לחלוטין	93	82
שקוף	87	81
לבן	66-32	60-21
לוחות אקריליים		
שקוף	83	83
לבן	70-20	67-19

2.6 הצללת פתחים

למרות הדגש הרב המושם עליה, הצללת פתחים היא פתרון חלקי בלבד ובעל תועלת מוגבלת למניעת התחממות החלל שמאחורי החלון בתוצאה מקרינת השמש. הצללות פתחים אינן משנות בהרבה את שיעורי הקרינה הממוזרת והמוחזרת המוגעת בפתח. רוב רובה של הקרינה בקיץ הוא קרינה מוחזרת ומפוזרת, ומניעת התחממות ממנה תושג רק על ידי התקנת תריס על החלון. לתכנון הצללות קיימות שיטות גראפיות ושיטות חישוביות.

אנרגיית קרינה הפוגעת בחלון מתחלקת לשלושה מרכיבים:

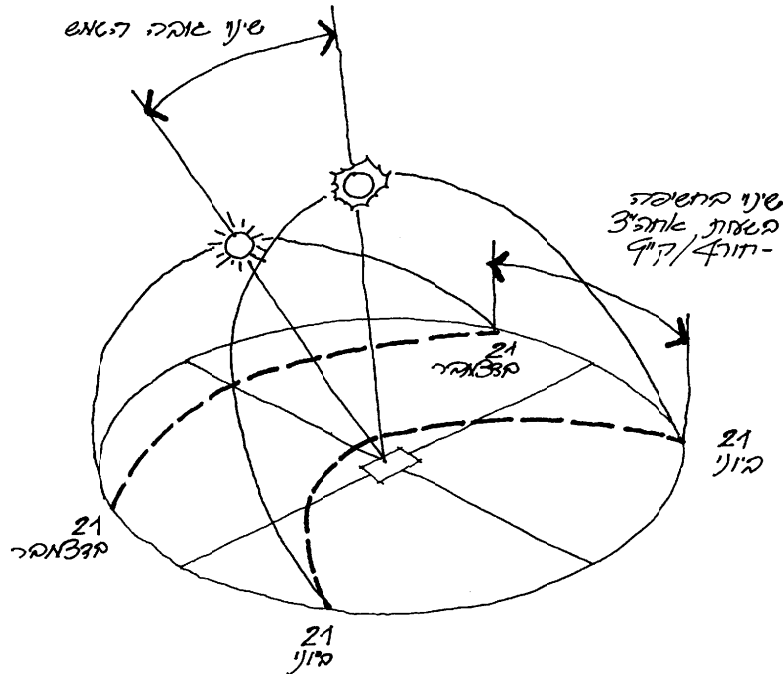
- מרכיב מוחזר מהזיגוג אשר אינו משפיע על הבניין מהבחינה התרמית;
- מרכיב הנבלע בזיגוג עצמו, מחמם את לוח הזיגוג, וממנו מועבר כחום פנימה והחוצה על ידי הסעה ועל ידי קרינה ארוכת גל;
- מרכיב העובר ישירות דרך הזיגוג ופוגע בעצמים שבתוך הבניין ומחממם.

החלק היחסי של כל אחד מהמרכיבים האלה בתוך סך כל הקרינה נקבע בידי זווית הפגיעה של הקרינה בזיגוג ובידי סוג הזכוכית המותקן. העברת הקרינה על ידי חלון קטנה מאוד אם זווית הפגיעה של הקרינה בזיגוג גדולה מ-45 מעלות מהאנך לזיגוג. אם הזווית הזו עולה מעל ל-60 מעלות, מוחזר רוב האנרגיה הפוגעת בזיגוג. ההבדל בין סוגי חומרים שקופים (זכוכית למיניה ופלסטיק) הוא במידת ההעברה של האור ובאורכי הגל של האור המועבר.

הצללה חיצונית של משטחים מזוגגים תקטין את כמות הקרינה (בייחוד הישירה) הפוגעת בזיגוג, ולכך תהיה השפעה על טמפרטורת החלל הנמצא מאחורי הזיגוג. אפקטיביות הצללה מהבחינה הזאת תלויה בסוג הצללה ובמיקומה יחסית לזכוכית. כאשר קרינה פוגעת באלמנט הצללה, חלקה מוחזר ממנו כלפי חוץ, חלקה מוחזר אל הזיגוג וחלקה נבלע באלמנט ומעלה את חומו: בשל כך יש זרימת חום מאלמנט הצללה בהולכה (על ידי זרימת אוויר סביבו) ובקרינה. ניתן לאפיין את אלמנט הצללה המועדף כאלמנט העשוי מחומר שאינו מחזיר קרינה ובעל קיבול חום מינימלי.

הצללה פנימית היא בלתי אפקטיבית כמעט מבחינה תרמית (למשל תריסים ונציאניים או וילונות). הקרינה הפוגעת בזיגוג בצורה בלתי מופרעת חודרת לחלל הפנימי, מחממת את אלמנט הצללה, והחום נפלט ממנו הן על ידי קרינה ארוכת גל והן על ידי הסעה באוויר החדר. תופעה זו גוברת כאשר גונה של הצללה הפנימית אינו לבן. יש אפוא להימנע מחסתמכות על הצללות פנימיות (מאחורי הזיגוג) לצורך נטרול אפקט החימום של הקרינה.

ציור 2-32
מסלול השמש



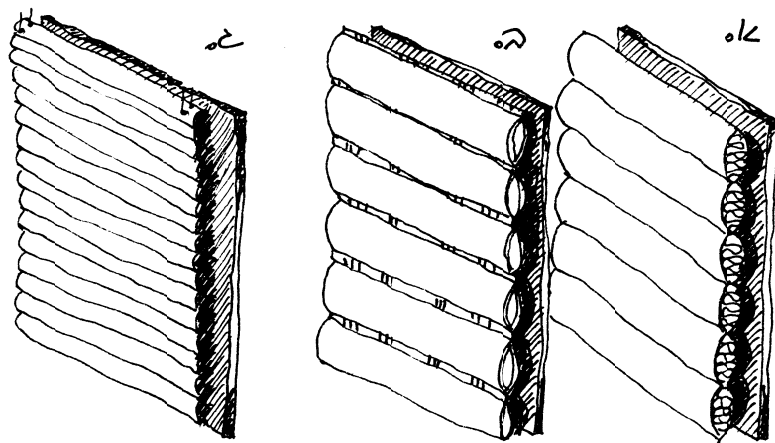
טבלה 8-2: תכונות אמצעי הצללה

מקדם הצללה (*)	% קרינה נספגת	% קרינה מוחזרת	% קרינה חודרת	תריסים ונציאניים
.55	40	55	5	בהירים במצב אופקי
.64	60	35	5	כהים-למחצה במצב אופקי
.29	23	77	0	לבנים במצב אנכי (סגור)
תריסי גלילה				
.39	15	60	25	לבן, מחדיר אור
.25	20	80	0	לבן, אטום
.59	88	12	0	כהה, אטום

(*) מקדם ההצללה של אמצעי ההצללה בשילוב עם זכוכית שקופה בעובי 3 מ"מ המחזירה 87% מהקרינה הפוגעת. הטבלה מבוססת על Watson & Labs, 1983, p.188

ציור 2-33

תריסים חיצוניים: א. מבודד; ב. רגיל; ג. ונציאני חיצוני



הדרישות הפונקציונליות מההצללה משתנות עם השתנות האזור והשתנות האקלים בו. יש לשים לב גם לכך שמסלול השמש ברקיע ועוצמת הקרינה שלה אינם מתאימים לדפוס ההשתנות השנתי של הטמפרטורות: בחצי הכדור הצפוני קרינת השמש המקסימלית היא ביום הארוך - 21 ליוני - והמזערית ב-21 לדצמבר, אולם בשל קיבול החום של כדור הארץ הטמפרטורה המקסימלית שוררת בחודשים יולי-אוגוסט, והטמפרטורה המינימלית היא בחודשים ינואר-פברואר. מכאן שהצללה קשיחה סימטרית של חלונות אינה יכולה להיות יעילה לחלוטין, ויש לתכנן הצללות משתנות או לפצות את הבניין בארגיית חימום או קירור לפי עונות השנה.

באופן כללי אין די בהצללה מפני קרינה ישירה למניעת התחממות מבנים דרך הפתחים. יש לקחת בחשבון שבאזורים צחיחים חסרי צמחייה, בקיץ הקרינה הישירה היא רק חלק קטן מהקרינה הפוגעת בזיגוג (הממוצע בחודש יוני על קיר דרומי בשדה בוקר הוא רק כ-16% מסך כל הקרינה). בחורף חלקה של הקרינה הישירה בסך כל הקרינה הוא רב יותר (בכלל, כמות הקרינה על קיר דרומי בחורף היא רבה יותר). **בקיץ הפתרון היחיד למניעת התחממות בניינים דרך פתחים מזוגגים הוא סגירתם המוחלטת למניעת כל כמות קרינה שחיה מלפגוע בחלון.** סגירה זו יכולה להיעשות בצורה הטובה ביותר על ידי תריסי גלילה, תריסים בעלי שלבים נייחים, תריסים ונציאניים חיצוניים או על ידי פנלים אטומים המונעים לחלוטין פגיעת קרינה בזיגוג. ככל שאמצעי ההצללה אטום יותר ובהיר יותר, הוא יעביר כמויות קרינה קטנות יותר. לאחרונה משווקים תריסים בעלי שלבים המכילים חומר מבודד (בדרך כלל פוליאוריטן). סגירת החלון בתריס כזה מונעת לחלוטין פגיעת קרינה בזיגוג, וגם מקטינה את מעבר החום בהולכה בצורה משמעותית בתנאי שאין אוויר החודר בין החלקים השונים של התריס לבין עצמם ובינם לבין המסגרת ובתנאי ששלבי התריס אינם יוצרים גשרי חום.

מציאת הגיאומטריה הדרושה של אלמנט ההצללה נעשית בצורה גראפית או בצורה חישובית (בדרך כלל ממוחשבת). הפתרונות המסודריים נעשו בצורה גראפית. עם חידרת מחשוב לחברות התכנון פותחו נוסחאות לפתרון הבעיה בצורה חישובית.

א. פתרונות גראפיים

פתרונות אלה מבוססים על בניית היטלים של מסלול השמש בשמים על פני משטחים מישוריים אשר עליהם מוטל גם הפתח ועל מציאת גיאומטריית ההצללה על ידי הרכבת שני היטלים ביחד. הבעיה הבסיסית בכל אחד מהפתרונות הגראפיים היא שהפתרון מתייחס לכל החלון, אם גדול ואם קטן, כיחידה נקודתית היכולה להיות מוארת או מוצלת לחלוטין. מצבי הביניים אינם באים לידי ביטוי בפתרונות אלה. (למשל: פתרון גראפי יראה חלון המתצל ביד גגון ב-50% משטחו כחלון מואר; רק אם החלון יהיה מוצל בכל שטחו יראה אותו הפתרון הגראפי כחלון מוצל). הצללת חלון נחלקת לשני מרכיבים: הצללה אופקית והצללה אנכית. היחס בין גודלם ומיקומם של שני אלה נקבע לפי מיקום החלון וצידודו ולפי זמני ההצללה הדרושים. להלן שתי שיטות גראפיות לחישוב הצללת חלון.

הטלת מסלול השמש על פרישה אנכית של קו האופק

ציור 2-35 כולל את מרכיבי העזר בתכנון:

1. נתוני החלון
2. דיאגרמת השמש
3. דיאגרמת החלון

1. נתוני החלון: זווית החלון נמדדת כמו בשיטה הקודמת.

2. דיאגרמת השמש: על ציר הרוחב X מסומנות זוויות האזימות (ציוד) של השמש מזרחה ומערבה מהדרום. על הציר האנכי Y מסומנות זוויות גובה השמש. הקווים העקומים מייצגים חודשים ושעות.

דוגמה: בציור 2-35 מראה נקודה B שמצב השמש ברוחב גיאוגרפי 30.8 (נגב), ב-21 במרץ, בשעה 10:00 בבוקר יהיה זה: זווית גובה - 48 מעלות; זווית ציוד - 50 מעלות מזרחה מהדרום.

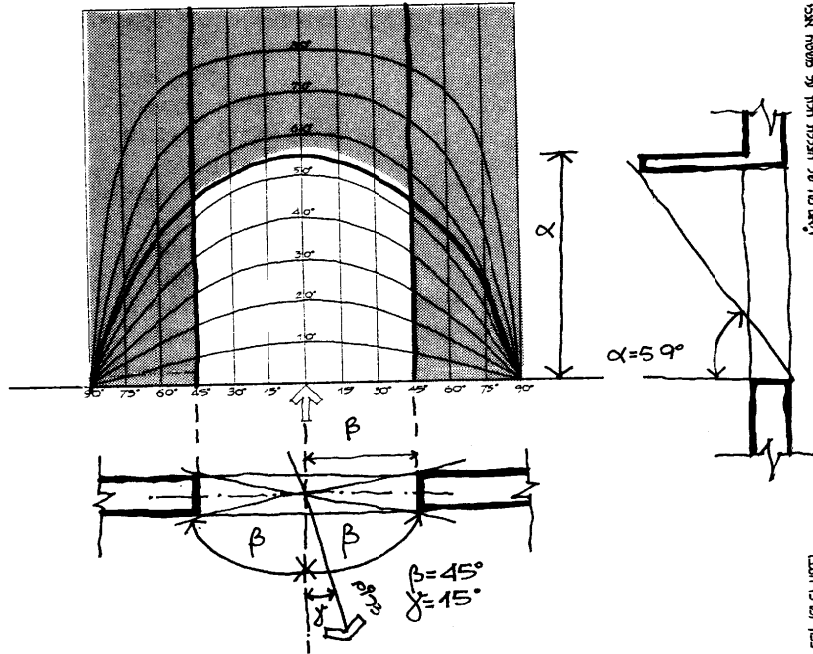
3. דיאגרמת החלון: על הציר האופקי X יסומנו זוויות רוחב החלון (β) משני צדי הקו הניצב לו. על הציר האנכי Y יסומנו זוויות גובה החלון (α). העקומות החותכות את הציר האנכי מסמנות את היטל זווית הגובה בצידודים שונים. הקווים התוחמים של החלון יהיו אלה המסמנים את רוחבו וזווית הגובה שלו.

לצורך תכנון ההצללה תושם דיאגרמת החלון על גבי דיאגרמת השמש, כשהציר האנכי של דיאגרמת החלון מוסט על פני דיאגרמת השמש בשיעור המתאים לזווית הציוד של החלון (γ). שמש תחדור לחלון בזמנים הנמצאים בדיאגרמת השמש בין הקווים התוחמים בדיאגרמת החלון (ראה ציור 2-35).

ב. פתרונות חישוביים

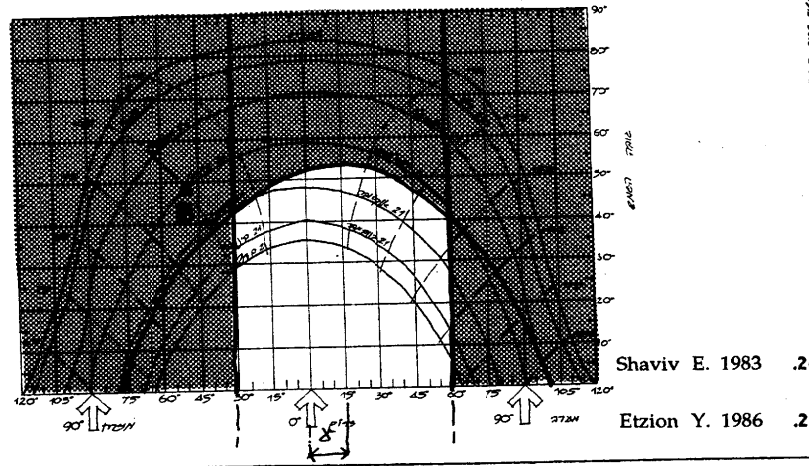
קיימות שיטות אנליטיות לחישוב גופי הצללה ותכנונם. נראה ששיטות אלה ינוצלו יותר ויותר ככל שתעלה רמת המחשוב במשרדי התכנון, וככל שהתוכנה הדרושה לעבודה על מחשבים אישיים תהיה זמינה יותר. בשיטה אחת (24) מחלקים את החלון לרשת חלוקה רצונית ומחפשים אורך מוט הניצב לחלון בכל אחת מנקודות הרשת, אשר יפיל צל שקצהו מגיע לאדן החלון או לספו. שיטה זו היא עתירת חישובים. שיטה פשוטה יותר (25) מבוססת על ההבחנה שצורת כל האלמנטים של הצללה היא זהה, וכי קיימת נקודה אחת על כל אלמנט הצללה הקובעת את ממדיו: די לחשב קואורדינטות נקודה זו כדי לדעת את ממדיו של אלמנט הצללה.

ציור 2-35
דוגמה לתכנון הצללה בשיטת ההטלה על מישור אנכי



מא. טווחים 15 ו-30 נקודות 15 ו-30

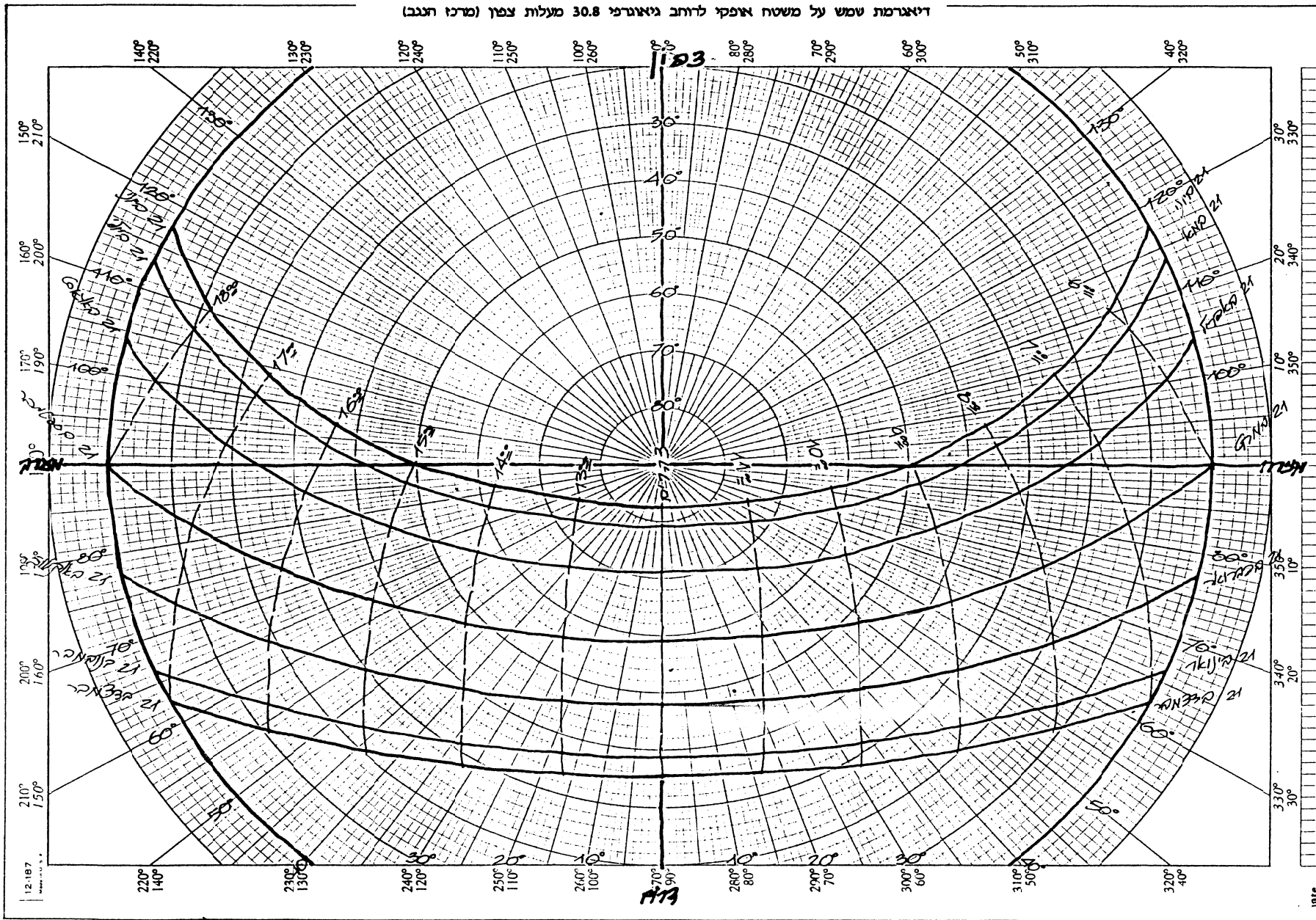
הציר (אנכי) הוא מוסט על פני דיאגרמת השמש בשיעור המתאים לזווית הציוד של החלון (ראה ציור 2-35)



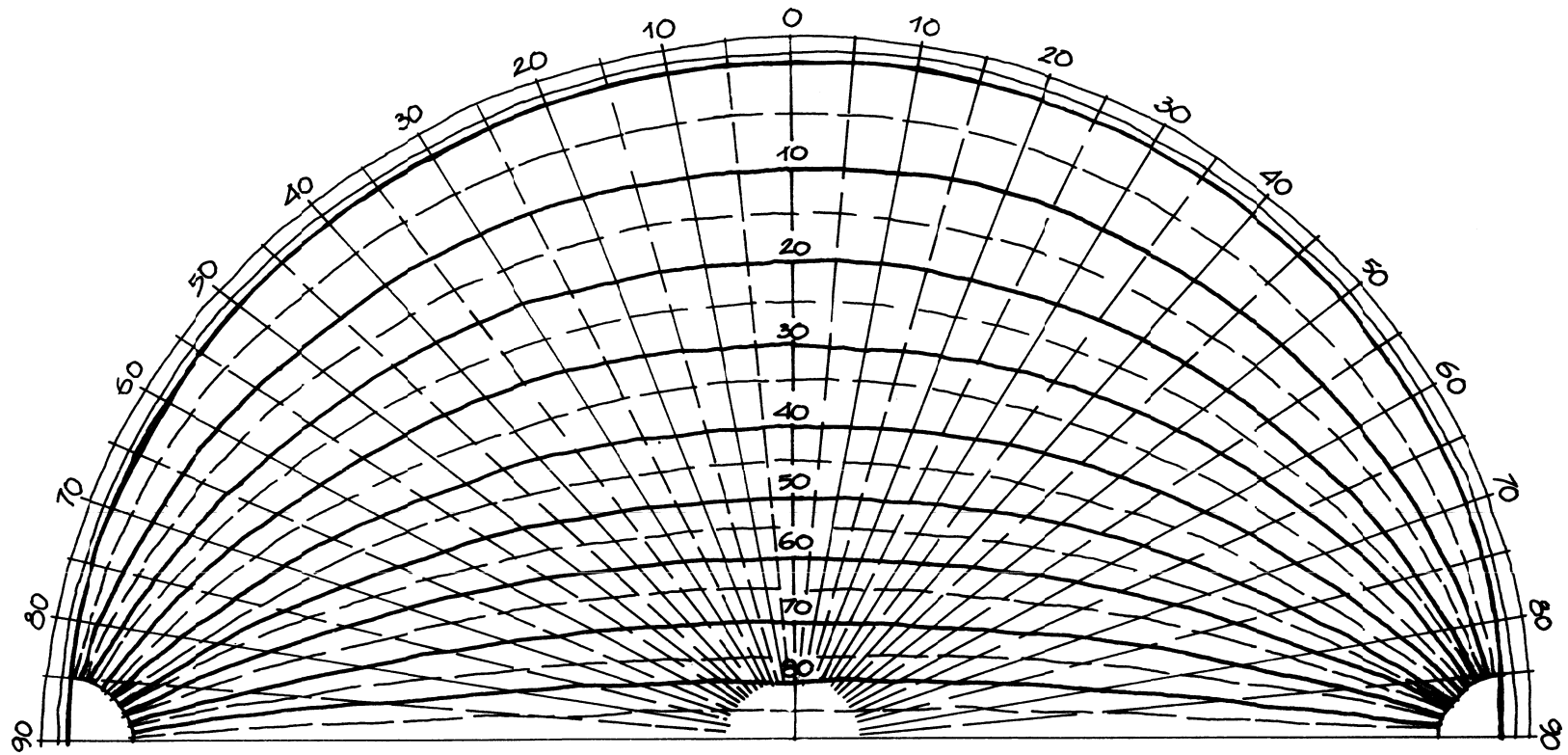
Shaviv E. 1983 .24

Etzion Y. 1986 .25

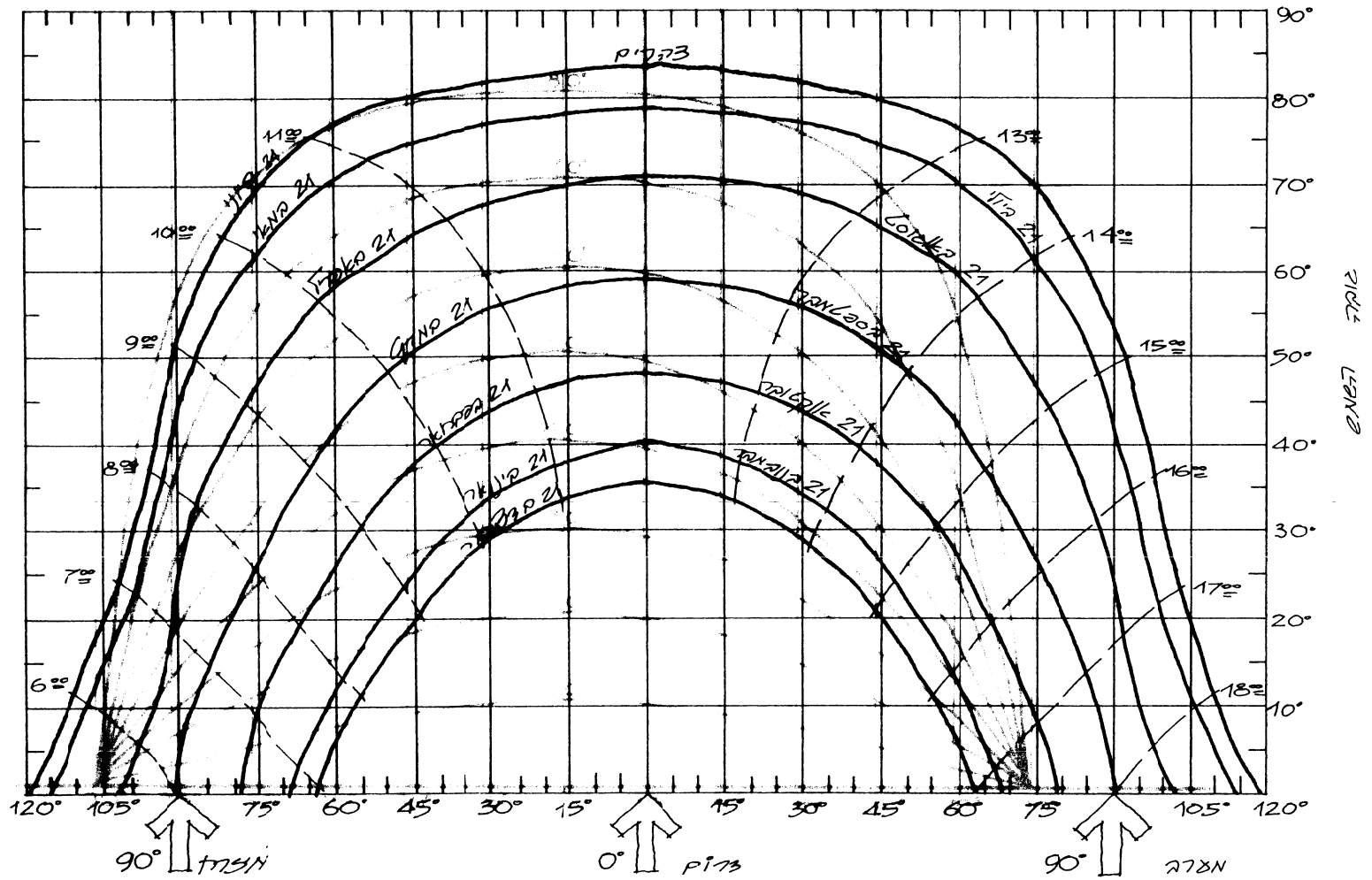
דיאגרמת שמש על משטח איפקי לרוחב גיאוגרפי 30.8 מעלות צפון (מרכז הנגב)



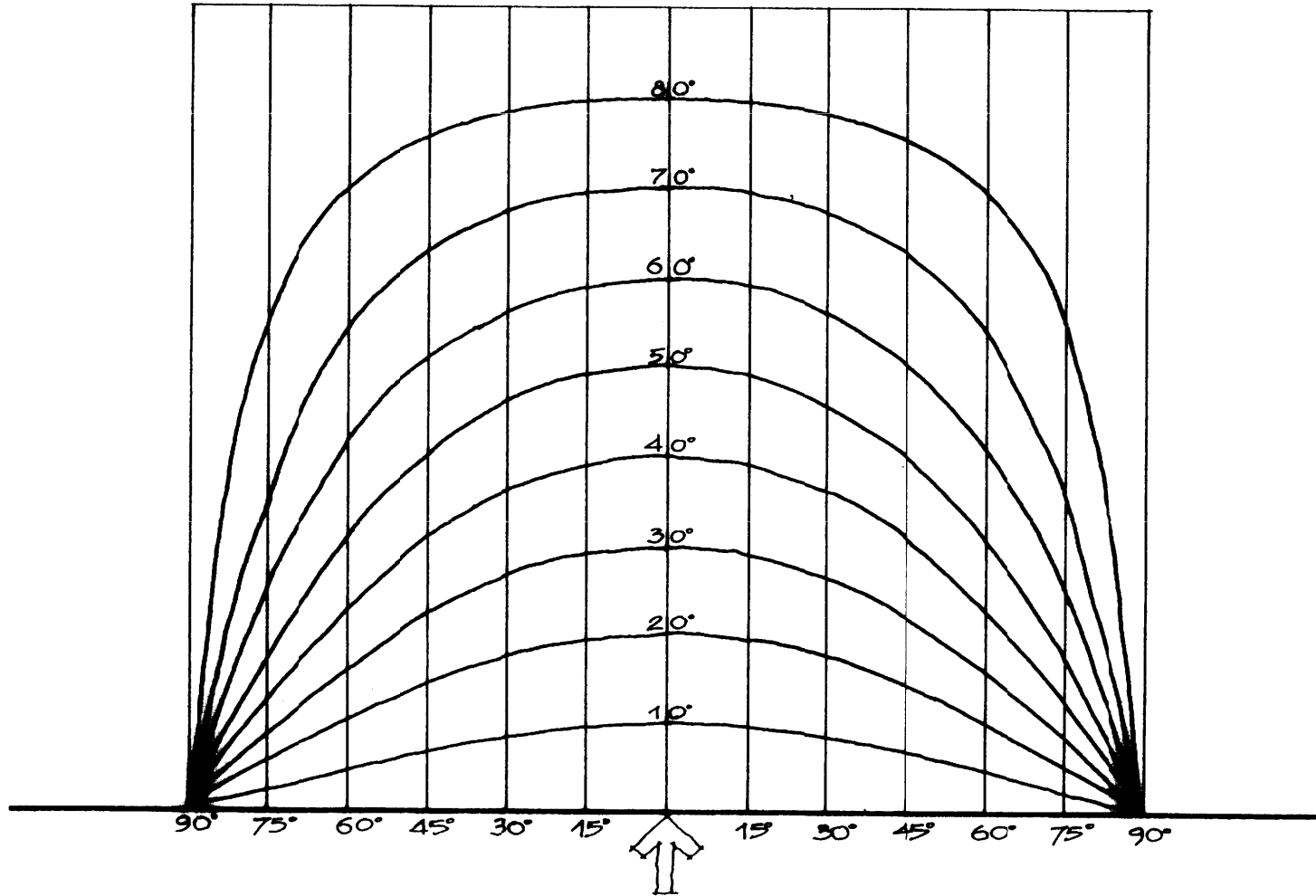
ציון 2-37
דיאגרמה של הצללת הלון על משטח אופקי



ציור 2-38
 דיאגרמת שמש על מישור אנכי לרוחב גיאוגרפי 30.8 מעלות צפון (מרכז הנגב)



צויד 2-39
דיאגרמה של חצלתת חלון על מוטטה אנכי



2.7 חומרי גמר וצבע

לצבע ולחומרי הגמר השפעה על הנוחות התרמית בבנין בשל ההיבטים התרמיים הקשורים במקדמי הבליעה והחוזרה של החומרים והצבעים השונים. ככלל, בניינים לבנים יתפקדו מבחינה אקלימית טוב יותר באזורים חמים, בייחוד בקיץ. לצבע ולחומרי הגמר גם היבטים פסיכולוגיים הקשורים בתפיסת הסובב. מגוון צבעים על הבניין ובתוכו יעזור לשבור את המונוטוניות הסביבתית הקיימת באזורים צחיחים חסרי צמחייה ועיטרי קרינה.

לחומרי הגמר ולצבע החיצוני של מבנים (ואבזרי רחוב בנויים) משמעות, הן באספקטים האנרגטיים והן באספקטים הפסיכולוגיים.

מהבחינה האנרגטית ההבדל בין חומרי גמר וצבעים שונים טמון במקדמי הבליעה והחוזרה שלהם. כשקרינת שמש פוגעת בקיר, חלקה מוחזר וחלקה האחר נבלע בקיר. אחוז הקרינה המוחזרת המוחלט במאה נקרא **מקדם החוזרה** של החומר, ומשלימו לאחד נקרא **מקדם הבליעה** של החומר. צביעת בניין בצבע בהיר תגרום לכך שפנים הבניין יהיה קריר יותר גם בקיץ וגם בחורף, וזאת משום שלמשטח החיצוני של הקיר מקדם בליעה נמוך יותר והוא יספוג פחות קרינת שמש ויתחמם פחות (26). השפעת הצבע החיצוני על טמפרטורת הפנים תהיה כמובן גדולה יותר, כאשר אין הקיר מבודד היטב (27). בתחום ארכיטקטורי מסוים, מקדם הבליעה של שכבת חומר $[\alpha]$ יהיה דומה למקדם הפליטה $[\epsilon]$ של אותם ארכיטקטורים. אין הדבר נכון בהכרח, כאשר מדובר בארכיטקטורים שונים. כך ייתכן שחומר יבלע חלק גדול יותר מהקרינה קצרת הגל של השמש, אך יפלוט חלק קטן יותר מהקרינה ארוכת הגל הנפלטת מהחומר כשהוא מתחמם. בשל תכונה זו יתחמם החומר יותר ויותר. ניתן לומר שלחומרים מסוימים תכונה של 'לכידת חום' - הם בולעים הרבה קרינה קצרת גל המחממת אותם, אך מתקשים בפליטת החום החדר (28).

לצבע הבניינים והסביבה המבונה גם משמעות פסיכולוגית רבה המשפיעה על תנאי החיים: המדובר מאופיין במגוון מצומצם של צבעים. במקרים קיצוניים הוא מאופיין במונוכרוםים של חום וצהוב בלבד. קרינה בעוצמה גבוהה והעדר כיסוי צמחי גורמים לבוהק גבוה.

נושא הצבע והשפעותיו הפסיכולוגיות מורכב מאוד והתיאוריות השונות הקיימות סותרות זו את זו. ניסויים הראו שמונוטוניות הצבעים (בין בצבעים חמים ובין בצבעים קרים) עלולה לגרום לרמת פעילות נמוכה, לתפקוד פיסי ופסיכולוגי לקוי ובמקרים קיצוניים אף לדיכאון. צבעי האדום, הכתום והצהוב מעלים את לחץ הדם ואת הדופק, מאיצים את הנשימה ומעוררים את גלי המוח (29). חשיפה ממושכת לצבעים החמים (אדום, צהוב) עלולה אמנם להגביר פעולות גוף שונות (דופק, נשימה וכו') בשלב ראשון אך לאחר זמן מה עלולות פעולות אלו לרדת מתחת לרמתן הרגילה.

$$\alpha + r = 1$$

α - מקדם הבליעה
 r - מקדם החוזרה

26. לחישוב טמפרטורת משטחים חיצוניים ראה סעיף 1.7 צבע המעטפת.

27. ראה דוגמה שם.

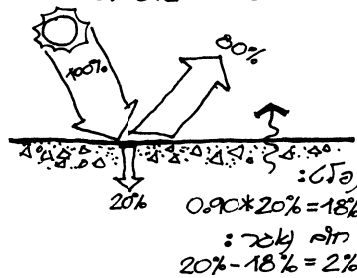
28. למקדמי בליעה ופליטה ראה טבלה 1.5 שם.

דוגמה: משטח בסוון צבע לבן.

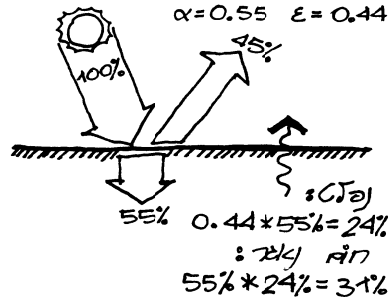
29. Birren F., 1978 pp.24-25

צויר 2-40
 החזרה ובליעה של קרינה על ידי

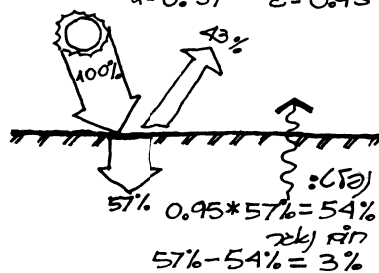
I. א. כוון צויר 2-40
 $\alpha = 0.20 \quad \epsilon = 0.90$



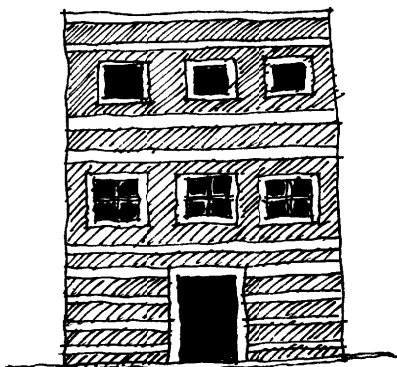
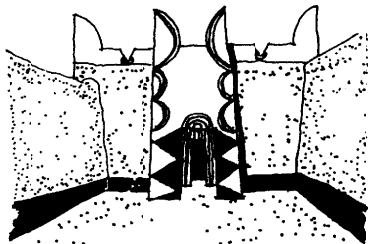
II. א. כוון צויר 2-40
 $\alpha = 0.55 \quad \epsilon = 0.44$



III. א. כוון צויר 2-40
 $\alpha = 0.57 \quad \epsilon = 0.95$



ציור 2-41
שימוש בצבע בבנייה עממית



Alexander C. et al .30
1977, pp.1153-1156

Saini B.S., 1980 .31

ראה (29) עמ' 38-39, 104-105. .32

ראה סעיף 2.5 פתחים. .33

Costa P. & Vicario E., 1977 .34

INTERNI, Suplemento Special .35
N.314, Octobre 1981

.36 שימוש בצבע למטרות כאלו נעשה
בפרייקט בית החולים הפסיכיאטרי
בבאר-שבע וארכיטקטים: ב' אידלסון
ו' ציפרו. הפרייקט כולל שימוש
בגוני חומרי גמר שונים להבדלת
אזורים ותפקידים שונים ופסי צבע
המובילים לאזורים שונים. לפירוט
החשיבות של הצבע במרחב העירוני ראה
Lynch K., 1960 גם:

בכל זאת אצל מתכננים נחשבים הצבעים החמים עדיפים על הצבעים הקרים (30).
כאמור, השיפה ממושכת לסביבה מונוטונית מבחינת הצבע עלולה להיות בעלת
השפעות שליליות על האדם. יש אפוא צורך בשימוש בצבע הן בחללים פנימיים והן
בחללים חיצוניים. מומלץ להרבות בשימוש בצבעים טבעיים (ירוק, צהוב וכ'ל) על
גוניהם השונים. צבעים אלה בשילוב עם לבן עשויים להיות בעלי השפעה חיובית
על מערכת הראייה (31).

בוהק גורם הפרעות ראייה ומערער את שיווי המשקל הנפשי והרגשי, כאשר החשיפה
אליו ממושכת. במקרים מסוימים בוהק עלול לגרום דלקות, קוצר ראייה
ואסטיגמטיזם. להקלת בעיית הבוהק מומלץ לא להשתמש בצבע לבן נקי באלמנטים
אנכיים (כגון קירות) אלא רק בתקרות. מומלץ גם לא לתכנן משטחים סמוכים בעלי
מקדמי החזרה שונים מאוד (בהירים/כהים), מכיוון ששילוב כזה מאמץ את העין
החייבת לעבור תהליך התאמת שרירים מעייף (32). מיקום חלונות ופתחים בבניין
וגודלם גם הוא בעל אפקט רב בנושא הבוהק (33).

לכל התופעות הפסיכולוגיות והפסיכוסומטיות יש השלכות ארגטיות ישירות
[תחושה של חום או קור תגביר את צריכת האנרגיה לקידור או חימום], אך גם
השלכות עקיפות בטווח הרחוק (ירידה בתפוקה, אבדן שעות עבודה בגלל יכולת
תפקוד לקויה וכ'ל).

הצורך הבסיסי בצבע מקבל ביטויים שונים בתרבויות מדבריות שונות. בחלק
מתרבויות אלה משמשת האדמה חומר בנייה עיקרי ושם נוצרת סביבה מבונה בעלת
צבעים וגוונים קרובים ודומים זה לזה ואף זיזים לאלה של הסביבה הטבעית.
במקומות רבים כאלה ניתן לראות שימוש בצבעים שונים (חמים וקדים כאחד)
להדגשת חלקי בניין (כניסות, חלונות, מסד) וכן לקישוט הפנים והחוץ. הצורך
בצבעים הוא כה בסיסי עד שבמקרים שבהם אין הצבע זמין, הקישוטים מושגים על
ידי הבלטה והשקעה של חלקי בניין ויצירת ניגודי צל ואור על פני הקירות
(34). דוגמאות שונות של צבעוניות כזו ניתן למצוא בניגריה, בתימן, בערב
הסעודית (35). באזורנו ניתן לראות את הצורך הבסיסי בשימוש בצבע בתוך סביבה
חד-גונית אפילו בקישוטים בעלת הצבעים העזים בביגוד הנשים הבדוויות.

לצבעים תפקיד חשוב גם בתוך הרקמה המבונה: הפיכת המערכת העירונית לקריאה
ותפסת. שימוש בצבעים שונים מאפשר הבדלת אזורי פעילות שונים: תנועה
מוטורית כנגד הליכה, מבני ציבור לעומת מגורים, הדגשת אזורים ומבנים והבדלה
בין היחידות העירוניות השונות (36).

טכנית, השימוש בצבעים במדבר בעייתי בגלל שיעור הקרינה הגבוה הגורם לפירוק
הפיגמנטים המלאכותיים תוך זמן קצר (37). ולכן מומלץ, כאשר ניתן, להשתמש
בחומרים השונים בצבעיהם הטבעיים (עץ, לבנים, טרה קוטה וכ'ל).

פני חומרי הגמר חשובים מאוד מבחינת התנהגות החומרים לאורך זמן. חומרים
מחוספסים (טיח גס, טיח 'שפריץ', גרנולית וכ'ל) לוכדים חלקיקי אבק וחול

37. ראה הערה (31).

וגנם משתנה במהרה. מעבר להשלכות האסתטיות יש לתהליך זה השפעה על שינוי מקדם החזרה של החומר. חומרים מבריקים פותרים במידה רבה את בעיית האבק, אך בהיותם בעלי מקדם החזרה גבוה הם גורמים לסנוור.

המלצה: כדאי שהקירות החיצוניים יהיו לבנים או בהירים. רצוי ליצור שטחי צל על גבי הקירות למניעת סנוור במקרה של קירות לבנים ולמניעת התחממות במקרה של תוספת פיגמנטים. רצוי להימנע מחומרי גמר מחוסמסים מאוד הלוכדים אבק וחול. מומלץ להשתמש בטיח חלק. יחד עם זאת מומלץ להימנע משימוש בחומרי גמר מבריקים במיוחד העלולים לגרום סנוור (כגון אריחים מסוגים שונים). שימוש בחומרים בצבעם הטבעי ימנע את דחייתם.

2.8 המאזן האנרגטי של בניין סימוסי בנגב

בחלק זה ישולבו השיקולים שנזונו עד כה לבחינת הדרישות האנרגטיות של בית סימוסי למשמחה בת חמש נפשות הגרה בנגב. הבית מופיע בציור 2-42. אורכו 12 מ', רוחבו 8 מ' וגובהו 3 מ'. יש 6 מ"ר חלונות בכל חזית ארוכה ו-2 מ"ר בכל חזית קצרה. רצפתו של הבית מורמת מעל הקרקע. נניח שבית כזה ממוקם בכל אחד מארבעת האזורים האקלימיים בנגב והאלמנטים השונים בכל בניין מבודדים לפי דרישות התקן הישראלי לכל אחד מהאזורים האקלימיים.

2.8.1 איבוד חום דרך המעטפת

הציור מראה את הפסדי החום באזורים דרך מרכיביה השונים של המעטפת. החישוב לדוגמה ייעשה בהנחה ששיעור חדירת האוויר יהיה חילוף אחד לשעה. התפלגות איבודי החום דרך חלקי המעטפת השונים תהיה די דומה בכל אחד מאזורי האקלים.

ניתן להבחין, שגם בקצב חדירת אוויר של חילוף אחד בשעה מהווה איבוד החום דרך חדירת אוויר 20% מסך כל ההפסדים בחורף. אטימה בלתי מתאימה של פתחים עלולה לגרום לגידול המשמעותי של ההפסד בדרך זו. לדוגמה: חדירת אוויר בקצב של שני חילופי אוויר בשעה תעלה את שיעור ההפסד ב-20% מעל לשיעור ההפסד בחילוף אוויר אחד בשעה, וההפסד כולו יהיה כ-35% מהפסד האנרגיה הכללי של הבית.

כאמור לעיל, האלמנטים השונים בכל בניין מבודדים לפי הדרישות של התקן הישראלי (38). תוספת של סנטימטר בידוד (פוליסטירן) מעבר לדרישות התקן לגג לקירות ולרצפה תגרום לירידה של כ-15% בהפסדי החום של הבניין.

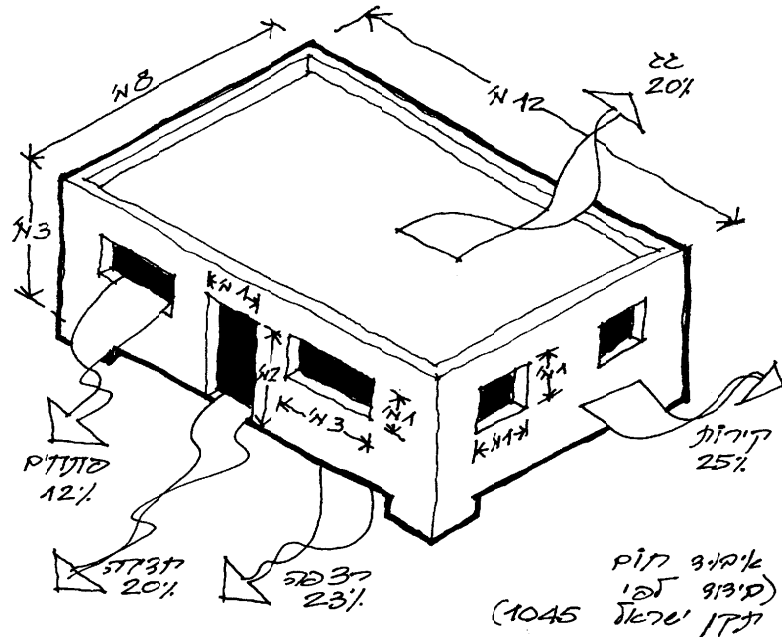
לעומת זאת, שימוש בזיגוג כפול בחלונות יוריד את הפסדי החום בפתות מ-5%.

2.8.2 קליטת שמש בחורף

טבלה 2-9 מראה את תרומת האנרגיה הסולארית למאון החימום של בניין המדרג בחודש ינואר. היישובים שנבחרו לייצג את אזורי האקלים א, ב, ג, ו-ד בהתאמה הם ניר-יצחק, באר-שבע, שדה-בוקר ואילת. הבניין עומד כשצידו הארוך מופנה מזרח-מערב, ויש לו 6 מ"ר של חלונות הפונים דרומה.

אף שכל אחד מארבעת הבתים מבודד לפי הדרישות של התקן הישראלי (39) בהתאם לאזור האקלים שבו הוא נמצא, עומסי החימום בינואר ומשמעותה של אנרגיית השמש שונים בהרבה מאזור לאזור.

ציור 2-42
איבוד חום דרך מעטפת הבניין



38. תקן ישראלי 1045

39. שם

טבלה 2-9: חישוב עומסי חימום בחודש ינואר עבור בית המדגם שבכל אחד מארבעת אזרחי האקלים בנגב

מאזן אנרגיה בחודש ינואר [KWH]	ניר-יצחק (א')	באר-שבע (ב')	שדה-בוקר (ג')	אילת (ד')
עומס ברוטו חימום	2205	2232	2601	757
אנרגיה סולארית	-708	-708	-708	-708
חום גוף הדיירים	-217	-217	-217	-217
מכשירים חשמליים	-186	-186	-186	-186
חום ביטול	-62	62	-62	-62
עומס נטו חימום	1032	1059	1428	0

הערות:

א. עומסי הברוטו של החימום מבוססים על טמפרטורה פנימית של 18.3 מ"צ, וטמפרטורות חיצוניות ממוצעות מחושבות לפי נוסחאות [1.13-A] ו-[1.13-B] וקצב חידרת אוויר של חילוף אחד לשעה לפי נוסחה [1.12-A] לעיל.

ב. תרומתה של קרינת השמש דרך החלונות הדרומיים מבוססת על הטבלה בסעיף 1.9 לעיל. מחוסר נתונים מקומיים יותר מזויקים, נלקחו בחשבון אותם הערכים בכל אחד מארבעת המקומות. הונחה שקיפות של 82% עבור הזיגוג.

ג. תרומתו של חום פנימי מבוססת על הטבלה בסעיף 1.9 לעיל.

ד. אף שלניר-יצחק ולבאר-שבע עומסי חום די זומים זה לזה בחודש ינואר, ההבדל ביניהם גדול יותר במשך החורף כולו: 595 ימי-מעלה-חימום לניר-יצחק ו-655 ימי-מעלה-חימום לבאר-שבע (למסרת השוואה: לשדה-בוקר 945 ימי-מעלה-חימום ולילת 170 ימי-מעלה-חימום).

למשל: כמות האנרגיה הסולארית החודרת לבניין דרך 6 מ"ר חלונות דרומיים מורידה באופן משמעותי את עומס החימום בחודש הקר ביותר באזור הקר ביותר (אזור ג'). במשך כל החורף תעלה תרומת האנרגיה הסולארית ל-40% ויותר מעומס החימום הדרוש (חייבים כמובן לדאוג שבחודשי הקיץ לא יהפכו חלונות אלה לנטל קירור מיותר).

לעומת זאת, באזור ד' מולאו כל דרישות החימום על ידי אותם 6 מ"ר הלון בחודש ינואר, וזוהי ערובה בטוחה לחימום יתר בכל שאר חודשי השנה. אם אין החלונות מוגנים... למעשה, גם בחודש ינואר ההבדל בין דרישות החימום הכלליות לבין שיעור ייצור החום הפנימי בבניין הוא כ-292 קו"ש בלבד.

המסקנה הברורה מכך היא שרצוי לא להשתמש בחימום סולארי פסיבי בבניינים הבנויים באזור ד', אלא אם כן ישנה דרך לניטרול החימום הסולארי בקיץ: אז יש צורך למזער את גדל החלונות של הבניין באמצעות תריסים וכד' (בהתאם לדרישות התאורה והאוויר; ראה סעיפים 2.5.1 ו-2.5.3).

2.8.3 קירור בקיץ

בעוד שחישובי עומס חימום חורפיים יכולים להיעשות עבור חודש מייצג (בדרך כלל ינואר, החודש הקר ביותר), חישובי עומס הקירור בקיץ הם הרבה יותר מורכבים: הם נעשים על בסיס שעתי עבור החרש החם של השנה. לצורך פישוט הדוגמה ייבדק כאן בניין המדגם רק באזור ד' (אילת), ורק בשעה 3 אחר הצהריים ב-21 ביוני. בזמן זה השמש חודרת לבניין דרך חלונותיו המערביים (צידוד השמש בשעה א' 90 מעלות). הדוגמה ממחישה את עומס הקירור הרב הנגרם בקיץ בגין חלונות מערביים (ולפני הצהריים מזרחיים).

בעמודה הראשונה בטבלה 2-10 אנו רואים את המרכיבים השונים של עומס הקירור בשעה 3 אחר הצהריים, כשצידו הארוך של הבית ממוקם בכיוון מזרח-מערב, כך שרק 2 מ"ר של חלונות פונים אל השמש הנמצאת בדיוק בצד מערב. מקרה זה הוא מקרה ההתייחסות שאליו יושוו המקרים האחרים. הפניה צנועה זו אל השמש זרשת 1.21 קילוואט הספק ממערכת הקירור של הבניין.

העמודה השנייה מראה את תוצאות 'סיבוב' הבניין ב-90 מעלות - כעת 6 מ"ר של חלונות מופנים אל השמש אחר הצהריים (עוד 6 מ"ר מופנים אל השמש בבוקר). במקרה זה גדלה התרומה הסולארית לעומס הקירור ביותר מ-50% לעומת זאת שבעמודה הראשונה.

עמודה 3 'מחזירה' את הבניין להפנייתו הראשונה (מעמודה 1), אך מוסיפה לו גוון אפקטי מעל החלונות על מנת לעצור את קרני השמש הישירות (מכיוון שאוית הגובה של השמש היא 50 מעלות בשעה 15:00, גוון באורך 85 ס"מ יספיק כדי להטיל צל על כל החלון המערבי בשעה זו). עומס הקירור בשל קרינת השמש יורד עתה ב-25% בקירוב בהשוואה לערכו הראשוני (1.21 קילוואט). שאר עומס הקירור

בשל הקרינה (0.9 קילוואט) מוכיח, ש-70% בקירוב מסך כל הקרינה על החלונות באים מקרינה מפורזת ומוחזרת הפוגעת בכל החלונות מכל הכיוונים.

כפי שצוין בתחילה, חלונות גדולים כמו בבית המדגם אינם מתאימים לבניינים באזור ד' בכלל ובאילת בפרט, אבל הדוגמה ממחישה בצורה כמותית את עקרונות התכנון שנוונו בפרק זה.

יתר על כן, מעמודה 3 נראה שעומס הקירור בבית כולו מגיע ליותר מ-16 קילוואט בשעה זו. עומס קירור כזה (למשל מזגן-חלון בהספק של כ-1.5 קילוואט חשמל בכל אחד מארבעת החדרים) אופייני למבנים המבודדים לפי התקן הישראלי (40) באזור זה, אך ניתן להקטינו על ידי תוספת בידוד לגג ולקירות.

2.8.4 שיקולים כלכליים

כאשר נלקחות בחשבון כל העובדות האקלימיות הנ"ל בשלב התכנון של בניין, ניתן ליצור תנאי נוחות פנימיים בשימוש יחסית מצומצם של אנרגיה, בניגוד בולט למבנים שנבנו בנגב בעבר ללא התחשבות בתנאי האקלים. לדוגמה: הוצאה עבור חימום ביתי בחורף, המגיעה למאות דולרים, מוכרת לתושבי אזור ג' ויכולה להגיע למזעור שואף לאפס על ידי תכנון מתאים (41). המלה 'שואף' הודגשה משום שיש להתחשב בקריטריונים מתאימים בתכנון כדי להבטיח פתרון כלכלי אופטימלי. באופן כללי יש לשקול את המחיר הנוסף של הגדלת החיסכון באנרגיה כנגד ערך האנרגיה הנחסכת.

דוגמה א: תוספת בידוד

בתתייחסות לבית בציור 2-42, הממוקם בשדה-בוקר (אזור ג'). התקן הישראלי מצייין דרישות בידוד מינימלי עבור כל אזור אקלים. במקרה הנזון מקדם אבדן החום הכללי לגג, לקירות ולרצפה הוא $UA = 315.4 \text{ W/DEG.C}$. בהוספת עוד סנטימטר אחד של בידוד (פוליסטיירן) לכל אחת מהדפנות, היה ערך זה יורד ל- $UA = 267.7 \text{ W/DEG.C}$. בנייתו מפורט יותר, אם תלקח בחשבון טמפרטורת סביבה ממוצעת לחדש, יתברר שהאנרגיה הנחסכת במשך חורף שלם, הודות לתוספת זו של בידוד, מגיעה ל-1530 קו"ש.

במחירים של היום נפט לחימום עולה כ-0.40\$ לליטר (שהם כ-0.05\$ לקו"ש חימום), ופוליסטיירן לבידוד בעובי של 1 ס"מ עולה כ-0.35\$ למ"ר. מכאן, שעלות שכבה נוספת של פוליסטיירן היא 102.9\$, ומשמעותה חיסכון של 76.5\$ בהוצאות חימום בחורף אחד. בדרך זו ניתן לראות שההשקעה בתוספת בידוד בבית מוחזרת לזמן קצר במהרה. מובן שאין נוסחה כללית כלשהי המבטאת את יעילות ההשקעה לגבי צעד שמטרתו חיסכון באנרגיה, אולם ברוב המקרים אפשר להגיע לערך הכלכלי של כל פעולה נתונה על ידי חישובים פשוטים יחסית.

טבלה 2-10:

חישוב התרומות לעומס הקירור ב-21 ביוני, בשעה 15:00, באילת, של בית המדגם עם הפנייתם של החלונות השונים לכיוון מערב

מקורות החום (אילת) 21 ביוני שעה 15:00	חלונות קטנים (ובלי הצללה) למערב [KW]	חלונות גדולים (ובלי הצללה) למערב [KW]	חלונות קטנים (ובלי הצללה) למערב [KW]
דרך החלונות	0.90	1.83	1.21
דרך הדופן	3.09	3.09	3.09
דרך הגג	6.18	6.18	6.18
דרך הרצפה	0.92	0.92	0.92
חירות אוויר:			
- חום סגולי	1.47	1.47	1.47
- חום כמס	2.44	2.44	2.44
מקורות פנימיים:			
- חום סגולי	1.45	1.45	1.45
- חום כמס	0.17	0.17	0.17

הערות:

א. בטבלה מופיעות התרומות השונות להספק הקירור הדרוש כדי לשמור על לחות יחסית של 50% וטמפרטורה של 25.5 מעלות צלסיוס בתוך הבית.

ב. 'דרך חלונות' כולל קרינה בלבד. 'דרך הדופן' כולל הולכה והסעה דרך הקירות, הדלת והחלונות.

ג. מקדם הבליעה נלקח הוא $\alpha = 0.7$, הן עבור הקרקע והן עבור קירות הבית.

40. שם

41. Faiman D. & Feuermann D., 1988

דוגמה ב: חימום סולרי פסיבי

לגבי אותו בית באותו מקום צוין קודם שתרומת השמש לחימום בחורף מגיעה ל-40% בקירוב, כלומר 2575 קו"ש או כ-130\$ לחורף. חיטכון זה נובע מקרינת השמש החודרת מבעד ל-6 מ"ר חלונות דרומיים. אם ציר האורך של הבית יפנה לכיוון צפון-דרום, רק 2 מ"ר חלונות יפנו דרומה, ואז כמות האנרגיה הנחסכת בשל תוספת אנרגיה סולארית תהיה רק כשליש מהכמות שצוינה קודם.

תהיה זו טעות לחשוב שהחיטכון באנרגיה יגדל ביחס ישר להגדלת שטח החלונות הפונים דרומה, והסיבות הן אלה: הגדלת שטח החלונות מקטינה את התנגדותה התרמית של מעטפת הבניין; לא תמיד יש שימוש לכל האנרגיה הסולארית החודרת פנימה. אם חודרת קרינה רבה מדי בשעה מסוימת יש צורך לפתוח חלון כדי למנוע התחממות-יתר של הבניין. שיטת חישוב של חימום סולארי פסיבי (42), אופטימלי מבחינה כלכלית, דורשת תהליך מסובך יותר מדוגמת הבידוד שניתנה קודם.

דוגמה ג: קירור

השיטה המקובלת לקירור חדר בגודל בינוני היא שימוש במזגן דחיסה/בליעה בעל עוצמה של 12.000 BTU. מספר זה מייצג יכולת קירור של כ-3.5 קילואט, אף שצריכת החשמל של המכשיר היא רק כמחצית הכמות הזאת. מחירו של מכשיר כזה הוא כ-1.000\$ ויש עלות נוספת של כ-0.14\$ צריכת חשמל לכל שעה. שהוא פועל (מבוסס על מחיר 0.08\$ לכל קו"ש חשמל). תחליף רציני למזגן הוא המצנן המדברי (desert cooler). מתקן זה מקרר על ידי התאיידות של מים, והוא מאוד יעיל באזורים היבשים של הנגב (אזורים ב', ג' ו-ד'). מחירו כמה מאות דולרים בלבד, וצריכת החשמל שלו היא כ-10% מזו של המזגן. כדי להפיק עוצמת קירור של 12.000 BTU, על יחידת הקירור לאייד כ-5 ליטר מים בשעה. צריכת מים זו אינה בזבז משום שהלחות המתוספת לחלל החדר בקיץ היבש מקלה על תנאי החיים.

מצנן מדברי אינו פועל ביעילות, כאשר הלחות היחסית גבוהה, והמצב הוא כזה לעתים קרובות בלילה, אפילו באזורים הנדונים. בתנאים כאלה השימוש הנכון במסה תרמית מבודדת למטרת אגירת אנרגיה יכול לעזור להתגבר על הבעיה, משום שהיא מאפשרת לקרר חדר מראש כדי שיהיה צונן אפילו בשעות שהלחות מחוץ לבניין גבוהה מדי עבור הפעלת המצנן המדברי. ואפילו באזורים שאין אפשרות להשתמש במצנן מדברי, מסה תרמית מבודדת יכולה לאפשר שימוש במזגן רגיל מחוץ לשעות שיא הביקוש של חשמל.

Gordon J.M. & Zarmi Y., 1981 .42

2.9 שיטות לחימום סולארי פסיבי

חדירה של אנרגיה סולארית מבעד לחלונות הפונים דרומה תורמת לצורכי החימום בחורף של בניינים. מובן שאפשרות זו לחיסכון תילקח בחשבון בתכנון טוב של בית באזורים אלה, וייעשה שימוש באחת השיטות לחימום סולארי פסיבי.

ההנחה היא שהקורא מכיר את המונחים חלון לקליטה ישירה, קיר אוגר חום וחממה צמודה. אלה הם המתקנים המקובלים ביותר לחימום סולארי פסיבי. קיים מידע רב בספרות בנושא שיטות תכנון כלליות (43) וכן סקר על הנעשה בישראל (44). פה רק יוסברו היתרונות והחסרונות השונים בשימוש בשיטות המקובלות לחימום סולארי פסיבי בנגב.

2.9.1 חלון לניצול ישיר

חלונות הפונים דרומה הם השיטה הפשוטה והזולה ביותר להשגת חימום סולארי פסיבי. שטח גדול ופנוי לאגירת החום (בדרך כלל הרצפה) צריך להיות בצמוד לחלון במשך היום, אם משתמשים ברצפה לאגירה, אין להניח עליה שטיחים או רהיטים אחרת לא תאגר האנרגיה הנדרשת.

בלילה יש לצמצם את איבוד החום מבעד לחלון. ניתן לעשות זאת על ידי שימוש בכיסוי חיצוני או פנימי מבודד. תריסים מבודדים יכולים להיות יעילים, אולם עליהם להיות מותאמים היטב למסגרתם כדי למנוע תנועת אוויר שבעקבותיה יאבד חום בתהליך ההסעה על פני משטח הזיגוג.

בקץ החלונות צריכים להיות מכוסים היטב במשך היום כדי להקטין חימום-יתר בלתי רצוי בשל קרינה מפורזת ומוחזרת. למטרה זו יכולים לשמש תריסי החורף כבידוד בלילה, אולם אז תיווצר בעיה של אי-חדירת אור יום, אלא אם כן בעיה זו נלקחה בחשבון בתכנון התריסים.

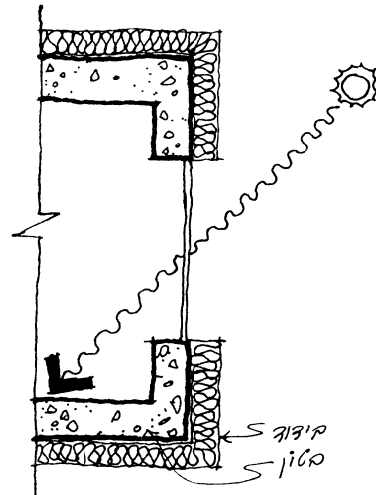
שיטה טובה לניצול ישיר של אנרגיית שמש משתמשת בחלונות עליונים בתקרה הפונים דרומה. כאן מנצלים לצורך אגירה תרמית את הקיר הצפוני הפנימי, ולא שטח שימושי כמו רצפת החדר. יתר על כן, חלון עליון גם מאפשר פטריות יותר מחלון גדול בקיר הפתוח במשך כל שעות היום. בידוד לילה בחלונות עליונים הוא בעל חשיבות מרובה, משום שאוויר חם עולה ויכול לגרום לבעיות הפעלה. פתרון אחד הוא כיסוי פנימי מבודד מותאם היטב למסגרת החלון.

2.9.2 קיר אוגר חום

מתקן הנקרא קיר 'טרומב' הוא זל יחסית וקל לבנייה, ומהווה תחליף יעיל לחלון לחימום סולארי פסיבי. קיר טרומב הוא קיר דרומי מסיבי מאוד - למשל בעובי 30 ס"מ בטון - מצופה בצבע כהה ומכוסה זכוכית. במשך היום עוברת קרינת השמש את הזכוכית ונספגת בתוך המסה של הקיר. בערב מגיע החום לצדו השני של

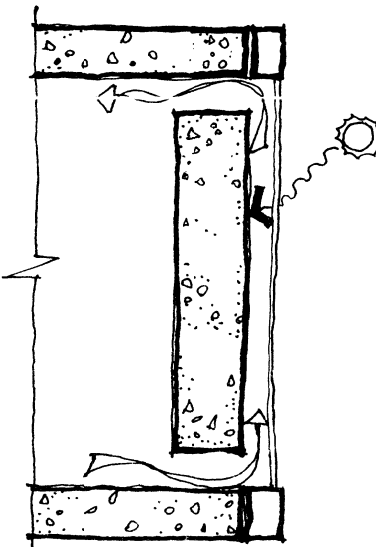
ציור 2-43

חלון לניצול ישיר של קרינה



ציור 2-44

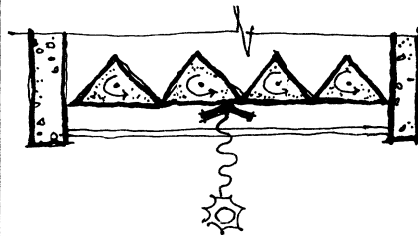
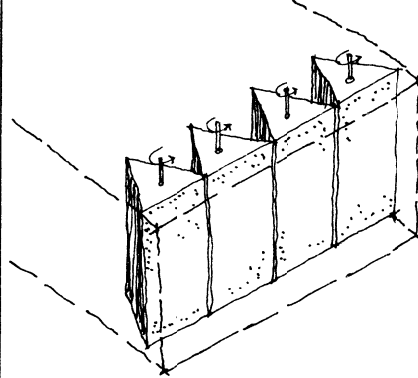
קיר אוגר חום



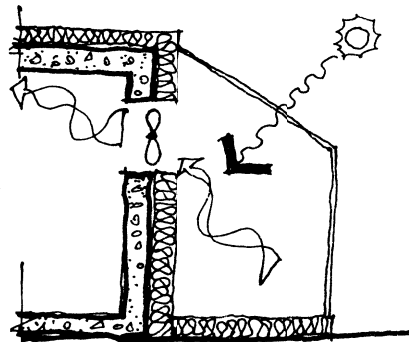
Anderson B., 1980 .43

רויטנר ע', תשמ"ז. 44

ציור 2-45
מנסרות מסתובבות לאגירת חום



ציור 2-46
חממה סמוכה



45. פיימן ד', 1981.

Faiman D. &, Feuermann D., 46
1984

הקיר ומחמם את החדר במשך הלילה. אם יש צורך לחמם את החדר גם בשעות היום, מתקיימים בקיר שני פתחים, אחד קרוב לרצפה והאחר קרוב לתקרה. אוויר קר מהחדר נכנס למרווח שבין הקיר לאכזכית דרך הפתח התחתון. הוא מתחמם, עולה למעלה ונכנס חזרה לחדר דרך הפתח העליון.

החיסרון העיקרי של קיר טרומב באזורי מדבר הוא נטייתו לחימום-יתר בקיץ. בעונה זו של השנה יש לפתוח את זיגוג המתקן ולכסות את הקיר בציפוי בעל בליעה נמוכה. שיטה יעילה להתגבר על בעיה זו היא שימוש בקיר 'מנסרות מסתובבות' (45). מתקן כזה פועל באופן דומה לקיר 'טרומב', אך הוא מבודד באופן אוטומטי בקיץ ('בלילות החורף'). קיר המנסרות המסתובבות הוכיח את יעילותו בתנאי הנגב (46).

2.9.3 חממה צמודה

תוספת חממה לחזיתו הדרומי של מבנה יכולה לשמש מקור יעיל של חימום סולארי פסיבי ושטח מגורים נעים בימות החורף. מאחר וכמעט אין אפשרות לבודד שטח זה בלילה, אם רוצים שהחממה הצמודה לא תאבד בלילה את רוב האנרגיה שאספה במשך היום, יש לתכננה בקפידה. פתרון אחד הוא להבטיח שחלקה הפנימי יהיה בעל מסה תרמית נמוכה, כך שרק מעט אנרגיה תשאר אגורה בה לקראת הלילה. ניתן להשיג זאת על ידי בידוד רצפת החממה ושטחו החיצוני של קיר הבית שאליו היא צמודה. יש לתכנן אפשרות העברת אוויר חם מן החממה אל תוך הבית במשך כל היום, שכן המטרה היא להשיג חימום יעיל של הבית וגם תנאי חיים נוחים בחממה.

2.9.4 שימוש במים לאגירת חום

שיטות אחרות לחימום סולארי פסיבי - אשר רבות מהן דורשות שימוש בכמויות גדולות של מים לאגירה תרמית - הוצגו במקומות שונים בעולם (אך לא בישראל). בשיטות אלה השתמשו בשקים מלאים במים המונחים על הגג, מכלי מים המונחים בתוך הבית, ואפילו קירות שקופים ממולאים במים. אלה הם מתקנים מיוחדים במינם ואין מידע כללי הנוגע להתאמתם לתנאי הנגב. מהספרות המקצועית ניתן להבין, שמתקנים מסוג זה הוכיחו את עצמם מבחינה אגרטיבית אך גרמו במקרים מסוימים לבעיות בלתי צפויות, כגון דליפות מים וגידול אצות.

2.10 חימום מים

ניצול אנרגיית שמש למטרת חימום מים ננוץ בכל רחבי הארץ, וכמובן הוא דבר טבעי בנגב. בסעיפים שלהלן ישנה התייחסות לחיבטים הטכניים והכלכליים הדרושים לניצול אופטימלי של מקור אנרגיה זה.

2.10.1 התייחסון היחסי בחימום סולארי לעומת חימום רגיל

סטטיסטיקה של חברת החשמל בישראל (47) מראה, שהמוצע השנתי הכלל ארצי של צריכת חשמל לחימום מים לשימוש ביתי הוא כ-1400 קו"ש לצרכנים אשר אין להם דודי שמש וכ-380 קו"ש לצרכנים בעלי דודי שמש. ממספרים אלה אפשר להסיק, שדודי שמש מספקים כ-73% במוצע מהאנרגיה הדרושה לחימום מים לשימוש ביתי. אם יילקח בחשבון שעלות בסיסית של מערכת דוד שמש היא כ-500 דולר ושמחיר החשמל הוא כ-0.08 דולר לקו"ש, יתברר שתקופת ההחזר הפשוטה היא כ-6 שנים בממוצע כלל ארצי. השמוש במושג המלאכותי 'תקופת ההחזר הפשוטה' בדיון שלהלן, נכון משום שיחד עם 'ארך החיים' ניתן לתרגם את שני הפרמטרים האלה להערכה ריאליית של ערך ההשקעה.

בנגב הנתונים מעט שונים. מחקרים שנערכו בשדה-בוקר (אזור ג') (48) מראים שצריכת החשמל השנתית לחימום מים לשימוש ביתי היא בדרך כלל מעל 2000 קו"ש למשפחה, ושדודי שמש יכולים לספק כ-85% מצריכה זו. לעומת זה באילת (אזור ד'), בשל טמפרטורת המים הקרים וטמפרטורת הסביבה שהן גבוהות יחסית, איבוד החום מועט, והאנרגיה הדרושה לחימום מים לשימוש ביתי היא נמוכה יותר באופן משמעותי מהמוצע הכלל ארצי השנתי. אנרגיית השמש יכולה לספק קרוב ל-100% מדרשות אלה.

כדי להעריך את תקופת ההחזר הפשוטה עבור השקעה בדוד שמש צריך להתחיל במחיר המתקן, שהוא כ-500 דולר. על מנת לקבל תקופת החזר פשוטה של 4 שנים, כשמחיר החשמל הוא 0.08 דולר לקו"ש, צריך לחסוך 1563 קו"ש לשנה. מכיוון שדודי שמש בנגב חוסכים כ-85% מצריכת החשמל לחימום מים, דרושה צריכת חשמל שנתית ממוצעת לחימום מים של 1838 קו"ש לפחות.

עבור אזור ג' תקופת ההחזר הפשוטה של 4 שנים איננה בלתי מציאותית. עבור אזור ד', לעומת זאת, שם 1000 קו"ש לשנה לחימום מים הם הצריכה הטיפוסית, תקופת ההחזר הפשוטה תהיה קרובה יותר ל-6 שנים, אף על פי שדוד השמש מספק כמעט 100% מהאנרגיה הנדרשת!

תקופות החזר פשוטות אלה יהיו שונות, כמובן, בהתאם למחירו הראשוני של דוד השמש ומחיר יחידת חשמל מקבילה בתפקידה. צריך לקחת בחשבון את העובדה שאין שהעלות של דוד שמש היא כ-500 דולר, ההשקעה ברכישת מתקן כזה חוסכת רכישת דוד חשמל שמחירו כ-150 דולר. לכן תקופות ההחזר הפשוטות המתוארות לעיל, של

מושגים כלכליים

$$N_p = C / R$$

N_p - תקופת ההחזר הפשוטה [YR]

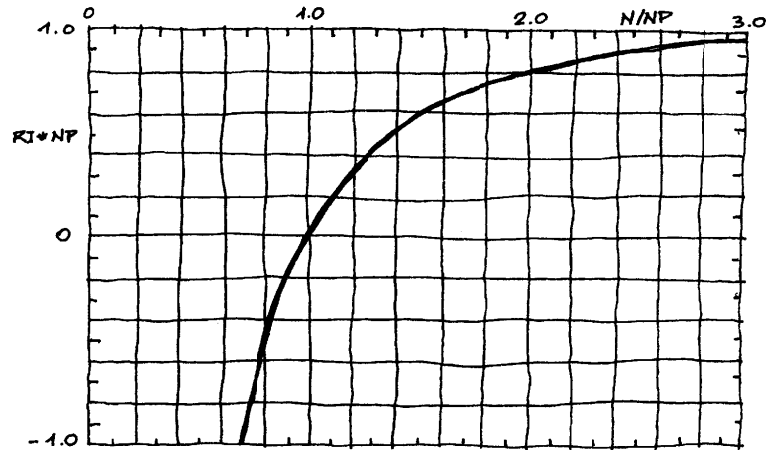
C - השקעה ראשונית [S]

R - חיסכון בשנה הראשונה [S/YR]

אם ידוע אורך החיים (N) של המערכת, אזי ניתן להעריך את שיעור התשואה הפנימי (RI) של ההשקעה על ידי שימוש בעקומה (49):

ציור 2-47

שיעור התשואה הפנימי (RI) של ההשקעה



דוגמה: עבור תקופת החזר פשוטה: $N_p = 6$ [YR]

$N = 10$ [YR] ואורך חיים:

מקבלים מהעקומה שיעור תשואה פנימי: $RI = 11\%$

חשוב לציין ששיעור התשואה הפנימי אינו תלוי בשיקולי ריבית או ערך הכסף. לכן הוא כלי יעיל להשוואת ההשקעה בדוד השמש עם השקעות אחרות. שיעור התשואה הפנימי תלוי רק באורך החיים הצפוי של המערכת - בערך 10 שנים - ובתקופת ההחזר הפשוטה.

Shitzer A., 1985 .47

Faiman D., 1988 .48

Rabl A., 1985 .49

שש שנים עבור הממוצע הכלל ארצי וארבע שנים עבור אזור ג', יכולות להיות קצרות יותר: ארבע שנים ופחות משלוש שנים, בהתאמה.

2.10.2 תצדוד (אזימות)

זווית הצידוד האופטימלית של קולטי שמש בנגב היא בדרך כלל אל הדרום המדויק. זווית השיפוע השנתית שקולטת מקסימום קרינה במשך כל השנה שווה לזווית קו הרוחב של המקום שבו מוצב הקולט; (כלומר: קולט הנמצא במקום שרוחבו הגיאוגרפי 30.8 מעלות ייצב בזווית 30.8 מעלות עם מישור אופקי ובהפניה דרומית). עם זאת יש להדגיש שלא זווית השיפוע ולא זווית הצידוד הן קריטיות ליעילות הקולט.

בחישוב של כל אחת מעונות השנה עבור קולט הפונה לכיוון דרום מתברר שזווית השיפוע האופטימלית לחורף, כשהשמש נמוכה, היא כ-60 מעלות, ואילו זווית השיפוע בקיץ קרובה לאופק: כפשרה ניתן להציב קולטים בזווית של כ-45 מעלות לאופק. זווית זו תגדיל את קליטת האנרגיה בחורף ב-8% ותצמצם את הקליטה השנתית ב-3% בלבד. העלייה בקליטת האנרגיה בחורף באותם 8% תגרום למים בדוד להתחמם עוד ב-2 מעלות צלסיוס בסוף של יום חורפי ממוצע.

גם זווית הצידוד של קולט השמש אינה קריטית: ניתן לסובב קולט ב-40 מעלות מהדרום תוך איבוד 8% בלבד מקליטת האנרגיה שלו בחודש דצמבר וכמעט בלי הפסד קליטה על בסיס שנתי. הפסד חורפי זה יגרום להורדת טמפרטורת המים בסוף יום אופייני בדצמבר בסך הכול ב-2 מעלות צלסיוס.

2.10.3 קביעת הגודל של מערכות חימום מים סולאריות

הגודל המתאים של מערכת חימום מים סולארית ייקבע לפי מספר המשתמשים: משפחה אחת או מספר משפחות. עבור מספר משפחות, ניתן להתקין מערכת מרכזית. היתרונות היחסיים של שני הפתרונות נדונים בסעיף 2.10.4 שלהלן.

גודל דוד השמש הדרוש למשפחה אחת מחושב בצורה פשוטה, ונעשה כבר בידי יצרנים של מתקנים מסוג זה: מיכלי המים למערכת חימום סולארית מיוצרים בגדלים סטנדרטיים - 120 ליטר, 150 ליטר ו-200 ליטר הם המקובלים ביותר. גם הקולטים מיוצרים בשני גדלים סטנדרטיים: 1.5 מ"ר ו-2.0 מ"ר. הקולט הקטן הוא בדרך כלל מעט פחות יעיל ליחידת שטח מאשר הקולט הגדול, משום שבייצור הקולט הקטן משתמשים בצבע שחור מט פשוט על פני שטח הקליטה, ואילו בקולטים הגדולים משתמשים רבים מהיצרנים ב'ציפוי סלקטיבי'. רוב היצרנים ממליצים על כ-40 ליטר מים במיכל לכל מטר רבוע של שטח קולט. למערכות תרמוסיפוניות, שבהן המים זורמים בין המיכל לבין הקולטים על ידי כוח המשיכה בלבד, מתאים כל אחד מסוגי הקולטים. לעומת זאת, אם יש במערכת משאבה חשמלית להזרמת המים, קולטים עם ציפוי סלקטיבי מומלצים יותר (בשל קצבי הזרימה הגבוהים יחסית).

50. Evenari M. et al, op. cit.

51. Klein S.A., op. cit.

טבלה 2-11: הממוצע החודשי של הקרינה היומית שנקלטה בחודשים דצמבר יוני ובמשך שנה בקולט שרוצב בעבדת כשהוא מופנה דרומה ומטה בזוויות שיפוע שונות [הערכים מבוטאים על נטוי מעבדה (50) וסימולציה (51)].

זווית השיפוע [DEG]	דצמבר יוני [KWH/(SQ.M*DAY)]	שנתי
15	3.42	7.53
20	3.61	7.33
25	3.81	7.11
30	3.94	6.86
35	4.08	6.58
40	4.19	6.28
45	4.28	5.94
50	4.33	5.58
55	4.36	5.19
60	4.36	4.83
65	4.33	4.42
70	4.28	4.03
75	4.22	3.61

טבלה 2-12: הממוצע החודשי של הקרינה היומית שנקלטה בחודשים דצמבר יוני ובמשך שנה בקולט שרוצב בעבדת, כשזווית השיפוע היא 30 מעלות לאופק בזוויות אזימות שונות [(51)(50)].

זווית האזימות [DEG]	דצמבר יוני [KWH/(SQ.M*DAY)]	שנתי
0	3.94	6.86
10	3.92	6.89
20	3.86	6.94
30	3.75	7.03
40	3.61	7.14
50	3.47	7.25
60	3.31	7.33

Faiman D. et al, 1981 .52

Beckman W.A. et al, 1977 .53

Faiman D., 1985 .54

למשפחה ממוצעת בת חמש נפשות מומלץ מיכל בן 150 ליטר עם שלושה קולטים בגודל 1.5 מ"ר ליחידה או שני קולטים בגודל 2 מ"ר ליחידה.

במערכות סולאריות מרכזיות לחימום מים חישוב גודל המערכת הדרושה הוא מסובך יותר. באופן כללי יהיה צורך להשתמש בקולטים בעלי ציפוי סלקטיבי כיוון שהמים זורמים בקצב גבוה יחסית (באמצעות משאבות). היחס המומלץ בין כמות המים במיכל לבין שטח הקולטים הוא בערך 75 ליטר לכל מ"ר קולט. את גודל המערכת צריך לקבוע מהנדס מיומן אשר ישתמש באחת משיטות החישוב הקיימות בספרות המקצועית. שיטה אחת, פשוטה אך אמינה, אשר הוכיחה את עצמה בנגב (52) היא שיטת ה-'F-chart' (53). השימוש בשיטה זו מאפשר למתכנן להתאים את גודל המערכת לדרישות הצרכן ובמקביל לזהות את 'הקנייה הטובה ביותר' מתוך הצעות מספר.

2.10.4 מערכת חימום מים מרכזית לעומת מערכת פרטית

כאשר קיימת אפשרות בחירה, בישראל עדיפה מערכת חימום מים פרטית על מערכת חימום מים מרכזית מכמה סיבות (54):

- ◆ מערכת פרטית היא בדרך כלל תרמוסיפנית, וככזו היא מווסתת את עצמה ואינה דורשת מערכת בקרה. במערכת מרכזית, לעומת זאת, יש משאבה להזרמת המים הדרושה מערכת בקרה. העלות הנוספת של המשאבה ומערכת הבקרה (ולעתים קרובות מחליף חום) מבטלת את היתרון-לגודל הצפוי והתוצאה היא עלות גבוהה יותר למשפחה עבור המערכת.
- ◆ מערכות מרכזיות עם כל מנגוני השאיבה והבקרה שלהן, הן די מסובכות מהבחינה המכנית ומועדות לתקלות. מערכות תרמוסיפניות לעומתן הן פשוטות הרבה יותר, ובדרך כלל אינן דורשות טיפול רציני במשך שנים מספר.
- ◆ הצרכן שולט טוב יותר במערכת חימום פרטית, שבה הוא מתחיל ומפסיק את מערכת הגיבוי החשמלית כרצונו, מאשר במערכת מרכזית שם הבקרה היא אוטומטית ומבוססת על תרמוסטט. בשליטה ידנית ניתן לחסוך באנרגיה יותר מאשר בשליטה תרמוסטטית.

השימוש במערכת חימום מים סולארית פרטית אפשרי בבתי דירות בעלי ארבע קומות לכל היותר. בבתי גבוהים יותר נדרשת מערכת חימום מים מרכזית, אך מומלץ שתהיה ללא מערכת גיבוי מרכזית לחימום. במקום זאת צריכה כל דירה להיות מצוידת בדוד חשמלי קטן המוץ ממים המגיעים אליו מהמערכת הסולארית המרכזית לאחר חימום מוקדם כלשהו.

2.10.5 השמעת אבק על הקולטים

האבק בנגב רב יותר מאשר באזורים מכוסי צמחייה בארץ. עם זה האבק אינו מהווה בעיה רצינית למערכות חימום המים הסולאריות: בקיץ הרוח מסירה אותו מהקולטים (זוהי גם העונה שבה קרינת השמש היא גבוהה ביותר) ובחורף הגשם שוטף אותו מהם. מכיוון שגשם אינו יורד בצורה סדירה בנגב, קורה לפעמים שאבק (מסופת אבק) מכסה את הקולטים מיד אחרי שירד גשם, כאשר הם עדיין רטובים. האבק ידבק ולא יועף בידי הרוח. יש לשטוף הצטברות זו מדי פעם בעזרת מים ומברשת.

2.10.6 היבטים אדריכליים

קיימת הסכמה כללית בקרב הציבור בישראל שמראהו של דוד השמש אינו מוסיף נוי לבניין. קיימים מספר פתרונות אדריכליים להסתרת מכלול המערכת:

♦ הכנסת הקולטים לשיפועו של הגג או לתוך מבנה משופע על גג הבניין. הטבלאות בסעיף 2.10.2 תהיינה לעזר למתכנן במקרים כאלה. אם משתמשים במערכת תרמוסיפונית, חשוב לוודא שתחתיתו של הדוד תימצא במפלס גבוה יותר מחלקו העליון של הקולט, כדי שלא תיווצר בליטה זרימה הפוכה מהדוד אל הקולט.

♦ שימוש בקולטים כמתקני הצללה לחלונות בחזית הדרומית של הבניין, כשהדוד עצמו ממוקם בתוך הבניין.

♦ מערכת תרמוסיפונית סטנדרטית לחימום מים על הגג, אבל בזווית שיפוע קטנה שתסתיר אותה מעין המסתכל ברחוב. גובהה הכולל של המערכת יכול להיות כ-1.0 מ', אם הקולט יוצב בזווית שיפוע של 15 מעלות. את הירידה של 13% באנרגיה הנקלטת בדצמבר ניתן לאזן על ידי הוספת משטח מחזיר-אור מעל לקולט (55).

Faiman D. & Zemel A., 1988 .55

צויר 2-48
שילוב מראה בקולט

