

חלק 2: הבניין במדבר

2/40 2.8 המאזן האנרגטי של בניין טיפוסי בנגב

2/40 2.8.1 איבוד חום דרך המעטפת
 2/40 2.8.2 קליטת שמש בחורף
 2/41 2.8.3 קירור בקיץ
 2/42 2.8.4 שיקולים כלכליים

2/44 2.9 שיטות לחימום סולארי פסיבי

2/44 2.9.1 חלון לניצול ישיר
 2/44 2.9.2 קיר אוגר חום
 2/45 2.9.3 חממה צמודה
 2/45 2.9.4 שימוש במים עבור אגירת חום

2/46 2.10 חימום מים

2.10.1 החיסכון היחסי בחימום מים סולארי לעומת חימום רגיל
 2/46
 2.10.2 הצידוד
 2/47
 2.10.3 קביעת הגודל של מערכת חימום מים סולארית
 2/47
 2.10.4 מערכת חימום מים מרכזית לעומת מערכת פרטית
 2/48
 2.10.5 השפעת אבק וחול על הקולטים
 2/49
 2.10.6 היבטים אדריכליים
 2/49

2/3 2.1 תצורה

2/6 2.2 הגג

2/6 2.2.1 גג חמוך
 2/7 2.2.2 גג מוצל
 2/8 2.2.3 גג מסיבי
 2/9 2.2.4 גג משופע
 2/11 2.2.5 גג משופע מסיבי

2/13 2.3 קירות

2/13 2.3.1 בידוד
 2/15 2.3.2 קיבול החום

2/17 2.4 רצפות

2/18 2.5 פתחים

2/19 2.5.1 אור יום
 2/20 2.5.2 חדירת אוויר
 2/22 2.5.3 אוורור (טבעי ומאולץ)
 2/26 2.5.4 חומרי זיגוג

2/29 2.6 הצללה פתחים

2/37 2.7 חומרי גמר וצבע

2.1 תצורה

שינוי בתצורת הבניין (אורך, רוחב, הפניה) הוא בעל משמעות שניונית בלבד לנוחות התרמית בתוכו, אם הבניין מבודד יחסית ואם פתחיו המזוגגים מתוכננים כראוי. הדבר נכון הן מבחינת הקרינה הפוגעת בבניין והן מבחינת האוורור הטבעי בו. מיקום חללים מונקציונליים בתוך הבניין ייקבע לפי זמן ואופי השימוש בהם.

מקום נרחב בספרות המקצועית מוקדש לדיון בנושא ההפניה של מבנים ויחסי האורך-רוחב שלהם. תצורת המבנה והפנייתו אכן משפיעות במידת מה על אקלים הפנים בתוכו. שינוי הצורה והיחס בין אורך לרוחב בניין בשטח נתון ושינוי הפנייתו יגרמו לשינוי גדול של שטח המעטפת ולשינוי כמות הקרינה שתפגע בבניין. ככל שבידוד הבניין גרוע יותר, יהיה אפקט התצורה וההפניה גדול יותר.

א. שינוי גדול של שטח המעטפת יגרום לשינוי גדול השטחים החשופים לאקלים החוץ, שינוי כמויות הקרינה הפוגעות בקירות החוץ ושינוי השטח שדרכו יכולה לעבור אנרגיה תרמית: איבוד חום בחורף וקליטת חום בלתי רצוי בקיץ.

ב. סיבובו של בניין בעל שטח רצפה נתון ובעל יחס אורך-רוחב קבוע ישנה את כמות קרינת השמש שתפגע בקירות המבנה ואת טמפרטורת משטחיהם רחיצוניים. כשהגג הוא שטוח, שיעור הקרינה שתפגע בו הוא קבוע לכל ההפניות של הבניין וההבדל בכמות הקרינה הפוגעת במבנה יתבטא רק בקרינה הפוגעת בקירות. במקרה של גג משופע, סיבוב הבניין או שינוי היחס בין אורכו לרוחבו יגרום גם לשינוי כמות הקרינה הפוגעת בגג.

אי לכך התצורה האופטימלית של בניין תהיה זו אשר (1) -

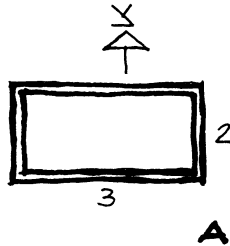
א. תקטין את שטח המעטפת ובעקבותיו גם איבודי חום בחורף וקליטת חום בלתי רצוי בקיץ;

ב. תחשוף את קירות המעטפת שלו למינימום קרינת שמש בקיץ ולמקסימום בחורף (1).

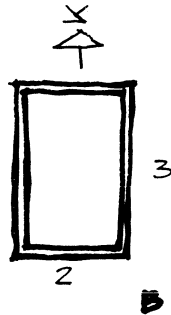
בניין, שבו יהיה מעבר אנרגיה מינימלי בין הפנים לחוץ, יהיה זה שהוא בעל שטח מעטפת מינימלי ביחס לשטח הרצפה. במערכת אורתוגונלית בניין כזה הוא בעל תכנית ריבועית. מכיוון שמעשית אין קיר שאינו מעביר אנרגיה, אכן יש חשיבות מסויימת מבחינת מעבר האנרגיה מהוך הבניין ואליו, ליחסים בין אורכי קירות הנבדלים ביניהם בכמות קרינת השמש הפוגעת בהם, בכל אחת מעונות השנה, אולם חשיבות זו קטנה כאמור עם שיפור בידוד המעטפת.

1. בהתעלם, לצורך העניין, מהבדלי ניצולת ועלות בין תהליכי חימום של בניינים לבין תהליכי קירורם.

צויר 2-1
הפניית הבניין



החשיבות: 2/3
על 'Call on'



יש קרינה
הפוגעת בקיץ
מאטמת:
B ≈ 110% A

אפקט הקרינה על קיר מתבטא בהעלאת טמפרטורת המשטח החיצוני שלו. העלאה זו תגדיל מעבר חום בלתי רצוי לתוך הבניין בקיץ, אך תקטין איבוד החום דרך הקיר בחורף. תרומת קרינת השמש לעליית הטמפרטורה של משטח חשוף לשמש מבוססת בנוסחה

$$T_s = \frac{I * \alpha}{H_o} \quad [\text{DEG.C}]$$

[2.1-A]

T_s - שיעור עליית טמפרטורת המשטח החיצוני מעל טמפרטורת האוויר החיצוני בגין קרינת השמש [DEG.C]
 I - שטף קרינת השמש על משטח [WATT/SQ.M]
 α - מקדם הבליעה של המשטח (בין 0-1: 0 - משטח מחזיר 1 - משטח בולע)
 H_o - מקדם המוליכות התרמית השטחית [WATT/(SQ.M*DEG.C)]
 ברוב המקרים ערכים מתאימים ל- H_o הם בין 20-25 (2).

בהצבת ערכי קרינה שנמדדו במדרשת שדה בוקר (הנמצאת במרכז הנגב), מתקבל עבור הקיץ יחס אופטימלי של 2:3 בין אורך הבניין (חזית דרומית) לבין רוחבו, אולם זהו יחס גמיש למדי, שכן אפילו ביחס של 3:2 בין אורך הבניין לבין רוחבו תהיה כמות הקרינה הפוגעת בקירות גדולה בפחות מ-10%. בחורף לעומת זאת ככל שתוארך החזית הדרומית כן תרבה כמות הקרינה הפוגעת בקירות הבניין.

השפעת שינוי הפניות הבניין דומה להשפעת שינוי היחס בין ארכי החזיתות: סיבוב בניין בעל שטח נתון ב-90 מעלות דומה במהותו להפיכת היחס בין ארכי החזיתות. לפיכך בבניין שהובא בזוגמה הקודמת, סיבוב הבניין ב-90 מעלות בקיץ יעלה את שיעור הקרינה שיפגע בקירותיו ב-10% בקירוב. בחורף השפעת סיבוב הבניין היא אפילו קטנה יותר. ניתן אפוא לומר שמבחינת העברת החום דרך הקירות עצמם (לא דרך הפתחים!) שאלת הפניית הבניין בנגב היא שיוניית.

תשומת לב חייבת להינתן למיקומם היחסי של חללים תפקודיים בתוך הבניין. מעצם מהותם חללים שונים הם צרכני אנרגיה או מפיקי אנרגיה בכמויות שונות במטבחים למשל נוצר חום בשל ציוד המופעל בתוכם: חימום, בישול, אפייה, קירור (מקרר פולט חום בפעולת הקירור). דומה הדבר בחדר כביסה או בחדרי אמבטיה. חדרים אחרים הם צרכני חום בזמנים שונים במשך היום - חדרי מגורים למשל חייבים להימצא בתוך תחום הנוחות התרמית בעיקר החל בשעות הערב המוקדמות. חדר תינוקות חייבים להיות בתחום הנוחות במשך כל היום כשהתינוקות שוהים בבית. לעומתם, חדרי ילדים בגיל בית הספר חייבים להיות בתחום הנוחות בשעות אחר הצהריים והערב. הדרישות האנרגטיות של חדרים אלה יקבעו את מיקומם בבניין. מטבחים, למשל, עדיף לחכנן בצדו הצפוני של הבניין, חדרי שינה בצד הדרום-מזרחי, שבו לא יהיה חדר השינה חם יותר על המידה עם הכניסה לשינה.

בשיקולים של מאזן הקרינה בלבד, המפשטים את תהליך החישוב, ניתן להגיע ליחסים מומלצים בין אורך ורוחב בניין בעל שטח ונובה נתונים. הנוסחה הבאה משקפת את סך כל הקרינה הפוגעת בקירות בניין מלבני:

$$R = (S + N) * L * H + (E + W) * \frac{A}{L} * H \quad [2.1-B]$$

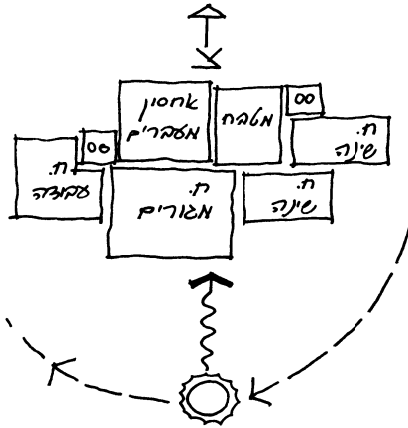
- A - שטח גג הבניין
- L - אורך החזית הדרומית או הצפונית
- H - גובה הבניין
- S - קרינה יומית ממוצעת חזית דרומית (KWH/SQ.M)
- N - כנ"ל, חזית צפונית
- W,E - כנ"ל חזית מזרחית ומערבית, כאשר מניחים W=E.

על ידי מציאת הנגזרת של נוסחה [2.1-B] ביחס לאורך החזית הדרומית ואיטרס נמצא שתנאי המינימום הם

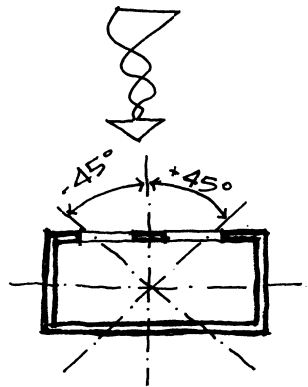
$$L = \sqrt{\frac{2 * W * A}{N + S}} \quad [2.1-C]$$

2. ראה תת פרק 1.8 לדיון בנושא זה.

ציור 2-2
מיקום מעדף של פונקציות



ציור 2-3
הפניית הבניין לצרכי אוורור



3. Givoni B., 1981, p.238

4. ראה סעיף 2.5.3 אוורור.

ממבט ראשון נראה שלהפניית הבניין נודעת חשיבות רבה ביחס לאוורור הטבעי בבניין. ניסויים שנערכו בישראל סתרו הנחה זו (3), והתברר שניתן לקבל אוורור טוב של הבניין בהפניית שונות, לאו דווקא כשצלעו הארוכה ניצבת לכיוון הרוח. מבחינת האוורור, קיומם של חלונות משני צדי הבניין (כניסה/יציאה של אוויר) חשוב יותר מאשר ההפניה של הבניין עצמו. ניתן להשיג אוורור טוב על ידי הטיית חזית החלונות עד 45 מעלות מכיוון הרוח (לדוגמה: ברוח מערבית ניתן לקבל אוורור טוב בחלונות כניסה הפונים מצפון מערב ועד דרום מערב). ניתן גם להגביר את האוורור הטבעי בבניין על ידי הצמדת מדפי קירות ליד החלונות, אשר יוצרים לחץ יתר ליד החלון וגורמים לזרימת אוויר בתוך הבניין (4).

המלצה: יש לקבוע תצורה והפניה של בניין בנגב קודם כל ביחס לכיווני רוחות. רגישות הבניין לסטיות בתחום האוורור גדולה יותר מאשר הננייתו ביחס לשמש, בתנאי שהבניין מבודד היטב ומתחיו העיקריים פונים לדרום. הפניית פתחים תהיה יעילה לאוורור בתחום ± 45 מעלות מכיוון הרוח. ניתן להגביר את האוורור על ידי תוספת מדפים בסמוך לחלון. מיקום החללים בבניין ייעשה לפי דרישות הנוחות בכל חלל במשך שעות היממה: מטבחים, חדרי שינויים, חדרי אחסון ומעברים ימוקמו בחלקו הצפוני של הבניין, חדרי שינה ימוקמו בחלק הדרום-מזרחי וחדרי מגורים יופנו לדרום.

ד. האלמנט המסיבי של הגג הופך לחלק מהמסה האוגרת אנרגיה של הבניין ומקטין את משרעת תנודות הטמפרטורה היומיות בתוך המבנה.

חסרונות: א. הנגישות לצורכי תיקון ואחזקה אל שכבת האיטום נגד מים מסובכת ומסורבלת בהשוואה לגג מסיבי רגיל, וכרוכה בפירוק חלקים משכבות הכיסוי והבידוד. ניתן להכטין את ההסתברות לתקלה זו בביצוע קפדני של שכבת האיטום בעת בניית הגג ובבדיקת הגג על ידי הצפה ממושכת לפני כיסויי בשכבת הבידוד.

ב. חיבור מתקנים שונים והצבתם על הגג (דודי שמש, מזגנים, אנטנות וכו') מסובכים מהרגיל.

2.2.2 גג מוצל

גג מוצל הוא גג הבנוי מחומר או מהרכב חומרים אשר להם התנגדות תרמית או קיבול תרמי משמעותי והוא מוצל. לדוגמה: גג בטון מזוין מבודד מצדו העליון שמעליו גג רעפים או גג אסבסט (טכנולוגיה זו מקובלת היום בעיקר בקרב חברות הבנייה המתועשת), או גג בטון מזוין שמעליו מתוח קרום עשוי אסבסט, פח גלי, עץ, בד וכד'. ניתן לחלק גגות אלה לשני סוגים עיקריים: אלה המאפשרים זרימת אוויר חופשית בין הגג לבין האלמנט המצל ואלה הסגורים המאפשרים זרימה מוגבלת או אינם מאפשרים זרימה בכלל.

יתרונות: האפקט העיקרי של הצללת הגג הוא צמצום התרומה של קרינת השמש להתחממותו. לצורך זה די למתוח מעל הגג קרום דק העשוי מאסבסט גלי, פח גלי, בד, עץ או אפילו צמחייה, ואין צורך לבנות גגות רעפים. פתרון כזה מצא האדריכל מיכאל קון בפרוייקט המגורים לעובדי מפעלי ים המלח אשר נבנה בשנת 1940 בערך, שם הוצלה התקרה על ידי קרום אסבסט גלי. במבנים אלה ייתכן ששיפוע הגג עזר גם להאצת מהירות תנועת האוויר בין קרום האסבסט לבין הגג המסיבי בשל היווצרות יניקה בצדו האחד של הגג. זרימת אוויר חופשית בין הגג לבין האלמנט המצל מבטיחה אי-לכידת אוויר חם בין שתי השכבות.

חסרונות: האפקט של גג משופע סגור לחילופי אוויר הוא שטמפרטורת האוויר מתחת לגג הסגור גבוהה בצורה משמעותית מטמפרטורת האוויר החיצוני. אם הגג אטום היטב ואין החלפת אוויר מתחתיו, הטמפרטורה בתוך חלל הגג עלולה להתקרב לטמפרטורת המשטח החיצוני של הגג. שיפור בביצועים התרמיים בבניין אשר לו גג כזה יושג על ידי אזורור הגג תוך כדי שימוש בפתחים מיוחדים או במאווררים. היעילות במניעת התחממות התקרה שמתחת תגדל, ככל שכיסוי הגג (ההצללה) יהיה בחיר, אטום פחות ובעל מוליכות תרמית נמוכה יותר.



ציור 2-5
מעונות עובדים במפעלי ים המלח
אדריכלים: קאופמן וקרקואר, בערך 1940.
על פי Kuhn M., 1979, p.91

2.2 חגג

חגג הוא המרכיב החשוב ביותר במעטפת הבניין הן מבחינה תרמית (פליטת חום בחורף בקרינה, הולכה והסעה, וקליטת קרינה בקיץ) והן מבחינת האחזקה והטיפול. בישראל חגגות הנמוצים הם חגגות שטוחים וחגגות משופעים. מהבחינה התרמית עדיפים חגגות שטוחים צבועים בלבן בוחק על פני חגגות אחרים. בין חגגות השטוחים מומלץ 'חגג החפוף' העונה על רוב הבעיות המתעוררות בבנייה באזורים מדבריים, ובין חגגות המשופעים מועדף חגג המוצל על פני אחרים.

בישראל נהוגים כמה סוגי חגג אופייניים, אשר בהם משתמשים ברוב המבנים בארץ. להלן ניתוח סוגי חגג האלה מהבחינות האנרגטיות, האקלימיות והטכניות, לפי סדר עדיפות יורד:

2.2.1 חגג חפוף

זהו חגג מסיבי רגיל הבנוי באחת השיטות הקונסטרוקטיביות (לוח בטון מסיבי או מצולע עם חומר שיפועים ואיטום על משטחו העליון. השיטות מתוארות בסעיף 2.2.3), אך נבדל בדרך שבה הוא מבודד ואטום. חגג נאטם בחומר איטום מכובל, ומעל שכבת האיטום מניחים שכבת בידוד תרמי בעובי הנדרש שהיא כלתי סופגת מים ובלתי זליקה, ומחורצת בתחתיתה כדי לאפשר מעבר מי ניקוז (בדרך כלל סוג מסוים של פוליסטרן מותפח - 'קל-קר'). מעל שכבת הבידוד מניחים חצץ או מרצפות בטון להגנה על הבידוד והחזקתו במקומו. טכניקת בנייה זו רווחת זה עשר שנים ויותר בארצות הברית ובאירופה, ויש באפשרותה להתאים מאוד לבנייה באזורים מדבריים משום שהיא עונה על רוב הבעיות שנמנו לעיל בנוגע לחגג השטוח.

יתרונות:

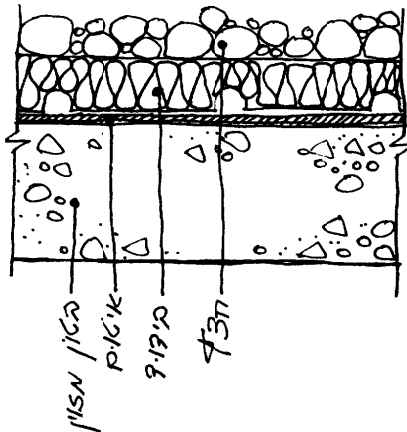
א. מסת חגג אינה מתחממת ואינה מתקררת משמעותית בשל שכבת הבידוד העוטפת אותה מבחוץ. בשל שכבת הבידוד הופכת לשולית גם שאלת צבע הגמר של המשטח העליון של חגג (החצץ או מרצפות הבטון או כל חומר אחר), כך שתהליך ההתיישנות של חגג אינו גורע מתפקידו.

ב. שכבת האיטום נגד חדירת מים נמצאת מתחת לחומר הבידוד ואינה חשופה לתנאי האקלים והבליה החיצוניים. היא מוגנת מהבחינות התרמית והמכנית וחייה מתארכים.

ג. מכיוון שטמפרטורת חגג אינה משתנה קיצונית בין היום לבין הלילה, נפתרת מאליה בעיית הסדיקה הקשורה ב'עבודת' חגג מהסיבות התרמיות.

ציור 2-4

חתך אופייני של חגג חפוף מבטון מזוין



2.2.3 גג שטוח מסיבי

זהו הגג האופייני והמקובל ביותר ברוב המבנים בישראל. הוא עשוי בדרך כלל מלוח בטון מסיבי או מלוח בטון מצולע הממולא בבלוקי איטונג או בתבניות פוליסטירן מותפח או תבניות קלות אחרות, המאפשרות להקטין את המשקל העצמי של הגג במידה רבה. על המשטח העליון של הגג יצוק בדרך כלל חומר שיפועים, כגון בטון קל, ומעליו שכבת איטום אספלטית או אחרת, הצבועה בצבע לבן מחזיר קרינה.

יתרונות: א. טכנולוגיה ידועה ומוכרת בתכנון ובביצוע, שתוצאותיה בדרך כלל תן גג עשוי בצורה טכנית משביעת רצון.

ב. גג בעל כושר התיישנות טוב עמיד לאורך שנים. בעיות ההתיישנות נוצרות בדרך כלל רק בשכבת האיטום של הגג.

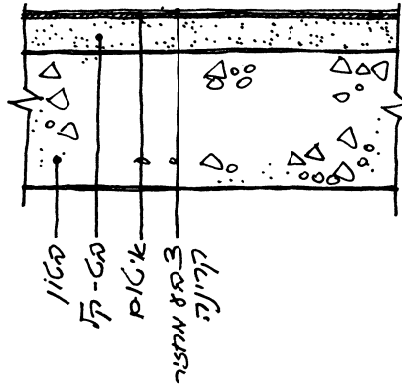
חסרונות: לגג כמה חסרונות הנובעים מהשילוב בין אופי האקלים והמקום לבין טכנולוגיית הבנייה.

א. שכבת הכיסוי הלבנה מאבדת תוך זמן קצר את כושר ההחזרה, ומתחילה לספוג יותר ויותר קרינה. בתוך זמן קצר יורד מקדם ההחזרה של הציפוי מערך של 0.75 בקירוב לערך של 0.30 או פחות. שינוי מקדם ההחזרה נובע מהשתנות הצבע בשל הזדקנות, לכלוך וכיסוי אבק וחול. בעקבות השינוי במקדם ההחזרה משתנות מאוד הטמפרטורות על פני משטחי לוח הגג, הן העליון והן התחתון. באמצע הקיץ תעלה טמפרטורת המשטח העליון של גג לבן חדש ב-10 מעלות צלסיוס בקירוב מעל טמפרטורת האוויר, בשל ספיגת קרינת השמש. לעומת זאת תעלה טמפרטורת המשטח העליון של גג שאינו לבן בזהק (מכוסה בחול ואבק) ב-40 מעלות צלסיוס בקירוב מעל טמפרטורת האוויר בסביבה.

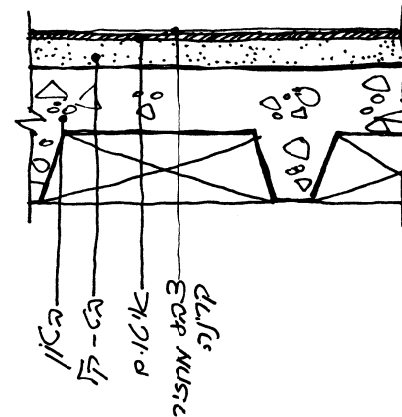
ב. כאמור, טמפרטורת המשטח העליון של הגג עולה מאוד עקב חשיפת הגג לקרינת השמש (5) (טמפרטורת המשטח העליון יכולה להגיע במשך היום בקלות ל-70 עד 80 מעלות צלסיוס ולעתים אף ליותר). טמפרטורה גבוהה זו גורמת להמסתם ולהריסתם של רוב חומרי האיטום נגד מים המקובלים בישראל, וכך נוצר מפגע של חדירת מים לתוך המבנה בתקופת החורף, כאשר הגג מוצף. הרס שכבת הבידוד הוא תהליך המאיץ את עצמו: מים החדרים בין שכבת הבידוד לבין השכבה הנושאת של הגג מתחממים ומתאדים עכב התחממות הגג, נפחם גדל בהרבה ואז גדל המרחק בין שכבת הבידוד לשכבה הנושאת.

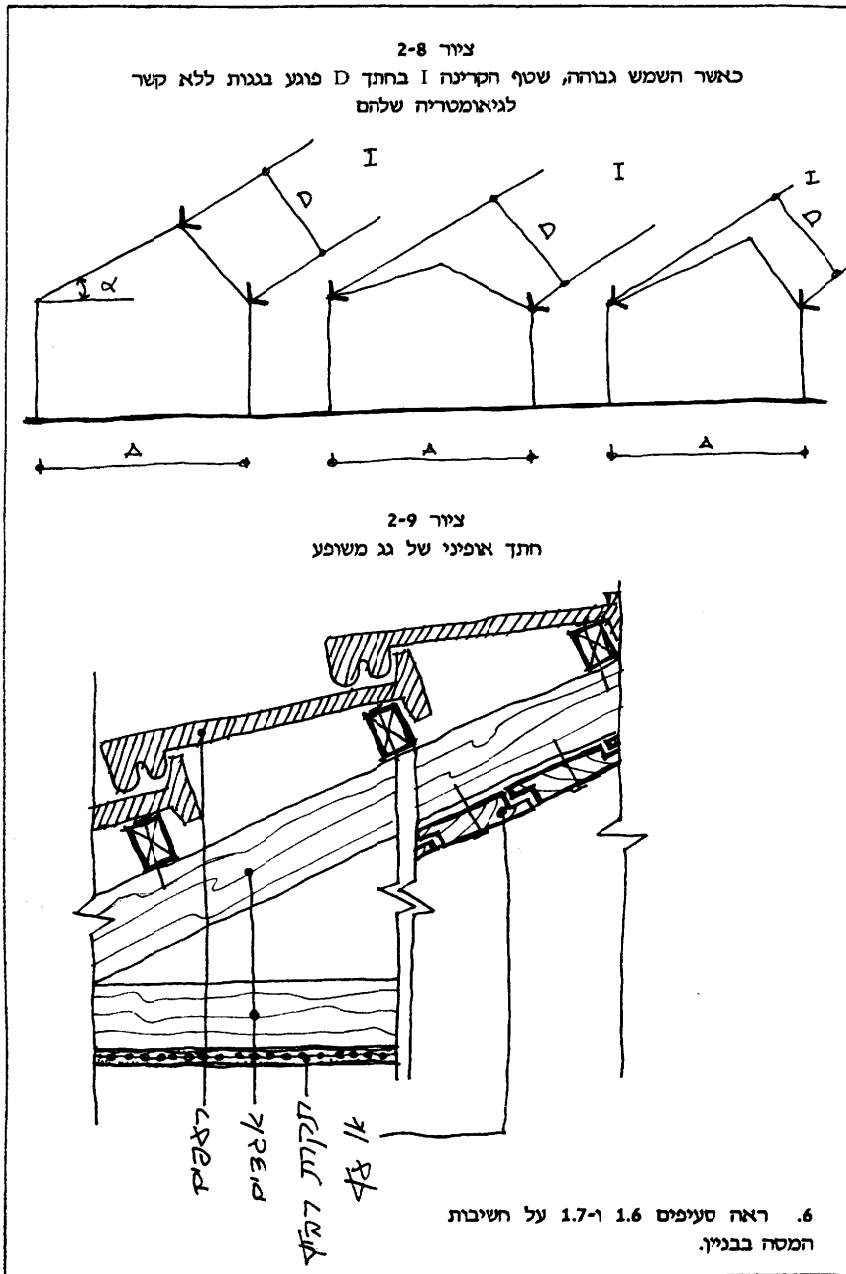
5. ראה סעיף 2.1 לחיוב טמפרטורת משטחים חשופים לשמש.

ציור 2-6
גג בטון מלא



ציור 2-7
גג בטון מצולע





ג. גג הבניין מתקדר במשך הלילה במידה רבה, בשל ירידת טמפרטורת האוויר שמסביבו ובשל קרינה ארוכת גל ממנו לעבר השמים. באזורים צחיחים שכחים הפרשים בטמפרטורה היומית, הנעים בין 50-70 מעלות צלסיוס על פני השכבה העליונה של הגג הפרשים גדולים אלה בטמפרטורה עלולים לגרום למאמצים תרמויים חזקים ולסידוק המבנה, בייחוד באזורי החיבורים בין הגג לבין הקירות. ברבים מבנייני הנגב יש סדקים הנמשכים לכל היקפם של חדרים בקומות העליונות.

ד. אם הגג מבודד, הבידוד נמצא בחלקו התחתון. מיקום זה של הבידוד גורם לנטרול המסה הגדולה של הגג כמסה אוגרת אנרגיה (6). זהו חיסרון הפוגע בתפקודם האנרגטי של מבנים.

2.2.4 גג משופע

גג משופע הוא גג הבנוי ממשטחים נטויים, ואשר בינו לבין חלל הבניין אין הנרדה בעלת תכונות תרמויות משמעותיות (למשל גג משופע עם תקרת רביץ אשר אין לה כמעט התנגדות או כושר אגירה תרמית).

הגגות המשופעים ייבחנו כאן מבחינת הגיאומטריה שלהם ומבחינת החומרים שמהם הם עשויים:

גיאומטריה:

קרינה: כאשר השמש גבוהה, גיאומטריית הגג אינה משפיעה משמעותית על רמת הקרינה הפוגעת בו (זהו כמובן המקרה הקשה, בצהרי הקיץ). יש הבדלים קטנים בכמות הקרינה הנבלעת בגגות בעלי גיאומטריות שונות. הבדלים אלה נובעים מהשוני בזווית הפגיעה של קרינת השמש הישירה במשטחי הגג: משטחים הנמצאים בזווית קרובה לישרה עם קרני השמש יספגו יותר קרינת שמש מאלה הנמצאים בזווית שטוחה יותר עם קרני השמש. הבדלים קטנים יהיו גם ביחס שבין ספיגת הקרינה המפוזרת והמוחזרת. לצרכים מעשיים הבדלים אלה הם זניחים.

כאשר השמש נמוכה (בזווית נמוכה מזווית שיפוע הגג) והגג הוא בעל שיפועים גבוהים, עלול לגדול החתך שבו פוגע שטף קרינת השמש בגג והוא יספוג יותר אנרגיה מאשר גג שטוח. במקרה כזה תהיה גם זווית פגיעת קרני השמש בגג קרובה יותר לניצבת, מה שגורם גם כן להגברת כמות הקרינה הנספגת בו.

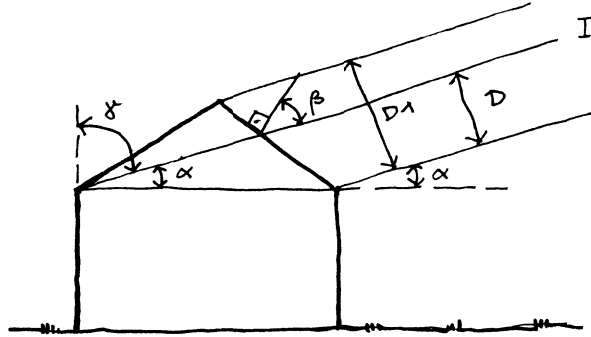
הולכה/הסעה: מכיוון שלפי ההגדרה כאן אין המחיצה בין החלל העיקרי של הבניין לבין 'עליית הגג' מבודדת היטב, יגדל השטח האפקטיבי לחולפת חום בין הגג לבין החוץ. בחורף יהיה שטח גדול יותר שדרכו יאבד חום, ובקיץ יהיה שטח גדול יותר שדרכו יכנס חום אל תוך הבניין.

ציור 2-10

שמש בשטף I בזווית נמוכה פוגעת בגג שטוח בחתך D ובזווית α , ופוגעת בגג משופע בחתך D1 ובזווית β

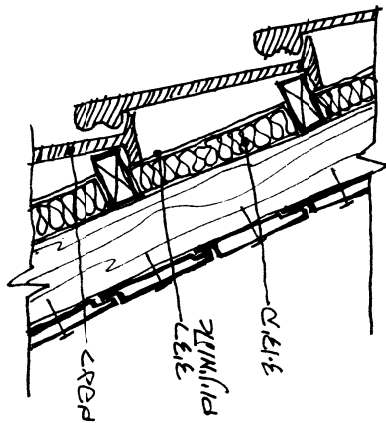
- קיים: 1. $D1 > D$
2. $\gamma > \beta$

וסך כל הקרינה הפוגע בגג המשופע גדול יותר.



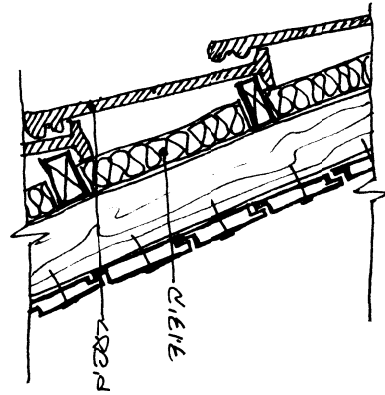
ציור 2-12

גג משופע עם רדיד אלומיניום



ציור 2-11

גג רעפים מבודד



חומרים:

גגות משופעים עשויים בדרך כלל מחומרים כהים, בעלי מוליכות חום בלתי זניחה ומעט מאוד קיבול תרמי (רעפי חרס, רעפי בטון, אסבסט אפור או אדום וכד'). חומרים אלה סופגים את רוב קרינת השמש הפוגעת בהם, והטמפרטורה שלהם עולה בהרבה מעל לטמפרטורת האוויר. חלק מהחום הנוצר מוקרן מהגג החוצה, והחלק הנותר מעלה את טמפרטורת החלק התחתון של הגג ובעקיפין את טמפרטורת החלל שמתחתיו. במקרה של גג 'קל' יחסית, העלייה של הטמפרטורה היא משמעותית. בשל חוסר הקיבול התרמי של מכלול הגג, אין לו כל משמעות מבחינת פיגור הזמן של גל החום, התוקף את פנים הבניין בשעות הקשות ביותר.

יתרונות:

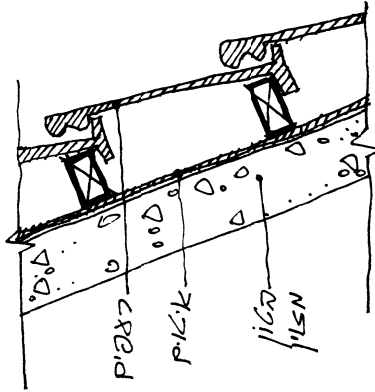
ניתן לומר שמבחינה אקלימית וארגטית אין יתרונות לגג משופע אלא בתנאים מיוחדים:

- גג משופע, מבודד היטב ובעל פתחי אוורור (חלונות, מפוחים) בחלקו הגבוה עשוי לשפר את תנאי האוורור בעונה החמה.
- גג משופע מעל חלקו הצפוני של בניין עשוי לאפשר בחורף חזירת קרינה ישירה דרך חלונות עיליים.

חסרונות:

- חומר נפוץ לכיסוי גגות משופעים הוא רעפים מסוגים שונים (חימר, בטון). גון הרעפים הכהה גורם להתחממות מהירה של הגג. אופן הנחתם של הרעפים משאיר רווחים ביניהם. רווחים אלה מאפשרים חזירת אוויר בין הגג לבין התקרה, ובכך גדלים עומסי החימום והקירור של הבניין.
- העדר בידוד מתאים והמסה התרמית הקטנה של הגג המשופע המקובל גורמים השתנות מהירה של טמפרטורת הפנים במקביל לטמפרטורת החוץ.

ציור 2-13
גג משופע מסיבי - לא מומלץ



2.2.5 גג משופע מסיבי

גג שמקובל לאחרונה בבנייה בארץ הוא הגג המשופע המסיבי שבדרך כלל מכוסה רעפים למטרות דקורטיביות בלבד. זהו גג שמאחד בתוכו כמעט את כל המגרעות התרמיות האפשריות ומאזן בלתי מומלץ באזורי הנגב.

יתרונות: בתוספת בידוד בצדו העליון של גג הבטון ניתן עקרונית להפכו לגג הפוך (ראה דיון על הגג ההפוך בתת-פרק 2.2.1).

חסרונות: לרוב גג זה מורכב מפלטת בטון מסיבית קונסטרוקטיבית, לא מבודדת, מכוסה ברעפים. גונם הכחה של הרעפים גורם בקיץ להתחממות מהירה של מסת הבטון. האנרגיה האגורה במסת הבטון מועברת כחום אל תוך הבניין. בחורף גורם העדר הבידוד לאיבוד רב של אנרגיה דרך משטח הגג.

טבלה 1-2: תשוואה מסכמת והערכה של טיפוסי גנות

סוג הגג	יתרונות	חסרונות
גג הפוך	<ul style="list-style-type: none"> - בידוד במקום המאפשר ניצול המסה התרמית - אין צורך בחידוש שכבת הגימור - שכבת האיטום מוגנת - אין בעיות סדקים 	<ul style="list-style-type: none"> - נגישות לא נוחה לשכבת האיטום - הצבת מתקנים על הגג קשה ומסובכת
גג מתצל	<ul style="list-style-type: none"> - הורדת התרומה של קרינת השמש להתחממות הגג 	<ul style="list-style-type: none"> - כאשר הגג סגור לחילופי אוויר טמפרטורת האוויר תחתיו גבוהה בצורה משמעותית מטמפרטורת האוויר החיצוני.
גג שטוח מסיבי (לוח בטון מסיבי או מצולע)	<ul style="list-style-type: none"> - טכנולוגיה ידועה - ביצוע משביע רצון - קיים ארוך 	<ul style="list-style-type: none"> - דרישה לאחזקה שוטפת (סיד, איטום) - סדקים בין הגג לקירות בגלל מאמצים תרמיים - מיקום לא יעיל של הבידוד ביחס למסה התרמית
גג משופע	<ul style="list-style-type: none"> - כאשר הוא מבודד היטב ויש פתוח אוויר בחלקו הגבוה הוא עשוי לשפר את תנאי האוורור - שילוב מעל חלקו הצפוני של הבניין מאפשר בחורף חדירת קרינה ישירה דרך חלונות עיליים 	<ul style="list-style-type: none"> - גון הרעפים הכהה גורם להתחממות מהירה של הגג - הרווחים שבין הרעפים גורמים לאיבוד אנרגיה מהיר - העדר מסה תרמית
גג משופע מסיבי	<ul style="list-style-type: none"> - תוספת בידוד בצדו החיצוני של הבטון הופכת למעשה את הגג לגג הפוך! 	<ul style="list-style-type: none"> - בקיץ גורם הגון הכהה של הרעפים להתחממות מהירה של מסת הבטון. - האנרגיה האגורה במסת הבטון מעברת כחום אל תוך הבניין. - בחורף, גורם העדר הבידוד לאיבוד רב של אנרגיה.

2.3 קירות

קירות מעטפת בניינים באזורים מדבריים חייבים להיות בעלי כושר בידוד מתאים לאזור הבנייה ובעלי מסת אגירה תרמית שתאפשר ניצול אמצעים טבעיים, כגון שמש ואורור, לשיפור התנאים התרמיים בבניין תוך השקעת כמויות קטנות ככל האפשר של אנרגיה. הבידוד והקיבול התרמי מאפשרים את הקטנת משרעת תנודות הטמפרטורה בתוך הבניין לעומת משרעת תנודות הטמפרטורה מחוצה לו וכן יצירת פיגור זמן בין שינוי טמפרטורה מחוץ למבנה לבין השפעתם בתוך המבנה.

באזורים מדבריים על קירות הבניין לענות על שתי דרישות אנרגטיות עיקריות: א. בידוד, ב. קיבול חום וכושר אגירה תרמי (7).

2.3.1 בידוד

ההפרשים הגדולים שבין טמפרטורת הפנים הרצויה לבין טמפרטורת החוץ גורמים למעבר כמויות גדולות של אנרגיה מהפנים אל החוץ ולהפך, וגורמים להתחממות החלל הפנימי או להתקררותו. ארגיית חימום או קירור חייבת להיות מושקעת במערכת לצורך החזרת הטמפרטורה הפנימית לתחום הרצוי.

יעילות הבידוד נקבעת על פי כמות החומר המבודד ותכונותיו ועל פי מיקומו במעטפת הבניין.

א. כמות הבידוד הדרושה תלויה בהפרשי הטמפרטורה הנמדדים בתוך המבנה (כלומר תנאי הנחות המבוקשים) ומחוץ לו, ובשיעורי האנרגיה שיש נכונות להשקיע בבניין על מנת לקיים בו תנאי נוחות כמבוקש.

אפקט הבידוד אינו ליניארי: התועלת המושגת מהגדלה ברמת הבידוד הופכת לשולית יותר ויותר עם הגדלת עוביו. אפקט הבידוד תלוי במידה רבה בקיבול החום של הקיר ובצבעו החיצוני. בתנאי חוץ חמים יותר מתנאי הפנים (בעיקר בקיץ), ככל שהגוון החיצוני של הקיר בהיר יותר וככל שקיבול החום שלו גדול יותר יהיה אפקט הוספת הבידוד קטן יותר. הבידוד היעיל ביותר יהיה במקרה של קיר בעל קיבול חום נמוך ובעל גוון חיצוני כהה, אולם מובן שקיר שכזה אינו מומלץ.

בישראל יש תקינה (8) הדורשת מידה מינימלית של בידוד מבנים. דרישות התקן מבוססות על אפיונים אקלימיים של ארבעה אזורים אקלים בשטח המדינה, והן מהוות מינימום חוקי נדרש (9).

ב. מיקום הבידוד: מיקומו של הבידוד בחתך הקיר משפיע על כושר הבידוד של הקיר. הוספת שכבת בידוד בצדו החיצוני של הקיר תבטיח יעילות תרמית

7. ראה סעיפים 1.6 ו-1.7 בנושאים אלה.

8. תקן ישראלי 1045

9. דיון נרחב בנושא האזורים האקלימיים בנגב ראה סעיף 1.2.

10. בניסויים שנערכו בתחנה לחקר הבנייה בחיפה: פנלים של 5 סמ' בטון אפור בודדו מבפנים ומבחוץ בידי לוחות של 5 ס"מ פוליסטירן.

11. ראה סעיף 2.3.2 קיבול החום.

גבוהה יותר. יעילות זו תתבטא בהקטנת האפקט של קרינת השמש הפוגעת בקיר ובצמצום הפער בין טמפרטורת האוויר החיצוני לבין הטמפרטורה בפנים המבנה. כשהבידוד בחוץ גם תושגנה בתוך המבנה טמפרטורות מקסימום נמוכות יותר וטמפרטורות מינימום גבוהות יותר (10).

למיקום הבידוד בצד הפנימי ולא החיצוני של הקירות אפקט שלילי: הורדת כושר ספיגת החום של הקירות והורדת קיבול החום שלהם. הורדת קיבול החום תגרום לתנודות טמפרטורה גדולות בתוך הבניין: בשל חום שנוצר בתוך הבניין, או שמוכנס אליו על ידי חדירת אוויר או קרינת שמש דרך החלונות, הטמפרטורה שלו עולה במהירות. עם חדירת מעט אוויר קר לבניין ואיבוד אנרגיה דרך המעטפת, יתקרר הבניין במהירות. בשל כך יגדל מאוד שיעור תנודת הטמפרטורה היומית (מקסימום-מינימום) (11) גם בחורף וגם בקיץ.

יש מקרים מיוחדים מאוד שבהם רצוי בכל זאת לשים את הבידוד בצד הפנימי של קירות מעטפת הבניין. כך במקומות שבהם משתמשים בקירור או בחימום אקטיביים ממקורות חום חיצוניים ואשר בהם רוצים זמן תגובה קצר לפעולת החימום או הקירור. דוגמה: אולמות ציבוריים ממוזגים שהשימוש בהם מזדמן יצרכו פעולת קירור ארוכה מאוד אם יהיה להם קיבול חום גדול מאוד, ואנרגיה רבה תלך לאיבוד ב'הכנת' האולם לשימוש.

צבע המשטח החיצוני של הקיר הוא משתנה שיש לו השפעה רבה על מעבר החום דרך הקיר. הדיונים בספרות המקצועית המראים שכמות החום העוברת דרך אלמנט מעטפת הבניין היא יחסית להפרש הטמפרטורה בין אוויר החוץ לבין אוויר הפנים אינם מדויקים. הכוח המניע את מעבר החום דרך הקיר הוא הפרש הטמפרטורה שבין שני משטחי - הפנימי והחיצוני. בעוד שניתן להניח שטמפרטורת המשטח הפנימי של קיר מעטפת קרובה מאוד לטמפרטורת האוויר הפנימית, הרי שטמפרטורת המשטח החיצוני עלולה להיות גבוהה בהרבה מטמפרטורת האוויר החיצוני, וההפרש בין שני האחרונים תלוי בעיקר בצבע הקיר (כלומר במקדם הבליעה של המשטח החיצוני של הקיר).

מבדיקה של אפקט הצבע על טמפרטורת המשטח החיצוני של הקיר אכן מתברר שצבעו של הקיר ישנה במידה רבה את שטף האנרגיה דרכו.

המלצה: ברוב המקרים מומלץ למקם את הבידוד בצדו החיצוני של הקיר. במקרים מיוחדים, כגון אולמות ממוזגים, אשר מתפקדים בפרקי זמן קצרים יחסית תחת עומסים פנימיים גדולים (מספר רב של משתמשים) ואשר נעשה בהם שימוש באמצעים אקטיביים למיזוג אוויר, רצוי למקם את הבידוד בצד הפנימי של הקיר. בידוד פנימי מנטרל את מסת הבניין ומאפשר מיזוג מסת האוויר תוך זמן קצר.

טבלה 2-2: הורדה בטמפרטורת מקסימום (במעלות צלסיוס) של הצד הפנימי של הקיר בעקבות עובי הבידוד (בסנטימטרים) ומיקומו

מיקום	עובי בידוד	עובי בידוד	עובי בידוד
	0	0.5	5.0
פנימי	0	-3.2	-13.3
חיצוני	0	-7.5	-15.5

דוגמה לחישוב הטמפרטורה של המשטח החיצוני של קיר בניין כאשר שטף הקרינה הוא 1000 וואט למ"ר טמפרטורת האוויר החיצונית 32 מעלות צלסיוס (לפי ביטוי [1.8-A] בפרק 1.8)

א. קיר לבן: $\alpha = 0.1$ $T_s = 1000 * 0.1/20 = 5 \text{ DEG.C}$

קרינת השמש תעלה את טמפרטורת המשטח החיצוני ב-5 מעלות צלסיוס בקירוב, והוא יגיע לטמפרטורה של 37 מעלות צלסיוס.

ב. קיר אפור: $\alpha = 0.6$ $T_s = 1000 * 0.6 / 20 = 30 \text{ [DEG.C]}$

טמפרטורת המשטח החיצוני של הקיר תגיע ל 62 מעלות צלסיוס.

חישוב שטף האנרגיה דרך מטר מרובע קיר לבן וקיר אפור בעובי 20 סמ' בתנאי הדוגמה הקודמת ובטמפרטורת אוויר פנימית של 18 מעלות צלסיוס:

$$Q = U * A (T_{in} - T_o^u)$$

קיר לבן: $Q = 10.5 * 1(18 - 37) = 199.5 \text{ WATT}$

קיר אפור: $Q = 10.5 * 1(18 - 62) = 462 \text{ WATT}$

ומטאן חשיבותו הרבה של צבע הקיר.

בהגדלת בידוד הקירות יקטן באופן יחסי שטף החום שיעבור דרך שני הקירות, אך היחס בין מעבר האנרגיה בהם יישמר.

2.3.2 קיבול החום

קיבול החום של מעטפת הבניין משפיע על אלה:

א. גודל המשרעת (התנודה בין המינימום למקסימום) של תנודות הטמפרטורה היומיות בתוך המבנה בשל שינוי טמפרטורה וקרינה חיצונית. עם עליית קיבול החום של המעטפת והקטנת המוליכות התרמית שלה משרעת הטמפרטורה תקטן ופיגור הזמן בין טמפרטורת החוץ לבין טמפרטורת הפנים יגדל.

ב. הקטנת ההשפעה של החום הנוצר בתוך הבניין (ממכשירים יוצרי חום, אנשים, קרינת שמש, חדירת אוויר חם וכו'). כשקיבול החום הוא גבוה, כמו למשל במקרה של מעטפת בטון, מעטפת הבניין יכולה לספוג חום מהאוויר במהירות תוך הקטנת השינוי בטמפרטורת האוויר שבחדר. כאשר קיבול החום קטן, כמו למשל במקרה של חומר בידוד, כל יצירת חום פנימי בתוך המבנה תגרום לעלייה מהירה וגדולה של טמפרטורת האוויר שבו. לעומת זאת כל איבוד חום מהבניין יגרום לירידת הטמפרטורה בתוכו בצורה מהירה.

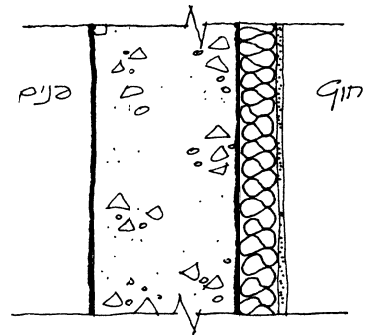
האפקט הכמותי של קירות מסיביים על הביצועים של בתים סולאריים מסיביים נחקר לאחרונה במכון לחקר המדבר (12). החוקרים הגיעו למסקנה שעובי אפקטיבי של קיר בטון בן 7-10 ס"מ סיפק את כל דרישות האגירה והקטנת משרעת הטמפרטורה בבניין המודמה שאותו הם חקרו. המסקנה המעשית היא שקיר בן 10 ס"מ או לחילופין קיר בלוקי בטון חלולים בעובי 20 ס"מ, השווה לו בערך במשקלו, יספיק לצורכי האגירה.

אפיון נוסף של אלמנט המעטפת (קירות, גגות) הנובע מתכונות הבידוד וקיבול החום שלו הוא **קבוע הזמן התרמי**. תיאורטית מבטא מאפיין זה את הזמן הדרוש לשינוי בטמפרטורת המשטח החיצוני של האלמנט כדי להגיע אל המשטח הפנימי. מעשית מאפשר חישוב קבוע הזמן לבדוק ולהשוות בין אלמנטים כדי לדעת איזה מהם יגיב במהירות לשינוי טמפרטורה ואיזה יהיה יותר איטי. חישוב קבוע הזמן התרמי של בניין בכלל הוא תהליך מסובך הרבה יותר ואינו נדון בנפרד. מהמבדיקה הביטוי של קבוע הזמן התרמי מתברר שיש חשיבות רבה לסדר השכבות בתוך הקיר: שכבות זהות אך מסודרות בסדר שונה בתוך הקיר יתנו קבועי זמן שונים מאוד. למשל: חיבור שכבת בטון בעובי 10 ס"מ עם שכבת פוליסטירן בעובי 5 ס"מ, כאשר הפוליסטירן נמצא בצד החיצוני של הקיר, יתן לקיר קבוע זמן של 76.5 שעות, וכשהפוליסטירן נמצא בצד הפנימי של הקיר יהיה קבוע הזמן של הקיר 4.5 שעות בלבד. עוד מתברר שקבוע הזמן של הקיר נקבע במידה רבה בידי השכבה החיצונית ביותר של הקיר: כאשר השכבה החיצונית של הקיר היא פוליסטירן ייקבע קבוע הזמן של הקיר בידי הפוליסטירן, וכאשר השכבה החיצונית היא הבטון ייקבע קבוע הזמן בעיקר בידי הבטון (13).

12. לדיון מעמיק יותר בנושא קיבול החום של מעטפת הבניין ראה סעיף 1.6 **מסת הבניין**. ראה גם Feuermann D., Gordon J.M. &, Zarmi. Y., 1985

13. ראה סעיף 1.6 לדיון בנושא קבוע הזמן התרמי וכן תקן ישראלי 1045.

ציור 2-14
חתך מומלץ לקיר באזורי הנגב והערבה.
לדיון מעמיק יותר בנושא הבידוד
ראה סעיף 1.5 בידוד תרמי.



20 3-5 1
מאון יבוק
מאנה
מאנים
מאוקים מאמא
מאוקים מאמא
פולימרייתן מאוקים
פולימרייתן מאוקים
מאוקים מאמא

יש חוקרים הסבורים כי בשיטת הבנייה הכבדה המקובלת בארץ למסה של המעטפת השפעה מועטה על מהלך הטמפרטורה הפנימית של המבנה. חוקרים אלה מתבססים על מחקר שנערך בתחנה לחקר הבנייה שבטכניון (14). במהלכו של מחקר זה נבדקו מספר תאי ניסוי בעלי מרכיבי מעטפת משתנים. התוצאות שנתקבלו במקרים שנבדקו מעידות על כך שלכמות מסת המעטפת כמעט לא היתה השפעה על צריכת האנרגיה לחימום במשך החורף, הן כאשר פנים המבנה חומם באופן רציף והן כאשר הוא חומם לסירוגין. כמו כן התברר שההשפעה על הטמפרטורה של המשטח הפנימי של הקיר קטנה יחסית. כל התופעות הללו מוסברות בכך שבשיטת הבנייה הנפוצה בארץ המסה הפנימית (קורות, עמודים, מחיצות) גדולה בהרבה מזו של המעטפת, ולכן היא גם בעלת יכולת אגירה גדולה מזו של המעטפת. בגלל סיבות אלו מומלץ באותו המחקר כי בחישוב המסה התרמית של המבנה יילקח בחשבון עובי מעטפת עד 10 ס"מ - המלצה דומה לזו שהמליצו החוקרים במכון לחקר המדבר. **יחד עם זאת יש לזכור כי המדידות שעליהן התבססו המסקנות הנ"ל נעשו בחיפה שבה הטמפרטורות מתונות בהרבה מאלו שברוב אזורי הנגב.**

המלצה: תכונות הבידוד וקיבול החום הן מנוגדות מטבען בכל חומר יחיד: בידוד טוב הוא כמובן בעל קיבול חום נמוך ולהפך. קבלת קיר בעל התכונות המומלצות אפשרית רק על ידי שילוב נכון של חומרים אשר כשלעצמם הם בעלי תכונות מנוגדות, אך ביחד הם נותנים את התוצאות הרצויות. קיר מומלץ הוא קיר בטון בעובי של 20 ס"מ (הנדרשים לאו דווקא בגלל סיבות אנרגטיות!) או קיר בלוק בטון בעובי 20 ס"מ, מכוסה בשכבת בידוד טובה מצדו החיצוני. שכבת הבידוד יכולה להיות מוגנת מיסית על ידי לוחות אסבסט, טיח מיוחד וכד'. כל המוצרים הנ"ל זמינים בשוק. הבטון מספק את האגירה התרמית הדרושה; הבידוד מקטין את מעבר החום דרך הקיר. קיבול החום של המעטפת הוא בעל השכיבות עליונה במבנים קלים. השיבותו קטנה יותר במבנים מסיביים שבהם מסת המעטפת מהווה חלק קטן מהמסה הכוללת שלהם.

14. חסיד ש', וגר ד', טרה מ', 1987.

2.4 רצפות

רצפות המונחות על קרקע ללא בידוד ביניהן לבין הקרקע מבטיחות קשר תרמי טוב בין הבניין לבין האדמה. דבר זה מגביר את כושר האגירה התרמי של המבנה. מומלץ שרצפות תלויות תהיינה מבודדות ו/או מנותקות מתנועה חופשית של אוויר מתחתן.

בישראל נהוגות בדרך כלל רצפות מסיביות העשויות לוח בטון ומצופות באריחי טרצז או דומיהם המונחים על פני מצע חול וטיט. הדיון הקצר שלהלן ברצפות מתמקד ברצפות של קומות קרקע; רצפה שאינה כזו דינה כדין מחיצה פנימית לכל דבר (בתנאי שהחללים משני עבריה נמצאים פחות או יותר באותה הטמפרטורה).

קיימים שני סוגים עיקריים של רצפות קומות קרקע:

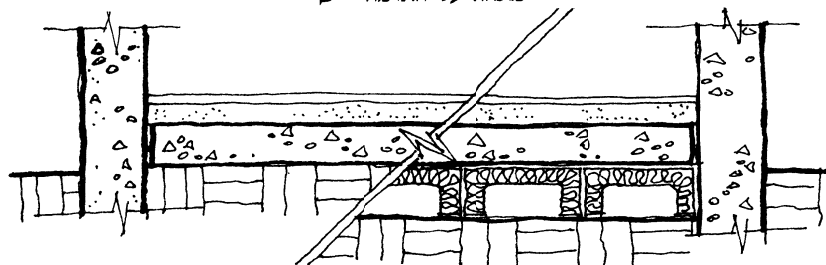
א. רצפות צפות: אלה רצפות בטון שנוצקו על פני מצע כורכר מהודק. מבחינה תרמית מתאפיינות רצפות אלה בכך שהן מצויות במגע עם הקרקע במלוא שטחן וכך מושג אפקט של מיתון בתנודות הטמפרטורה בתוך הבניין: האדמה משמשת כמסה אגרת חום בעלת קיבול חום אינסופי (באופן תיאורטי). המשמעות האנרגטית של הנחת הרצפה על הקרקע היא הגדלת הקיבול התרמי של הבניין. אזהרה: אין לשים תבניות 'אבודות' מפוליסטירן מוקצף (קל-קר) בין הרצפה לבין האדמה, משום שתבניות אלה מנתקות את הקשר התרמי בין הרצפה לבין האדמה! (ציור 2-15).

ב. רצפות תלויות: אלה הן רצפות התלויות, קונסטרוקטיבית, על סמכים (קירות, עמודים וכו') ואינן מונחות ישירות על הקרקע. ברצפות כאלה הקשר התרמי עם האדמה הוא פחות טוב מאשר ברצפות הצפות, משום שהרצפה והאדמה קשורות בקרינה והסעה בלבד (של האוויר הכלוא בין הרצפה לבין האדמה) ואין ביניהם קשר של הולכה.

ביצועיה של רצפה תלויה טובים יחסית אם אין תנועת אוויר חופשית מתחתיה (בהשוואה למקרה שבו יש תנועת אוויר שכזו). אוויר הנע מתחת לרצפה יחשוף אותה לטמפרטורת האוויר החיצוני, ואז יש כמובן צורך לבודדה היטב, רצוי מצדד התחתון. ברור שבמקרה שכזה הקשר התרמי עם האדמה אובד. הדרך המומלצת לבנות רצפה תלויה היא לחסום את תנועת האוויר מתחתיה על ידי קורות יסוד עמוקות או קירות היקפיים (ציור 2-16). במקומות שבהם אין בעיות של גשמים וניקוז אין צורך בהגבהת הרצפה מעל הקרקע או בבידודה. במקרים כאלה ניתן לנצל את הקרקע דרך המגע הישיר עם הרצפה כמאגר חום.

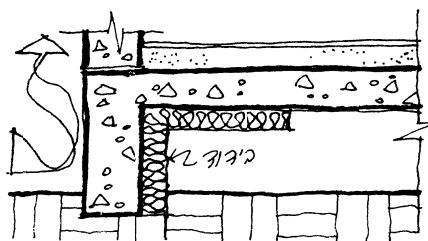
ציור 2-15

כן ולא ברצפות צפות; מימין: רצפה על תבניות מבודדות - לא; משמאל: רצפה מונחת על האדמה - כן

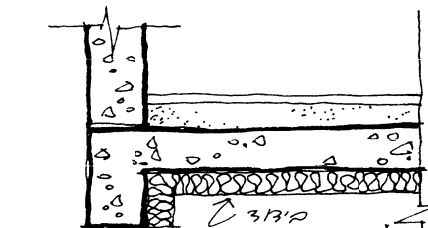


ציור 2-16

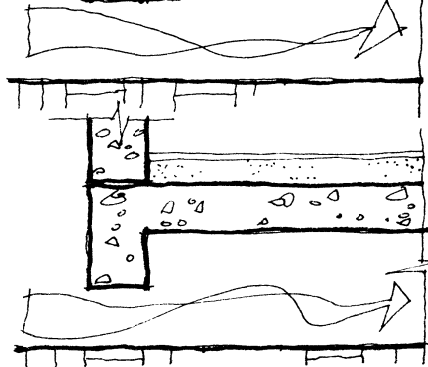
פתרונות אפשריים לרצפות תלויות



למעלה: הפתרון המומלץ - רצפה תלויה שמתחתיה אין ארימת אוויר חופשית. שים לב לפס הבידוד לאורך היקף הבניין - למניעת התקררות האוויר שמתחת לרצפה



במרכז: רצפה תלויה מבודדת שמתחתיה ארימת אוויר חופשית - פתרון מומלץ כאשר יש דרישה לניתוק הבניין מהקרקע



למטה: תקרה תלויה שמתחתיה ארימת אוויר חופשית - פתרון לא מומלץ