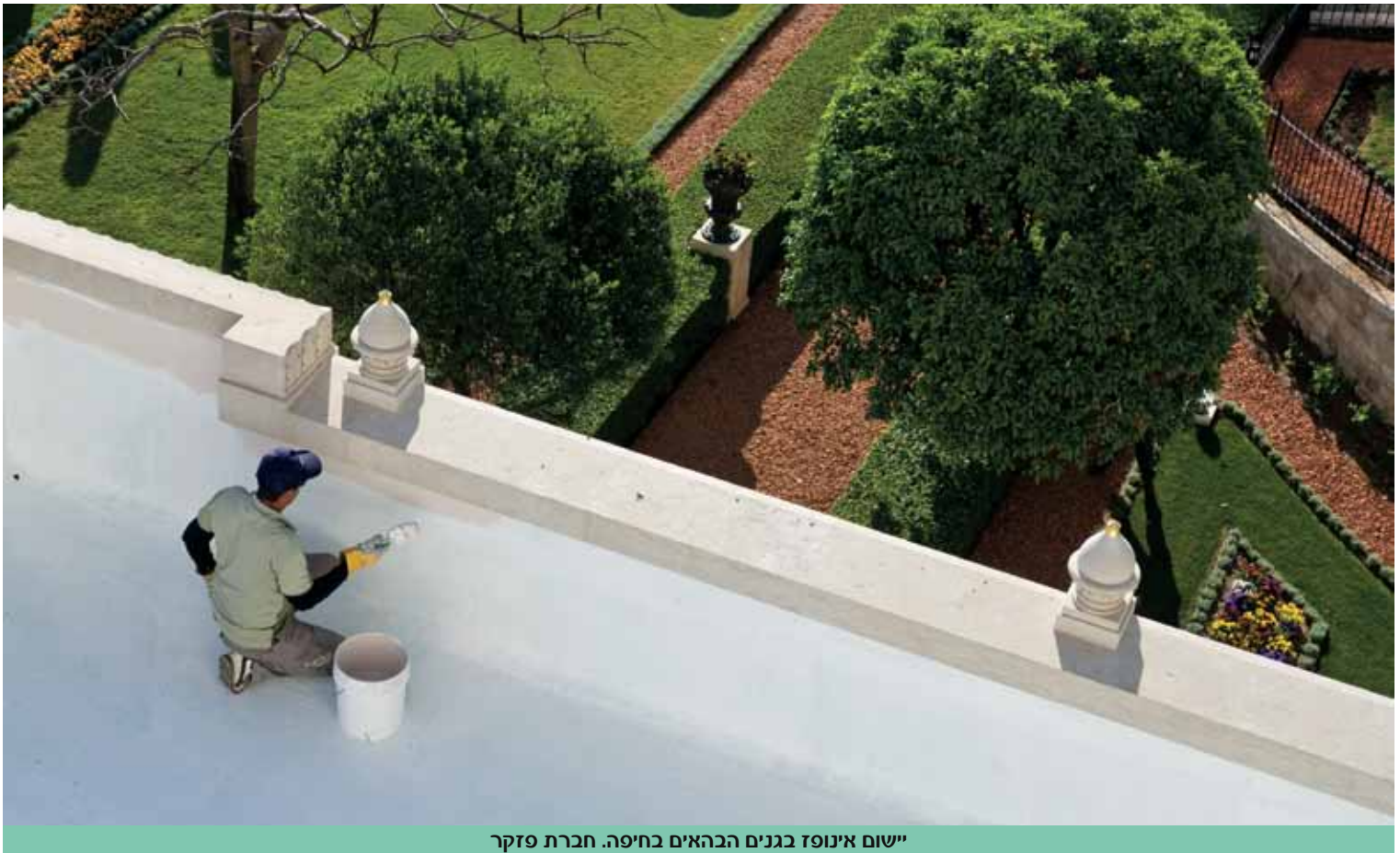


גגות צוננים (Cool Roofs)

אורי עינבל*



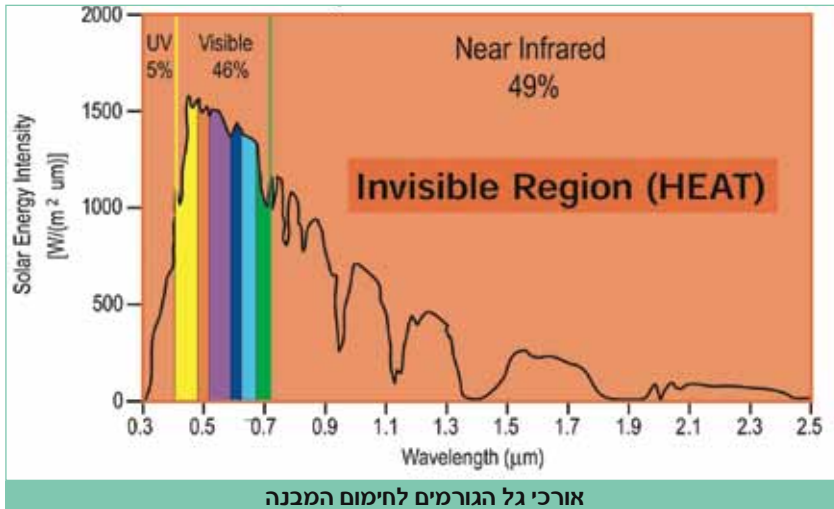
יישום אינופוז בגנים הבהאים בחיפה. חברת פזקר

מהו "גג צונן"?

- גג שפניו נשארים "צוננים" ביחס לטמפרטורת הסביבה או הטמפרטורה האופפת את הגג.
 - טמפרטורת פני הגג גבוהה במעט מהטמפרטורה האופפת או מטמפרטורת הסביבה.
- בישראל, כמו במדינות חמות כגון דרום ומרכז ארצות הברית, פלורידה, קליפורניה, אזורים רבים סביב הים התיכון ובאזורים רבים ברחבי העולם, מיזוג אוויר של מבנה מהווה במרבית המקרים מעל למחצית מעלויות צריכת האנרגיה, בהתאם לתלות בעומסי החום הפועלים על המבנה מבפנים ומבחוץ דרך מעטפת המבנה.
- מבחינת עומסי החום החיצוניים המשפיעים על המבנה, הגג הוא המרכיב החשוב ביותר במעטפת הבניין מבחינה תרמית. בישראל הגגות הנפוצים הם גגות שטוחים וגגות משופעים. מהבחינה התרמית (בהיבט של בנייה ותחזוקה), עדיפים גגות שטוחים אטומים בחומר בעל החזר סולרי על פני גגות אחרים.
- גג שטוח הינו הגג האופייני והמקובל ביותר ברוב המבנים בישראל. לפי התכנון - על המשטח העליון של הגג יצוק בדרך כלל בטון קל לשיפועים ומעליו מיושמת שכבת איטום מיריעות ביטומניות, או כפי שהיה נהוג בעבר - יישום של שכבת זפת מולבנת בסיד.

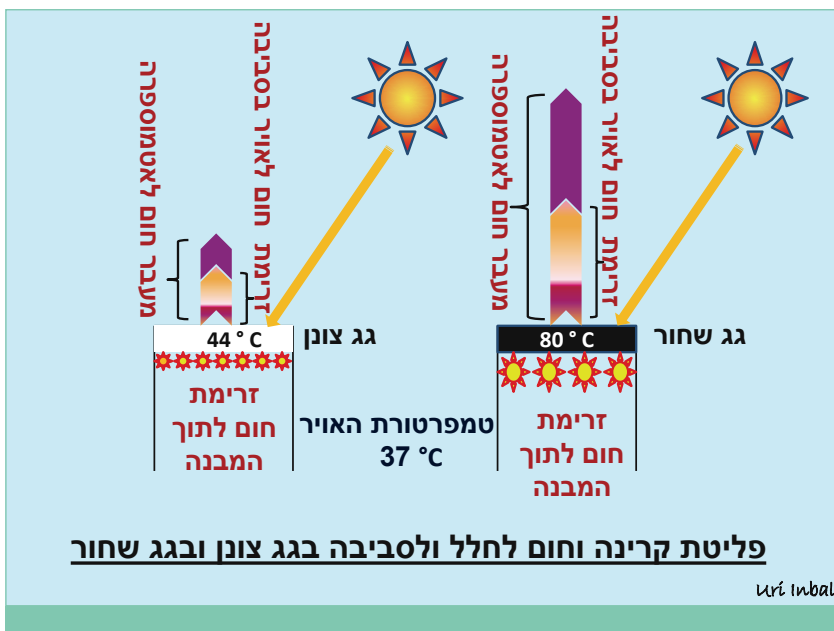
גגות בעלי החזר סולרי ובעלי החזר תרמי גבוהים נשארים צוננים בקיץ, ומקטינים משמעותית את כמות האנרגיה הנדרשת לצינון המבנה בקיץ. גגות צוננים מקטינים טמפרטורת הסביבה בשטח עירוני, מקטינים את פליטת האוזון וגזי חממה ומשפרים את איכות החיים באזור מעויר. תקינה וחקיקה מתאימים יביאו ליישום גגות כאלה בהיקף נרחב תוך חסכון באנרגיה לקירור המבנה, ואפשרות להוסיף יותר פתחי תאורה טבעית תוך חסכון בחשמל הנדרש לתאורה

* הכותב הינו מהנדס ראשי בחברת פזקר, העוסקת בפיתוח, ייצור ושיוק של מוצרי איטום ובידוד לכל מעטפת המבנה



חיפוי לבן בעל החזר סולרי גבוה, הנראה לעין הינו התחלה טובה מבחינת כמות הקרינה הנמנעת בכניסה למבנה, אך לא בהכרח החיפוי הנותן את ההחזר הגבוה יות מבחינה פיזיקלית..

על כן מדידה של רמת ההחזרה, הנקראת רפלקטיביות, צריכה להיות ביחס לכל הקרינה הנוחתת על הגג. מדידה זו נקראת רפלקטיביות סולארית, והיא נמדדת ביחס לכל השטח המסומן באדום בגרף לעיל (SOLAR RADIATION SPECTRUM), כשהערכים שבה היא נמדדת הם בין 0 ל-1.0. לרפלקטיביות מושלמת, כלומר החזרת כל הקרינה הנוחתת ניתן הערך 1.0 וספיגה מושלמת של כל הקרינה - 0.0. בפועל, אין כל חומר שמגיע ל-1 או 0 לחלוטין, אך מציאת חומרים שהרפלקטיביות שלהם היא מעל 0.75 הינה חובה בחומר הנחשב לבעל רפלקטיביות גבוהה. לשם השוואה, לכביש אספלט סולו חדש יש רפלקטיביות של 0.05 ולגגות בטון רפלקטיביות של כ-0.20.



באמצע הקיץ תעלה טמפרטורת המשטח העליון של גג לבן המצופה בציפוי בעל החזר סולרי גבוה ב-10-15 מעלות צלסיוס בקירוב מעל טמפרטורת הסביבה, בשל ספיגת קרינת השמש. לעומת זאת טמפרטורת המשטח העליון של גג בעל החזר סולרי נמוך, תעלה ב-40 מעלות צלסיוס ואף יותר מעל טמפרטורת האוויר בסביבה. בקיץ, כאשר טמפרטורת הסביבה היא מעט מעל ל-30 מעלות, אין זה מפתיע שטמפרטורת פני הגג המצופה יריעות ביטומניות שעל פניהם אגרגט, עולה לתחום של 65-75 מעלות, וגגות שחורים האטומים בזפת עשויים להתחמם לתחום של 70-80 מעלות, בעוד שפניו של "גג צונן" המחופה בחומר בעל החזר סולרי גבוה יתחמם לתחום טמפרטורות של 40-45 מעלות בלבד.

הנזק לחומרי האיטום כתוצאה מהתחממות הגג לטמפרטורות גבוהות בגג הינו משמעותי - בטמפרטורה של 65-75 מעלות צלסיוס ואף יותר בגגות זפת. חומרי האיטום המקובלים בישראל עוברים בלייה מהירה בטמפרטורות אלו. מרגע חדירת מים לתוך מערכת האיטום התהליך מואץ. בנוסף, העלייה הגבוהה בטמפרטורה ביום ביחס ללילה, גורמת למאמצים תרמיים מוגברים על מעטפת המבנה ולאורך זמן גורמת להופעת סדקים בתקרה.

מדינת קליפורניה בארצות-הברית הייתה הראשונה להכניס את נושא הגגות הצוננים לתחום החקיקה, במסגרת תקנות להתיעלות אנרגטית (ADMINISTRATIVE REGULATIONS CALIFORNIA CODE OF REGULATIONS TITLE 24, PART 1). התקנות קובעות רמת החזר סולרי מינימאלית לכל גג וסוג מבנה, ואת טיב החומרים היכולים לשמש לחיפוי ואיטום גגות. בנוסף החוק נותן "הנחה" לכמות הבידוד הקונבנציונאלי הנדרש, ככל שהחזר הסולרי גבוה יותר. למעשה בין שליש למחצית מקרינת השמש המגיעה לגג (תלוי בזווית השמש בשמים) לא נראית בעין, וכן לגבי החזר. גג צונן צבוע לבן מחזיר ברמה גבוהה את הקרינה.

אי חום עירוני (Heat Island Effect)

התחממות של גגות ואלמנטים נוספים (כבישים, למשל) מעבר לטמפרטורות הסביבה, גורמים בסופו של דבר להתחממות הסביבה כולה לטמפרטורה גבוהה יותר. התופעה ידועה בערים גדולות, בהן הטמפרטורה גבוהה במעלה או שתיים מהטמפרטורה בשולי העיר. ההתחממות האזור העירוני גורמת בסופו של דבר לצריכת אנרגיה נוספת ולפליטה נוספת של גזי חממה משרפת דלק המיועד ליצור חשמל להפעלת מזגנים. הקטנה של הטמפרטורה בפני הגג על ידי הפיכת הגג לגג צונן (cool roof) תביא לירידה בטמפרטורת הסביבה העירונית, ובהתאם - להקטנת הפליטות של גזי חממה בתחום הנקרא "התחום הנראה" (visible בגרף להלן):

גגות צוננים (Cool Roofs)

המשך

נושא חשוב הקשור להחזר הסולרי של חומר החיפוי בגג הוא היכולת לשמור על רמת ההחזר לאורך זמן. הארגון האמריקאי המטפל בנושא CRRC (Cool Roof Rating Council), מאפשר להתעיד חומרים שונים (בדומה לתו תקן). לצורך התעדה עובר כל חומר בלייה במשך שלוש שנים בשלושה אזורי אקלים שונים בארצות הברית והירידה בהחזר הסולרי אותה מאפשרים מחושבת לפי הנוסחה: $R_{0.7} \times (0.2 + 0.2)$

חומרים מתועדים המיוצרים בארץ, העומדים בדרישות לרפלקטיביות של ה-CRRC הם מאסטררג ואינופז של פזקר. אתר העמותה האמריקאית שמרכזת את הפעילות הציבורית בנושא גגות צוננים (<http://www.coolroofs.org>). בעבודות שנעשו בארצות הברית ובאגן הים התיכון (יוון וצרפת), נמצא שבאקלימים חמים שיעור החיסכון על ידי בחירת חיפוי רפלקטיבי איכותי לגגות מבנים יכול להוביל לחיסכון שנתי של 10-40% בעלות האנרגיה הנדרשת לקירור המבנה בקיץ.

מחקר מקיף שנעשה בפלורידה, מגדיר חיפוי גגות (וקירות) בלבן בעל רפלקטיביות גבוהה כ"אופציה ללא עלות" ("virtually no cost option"). במחקר מקיף שסקר את כל בתי הספר בפלורידה, נמצא שגגות כהים בעלי החזר סולרי נמוך מעלים את הטמפרטורה הפנימית במבנה

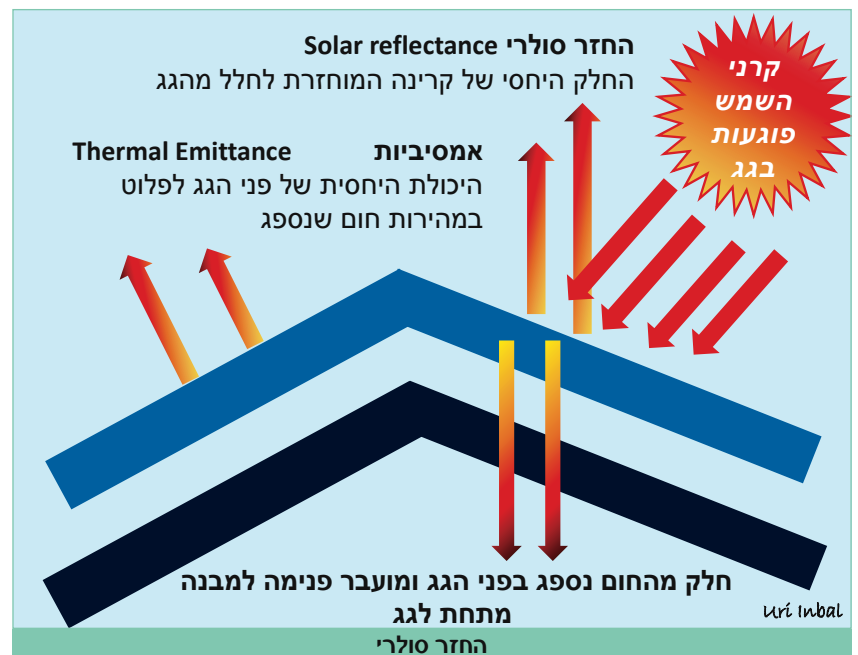


התמונה באדיבות חברת פזקר

בפני הגג הוא בעל אמסיביות גבוהה (היכולת לפלוט במהירות קרינה תרמית, כאשר הערכים הנמדדים הם בין 0 ל-1).

אמסיביות הגג

אמסיביות היא תכונה נוספת חשובה בתכונות החומר הנמצא בפני הגג, והיא היכולת לפלוט חזרה חום לסביבה בהקרנה (שהיא בלתי נראית, בתחום האינפרא אדום). למעשה היא מודדת את יכולת פליטת החום מהגג חזרה לאטמוספירה (במהירות האור). ישנה חשיבות רבה לאמסיביות, ורצוי שתהייה מעל 0.75 עבור גג צונן. את משמעות חשיבות האמסיביות ניתן לראות במתכות כגון אלומיניום. משטח אלומיניום יכול להגיע לרפלקטיביות גבוהה של 0.8 ואף יותר. בפועל, לרדיד אלומיניום הנמצא בפני הגג רפלקטיביות של עד 0.74 (וזו מתדרדרת מהר עקב חמצון האלומיניום - שכבה הנוצרת מהר במיוחד). מכיוון שאמסיביות של אלומיניום היא נמוכה, בין 0.33 ל-0.5, גג אלומיניום מגיע לטמפרטורות גבוהות מעל לסביבה ולא אפקטיבי כגג צונן, על אף היותו רפלקטיבי יחסית.



כאמור, אמסיביות משתנה לפי החומר. האמסיביות חשובה מאוד, כיוון שלחום שמוקרן חזרה לחלל באיטיות יש זמן לחדור למעטפת המבנה וליצור עומס חום. כדי לפשט את הדברים וכדי למיין חומרים תוך התייחסות למדד בודד, נקבע המונח SRI = מקדם החזר סולרי (SOLAR REFLECTANCE INDEX). מספר זה מחושב מההחזר הסולרי והאמסיביות התרמית. נקודת הייחוס למקדם החזר הסולרי הינה אפס עבור גג שחור (החזר סולרי = 0.05 והאמסיביות = 0.90). נקודת הייחוס לגג צונן בו ניתן ניקוד של 100 (SRI) מיוחס לגג לבן בו החזר הסולרי = 0.80 והאמסיביות = 0.90. ככל שמקדם החזר הסולרי גבוה יותר הגג יהיה "צונן יותר". לגגות המצופים זפת מקדם החזר סולרי SRI של 20, בעוד שלגגות המצופים בחומר בעלי החזר סולרי גבוה ה SRI יהיה מעל 100.

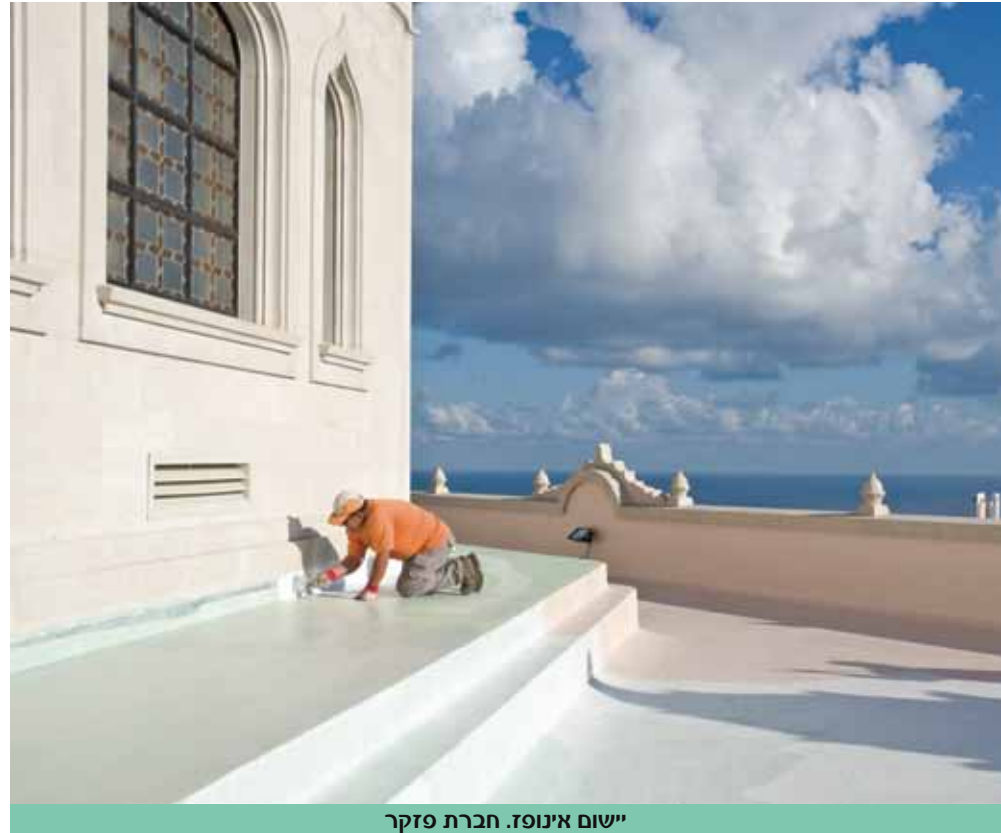
חברת פזקר, לדוגמה, פיתחה שני חומרים חדישים (מאסטררג ואינופז) בעלי החזר סולרי של 111 ו-114, השומרים על ערכי SRI גבוהים גם לאחר בלייה של החומר בתנאי פריזה שונים. בארצות הברית נכתב תקן למדידת החזר הסולרי - ANSI/CRRC 1, ויש לקוות כי תקן זה יאומץ במהרה בארץ, כך שניתן יהיה לבצע בעתיד מדידות בארץ, ולסווג חומרים המיועדים לגגות צוננים במעבדות בארץ.

גגות צוננים (Cool Roofs)

המשך מעמוד 10



התמונה באדיבות חברת פזקר



יישום אינופז. חברת פזקר

- מקטין את צריכת האנרגיה הכוללת בתחנות כח בימים בהם עומס החום גבוה במיוחד;
- מקטין את עומס החום בסביבה עירונית (Heat island effect);
- משפר את היעילות של תאים סולאריים הנמצאים על הגג (ככל שהתאים חמים יותר יעילותם יורדת).

מה עושים בהקדם האפשרי כדי שהגגות בישראל יהיו "גגות צוננים":

- מאמצים את ANSI/CRRC-1 כתקן ישראלי לבדיקת ההחזר הסולרי מחומרים המשמשים לאיטום וחיפוי גגות; ומסמיכים מעכדות לבדיקות בתחום זה.
 - מאמצים את אישורי ה-CRRC האמריקאי עד להקמת אזורי פריזה בארץ;
 - קובעים אזורי פריזה (לדוגמה בנגב, בגליל ובערבה) לבדיקת השמירה על ערכי החזר סולרי לאורך זמן בתנאי הארץ;
 - מתחשבים בקיום "גגות צוננים" במסגרת הדרישות הקימות בת"י 1045 ואחרים לבידוד מבנים;
 - יוצרים חקיקה המחייבת "גגות צוננים" בישראל בכל בנייה חדשה במסגרת החוק הקיים לשמור אנרגיה.
 - מפרסמים ומקדמים את נושא "גגות צוננים" במדיניות כתובות ודיגיטליות, ציבוריות ופרטיות.
- רק כך נוכל לשמור על הסביבה, ולשמור מפני בזבוז מיותר של אנרגיה. ■

בין 11-14 מעלות צלזיוס. התוספת להוצאות המיזוג היא כ-15%. ככלל, החיסכון בהוצאות האנרגיה למיזוג אוויר הוא לפחות 10% בבחירת חיפוי "גג צונן" בעל החזר סולרי גבוה. בגג משופע בו חלל הגג מאווררהחיסכון מגיע לכדי 20%. מחקר שנערך בטקסס מגדיר גם כן בחירה של גג צונן, ברפלקטיביות צנועה של 0.75, כאופציה המחזירה את עלותה באופן מיידי (instantaneous payback). לשם השוואה: ישראל ופלורידה נמצאות על קווי רוחב דומים (סביב ה-30 מעלות צפון), ועל כן מספר שעות האור דומה אף הוא. אך לעומת פלורידה, במדינת ישראל אין עננות או גשם בקיץ. כלומר, סך הקרינה (הגלובלית = קרינה מבזרת, דרך עננים + קרינה ישירה) בישראל היא כ-40%-30% יותר מאשר בפלורידה, בעוד שכמות הקרינה הישירה בישראל לעומת אורלנדו היא באותו סדר גודל. בנוסף, הגשם שיורד בפלורידה באמצע הקיץ מהווה גורם צינון מוחלט לגג, תופעה שאינה קיימת בישראל, ועל כן בישראל יהיה חיסכון משמעותי בהוצאות מיזוג אוויר בהשוואה לפלורידה, כאשר מותקן גג צונן.

אי לכך, ובהנחה שאין הפרשים בתכנון גגות בין ישראל לפלורידה, סביר שהחיסכון באנרגיה כתוצאה מגג צונן יהיה קרוב יותר ל-40% ואולי אף יותר. ישנם מקרים של אקלימים דומים יותר לישראל, בהם שיעורי החיסכון מגיעים ל-50% ואף 60%. במדינת ניו יורק בארה"ב מתקמת תוכנית של העיריה לחיפוי גגות השיכים לעיריה והפיכתם לגגות צוננים. ראש העיר בלומברג מקדם אישית את נושא גגות צוננים מתוך הבנה כי הדבר תורם לשיפור איכות החיים בעיר.

לסיכום - מה הם היתרונות של גגות צוננים?

- חסכון ניכר באנרגיה הנדרשת למיזוג אוויר (קירור);
- הקטנה בקצב הבלייה של חומרי האיטום וציוד מיזוג האוויר המותקן על הגג;
- שיפור היעילות התרמית של הבידוד המותקן בגג (ככל שהטמפרטורה עולה, מקדם הבידוד של פוליטיטרין מותפח "קלקר" יורד);