

מדריך לבניה ירוקה במגזר הכפרי

ייזום: מרכז השל לחשיבה ומנהיגות סביבתית
המשרד להגנת הסביבה

כתיבה:

מיכל ויטל – ברון

תכנון ויעוץ לבניה ירוקה

עזרה בכתיבה ועריכה:

יעל בר אילן

איורים:

אדר' כפיר וקס

תודות:

- לאדריכלית נוף יסמין אתמרי, על הרעיון, ההפקה והעצות המועילות.
- לפרופ' יצחק מאיר, לאדריכל יוסי קורי ולגלעד אוסטרובסקי על הקריאה וההערות.
- לידידי אלכס צסלסקי, מהמרכז לאקולוגיה יצירתית בקיבוץ לוטן, על התמיכה הממושכת.



רחוב הגליל 51 כרכור 37063

טל' – 04/6231479 נייד – 050/7651731

מיייל - mvital@zahav.net.il

תכן העניינים

3	מבוא	1.
6	נתונים אקלימיים	.2
8	ניצול אנרגיה סולרית ושימור אנרגיה	.3
16	אורור טבעי	.4
24	תאורה	.5
30	בידוד	.6
39	זיגוג	.7
41	הצללה	.8
49	מים	.9
55	חימום וקירור אקטיבי - HVAC	10.
61	בית חכם	.11
62	אנרגיה נקיה	.12
65	חומרי בניה ועיצוב פנים	.13
69	הפחתה, שימוש חוזר ומיחזור	.14
71	חצר וגינה	.15
73	התקן הישראלי לבניה ירוקה	.16
74	סיכום	.17

1. מבוא

מדריך זה מיועד לאו דווקא לאנשי המקצוע, אלו יכולים למצוא חומר מקצועי רב בנושא – למרות שרק מיעוטו בעברית. בחוברת זו כוונתנו העיקרית להפנות את תשומת הלב של הקהל הרחב - ובמיוחד המתעדת לבנות או לשפץ יחידות דיור צמודות קרקע - לנושאים המדוברים, ולתת מושגי יסוד לבונה ולמשפץ. לצורך כך אנסה להתמקד בגורמי תכנון, שיטות בניה וחומרים שניתן להתחשב בהם כדי ליצור בית "ירוק" יותר, ונכון יותר לסביבה, לדייר ולתקציב התחזוקה של המבנה בטווח הארוך.

מהי בניה ירוקה?

האנושות עומדת בתקופה מיוחדת זו בה אנו חיים בפני אתגרים גדולים, שהמשמעותי שבהם הוא עצירת אפקט החממה. עלינו מוטלת האחריות לצמצם בשנים הקרובות את פליטת גזי החממה לאטמוספירה צמצום ניכר.

מה לזה ולשאלות הנוגעות לענף הבניה? לכאורה, אין קשר ישיר.

אולם מחקרים מעמיקים ואוביקטיביים הנערכים שוב ושוב במרכזים האקדמיים המובילים בעולם, מראים כי כ-50% מהפליטות המזהמות בעולם המערבי קשורות ישירות למבנים, הרבה יותר מאשר הפליטות מרכבים ותחבורה, למשל.

עיקר צריכת האנרגיה במבנים היא לצורך אקלום – כלומר חימום וקירור של מבנים. כמו כן היא נובעת משרפת חומרים לתעשיית הבניה, הובלת חומרי בניה וכדומה.

הקשרים כאלו בין בנייה ואיכות סביבה ניתן לראות גם בנושא של זיהום מים, אתרי פסולת, רעילות חומרים ועוד. אם נצליח לשפר את בתינו ולהתחשב בכל ההיבטים האלו ככל הניתן, תוכל להיות לנו השפעה משמעותית על זיהום האויר ופליטת גזי חממה, כמו גם על פרמטרים אחרים הקשורים לאיכות סביבה. את מכלול השיפורים הללו אנו מכנים בניה ירוקה.

זוהי בנייה חכמה, המביאה בחשבון גורמים רבים, ומביאה את הבית לביצועים טובים יותר בתחום האקלימי, בצריכת אנרגיה נמוכה יותר – שכמובן מתבטאת בצמצום ההוצאות השוטפות של הדיירים במבנה.

כמובן שהרגע המתאים ביותר לקחת גורמים אלו בחשבון הוא זמן התכנון של מבנה חדש, או תהליך השיפוץ של מבנה קיים.

איור 1: מקור הפליטות המזהמות



אין בדברים האמורים במדריך זה משום תגלית מרעשה. בניה המותאמת אקלימית ו/או בניה מחומרים מקומיים היו בכל תולדות האנושות מובנות מאליהן. אנשים בכל החברות המסורתיות חיו בסביבה מוגבלת, והכירו אותה על בוריה. ציידים, לקטים וחקלאים בכל פינה בעולם היו תלויים בטבע, בעונות השנה, בכמות המשקעים, בצמחיה המקומית ובעולם החי שסביבם. תלות זו לימדה אותם לזהות כל סימן ולהכיר כל היבט אקלימי – הם הכירו את משטר הרוחות, את מסלול השמש, את התפקוד של החומרים השונים. חומרים מקומיים, למשל, היו כמעט המובן מאליו, וחומרים מיובאים היו בשימוש רק במבנים מפוארים מאד. לראיה, הארזים שהובאו לבנית בית המקדש בירושלים.

בעשורים האחרונים קרו שני תהליכים מקבילים, והם אלו שגרמו לבתים שלנו להיות צרכני אנרגיה זלנניים: הראשון הוא הסתמכות הולכת וגוברת על מערכות מיזוג וחימום מכניות, עד כדי כך שמהמתכננים והאדריכלים נשכחה החשיבה האקלימית הבסיסית. במקביל, הבתים הלכו וגדלו והשטח הבנוי למגורים לנפש בתרבויות המערב היום גדול מאי-פעם. (לדוגמא: 36 מ"ר לנפש בעיר תל-אביב בשנת 2006).

בנוסף לכך, הדייר בבתים מרווחים אלה, כלומר אנחנו, חיים הרבה יותר בתוך הבית והרבה פחות בחצר ובסביבה המיידית. מכאן נולדות דרישות שלא היו מנת חלקם של האדריכלים המסורתיים – אנו רוצים להיות בפנים ולהרגיש בחוץ. את הנוף והגינה אנו רוצים לחוות מבעד לחלון, ולא דווקא מהספסל שתחת עץ התאנה בחצר. בתים גדולים ומרובי חלונות – זו המילה האחרונה בתכנון בעולם המערבי, זהו בית החלומות הבלתי מעורער, והוא מטבעו יהיה צרכן אנרגיה משמעותי. בית כזה גם מעמיד אתגרים תכנוניים מורכבים בפני האדריכל והמהנדס, ואם נוסף לכך את חוסר המודעות להתחממות הגלובלית ולאחריות שלנו כמתכננים, אפשר להבין מדוע החשיבה האקלימית הלכה ונשכחה בעשורים האחרונים עד כדי כך שבאקדמיות מקדישים לה זמן ומשאבים מועטים מדי.

אין בכך הטפה לחיות בתנאים קשים ולחסוך באנרגיה תוך כדי סבל מתמשך. להפך, המטרה היא לחיות בבתים נוחים ונעימים, אבל בצריכת אנרגיה נמוכה מהמקובל כיום. מטרה זו מוגדרת היום בעולם בכינוי ZERO ENERGY, שאנו נתרגם ל"אזון אנרגטי". במושג זה, שיחזור במקומות שונים במדריך שלפנינו, אנו מתכוונים לחישוב כוללני של צריכת האנרגיה של המבנה מהרגע בו נחצבה האבן הראשונה בגינו, דרך כל שנות המגורים הארוכות, ועד לתהליך הכלייה של החומרים ממנו הוא עשוי. במערך חישובי זה כוללים גם אמצעים ליצור אנרגיה נקייה עבור המבנה, באם קיימים. סך כל השקלול של הצריכה והיצור מהווים את המאזן האנרגיה, שאנו שואפים לאזן אותו בספרה 0.

נוחות תרמית

נוחות תרמית מוגדרת כתחושה סובייקטיבית של גוף האדם בתנאים תרמיים מסוימים. תחושה זו משתנה מאדם לאדם, אך קיים תחום ממוצע שנחשב כתחום הנוחות התרמית. בתחום ממוצע זה, טמפרטורת הגוף נעה בין 36.5°C ל- 37.5°C , וטמפרטורת העור נעה בין 33°C ל-

35°C. בתחום זה אין הזעה ואין הצטמרות שרירים. כל שינוי בתנאים אידיאליים אלו פוגע בתחושת הנוחות התרמית לאדם. השגת הנוחות התרמית בהשקעת אנרגיה מינימלית היא מטרת הבנייה האקלימית, שמהווה חלק מהבנייה הירוקה.

איור 2: נוחות תרמית



נוחות תרמית מושפעת ממספר גורמים:

1. טמפרטורת האויר בחלל הבנוי.
2. עוצמת הקרינה הישירה והמוחזרת.
3. לחות יחסית בחלל הבנוי.
4. מהירות תנועת האויר.
5. רמת הפעילות הפיזית.
6. רמת הבידוד של הבגדים.

אנו שואפים להגיע למצב בו בזמן מנוחה, ובבגדי העונה, הטמפרטורה, הלחות היחסית ותנועת האויר בחלל יאפשרו את תחום הנוחות התרמית הנ"ל. תחום הטמפרטורות הנחשבות לנוחות תרמית הוא 19°C - 21°C בחורף, ו22°C - 25°C בקיץ.

2. נתונים אקלימיים

המוקד של בניה ירוקה הוא התכנון האקלימי. תכנון כזה דורש הכרות טובה עם הסביבה בה נבנה המבנה. כיצד נוכל להגיע בעצמנו אל הנתונים הדרושים לנו, או לשלוח את המתכננים שבחרנו לחפש ולמצוא אותם?

2.1. איסוף הנתונים הדרושים כדי לתכנן ירוק

המקור המהימן ביותר לאיסוף הנתונים הוא השירות המטאורולוגי. בארץ מפוזרות היום למעלה מ-40 תחנות מדידה וניטור, חלקן פועלות כבר עשרות שנים. כדי להפוך את המספרים והסימנים המוסכמים של המדידות למידע נגיש לכולנו, הוציאו אריה ביתן ושרה רובין את האטלס האקלימי לתכנון פיסית וסביבתי בישראל. (בהוצאת רמות אוניברסיטת ת"א). זהו אוגדן של סיכום הנתונים בכל התחנות הפעילות המפרט ממוצעים של נתונים שנמדדו לאורך השנים. כאשר עלינו לתכנן באזור מסוים, אנחנו יכולים למצוא את התחנה הקרובה וללמוד רבות מהאטלס על האקלים של אותו אזור.

כמו כן ניתן להיעזר בעובדי מחלקת האקלים של השירות ולבקש מידע אקלימי לגבי אזורים שלגביהם לא ברור בדיוק איזו תחנה היא המתאימה.

מידע רב ומתחדש נמצא גם באתר האינטרנט של השירות המטאורולוגי:

www.ims.gov.il

כאשר נדרש מעובדי השירות להכין מחקר מיוחד עבורנו, נגבה על כך תשלום שמשתנה מפעם לפעם בהתאם לרמת העבודה.

מקור חשוב נוסף ללמידה על אקלים ובעיקר על מיקרו אקלים הם תושבים ותיקים של המקום. בעיקר מדובר במגזר הכפרי והחקלאי, שם תנאי החיים והצרכים המקצועיים לימדו את התושבים להיות קשובים ורגישים יותר למוזג האוויר ולמחזור העונות.

2.2. מסד הנתונים

2.2.1. טמפרטורות

מהי טמפרטורת המקסימום היומית הממוצעת בקיץ, כלומר לאיזו טמפרטורה מגיע האוויר בסביבה בשעות הצהריים או אחה"צ ביום קיץ אופייני? לעומת זאת, מהי טמפרטורת המינימום הממוצעת בקיץ, כלומר באיזו מידה יורדת הטמפרטורה בלילות הקיץ? ההפרש הזה, הנקרא משרע הטמפרטורות, הוא אחד הנתונים החשובים ביותר עבורנו בבואנו לתכנן תוך התחשבות באקלים הייחודי שבו ממוקם הבית. (ראו הגדרה והסבר בפרק הבא)

באותה מידה חשובים נתוני המינימום והמקסימום ומשרע הטמפרטורות ביום חורף אופייני ובעונות המעבר. נתונים אלו, בין השאר, יאפשרו לנו להגיע להחלטה מושכלת לגבי חומרי הבניה, רמת הבידוד ומיקום וגודל הפתחים.

2.2.2. לחות יחסית

ממצאי תחנות המדידה של השירות המטאורולוגי פורשים בפנינו גם את נתוני הלחות היחסית באויר בעונות השונות, ביום ובלילה. למידה של נתונים אלו תשפיע על החלטות בתחום האוורור הטבעי, וכן בתחום חומרי הבניה. לדוגמא: גגות פח מתאימים לאיסוף טל בעונת הקיץ. (ראה פרק ט – מים) כדי להחליט אם להשתמש בגג כזה, כדאי לודא שאכן יש לחות מספיקה כדי שיתעבה טל.

2.2.3. עומסי חום

עומס חום נוצר משילוב של הסעיפים הקודמים: טמפרטורה ולחות יחסית. הבנה של עומס החום באזור בו נמצא המבנה חשובה מאוד לשלב התכנון. הבנה כזו תיתן לנו את הכלים לאסטרטגיה הראשונית שלנו – מקומות חמים ולחים בעלי עומס חום גבוה דורשים פתרונות תכנוניים שונים מהפתרונות הדרושים באזורים חמים ויבשים.

2.2.4. משקעים

נתון תכנוני חשוב בכלל, ולא רק בתחום הבניה הירוקה. החלטות רבות בתחום הניקוז ושימור מי הנגר תלויות בכמויות המשקעים המקומיות. מעקב אחר כמויות המשקעים אפשר למצוא בכל חורף גם בעיתונות היומית ובמהדורות החדשות. אם אנחנו שוקלים לבנות בחומרים טבעיים, כמו אדמה למשל, יש לכמות ולעוצמת המשקעים חשיבות לגבי בחירת החומרים וההגנה הדרושה עליהם מגשם ומרטיבות.

2.2.5. משטר הרוחות

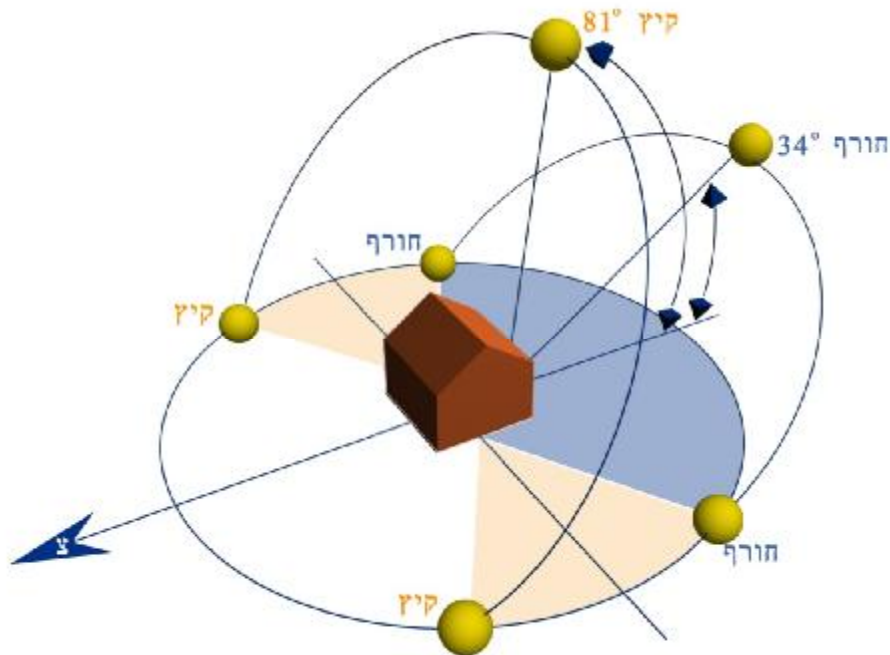
זהו אחד מהנתונים החשובים ביותר עבורנו כאן בארץ. למידה של משטר הרוחות תשפיע השפעה מכרעת על ההחלטה איך ומתי לאוורר את המבנה, והאם בכלל אנו יכולים לתכנן אותו על סמך אסטרטגיה של אוורור טבעי. לאוורור השפעה רבה על תדירות השימוש במזגן - זללן האנרגיה העיקרי שלנו – במהלך חודשי הקיץ. נתוני משטר הרוחות הם בעייתיים יחסית, מכיון שהם יכולים להיות מאד ספציפיים – תחנות המדידה נותנות נתונים כלליים, ואילו הטופוגרפיה היחודית של כל שטח יכולה להשפיע עליהם. באיסוף נתוני משטר הרוחות המקומי יש כר נרחב להתבוננות ולמידה עצמית.

2.2.6. זוויות השמש

נתון זה הינו תוצאה של המיקום הגיאוגרפי שלנו. בישראל עוברים ארבעה קוי רוחב שונים – 30 מדרום ועד 33 בצפון. אולם ההבדלים בזוויות השמש ביניהם קטנים מאד. השמש כמובן במקומה עומדת, ואנו אלו החגים סביבה במסלול משתנה, כפי שגילה לנו גלילאו גליליי לפני מאות שנים. אולם אנו נשתמש כאן במושג "מסלול השמש" רק לצורך הקלה. נתונים כלליים למסלול השמש בארץ הנם אלו בקרוב:

בחורף זווית השמש נמוכה, והמסלול שלה קצר. ניקח לדוגמא את היום הקצר בשנה, 21 בדצמבר, במרכז הארץ. זריחת השמש מתרחשת בדרום מזרח (אזימוט 239°), עולה בצהרי היום רק עד זווית של 32° מעלות, ושוקעת בדרום מערב (אזימוט 117°).

איור 3: זווית השמש לפי עונות השנה



בקיץ, לעומת זאת, מסלול השמש ארוך וגבוה: אם נבדוק את היום הארוך בשנה, 21 ליוני, נראה שבקיץ השמש זורחת בצפון מזרח, (אזימוט 298°) עולה למסלול גבוה מאד ומגיעה בצהריים לזווית של 81° , ושוקעת אחרי 14 שעות אור בצפון מערב. (אזימוט 62°). בימי השוויון באביב ובסתיו הזריחה והשקיעה קורות בדיוק במזרח ובמערב בהתאמה, וזווית השמש בצהרי יום היא 58° .

אם נבדוק בעזרת שרטוטים והדמיות את חדירת קרני השמש מהפתחים השונים, ונגן על הפתחים כך שמזווית מסוימת ומעלה אין חדירת שמש, נוכל להקל באופן ממשי על עומס החום בבתים.

3. ניצול אנרגיה סולרית ושימור אנרגיה

אנרגיה סולרית היא אותה אנרגיה המוקרנת מהשמש אם באופן ישיר ואם באופן עקיף ומוחזר, על ידי הקרנה על משטחים הסמוכים למבנה. הקרינה חודרת דרך הזיגוג והופכת לאנרגיה חום בתוך המבנה (מעבר בין אורכי גל). ניצול האנרגיה הוא פסיבי, משום שבעצם התכנון וההעמדה של המבנה אנחנו שואפים להגדיל (או להקטין) את חשיפת הבית לאנרגיה זו (בכיוונים ועונות מסוימות), אבל אנחנו לא "ממירים" את האנרגיה בצורה אקטיבית באמצעות מערכות

מתוחכמות. שימור האנרגיה הופך גם הוא לפסיבי ברוב מכיוון שהמבנה עצמו מאפשר אגירה ושחרור של חום דרך המסה התרמית שלו, מושג שיוסבר בהמשך.

3.1. העמדת המבנה במגרש

אנו שואפים להעמדה שתאפשר לנו לתכנן בית סולארי פסיבי. במושג זה הכוונה למבנה שעובד בשבילנו, בתיאום עם הטבע והאקלים המקומי. הבית יתפקד נכון גם בקיץ וגם בחורף – בקיץ ישמור על קרירות, ובחורף על טמפרטורה נעימה. כלומר, מבנה המאפשר נוחות תרמית עם מינימום השקעת אנרגיה.

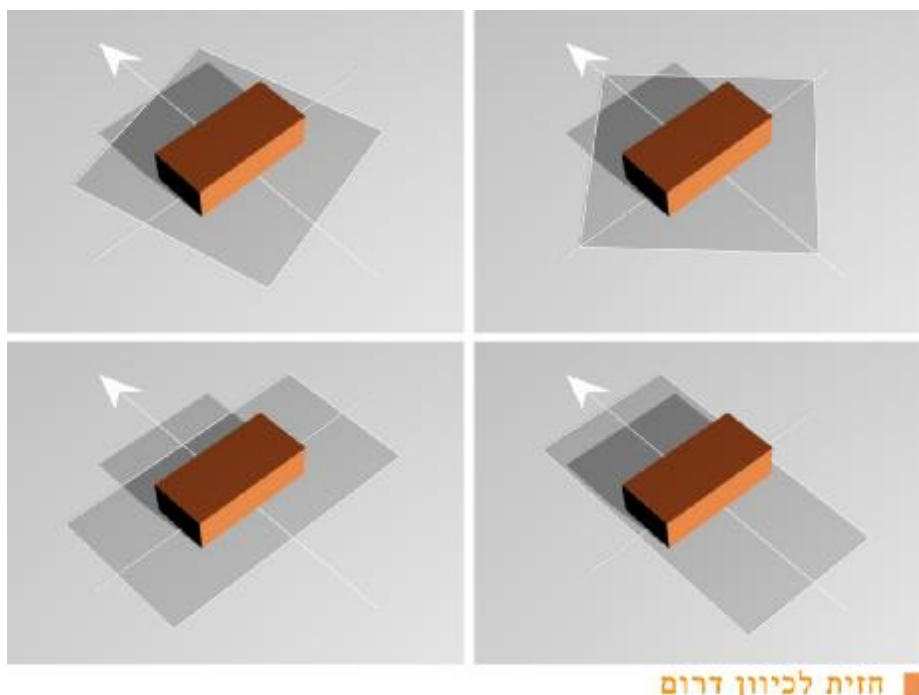
בעונת החורף, המטרה היא שימוש באנרגיית השמש לחימום הבית שלא על ידי מערכות עקיפות מתוחכמות, אלא באופן ישיר ופסיבי.

בעקבות למידת מסלול השמש, אנו יכולים לראות שבחורף היא נמצאת בגזרה הדרומית בלבד, ובמסלול נמוך, מה שמאפשר החדרה מצוינת של קרינת שמש אל הבית, במידה ומירב הפתחים ירוכזו בחזית הדרומית. כמובן שעלינו לחשב אותם בזהירות ובצורה מושכלת. (ראה ג.4)

בעונת הקיץ, תכנון נכון של הפתחים וההצללות ימנע חדירת קרינת שמש ישירה. אם מירב הפתחים, כאמור, מרוכזים בחזית הדרומית, קל מאד להצל עליהם מכיון שהשמש נעה במסלול צפוני יותר, ובזווית מאד גבוהה.

כלומר העמדה אופטימלית מבחינתנו, כפי שיפורט ויוסבר בסעיף הבא, היא העמדה המאפשרת חזיתות דרום וצפון ארוכות, וחזיתות מזרח ומערב קצרות.

איור 4: העמדת המבנה במגרש



3.2. תכנון הפנים של בית מגורים כנגזרת מהעמדת הבית במגרש

מאחר ואנו מעוניינים בחדירת שמש אל חדרים שימושיים, שבהם דיירי הבית אכן יוכלו ליהנות מהיתרונות של החזית הדרומית כפי שיוסברו מיד, הרי שכדאי למקם בחלק הדרומי של הבית את חדר המגורים, פינת האוכל וחדרי הילדים. הילדים נמצאים בחדרים שלהם בשעות אחר הצהריים בחורף, ויכולים ליהנות מחמימות השמש. חדר ההורים, לעומת זאת, נמצא בשימוש אצל רובן המכריע של המשפחות רק בשעות הלילה, ולכן אין חשיבות לחזית דרומית בחדר זה. חבל "לבזבז" מקום בחזית הדרומית גם על חדרי שירות ורחצה לסוגיהם. לגבי המטבח, מאחר והוא אזור מחמם, בגלל הפעלה של כיריים ותנורים והימצאות המקרר, גם אותו מומלץ למקם באזור הצפוני יותר של החלל, כך שהקרינה הדרומית לא תגיע אליו מכיוון שאין בכך צורך.

3.3. הדרכים הבסיסיות להחדרת קרינת חורף אל המבנה

חורף: בחורף כאמור מטרתנו היא להיעזר בקרינת השמש. באותם ימים בהירים רבים שיש לנו בארץ השמש עומדת לרשותנו כמקור בר-קיימא ומתחדש לחימום הבית ולחיסכון בחימום מלאכותי הצורך אנרגיה מזהמת. הדרך הראשונה והפשוטה ביותר לעשות זאת היא לאפשר לשמש חורף לחדור באופן מבוקר אל תוך הבית ישירות דרך החלונות הדרומיים, ולחמם את פנים הבית ואת חומרי המסה התרמית מהם הוא בנוי. (ראו הסבר לגבי מהי מסה תרמית בהמשך). כיצד? אם תחזרו למסלול השמש המתואר בפרק קודם, תיווכחו שוב כי הגזרה בה השמש נעה היא נמוכה וצרה. כך שאם נדאג לפתחים דרומיים, קרינת השמש תחדור בקלות לעומק חלל הבית. אנו משתמשים בחום זה כדי לצמצם את צריכת האנרגיה.

קיץ: המטרה בקיץ היא למנוע כניסת שמש לבית. אותם חלונות דרומיים שפתחנו לטובת קרינת החורף, האם הם עלולים להכניס קרינה גם בקיץ ולגרום לחימום יתר של הבית ולצורך מוגבר במיזוג?

התשובה היא שאם תכננו את החלונות באופן מושכל, לפי זוויות השמש כפי שלמדנו אותן קודם וכפי שיוסבר בהמשך בסעיף 4, זה פשוט לא יקרה, מכיוון שכאמור השמש באה בזווית גבוהה מאוד ומכה בעיקר על הגג ולא על החלונות הדרומיים כך שהחלונות אינם חשופים כלל לשמש. בליטה של הגג או בליטת הצללה כלשהי תספיק כדי שחלונות אלו יהיו מוגנים כל העונה החמה. (כמובן שחלונות אינם הדרך היחידה לחדירת חום אל הבית, כפי שיוסבר בהמשך בנושא הבידוד ומעבר חום דרך חומרים.)

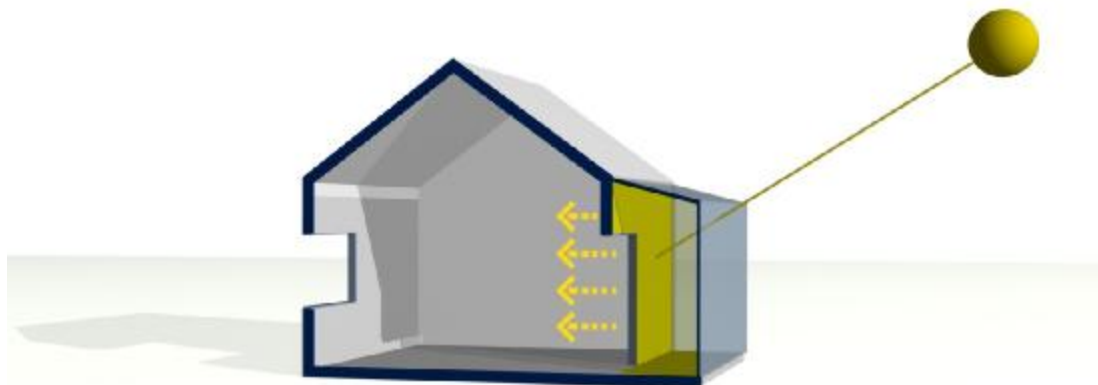
אם כן, עלינו להיעזר בעזרים שרטוטיים או ממוחשבים שיאפשרו לנו לבדוק ולוודא שהחלונות הדרומיים מוגנים משמש מ21 למרץ ועד 21 בספטמבר, או אם נדבר במושגים של זוויות גובה השמש, מזווית של 58° ומעלה. כמובן שזה לא פשוט כלל, מכיוון שדווקא באביב ובסתיו מתרחשים ימי השרב – אלו ימים חמים מאד, שבהם השמש עדיין נמוכה ויכולה לחדור לבית מהחלונות הגדולים. גם ההפך קורה לפעמים, ובעונות המעבר יש ימים קרים ואין עדיין מספיק

חדירת שמש לבית. אבל בעונות המרכזיות, הקיץ והחורף, אפשר להשתמש בחכמה בידע של זוויות השמש וליצור בית סולרי פסיבי.

מכאן ניתן להבין מדוע הפתחים בחזיתות המזרחית והמערבית הם בעייתיים יותר: קשה לנו מאד למנוע כניסת שמש ממזרח וממערב בשיא הקיץ, מכיון שהזוויות במערב אחרי הצהרים ובמזרח בבוקר הן נמוכות מאד. בשעות הערב בייחוד, האויר, האדמה, קירות הבית והגג ספגו כבר הרבה קרינה וחום, והתוספת של חדירת קרינה ישירה אל הבית ממערב מעיקה מאד. לכן רצויה לנו העמדה עם חזיתות דרומית וצפונית ארוכות.

קיימת דרך נוספת לחימום פסיבי של הבית, פחות מיידי וישירה, והיא לתחום מדרום לבית אזור שבו האויר מתחמם במהירות, כגון מרפסת חממה. מתוך מתחם זה האויר זורם באופן מבוקר אל תוך חלל הבית. למשל, אם למרפסת החממה הדרומית חלונות עליונים הפונים אל הבית – האויר החם מהחממה יעלה באופן טבעי כלפי מעלה, יזרום אל הבית דרך פתחים אלה ויעלה את הטמפרטורה שבתוך הבית ללא כל שימוש באמצעי אחר. פתרון כזה יכול להתאים מאד לאקלימים הקרים יותר בארץ, לבתים קיימים שאנו מנסים לשפר את התפקוד שלהם ולבתים גדולים שבהם קשה לאפשר חדירת שמש ישירה לעומק משמעותי של החלל. כמובן שהחממה צריכה להיות דינמית והפיכה: בקיץ נפרק או נסיע את חלקי הזכוכית ונשתמש בשלד החממה כבסיס להצללה.

איור 5: חדירת קרינת השמש אל המבנה



3.4. היחס הרצוי בין גודל הפתחים לגודל החללים הפנימיים

בנוסף לתכנון שמאפשר החדרת/מניעת חום וקרינת שמש אל הבית, חשוב לנו מאד לא לאבד את אותו חום/קור, כלומר שימור האנרגיה. כיצד נדע את היחס הנכון בין הפתחים, כך שלא יהיו קטנים מדי והבית יישאר חשוך וקר, ולא יהיו גדולים מדי ויגרמו לנו לאיבוד האנרגיה שאנו מייצרים?

החלונות מכניסי השמש צריכים להיות מחושבים, ובמסדי נתונים שונים אנו מוצאים נוסחאות חישוב שונות. בכל מקרה, החישוב לוקח את שטח החלון המזוגג, ביחס לשטח הרצפה של החדר כולו.

הנה נתוני היחסים כפי שהם מופיעים בתקן ישראלי* 5282, המתלווה לתקן בנינים ירוקים 5281 (הרחבה לגבי התקנים ראה פרק ט"ז):

טבלה 1:

הנתון	אזורים א' ב'	אזור ג'	אזור ד'
היחס המקסימלי ב% בין כלל השטח המזוגג לשטח החלל	20%	30%	15%
היחס הרצוי בחזית דרומית מכניסת שמש	10-20%	12-30%	קטן מ 12%

יש לציין כי התקן מתייחס לאלמנטים רבים נוספים לצורך דירוג שימור האנרגיה של המבנה, פרט ליחסים בטבלה. רובם יוסברו בהמשך.

לאחר שנים רבות של בדיקת תכניות של רבים אדריכלים רבים ושונים, שלקוחותיהם מסרו את התכניות לצורך יעוץ ירוק, ותוך למידה של הנושא, נוכחתי לדעת שיחסים אלה רחוקים בדרך כלל מהתכנון האדריכלי הרווח היום בארץ, שבו חלונות רבים וגדולים לכן, כדי ליצור מצב המשפר את רמת שימור האנרגיה מחד, ונותן כלים שהציבור יוכל לעמוד בהם מאידך, ובהסתמך על מחקרים אחרונים מהמכונים ע"ש בלאושטיין בשדה בוקר ("מיפוי הפוטנציאל לבניה אקלימית ירוקה באזורי ישראל") – בדיקת התכניות לצורך יעוץ ירוק (במשרדי) נעשית לפי כלל האצבע המדבר על שטח אופטימלי של 18% ואף 20% חלון דרומי משטח הרצפה בכל חדר. וסך כל השטח המזוגג בכל הכיוונים, לא יעלה על 30% מסך שטח הרצפה של החדר.

הסלון של משפחת כהן כולל פינת האוכל והמטבח הוא בשטח של 43 מ"ר. יש לו חזית דרומית ארוכה, חזית מערבית קצרה וחזית צפונית. סך הפתחים בחזית הדרומית רצוי שיהיו 8 מ"ר. כלומר, אם מדובר בבית פרטי, פתח גדול ליציאה לחצר בשטח של כ 4 מ"ר, ועוד פתח או שניים ששטחם המשותף זהה לזה של פתח היציאה. הכל לפי תכנון הפנים והחלטות האדריכל. סך כל החלונות בחלל זה אמורים להגיע ל 13 מ"ר, כלומר בחזיתות האחרות אנו מתכננים חלונות קטנים יותר, שסך שטחם לא יעלה על 5 מ"ר.

יש לציין שחלונות גג אופקיים אינם מומלצים כלל באקלים שלנו, ומתאימים רק לארצות צפוניות יותר. הסיבה העיקרית היא כמובן חדירת קרינה ישירה לחלל גם בעונות החמות.

3.5. מסה תרמית

קיימת דרך מורכבת ומתוחכמת יותר לשימוש פסיבי בקרינת השמש ולשימור אנרגיה. הכוונה היא לאיזון נכון בין מסה תרמית לבידוד. דרך זו מאפשרת לא רק חימום בחורף אלא גם תמיכה מסוימת בצינון הבית בקיץ.

אסביר את שני המושגים:

המסה התרמית יכולה להיות כל רכיב של הבית (רצפה, קירות המעטפת, מחיצות פנימיות וריהוט בנוי) במידה והם עשויים מחומרים האוגרים חום באיטיות ומשחררים אותו באיטיות. גורם הזמן כאן משמעותי מאד. בואו וניזכר, לשם הדגמה, בטיול של ערב מוקדם בשדה שנמצאים בו, מן הסתם, עצים וגם אבנים. השדה כולו וכל האלמנטים שבו ספגו את חום השמש כל היום. אם ניגע בשעת ערב מוקדמת, כאשר השמש שקעה כבר, בעץ, נראה שאינו חם יחסית לאבן או לאדמה עצמה. הוא אמנם ספג את אותה קרינה, אך אין לו תכונה של אגירת חום כמו שיש לאבן או לאדמה. אין לו מסה תרמית.

המדד לאיכות המסה התרמית נקרא specific heat – חום סגולי - יכולת אגירת החום בנפח מסוים של חומר כאשר ערך זה נמדד ב joul kelvin (JK) .

טבלה 2:

החומר	Specific heat (JK:joul kelvin)
גרניט	0.79
אבן גיר	1.2
בטון	0.88
לבנת אדמה או לבנה שרופה	0.84
קוב (תערובת אדמת קש וחול)	0.80-0.84 (תלוי ברמת התערובת)

ככל שעולה עובי החומר, יכולת האגירה היא לזמן ארוך יותר. מהו, לעומת זאת, חומר מבודד?

זהו חומר בו כלוא אויר ללא יכולת תנועה. האויר הוא מוליך גרוע, ולכן מעכב את מעבר הטמפרטורות מצד אחד של החומר המבודד (הצד בו הטמפרטורה גבוהה יותר – בקיץ החוץ ובחורף הפנים) לצידו השני (הצד בו הטמפרטורה נמוכה יותר, כלומר להפך). הרחבה על נושא הבידוד תינתן בפרק ו'.

שימוש בחורף: המטרה בחורף היא לאפשר לקרני השמש הנמוכות לחדור אל הבית מדרום ולהיאגר במסה התרמית של המבנה. לשם כך יש לפתוח פתחים דרומיים וליצור מסה תרמית. חום השמש הנאגר במסה התרמית במשך שעות זריחת השמש בחורף, משתחרר אח"כ באיטיות אל תוך חלל המבנה ומאזן את הטמפרטורה הלילית הקרה. כדי שפליטת החום תתרחש רק אל תוך הבית ולא אל האויר שבחוץ, על הבית להיות מבודד מבחוץ.

ניתן להשתמש במסה התרמית בחורף גם כאמצעי לניצול יותר טוב של אמצעי החימום והקירור המלאכותיים. חום התנור ייאגר בה, וכך נוכל לכבות את התנור מוקדם יותר וליהנות מחומו גם אחרי שכיבינו אותו – החום ייפלט אלינו מהמסה התרמית. הדבר נכון גם בעונת הקיץ, כפי שיוסבר מיד.

שימוש בקיץ: המסה התרמית מתקררת, באופן טבעי זה קורה מצינת הלילה. כאשר הטמפרטורות עולות עם התחממות היום, מכיוון שאגירת החום במסה תרמית מתרחשת לאט, הקרירות שהיא אגרה בלילה "נפלטת" (מושג לא מדעי אך מבהיר את התהליך) אל חלל הבית, מכיוון שכזכור הבית מבודד מבחוץ. תהליך זה יתאפשר אם נשאיר חלונות פתוחים בלילה, ואם אנו חיים באקלים בו יש משרע טמפרטורות משמעותי בין היום והלילה בקיץ. אם יש לכם חשש מבחינה של ביטחון, כדאי לשקול התקנה של סורגים או מערכת אחרת שתאפשר להשאיר לפחות חלק מהפתחים פתוחים בלילות הקיץ. נרחיב על כך בפרק הבא העוסק באוורור. אלמנטים של מסה תרמית אוגרים גם את האויר הקר שאתם מזרימים אל תוך הבית (בעזרת המזגן, למשל), ומאפשרים לצמצם את מספר השעות של שימוש באמצעי קירור.

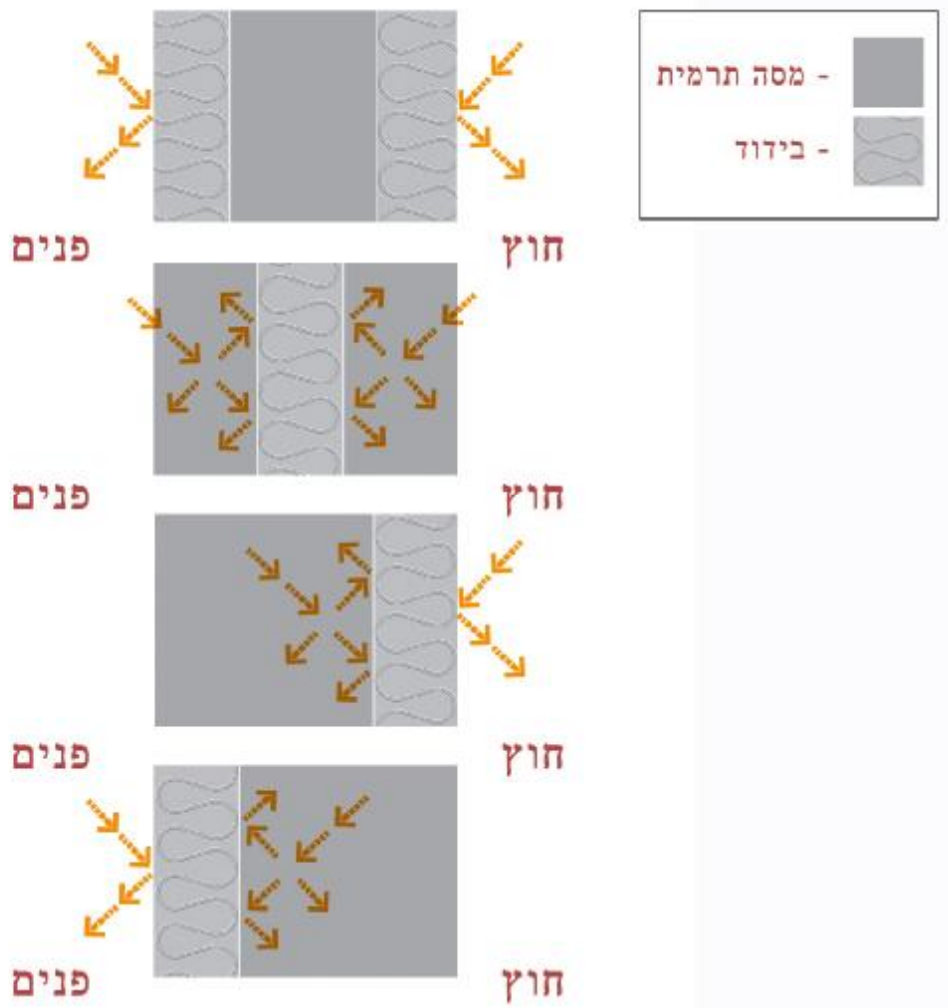
אם כך, מהם אלמנטים אלה?

אלמנט מסה תרמית הקיים בכל בית ישראלי הוא הממ"ד, שהוא גוש קירות עבים בנויים מבטון. לכן כדאי למקם בקרבתו את אמצעי החימום/קירור, וגם לחשוב היטב על המיקום שלו, כך שאולי הקירות הפנימיים שלו יהיו מול חלון דרומי.

אולם המסה התרמית המרכזית ברוב הבתים בישראל היא ברצפה. לכן, כדי שהריצוף יתפקד כמסה תרמית משמעותית, הוא צריך להיות מחומר מתאים: בטון מוחלק, יציקת אדמה, מרצפות טרצו (בלטות), אבן, או בעדיפות פחותה אריחי קרמיקה/גרניט פורצלן. באקלימים חמים כמו שלנו, לא רצוי לרצף את הבית בפרקט או שטיחים, מאחר ואין להם את התכונה של המסה התרמית.

כמובן שניתן לשלב מסה תרמית גם בקירות המעטפת החיצונית. בלוקים כבדים יודעים לעשות זאת. חשוב להבין שמסה תרמית בקירות המעטפת כדאי שתהיה ממוקמת בחלק הפנימי של קיר המעטפת בלבד, (במידה והקיר הוא רב שכבתי) והחלק החיצוני רצוי שיהיה מבודד. למשל קיר מבטון כבד המבודד מבחוץ בטיח תרמי.

איור 6 : איזון בין מסה תרמית ובידוד



קיר אבן כפול, כמו בבניה הערבית המסורתית, היה בזמנו מאפשר מסה תרמית בפנים, המבודדת מהמסה התרמית שבחוץ. בכך שיטת בניה זו יצרה הגנה על החלקים הפנימיים של קירות המעטפת.

4. אורור טבעי

4.1. משמעות האורור לגוף האנושי

האורור הטבעי (מכונה גם אורור פסיבי, בניגוד לאורור מאולץ) הוא אמצעי מעולה כדי לשפר את הנוחות התרמית במבנה. כאשר האוריר נע, אנחנו יכולים לשהות בחלל שהטמפרטורה שלו גבוהה יחסית, לעומת חלל בטמפרטורה זהה שהאוריר בו עומד.

מדוע? כיצד זה קורה? הרי תנועת האוריר אינה מורידה את הטמפרטורה כלל ובכל זאת, כאשר אנחנו פותחים חלון ונותנים לרוח נעימה להיכנס, או לוחצים על כפתור המאורור וכנפיו מתחילות להסתובב וליצור משב רוח, מיד אנו חשים הקלה.

הקלה זו מתרחשת כתוצאה ממנגנון טבעי שלנו – קירור בהסעה ואידוי. אידוי היא פעולה הצורכת אנרגיית חום רבה, והיא לוקחת אותה מהסביבה המיידית. מכירים את התחושה של הרצפה הקרירה אחרי שטיפה? הרי לא שטפנו את הרצפה במי קרח אבל פעולת האידוי שהתרחשה תוך כדי התייבשות הרצפה, שאבה את אנרגיית החום מתוך המסה של האבן, או כל חומר ריצוף אחר.

תהליך דומה מתרחש בגופנו – אנו מזיעים, וכאשר הזיעה מתאדה, התהליך צורך אנרגיית חום מגופנו, וחום זה מסתלק מאתנו והלאה. כך אנו שומרים על טמפרטורת גוף נעימה, כלומר על נוחות תרמית. משב הרוח מסלק את הזיעה ומייבש אותה, והחום עוזב אותנו דרך העור (בהסעה). לכן, כאשר הבית מאורר היטב בימות הקיץ ובעונות המעבר, סביר להניח שנחוש פחות צורך להדליק מזגנים ולצרוך אנרגיה. עלינו לזכור שאורור טבעי אינו כרוך בהשקעה נוספת, והוא מושג מתכנון נכון של המבנה והפתחים.

4.2. כיצד פועל אורור טבעי?

אורור טבעי פסיבי מושג בשני אופנים עיקריים:

§ על ידי ניצול הריבוד התרמי - הריבוד נוצר בשל העובדה שאוריר חם קל יותר מאוריר קר ושואף לעלות למעלה.

§ על ידי ניצול תנועת האוריר החיצוני (רוח) אשר יוצרת הפרשי לחצים בין הפנים לחוץ.

כללים פשוטים להשגת אורור נכון:

§ הכלל הראשון החשוב להבנה במטרה לאורור היטב את הבית, הוא שקיימים פתחי כניסה ופתחי יציאה. היחס ביניהם, הוא שיקבע את רמת ספיקת האוריר ותנועתו בבית. כמעט בלתי אפשרי לאורור חלל שיש לו פתחים לכיוון אחד בלבד, ולא משנה מה שטח הפתחים או כיוונם. לכל חדר שתכננו, פרט לממ"ד שעליו עוד נדבר בהמשך, רצוי וצריך שיהיו פתחים לשני כיווני אוריר לפחות. מהם הכיוונים הרצויים? התשובה היא התאמה בין הייעוד של החדר לבין משטר הרוחות האופייני לאזור בו נמצא המבנה, כפי שתלמדו כאשר תאספו את נתוני האקלים.

איור 7: תנועת רוח דרך המבנה



כלל אוורור שני שחשוב לנו לזכור קשור לאפשרות האוורור בעזרת ריבוד תרמי. מאחר ואויר חם הוא קל יותר מאויר קר ועולה למעלה, חשוב לנו בעונת הקיץ לתת לו אפשרות לעזוב את חלל הבית. אם במיקום העליון ביותר בבית, קרוב ככל האפשר לתקרה, נמקם חלונות או צוהרי אוורור, האויר החם ייפלט ולא יצטבר בבית. השפעת חלונות אלה בעונת הקיץ היא מכרעת. באביב פותחים אותם, ואפשר להשאיר אותם פתוחים במהלך כל הקיץ. (באקלימים המדבריים, הכוללים סופות חול, כלל זה שונה כמובן) לקראת הסתיו סוגרים אותם, כך שבעונת החורף האויר החם שבבית לא יברח החוצה אלא יישאר ויצטבר בבית לטובת חימום החלל. (לפעמים

ניקח למשל את יחידת ההורים. זהו חדר שינה, שהשימוש בו הוא בעיקר בלילה, ולא שוהים בו כמעט בכלל במשך היום. לכן נתוני משטר הרוחות הרלוונטיים כאשר באים לקבוע את מיקום החדר והפתחים שלו הם הנתונים לגבי ערבי ולילות הקיץ ועונות המעבר. אפשר לראות שבערב חלון הכניסה צריך להיות צפון מערבי, ובלילה נושבת רוח דרומית, לכן כדאי שיהיה גם חלון כניסה דרומי. צריכה להיות השתדלות, מבחינת הסידור האדריכלי של הבית, שיהיו פתחים בחדר זה בשני כיוונים אלו.

מכנים אותם חלונות סוכות-פסח) כאשר אויר חם עוזב את הבית דרך החלונות העליונים, נוצרת יניקה שמושכת אויר מהחלונות הנמוכים, וכך, בעזרת העיקרון של ריבוד תרמי, נוצרת נשיבה קלה בבית ללא כל תלות ברוח. רצוי למקם חלונות אלה בכיוון היציאה של הרוח ולא בכיוון הכניסה.

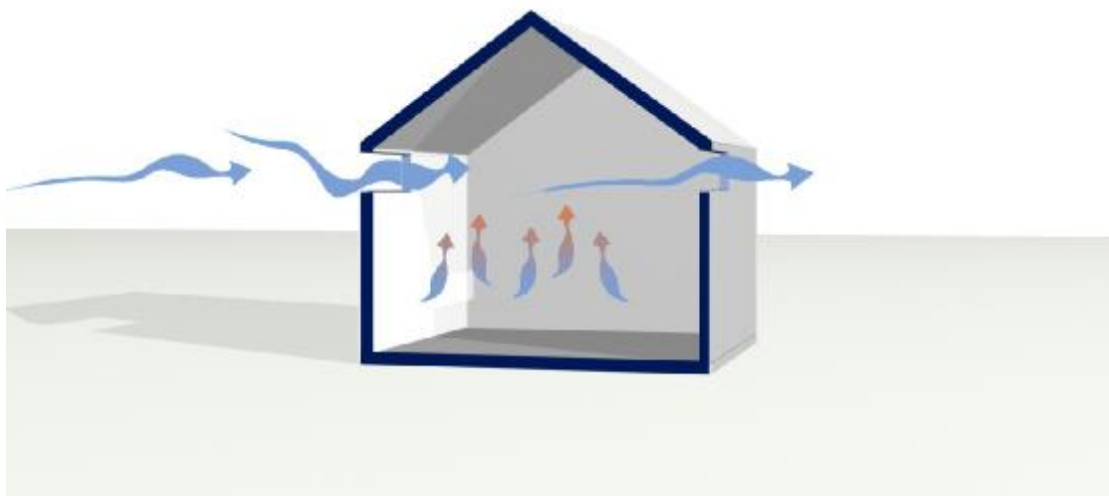
§ לחלונות הנמוכים חשיבות רבה – הם מהווים את פתחי הכניסה של אויר קריר וכבד, בייחוד בלילות קיץ. אם דאגנו למסה תרמית בתוך הבית, אוורור לילה זה יצנן אותה. הדבר בא לידי ביטוי ביתר דגש בפתרון של הפאטיו, שיוסבר בסעיף 5.

איור 8 : ריבוד תרמי



ריבוד תרמי באופן הפשוט ביותר (למעלה) וריבוד תרמי על ידי יצירת תת לחץ (למטה)

איור 9: ריבוד תרמי ע"י תת לחץ



4.3. סוגי פתיחה שונים של חלונות

לאחר שקבענו בצורה מושכלת את מיקום הפתחים וגודלם, בהתאם לשיקולי שימור אנרגיה, תאורת יום ואוורור טבעי, נותרו לנו שלוש החלטות לגבי החלונות: סוג הפרופיל (נעסוק בו בפרק ו' - בידוד), סוג הזיגוג (התעמקות בכך בפרק ז' - זיגוג), וצורת הפתיחה של החלון. מטרתנו היא לאפשר אוורור אופטימלי וגם שימור אנרגיה אופטימלי, כלומר, לא יותר מדי פתחים מזוגגים כפי שהוסבר בסעיף ג.3, ועם זאת מספיק אוורור.

לשם כך כדאי לאפשר פתיחה מקסימלית של החלונות. חלונות הזזה, שהם הפופולריים והזולים ביותר בנמצא, מאפשרים רק לחצי או שליש מהמפתח להיות פתוח לצורך אוורור, מה שיכול לגרום לנו להחליט על חלון גדול יותר ולפגוע בשימור האנרגיה. להלן השוואה קצרה בין סוגי הפתיחה השונים:

טבלה 3:

הערות	רשת ותריס	אוורור	איטום רוח ומים	סוג
תריס רפה מאפשר איזון אוורור ותאורה	גלילה או הזזה אפשר תריס רפה	מאפשר רק חצי מפתח לאוורור טבעי	בד"כ ע"י מברשות, אטימה בינונית	הזזה אופקית
בעייתי בקירות דקים של 20 ס"מ*	בהזזה לכיס	מאפשר מפתח מלא או חלקי לפי הצורך	אטימה בעייתית, יש להקפיד מאד על רמת הביצוע	הזזה לכיס
מצוין בחלונות ארוכים, לאוורור גבוה ונמוך	רשת הזזה אנכית, תריס גלילה	מאפשר רק חצי מפתח לאוורור, אך מתאים מאד לאוורור בריבוד תרמי**	בד"כ ע"י מברשות, אטימה בינונית	הזזה אנכית גיליוטינה
יש להשאיר מקום להישענות הכנפיים על הקיר הפנימי	קיימות כמה אפשרויות***	מאפשר אוורור מלא או חלקי לפי הצורך	אטימה בגומיות – טובה מאד	כנפיים על ציר
מתאים מאד לחלונות גבוהים לשחרור אויר חם	קיפים קטנים מיושמים בד"כ עם רשת קבועה וללא תריס. אפשר גלילה	מאפשר אוורור מלא וגם חלקי	אטימה בגומיות – טובה מאד	קיפ – ציר עליון או תחתון
יש להשאיר מקום להישענות הכנף על הקיר הפנימי	קיימות כמה אפשרויות***	מאפשר אוורור מלא וגם חלקי	אטימה בגומיות – טובה מאד	דריי קיפ

* מכיון שהמסילות של האלמנטים השונים תופסות מקום רב, נוצר מצב שהקירות משני צידי המסילה צריכים להיות דקים מאד כאשר הקיר הוא בעובי 20 ס"מ בלבד. מכיון שבבניה

קונבנציונלית אין בלוק מתאים, מבצעים הרבה פעמים את הקיר באזור חלון הכיס עם אלמנט בטון מוכן מראש או ביציקת בטון. אלמנט זה מהווה גשר קור (ראו הסבר למושג זה בפרק ו' – בידוד). לכן התנאי לשקול שימוש בחלונות כיס הוא רק כאשר יש קירות כפולים עם מרווח אויר ביניהם, שניתן לנצלו למסילות מבלי לשנות את איכות הבלוקים ולהזדקק ליציקות בטון דקות. גם במצב זה יכולה להיות בעיית אטימות בגלל כשל אופיני בביצוע, ולכן חלונות כיס נמצאים פחות ופחות בבניה העכשווית.

** חלון מסוג הזה אנכית מאפשר להשאיר פתח קטן עליון, כלומר להיזי רק את הכנף העליונה במעט למטה. זה יכול לשמש כפתח יציאת אויר חם, אם החלון ממוקם קרוב לתקרה. אפשר להשתמש באותה תכונה של חלון ההזזה האנכית כדי ליצור פתח נמוך לכניסת אויר קריר מאזורים נמוכים בהם מצטבר האויר הקר, כמובן בתנאי שהקו התחתון של החלון נמצא בגובה נמוך, לפחות 50 ס"מ מפני הריצוף או אף נמוך יותר.

*** אפשרויות של תריסים והיתרונות והחסרונות שלהם יידונו בפרק ח' - הצללה.

4.4. אמצעי אוורור טבעי מסורתיים

4.4.1. פאטיו \ חצר פנימית

הפאטיו היה מאז ומתמיד אלמנט אדריכלות ים-תיכוני אופייני. זה נובע ישירות מהתכונות האקלימיות שלו. ראשית הפאטיו יכול להיות מכוון אל כיוון הרוח הרצויה, והוא כונס ומכוון אותה אל הפתחים שסביבו (זה במידה ויש לו רק שלשה קירות). כאשר הפאטיו תחום בארבעה קירות במרכז הבית, הוא משמש מעין "בור איסוף" לאויר קריר. זה מקום שבו נכלא אויר קר בשעות הלילה בקיץ (מעצם היותו כבד יותר ושוקע כלפי מטה). בלילות החלונות אל החדרים הסובבים את הפאטיו נשארים פתוחים, וכאמור האויר הקר מצנן את המסה התרמית הפנימית של חדרים אלה.

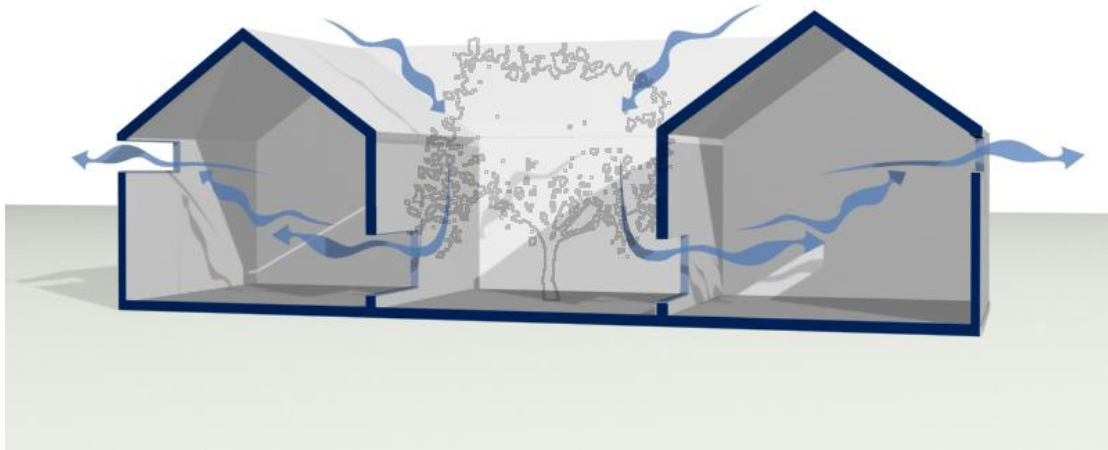
כאשר השמש עולה ומכה, סוגרים את החלונות הללו, והאויר הקר נשאר בפנים. האויר החם שמתחיל להיווצר בפאטיו עולה כלפי מעלה, ומאחר שאין קירוי, הוא לא נשאר בחלל זה. במשך היום פתחי החדרים מוגפים וכך נשמרת הטמפרטורה הנמוכה על ידי המסה התרמית עד שעות הערב. בשעות הערב הטמפרטורה הפנימית עולה מעבר לטמפרטורה החיצונית ובזמן זה נפתחים הפתחים החיצוניים וגם הפתחים לפאטיו \ חצר. האויר שהתחמם בחצר כל היום עולה למעלה, יוצר יניקה בחלל החצר אשר גורמת להחדרת אויר קריר מהחלונות החיצוניים לתוך החללים.

ניתן לשפר את תפקוד מערכת האוורור הזו על ידי הוספת מזרקה או בריכת נוי במרכז החצר, כדי להוסיף לחות לאויר באקלימים מדבריים, או על ידי נטיעת עץ נשיר כדי להצל על החצר. בחורף ניתן לקרות את הפאטיו ולהפוך אותו לחממה שממנה אפשר לפזר אויר חם בבית דרך חלונות גבוהים שנמצאים גם הם בקירות הפאטיו. כמובן שיש לדאוג שהקירוי יהיה הפיך, דינמי כך שיהיה ניתן להסרה בקיץ.

אלמנט זה של החצר הפנימית הפתוחה מנצל את תופעת הריבוד התרמי. אנו מנצלים את משרע הטמפרטורות בין היום והלילה – כלומר את התקררות האויר בשעות הלילה - כדי ליצור אוורור

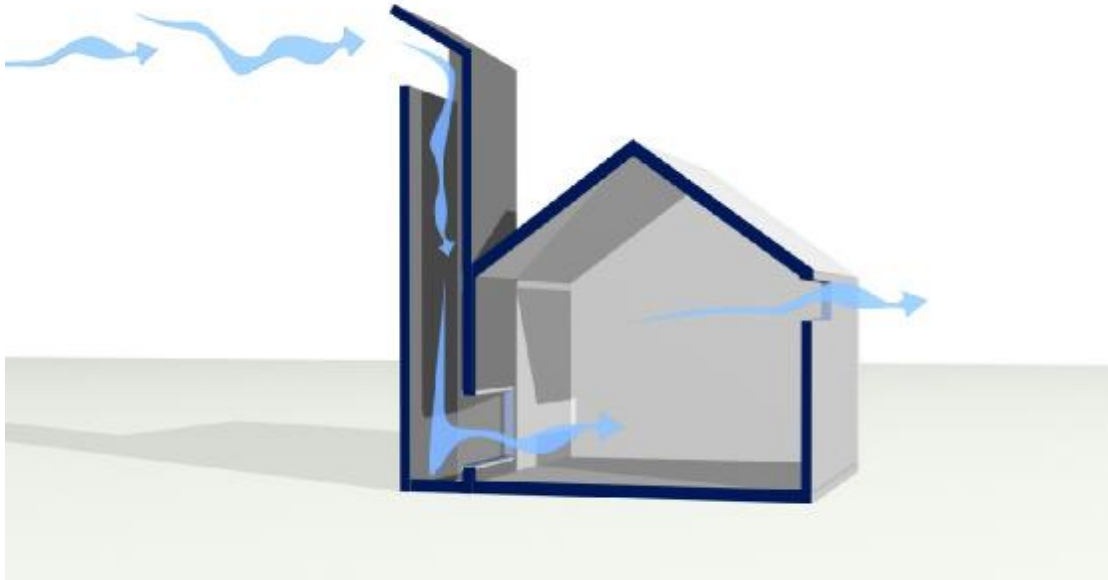
מתוחכם. אפשר להשתמש היטב בפאטיו בהר הנגב, בירושלים ובשפלה. במקומות שבהם האקלים לח מאד והלילות חמים, החצר הפנימית יכולה לפעול בצורה הפוכה ולהזיק לאקלים הבית.

איור 9: הפטיו כמערכת מיזוג טבעית



ארובות רוח

אמצעי אוורור מסורתי מקומי נוסף הוא ארובות הרוח, המכונות גם לוכדי רוח (wind catchers) ובערבית מלקף. בניגוד לפתחים העליונים או לארובות הפסיביות שמיועדות לשחרור אויר חם (יובהר בסעיף הבא), ארובות אלו מיועדות לכינוס הרוח והחדרתה אל המבנה מגבוה. באזורי בניה צפופה כמו הקסבות של הערים המוסלמיות המסורתיות, כאשר הבתים והסמטאות לא מאפשרים אוורור טבעי מהחלונות, הארובות לוכדות את הרוח בגובה שמעל גגות העיר. פתחי הארובות פונים אל כיוון הרוח העיקרי, והצד האחורי חסום, מה שגורם לאויר לגלוש כלפי מטה אל פתחים המאפשרים לו להיכנס אל חלל הבית או אל החצר הפנימית. גם לארובה ניתן להוסיף אלמנט של לחות על ידי טפטפות הנמצאות ברום הארובה. ניתן כבר לראות ניצנים של חזרת ארובות הרוח – בבנין איגוד ערים לאיכות סביבה בסחנין, ובבתים פרטיים בזכרון-יעקב, פרדס חנה ומושבים בשרון.



תעלות תת קרקעיות

"פטנט" אחר לאוורור הוא בעצם דרך טבעית של אוורור מאולץ, ע"י העברת אויר צח בתעלות תת קרקעיות. טמפרטורת פנים הקרקע, בעומק של כ 200 ס"מ, היא קבועה ויציבה כמעט בכל מקום בעולם, ובקיץ היא קרירה יותר מטמפרטורת האויר בשעות היום. בשיטת האוורור בעזרת תעלות תת קרקעיות אנו מנצלים את טמפרטורת האדמה באופן פשוט יחסית וללא מיכשור המחליף חום. מטמינים צנרת בקוטר של לפחות 40 ס"מ בעומק הרצוי, כאשר אורך המסלול הוא לפחות 20 מ'. (יש לציין שמספרים אלה לא תקפים בכל מקום, והם תלויי נפח החלל, טמפ' בחוץ וכד') לעיתים יש צורך להיעזר בוונטה (מאוורר) שתדחוף את האויר בקצה המיועד לכניסה, ולפעמים מספיק לכוון את הפתח לכיוון הרוח העיקרית. זה תלוי כמובן בעצמת הרוח המקומית. בבית עצמו יש פתחי יציאה בצורת פתח עגול או גריל הממוקם נמוך בקיר, והאויר עולה אל חלל הבית. אפשר להוסיף ארובה שמיועדת למשוך את האויר, אם הספיקה לא מספיקה. אמצעי זה מיועד בייחוד לאקלימים יבשים, מכיון שבאקלימים לחים יש סכנה שהתעלה תתמלא בעובש ופטרייות, והאויר שיוחדר לבית יהיה בעל ריחות לא נעימים ואיכות ירודה. חשוב לציין שאמצעי זה לא נוסה עדיין מספיק בארץ כדי שניתן יהיה להסיק מסקנות מלאות לגבי אופן השימוש בו.

משרביה

עוד אמצעי מסורתי פשוט הוא המשרביה, שהיא בעצם אמצעי הצללה ונרחיב עליה את הדיבור בפרק ח', אבל יש לה גם אפקט של אוורור. חצרות המוקפות בקירות מחוררים המכונים משרביות אנו מוצאים בעיקר באדריכלות המסורתית המדברית. על ה"מדפים" הפתוחים

והנישות שנוצרות בתוך המשרביה, נהגו להניח כלי חרס פתוחים מלאים מים קרירים. כאשר הרוח חולפת על פני אותו קיר בדרכה אל הבית, היא נעשית לחה יותר, ואל החצר המוצלת חודר אויר לח, שהוא משיב נפש לאדם היושב בצל החצר המקורה באקלים המדברי היבש.

4.5. אוורור חללי הגגות

הגג השטוח הוא הגג המסורתי באזור המזרח התיכון, ולא בכדי. ראשית, הוא מתאים לאזור שלנו, שאין בו שלגים וגם לא הרבה ימי גשם. ניתן לעלות אליו, לייבש עליו פירות ומזונות שונים, והחשוב ביותר מבחינתנו – ניתן להצל עליו בסוכה, בדרך כלל סוכת גפנים, וכך הגג מתאוורר מאליו על ידי הרוח בהסעה. לשם כך יש לאפשר חדירת רוח אל הגג: כאשר מתכננים מעקה בנוי, כדאי לפתוח בו פתחים רבים ככל האפשר כדי לא לחסום את אוורור הגג. כאשר התכנון האדריכלי של הבית מכתוב גגות משופעים, או חללים כלשהם בהם כלוא אויר בין התקרה לגג, חשוב מאד לאוורר חללים אלה. אל חלל הגג עולה אויר חם מהבית, ואם נוסיף לכך את התחממותו הנוספת של האויר בחלל זה כתוצאה מכך שהשמש מכה על הגג במשך כל שעות היום, נבין שהטמפרטורה בגג יכולה לעלות עד מעל ל-60°C. תחלופת האויר בחלל זה חשובה מאד, לכן צריך לאוורר את חלל הגג. האויר החם שמצטבר בגג "מכביד" בחומו על חלל המגורים שמתחתיו, והחום עובר פנימה. זה קורה אם מדובר בתקרת גבס או רביץ, ובייחוד אם התקרה יצוקה, מכיוון שאז המסה התרמית שלה מתחממת ולוקח לה זמן רב להתקרר.

אמצעי אוורור לחלל הגג:

- § רעפי אוורור: ניתן להשיג אצל כל ספקי הרעפים. יש למקם חלק מהרעפים בכל אחד משיפועי הגג.
 - § ארגז רוח מסורתי עם פתחים בכל הצדדים.
 - § מאוורר גג פסיבי (ונטה): ניתן להשיג אצל ספקי פתרונות לגגות.
 - § ונטה חשמלית, מעין מפוח שיונק אויר מחלל הגג וזורק אותו החוצה.
- חשוב להקפיד על הפיכות האלמנט – ע"י כפתור הפעלה, חיישן או טרמוסטט שמפסיק את יניקת האויר בחורף, או ברעפי אוורור כיסוי הפתחים בחורף. כמובן שיש צורך גם בבידוד, אבל על כך בפרק ו'.

5. תאורה

”...ויאמר אלהים יהי אור ויהי אור: וירא אלהים את האור כי טוב ויבדל בין האור ובין החושך:
ויקרא אלהים לאור יום ולהשך קרא לילה”

(בראשית א', ב' – ה')

5.1. תאורה טבעית, חשיבותה ויתרונותיה

אור השמש קשור בתודעתנו עם בהירות, שמחה, חמימות ובריאות. מחקרים רבים נערכו בעולם לגבי חשיבות התאורה הטבעית לתפקוד מיטבי ולרווחת המשתמשים במבנים. מחקרים שנערכו בבתי ספר בארה"ב מצביעים על הישגים טובים יותר בלימודים לתלמידים השוהים ולומדים בכיתות המוארות באור טבעי לעומת תלמידים השוהים בכיתות המוארות באור מלאכותי. מחקרים שנערכו במשרדים ומקומות עבודה מראים נוכחות רבה יותר של העובדים במשרד ופחות ימי היעדרות מטעמי מחלה לעובדים בחללים אלה. מעבר לפן התפקודי והבריאותי, ישנו כמובן הפן האנרגטי. צריכת אנרגיה לתאורה יכולה להיות בזבזנית מאד, וכל מקום ואזור בבית שנצליח להביא אליו אור יום ולמנוע את הצורך להאיר בתאורה מלאכותית בשעות זריחת השמש יהווה עוד מקור חיסכון באנרגיה ובזיהום הנגרם מצריכתה.

5.2. יחידות המדידה

בתחום התאורה אנו נתקלים ביחידות מדידה שונות ולעתים מבלבלות. ננסה להביא כאן את היחידות השונות וסימוניהן, כדי לעשות סדר בתחום זה:

WAT – וואט - עוצמת הקרינה במקור האנרגיה, שיכולה להיות קרינת השמש או נורה.

LUMEN - לומן - שטף האור הנוצר ממקור האנרגיה.

נצילות אורית היא היחס בין לומן לוואט, כלומר מושג המודד מהו שטף האור שניתן לקבל מכל מקור אנרגיה.

LUX – לוקס - עוצמת ההארה - זהו המדד הקובע מבחינתנו כצרכני קצה: הוא מודד כמה אור אנו צריכים לכל סוג של פעילות. עוצמת ההארה נובעת גם משטף האור, אבל גם מגורמי בליעת האור השונים שמסביבנו. כלומר, אם חדר בו משטחים כהים יקבל אותו שטף אור (לומן) כמו חדר בו משטחים בהירים, בחדר השני ימדדו יותר יחידות לוקס מאשר בראשון, כלומר עצמת ההארה תהיה גבוהה יותר.

CRI - מקדם מסירת הצבע (colour rendering index): המקדם מאפשר להשוות את איכות הצבע של האור המופק ממקור אור כלשהו ביחס למקור ייחוס מתאים. אור היום וגם נורת הליבון הם מקורות ייחוס. מקדם מסירת הצבע המושלם הוא 100%. ככל שהמספר קטן, גרועה יותר מסירת הצבע של מקור האור הנידון.

5.3. כמות אור לפי ייעוד החלל והחדרת אור יעילה וחסכונית

שתי השאלות הראשונות שנשאל לגבי תאורה, בין טבעית ובין מלאכותית, הן:

- לכמה אור אנו זקוקים לפעילות המסוימת לה מיועד החלל?
- כיצד נוכל להחדיר אור במידה זו לחלל ביעילות האנרגטית המרבית, כלומר עם כמה שפחות החדרת חום?

בתשובה לשאלה א': מצורפת טבלה המשקלת המלצות של תקנים ישראליים ובינלאומיים לגבי עוצמת ההארה הנדרשת:

טבלה 4:

החלל והפעילות העיקרית	עוצמת ההארה המומלצת - בלוקסים
משרד ארכיטקטים - עבודת שרטוט (שולחן ולא מסך מחשב)	800 - 1,000
משרד	500 - 800
אולם הרצאות גדול	500 - 600
כיתת בית ספר	400 - 500
מבנה תעשייה - תאורה כללית	300 - 400
- מכונות ייצור	500 - 1,000
- תעשיית דיוק	1,000 - 2,000
ספרייה - תאורה כללית	300 - 400
- שולחנות הקריאה	500 - 600
חדר מגורים	300 - 500
חדר שינה	150 - 300
חדרי מדרגות	150 - 200
פרוזדורים ומעברים	100 - 150

בתשובה לשאלה ב':

כאשר אנו ניגשים לבחור גופי תאורה, נמצא ברבות מהחברות העוסקות בתחום את יועצי התאורה, שיוכלו לתרגם לנו את האינפורמציה הנמצאת על הנורה (בדרך כלל כוללת רק את עוצמת הקרינה ווואט) למידע לו אנו זקוקים: שטף האור ועוצמת ההארה. לשם כך עלינו למסור אינפורמציה לגבי צבעי הקירות והתקרה המתוכננים, המרחק בין מיקום הנורה למטרה אותה היא צריכה להאיר, וכן ריהוט החדר וצבעי המשטחים השונים.

אולם כאשר אנו באים לבדוק האם תכנון הפתחים המזוגגים בבית או בחלל שאנו מתכננים יוכל להחדיר מידה מספיקה של אור יום, אנו צריכים לזכור כי המקור שלנו חזק בהרבה מהצורך:

תוצאות המדידות בבית דגן מראות כי בין השעות 8.00 ל- 16.00 בחודשים מרץ עד סוף אוקטובר (8 חודשים) עולה עוצמת ההארה המפוזרת על 15,000 לוקס.

בין נובמבר עד סוף פברואר (4 חודשים) מגיעה עוצמת ההארה המפוזרת הממוצעת ל-5,000 עד 10,000 לוקס.

כך שאין ספק כי נוכל להחדיר לחלל מספיק אור ככל הדרוש לנו, בחשיבה נכונה ותוך התחשבות בשימור אנרגיה ואוורור. יש לזכור שעוצמת ההארה הטבעית הנ"ל היא ממוצעת, ובתוך הבניין היא כמובן פוחתת ככל שאנו מתרחקים מן החלונות.

5.3.1. כיצד לשפר את חדירת האור ללא תוספת בחדירת חום

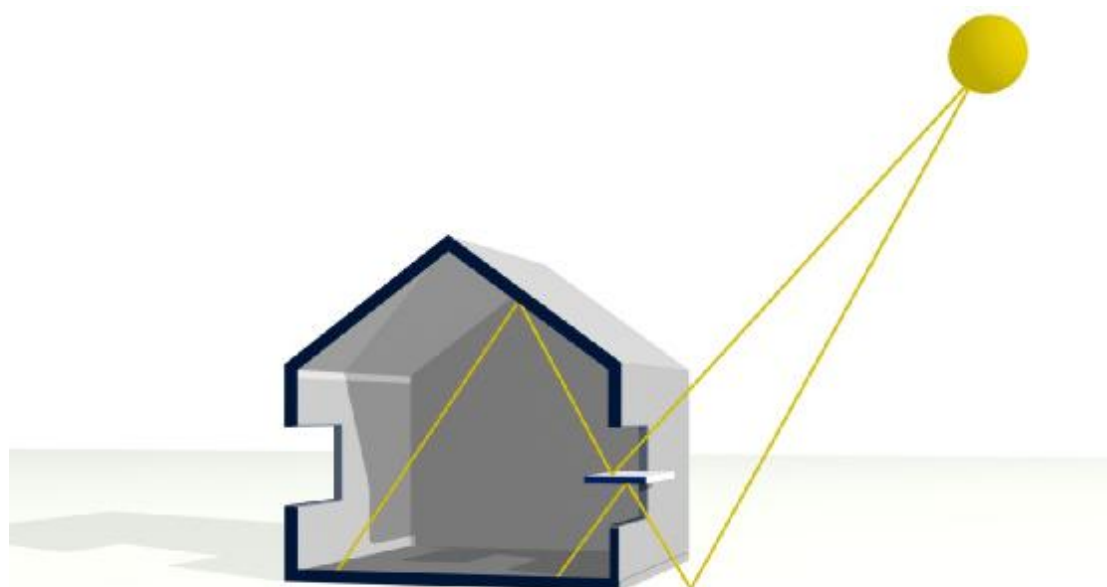
הצללה ומדפי תאורה

עוצמת ההארה המפוזרת הבאה מכיפת הרקיע חשובה לנו במיוחד לצורך חישובי ההארה הטבעית בבניינים. כדי להגיע לרמת התאורה הטבעית הרצויה ללא "תשלום" בחימום החלל, אנו מתקינים הצללה כדי למנוע את החדירה של אור השמש הישיר פנימה להגנה מסנוור וחימום יתר.

יש להימנע מהצללות קבועות בחומרים קשיחים (כמו רעפים), מכיוון שהן גורמות להחשכת החלל, בין השאר. לצרכי תאורה כדאי להשתמש בהצללה הניתנת לכוונון, כגון תריס רפה או פרגולת תריס ממונעת. (ראה פרק הצללה).

ניתן למקם את הצללה כך שתשמש גם כמדף תאורה. זה יכול להתרחש אם אלמנט הצללה עשוי מחומר בהיר, וממוקם בשליש העליון של החלון ולא ממש מעליו. האור הפוגע במדף הצללה חודר אל החדר ומוחזר דרך תקרתו.

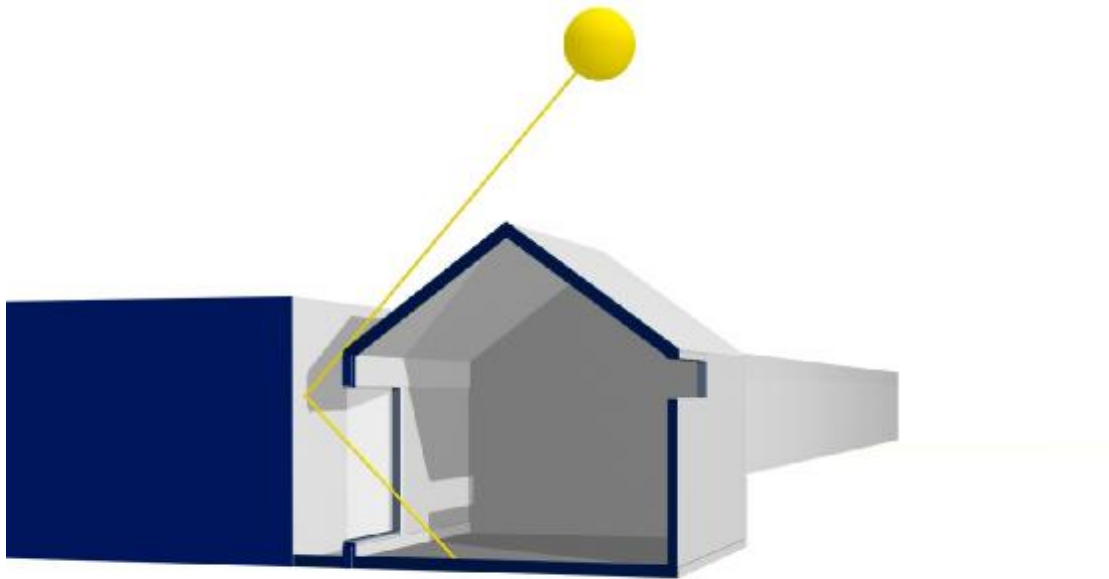
איור 11: מדף תאורה



פירי תאורה

הצללה איננה הדרך היחידה למנוע חדירת קרינה ישירה. אפשרויות טכנוניות נוספות ליישום מטרה זו הן פירי תאורה, הנהוגים לעיתים במבני ציבור שכלול מסוים של פיר התאורה הפשוט היא ארובת אור – צנרת עם רפלקטורים, המחדירה את האור מכיפת פוליקרבונט קטנה בנמצאת מעל הגג לעומק של עד 8 מ' לתוך הבנין. האור המתקבל הוא לבן למדי ושונה במעט מאור השמש, ועוצמתו תלויה כמובן בעוצמת האור החיצוני. מוצר זה קיים בארץ ובעולם למכירה כמוצר מדף תחת שמות מותגים שונים, הוא מגיע בקטרים שונים המתאימים לחללים בגדלים שונים, גם לבתי מגורים. מומלץ כפיתרון לחללים שאין דרך אחרת להאירם.

איור 12 : פיר תאורה טבעית



5.3.2 פתחים

אמצעי פשוט הוא חלונות קרובים לתקרה הגורמים לפיזור נכון יותר של האור על התקרה, ובנוסף לתפקידם כמשחררי אויר חם מועילים גם למטרה של תאורה עקיפה.

החדרת אור עם פחות חום מתרחשת גם באמצעות הזיגוג, על כך ארחיב בפרק המיועד.

5.3.3 תאורה מלאכותית: סוגי הנורות ויעילותן האנרגטית

כדי שנורה תיחשב ליעילה מבחינה אנרגטית, כלומר לנורה חסכונית – התנאי הראשון הוא שלא תפיץ חום. ככל שהנורה מפיצה יותר חום – כך היא מפיצה פחות אור. בגלל תנאי האקלים אצלנו, על כל הפצה של חום בחלל אנו צורכים אנרגיה פעמיים – בפעם הראשונה עבור החשמל שצורכת הנורה עצמה, ובפעם השנייה עבור חשמל נוסף הדרוש כדי למזג את החדר ולסלק את החום.

נורות להט

הנורות המייצרות חום נקראות נורות להט, וכשמן כן הן. האור מופק מחוט שמתלהט. חלק קטן מאנרגיית הלהט הופך לאור (כ-10%), ואילו חלק הארי - לחום. - זוהי יעילות נמוכה מאד, הגורמת לבזבז אנרגיה. בקטגוריה של נורות הלהט אנו מוצאים את נורת הליבון הפשוטה והמוכרת, את נורות ההלוגן, ועוד סוגים מוכרים פחות לקהל הרחב.

בכל זאת לאורך כל השנים נורות הלהט היו מאד פופולריות, זאת הודות לצבע האור שלהן, ולמחירן הזול. כאן מתקיימת היטב האמירה "הזול הוא יקר", מכיוון שאורך החיים של נורת להט הוא קצר מאד - כ-1000 שעות בלבד. תרומה משמעותית להצלחה של נורות הלהט הייתה הבעייתיות של נורות הפריקה או הפלורסנטים, שסבלו לאורך השנים ממגוון בעיות שהיום הולכות ונפתרות.

נורות פריקה

ראשית יש להבין את דרך הפקת האור בנורות פלואורסנט. הן נקראות נורות פריקה כי הן פועלות על פי העיקרון של פריקה חשמלית הנגרמת כתוצאה ממעבר זרם חשמלי בגז. לפריקה זו תכונה של הופעת קרינה באורכי גל שונים. במשפחת נורות הפריקה נכללות הנורות הפלואורסנטיות לסוגיהן שאורך החיים שלהן נע בין 10,000 ל-15,000 שעות.

נורה פלואורסנטית זקוקה לאמצעי עזר לצורך הפעלתה, כגון מתנע (סטרטור) ומשנק (צ'וק), כמו ברכבים). המשנק המסורתי היה משנק מכני, ולקח לו כמה שניות לפעול, מה שהתבטא בהבהוב של האור מעט לפני שנדלק סופית. בנוסף, צבע האור בפלואורסנט היה לבן וקר מאד. סיבות אלו הפכו את תאורת הפלואורסנט החסכונית למבוקשת פחות ומתאימה פחות למטרות ביתיות מאשר תאורת הלהט.

היום המשנק הוא אלקטרוני ואינו מהבהב, ונורות פלואורסנטיות מגיעות במגוון גדלים, צבעי אור ואמצעי חיבור לבתי המנורה. אנו יכולים למצוא נורות EL, PL, וגם את נורת ה-CFL (נפ"ק - נורת פלואורסנט קומפקטית) החסכונית, בארבעה צבעי אור - לבן, אור יום, ושני סוגי אור חם (הנבדלים ביניהם בטמפרטורת האור). כמו כן אנו מוצאים היום נורות עם הברגה לבית מנורה

רגיל, מהסוג שנמצא בכל בית, מה שמאפשר לנו להחליף את נורות הליבון בנורות CFL.

פוטנציאל החיסכון שלנו בפעולה פשוטה זו הוא רב: ראשית אנו חוסכים פסולת, בכך שאנו מחליפים נורה שאורך החיים שלה קצר בנורה שאורך החיים שלה ארוך פי 10 עד 15. שנית, אנו חוסכים אנרגיה, ובכך חוסכים גם כסף:

נפ"ק - נורת פלורסנט קומפקטית.

טבלה 5: חסכון כספי וסביבתי מתאו רה פלורוסנטית

טבלת חסכון כספי וסביבתי ממוצע לנפ"ק בודדת (8000 שעות)								
נורת ליבון	מחיר ואורך חיים	נפ"ק שוות ערך	מחיר ואורך חיים	סה"כ מחיר (נורות + חשמל) ל-8000 שעות		חסכון לנפ"ק בודדת		
				ליבון	נפ"ק	כסף	חשמל (קוט"ש)	פחמן (ק"ג)
100w	2.5 ש"ח / 1000 שעות	W20	20 ש"ח / 8000 שעות	420 ש"ח	100 ש"ח	320 ש"ח	640	500
75w	2.5 ש"ח / 1000 שעות	W15	20 ש"ח / 8000 שעות	320 ש"ח	70 ש"ח	250 ש"ח	480	375
60w	2.5 ש"ח / 1000 שעות	W12	0 ש"ח / 8000 שעות	260 ש"ח	68 ש"ח	192 ש"ח	384	300

טבלה 6: השוואה בין נורות שונות

המקור	נצילות אורית (לומן/ואט)	מקדם מסירת הצבע (%)
נורות ליבון		
1. נורות לשימוש רגיל - 100 וואט	13.5	100
2. נורות הלוגן	22	100
נורות פלואורסנטיות - נורות ארוכות		
3. לבן	80	70
4. לבן חם	80	65
5. דה-לוקס	55	85
6. נורות עם ציפוי תלת שכבתי	90	85
נורות קומפקטיות		
7. לבן חם רגיל	55	70
8. נורות עם ציפוי תלת שכבתי	70	85
נורות פריקה בעוצמה גבוהה		
9. כספית	55	50
10. כספית הלידית	70	70
11. נטרן בלחץ גבוה	150	40
12. נטרן בלחץ גבוה (צבע משופר)	120	60
אור טבעי		
13. אור השמש	100	100
14. אור מפוזר מהרקיע	125	100

6. בידוד

מטרת הבניה הירוקה היא כאמור הנוחות התרמית, שעסקנו בהגדרתה בפרק הראשון. כדי להועיל למטרה זו באמצעות בידוד, עלינו למנוע או לפחות לעכב את מעבר החום דרך מעטפת המבנה, דהיינו קירות, רצפות גגות וחלונות.

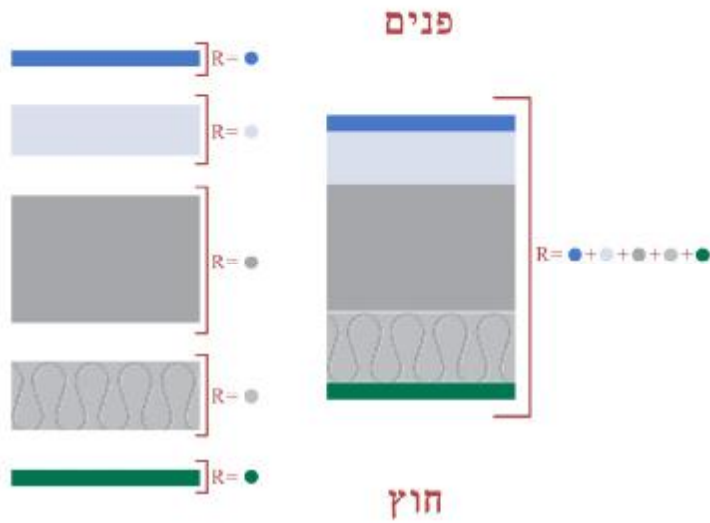
מעבר חום מתרחש תמיד מאזור חם לאזור קר, מהטמפרטורה הגבוהה אל הנמוכה. (כדי לזכור זאת אפשר להיזכר בזרימת מים – תמיד ממקום גבוה לנמוך). מעבר חום מתרחש בשלוש דרכים: א. הולכה – מעבר חום דרך חומר. (למשל דרך חומר הבניה של הקיר) ב. הסעה – מעבר חום דרך נוזל או גז. (כאשר האויר נע, חום עובר בהסעה) ג. קרינה (בתחום האינפרא אדום) – שידור קרניים אלקטרומגנטיות בחלל.

6.1. הגדרת חומר מבודד

תכונת הבידוד של חומר היא יכולתו לעכב ולהאט את מעבר הטמפרטורות מצד אחד של החומר – הצד בו הטמפרטורה גבוהה יותר, לצד השני של החומר בו הטמפרטורה נמוכה. כאשר מדובר במבנה הרעיון הוא לעכב את חדירת החום מהחוץ לפניים בעונת הקיץ, ואת בריחת החום מבפנים החוצה בעונת החורף.

כל חומרי הבידוד, כמעט ללא יוצא מן הכלל, עושים זאת על ידי כליאת אויר. אויר, כאשר הוא כלוא ואינו בתנועה, הוא מוליך חום גרוע, כלומר מבודד טוב. פעולה שונה עושים רדידי האלומיניום, שתפקידם למנוע מעבר חום בקרינה, והם עושים זאת באמצעות רפלקטיביות, כלומר הדיפת הקרינה בחזרה לכיוון ממנו הגיעה.

את יכולת הבידוד של החומר, הנקראת בשפה מקצועית מקדם ההתנגדות התרמי, אנו מודדים בערך הנקרא R value. זוהי משוואה של מעבר החום במטר מרובע של חומר. ככל שערך זה גבוה יותר, יכולת הבידוד של החומר משתפרת. כמו כן, ככל שהמסה התרמית שבחומר פחותה, ערך הבידוד הנדרש ממנו גבוה יותר, מכיון שאין לו בכלל יכולת אגירת חום, ויש לפצות על כך ביכולת בידוד גבוהה. יכולת ההתנגדות התרמית של קיר או אלמנט אחר במעטפת המבנה, נקבעת לפי סך כל מרכיביו:



בסעיף 6.3 תוכלו לראות השוואה בין חומרים שונים מבחינת ערך ההתנגדות התרמית.

6.2. ת"י 1045 התקן הישראלי לבידוד תרמי

אזורי הארץ השונים לפי התקן

התקן הישראלי מחלק את הארץ לארבעה אזורים אקלימיים ראשיים:



איור 13: אזורים אקלימיים

אזור א' הוא בעיקרו רצועה צרה לאורך חוף הים התיכון. הישובים מכמורת וחדרה לדוגמא, נכללים באזור א', ואילו מרחק של 8 ק"מ מזרחה, הישוב פרדס-חנה כרכור כבר נכלל באזור ב' (וכמוהו גם הישוב זכרון יעקב, למרות מיקומו הגבוה יותר, היותו חשוף יותר לרוחות ובאקלים שונה מעט). זוהי דוגמא טובה לכך שהחלוקה לארבעה אזורים אקלים היא כללית למדי. אזור א' מושפע מאד מהים התיכון: זוהי כמובן השפעה ממתנת וממזגת – הפרשי הטמפרטורות באזור א' הם קטנים ולא משמעותיים, והלחות גבוהה מאד בכל השנה.

אזור ב' כולל את מישור החוף הפנימי, את השפלה, רמות מנשה, השרון, הגליל התחתון והכרמל. כמו כן חלקים מהנגב: אזור באר-שבע, והנגב המערבי. את אזור ב' מאפיינת הפחתה בהשפעה הממתנת של הים התיכון – כלומר אחוזי לחות נמוכים יותר בשעות היום, ומשרע טמפרטורות מעט יותר משמעותי בין היום ללילה.

באזור ג' נכללים ישובים באזורים הגבוהים והקרים יותר – רמת הגולן והחרמון, מרום הגליל – צפת, ישובים גבוהים בגוש שגב, והר הנגב הגבוה – מצפה רמון ושדה בוקר. אלו האזורים המתאפיינים במשרע טמפרטורות קיצוני, ויובש יחסי. באזור ד' אנו מוצאים את האזורים החמים והיבשים – עמק הירדן, בקעת הירדן, ים המלח, הערבה ואילת. כאשר מתבוננים על רשימת הישובים השונים, החלקית מאד, מיד רואים שלמרות השינויים האקלימיים המאד משמעותיים ביניהם, ההפרשים בדרישות התקן קטנים מאד. מכאן ניתן להבין שהתקן הוא "סלחני" למדי. כדי להגדיר בנין כירוק הוא צריך לעמוד בתקן 5282 המחמיר יותר (על התקן לבניה ירוקה – תקן 5281 - יפורט בפרק ט"ז).

6.3. רמת הבידוד של חומרי הבניה השונים

כמסקנה מהסעיף הקודם, בא התקן לבניה ירוקה והגדיר את הנוחות התרמית במבנה כמטרה שניתן להשיג אותה במכלול אמצעים, ולא רק באמצעות בידוד. כלומר, אנו משתדלים להעלות את רמת ההתנגדות התרמית של המעטפת בבתים הנבנים כמבנים ירוקים, וזאת בנוסף לפעילות בכל התחומים האחרים המוזכרים במדריך זה. כדי לעשות זאת אנו יכולים לבחור בשתי דרכים עיקריות:

א. לבנות בחומרי בניה שלהם עצמם ערך בידוד גבוה. כשהחלטה היא לבנות בבניה קונבנציונלית מדובר בבלוק מבודד, וכאשר מדובר בבניה קלה מדובר בפנלים שיש בהם רמת בידוד טובה.
ב. לבנות בחומרי בניה רגילים שערך הבידוד שלהם נמוך, ולהוסיף תוספת של שכבת בידוד חיצונית או פנימית. אופציה זו היא כמובן היחידה כאשר מדובר בשיפוצים של מבנים ישנים.

בהתייחס לאפשרות א', כדאי להבין מהן האפשרויות העיקריות העומדות מול הבונה היום. כאשר הבחירה היא בבניה קונבנציונלית, בלוק המלט האפור הוא עדיין האפשרות הזולה והפופולרית. מולו עומדים לרשות הבונה בלוקים מבודדים יותר כמו בלוק בטון תאי מאושפר או בלוק פומיס – חומר טבעי וולקני. בפרק 13 יש השוואה בין חומרים אלה גם מבחינות אחרות פרט לבידוד. כאשר אנו בוחרים בבניה קלה – שמוכרת בשוק גם במונח בניה מתקדמת – אנו בונים שלד מעץ או ממתכת, כאשר בתוכו ו/או בחלק החיצוני מוספים חומרי בידוד שונים.

- כמובן שלא ניתן להקיף את כל חומרי הבניה הקיימים, ולכל חומר יש שווי ערך רבים. לכן יש להשיג מהיצרנים והספקים את ערכי ההתנגדות התרמית של כל מוצר ולהשוות למוצג כאן. יש לשים לב לעובי המוצר. כמו כן יש לזכור כי השילוב של בידוד ומסה מתאים ברוב המקומות יותר מאשר בידוד בלבד.
- יש לשים לב ליחס בין ערך ההתנגדות התרמית לבין עובי הקיר.

טבלה 7: רמת ההתנגדות התרמית (R value) של חומרי בניה שונים

חומרים	מקדם התנגדות תרמית אופיינית R (מ"ר מע' C לואט)
חומרים לבניה קשיחה	
קיר בטון יצוק בעובי 20 ס"מ	0.1
בלוק 5 חורים אפור 20 ס"מ עם טיח רגיל	0.4
בלוק בטון תאי מאושפר בינוני בעובי 20 ס"מ	1.24
בלוק בטון תאי מאושפר בינוני בעובי 22 ס"מ	1.37
בלוק פומיס 20 ס"מ 8 חורים	0.92
בלוק פומיס 23 ס"מ	0.95
חומרים לבניה קלה	
פוליסטירן מוקצף בעובי 1 ס"מ	0.25
יריעה עם חומר בידוד מינרלי בעובי 1 ס"מ	0.25
חומר פלסטי כולא אויר (בועות) עם יריעות אלומיניום	0.45-3.72 תלוי בחומר ובמיקומו בחתך התקרה והקירות

6.4. קירות כפולים

לכאורה אמור הקיר הכפול לתת פתרון מושלם לשאלת הבידוד, מכיוון שכלוא בו אויר בין שני הקירות. אין ספק שזו אכן שיטת בניה בעלת ערך יחסית לבניית קיר יחיד. אולם יש בה בכל זאת כמה בעיות.

ראשית, החלל בו כלוא האויר הוא חלל גדול המאפשר לו תנועה. הבלוק החיצוני, הנתון ללחצי מזג האויר, מתחמם בקיץ וחום עובר בהולכה אל האויר שבין שתי שכבות הקיר. מאחר ויש לו הרבה מקום, האויר החם עולה למעלה, וכך נוצרת הסעת חום פנימית בין הקירות. אויר בתנועה מאבד את יכולת הבידוד שלו. בחורף מתרחשת תופעה דומה, מכיוון שהאויר מתחמם מהחלל הפנימי. לכן מומלץ למקם לוח של חומר מבודד בין שתי השכבות.

בעיה נוספת נובעת מכך שבדרך כלל בארץ כאשר בונים קיר כפול, בונים אותו מבלוקים דקים, או מבלוק חיצוני עבה ופנימי דק, ללא אלמנטים מקשרים בין הקירות. בעקבות זאת נוצרת סדיקה, שנובעת מכך שכל שכבת קיר חשופה לטמפרטורה מנוגדת, וכל שכבה מתפשטת ומתכווצת באופן שונה. ניתן לפתור זאת על ידי בניה של קיר עבה משני בלוקים עבים. החיסרון בשיטה זו מבחינת חשיבה ירוקה הוא השימוש בחומר גלם רב.

6.5. תוספת שכבות בידוד לחומרי בניה נחותים או מבנים ישנים

כנאמר בפרק ג' העוסק במסה התרמית, הבידוד והיחס ביניהם – המיקום הנכון לשכבת הבידוד בבית מגורים יהיה הצד החיצוני של הקיר. זאת כדי לא לאפשר לחום/קור שבחוץ להגיע אל המסה התרמית ולהשפיע עליה. במקרה של שיפוץ, הקיר הקיים הופך לשמש כמסה תרמית בפנים, והבידוד מגן עליה מבחוץ. עומדות לרשותנו כמה אפשרויות לבדוד את הקיר מבחוץ:

6.5.1 שימוש בטיח תרמי

הטיח התרמי מורכב מחומר צמנטי בדומה לטיח רגיל, אלא שבתוך החומר מעורבבים כדורים קטנים רבים מאד של פוליסטירן (קלקר). הקלקר עובר תהליך הקצפה הגורם לו להכיל אויר כלוא רב, מה שכאמור הופך אותו לחומר בידוד מצוין. יישום הטיח התרמי על קירות בכלל, ועל קירות ישנים בפרט, הוא אפשרי ופתור עד לפרטים הקטנים. אין צורך להחליף חלונות ומשקופים, וניתן ליישם עד 6 ס"מ של טיח על הקיר על ידי שימוש בסרגלים מיוחדים. ערך ההתנגדות התרמית המוסף לקיר עם כל סנטימטר של טיח תרמי הוא 0.1, כך שאם אנו מוסיפים לבלוק מלט ישן – שערכו הוא 0.4 - 6 ס"מ של טיח תרמי, אנו מגיעים לערך של 1, לא רחוק מהערך של בלוק איכותי. החיסרון העיקרי של טיח תרמי הוא גשרי הקור הקטנים שיוצר המלט שבין כדורי הקלקר.

6.5.2 חיפוי המבנה בלוחות מבודדים

אפשרות נוספת העומדת לרשותנו, עדיין תוך שימוש בפוליסטירן, היא חיפוי הבית כולו בלוחות קלקר וטיוח בטיח עם שכבת גימור כרצוננו על הלוחות. ישנם לוחות קלקר שבצד החיצוני מיושמת שכבת מלט אחת המקלה על הטיוח. ערך ההתנגדות התרמית המושג בשיטה זו הוא גבוה יותר מאשר בשימוש בטיח תרמי – 0.25 לכל ס"מ של חומר. אולם שיטת היישום מורכבת ומסובכת יותר. מרכיב העבודה מייקר פתרון זה - אבל כדאי לזכור תמיד שמרכיב העבודה משתנה ממקום למקום ובתקופות שונות, וכדאי לבדוק את האפשרות מול הקבלן המבצע.

6.5.3 ציפוי בתליה יבשה

אפשרות נוספת לחיפוי קירות מבחוץ היא שימוש בלוחות נפרדים שמיושמים על גבי קירות חיצוניים במרחק 5 ס"מ מהקיר. שיטה זו אינה נותנת בידוד במובן הקלאסי של המילה, מאחר ואין אויר כלוא. הלוחות מאפשרים הצללה מלאה ואוורור תמידי של הקירות, והמסה של הקיר לא חשופה לקרינה ישירה. בנוסף, מאפשרים לוחות אלו שימוש בלוחות פוליסטירן או כל בידוד מתאים אחר ללא צורך בחיפוי טיח. קיימים בשוק לוחות מסוג זה שעשויים מנייר ולמינציה ונקראים HPL – חומר ירוק יותר יחסית ללוחות אלומיניום ופלדה.

6.6. טיפול בגשרי קור

בכל שיטת בניה שהיא על בסיס שלד ומעטפת, קיימת בעיית בידוד מכיוון שהעמודים והקורות מהווים גשרי קור.

מאחר והעמודים והקורות של השלד הקונסטרוקטיבי עשויים מתכת או בטון, שכאמור אינם חומרים מבודדים, והמילואות עשויות לבנים - מבודדות יותר או פחות, נוצרת שבירת רצף הבידוד בכל מקום בו יש עמוד או קורה, פער זה נקרא גשר קור. מאזור זה החום או הקור שיצרנו בפנים המבנה "בורחים".

הפרשי הטמפרטורה בין חלקי הקיר השונים גורמים גם לעיבוי (קונדנסציה), לחות נוצרת על העמודים והקורות מכיוון שהם קרים יותר בחורף, וגורמת לעובש ופטריית על הקירות.

כדי לפתור בעיה זו יש לבנות את הלבנים בולטות החוצה 2-3 ס"מ מעבר לעמוד/קורה, וליישם לוח קלקר 2-3 ס"מ על הבטון, או לחלופין למלא את ההפרש בטיח תרמי. כך אפשר גם לטייח בשכבה ישרה, וגם להשוות את רמת הבידוד בכל המעטפת. אפשרות נוספת להימנעות מגשרי קור נוצרת בשיטות בניה נושאת, שאין בהן עמודים וקורות. לצערי יש לציין ששיטות אלה אינן מקובלות בארץ.

טיפול בגשרי קור באופן שתואר כאן מעוגן בתקני הבניה. כדאי לקבל מהקבלן התחייבות לטפל בגשרי הקור באופן תקני. יש לבדוד היטב את הקירות החיצוניים העליונים של המרתף וכן את הממ"ד, באותה שיטה שתבחרו עבור גשרי הקור.

איור 14: טיפול בגשרי קור



6.7. בידוד גגות שטוחים ומשופעים

גג המבנה מהווה חלק המעטפת החשוף ביותר לקרינת השמש ולפגעי מזג האוויר, ולכן קיימת חשיבות מיוחדת בביצוע מערכות בידוד בגגות. בקיץ, כאשר השמש גבוהה במיוחד והקרינה חזקה ביותר, גג המבנה חשוף לשמש יותר מכל קיר, במשך כל שעות היום.

6.7.1. גגות שטוחים

כאשר מתוכנן גג שטוח, כדאי לבנות אותו כתקרת צלעות. זאת כדי לחסוך בבטון וכדי להשתמש ברוב השטח במילואה של בלוקים, שהיא מבודדת יותר מאשר בטון. (בתקרת צלעות יוצרים קורות בטון דו כיווניות וממלאים בבלוקים, בעוד שבתקרה יצוקה כל המשטח יצוק בטון) בדרך כלל, השיטה הקונבנציונלית היא בידוד הגג על ידי שכבת בטקל בלבד, ומעליה יריעות איטום. בטקל הוא אחד מסוגי הבטון הקל- בטון תאי מוקצף – תערובת של צמנט, אגרגטים וקצף כימי היוצר את הבועות. זהו החומר המשמש גם ליצירת השיפועים בגג. ערך הבידוד שלו אינו גבוה מספיק.

את יריעת האיטום רצוי לצבוע בצבע לבן, המחזיר את הקרינה.

כדי לשפר את הבידוד בגג שטוח מבודדים בשיטת הגג ההפוך: מעל משטח הגג משפעים בעזרת מדה מתפלסת ומעליה יריעות איטום. על היריעות מניחים שכבת בידוד – בדרך כלל לוחות פוליסטירן מוקצף (קלקר) בעובי של 5 ס"מ לפחות. על הלוחות מניחים שכבה של כ 7 ס"מ של חצץ או טוף לבן או שברי בטון תאי. נהוג להניח יריעה גיאו-טכנית בין לוח הבידוד לבין החצץ, כדי להקל על תיקונים בעתיד ולמניעת פגיעה מכנית באיטום. במידה שרוצים לרצף את הגג כדי לעלות עליו ולהשתמש בו, לא ניתן להשתמש בשכבת החצץ. לכן חשוב להצל את הגג ע"י סככות או סוכה, ולרצף בריצוף בהיר כדי שמקדם הבליעה של הצבע יהיה נמוך.

6.7.2. גגות משופעים

אחת האפשרויות הטובות להשתמש בחומר מבודד לגג משופע היא שימוש בפנלים מבודדים. אלו שני לוחות של פח איסכורית, שביניהם חומר מבודד (ניתן לבחור בין פוליסטירן, צמר סלעים ופוליאוריתן מוקצף). גגות משופעים כאלו, או בכלל גגות פח, מקובלים מאד בארה"ב. בארץ הם נחשבים בד"כ כבעלי מראה תעשייתי, והחומר המקובל לחיפוי גגות משופעים הוא רעפים.

ראשית, כדאי לרכוש את הרעפים הבהירים ביותר הקיימים בשוק (זאת בדומה להמלצה על הלבנת גגות שטוחים), כך מוחזר חלק מהקרינה, ופחות חום נאגר במסה של הרעף. בידוד גג הרעפים נעשה בדרך כלל על ידי יריעות ולא על ידי לוחות, וזאת מטעמי נוחות ביישום. עלינו להבדיל בין גג רעפים שתחתיו נוצר חלל גג סגור (עליית גג), כך שלבית יש תקרה ישרה, לבין גג עם חלל פתוח, כך שניתן לראות את שיפוע הגג מתוך פנים הבית. באילו יריעות כדאי להשתמש?

אין על כך תשובה חד משמעית. ביריעות העשויות מחומר מינרלי יש בעיה של התכלות מהירה בתנאי לחות – שהם התנאים האופייניים ברוב אזורי הארץ. יריעות הפוליאאתילן נחשבות עמידות יותר.

רצוי מאד שהיריעה תהיה עטופה ברדיד אלומיניום משני צידיה. המוצרים המתקדמים יותר של החברות המובילות בשוק מכילים גם רדיד אלומיניום מרכזי. החומר כולא האויר מתפקד בדרך המסורתית של חומרי בידוד – עיכוב מעבר החום. רדיד האלומיניום פועל בדרך אחרת – הוא רפלקטיבי, ומחזיר את הקרינה שפוגעת בו לכיוון ממנו היא מגיעה. כושר הרפלקטיביות של הרדיד יורד ככל שהוא הולך ומתכסה באבק. תפקידו של הרדיד המרכזי הנמצא בחומרים המתקדמים הוא להמשיך וליצור רפלקטיביות כאשר הרדידים החיצוניים מתכסים אבק. כאשר בכל זאת בוחרים במוצר ללא רדיד אלומיניום מרכזי, יש להוסיף יריעה נוספת עם חירור מיקרוני, להגנה על רדידי האלומיניום החיצוניים בפני אבק.

ככל שהיריעה מונחת אופקית יותר, הרפלקטיביות שלה טובה יותר. ככל שהיא מונחת באופן אנכי יותר, היא רפלקטיבית פחות. לכן, למשל, היריעה תהיה יעילה יותר בגג שהשיפוע שלו נמוך יותר מאשר בגג עם שיפוע חד. את היריעות מצמידים לשיפוע הרעפים, אבל יש להשתדל להרחיק אותן מהרעפים עצמם למרחק של 5 ס"מ לפחות, ועדיף 10 ס"מ. זאת כדי לאפשר מעבר אויר בגג. יישום בשיפוע קרוב לרעפים מתאים בעיקר להגנה מחדירת חום בקיץ. במקומות קרים במיוחד, כאשר רוצים לתת הגנה מושלמת גם מבריחת חום בחורף, ויש לבית עליית גג, כדאי יותר לפרוש את הבידוד באופן אופקי על התקרה, כך שהחום שעולה מהחדר לא יוכל לחדור אל חלל הגג. את ערכי ההתנגדות התרמית של היריעות ניתן לראות בטבלה בסעיף 3.1.

6.8. בניה קלה כדרך ליצירת מבנה ירוק ומבודד

לתחום שנקרא בניה קלה או בניה מתקדמת, יתרונות מסוימים מההיבט של בניה ירוקה. אתייחס בפרק זה רק לנושא הבידוד, ובהמשך, בפרק י"ג הדן בחומרים, ניתן לראות השוואה בין שלד אופייני בבנייה קלה (עץ) לשלד אופייני בבנייה קונבנציונלית (בטון) ולמוד מכך על היתרונות בהקשר של מחזורי החיים של כל חומר.

לפני התעמקות בפרטי הבניה הקלה יש להסתייג ולומר שקירות המעטפת אינם בעלי מסה תרמית – וזה חיסרון משמעותי בחלק מאזורי הארץ.

קיר בבניה קלה מתאפיין בדרישות התנגדות תרמית שונות מאשר קיר בבניה קונבנציונלית, מכיון שאין לו מסה תרמית כלל, ואיקלום הבית תלוי רק באיכות הבידוד של הקיר (וכמובן שגם בפונקציות התכנוניות כפי שהוסברו בפרקים הקודמים).

מבנה בבניה קלה מורכב משלד של עץ או מתכת, כאשר העמודים והקורות בנויים במרווחים קטנים יותר מאשר שלד הבטון הקונבנציונלי. עובי עמודי וקורות השלד נע בין 10 ל 16 ס"מ, תלוי בהחלטת מהנדס השלד. חלקו הפנימי של השלד נסגר בלוחות עץ או גבס או לוחות קלים אחרים למיניהם. בחלק החיצוני סגירות קשיחות אחרות (עץ, צמנטבורד, לוח נגרים עם קלקר וטיח), ובמרווח בין שני הלוחות נפרש חומר בידוד, בדרך כלל יריעות עליהן הרחבנו בסעיף הקודם.

כך נוצרת בבניה הקלה אפשרות לבדוד בערכים גבוהים, על ידי בחירת חומר בידוד מתאים, ללא גשרי קור במעטפת. ניתן גם להשתמש בפנלים מבודדים למיניהם בגגות ובקירות. ערך ההתנגדות התרמית של הקיר ייקבע (וזה נכון גם לגבי בניה קונבנציונלית) כסך ערכי ההתנגדות של כל

מרכיביו. כלומר – אם בחרתי ליישם בתוך השלד יריעה עם ערך בידוד של 1.25, וכחומר גמר חוץ בחרתי טיח על גבי לוח פוליסטירן (קלקר) של 5 ס"מ עם ערך התנגדות תרמית של 1.25 גם כן, סך ערך ההתנגדות של הקיר כולו יהיה מעט מעל 2.5, אם לוקחים בחשבון גם את הגבס והעץ. בבניה קלה אנו יכולים ליצור גגות שטוחים מחומרים קלים. מדובר באגדי גג מורכבים הנקראים מסבכים (אנשי הביצוע משתמשים לרוב במושג trusses באנגלית) ויוצרים חלל גג בדומה לחלל הגג המשופע, בגובה של כ-50 ס"מ. במקרה כזה, דרך היישום של היריעות תהיה בדומה להמלצה לגבי גג משופע עם חלל גג – פרישה של היריעה על התקרה מלמעלה. לכך יש להוסיף גם שכבת פוליסטירן של 5 – 10 ס"מ על החלק העליון של גג העץ השטוח אחרי יישום האיטום.

6.9. פרופיל החלון

המתכות אינן מהוות חומר אידיאלי לייצור פרופילי פתחים מבחינה תרמית. ברוב העולם המערבי לא מכינים חלונות מאלומיניום או ברזל, אלא בעיקר מעץ, ובשנים האחרונות גם מסוגי פלסטיק שונים. בארץ סבלנו הרבה שנים מפגעי קרינת השמש החזקה על העץ, וכאשר הופיעו פרופילי האלומיניום הם כבשו את שוק החלונות, בעיקר בזכות התחזוקה הקלה. אולם מבחינת הבידוד אנו משלמים על כך מחיר. האלומיניום הוא חומר בעל מוליכות כה טובה, עד כי הוא משמש כמוליך חום במכשירים ותעשיות רבות. יכולת ההתנגדות התרמית של פרופיל החלון, אם כך, היא נמוכה מאד. בעוד איכות הבידוד של הקיר יכולה להגיע, לפי המלצתנו, לסביבות 0.92. החלונות הרגילים המקובלים בארץ, המורכבים מפרופיל אלומיניום יחיד וזוגית יחידה, מהווים "חורים" של בריחת אנרגיה עם ערך התנגדות נמוך מאד.

לפרופילים המיובאים מחו"ל, וכן לחברות העיקריות המייצרות בארץ פרופילי אלומיניום, יש פתרון או שיפור לבעיה זו בצורת פרופילים סופר-תרמיים. זוהי מסגרת חלון המורכבת משלשה פרופילים נפרדים: אחד חיצוני ואחד פנימי מאלומיניום, וביניהם פרופיל נוסף מפלסטיק בשם פוליאמיד, שלו התנגדות תרמית גבוהה. הוא מפריד את מעבר החום בין שני פרופילי האלומיניום. הפרופיל התרמי ניתן ליישום בחלונות פתיחה: מסוג ציר, דריי קיפ וקיפ. במקרים אלה עובי הפרופיל דומה לשאר הסדרות. כמו כן אפשר למצוא סדרות הזזה עם פרופיל תרמי, אלא שאז זהו פרופיל עבה במיוחד ומתאים בעיקר למפתחים גדולים.

בכל המקרים ובכל הפרופילים – חלונות ציר יהיו כמעט תמיד אטומים יותר לרוחות מחלונות הזזה, וזאת מכיוון שבחלונות ציר למיניהם מיישמים אטמי גומי, ובחלונות הזזה – מברשות. אטמי הגומי יעילים הרבה יותר במניעת חדירת אוויר קר דרך הפרופיל אל תוך הבית. שוב, קיימות סדרות הזזה עם אטמי גומי, אבל זהו פרופיל המיועד לדלתות הזזה במפתחים גדולים.

בחברות מעטות המייצרות חלונות בארץ, ובחברות רבות המייבאות חלונות מחו"ל, ניתן למצוא חלונות עץ איכותיים. ברוב המקומות הללו ניתן להזמין גם חלונות עץ-אלומיניום, כאשר העץ מהווה את צידו הפנימי של הפרופיל, ותורם למסגרת החלון את איכויות ההתנגדות התרמית הטובות שלו, ואילו האלומיניום מהווה את החלק החיצוני של הפרופיל ותורם את תכונותיו החיוביות לעמידות לנזקי UV ולתחזוקה קלה. בפרופילים מסוימים החלק החיצוני עשוי מחומר

הנקרא אולטרקס - אלו סיבי זכוכית המשוכים יחד. לאולטרקס מראה חלק ומגע דומה לאלומיניום. הוא מבודד במאות אחוזים יותר מאשר אלומיניום, וחזק ממנו בהרבה. במקרים של רצון להזיל את החלונות, ניתן להזמין את האולטרקס גם כחומר פנים.

7. זיגוג

חוליה חשובה בבידוד המבנה היא הזיגוג. מאז ומתמיד אלה היו ה"חורים" במעטפת המבנה שדורשים תשומת לב מיוחדת. בשנים האחרונות הארכיטקטורה האופנתית דוגלת בפתחים גדולים, הרבה יותר מההמלצות שנתתי בפרק ג'. הדרך היחידה לפצות על כך היא בשיפור ניכר באיכות הזיגוג מבחינה תרמית.

7.1. רמת ההתנגדות התרמית של פתחים מזוגגים

יש ליצרני הזיגוג אפשרויות שונות להעלאת רמת ההתנגדות התרמית של החומר:

§ על ידי זכוכית בעלת צבע כהה: אופציה שאינה מועדפת, בגלל איבוד אור וחוסר התאמה לבית המגורים

§ על ידי זכוכית רפלקטיבית: גם זו אופציה בעייתית, מאחר והיא יוצרת אי-נעימות סביבתית לשוהים מחוץ לבית; שכנים, בני הבית הנמצאים בחצר וכדומה. (בכל זאת אני ממליצה על סרטי ציפוי רפלקטיביים במקרה של שיפוץ – ראו בהמשך)

§ על ידי זכוכית עם ציפוי Low-E: הזכוכית משנה את כיוון הקרינה של החום אך מאפשרת עבירות אור גבוהה, מכיון שזו זכוכית שקופה.

§ זכוכית בידודית: זכוכית בידודית פועלת מעט אחרת מהאפשרויות הקודמות. היא אינה דוחה ומחזירה את הקרינה, אלא פועלת לצמצום מעבר החום בהולכה, על ידי הוספת שכבת אור בין שתי שכבות הזיגוג (לעיתים משוק זיגוג זה עם גז ארגון במרווח במקום אור). כדי ששכבת האור באמת תצליח לגרום לעיכוב מעבר החום לאורך זמן, היא צריכה להיות במידה של 10 מ"מ לפחות. יש לבחור פרופיל שמסוגל להכיל זיגוג ברוחב של כ-2 ס"מ.

כמו כן יש לציין כי מאחר וזכוכית בידודית היא בעצם שילוב של שתי זוגיות, הרי שכל האופציות הקודמות יכולות להתקיים בה ללא סתירה. אפשר לשלב זכוכית רפלקטיבית או Low-E בבידודית.

כדי לבדוק תפקוד תרמי של זכוכית עלינו להתחשב בשני ערכים:

§ **U value**: נמדד ביחידות BTU, ומבטא את רמת מוליכות החום דרך החומר (הולכה), הוא בעצם היפוכו של אותו R value בו עסקנו עד עכשיו, המבטא את ההתנגדות למוליכות חום. כלומר, אם עד כה העדפנו ערכים גבוהים, ב U value אנו מעדיפים ערכים נמוכים ככל האפשר.

§ **SC Shading Coefficient**, נקרא בעברית מקדם ההצללה, ומבטא את רמת עבירות החום

שעובר בקרינה. זהו בעצם הערך החשוב ביותר לגבי זכוכית, שמאחר והיא שקופה הרי שהדרך הפשוטה ביותר לחום לעבור דרכה היא דרך קרינה (מטרתנו היא ששני הערכים הללו יהיו נמוכים ככל הניתן).

טבלה 8: ערכי מוליכות תרמית ועבירות חום בסוגי זיגוג שונים

	6 מ"מ מחוסמת	בידודית 6,12,6	בידודית עם low E	כנ"ל עם צלון פנימי בצבע בהיר
U value	5.7	2.8	1.6	1.6
SC value	0.94	0.81	0.43	0.3
מעבר אור	88%	78%	70%	משתפר*
מחיר למ"ר**	16\$	40\$-	75\$	135\$

* עדיין אותם 70% עוברים את הזכוכית, אבל הפיזור שלהם בחדר משתפר מכיון שהשלבים של הצלון הפנימי גורמים לשבירת קרני האור לכיוון התקרה ולהחזר האור מהתקרה.
** נכון לשנת 2006

7.2. מעבר אור

בזיגוג אנו צריכים "ללהטט" בין שתי מטרות סותרות: מצד אחד, להעביר לתוך החלל הבנוי את כמות האור הדרושה. מצד שני, למנוע ככל הניתן את מעבר החום. מעבר האור עומד ביחס הפוך לרפלקטיביות של הזכוכית – ככל שהיא יותר רפלקטיבית, כלומר מחזירה יותר מטווח קרן האור החוצה, כך היא מעבירה גם פחות אור פנימה. לדוגמה, זכוכית שיש עליה ציפוי Low-E, היא זכוכית עם עבירות אור 70%. זוהי רמת עבירות גבוהה, שבכל עין לא מקצועית נראית שקופה לחלוטין. לעומת זאת, כאשר אנו בוחרים ציפוי רפלקטיבי להדבקה, רוב המוצרים שיש להם ערך רפלקטיבי גבוה, יעבירו מעט מאד אור.

באילו מקרים אפשר וכדאי להשתמש בציפוי רפלקטיבי?

אם אנו מתכננים בית חדש לפי כל כללי הבניה הירוקה כפי שהם מופיעים כאן, הסיכוי הגדול הוא שלא נזדקק לציפויים מסוג זה, זאת מכיון שהפתחים העיקריים כאמור יפנו לדרום. לכיוון זה אין טעם לצפות את החלונות בציפויים רפלקטיביים ומסנני קרינה מכיון שאנחנו מסתמכים על פתחים דרומיים, דרום מזרחיים ודרום מערביים אלה כדי להחדיר לבית את קרינת החום בחורף, החשובה לנו כל כך. בקיץ לעומת זאת, פתחים אלה מוגנים מהשמש הגבוהה ומוצלים היטב. לשיקול דעתנו נשארו הפתחים המזרחיים, צפון מזרחיים, צפון מערביים ובעיקר המערביים, שהם הפתחים הבעייתיים ביותר, שייתכן שכדאי לשים בהם ציפויים לסוגיהם.

לעומת זאת, כאשר אנו באים לשפץ או לגרום לחיסכון באנרגיה במבנים ישנים ובזבזניים שלא נבנו לפי חשיבה אקלימית, ייתכן שנמצא פתחים גדולים מאד בכיוונים לא מתאימים, או באופן כללי יותר מדי פתחים מזוגגים, ובהעדר האפשרות להיכנס לשיפוץ מעמיק המשנה את חזיתות המבנה, האופציה הטובה שעומדת לרשותנו תהיה הדבקת סרטים רפלקטיביים. זוהי אופציה זולה ומעשית, ניתנת ליישום מהיר וקל, שמאפשרת תוצאה מיידית בחיסכון באנרגיה בקיץ. למרות שהיא לא חכמה והפיכה ולא מאפשרת את כניסת הקרינה הדרושה בחורף, ייתכן שכדאי ליישמה בארץ מכיון שבעיית החום אצלנו משמעותית יותר מבעיית הקור. אם מיישמים סרט ציפוי רפלקטיבי להדבקה על גבי חלון קיים, כדאי לשים לב שמעבר האור יגיע לפחות ל-46% ומקדם ההצללה יהיה 0.5 או פחות.

7.3. זיגוג בטיחותי

כדי שזכוכית תהיה בטיחותית, יש לעבות אותה מאד או לחסם אותה. זכוכיות עבות אינן ערובה לבידוד תרמי, כלל וכלל לא. זיגוג של 12 מ"מ בשכבה אחת, שהוא נדיר ויקר וידרוש השקעה כספית גבוהה, עובד מבחינה תרמית בדומה לזיגוג יחיד של 6 מ"מ. מאחר והחומר הוא צפוף ומסיבי, מעבר החום בהולכה קורה בקלות. הדבר דומה גם בזכוכית כפולה מסוג טריפלקס, שמטרת ייצורה הראשונית היא כזכוכית בטיחותית. זוהי זגוגית העשויה משתי שכבות של זיגוג, בדרך כלל 6 מ"מ כל אחד, וביניהם דף דק מאד של חומר שקוף וחזק. אל לנו להתבלבל עם זיגוג כפול עם מרוח אויר לבידוד. טריפלקס הוא לא זיגוג מבודד כלל, והתפקוד שלו יהיה זהה לזיגוג המופיע בטבלה בעמודה הימנית ביותר. לכן, אם לא רוצים לוותר על אחת משתי האופציות – התרמית והבטיחותית, יש לחפש חלון עם זיגוג בידודית שבו כל זגוגית יחידה היא מחוסמת, או להוסיף ציפוי מגן מפריצות או סורג כלשהו בנוסף לזיגוג.

8. הצללה

8.1. אופני הצללה

ההצללה היא אמצעי מאד חשוב לחיסכון באנרגיה, ואחד הכלים היעילים והפשוטים העומדים לרשותנו מתוך ארגז הכלים של הבניה הירוקה. ההפרש בין הנוחות התרמית בצל או בשמש ישירה הוא רב – צל יכול לגרום להורדת טמפרטורה של מספר מעלות ולחסוך בעשרות אחוזים בצריכת האנרגיה.

ניתן לחלק את אופני ההצללה לשלושה: קבועה, חלקית והפיכה (דינמית). כאשר כל אחד מהאופנים הללו יכול להיות מיושם בצורה אופקית או אנכית או כל זווית ביניהם.

8.1.1 הצללה קבועה

זוהי הצללה פשוטה ביותר, שאינה ניתנת לשינוי או הזזה בהתאם לעונות ולמסלול השמש, אלא נותרת קבועה במקומה. בדרך כלל מיושמת בצורה אופקית או שילוב של צורה אופקית ואנכית. הצללה קבועה מושגת על ידי בליטת חלקים בבנין מעל לפתחים או לחלקי קירות אחרים. בליטות כאלה יכולות להיות בליטות הגג, בליטות בנויות מעל לפתחים (בד"כ מבטון), פרגולות רעפים או חומר קשיח אחר. החיסרון שלהן הוא שהצללות אלו יכולות ליצור בעיה של החשכה גם בעונות/זמנים ביממה שבהם קרינת השמש חיונית. חיסרון נוסף הוא שאין במצב כזה הצללה מוחלטת, מכיון שיש חדירת קרינה מוחזרת ממשטחי הקרקע.

8.1.2 הצללה חלקית

הצללה כזו מושגת מחומרים היוצרים צל באחוזים מסוימים, כמו למשל גילי קנים צמחיים למיניהם, שנמכרים היום בכמה סוגים של חנויות. גם הצללה חלקית יכולה להיות מיושמת גם כהצללה אופקית וגם כהצללה אנכית, כאשר האחרונה יכולה להיות חיצונית (תריסים, גילי קנים וכולי) או פנימית (כגון וילונות וצלונים). ראו בהמשך פירוט לגבי ההבדל בין התכונות השונות של כל סוג הצללה חלקית. אפשרות נוספת של הצללה חלקית אנכית מהוות ההצללות המסורתיות במזרח התיכון, העשויות סבכות עץ למיניהן או שבכות העשויות מחומר הבניה עצמו (משרביות בנויות). כאמור בפרק העוסק באוורור, המשרביות תוחמות חצרות מוצלות, ויוצרות מיקרו אקלים בחצר.

גם עצים ירוקי עד נותנים צל חלקי, וגם תריסים יכולים להיות מכווננים באופן שייצור הצללה חלקית, במידה והם תריסי רפפה.

8.1.3 הצללה דינמית (הפיכה)

מדובר בכלי פשוט, שעוזר להצל על הבנין בעונה החמה, אך מאפשר כניסת קרינת שמש בעונה הקרה. זו הסיבה שהדינמיות של מערכת ההצללה חשובה במיוחד בפתחים הדרומיים – מהם כאמור מגיעה קרינת החורף, וכן על גגות. הצללות הפיכות יכולות לשלב הצללה אופקית ואנכית. סוכות מטפסים ועצים נשירים, למשל, משמשים להצללה דינמית, כמו גם מרקזות, בדים ורשתות צל.

- יש לציין שכל אופני ההצללה הללו יכולים להיות מעל הפתחים, אבל גם מעל לקירות עצמם, מעבר לשטח הפתחים. כאשר פרגולות או בליטות מספקות הצללה רחבה יותר משטח החלון, לעתים על שטח הקיר כולו, נשמרת טמפרטורה נמוכה יותר של הקיר ומפחיתה בכך את עומסי חום בפנים הבית.

8.2 סוגי הצללה

לאחר שהבנו את אופן הפעילות של כל הצללה, נרחיב ונראה מה האפשרויות העומדות בפנינו ומה היתרונות והחסרונות של כל אחת מהן:

8.2.1. הצללה קבועה

§ בליטות הגג: הצללה זו נוצרת כאשר יש בליטה של הגג מעבר לקו הקיר האנכי. כדאי לחשב היטב את הבליטה כך שלא תסתיר שמש חורף לחלונות דרומיים. (ראה ח.4)

§ בליטות בטון: אלו בדרך כלל תוספות בניה מעל החלון (בצורת גגון פשוט), או מעל ומצידי החלון (בצורת האות חית). הצללה בצורת חית או ריש יכולה להיות מוצלחת יותר במקרים מסוימים, מכיוון שהיא יכולה גם לאפשר הגנה מפני קרינה צפון מערבית בשעות אחה"צ בקיץ. השטח הנוצר בין הקיר וההצללה האופקית עלול לכלוא חום (מכיוון שהאוויר החם עולה למעלה ונלכד תחת הבליטה). רצוי ליצור פתח יציאה בסוג הצללה זה, על ידי הרחקה של הבליטה מהקיר האנכי בכמה ס"מ. פתח אוורור זה יש ליצור בזמן היציקה על ידי הרחקה של כ-5-8 ס"מ בין הקיר לגגון.

§ פרגולות רעפים: זהו פיתרון הצללה מקובל, אולם החיסרון העיקרי של הצללות אלו הוא חסימת האור לחלונות על ידי הפרגולה, היוצר החשכה של פנים הבית ושימוש מוגבר בתאורה מלאכותית. כדי להתגבר עליו ניתן להחליף חלק מהרעפים ברעפי זכוכית וכך לאפשר חדירת אור מבוקרת.

8.2.2. הצללה חלקית

(מלבד הסעיף הראשון כל הסעיפים מתייחסים להצללה חיצונית)

§ צלונים ווילונות ממוקמים בצידו הפנימי של החלון, ובכך מקטינים את חדירת האור הנראה ומונעים סינוור. עם זאת, מכיוון שקרינת השמש חודרת דרך הזיגוג והופכת לחום, סוג הצללה זה אינו מונע הצטברות חום בתוך המבנה ולכן אינו מספק לימות הקיץ: ברגע שקרינת החום עברה את הזיגוג – היא כבר בתוך החדר, וזו רק שאלה של זמן קצר עד שהחום יתחיל להיות מורגש. צלונים מהווים הגנה טובה יותר מחום מאשר וילון בד. שלא כמו וילונות שמתעופפים ברוח, צלונים בדרך כלל קשיחים יותר (אם כי לא מקובעים למקומם כמו תריסים). יכולת הכוונון של הצלונים מאפשרת מעבר אוויר כאשר החלון פתוח – זאת בניגוד לוילונות כבדים יותר שמונעים מעבר אוויר. וילונות כבדים מעניקים יתרון אחד והוא שימור החום בבית בעונת החורף. וילונות מהווים שכבה בידודית המונעת מהאוויר החם להגיע לחלון ולצאת דרכו בהולכה.

§ תריסים: תריסים מאפשרים שליטה בכמות האור הנכנס ויכולים להוות שכבת בידוד נוספת במידה והם ממולאים בקצף (פוליאוריתן מוקצף).

תריסים כאלו חוסמים בריחת חום החוצה דרך הזיגוג, וכך משמרים לערב וללילה את החום שהצטבר בבית במשך היום בחורף. (זאת מעבר לתפקיד הפשוט של הצללה בקיץ) ישנם שני סוגי תריסים עיקריים: תריסי רפפה ותריסי גלילה:

תריסי גלילה כשם כן הם – נגללים אל ארגז תריס שנמצא מעל לפתח החלון. הם ניתנים לוויסות אנכי בלבד ולפתיחה אנכית מלאה. הבעיות העיקריות שלהם הן שתיים: בראשונה – כשהתריס מורד יש אפשרות לכניסת אור מצומצמת בלבד, וגם כניסת האוויר נחסמת כמעט לחלוטין. השניה היא בעית ארגזי התריסים: כאשר ארגז התריס ממוקם בתוך הקיר, יכולה להיווצר בעיה של חדירת רוח ובכל מקרה קיימת בעיה של יצירת גשר קור. לכן רצוי להשתמש בארגז תריס חיצוני שאינו מהווה גשר קור. לצערי אופציה זו נחשבת פחות יפה ולכן בדרך כלל מבוצעת רק כאילוץ.

תריסי רפפה ניתנים לוויסות אופקי בלבד – ולפתיחה מלאה או חלקית הצידה. ניתן לכוון את

הרפפות בהתאם לזוויות השמש המשתנות ולאפשר חסימת האור והחום, מבלי למנוע כניסת אוויר. זוהי אפשרות זולה ומומלצת בגלל תכונות התריס.

תריסי גלילה - רפפה: זהו תריס הנגלל אל ארגז תריס, אולם כשהתריס פתוח אפשר לכווון אותו בדומה לתריסי רפפה. תריסים אלו יקרים יותר אבל מומלצים מאד למי שרוצה ליהנות מהיתרונות של שני סוגי התריסים.

§ גלילי קנים טבעיים: משמשים כגגונים מעל פתחים, כסוכך על גבי פרגולות מעל ויטרינות יציאה למרפסת או כסככות הצללה על גגות. ניתן ליישם הצללה זו גם כהצללה אנכית מהצדדים על ידי בניית שלד מתכת מתאים. ניתן לקבוע את עומק הצללה בהתאם לצורך.

§ משרביות (שבכות עץ או לבנים - אלמנט הצללה מסורתי האופייני למזרח התיכון): מהוות תמיד הצללה אנכית ושימשו בעיקר כגבולן של חצרות. יש היום הערכה מתחדשת לאיכות העיצובית שלהן. הצללה זו יושמה בעיקר באזורים מדבריים, באקלים יבש: היה נהוג לשלב במשרביות כלי מים שיאפשרו החדרת אוויר קריר ולח לחצר הפנימית עם כניסת משבי רוח.

§ מטפסים (על שלד סוכה) או עצים ירוקי עד יכולים לשמש להצללת גגות שטוחים או חזיתות באופן חלקי (תלוי בצפיפות העלווה, בגובה העץ ובקרבתו לבית). הצללה זו נהנית מיתרונות של אוורור, הורדת הטמפרטורה ויצירת לחות והיא מומלצת ביותר במיקומים מסוימים (ראה סעיף ח.3 - שיקולים).

8.2.3 הצללה הפיכה

סוכת גפנים היא דוגמא קלאסית ויעילה להצללה הפיכה: הגפן מתכסה בעלווה סמיכה בתחילת הקיץ, כאשר אנו זקוקים לצל, ונושרת לחלוטין בתחילת החורף, כך שקרני השמש יכולות לחמם את הבית. צורתה המטפסת מאפשרת יישום כהצללה על פתחים גדולים ועל גגות שטוחים. ניתן ליהנות כמובן גם מהפרי, אבל לחוששים מהלכלוך שגורמים הפירות - יש בנמצא זני גפנים ללא ענבים.

מרקיזות: סככות של בד קשיח על גבי מנגנון מכני, שניתן למתוח ולכווץ בהתאם לצורך, בדרך כלל עם ידית מנואלה או מתג הפעלה חשמלי. המרקיזות יוצרות שילוב של הצללה אופקית ואנכית, ואפשר למקם אותן מעל כניסות בתים, חלונות או מרפסות. כאשר יש צורך בהגנה מפני הגשם בנוסף להצללה הן יהיו עשויות בדים צפופים אטומים למים (ברזנט למשל).

8.3 שיקולים אקלימיים לקביעת מיקום וסוג ההצללה

8.3.1 הצללת הקירות

כשבוחנים את הצורך בהצללות יש צורך להתייחס באופן ייחודי לכל אחת מהזוויות: **צפון:** כיוון ממנו לא מגיעה קרינת שמש ישירה (למעט בשיא הקיץ בבוקר ובערב) אולם יש החוזר חום מפני השטח. אפשרי בהחלט לבנות פרגולה בחזית זו שתהיה בעלת הצללה קבועה ו\או חלקית, ואין כל צורך להשקיע בהצללה הפיכה. יש משמעות אקלימית גם להצללה על הקיר בכיוון זה וכן לכניסת אוויר קריר יותר מהפתחים הצפוניים המוצלים.

מזרח: מכיוון זה מגיעה מרבית הקרינה בשעות הבוקר (כאשר זווית הקרינה משתנה מצפון מזרח בקיץ לדרום מזרח בחורף). הצללה בכיוון זה חשובה בעיקר בעונה החמה עד שעות הצהרים.

חשוב לציין כי בשעות הבוקר האויר וקירות הבית עדיין קרירים מהלילה ולכן השפעת הקרינה פחות חריפה מאשר הקרינה ממערב בשעות אחר הצהרים שמגיעה לאחר שעות רבות של חום. **דרום**: כיוון זה הוא המשמעותי ביותר מבחינת בחירת סוג ואופן ההצללה. מכיוון שחזית זו חשובה למסלול השמש באופן שמשנתנה במהלך השנה, מומלץ כאן באופן גורף השימוש בהצללה הפיכה.

בחורף משמשת החזית הדרומית כמקור של חימום סולרי ויש חשיבות גדולה לחשיפת החלונות לשמש במהלך היום.

בקיץ רצוי להצליל את החזית הדרומית על ידי תריסים ו\או פרגולה, בעיקר למניעת כניסת אור מפוזר (מכיוון שקרינת השמש ברובה מגיעה לגג ולא לחזית האנכית).

ראו טבלה מצורפת, עם נתונים לגבי קרינת השמש על משטחים אנכיים ואופקיים בכיוונים השונים. טבלה זו נלקחה ממחקר שנעשה עבור אונ' בן גוריון:

טבלה 9:

א.נוה ניהול והנדסה

קרינת שמש ממוצעת ב [KWH/(SQ.M*DAY)]
על קירות ועל הגג לפי חודש במרכז הנגב

חודש	דרום	מזרח/מערב	צפון	גג אופקי
ינואר	4.63	2.54	1.08	3.33
פברואר	4.15	2.86	1.32	3.92
מרץ	3.6	3.32	1.63	4.69
אפריל	3.22	4.24	1.98	6.19
מאי	2.75	4.88	2.3	7.31
יוני	2.53	5.19	2.83	7.89
יולי	2.62	5.07	2.48	7.67
אוגוסט	3.14	4.83	2.21	7.11
ספטמבר	3.94	4.18	1.89	5.94
אוקטובר	4.94	3.61	1.44	4.92
נובמבר	5.4	3.03	1.15	3.94
דצמבר	3.86	2.08	0.98	2.75

כדאי לבנות שלד של פרגולה מדרום ועליו גפן (או כמובן כל מטפס נשיר אחר). בקיץ – כאשר הגפן מלאת עלווה היא מונעת חדירת קרינת שמש מגבוה ואילו בחורף הגפן נטולת העלווה מאפשרת חדירת קרינת השמש לעומק הבית מהחזית הדרומית. בכל מקרה ההצללה הדרומית בדרך כלל לא חייבת להיות עמוקה, שוב בזכות העובדה שהשמש בקיץ גבוהה מאד ולא מגיעה ממש מדרום. **מערב**: מכיוון זה מגיעה מרבית הקרינה בשעות הצהרים המאוחרות (כאשר זווית הקרינה משתנה מצפון מערב בקיץ לדרום מערב בחורף). הצללה בכיוון זה חשובה בעיקר בעונה החמה משעות הצהרים ואילך.

בקיץ עומס החום מורגש ביותר בשעות אחר הצהרים ולכן ההצללה בכיוון זה חשובה אף יותר מאשר במזרח. אין מניעה ליישום הצללה קבועה מערבית שאליה ניתן להוסיף הצללות נוספות (מטפס, תריסים, וילונות, או כל הצללה אנכית אחרת).

* חלון צפון מערבי עלול להוות מקור לכניסת עומסי חום בשעות אחר הצהרים בקיץ ולכן רצוי להגן עליו באמצעי הצללה כלשהם.

הצללת הגג

עוצמת הקרינה על משטחים אופקיים כפולה מעוצמתה על משטחים אנכיים. אם נוסיף לכך את העובדה שהגג חשוף לשמש במשך רוב שעות היום, נבין כמה חשוב להצל במידת האפשר גם על הגג. זה נעשה בדרך כלל באמצעות צמחיה - בגג שטוח רצוי סוכת גפנים או מטפס נשיר אחר - אך גם על ידי סככות מסוגים שונים. גם את הפנלים הסולריים ניתן לתכנן כמעין סוכה על הגג, כך שמעבר לאפקט של ייצור חשמל ניתן יהיה ליצור גם הצללה למבנה.

שיקולים נוספים לבחירה באמצעי ההצללה שונים

1. חומרים: לחומרים מהם עשויים אמצעי ההצללה משמעותיות סביבתיות רבות. פרוט על חומרי בנייה יינתן בפרק י"ג.
2. עלות: העלות עולה ככל שמוסיפים יותר אמצעי הצללה. עם זאת ראוי לשקול את ההשקעה בהצללות אל מול נוחות השהייה במבנה והחיסכון המצטבר בחימום וקירור הבית תודות לאמצעי ההצללה.
3. ייעוד: הבחירה באמצעי הצללה מסוים הנה גם פועל יוצא של הייעוד של אותו חלל - לדוגמא: חדר עבודה יכול ליהנות מאור טבעי אם כי שמש ישירה יכולה להפריע בו בגלל בוחק וסינוור, ולכן אפשר ליישם הצללה קבועה. לחדר ילדים, לעומת זאת, חשוב לאפשר חדירת קרינת שמש בחורף, אולם רצוי לאפשר הצללה מספקת לעונות החמות.

8.4. תחשיב הצללה מיטבית

הצללה אופטימלית מתקבלת משקלול של מספר גורמים: זוויות השמש, גובה החלון, יישום של הצללה מספקת לצד אפשרות לכניסת אור ואויר. להלן, אפשרויות חישוב הצללה מיטבית

8.4.1. שרטוט ידני

בחישוב זה יש לעשות שימוש בשרטוט של חתך החלון, ולבדוק את זוויות כניסת השמש דרכו במספר תאריכים ושעות. כך למשל יש להתייחס ליום הארוך ביותר בשנה (21 ביוני) וכן ליום הקצר בשנה (21 בדצמבר) ולימי השוויון. כמו כן יש לקחת בחשבון זמנים שבהם זוויות השמש הולכות ונהיות נמוכות, אם כי קרינת השמש עדיין חזקה (אוגוסט, אוקטובר) או זמנים שבהם הזוויות הולכות ומתגבהות, אבל הימים יכולים להיות גשומים וקרירים ועדיין יש צורך בחימום סולרי (מרץ-אפריל). בשרטוט ובחישוב הידני צריך להתייחס לא רק לזווית הקרינה האנכית (מהשמש כלפי כדור הארץ) אלא גם לאלמנט האופקי של הזווית (המעבר מצפון לדרום). באתר <http://www.susdesign.com/sunangle/index.php> יש אפשרות לחשב את זוויות השמש האופקית והאנכית על ידי הזנת הנתונים הבסיסיים הבאים:

דוגמא 1: חישוב זווית השמש באחר צהרים קיצי באוגוסט באזור מזרח השרון

INPUT:

16:00	Time	35 east	Longitude
B (GMT+2:00)	Time zone	32 north	Latitude
Clock time	Time basis	22 August	Date
Yes	Daylighting savings	2008	Year
north	Zero azimuth	53 meters	Elevation

בנתונים המסומנים בכתום ניתן להשתמש באופן קבוע בישראל.
 נתון זה מתייחס לזמנים בהם יש שעון קיץ בישראל. (ספטמבר עד מאי)

OUTPUT:

40.49	זווית מעל פני הקרקע (אנכית)	Altitude angle
102.63	זווית ביחס לצפון (אופקית)	Azimuth angle

דוגמא 2: מהי זווית השמש בצהרי ה-1 במאי באזור מזרח השרון:

71.09	זווית מעל פני הקרקע (אנכית)	Altitude angle
208.7	זווית ביחס לצפון (אופקית)	Azimuth angle

דוגמא 3: מהי זווית השמש בצהרי ה-21 בדצמבר באזור מזרח השרון:

33.82	זווית מעל פני הקרקע (אנכית)	Altitude angle
190.50	זווית ביחס לצפון (אופקית)	Azimuth angle

דוגמא 4: מהי זווית השמש בצהרי ה-21 ביוני באזור מזרח השרון:

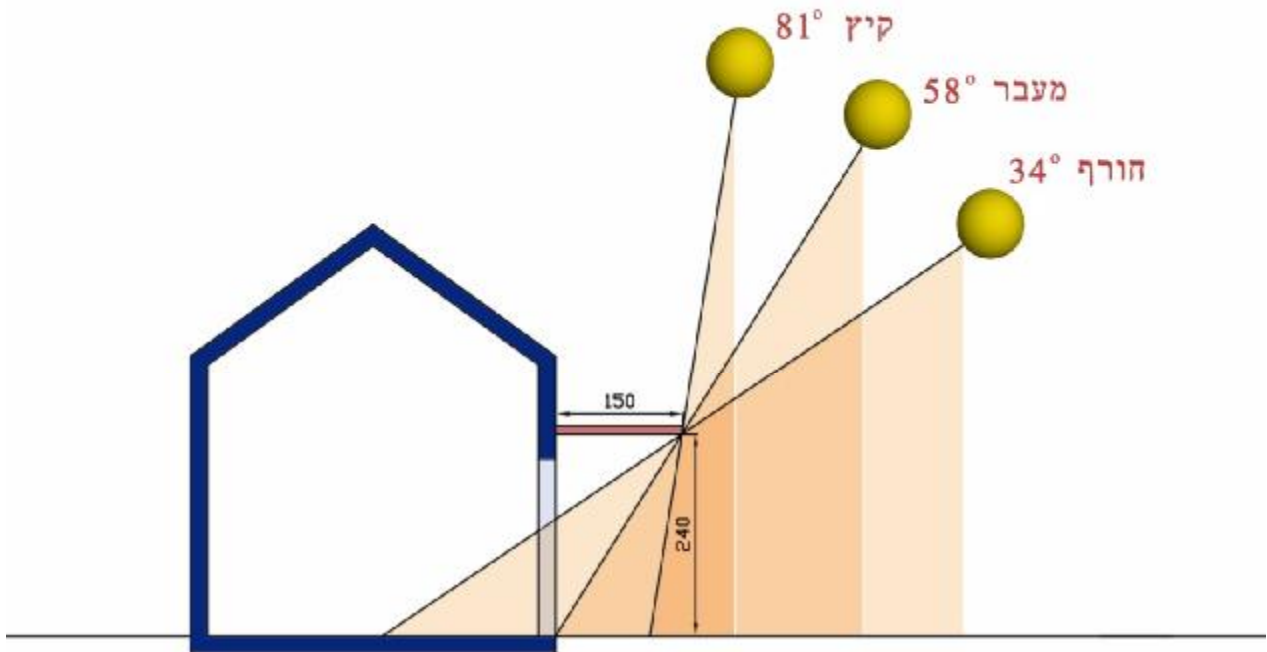
77.42	זווית מעל פני הקרקע (אנכית)	Altitude angle
229.7	זווית ביחס לצפון (אופקית)	Azimuth angle

דוגמא 5: מהי זווית השמש בצהרי ה-21 במרץ באזור מזרח השרון:

56.34	זווית מעל פני הקרקע (אנכית)	Altitude angle
201.68	זווית ביחס לצפון (אופקית)	Azimuth angle

על ידי שרטוט פשוט של זוויות אלה על פני התכנית ובחתך החלון, אפשר להגיע למסקנה בקירוב של אורך ההצללה הדרוש לנו מעל החלון או מצידו (תוספת הצללה אנכית).

איור 15: חישוב אורך ההצללה



8.4.2. חישוב על ידי תוכנות מחשב יעודיות

חישוב הצללה הינו כלי אחד מתוך מגוון הכלים של תוכנות רחבות היקף שבודקות את כלל ההיבטים האקלימיים של המבנה. תוכנות אלו יכולות לתת מענה גם לנושאים שעלו בפרקים הקודמים – בידוד והיחס בין בידוד למסה תרמית, תאורה, זיגוג, איכות הבידוד של הפרופילים ועוד. מסד הנתונים לצורך החישובים נלקח מקבצי השרות המטאורולוגי אשר מצויים ברשת. שתיים מהתוכנות שניתן לעבוד איתן הן: Ecotect ו-Energy plus. האחרונה מופצת בחינם על ידי משרד האנרגיה האמריקאי, אך ללא ממשק גרפי, מה שמקשה על השימוש בה. התוצאות שמתקבלות מתוכנות אלו כוללות (במקרה של ההצללה) תאור גרפי שמדגים את חדירת השמש אל החדר בכל מצב של הצללה, ובשעות שונות של היום. התוכנה מאפשרת בדיקה של עומקי הצללה שונים וכוללת חישוב בוואטים של כמות האנרגיה הנצברת בחדר כתוצאה מחדירת שמש. כך שניתן גם לעשות חישוב כלכלי של כמות האנרגיה הנדרשת לסילוק החום על ידי מיזוג החלל.

9. מים

במדינת ישראל מעוטת המשקעים, נושא המים וצריכת מים משמעותי במיוחד. עם העלייה ברמת החיים ישנה גם מגמת עלייה בצריכת מים ממוצעת לנפש, אבל אין כיסוי לצריכת המים המוגברת הזו, שכן מאגרי המים לא גדלים אלא מצטמצמים, ולעומתם האוכלוסייה הולכת וגדלה בקצב מהיר. בכל העולם נושא הטיפול במשבר המים צובר תאוצה בגלל קצב הצריכה הגובר, שינויי אקלים באזורים רבים בעולם (תופעת המדבור המתפשטת) וכן בגלל זיהום מקורות מים נקיים על ידי תעשיות ושפכים.

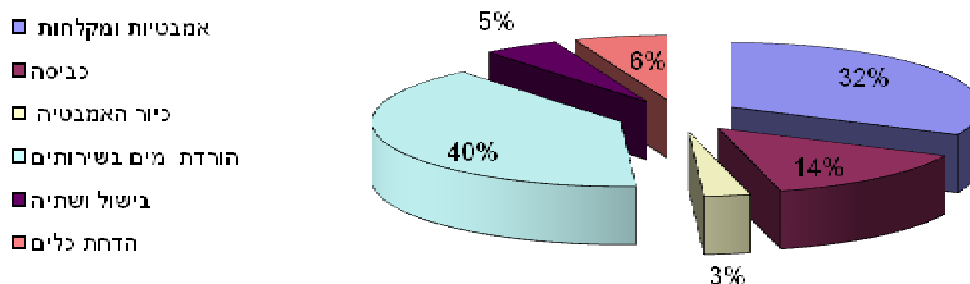
נושא הסעת מים קשור קשר הדוק לתחום האנרגיה שכן, מערכות להולכת מים, כמו המוביל הארצי למשל, הן מורכבות מאוד ודורשת כמויות אנרגיה גדולות לתפעול. עלות התפלת מים גבוהה בהרבה מעלות ההולכה של מים שפירים ומחירה הסביבתי כבד גם הוא. גם לסילוק השפכים יש מחיר אנרגטי-סביבתי רב.

בארה"ב נטבע בשנים האחרונות המושג *watergy*, שילוב בין נושאי מים ונושאי אנרגיה, וההקשרים ביניהם.

הטיפול במשבר המים הוא כמובן באחריות ממשלתית, אבל ברמה הביתית יש לצרכן הממוצע אפשרויות רבות לצמצום הצריכה ומחזור חלק ניכר מהמים, ונסקור אותן בפרק זה.

איור 16:

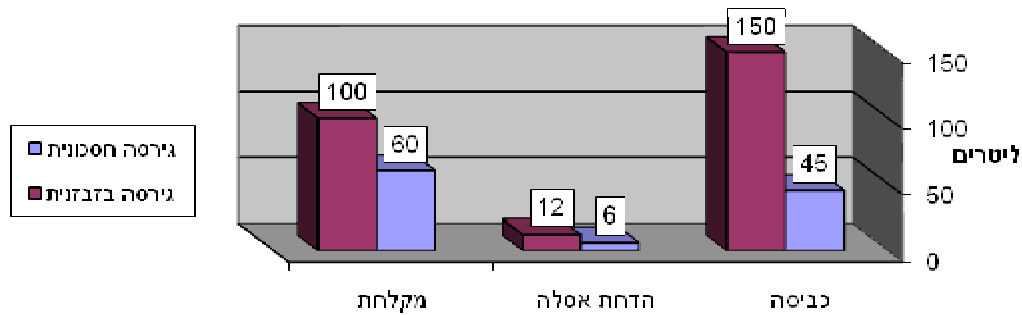
צריכת מים ממוצעת של הצרכן הביתי



הצרכן הביתי הישראלי צורך **בממוצע** 130 ליטר מים ליום. אל לנו לשכוח שהנתון המספרי הזה מורכב מנתוני הצריכה של כולנו: מצד אחד מגורים וישובים בהם לא תמיד יש אספקת מים זורמים לבתים, ומצד שני משוקללים בו גם נתוני צריכה של בתים הנהנים מבריכות שחייה פרטיות.

איור 17: צריכת מים לפי ארוע חד פעמי ליחיד

צריכת מים לפי קטגוריות



9.1. חיסכון במים שפירים

בגרף 2 ניתן לראות שיש אפשרות לחסוך בצריכת המים גם בפעולות היומיומיות ביותר: למשל ניתן לכוונן את כמות המים בכל הדחת אסלה (יש מנגנון בתוך הניאגרה שמאפשר ויסות של מספר ליטרים להדחה) ולחסוך בכך עשרות ליטרים ליום. מקלחת קצרה וחסכונית יכולה לחסוך כמעט מחצית מכמות המים בהם משתמשים לרחצה. גם ראשי המקלחת מכוונים לספיקה מסוימת – יש ראשי מקלחת חסכוניים יותר ופחות, ואנו יכולים וצריכים להתעניין בנתון זה בבואנו לבחור אחד. שיקולי חיסכון במים צריכים להנחות אותנו גם בבחירת מכונת הכביסה: כמות המים הנצרכת במכונות כביסה שונות ובתוכניות הפעלה שונות נעה בין 45 ל-150 ליטרים, יחס של יותר מפי 3 כמות מים. נהוג לקחת בחשבון בכביסות ממוצעות במכונות ממוצעות, שכמות המים לכביסה אחת היא בין 70 ל-110 ליטרים.

מעבר לאפשרויות אלו, חיסכון במים שפירים יכול להתבצע על ידי התקנת אמצעים פשוטים להפחתת השימוש במים בבית ובגינה. כדאי לשלב מתקני חיסכון במים כחלק מהמפרט התכנוני בבית:

*^{וסתים} וחסכמים שמתקנים על ברזים וראשי מקלחת במקלחות, מאפשרים חיסכון במים על ידי הקטנת כמות המים העוברת בברז מבלי להקטין את לחץ המים.

*^{חברה} ישראלית מפתחת בימים אלו מתקן הנקרא ברז חכם. זהו ברז אלקטרוני המיועד למקלחות, שיאפשר כוונן מראש של טמפ' המים הרצויה למקלחת. כל המים הקרים שיזרמו מהצנרת לפני הגעה לטמפ' זו, יחזרו במעגל אל הדוד, וזרימת המים החוצה אל המקלחת תתאפשר רק כאשר המים יגיעו לטמפ' המבוקשת. באופן זה ניתן לחסוך את כל כמות המים המתבזבזת בעת ההמתנה להגעת מים חמים מהדוד אל ראש המקלחת.

*^{התקנת} ניאגרה עם מיכל הדחה דו-כמותי מאפשרת הדחת האסלה בשני נפחי מים שונים (במיכל הנפוץ לשימוש בישראל נפחי ההדחה הם בין 4.5 ל-9 ליטרים). מיכל הדחה דו כמותי יכול להביא לחיסכון של עד 40% בצריכת המים בשירותים ועד 15% בצריכת המים הביתית.

9.2. חוק המים

על פי חוק המים בישראל משנת 1959:

"כל מקורות המים במדינה הם קניין הציבור ונתונים לשליטתה של המדינה".... "מקורות המים לענין חוק זה הם מעיינות, נחלים, נהרות, אגמים ושאר מקווי מים טבעיים, מותקנים או מוסדרים... לרבות מי ניקוז ומי שופכין... "זכותו של אדם בקרקע אינה מקנה לו זכות במקור מים הנמצא באותה קרקע או העובר בה או בגבולה... זכותו של אדם לקבל מים ממקור מים עומדת לו כל עוד אין בקבלתם כדי המלחת מקור מים או דלדולו."

על פי חוק זה אסורה אגירת מי גשם בתחומי המגרש הביתי. עם זאת מכיוון שהנושא עולה כחלק ממאפייני הבנייה הירוקה בעולם ובעיקר באזורי ספר שלא מחוברים לרשתות הובלת מים ארציות, נתייחס אליו גם כאן.

9.3. אגירת מים בתחומי המגרש

בארץ ישראל ובמזרח התיכון כולו, אגירת מים נעשתה באופן מסורתי מכיוון שמערכת ההובלה הארצית לא הייתה קיימת עד לפני מספר עשורים. אפשר לראות אזכורים רבים במסורת ובמקורות לאגירת מי גשמים ואף לאגירת טל.

" ותן טל ומטר לברכה על פני האדמה " (ברכת השנים מתפילת שמונה עשרה) - הטל מוזכר אף לפני המטר, בהיותו מקור מים זמין גם בקיץ.

לשימוש במי הטל (נקרא בד"כ קציר טל) יתרון אחד משמעותי, והוא שהטל מתעבה במשך כל ימות השנה, בניגוד לעונה הגשומה הקצרה. קציר הטל נעשה באמצעות משטחים קרים – בדרך כלל מתכות. אלו יכולים להיות מיושמים מסביב לעצים ושתילים בצורת משפך, ולחשוך כך בהשקיה. או להיות מיושמים כגגות, אם בבית עצמו ואם במחסנים, סככות חניה וסככות חקלאיות. הפוטנציאל של קציר הטל תלוי כמובן בלחות היחסית באזור ובתקופת השנה. בהסתכלות מההיבט האנרגטי ניתן לומר שאגירת מים ברמה המקומית זולה ויעילה בהרבה מאשר חלחול המים לאקוויפר ושאיבתם הממוכנת משם.

אולם החשיבה הירוקה בארץ היום גורסת "אגירה" משותפת ברמה ארצית – כלומר, החדרה של המים מהגגות והמרזבים אל הקרקע, אל מאגרי מי התהום, במקום סילוקם החוצה מגבולות המגרש. כאשר אנו רוצים לפעול בגישה זו ברמת המגרש היחיד, מכוונים את מי המרזבים והגג העילי אל בור חלחול בחלק הנמוך ביותר של המגרש. (ראו סעיף 3)

9.3.1. מאגר מי גשמים

לצורך בניית מאגר מי גשם כדאי שההולכה למאגר תהיה פשוטה, ללא צנרת מסובכת ומרובת זוויות ופניות. כאשר אוגרים את המים מהגג, אין להסתפק בצינור מי גשם (צמ"ג) אחד בלבד. תמיד רצוי לתכנן מספר פתחים נכון, כדי להימנע מעומס מים על האיטום ופתח הניקוז. אלא שיש לבדוק אם ניתן לרכז את כל הצמג"ים / מרזבים בכיוון אחד, שקרוב יותר למאגר המתוכנן. ישנם שלושה אמצעי אגירה עיקריים:

מאגר פתוח: בריכה בנויה יכולה בקלות להוות מאגר מי גשם, ולשמש כבריכת שחיה בעונה היבשה. רחצה במים רכים נחשבת מצוינת מבחינה בריאותית.

מיקומה של הבריכה בחלק הנמוך של המגרש מקל על איסוף מי הגשם מהגגות והמשטחים שבחצר. יש לדאוג להפניית עודפים במערכת ניקוז מתאימה אל הקרקע כאמור בסעיף קודם, או אל מאגר משני (ראה בהמשך לגבי טיהור וחימום המים).

אגירת מי גשם במיכל פלסטיק. המכלים ניתנים להטמנה בקרקע בזמן הבניה, ואפשר לרכוש אותם בכמה נפחים, בהתאם לצפי הגשמים. המים נשמרים נקיים וניתן להשתמש בהם, מעבר להשקיה, גם למטרות אחרות ואפילו לשתיה בתקופת החורף והאביב (הם אמנם מחוסרי מינרלים, אבל נקיים יותר ממי ברז וללא פלואור והכלרה). מחיר המכלים אינו זול, ואם קוברים אותם אסור להעמיס יותר מדי אדמה מעל.

מאגר תת-קרקעי יצוק מבטון. ניתן לצקת אותו כיסוד לממ"ד. מטרת השימוש במים בבור יכולה להיות מאגר לשעת חירום לשתיה, או להשקיה. בכמה מיזמים חינוכיים שנחנכו לאחרונה בבתי ספר, משמשים מי הגשם הנאגרים לצורך הדחת אסלות.

על פי המלצה של משרד הבריאות לא רצוי להשתמש במי שתיה מבורות מים שבאים במגע ממושך עם קירות בטון, ביחוד בטון מזוין עם ברזל. ההמלצה המקובלת {על פי הנסיון באירופה} היא ליישם שכבות של איטום - ציפוי- הפרדה בין המים לבין קירות הבטון. החומר המומלץ למאגרי מים הוא **bonsal-surecoat**, חומר שגם מבצע פעולה של איטום כנגד חדירה של גז ראדון.

רצוי גם להעביר את המים בנקודת היציאה מהבור דרך פילטר פחם.

9.3.2 החדרת מי נגר

החדרת מי נגר עילי היא פעילות חשובה מאד ו"ירוקה" מאד. היא מהווה תקנה ברשויות מסוימות בישראל, ולעתים מתבקשת ברמת התב"ע (תוכנית בניין עיר) השכונתית. ניתן לתכנן החדרת מי נגר ברמת המגרש הבודד על ידי תכנון וביצוע בורות חלחול בתחומי המגרש. זהו בור ממולא אגריגטים ועטוף ביריעה גיאוטכנית, הממוקם בנקודות הנמוכות במגרש, לשם מתנקזים המים ומחלחלים אל מי התהום. דרך נוספת היא הגדלת שטח הריצוף החדיר למים. הכוונה היא לריצוף לא מלא, למשל אריחי ריצוף ריבועיים או מלבניים שלהם קצוות קטומים. בחיבור בין הקצוות נוצר שטח קטן לא מרוצף, שמאפשר חלחול.

קיים גם פרט למשטחי חניה הכולל רשת פלסטיק חזקה, שעליה ניתן לגדל צמחיה, להשקות ולאפשר חלחול, והיא חזקה מספיק כדי לשאת את משקל הרכב ולאפשר לו יציבות בחניה, מכיון שאנו מונעים היווצרות בוץ.

יש לתכנן את המגרש כך שכמעט ולא יהיה איבוד מים למערכות הניקוז, אלא החדרה של מי נגר אל הקרקע באזור מרוחק מהיסודות של המבנה. רצוי להשתמש כמה שיותר בתכסיות קרקע שמאפשרות חלחול, כגון חצץ, דשא או חיפוי צמחי (חיפוי על ידי גזם יבש קצוץ לא צורך מים להשקיה, מונע בוץ על פני השטח ומאפשר חדירת מים).

9.3.3. מחזור מים אפורים

בישראל קיימות מערכות רבות למחזור מים אפורים בתחומי התעשייה והחקלאות, אבל התחום הביתי עדיין פחות מפותח.

מתוך הנתונים שמוצגים בגרף מספר 1 לפרק זה, אפשר לחשב את אחוז המים הניתן למחזור כמים אפורים: המים שמשמשים לאמבטיות ומקלחות, כיור האמבט ומי הכביסה, בסך הכל 49% מסך כל המים הנצרכים, יכולים לעבור תהליכי טיהור ולשמש להדחת האסלות, הצורכות 40% מהמים, או להשקיה לאחר טיהור מוקפד.

אמצעים ושיטות למחזור מים אפורים

קיימות כמה שיטות למחזור מים אפורים כאשר המשותף לכולן הוא שיש להתקין צנרת נפרדת בקוטר 50 מ"מ שתנקז את מי המקלחות, הכיורים, (פרט לכיור המטבח בגלל ריבוי שומנים, שיוצרים עומס אורגני), מכונת הכביסה, וניתן להוסיף גם מי עיבוי המזגנים, (שאינם זקוקים לטיהור ופשוט מוסיפים נפח מים) ולהוביל אותם לאגנים המיועדים לטיהור בנפרד ממערכת הביוב הרגילה.

בשלב זה, חשוב להקפיד עם האינסטלטור המבצע על הפיכות של המערכת – כלומר להוסיף מגוף שיאפשר להחזיר את המים האפורים לביוב. זאת במידה והבית עובר לבעלים שלא מעוניינים במערכת, או מכל סיבה אחרת.

שימוש במים אפורים

שתי המטרות הנפוצות לניצול מים אפורים מטוהרים הן השקיה והדחת האסלות. לעניות דעתי עדיף להשתמש במים המטוהרים להדחת אסלות, מאשר להחדיר אותם למי התהום על ידי השקיה. (זאת מאחר והפיקוח על איכות המים לא נעשה על ידי גורמים מקצועיים ממונים) האסלות הן צרכן המים מס' אחד של כל בית וניתן לחסוך כ 40% מים שפירים על ידי הדחתן במים אפורים.

כיום קיימות כמה חברות המשווקות מתקנים ללא אלמנטים ביולוגיים בכלל. במתקנים אלה מתקיים רק איסוף של מים, הכלרה ושימוש חוזר. שימוש במתקנים אלה להדחת אסלות יוצר בעיה מכיוון שהכלור מזיק לגומיות שבמנגנוני הניאגרות ונוצר צורך להחליף אותן מדי שנה. כמובן שבמים ממתקנים כאלה לא מומלץ להשתמש להשקיה.

מערכות ביולוגיות לטיהור מים אפורים

במערכות ביולוגיות, המים עוברים תחילה למיכל הפרדת שומנים, שנקרא גם "בור רקב" ומשם הם זורמים ללא המוצקים והשומנים אל מערכת של אגנים ירוקים (Constructed wetland).

האגנים הם מאגרים אטומים ובהם צמחי מים ואבנים. המים האפורים נעים באיטיות דרך שורשי הצמחים והאגרגטים השונים ממיכל למיכל עד למיכל האגירה הסופי. בכל מיכל מתרחשים שני סוגים של טיהור המים:

1. טיהור מכני שנקרא בדרך כלל "ליטוש המים" נעשה ע"י פילטריזציה של המים דרך 3 דרגות של אבנים: חלוקי נחל, שברי רעפים וחצץ.

2. טיהור ביולוגי על ידי הבקטריות. במערכת כזו אין צורך להביא את הבקטריות, אלא רק לספק להן את בית הגידול שהוא שורשי הצמחים, והן מגיעות מדרך הטבע. כל זרימת המים מתרחשת מתחת לאבנים, כך שאין חשיפה של המים, אין ריח או משיכה של יתושים.

הגדרת מערכת מחזור המים

כאשר באים לתכנן מערכת ביתית של אגנים ירוקים חשוב להגדיר את גודל המערכת וסוג המאגר שיכיל בסופו של תהליך את המים המטוהרים.

1. גודל המערכת: החשיבות בחישוב נכון היא קריטית – במערכת קטנה מדי המים לא שוהים זמן מספיק, ולא מספיקים לעבור טיהור. מטרתנו היא לעכב את המים במערכת ככל הניתן. במערכת גדולה מדי מאבדים הרבה מים, הם משקים את הצמחים בדרך, ובסוף נשארים מעט מים מטוהרים לשימוש. (לכן מערכת גדולה מתאימה כאשר מדובר במערכת שמטרתה החזרת מים נקיים לטבע ולא שימוש במים הנקיים). קיימים מספרים שונים המומלצים על ידי המומחים השונים. חשוב להיוועץ לפני תכנון מערכת, מכיוון שזו השקעה לא קטנה של מאמץ ומשאבים.

2. סוג מאגר המים המטוהרים: המאגר האחרון, שבו המים כבר צריכים להיות צלולים וללא ריח כלל, יכול להיות ברכת נוי, או מיכל סגור טמון באדמה. במאגר זה יש להתקין משאבה שתסדיר את הולכת המים אל ראש ההשקיה של הגינה או אל הניאגרות. היתרון במיכל הסגור הוא מניעת אידוי, שנגרם בבריכת הנוי. (בה יש להקפיד להוסיף דגים למניעת התפתחות יתושים).

מחזור מים אפורים בתהליכים אנאירוביים

עוד אפשרות למחזור מים אפורים, אם כי יקרה יחסית וזמינה מעט פחות, היא שימוש בתהליך אנאירובי: תהליכים אלו כוללים בעיקר מכלים תת-קרקעיים, נסתרים מהעין, בהם מתרחשים תהליכי הטיהור ע"י שקיעה, או בקטריות, או בעזרת מידה מסוימת של הכלרה. מערכות כאלו קיימות גם בקנ"מ גדול, וגם לשימוש ביתי.

9.3.4 טיהור אקולוגי וחימום סולארי של מי בריכות שחיה

בדרך כלל בריכות שחיה מצטיירות כאלמנט בזבזני ובהחלט לא אקולוגי – כמויות גדולות של כימיקלים נדרשות כדי לשמור אותן סטריליות מספיק לשימוש, וכמויות גדולות של דלקים כדי לחמם אותן בחורף. לשתי הבעיות האלה יש כיום פתרונות ירוקים.

טיהור הבריכה יכול להיעשות באמצעים ביולוגיים ללא כל התערבות כימית. זה נעשה על ידי הקצאה של אזור התחדשות: זוהי מעין בריכת נוי בגודל 20% מגודל הבריכה עצמה, שיש בה מצעי אבן וגדלים בה צמחי מים ספציפיים. המערכת הביולוגית הבקטריאלית שמתפתחת באזור ההתחדשות יודעת לטהר את מי הבריכה, שעוברים בה ע"י משאבה, למצב של מים צלולים ביותר. בדרך כלל ממקמים את אזור ההתחדשות גבוה יותר מהבריכה, כך שהמים חוזרים אל הבריכה

במפל, מה שיוצר צליל נעים, אסתטיקה, וגם חמצון. הפעלת המשאבה ומעבר המים דרך אזור ההתחדשות צריך להתרחש ללא הפסקה, ומשאבה אחת מוקדשת רק לזה. פרט למשאבה זו אין צורך בתדרי מכוונות כלל, זה יוצר גם חיסכון באנרגיה וגם חיסכון במקום. אין הכרח להצמיד את אזור ההתחדשות לבריכה, וזרימת המים יכולה ליצור מעין "נחל" בחצר. הטכנולוגיה פותחה באוסטריה ומקובלת באירופה מאד, בעיקר במגזר הפרטי, וזמינה גם בארץ.

חימום הבריכה מתאפשר על ידי מערכת סולארית תרמית, דומה במקצת לקולטים של דודי השמש, ובעצם פועלת על אותו עיקרון. הקולטים נפרשים על המדשאה קרוב לבריכה, או על גדר או על גג בזווית מתאימה כלפי השמש, והמים נדחפים על ידי משאבה, נפרדת מהמשאבה של טיהור המים, ועוברים דרך הקולטים, עד שכל המים מתחממים. המערכת מתאימה לטמפרטורות חמות-נמוכות, ולעונות המעבר בלבד – אפשר, באקלים שלנו, לשחות בבריכה מחוממת עד סוף נובמבר ושוב במרץ. מדובר בתוספת של 150 ימי רחצה בנוסף לימות הקיץ, ללא כל השקעה של אנרגיה מזהמת. צריך להשקיע מחשבה במיקום מערכת הקולטים, בהתחשב בעובדה שככל שמרחיקים אותם מהבריכה, זקוקים למשאבת סחרור גדולה יותר. אין כל סתירה בין המערכות וניתן להקים את שתיהן באותה בריכה. ניתן להתקין מערכת חימום סולארית ולחמם את המים בבריכה המטוהרת ביולוגית עד לטמפ' של 29 מעלות. כמו כן ניתן לייצר גם בריכות הידרותראפיות המגיעות עד לטמפ' של 34 מעלות, אך לאחרונות קיימת צמחייה ייעודית המתאימה לתנאים טרופיים. החשש לגבי האצת התהליכים בעקבות חום והתפתחות בקטריות לא רצויות, נכון רק כאשר מדובר על מערכות בטמפ' של 36 מעלות ומעלה כמו ג'קוזי.

10. חימום וקירור אקטיבי - HVAC

ראשית יש לציין, שכל ההמלצות שניתנו עד כה מיועדות לצמצם את הצורך בשימוש במערכות מיזוג אויר ובמערכות חימום הצורכות חשמל ודלקים לשריפה. עם זאת, סביר להניח שעדיין יהיו ימים ושעות בהם יהיה צורך בחימום ומיזוג, ולכן אביא כאן המלצות ראשוניות לנצילות גבוהה של מערכות אלו.

10.1. מקורות אנרגיה

הנושא הראשון שעלינו להביא בחשבון הוא מקור האנרגיה, כדי לנסות לצמצם את השימוש במקורות אנרגיה מזהמים ומתכלים. מטרתנו היא שימוש במקורות אנרגיה מתחדשים ונקיים. **חשמל**: כאשר אנו מחממים בחשמל, בישראל היום, אנו שורפים דלקים פוסיליים (פוסילי - מחצב מתכלה) בתחנות הכוח. יעילות השריפה היא גבוהה יחסית, אך מקור החומר הוא בעייתי מבחינה סביבתית, והפליטות של CO₂ לאויר גבוהות. לכן אם משתמשים בחשמל, יש לבחור היטב במוצרים החסכוניים ביותר ולתחזק אותם היטב. (כאשר מקור ייצור החשמל יהיה ממקור אנרגיה נקייה, ניתן יהיה להעריך מחדש את ההשפעה הסביבתית).

גז: הגז גם הוא מקור אנרגיה פוסילי, אך יתרונו בכך שהבעירה שלו נקייה יחסית מגזים רעילים.

דלקים נוזליים (סולר, נפט וביו-דיזל): שרפתם פולטת גזי חממה והשימוש בהם נחשב למזהם. הביו-דיזל הוא דלק המיוצר משמנים צמחיים משומשים. מכיוון שאינו דלק מחצבי, פליטת גזי החממה שלו מאוזנת: בזמן הגידול של הצמחים הם סופחים פחמן, ובזמן הבעירה של הדלק אותה כמות פחמן נפלטת וחוזר חלילה. לכן האנרגיה הדרושה לניצול שריפה של ביו-דיזל נחשבת נמוכה יותר.

עץ: חומר צמחי מתחדש. שאריות גזם וכדומה מהוות מקור טוב לשרפה, כאשר לעץ יש יתרון משום שהוא סופח פחמן במהלך חייו ובכך מאזן את הפליטות מהשריפה. אולם שרפת עצי חורש שאינם מיועדים לכריתה יוצרת בעיות סביבתיות אחרות. בכל מקרה, יש לטעת עצים בכל הזמן ובכל מקום ודרך אפשריים.

אנרגיה מתחדשת (ראה פרק 12).

10.2. ההשפעה הסביבתית של מערכות חימום

10.2.1. מזגן

לגבי יעילות המזגן בכלל – ראו בהמשך בסעיף קירור. כאשר בודקים את נושא החימום במזגן בפרט, נוצרת סתירה בין המיקום האידיאלי של המזגן בקיץ ובחורף. בקיץ, שהוא העונה העיקרית בה משתמשים במזגן, רצוי להתקין מזגן עילי, כדי שהאוויר הקר שמטבעו יורד כלפי מטה, יעבור את כל החדר ויקרר אותו ביעילות. בחורף דרוש לנו אמצעי חימום שיתחיל מהאזור הנמוך ביותר בבית, ולכן כדאי למקם את המזגן על הרצפה. מכיון שבארץ מעטים יעדיפו את שיקולי החימום על פני שיקולי הקירור, נוצר מצב שבו בדרך כלל המזגנים הם עיליים, ולפיכך מספקים חימום פחות יעיל. בנוסף, ישנם רבים הסובלים מהאוויר היבש שפולט המזגן בחורף. כך נוצר מצב שבו בחורף, בנוסף למזגן, אנשים רבים משתמשים בתנורי חשמל מקומיים קטנים שאינם יעילים אנרגטית.

10.2.2. קמין (תנור ארובה)

הקמין יכול לפעול על עץ, נפט/סולר או גז. בדרך כלל מדובר באמצעי חימום הממוקם במרכז הבית ומשרה חום על הסביבה הקרובה (אלא אם הקמין משולב במערכת הסקה של רדיאטורים המפוזרים בכל הבית – על כך בהמשך). לקמין שמור היתרון האסתטי, ביחוד לקמיני עץ. המיקום האופטימלי לתנור מבחינת שימור האנרגיה: כדאי למקם תנורי ארובה במרכז הבית, לא ליד קיר חיצוני. יש לנסות ולהעביר את הארובה דרך כמה חללים לפני שהיא יוצאת החוצה. אחת הבעיות שיש להביא בחשבון ולהתמודד איתן בנושא הקמין, היא צריכת החמצן של האש. האש זקוקה לחמצן כדי לבעור ולא לדעוך. בחורף, בחדר הסגור, נוצרת "תחרות" על החמצן בין האש לאנשים – המחסור בחמצן מרדים, לכן לא פלא שאנו מנמנמים בנחת מול האח המוסקת... בחלק

מהמערכות המוצגות בהמשך מיושמות דרכי פעולה שונות לצמצום כמות החמצן המגיעה לקמין.

הגברת הניצולת של הקמין :

§ מערכת המורכבת ממפוח המזרים את האויר החם אל צנרת המזגנים באם קיימת כזו, או אל צנרת מיוחדת תת קרקעית, יכול להביא לחיסכון גדול בחשמל.

§ התקנת צנרת אויר נקי שבא מבחוץ ועובר בתוך התנור, כך שאויר צח, אבל גם חם, זורם בבית בזמן שהתנור פועל.

§ התקנת צנרת נחושת או ארובה כפולה, שמשמשת לחימום מים בדוד השמש בזמן שהתנור פועל.

§ הוספת תא אפיה ומשטח להעמדת סיר, שהופכים את התנור לאמצעי בשול שחוסך חשמל וגז.

מקורות אנרגיה להפעלת הקמין :

§ נפט/סולר : בתנורי נפט וסולר אנו משתמשים בדלקים פוסיליים, פליטות הפחמן גבוהות, והמחירים יקרים לכן ההמלצה היא לנסות ולבדוק אפשרות שימוש בביו-דיזל, המתאים לרוב תנורי הסולר על ידי כונון של הדיזות (הרחבתן). כמו כן, כדי לחסוך באנרגיה, מומלצות מערכות עם תנור תומך הסקה. במערכות אלו מקור אנרגיה אחד מחמם את כל הבית באמצעות צנרת מים המועברים לרדיאטורים או למערכת חימום תת-רצפתי. (ראה סעיף הבא)

§ גז : קמין הגז מספק את הבעירה הנקיה ביותר, ויש לו יתרון גדול בכך שאינו לוקח חמצן מהחדר כלל. לקמיני גז ארובה כפולה – בחלקה הפנימי נפלטת החוצה בעירת הגז, ומחלקה החיצוני חודר אויר צח אל הקמין ומספק לו את תצרוכת החמצן.

§ עץ : תנורי עץ מתחלקים לשני סוגים – תנור פתוח ("אח") ותנור סגור ("קמין עץ"). התנורים הפתוחים צורכים חמצן מחלל החדר ללא כל בקרה, מה שגורם לשרפת עץ מהירה ושימוש בזבזני בעץ. קמיני העץ הסגורים מגיעים בדרך כלל עם ווסת שמאפשר שליטה בכמות החמצן הנכנסת וחיסכון בחומר בעירה. קמין עץ משולב נפט, בעל ידי מדף מתכת שממוקם מעל למנגנון הבעירה בנפט, הוא מוצר קיים.

10.2.3. מערכת הסקה מרכזית

המערכת יכולה להיות מופעלת על ידי חשמל (תת-רצפתי) או על ידי חימום מים (תת-רצפתי או דרך רדיאטורים):

§ צנרת חשמל תת-רצפתי : אין נתונים על מידת החיסכון של מערכת זו, וקיים חשש מסוים בציבור לגבי התקנת מערכת של צינורות חשמל הפרושים מתחת לכל הבית בשל הקרינה האלקטרו מגנטית שאולי נפלטת מהם.

§ מים : חימום באמצעות מערכת הסקה על ידי מים כולל מערכת הסקה המורכבת מצנרת תת-רצפתי או לחלופין רדיאטורים, משאבת סחרור ומרכזיית ברוזים לפי החדרים השונים. מקורות החימום למערכת הסקה זו יכולים להיות :

1. תנורי גז/נפט/סולר – תנורים פונקציונליים הממוקמים בחדר שרות.

2. משאבת חום מופעלת חשמל (ממוקמת בדרך כלל בחוץ בדומה למעבה של מזגן) : משאבות חום הן מערכות מבוססות חשמל כך שהשריפה מתבצעת בתחנת הכוח. בעזרת רדיאטור ומחליפי חום,

מערכת זו משתמשת באנרגיה חשמלית כדי לשאוב אוויר חם מהסביבה אל מערכת מים בחימום תת רצפתי / רדיאטורים, שמספקת חום בדרך יעילה (מלמטה למעלה) ונעימה. המערכת יעילה מאוד מבחינה אנרגטית, רק כ-25% מהחום שמופק על ידי המערכת מקורו בחשמל כאשר כ-75% מקורם באנרגיה נקייה (שימוש מחודש באנרגיית השמש שחיממה את האויר והאדמה. משאבת החום בעצם מחלצת חום זה ומעבירה אותו למים במערכת). המערכת מפחיתה בצורה ניכרת את השימוש והשריפה של דלקים פוסיליים ואת פליטת גזי החממה: מערכת כזו חוסכת 90% מגזי החממה הנפלטים בהסקה בחומרי בעירה. יעילות המערכת גבוהה מזו של מזגן, אם משתמשים בו לצורך חימום, ועלותה נמוכה יותר. היעילות האנרגטית גבוהה גם פי 3-4 מאשר בתנורי שריפה. המערכת יכולה לשאוב חום מהאוויר גם כאשר טמפרטורת הסביבה נמוכה עד כדי -15°C . אותה מערכת עצמה גם נותנת פתרון קירור ששווה ביעילותו למזגנים מסוג INVERTER, על ידי צ'ילרים ומפוחים. כך במערכת אחת פותרים גם את צורכי החורף וגם את צורכי הקיץ בשרפת אנרגיה המינימלית האפשרית היום, ובמיקום נכון של מקור החום/קור בכל עונה. משאבת חום נותנת פתרון גם לחימום מים לשימוש ביתי. כדי להבין את הפעולה של משאבת חום, אפשר לחשוב לדוגמה על מצב בו יש במתחם בריכת שחיה וגם חדר כושר. מאחר שחדר הכושר הוא חלל שצורך קירור גם בעונות המעבר ואפילו ברוב ימי החורף. משאבת החום יודעת "לקחת" את החום שצריך לסלק מחדר הכושר ולהעביר אותו לבריכה בהשקעת אנרגיה מועטה.

מדוע אם כן השימוש במערכות אלה מוגבל? אנו נמצאים בתקופת מעבר, מכיון שעד השנים האחרונות החזר השקעה על משאבות החום ארך כ-8 שנים. היום, עם עלית מחירי הסולר במאות אחוזים, החזר ההשקעה על משאבת חום אל מול מבערי ההסקה הוא נמוך – שנתיים בלבד.

מקור סולרי תרמי: קיימות מערכות הסקה במרכזית בחימום תת רצפתי, שהמים שסובבים בהן מתקבלים ממקור סולארי. מציבים מספר פאנלים סולריים תרמיים על הגג שמחממים מים הנמצאים במערכת סגורה. המים החמים מוזרמים בצנרת מתחת לרצפת הבית, החום נספג במסה התרמית של הרצפה והמים שהתקררו חוזרים ועוברים שוב דרך המערכת הסולרית לשם חימום. הטמפרטורה שאליה מגיעים המים בדרך זו אינה גבוהה מאד, ולכן יש צורך בשכבת מסה תרמית עבה יחסית מתחת לריצוף (20-25 ס"מ במקום 10-15 המקובלים בדרך כלל), כך שבעצם החום נשמר במסה התרמית המווסתת את הטמפרטורה. מתחת לצינורות מונחת שכבת בידוד ומתחתיה הבטון. מערכות מסוג זה קיימות גם באקלימים קרים מאוד, לדוגמה בצפון ארה"ב, שם טמפרטורת האוויר מגיעה ל -15°C בחורף. במקרים כאלה נעשה שימוש בנוזל נוזל נוגד קפיאה בפאנלים ובהגדלה של המסה התרמית שמעל הצנרת, עד 80 ס"מ.

מערכת הסקה משולבת קמין: מקור אנרגיה מוצלח למערכת הסקה הוא קמין – הקמין נמצא בסלון בד"כ, ומספק חום נעים ואש יפה. מאחוריו מוחבא מיכל מים המסוחררים במערכת ההסקה. יש כאן חיסכון משמעותי באנרגיה, כשבעצם באותה האנרגיה הדרושה לחימום הסלון אנחנו מצליחים לחמם את כל הבית, כולל את המים בדוד השמש. קיים קמין משולב לעץ ונפט, שמאפשר להשתמש בעץ כאשר יש זמן וחומר, ולהשתמש בסולר/נפט/ביו-דיזל כאשר מתאים

יותר. מקורות אנרגיה אפשריים נוספים לתנור תומך הסקה הם נפט\סולר ללא שילוב עץ, או גז. יתרון משמעותי לקמין גז, כאשר הוא תומך מערכת הסקה מרכזית, הוא שיש הפרדה מוחלטת לשני תאים אוטונומיים בין הגז המזין את מערכת ההסקה, שבוער בתא האחורי, לבין הגז המזין את האש בתא הקדמי. במערכות הסקה רגילות, כאשר יש הפסקת חשמל והמשאבה מושבתת, צריך להפסיק את פעילות המערכת כדי לא ליצור קיטור מהמים שמפסיקים להסתובב. במערכת עם תאים אוטונומיים אפשר להמשיך וליהנות מחום התנור בתא הקדמי גם כאשר אין חשמל למשאבה.

10.3. מערכות קירור

מכיוון שמערכות מיזוג הינן צרכן חשמל כבד, יש להדגיש שוב את חשיבות התכנון הפסיבי: תכנון הבית מבחינת מיקומו במגרש, כיווני זיגוג, אוורור והצללה, בידוד ושאר האמצעים הפסיביים המתוארים לעיל צריך להביא את הבית למצב שבו מערכת הקירור האקטיבית תבוא כתוספת והשלמה בלבד לבית הפסיבי הבנוי נכון. בחלק מאזורי הארץ ניתן להגיע לנוחות תרמית ללא השימוש במיזוג משך רוב השנה.

10.3.1. מערכת מיזוג סולרית

כאלטרנטיבה או תוספת למזגן, קיים היום בשוק מוצר בתחילת דרכו – מערכת מיזוג סולארית. למיזוג אויר באמצעות אנרגיית השמש משתמשים במכונת ספיגה. מכונת הספיגה משתמשת בחום המתקבל מהמערכת הסולרית (או מקור חום חלופי לגיבוי כאשר אין מספיק שמש) לשם חימום תערובת של מים וחומר סופג (למשל Lithium Bromide) ובכך להתחיל את מחזור הקירור בספיגה. היתרון העיקרי של מערכת כזאת הינו חיסכון בחשמל בשעות צריכת השיא, בעיקר בעונת הקיץ. ישנן שתי חלופות להפעלת המערכת:

§ שימוש במכונה דו-שלבית שדורשת מים בטמפרטורות גבוהות יותר ולכן מצריכה שימוש בקולט מסוג "שוקת סולארית" (קולט פרבולי) אשר מחמם שמן לטמפרטורות של עד 300 °C ומצריך שימוש במחליף חום על מנת לחמם את מי החימום לטמפרטורה של כ- 180 °C.

§ שימוש במכונת ספיגה חד שלבית, אשר דורשת מים חמים בטמפרטורה של 90 °C וניתן להתאים לה קולט סולארי שטוח מתאים בעל זיגוג כפול להגברת נצילות הקולט. שטח הקולטים משפיע ישירות על כמות החום שהם מספקים. בתכנון המערכת יש למצוא את נקודת האיזון הכלכלית בין שטח קולטים גדול שמשמעותו עלות הקמה גבוהה של המערכת הסולארית אך הוזלה בעלויות הדלק לבין שטח קולטים קטן וזול יותר אך עם צריכת דלק גבוהה יותר.

מבחינה כלכלית עבור הצרכן ההשקעה במערכת מיזוג שמקור האנרגיה שלה הינו קולטים שטוחים אינה כדאית כלכלית עקב עלויות הקמה גבוהות והפסדי הפעלה בקיץ. יש לציין כי המוצר נמצא עדיין בשלבי פיתוח.

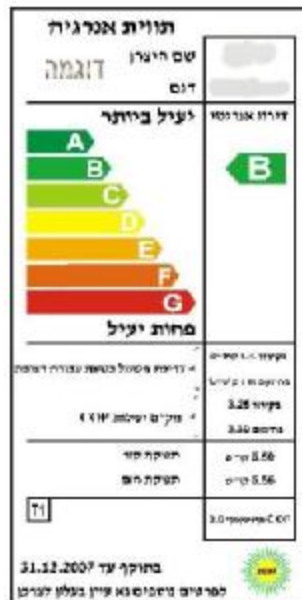
10.3.2. מערכת מיזוג קונבנציונלית

כאשר בוחרים להוסיף למבנה מערכת מיזוג אוויר, יש להיווכח כי זו המערכת החסכונית ביותר. נעשתה הרבה עבודה במשרד התשתיות כדי לאפיין מערכות מיזוג חסכוניות, והמסקנה היא שהשיטה החסכונית ביותר היא מיזוג בשיטת אינוורטר - מערכת מיזוג אוויר היודעת לעבוד בתפוקה משתנה לפי רמת הדרישה. חלק מהיצרנים מכנים אותה VRV או VRF. בשיטה זו מתאפשרות גם מערכות מיני מרכזיות עם שליטה נפרדת לכל חדר, וגם מערכות מפוצלות. החיסכון בחשמל במערכת זו מוערך ב-20-30%.

בשנים האחרונות יצאו שתי תקנות הנוגעות ליעילות אנרגטית של מזגנים:

§ התקנה הראשונה מחייבת נצילות (COP: Coefficient of Performance) מינימלית למזגנים על פי התפוקה שלהם.

איור 18: תוית יעילות אנרגטית



§ התקנה השנייה מחייבת שימוש בגז מזגנים ידידותי לסביבה (גז A410R).

§ בהשוואה בין מזגנים שונים חשוב לבדוק את ה (BTU British thermal units) בקירור ובחימום, ככל שה-BTU גבוה יותר, המזגן יפעל טוב יותר בפרק זמן נתון. גם ה COP הוא מדד חשוב ליעילות המזגן, ככל שהוא גבוה יותר יצרוך המזגן פחות חשמל עבור אותה תפוקת חימום או קירור.

§ כיום על כל מזגן מוצגת תוית אנרגטית המדרגת את יעילותו בין A ל G, דרוג אנרגטי A הוא הגבוה ביותר ומשמעותו המזגן היעיל ביותר.

11. בית חכם

בית חכם הוא בית שבו המערכות החשמליות מחוברות למחשב המאפשר שליטה על פעולתן, גם משלטים הממוקמים בתוך הבית וגם בשליטה מרחוק במקרים מסוימים. בדרך כלל מתקינים מערכות של "בית חכם" לצרכי נוחות, למשל השגת שליטה מרוכזת במערכות אודיו-וידאו, ו/או לצרכי בטיחות, כמו למשל נעילה אוטומטית של כל הדלתות והחלונות בבית, בתיאום עם נעילת הדלת הראשית.

תסריטי פעולה

כל מהלך של חיבור חשמלי בין מרכיבים שונים בבית (לדוגמה הפעלת מערכת ההשקיה מרמת יובש מסוימת של הקרקע, הגפת כל התריסים עם נעילת הדלת הראשית, הפעלה אוטומטית של דוד החשמל בחודשי החורף וכדומה) נקרא תסריט פעולה. ניתן לתכנן מספר תסריטי פעולה לתפעול מנגנונים שונים בבית.

הנה הצעות לכמה תסריטי פעולה שיכולים להביא לחיסכון באנרגיה וייעול של משק החשמל של הבית:

§ חיבור גופי התאורה למערכת הכוללת חיישנים שמכבים אורות בחללים ריקים. (חישני נפח)

§ פתיחה וסגירה של פתחים בהתאם למידת החום הנמדדת על-ידי תרמוסטט שמהווה חלק מהמערכת.

§ כיבוי אורות חוץ בשעות היום.

§ וויסות פעולת המזגנים בעזרת תרמוסטטים ותכניות הפעלה המתחשבות באקלים.

§ שליטה בהצללה: הטיית זוויות המרקיזות והתריסים, סגירה\פתיחה של ווילונות בעזרת מדידת רמת הקרינה.

כמובן שזה אפשרי רק במידה שכל ההצללות הללו חשמליות. בעזרת תסריטי פעולה אלו ודומים להם, ניתן לחסוך שעות מיותרות רבות של שימוש בחשמל.

בדרך כלל מערכות כאלו מותקנות במבני ציבור גדולים או במשרדים שבהם העומס האנרגטי הוא רב ויש חשיבות כלכלית רבה לניהול תקין וחסכוני של מערכות הבניין. אם בחרתם להתקין מערכת כזו בביתכם הפרטי מטעמי נוחות ואיכות חיים, כדאי לנצל גם לצרכי חיסכון באנרגיה.

12. אנרגיה נקיה

עד לשלב זה מתאר המדריך בהרחבה את השיטות, החומרים והאמצעים השונים לתכנון, בנייה ותפעול נכונים שיכולים להביא לנוחות גבוהה ולחיסכון ניכר בשימוש באנרגיה במבנה. אחרי שיושמו אמצעים אלה, נותרת צריכה נמוכה יותר מהרגיל של אנרגיה שהבנין ומשתמשיו בכל זאת צורכים. צריכה זו ניתן לספק על ידי יצור אנרגיה נקייה לסוגיה. חשוב לומר כי אין לראות בשימוש באנרגיה נקייה פתרון קסם שהופך בית סטנדרטי לבית ירוק. אנרגיה נקייה צריכה לבוא כתוספת והשלמה לכל האלמנטים התכנוניים הפסיביים שהוזכרו בפרקים הקודמים. לדוגמא: כדי להקטין את צריכת האנרגיה לקירור, יש ראשית להשתמש באופן מושכל בהצללות ובתריסים בעונת הקיץ, באוורור ובמסה תרמית וכד', אחרי כן להבין ולחשב את דרישות הקירור, ורק בסופו של תהליך זה לתכנן מערכת המיצרת אנרגיה נקיה שתוכל להשיב על דרישות אלה. כך אנו יכולים להגיע לאיזון האנרגטי (zero energy) בפשטות, בהשקעה קטנה יותר ובפחות תלות במערכות מתוחכמות.

ייצור מערכות האנרגיה הנקייה דורש אנרגיה רבה בפני עצמו ועלותן לצרכן לא מבוטלת בעוד שאלמנטים תכנוניים במבנה דורשים תוספת עלות קטנה או אפסית, ויכולים להביא לחיסכון משמעותי בעלויות בטווח הארוך. שימוש במערכות מתוחכמות של אנרגיה נקייה יכול להיות פתרון אם הוא מתברר ככדאי מבחינה כלכלית ואפשרי מבחינה תכנונית אולם לא יכול לפצות על החלטות תכנוניות לא חכמות שלא מתחשבות באקלים המקומי ובתנאים הייחודיים של המבנה.

12.1. אנרגיה סולארית פוטו-וולטאית

אנרגיה סולארית היא שיטת יצור החשמל הנקייה היחידה המתאימה לשימוש בקנה מידה רחב בבתים ובסביבה בנויה.

במערכות סולאריות, תאי שמש המיוצרים מסיליקון, הופכים את אנרגיית האור שבקרינת השמש לאנרגיה חשמלית. אנרגיה סולרית לייצור חשמל נמצאת בשימוש כבר כמה עשרות שנים אולם בדרך כלל נתנה מענה לצריכת חשמל במקומות מרוחקים ללא חיבור לרשת החשמל. המצברים במערכות מנותקות כאלה היו גורם מזהם, מכיוון שנוצר צורך להחליף אותם מדי כמה זמן והם ייצרו פסולת. כיום המערכת הסולרית יכולה להיות מחוברת רשת, ולכן נחשבת לפתרון סביבתי ונכון לדרישות החשמל הביתיות, כמו גם כלכלי לאור התקנות החדשות של רשות החשמל (ראו בהמשך). מערכת סולרית דורשת בראש ובראשונה שטח מתאים להתקנה: שטח מוצף שמש והפניה בזווית של עד 30° לכיוון דרום. מיקום הפאנלים הפוטו-וולטאים יכול להיות על הגג, אבל יש גם פתרונות יותר יצירתיים: הפאנלים יכולים ליצור הצללה על משטחי חניה או מגרש משחקים/ספורט מקורה, להוות חזית של אחד הקירות, או להחליף את הגג לגמרי ככיסוי עליון. לכל מטרה יש להתאים פאנלים שישרתו אותה בצורה הטובה ביותר. מיקום המערכת צריך להיות כזה שיאפשר הולכת חשמל ללוח הראשי ומקום לשאר רכיבי המערכת. לא מדובר במקום רב, בדרך כלל ארונית קטנה מספיקה למצברי גיבוי וממיר.

עלות ייצור חשמל סולארי כיום עדיין גבוהה מעלות ייצור חשמל בתחנות כח פחמיות כנהוג בארץ. מדינות שונות נרתמו לעודד התקנת מערכות סולאריות בבתים באמצעות הטבות למתקיני מערכות. הבולטות שבהן – גרמניה, ספרד, איטליה, צרפת, יוון, קלפורניה, ניו-ג'רסי ויפן. לרב מבוססת ההטבות על מכירת החשמל הסולארי לרשת המקומית בתעריף גבוהה במיוחד אשר ייתן לבעל המערכת החזר השקעה אטרקטיבי של 5 עד 10 שנים. לפעמים משולבת בהטבה גם סובסידיה או הקלת מס כזו או אחרת.

בחלק מהמקומות ניתנת הטבה גבוהה יותר למתקיני מערכות על גגות מבנים מלמתקיני קרקע. על מנת לעודד ניצול של שטחי גגות ולא משאבי קרקע. במקומות מסויימים, במיוחד בצרפת, ישנו תעריף מיוחד למערכות המשולבות בעיצוב הארכיטקטוני (BIPV).

בישראל קיימת מיולי 2008 הסדרה על פיה רוכשת חברת החשמל את החשמל הסולארי בתעריף של כ-2 ש"ח לקוט"ש. במחירי השוק כיום (2009) הדבר מאפשר החזר השקעה של כ-8 שנים למערכות בבתים פרטיים ו-6-7 שנים במערכות עסקיות.

רב המערכות המותקנות בבתים פרטיים הינן בהספק של כ-4 קוואט"ש שהוא הגודל המירבי הפתור ממס. שטחה של מערכת כזו בין 25 ל-40 מ"ר נטו. על גג שטוח מתפרסת מערכת כזו על כ-80-100 מ"ר ברוטו.

קיימות טכנולוגיות פוטו-וולטאיות שונות הנבדלות זו מזו בהתאמתן לשילוב במבנים בשל גודלן, צורתן או התאמתן לסביבת בני אדם. ישנם מוצרים סולאריים המתוכננים ומיועדים במיוחד לשילוב במבנים (BIPV). מאידך ישנן אף טכנולוגיות פוטו-וולטאיות הנמצאות בשימוש בתחנות כח סולאריות שהן מסוכנות ועלולות להיות רעילות לסביבה ולבני אדם.

תחזוקה ותפקוד אופטימלי

צריך להתייחס למספר נושאים בתכנון המערכת הסולרית:

- אפשרות לניקוי הלוחות פעם פעמיים בשנה למניעת הצטברות אבק, מכיון שהאבק מוריד את היעילות של התאים הפוטו-וולטאים.
- עמידה בתקנות בנייה ובטיחות של פרגולות וסככות, מכיון שבמקרים מסוימים הפנלים יכולים להחליף את מוצרי ההצללה לגמרי, ואז הם נחשבים לחלק מהסככה שצריכה לעמוד בכל התקנות האמורות.
- מניעת הצללות על המערכת, כדי שתגיע לתפקוד אופטימלי. ניתן לוודא זאת על ידי שתילת צמחיה רק בחזית הצפונית או צמחיה נמוכה או גיזום שנתי בחזית הדרומית.
- מניעת סינוור, בעיקר במצב של מפלסים לא אחידים. ניתן להימנע מסינוור על ידי שמירת מרחק נכון בין הבתים (שטוב גם למניעת הצללות) וגם על ידי שימוש בטכנולוגיות שמקטינות סינוור (למשל גימור מחוספס של הפאנל).

מערכות מחוברות רשת

השימוש בפאנלים פוטו-וולטאיים מומלץ כאשר ניתן לחבר את הבית לרשת חברת החשמל בחיבור דו-כיווני. כיום חברת החשמל מחויבת לחבר לרשת את יצרני החשמל הנקי, ויש לה כבר תקנות המאפשרות להתקזז עם הצרכנים/יצרנים. בכל רגע שנוצר עודף של חשמל במערכת הוא עובר לרשת הארצית כך שאין אפשרות לצבור חשמל במערכת הביתית וגם אין בכך צורך. מעבר לכך, בהתאם לתקנה חדשה של הרשות לשירותים ציבוריים חשמל, התשלום עבור מכירת חשמל נקי לחברת החשמל הוא 2.01 ש"ח, בעוד מחיר הקנייה עומד על 0.53 ש"ח. תקנה זו מאפשרת החזר השקעה סביר ביותר של 5-7 שנים למערכת.

עלויות

עלויות המערכת עדיין גבוהות, אך מאחר ובמערכת מחוברת רשת אין תלות של הבית באספקת החשמל ממנה בלבד, היא יכולה להיבנות באופן מודולרי – להתחיל במערכת קטנה המספקת כרבע מצריכת החשמל של משפחה ממוצעת ועלותה בהתאם, ולהגדיל את המערכת בהדרגה כאשר נוצרת אפשרות כלכלית לכך. מעבר לכך, בשנים מסוימות ניתן להגיש פרויקטים בסדר גודל של מעל 100,000 ₪ למשרד התשתיות לצורך תמיכה של עד 30% מעלות הפרויקט (ועד 100,000 ₪), כאשר ההגשה נעשית דרך החברה המספקת את המערכות.

12.2. אנרגיית רוח

אנרגיית הרוח מסובבת את טורבינת הרוח ומומרת לחשמל על ידי התנועה הסיבובית. למרות המחיר, הזול יחסית למערכת פוטו-וולטאית, בישראל נעשה שימוש מצומצם בטכנולוגיה זו במגזר הפרטי, זאת מכמה סיבות המהוות חסמים להרחבת השימוש:

- * התקנת טורבינת רוח טעונה אישור מיוחד, טורבינות רוח זקוקות לשטחים גדולים יחסית ופתוחים ללא הפרעות של צמחיה, בניינים גבוהים וכדומה.
- אין להצמיד את הטורבינה לגג משום שהיא גורמת לרעידות במבנה, ביחוד אם מדובר בבניה קלה.
- טורבינות רוח תלויות תלות גמורה בנשיבת הרוח ולכן לא יכולות לשמש ספק יחיד של אנרגיה באופן מהימן אלא במקומות ספציפיים.

12.3. אנרגיה גיאותרמית

הטמפרטורה בעומק הקרקע קבועה ויציבה לאורך כל השנה. שיטות חימום וקירור גיאותרמיות משתמשות בנתון זה כדי להחליף חום עם הקרקע בתיווך מים, באמצעות משאבות חום. קיימים שימושים ראשוניים לתחום זה בבנייה הציבורית בארץ, הנושא נמצא תחת מחקר ועדיין פחות ישים בבנייה פרטית.

13. חומרי בניה ועיצוב פנים

13.1 מחזור החיים של החומר

- מושג זה מתייחס לבדיקת ההשפעה הסביבתית של מוצר כל מהלך חייו:
- משלב הייצור: מקור חומרי הגלם (גידול/חציבה), הערכת האנרגיה הגלומה בייצור החומר, תהליכי עיבוד וכדומה.
 - דרך שלב השימוש: שינוע החומר ממקום למקום (המרחק שהחומר צריך לעבור עד לאתר הבנייה) ויישום החומר במבנה כולל האנרגיה הדרושה לתפקודו במהלך הבנייה ובמהלך חיי המבנה.
 - עד לשלב הסופי בחיי החומר, שיכול להיות הפיכתו לאשפה (גריסה, הטמנה וכולי) או שילובו בתהליך מיחזור.
- ניתוח מחזור החיים מאפשר מעקב אחר כמויות האנרגיה הגלומה, (אנרגיה הנצרכת עבור ייצור, שימוש ומיחזור של החומר) וכן מעקב אחרי כמות פליטות פחמן שנוצרות במהלך אותו מחזור חיים. בהבט זה יש חשיבות רבה לשימוש בחומרים מתחדשים לעומת השימוש בחומרים ממקורות מתכלים.

בטבלה הבאה ערכנו השוואה בין מחזורי החיים של בטון ושל עץ, שניהם אלמנטים המשמשים לבניית שלד הבניין בשיטות בניה שונות. זאת כדי להתחשב בהשפעה הסביבתית בתוך כלל השיקולים בבחירת שיטת בניה. להלן השוואה של העמודים והקורות במבנה על פי הקריטריונים שתוארו למעלה:

טבלה 10:

עץ (ממקור חקלאי)*	בטון	שלבים במחזור החיים
גידול, יערנות (דורש מים, מטמיע פחמן)	כרייה, מחצבות (דורש אנרגיה ויוצר פליטות פחמן)	מקור חומרי הגלם
כריתה	שריפה בטמפרטורות גבוהות**	ייצור החומר
חיתוך, ייבוש ואימפרגנציה (טבילה בחומרים כימיים לחיטוי)	הוספת כימיקלים	עיבוד
מיובא	מקומי בתוך ישראל	שינוע***
ללא צריכת מים וללא יצירת פסולת	צורך הרבה מים, צורך אנרגיה לערבול ולשינוע המערבלים, יוצר פסולת של תבניות****	תפקוד החומר במהלך הבנייה
העץ דורש תחזוקה, לא מהווה גשר תרמי בפני עצמו	חלקי הבטון מהווים גשרים תרמיים הדורשים בידוד	תפקוד החומר לאורך חיי המבנה
בכליתו הופך העץ במהירות לחומר אורגני, ניתן גם לשימוש חוזר בקלות יחסית.	ניתן למחזור אם כי יש בעיה בהפרדת הבטון מהברזל. השימוש היחיד כרגע בבטון גרוס הוא לתשתיות כבישים (אין תקן לשימוש מחדש בתערובת בטון). ללא מיחזור הכליה ארוכה מאוד.	כליה/מיחזור

* בבנייה ירוקה משתמשים רק בעץ חקלאי (harvested wood) מאושר ולא בעצים שיובאו מיערות גשם או חורש טבעי לא מפוקח. (כדי לוודא זאת יש לחפש סמל של איגוד היערנות עם הטבעת האותיות FSC)

** בשנים האחרונות עוברות חברות המלט תהליכים של שיפור השמירה על איכות הסביבה בתהליכי הייצור הכוללים הקטנת צריכת המים והאנרגיה, מיחזור פסולת מוצקה, הקטנת זיהום אויר ופליטת גזי חממה ועוד.

*** בתקני בניה ירוקה כיום ניתן ניקוד על שימוש בחומרים המשונעים לאתר הבנייה ממרחק מינימאלי (עד 600 מייל לפי תקן LEED)

**** מומלץ – גם על פי תקן 5281 - שימוש בתבניות רב פעמיות לבטון מצמצם את כמות הפסולת המצטברת בבנייה.

מהטבלה ניתן לראות כי לאורך מחזור חייו העץ הוא חומר ידידותי לסביבה יחסית לבטון, זאת במידה ומדובר בעץ מאושר ממקור חקלאי. האנרגיה הדרושה לעיבוד העץ נמוכה בהרבה מאנרגיית הייצור הדרושה לבטון וכך גם האנרגיה הדרושה לשימוש בחומר במהלך הבנייה. העובדה שהעץ הוא חומר שמתמחזר בקלות ואף ניתן לשימוש חוזר משמעותית מבחינת ההשפעה שיש לו על הסביבה בהיבט של סוף חיי המבנה לעומת הבטון שמוגבל למיחזור ולא ניתן לשימוש חוזר כפי שהוא.

ההבנה ששימוש בחומר בניה מן הצומח משפיע מאד על המאזן האנרגטי של המבנה (בזכות הטמעת הפחמן שעושה הצמח במהלך גדילתו) מחפשטת היום בעולם, ושיטות חדשות של בניה משאריות צמחים שונים, או מחבילות של קש למשל, מתפתחות במקומות שונים ונבדקות על ידי מכוני תקנים מדינתיים רבים.

איור 19: מחזור החיים



השלבים הראשוניים במהלך מחזור החיים (חומרי גלם, ייצור, עיבוד ושינוע) של כל חומר תלויים במפעל שמייצר את אותו חומר. רצוי לבדוק את אותם מפעלים מפעם לפעם ולהתעדכן בעמידתם בדרישות הסביבתיות (כפי שניתן לראות בדוגמא לגבי מפעלי מלט).

13.2. בניה בריאה

בניה בריאה פירושה שימוש מושכל בחומרי גלם וחומרי בניה שאינם גורמים נזק בריאותי למשתמשים במבנה. למשל: חומרים שונים בבניין יכולים לפלוט קרינה. חומרים נדיפים נפלטים מדבקים וצבעים על קירות ורהיטים עד כדי יצירת איכות אוויר רעילה לדיירים. מערכות מיזוג בבנינים גדולים יכולות לאפשר התפתחות מחלת הליגינרים. (במבני ציבור ניתן- במקומות מסוימים זאת חובה)- לערוך בדיקות תקופתיות לבדיקת איכות האוויר משום שהחדרת האוויר הצח נעשית באופן מלאכותי דרך אותן מערכות מיזוג. אלו ועוד סכנות בריאותיות אורבות לנו בחומרי הבנין.

בבנייה בריאה ישנה הקפדה על חומרי הבניה וחומרי הגימור ואף ניתן לכך ניקוד בחלק מתקני הבניה הירוקה. בטבלה הבאה מתוארות הסכנות הבריאותיות של שני החומרים שאת מחזור חייהם בדקנו בסעיף הקודם.

טבלה 11:

עץ	בטון	סכנות בריאותיות
	קיימת אפשרות של קרינת גאמה וקרינת ראדון	קרינה
במידה ויש אימפרגנציה		חומרים נדיפים

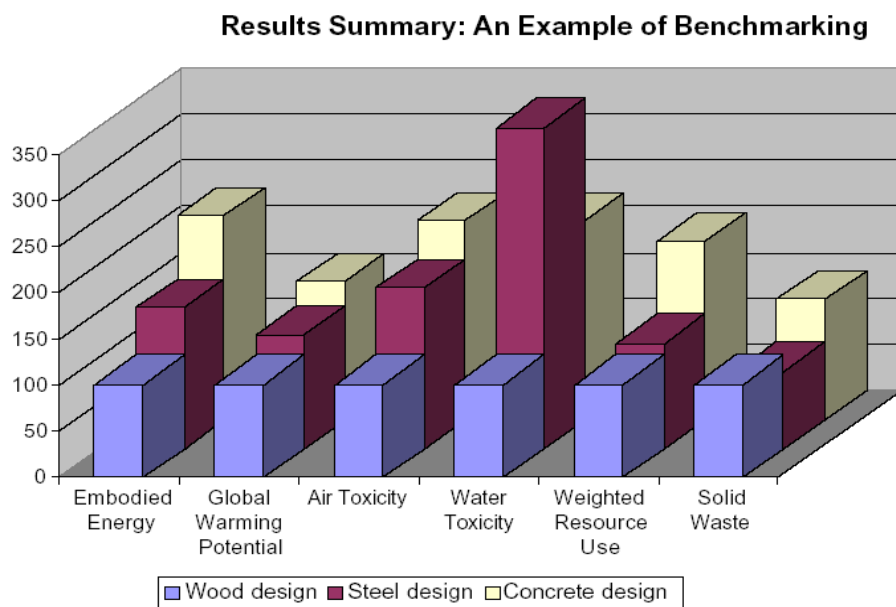
גם כאן ניתן לראות שהעץ (במידה והוא לא עובר אימפרגנציה) לא מהווה סכנה בריאותית למשתמשי הבניין ואילו הבטון עשוי לפלוט קרינה. הבטון עשוי ברובו מלט אך 10% ממנו הם מלאן (filler) - אפר הפחם. אפר הפחם הוא תוצר שרפת הפחם בתחנות הכוח של חברת החשמל, והשימוש בו פופולרי בגלל עלותו הנמוכה וזמינותו (לעומת החול, למשל). הפחם, כמחצב טבעי, מתאפיין ברמת קרינה מסוימת. ואולם חומרים רדיואקטיביים אינם נשרפים, ולכן האפר הנותר לאחר השריפה בתחנת צבר הפחם מתאפיין בערכים רדיואקטיביים גבוהים יחסית לאלה שבפחם הטבעי.

הסכנה בריכוזי אפר הפחם הגבוהים מתבטאת ביתר שאת בקירות העבים של הממ"ד האטום. כאשר בנוסף לכך הוא ממוקם במרתף, אף מתווספת לה השפעתו המזיקה של גז הראדון שבמקומות מסוימים נפלט מן האדמה. לכך יש להוסיף את העובדה שהממ"ד הוא חדר בעל חלון אחד בלבד לפי חוק, ולכן מתאוורר יותר בקושי ובאיטיות. קיימים חומרי חיפוי וטיוח המקטינים או ממסכים את הקרינה מהקיר.

זוהי דוגמא אחת בלבד לנושאים שתחום הבניה הבריאה עוסק בהם.

דוגמא נוספת: הגרף הבא משווה בין מאפיינים של חומרים שונים בהקשר של סכנות בריאותיות והשפעת החומרים על איכות הסביבה. יש לציין כי השוואה מעמיקה זו נערכה בארה"ב, שם העץ הוא חומר מקומי.

איור 22: סכנות בריאותיות מחומרי בנייה שונים



בכחול – בניה בעץ.

בסגול – בניה בפלדה.

בצהוב – בניה בטון.

הנושאים הנסקרים משמאל לימין: אנרגיה גלומה, פליטות גזי חממה, פליטות מזהמים לאויר, פליטות מזהמים למים, ניצול משאבים, יצירת פסולת.

ניתן לראות כי בהשוואה זאת בין עץ, פלדה ובטון, העץ הוא בעל ההשפעה הקטנה ביותר כמעט מכל הבחינות (השפעות בריאותיות וסביבתיות) למעט פסולת מוצקה. חשוב לציין כי השוואה זו אינה מספקת. על מנת להשוות בין מחזור החיים המלא של כל חומר וחומר יש צורך במחקרים אובייקטיביים נוספים שממומנים על ידי גוף חסר פניות (משרדי הבריאות, איכות הסביבה או השיכון, למשל) ולא רק על ידי החברות המייצרות עצמן.

13.3. התו הירוק לחומרים

על פי הגדרת מכון התקנים מוצר ירוק הוא מוצר שבאחד או יותר משלבי חייו הוא יותר ידידותי לסביבה (פחות פוגע) בהשוואה למוצר דומה ללא תו ירוק בעל איכות פעולה דומה. למשל שימוש מצומצם או אי-שימוש בחומרים רעילים, הפחתת ייצור פסולת בתהליך ייצור החומר, אפשרות למחזור החומר וכולי. התו הירוק עצמו ניתן על ידי מנהלת תו ירוק על פי קריטריונים שנקבעים לסוגי המוצרים השונים. לדוגמא בצבעים על בסיס מים ישנן דרישות כמותיות המגבילות חומרים כגון תרכובות אורגניות נדיפות, ואוסרות על שימוש בתרכובות מסרטנות ואחרות. כאשר המנהלת דנה בבקשת המוצר לקבל תו ירוק היא לוקחת בחשבון את עמידתו בדרישות החוק, את איכות המוצר, בטיחותו והשפעתו על בריאות המשתמש. במקביל נבחנת ההשפעה הסביבתית של המוצר בשלבי חייו השונים. מדי שנה נערכת בחינה מחודשת של המוצר לצורך המשך קבלת התקן. יש

חשיבות לכך שיותר ויותר מוצרים יעמדו בדרישות התו הירוק כיוון שכאשר יש תחרות בשוק, נוצרת עלייה הדרגתית באיכות החומרים באופן כללי.

נכון ליוני 2008 רשימת חומרי הבניה בעלי תו תקן ירוק מאוד מצומצמת וכוללת בלוקים ירוקים, בלוקי תבניות, פנלים אקוסטיים, טיח תרמי, גרטרורים ודלק ירוק. מעבר לזה יש מספר מוצרים ישראלים לבניה בעלי תווים ותקנים ירוקים ממדינות אחרות. התקן לבנייה ירוקה, 5281, מעניק ניקוד על השימוש בחומרי בניה בעלי תו ירוק.

13.4. חומרים ירוקים בעיצוב פנים

חומרים המשמשים לעיצוב פנים בדרך כלל פחות משפיעים על התפקוד האנרגטי של המבנה מאשר חומרי הבניה של המעטפת, ובודאי משפיעים פחות ממרכיבי התכנון. אולם בכל זאת, יש לקחת בחשבון את האנרגיה הגלומה בייצורם, את בריאות השימוש בהם (פליטת חומרים נדיפים וכולי כפי שתואר בסעיפים הקודמים) וכן את מחזור החיים שלהם מבחינת יכולת המיחזור והחידוש שלהם. למשל, ישנן מספר חברות המשווקות שטיחים מקיר לקיר שדואגות למחזור החיים השלם של המוצר: החומר ניתן לצרכן בשיטת הליסינג ומוחלף לפי הצורך. השטיחים לא מגיעים לשלב הפיכתם לפסולת, מכיוון שיש מיחזור של 100% מהמוצר. כמו כן מתחייבת החברה לצמצום הפסולת בתהליך הייצור.

קיימות גם מרצפות מגומי ממוחזר מצמיגים גרוסים, גם כאן יש התייחסות לחומרי הגלם ולחיסכון באנרגיה הגלומה בייצורם. ברשימה של מוצרי עיצוב פנים ממוחזרים אפשר למצוא גם גופי תאורה, ריהוט, מוצרים דקורטיביים ועוד.

תפקידם של מעצבי הפנים הוא לחפש חומרים כגון אלה ולעודד את ייצורם והשימוש בהם. כמו כן, ראוי לציין כי מעצבי הפנים אחראים לעיתים גם על נושא התאורה, וזו השפעה לא מבוטלת על צריכת האנרגיה של הפרויקט.

14. הפחתה, שימוש חוזר ומחזור

בפרק זה נתייחס לשלשת החיצים המפורסמים המופיעים על סמל המיחזור. הם מתייחסים לתהליך של הפחתה, שימוש מחדש ומחזור.

14.1. הפחתה

§ הפעולה הראשונה והחסכונית ביותר שניתן לעשות בהקשר של חיסכון באנרגיה ובכלל היא הפחתה במקור. מאחר ואנו עוסקים בבניה, ההפחתה הראשונית יכולה להיות בשטח המשמש לבניה:

בישראל משאב הקרקע נחשב למצומצם ביותר ויש דאגה מתמדת לגורל השטחים הפתוחים שנותרים למערכת האקולוגית הטבעית. בשנת 2005 אושרו הנחיות ארציות (תמ"א 35) שמגדירות את האזורים שניתנים לבנייה ואוסרות על בנייה של יישובים חדשים. הקמת שכונות חדשות בסמוך ליישובים או ערים קיימות נקראת בנייה צמודת דופן והיא הכיוון שאליו שואפת מדינת ישראל. במחשבה הרחבה של חיסכון במשאבי קרקע, פגיעה בערכי טבע ואיכות סביבה יש מקום להתייחס למיקום ואופי אתר הבנייה, בהעדפה גורפת לאתר שהמערכת האקולוגית הטבעית שלו כבר הופרה בעבר. (ראו הסבר בסעיף הבא)

§ בהקשר של הבניה עצמה אפשר להתייחס להגבלת שטח הבית, (הכוונה אינה להגבלה שתבוא מלמעלה, אלא לחשיבה שלנו הדיירים, כדי להבין באמת כמה שטח אנו צריכים), וכן להפחתה של חומרי אריזה, למשל, על ידי הזמנה של אריזות בנפחים גדולים. הפחתה בחומרי גלם על ידי שימוש בחומרים חסכוניים וכד'.

§ מעבר לכך עלינו לחשוב על הפחתת האשפה היוצאת מהבית אל מיכלי האשפה – זאת על ידי הפרדת הזבל האורגני ליצירת קומפוסט, (רק פעולה זו מפחיתה כ-45% מהאשפה) קניית מצרכים באריזות גדולות, יציאה לקניות עם סלים כדי למנוע צריכת שקיות ניילון רבות שיהפכו במהירות לאשפה, וכד'. לכך יש השפעה ישירה על איכות חיינו, מכיון שככל שכמויות האשפה לפינוי יקטנו, כך הצורך בנסיעות של משאיות האשפה בתוך השכונה יפחת. זה מוריד את המטרד הכרוך בכך, וכמובן חוסך את זיהום האוויר הנגרם ממנועי המשאיות.

14.2. שימוש חוזר

§ בהמשך לאותו עיקרון, יש הגיון בשימוש במבנה קיים ושיפוצו מאשר הריסה ובנייה מחדש. כמויות האנרגיה המושקעות בהרס המבנה הקודם יכולות להימנע. במקום לקנות ולהוביל חומרי בניה חדשים לאתר, ניתן לעשות שימוש חוזר ביסודות ובקירות בהתאם למצבם. כיום קיימת הכרה בערך המוסף שיש לשיפוץ מבנים קיימים ובנייה על שטח מופר, בנוי או שהיה בנוי בעבר (באנגלית: brown field). בחלק מתקני הבניה הירוקה הקיימים היום (למשל LEED – התקן הצפון אמריקאי) ניתן ניקוד לבניה באזורים מופרים לעומת קרקע בתולית.

§ מעבר לשטח הנבחר לבנייה, בתהליך הבנייה עצמו יש אפשרות להשתמש בתבניות יציקה מתועשות רב פעמיות (משמשות בעיקר לבניה באזורים מופרים לעומת קרקע בתולית).

§ פירוק מבנים : בתוך המבנה עצמו ישנם אלמנטים שניתן להשתמש בהם כך שיוכלו לשמש שימוש חוזר, לדוגמא חלונות ודלתות שקל לפרק אותם יחד עם המשקוף שלהם. זה קורה בעיקר בבנייה קלה שבה לא נעשה שימוש בחומר מליטה לצורך הצבת החלונות. גם כאן צריך לתכנן את הבנייה כך שניתן יהיה לשלוף את החלונות בקלות ופירוק המבנה הקיים צריך להיעשות בזירות תוך שמירה על החומרים.

§ תקן 5281 מעניק עד 4 נקודות לשימוש חוזר או מיחזור של חומרי בנייה באתר או מחוצה לו ועד 5 נקודות לשימוש באמצעים או שיטות בניה רב-פעמית \ מתועשת. גם תקן LEED מעניק ניקוד על מחזור ושימוש חוזר בבנייה.

14.3. מחזור

§ האפשרות השלישית היא מחזור – כלומר תהליך הצורך חומרים שתהליך החיים שלהם הסתיים והופך אותם לחומרים אחרים. מומלץ להשתמש בחומרים ממוחזרים בבנייה ובעיצוב הפנים (רהיטים, שטיחים, פלסטיק דמוי עץ, חומרי ריצוף מגומי ממוחזר- ראה פרק י"ג חומרי בניה).

§ בתחום הבניה האלטרנטיבית נעשה שימוש רב בחומרים ממוחזרים (צמיגים משומשים, פסולת פלסטיק, שאריות בדים לבידוד ועוד ועוד).

§ הרבה חומרים שמשמשים כיום בבנייה קונבנציונלית הם ממוחזרים בחלקם –פלדה ואלומיניום מכילים בדרך כלל אחוז מסוים של חומר ממוחזר. זכוכית ניתנת למחזור אם כי בישראל רק חלק קטן מלוחות הזכוכית הסטנדרטים עשוי זכוכית ממוחזרת.

§ כדי להקל על האפשרות להפריד ולמחזר פסולת רצוי לתכנן שטח אחסון מעט גדול מהרגיל במטבח או בחדר האשפה. בבנייני דירות המכילים חדר אשפה ניתן להגדיל את חדר האשפה לצורך פחים ייעודיים. בתקן הבניה הירוקה אף ניתן ניקוד על תכנון המאפשר הפרדה בין מספר סוגי פסולות (עד 4 נקודות).

§ פסולת צמחית ביתית ניתנת למחזור כקומפוסט ויכולה לשמש כחומר מדשן לגינה. הוראות להכנת קומפוסט ניתן למצוא בפרק הבא – חצר וגינה.

§ כדי לוודא שהחומרים שאנו כה טורחים להפריד אכן עוברים לתהליך מחזור, בפועל יש צורך בתאום לוגיסטי. העובדה שחומר אלמנט כלשהו ניתן לשימוש חוזר או שהינו בר מחזור לא מספיקה בפני עצמה אלא אם יש מערכת שתומכת בשימוש המחודש באותו חומר. לדוגמא: איסוף ייעודי והובלה של אותם אלמנטים בתהליך הבנייה שניתנים לשימוש חוזר אל מפעל המחזור, או אתר הפרדה קטן לאיסוף והפרדה של חומרים שניתנים לשימוש חוזר בתוך אתר הבניה עצמו. יש הרבה מקום ליצירתיות בשלב הזה, כמו שימוש בעץ שהוא שאריות של תבניות היציקה (טברות או טפסנות) להכנת דלתות נאות למבנה. ניתן גם להטמין חלק מהפסולת – בין אם פסולת בנין ובין פסולת ביתית - בטרסות או בגדרות העשויות מצמיגים – שגם הם פסולת בפני עצמם.

15. חצר וגינה

15.1. השפעת החצר על הבית ביצירת מיקרו-אקלים

החצר והגינה נותנות לנו הזדמנות ליצור סביבתנו "מיקרו-אקלים", ובכך לשפר את תנאי האקלים החיצוני הכללי. כדי שהגינה תשפיע טוב על הבית היא צריכה להיות ירוקה, מוצלת, עם אדמה פוריה ומתוחחת, גופי מים קטנים, ובעיקר עם אדמה מחופה ולא חשופה.

§ הצללה על ידי עצים, פרגולות וגדרות חיות ככלי להצללה.

§ ריצוף מינימאלי של השטח סביב הבית למניעת החזרי קרינה. כדאי להימנע מריצוף בהיר, אשר יחזיר קרינה אל תוך הבית ויגרום להתחממות יתר שלו. אם הכרחי, עדיף משטח עץ.

§ יצירת לחות על ידי מקווי מים וסביבה ירוקה.

- § שימוש בצמחים חסכוניים במים.
- § חיפוי קרקע לחיסכון במים ושמירה על לחות הקרקע.
- § אי שימוש ברעלים ופעולה על פי שיטות אורגניות.
- § יצירת קומפוסט.
- § כדאי להתקין בגינה מתקן ייבוש כביסה שיהיה נוח מספיק כדי להחליף את השימוש במייבש כביסה.

הוראות להכנת קומפוסט

הפסולת האורגנית (כל חומר שהיה פעם צומח או חיל) מהווה כ 50% מהפסולת בפח האשפה הביתי. לאחר זמן מה הפסולת האורגנית תוססת בפח האשפה ויוצרת מטרדי ריח וזבובונים שניתן למנוע בקלות על ידי הפרדתה מהפסולת היבשה האנאורגנית. ניתן להפריד ולאסוף שיירים של פסולת אורגנית ביתית אל תוך מיכל איסוף קנוי (קומפוסטר) או לבנות כלוב מרשתות או משטחי עץ ולהכין קומפוסט (חומר דשן) ביתי שיחסוך מקום ולכלוך בפח האשפה ויחליף את הצורך בקניית דשן גינה.

לתוך מיכל האיסוף (רצוי למקמו בחצר בנקודה פינתית אך מוארת, לאור ולחום חשיבות רבה ביצירת הקומפוסט) ניתן להשליך כל חומר טבעי (שיירי פירות וירקות, בדים, פרווה של בעלי חיים, קליפות ביצים, קרעי עיתונים וקרטון, שאריות אוכל מבושל (צמחוני), שקיות תה וקליפות ביצים). יש צורך ביצירת שכבות רטובות ויבשות בתוך מיכל האיסוף: שאריות המזון נחשבות חומרים רטובים ומעל כל שכבה של חומרים רטובים (ראה טבלה למטה) יש לכסות בשכבה של חומרים יבשים: גזם, יבש, קש, קרעי קרטון ונייר וכולי עד לכיסוי מלא (עד שלא רואים את החומר הרטוב). שיכוב זה יוצר את האפקט הדרוש להתחממות הערימה עד לטמפרטורה של 60°C, מה שמבטיח חיסול של הפתוגנים והרעלים ומאפשר יצירה של רקבובית בריאה ומזינה לגינה. אחרי מספר חודשים (3-6) ניתן להוציא את הקומפוסט המוכן מחלקה התחתון של הערימה (בקומפוסטרים קנויים ישנו פתח תחתית להוצאת חומר) ולערבב עם אדמת הגינה.

טבלה 12: מאפייני החומרים להכנת קומפוסט

חומרים עשירים בחנקן (חומרים רטובים/ ירוקים)	חומרים עשירים בפחמן (חומרים יבשים)
שיירי מטבח	קרטון, נייר גרוס
שיירים חקלאיים	קש או גבעולים יבשים
צמחי בר	נסורת מעצים חיים (לא מנגריה)
עלים ירוקים	כסחת דשא יבשה (בלי זרעים)
זבל בעלי חיים	עלי שלכת יבשים

16. התקן הישראלי לבניה ירוקה

הסבר על תהליך ההגשה וליווי לתקן 5281 – בניינים שפגיעתם בסביבה פחותה: ההכרה בחשיבות ויכולת התרומה של מבנים ירוקים לפתרון משבר האקלים התפתחה בעשורים האחרונים באירופה ובארצות הברית. ההערכה הרווחת כיום בעולם היא שכ 40-50% מכמות האנרגיה הנצרכת בסה"כ במדינות מתועשות, נצרכת עבור הסביבה הבנויה – כלומר עבור איקלום מבנים, שריפת חומרי גלם לענף הבניה, ושינוע חומרים לבניה.

אחת התוצאות החשובות של הכרה זו הוא כתיבתם של מדדים שונים המגדירים מהו בנין ירוק, ומדרגים את רמת הידידותיות לסביבה של בניינים בדירוג מספרי פשוט ובהיר. זאת כדי שללקוח הקונה או שוכר שטח במבנה, תהיה אינפורמציה ברורה ואובייקטיבית לגבי התכנון, המערכות והחומרים שהושקעו בבנין. מדד כזה אמור להקטין את הסיכוי ל- greenwash (התחסדות ירוקה) מצב שבו כל קבלן יכול לצאת ולהכריז על הפרויקט שלו כירוק מבלי שיהיה לכך כיסוי ממשי. המדד האמריקאי נקרא LEED, ראשי תיבות של Leadership in Energy & Enviromental Design – תכנון סביבתי וחוסך אנרגיה. מדד זה קובע ניקוד לפרמטרים שונים במבנה. כל מבנה יכול לשאוף להיות מבנה ירוק רגיל, או בעל כוכב כסף, זהב או פלטינה.

בכל התקנים, הישראלי כמו התקנים המדינתיים השונים, הנושאים העיקריים שמקבלים ניקוד הם: אנרגיה, מים, קרקע, איכות אויר במבנה (LEED). מעבר לנושאים העיקריים, ניתנת חשיבות גם לנושאים סביבתיים נוספים (פסולת, רעש, אקוסטיקה, תחבורה וחומרי בנייה). לכל נושא יש פוטנציאל ניקוד מקסימאלי ומינימום ניקוד שחובה על כל בניין להשיג. המתכננים בודקים אילו נושאים יכולים לבוא לידי ביטוי בפרויקט העומד לפניהם, מהו המינימום הנדרש מהם מבחינת השקעה תכנונית וכלכלית ומהו יחס עלות-תועלת של כל מערכת או כל היבט תכנוני שהם רוצים להוסיף מעבר למינימום. כך יש להם אפשרות להחליט כבר בתחילת תהליך התכנון מהו פוטנציאל הניקוד שלהם ולמה הם שואפים. האם הבנין מועמד להיות בעל דרוג כסף, זהב או פלטינה? לאחר קביעת היעדים, אפשר לצאת לדרך כדי להגשים את הפוטנציאל. הצלחתם תיקבע על ידי מומחים מוסמכים בלתי תלויים שיבחנו את הפרויקט בשלבי התכנון והביצוע.

תקן 5281 מחייב עמידה בכל חוקי הבנייה וכן כולל בתוכו את תקן 5282 שהוא תקן לדרוג אנרגטי של מבנים המבוסס על הוראות מרשמיות, בעיקר של גודל וכיווני פתחים במבנה על פי חלוקה לארבעה אזורים אקלים עיקריים בארץ. בנוסף דורש תקן 5281 עליה של 10-20% מעל דרישות תקן 1045 לבידוד תרמי.

התקן הישראלי (ת"י) 5281 עדיין צעיר מאד – התקן אושר ופורסם בנובמבר 2005 ועובר בימים אלה רביזיה. שיטת הניקוד דומה מאד לדגם האמריקאי. מומחי מכון התקנים בוחנים את התכנון והביצוע בשני שלבים (תכנון והתאמת ביצוע לתכנון) ויכולים לתת תו-תקן למבנים כבניינים ירוקים בשתי רמות אפשריות (בניין ירוק, בניין ירוק מצטיין).

17. סיכום

מדריך זה נוצר כדי לתת מושג והכוונה לצרכני הקצה – בונים ומשפצים המתעניינים במרכיבי הבניה הירוקה. המדריך סוקר ומציף לפני השטח את הנושאים העיקריים שעומדים מתמודדים בתכנון מבנה ירוק ופורש בפני הקורא פתרונות אפשריים לסוגיות הרבות שעולות, מתוך הרצון להקטין את ההשפעה הסביבתית של הבניין מחד ולמקסם את נוחות המגורים בו מאידך. עם זאת, המדריך לא יכול לתת מענה לתנאים היחודיים של כל בניין ובעליו מכיוון שהם תלויי מיקום, צרכים והגדרות ספציפיים (הן אקלימיות, הן של בעלי הבית והן של הרשות המקומית). לכן, בבואכם לבנות את בית חלומותיכם הירוק, חשוב להיעזר ביעוץ פרטני ולא להסתפק בקריאת המדריך, וזאת כדי שתוכלו להגיע לפתרונות הנכונים והמשתלמים ביותר עבורכם.

תכנון מול פתרונות טכנולוגיים

בעקרון ניתן לומר שלתכנון של המבנה יש השפעה מכרעת על תפקודו לאורך זמן. תכנון חכם יכול להביא להוזלה משמעותית של עלויות התפעול בטווח הרחוק. מערכות ופתרונות טכנולוגיים יכולים לבוא כהשלמה לתכנון הירוק אך לא כתחליף. גם מבחינת שיקולי עלות-תועלת חלק גדול מהשיטות, החומרים והפתרונות שמוצעים כאן קיימים בשוק בעלות נכבדה בעוד שפתרונות טכנולוגיים פסיביים הם בעלי עלות נוספת פחותה ויכולים להביא לתוצאות לא פחות טובות.

מינון של אלמנטים ירוקים

כאמור, המדריך מקיף את מרבית הנושאים הקשורים לבניה ירוקה אולם אין צורך לנקוט בגישה של הכל או לא כלום. לעתים יישומם של מספר עקרונות ורעיונות יכול לשדרג את נוחות ובריאות המגורים בבית בצורה משמעותית ומספקת. חשוב לזכור כי לא בכל מבנה חדש, ועל אחת כמה וכמה לא בכל מבנה קיים, ניתן ליישם את כל אפשרויות ה"ירוק" וכמובן, בסופו של דבר, התקציב הוא זה שיכתיב במה להתמקד בתהליך השיפוץ או הבניה של ביתכם.

שיקולים כלכליים

חשיבה ירוקה היא חשיבה לטווח ארוך. אנו רגילים לראות רק את השורה התחתונה של הוצאות תהליך הבניה, אבל לאחר סיום הבניה נחיה בבית למשך שנים ארוכות, והוצאות האנרגיה והמים שלנו יצטברו לסכומים נכבדים.

בבואכם ליישם את ההמלצות הכתובות פה, השקיעו זמן בהשוואת מחירים בין החברות השונות ובבדיקת רמת החיסכון המוצע וזמן החזר ההוצאה של הטכנולוגיות השונות. לא תמיד יש הצדקה להוציא סכומי כסף נכבדים על מערכת שתביא בסופו של דבר לחיסכון מינורי בלבד.

בית פסיבי - דייר אקטיבי

לבסוף, חשוב שתפנימו את הרעיון כי השינוי בבית יכול גם שינויים באורח חייכם. על מנת שהמערכות הפסיביות בביתכם יתפקדו בצורה אופטימלית עליכם לקחת חלק פעיל בהתאמה של הבית לתנאי האקלים המשתנים ולתפעל את מערכות הבית - פתחים, אוורור, חשמל וכד' - מתוך מודעות מלאה לאפשרויות החיסכון הגלומות בהן. לקיחת אחריות על צריכת האנרגיה שלכם, ועל משאבי הסביבה של כולנו, הינו תהליך של מודעות ופעילות.

