

תמחור שיטות בידוד

בנייה מתועשת בישראל



קוראים יקרים

בשנים האחרונות מדינת ישראל מובילה מהלך משמעותי בתחום תיעוש הבנייה במטרה לשפר ולזרז את קצב הבנייה בארץ. רבות מהשיטות המתועשות מעניקות יכולות שליטה גבוהות יותר באיכות ובדיוק של תהליך הבנייה, מקצרות משמעותית את משכה, ותורמות לשיפור מיומנויות הבנייה של פועלי הבניין ולבטיחותם. לצד זאת, מובילה מדינת ישראל מהלך לשיפור היבטים רבים באיכות הבנייה אשר נוגעים, בין השאר, לבידוד הדירה ולנוחות התרמית בתוכה. תחום הבידוד אינו זוכה לתשומת לב מספקת למרות ההשלכות הרבות שיש לו על עלויות אקלום הדירה ועל סוגיות הנוגעות לבריאותם של הדיירים.

מטרת חוברת זו היא לבחון את העלות ואת אופן ביצוע הבידוד, באמצעות שיטות בנייה מתועשות שנועדו לשדרג שלושה מודלים אופייניים לבנייה בישראל. אנו מקווים כי חוברת זו תסייע לדיירים, לקבלנים וליזמים לשפר את קבלת ההחלטות שלהם בתחום הבידוד, תוך אימוץ שיטות בנייה מתועשות על יתרונותיהן הרבים.

בכתובת החוברת סייעו מקצועית צוות של יועצים מומחים מטעם משרד הבנייה והשיכון:

אינג' עופר סבר – סבר אדריכלים ומהנדסים

אדר' ברק פלמן – סטמה סטודיו לאדריכלות מקומית

מר דרור פרופר – חברת דוד בועז

מר איליה קונצביצקי – חברת יאקון מהנדסים

צוות היגוי במשרד הבנייה והשיכון:

אינג' טלי הירש-שרמן – מנהלת אגף תורת הבנייה ופיתוח הנדסי

ד"ר עמיאל וסל – מ"מ מנהל תחום מדיניות, אגף תכנון אסטרטגי ומדיניות

בברכת קריאה מהנה ומועילה,

משרד הבנייה והשיכון

תוכן עניינים

4	תקציר
7	01 רקע
8	1.1 מבנה החוברת והמתודולוגיה
9	02 מושגים ותקנים בבידוד
9	2.1 מושגים
11	2.2 תקנים
11	תקני בידוד
12	תקני עמידות אש
13	תקני חיפוי
13	03 טכנולוגיות הבניה
15	3.1 הרכבת בידוד וחיפוי על קיר בנוי יצוק
16	3.2 קיר מתועש עפ"י ת"י 6560
17	3.3 בניה בבלוק תאי מאושפר באוטוקלאב
18	3.4 חזית מאווררת בהרכבה יבשה
19	3.5 שיטת ה'קרומים'
20	3.6 בניה קלה- שלד עשוי פח או עץ
21	3.7 ICF - יציקת קירות בטון מבודדים
22	3.8 קיר מסך כפול
23	04 ניתוח עלויות
24	4.1 מבנה צמוד קרקע
25	4.2 מבנה גבוה
26	4.3 מגדל רב קומות
29	05 סיכום



תקציר

משרד הבינוי והשיכון אמון על תחום הבנייה למגורים בישראל, כאשר בשנת 2016 פרסם האגף לתכנון אסטרטגי ומדיניות במשרד תכנית תיעוש בבנייה.¹ תכנית זו נועדה לקדם, בין היתר, שימוש בטכנולוגיות בנייה מתקדמות ומתועשות אשר מקצרות את משך הבנייה, מקטינות תלות בכוח אדם לא מיומן, ותורמות לשיפור בטיחותם ומיומנותם של פועלי הבניין.

¹ תכנית לתיעוש ענף הבנייה בישראל, מסמך מסכם, אגף לתכנון אסטרטגי ומדיניות, משרד הבינוי והשיכון, מרץ 2016.

בעקבות תכנית התיעוש, בינואר 2017 הודיע המשרד על שני מסלולים שמטרתם מתן תמריץ כלכלי לקבלנים בפרויקטים לבנייה רוויה של 3-9 קומות, במסגרתה פוטנציאל התיעוש הוא נמוך יחסית. המסלול הראשון נועד לתמרץ בנייה מתועשת של שלד הבניין, ועמידה בתקני בנייה ירוקה. המסלול השני נועד לרכישת ציוד חדש מוטה-תיעוש. מלבד מסלולים אלה פועל המשרד בערוצים נוספים לטובת עידוד הבנייה המתועשת. ביניהם ניתן למנות את השקת תכנית החירום להכשרת כוח אדם מיומן במקצועות הנדרשים, הקמת מכון לאומי למקצועות הבנייה ומרכז ידע לתיעוש הבנייה, והכנסה של חברות בנייה זרות לפעילות בישראל מתוך כוונה ללמוד ולהטמיע שיטות בנייה מתקדמות בארץ. בהמשך לפעולות אלה, המסמך שלפנינו מתמקד בבדיקת כדאיות הטמעתן של טכנולוגיות בנייה מתועשות בשלב בנייתם של קירות חוץ בבנייני מגורים בישראל, תוך הכנסת שיקולי בידוד וחיסכון באנרגיה.

סקר הלמ"ס משנת 2014² מראה כי ברוב שטח הקירות שנבנו בישראל בבנייני המגורים "צמודי הקרקע" בשנת 2008, נעשה שימוש בבלוק תאי מאושפר³, בעוד שברוב שטחי הקירות שנבנו בישראל בשנה זו בשאר בנייני המגורים נעשה שימוש בקירות יצוקים בעלי גימורים שונים שהוקמו באתר. שתי טכנולוגיות אלה נמצאות קרוב יותר לתחום הטכנולוגיות המסורתיות מאשר לתחום הטכנולוגיות המתועשות; הן איטיות יחסית לשיטות מתועשות אחרות, מייצרות תלות גבוהה בכוח אדם בשטח, וחושפות את הפועלים לתאונות עבודה.

סקר של טכנולוגיות לבניית קירות חיצוניים, הזמינות היום בישראל, מראה כי ישנן יותר טכנולוגיות בנייה הרלוונטיות לבנייה נמוכה וצמודת קרקע מאשר לבנייה רבת קומות. אנו מאמינים כי הסיבות לכך נובעות מהעובדה שהתקנים לבנייה נמוכה פחות מחמירים, וכי הסיכון ביישומם מצטמצם, מכיוון שהיקף הפרויקטים קטן יותר.

יחד עם זאת, עבודה זו מצאה כי למרות זמינות הטכנולוגיות למבנים נמוכים, עדיין כלכלי יותר לבנות קירות חיצוניים בבניינים נמוכים בבלוק תאי מאושפר⁴ – טכנולוגיה שלא בהכרח מיישמת את יתרונות הבנייה המתועשת. מעבר למחירה הנמוך, טכנולוגיה זו גם מעניקה דירוג אנרגטי גבוה בכל אזורי האקלים בישראל.

בבנייה רבת קומות, טכנולוגיית הבנייה הזולה ביותר, מבין הטכנולוגיות שנבדקו, היא טכנולוגיית קיר מתועש על פי ת"י 6560⁵ אשר נבדקה במסגרת עבודה זו בשילוב עם בידוד מצדו החיצוני של הקיר. יחד עם זאת, קשה להגיע בטכנולוגיה זו לביצועים אנרגטיים מעולים. בכדי להשיג מטרה זו יש לעבור לשיטה המבוססת על יציקת בטון ותלייה יבשה של חיפוי קשיח מעל שכבת בידוד משמעותית.

במסגרת עבודה זו עלו מספר תובנות בנושא זה:

- למרות החשיבות שגורמי משלה שונים מעניקים לתחום הבידוד הרי שלעיתים קרובות נושא זה מהווה שיקול זניח יחסית בבחירת שיטת הבנייה לפרויקט.
- קיימות שיטות בנייה אשר מעניקות בידוד נחות ועלותם אף גבוהה באופן משמעותי – כדוגמת שיטת קירות המסך הכפולים – ובכל זאת הן תופסות נתח משמעותי מהבנייה בקטגוריה הרלוונטית אליהן.
- למרות הפיתוח והכניסה של שיטות בנייה מתועשות לשוק הבנייה הישראלי בשנים האחרונות, הן אינן מהוות תחרות – לא מבחינת מחיר ואפילו לא מבחינת רמת הבידוד המושגת באמצעות שימוש בשיטות ברמות תיעוש נמוכות יותר.
- שיטת הקרומים, אשר זוהתה כשיטה המסוגלת לספק איכויות משמעותיות, בעיקר בתחום תיעוש הבנייה בבניינים גבוהים, עדיין יקרה משמעותית בהשוואה לשיטות המתועשות פחות והיא איננה מספקת יתרונות מבחינת בידוד. שיטה זו מיוצרת כיום במפעל אחד בארץ בלבד, וגם ייצור זה בשונה מהקיים בחו"ל הוא רק חצי אוטומטי, עובדה המייקרת את עלות הייצור בשיטה זו.

² למ"ס, 2014, סקר טכנולוגיה למגורים בישראל 2008, פרסום מס' 1556

³ במסמך המקורי נקרא בשם החברה "איטונג".




⁴ מבין הטכנולוגיות שנבחנו

⁵ נתונים נוספים על השיטה ועל הצורך בבידוד חיצוני – ראו פרקים 2,3.



לסיכום תוצאות הבדיקה ראו טבלה 1

טבלה 1: סיכום בדיקת עלות למ"ר מעטפת ודירוג אנרגטי טיפוסי (על פי ת"י 5282) של טכנולוגיות בנייה שונות. בירוק מסומנות השיטות שנמצאו הזולות ביותר.

מחיר למ"ר מעטפת	טכנולוגיית הבנייה הזולה ביותר שעומדת בתקני בידוד ובנייה ירוקה	סוג בניין
₪ 462	בנייה בבלוק תאי מאושפר באוטוקלאב (דירוג A)	 "צמוד קרקע"
₪ 546	שיטת ICF ליציקת קירות מבודדים (דירוג A)	
₪ 630	הרכבת בידוד על קיר בנוי יצוק (דירוג A)	
₪ 962	בנייה קלה (דירוג A)	
₪ 2,024	שיטת הקרומים (דירוג B)	
₪ 472	בנייה בבלוק תאי מאושפר באוטוקלאב (דירוג A)	 בניין גבוה
₪ 652	קיר מתועש על-פי ת"י 6560 (דירוג B/C)	
₪ 722	הרכבת בידוד על קיר בנוי יצוק (דירוג A)	
₪ 1,790	שיטת הקרומים (דירוג B/C)	
₪ 598	קיר מתועש על פי ת"י 6560 (דירוג B/C)	 רב קומות
₪ 1,045	חזית מאווררת (דירוג A)	
₪ 3,554	קיר מסך כפול ¹ (עמידה בת"י 1045)	



רקע

אספקת חשמל לדירות בישראל מהווה כשליש מייצור החשמל בארץ בממוצע שנתי. בשיא הביקוש החורפי חלקן של דירות המגורים עשוי להגיע ל-55% מסך ייצור החשמל, ובשיא הביקוש הקיצי ל-41%. הסיבה לקשר שבין טמפרטורה חיצונית ובין ביקוש לחשמל היא שחימום וקירור דירות מגורים מהווה כ-30% מסך צריכת החשמל הביתית.⁶

מכיוון שייצור החשמל בישראל אחראי על פליטות רבות של מזהמים, ביניהם כמות גדולה של גזי חממה, ישנו קשר ישיר בין הפחתת צריכת אנרגיה לחימום ולקירור מבני מגורים בישראל ובין פליטות מזהמים וגזי חממה לסביבה.

חיסכון בצריכת אנרגיה לחימום ולקירור מבני מגורים עשוי גם להפחית משמעותית את ההוצאות הכלכליות למשק הבית. על-פי סקר שערכה חברת AVIV AMCG עבור המשרד להגנת הסביבה, שבו נדגמו 111 דירות ב-12 ערים ברחבי הארץ, נמצא קשר בין בנייה ירוקה⁷ לבין חיסכון בצריכת אנרגיה. החיסכון הממוצע שנמדד נע בין 12% ל-21%, והוא מבטא חיסכון של כ-1,000 ש"ח לשנה למשק בית.⁸ עוד נמצא בסקר כי אימוץ טכניקות להפחתת השימוש באנרגיה בבנייני מגורים תיטיב יותר עם אוכלוסיית העשירונים התחתונים מאשר עם העשירונים העליונים, וזאת מכיוון ששיעור ההוצאות על אנרגיה, ביחס לשאר ההוצאות החודשיות למשק בית, גדול יותר בקרב העשירונים התחתונים מאשר בעשירונים העליונים.

⁶ אמצעים להפחתת פליטות גזי חממה וחיסכון אנרגטי עבור מגזר המבנים, דו"ח המלצות לעמידה היעד הפחתת פליטות גזי חממה בישראל, ינואר 2017 המשרד להגנת הסביבה.

⁷ הרכיב בבנייה ירוקה האחראי על חיסכון באנרגיה הוא "פרק האנרגיה" הכולל דרישות לתכנון פסיבי לצד דרישות בתחום התייעלות אנרגטית של מכשירי החשמל בדירה.

⁸ גלר-בלבן, אנני, קול, דורון, 2018, דוח סיכום ממציא סקר צריכת חשמל השוואתי בין דירות ירוקות ודירות סטנדרטיות, המשרד להגנת הסביבה.



מעבר להפחתה בצריכת אנרגיה לחימום ולקירור, בידוד נכון של מבנים גם מונע עיבוי לחות בחללי פנים והתפתחות עובש ופטרייות, העלולים לגרום לבעיות בריאותיות רבות.⁹

אם כן, לחיסכון באנרגיה לחימום ולקירור בנייני מגורים ישנה השפעה חיובית על אקלים כדור הארץ, על איכות הסביבה בישראל ועל איכות החיים של משקי הבית, ובפרט של משפחות מעוטות אמצעים.

בידוד מבני מגורים הוא אחת הטכניקות החשובות ליצירת אקלים נוח בדירה ולחיסכון בצריכת אנרגיה. עם זאת, המודעות לנושא קטנה בישראל, והיישום קטן עוד יותר. התפתחויות טכנולוגיות בתחום הבנייה המתועשת מייצרות הזדמנויות חדשות להטמעה של בידוד במעטפות מבני מגורים. הזדמנויות אלה אף מתמרצות במסגרת החלטת ממשלה 1320, מיום 24.3.2016, שעניינה "תיעוש והגדלת פריון העבודה בענף הבנייה המעניקה סיוע כספי לקבלנים אשר עושים שימוש בשיטות בנייה מתועשות".¹⁰

מטרתו של מדריך זה היא לסייע למתכננים לבחור את טכנולוגיית הבנייה העדיפה להם בהתחשב בשיקולי עלות כוללת, כמו גם בכמות ובסוג הבידוד הנדרשים בכדי לעמוד בתקינה הרלוונטית.

1.1 מבנה החוברת והמתודולוגיה

בישראל של 2019 ניתן למצוא שיטות בנייה רבות, חלקן מתועשות לחלוטין וחלקן פחות, חלקן נפוצות מאוד וחלקן עדיין ניסיוניות. במסגרת כתיבת חוברת זו, הושמה שכתב בידוד בכל אחת משיטות הבנייה הנפוצות בישראל, בכמות העונה על הדרישות השונות בתקנות התכנון והבנייה.

בכדי להבין את השיקולים השונים שנלקחו בחשבון לצורך יישום הבידוד, פורטו **בפרק 2** מושגי היסוד הרלוונטיים לנושא, כמו גם התייחסות ופירוט לגבי התקינה הרלוונטית. שיטות הבנייה בהן נעשה שימוש במסמך זה, לרבות שיקולי הבידוד שנשקלו במסגרתן, פורטו **בפרק 3**.

שיטות הבנייה נבחנו בהקשר של שלושת הסוגים הנפוצים של בנייה למגורים בישראל:

1. **בניין "צמוד קרקע"** – מבנה למשפחה או שתיים אשר לו יציאה פרטית לחצר או לגינה; לרוב, בגובה של 1-3 קומות.¹¹
 2. **בניין "גבוה"** – בניין מגורים משותף אשר גובהו בין 4-9 קומות.¹²
 3. **בניין "רב קומות"** – בניין מגורים משותף אשר גובהו 10 קומות ומעלה.¹³
- לכל סוג בניין תוכנן "מקרה בוחן" לגביו בוצעו החישובים השונים. מקרי בוחן אלה מוצגים **בפרק 4** וכוללים את תוצאות חישובי העלות לכל טכנולוגיית בנייה, כאשר הפרק דן בהשלכות השונות של תוצאות אלה.¹⁴

⁹ בעיות עיבוי ועובש בממ"דים, 2006, מכון לאומי לבנייה.

¹⁰ בנייה מתועשת מוגדרת בהחלטה זו בתור שיטות בנייה הכוללות: בנייה טרומית, תבניות מתועשות או פלדה דקת דופן ובהכוונה לסוג בנייה מרקמית רוויה. החלטת ממשלה זו גבתה על-ידי "תכנית תיעוש ענף הבנייה בישראל" – תכנית מקיפה אשר נכתבה על-ידי משרד הבינוי והשיכון ופורסמה בשנת 2016. התכנית הגדירה את היעדים הבאים כקריטיים לענף הבנייה: הוזלת עלות הבנייה, צמצום משך הבנייה, שיפור איכות הבנייה והגדלת הפריון של הענף.

¹¹ בישראל של 2018, כ-25% מכלל התחלות הבנייה נכללות בטיפוס בנייה זה (למ"ס).
¹² תקנות התכנון והבנייה מגדירות כי "בניין גבוה" הוא בניין אשר רצפת הקומה העליונה גבוהה ב-13 מ' לפחות ממפלס הכניסה הקובעת. לטיפוס בניין זה ישנן דרישות מיוחדות בתקנות

¹³ תקנות התכנון והבנייה מגדירות כי בניין "רב קומות" הוא בניין אשר רצפת הקומה העליונה גבוהה מ-27 מ' לפחות ממפלס הכניסה הקובעת. גם לטיפוס בניין זה ישנן דרישות מיוחדות בתקנות

¹⁴ תקנות התכנון והבנייה מגדירות כי בניין "רב קומות" הוא בניין אשר רצפת הקומה העליונה גבוהה מ-27 מ' לפחות ממפלס הכניסה הקובעת. גם לטיפוס בניין זה ישנן דרישות מיוחדות בתקנות

02



מושגים ותקנים בבידוד

אחת מהדרכים הבסיסיות לחיסכון באנרגיה היא כאמור בידוד מעטפת הבניין. בידוד תרמי מונע כניסת חום בלתי רצוי בימי הקיץ, כמו גם איבוד חום נחוץ במשך החורף.

בכדי להבין את צורות הבידוד השונות של אלמנטים אטומים – כלומר, אותם רכיבי הבניין שלא מעבירים חום על-ידי כניסת קרינת שמש סולארית כדוגמת חומרי זיגוג – כמו גם את מהלכי מעבר החום דרכם, אנחנו ממליצים לעיין במדריך ל"שימור אנרגיה בבנייני מגורים בישראל"¹⁵. כעת, נבהיר רק את אותם מושגים שמשמעותיים להבנת תפקודם התרמי של טכנולוגיות הבנייה שיפורטו בפרק 3:

2.1. מושגים

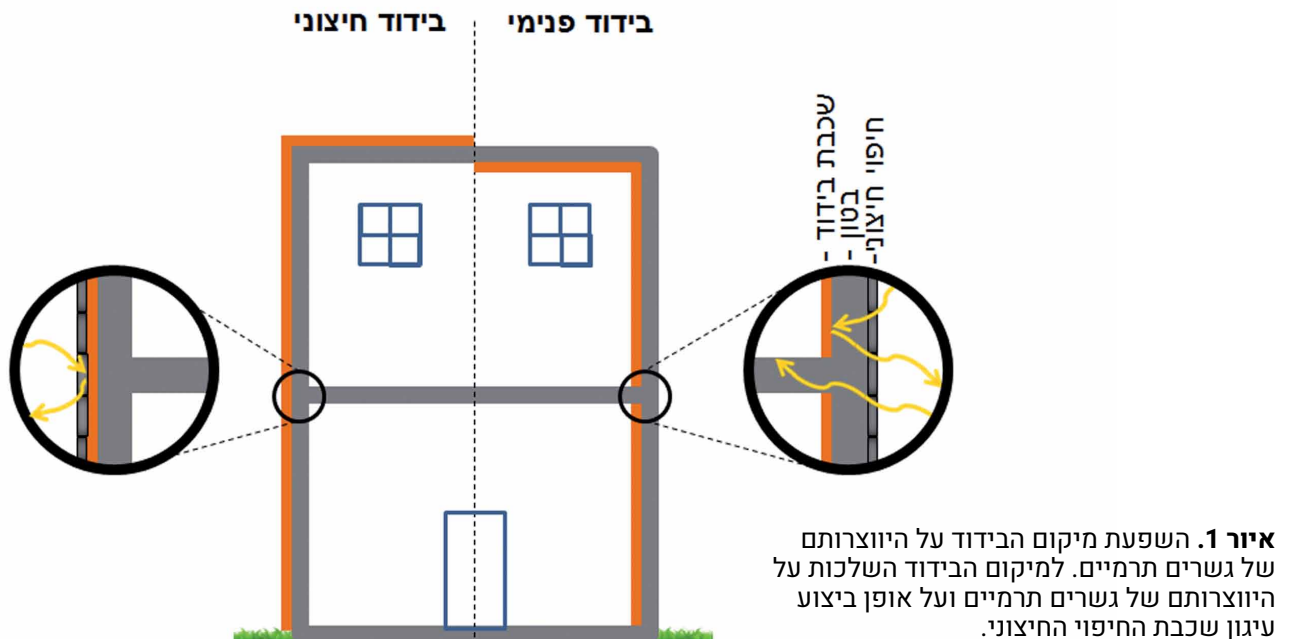
שכבת בידוד – שכבה במעטפת הבניין בה ההולכה התרמית נמוכה משמעותית ביחס לשכבות אחרות במעטפת. שכבה זו מעלה את ההתנגדות למעבר חום בין צד אחד של הקיר לצדו האחר, ובכך משמרת את הפרשי הטמפרטורה בין שני הצדדים. מיקומה של שכבת הבידוד ביחס לשכבות אחרות ב"חתך הקיר" אינו משנה את ערך הבידוד של הקיר, אולם יש לו השפעה על תכונות תרמיות אחרות של הקיר ועל מורכבות הביצוע (ראה להלן).

¹⁵ אראל אביתר, 2015, שימור אנרגיה בבנייני מגורים בישראל, משרד התשתיות הלאומיות, האנרגיה והמים

גשר תרמי – אזור במעטפת הבניין אשר בו נקטע רצף שכבת הבידוד. במיקום זה ההתנגדות התרמית תהיה נמוכה מזו של שאר הקיר, ולכן אנרגיית חום תעבור דרכו ביתר קלות. גשר תרמי גורם לאיבוד אנרגיה וכתוצאה מכך מוביל לצריכה מוגברת של חשמל. בנוסף, גשרים תרמיים מהווים סביבה מתאימה לתופעות של עיבוי אשר גורם להתפתחות עובש ופטיריות. תופעה זו נפוצה במבני בטון אשר שכבת הבידוד מותקנת בצד הפנימי (בידוד פנימי). במבנים אלה מופיעים גשרים תרמיים בכל הנקודות בהן יציקת הבטון של הקיר החיצוני מתחברת לחלקי מבנה פנימיים (קיר פנימי, תקרה ורצפה בנקודת החיבור למעטפת).

קיבול חום (מסה תרמית) – היכולת של חומר לקלוט ולשמור אנרגיית חום בתוכו. קיבול חום גבוה אופייני לחומרים מסיביים וצפופים בעלי משקל גבוה ליחידת נפח, כגון: בטון (כולל בלוקי בטון), אבן ולבנים. כאשר שטח משמעותי של חומרים אלה חשוף לסביבה הפנימית של הבנייה, יכולת אגירת החום שלהם מסייעת בקליטת חום עודף במהלך היום ושחרורו במהלך הערב והלילה. בקיץ, החום העודף אשר נאגר במהלך היום ימנע עלייה בטמפרטורת האוויר בחלל. חום זה ישוחרר במהלך הלילה באמצעות אוורור החלל ושיטפתו באוויר הלילה הצונן.¹⁶ בחורף חום זה ישוחרר לתוך החלל ויתרום לחימומו בערב, כאשר לא ניתן יהיה עוד להשתמש בקרני השמש לחימום סולארי.

כדי שהמסה התרמית של המעטפת תהיה חשופה לאנרגיית החום שבתוך המבנה ולא לתנאי החום שמחוץ למבנה, לא יהיה נכון ליישם שכבת בידוד מצידה הפנימי של המעטפת (מכיוון שבידוד זה ימנע את קליטת החום ביום ושחרורו בערב אל תוך המבנה). אי לכך, מומלץ לתכנן כמות נכונה של מסה תרמית בבנייה למגורים כדי לשפר את הנוחות התרמית בבניין, וככל שמתאפשר, ליישם את שכבת הבידוד מצידה החיצוני של המעטפת (ראה איור 1).



בישראל, קיימים מספר תקנים המשפיעים על יישום הבידוד התרמי.

¹⁶ שימוש בטכניקה זו אפקטיבי במיוחד בתנאי אקלים בהם ישנו הפרש משמעותי בין טמפרטורת היום והלילה, כדוגמת אזורי המדבר וההר בישראל.

2.2. תקנים

תקני בידוד:

ת"י 1045 – תקן מחייב הקובע ערכי סף להתנגדות התרמית של יסודות מעטפת שונים. לתקן שבעה חלקים, כאשר החלק הראשון מגדיר את הדרישות לבנייני מגורים. התקן הינו בעל גישה "תפקודית" – הוא אינו מגדיר כיצד להגיע לרמות ההתנגדות הנדרשות, אלא מסתפק בהגדרת רמת התפקוד התרמי הרצויה. לדוגמא, בנייה קונבנציונלית של קירות הבנויים מ"בלוקים שחורים" וטיח בלבד אינה עומדת בדרישות התקן ונדרשת תוספת של שכבת בידוד.

התקן מגדיר כיצד לחשב את עובי שכבת הבידוד בהתאם לחומר הבידוד, אך אינו מגדיר היכן ליישם אותו. יחד עם זאת, התקן כולל הגדרות המתייחסות למניעת גשרים תרמיים. לעומת דרישות הבידוד התפקודיות, דרישות התקן בעניין גשרי הקור כוללות הוראות כיצד ליישם את הבידוד באופן שימזער את שטח גשרי הקור.

בנוסף להגדרת ערכי סף לכל אלמנט מעטפת בנפרד, מאמץ התקן את דרישות ת"י 5280 לערכי מקסימום של "הפסדים ליחידת שטח רצפה" עבור יחידת המגורים (ראה להלן). זהו ערך משוקלל של ההולכה התרמית של כל אחד מרכיבי המעטפת בהתאם לשטחו.

ת"י 5280 – תקן לא מחייב העוסק גם הוא באנרגיה בבניינים, אבל הוא כולל התייחסות רחבה ליעול אנרגטי של מערכות אקטיביות כדוגמת תאורה, מיזוג אוויר, חימום מים וכדומה. התקן כולל ארבעה חלקים לא מחייבים, למעט אותם סעיפים אליהם מפנה ת"י 1045 שהפכו למחייבים מעצם ההפניה. מדובר בסעיפים 4.2, ו-4.3 העוסקים בחישוב "הפסדים ליחידת שטח רצפה" והגדרת ערכי הסף הנדרשים.

ת"י 5282 – תקן לא מחייב אשר קובע "דירוג אנרגטי" למבנה בהתבסס על מאפייני התרמיים של מעטפת הבניין. אי לכך, היבטי הבידוד נכללים בתוך כלל האלמנטים אליהם מתייחס התקן (אוורור, הצללה, זיגוג, יחס שטח-מעטפת). בהיבטי הבידוד, התקן מגדיר את הערכים המקסימליים ל"העברות תרמיות" של אלמנט המעטפת. משמעות הדבר היא שבשונה מת"י 1045, ובדומה לת"י 5280, התקן כתוב ביחידות של "העברות תרמיות" ולא של "התנגדות תרמית", ולכן בכדי להשוות בין התקנים נדרשת המרה של היחידות.

בנוסף, התקן מתייחס גם למסה התרמית של אלמנט המעטפת שלו. התקן מייצר הקלה בדרישות הבידוד לאלמנט מעטפת "כבד" בהשוואה לאלמנט "קל" ובכך מעודד למעשה ליישם את שכבת הבידוד מצדו החיצוני של האלמנט.

לתקן שני מסלולי הסמכה: (1) מסלול מרשמי בו נדרשת הוכחת עמידה במאפייני הקיר השונים. (2) מסלול תפקודי בו נדרשת בדיקת תפקוד תרמית של טכנולוגיית הבנייה והתכנון בתוכנה ייעודית.

ת"י 5068 – ת"י המגדיר את ערכי התכונות התרמיות והאופטיות של מערכות זיגוג בבניינים ולסימונם בתווית (הוא אינו כולל את הדרישות הכמותיות הנוגעות למערכות הזיגוג או לרכיביהן. דרישות אלה כאמור מופיעות בת"י 1045 ובת"י 5282). תווית האנרגיה כוללת מידע על התכונות הבאות: העברות תרמיות כוללת (וואט למ"ר*קלוין), חדירת אוויר (ליטר לשנייה למ"ר), מקדם רווח חום סולארי (במצב שהחלון ללא הצללה, עם הצללה פתוחה או עם הצללה סגורה), והעברות אור נראה (במצב שהחלון ללא הצללה, עם הצללה פתוחה או עם הצללה סגורה).



איור 2. ארבעת אזורי האקלים בישראל, מתוך ת"י 1045 חלק 10.

תקנים אלה מגדירים את דרישותיהם בהתאם לאקלים בו הבניין נמצא. הגיוני הוא כי דרישות הבידוד ממבנה הנמצא באקלים מתון יהיו נמוכות יותר מדרישות הבידוד ממבנה הנמצא באקלים קיצוני. לצורך כך, חלק 10 בת"י 1045 מגדיר ארבעה אזורי אקלים שונים בישראל:

- אזור א** – אזור רצועת החוף;
- אזור ב** – אזור מישור החוף, השפלה, הנגב (למעט הר-הנגב), והעמקים הצפוניים;
- אזור ג** – אזור ההר;
- אזור ד** – אזור בקעת הירדן והערבה (ראו איור 2).

תקני עמידות אש:

בנוסף לאפיון שכבת הבידוד על-ידי הגדרת רמות ההתנגדות התרמית – או המוליכות התרמית – של אלמנט המעטפת, שכבת הבידוד נדרשת לעמוד גם בדרישות עמידות לאש. אלה מוגדרות בשני תקנים:

ת"י 755 המסווג את חומרי הבניין השונים בהתאם לדרגת עמידותם לאש ות"י 921 (לחלקיו) המגדיר דרישות לשימוש בחומרי בנייה לפי תגובותיהם לשריפה בבניינים.

תקני חיפוי:

קיימים מספר תקנים הקובעים את אופן עיגונם של חיפויי חוץ מסוגים שונים (קרמיקה, אבן מלאכותית ואבן טבעית, ת"י 1555, 1872 ו-2378 בהתאמה) אל המבנה. במקרים שבהם מותקנת שכבת בידוד בחלקה החיצוני של המעטפת, ובמיוחד במקרים של שימוש בחיפויים כבדים, עיגון החיפויים נעשה מורכב ויקר יותר.

ת"י 6560 מגדיר את הדרישות לשיטות מתועשות ביצירת קירות טרומיים מחופים בחיפוי קשיח עם בידוד תרמי חיצוני ת"י זה בא לענות על בעיה רבת שנים, בה לא ניתן היה ליישם בידוד חיצוני בקירות הנוצקים באתר ביחד עם החיפוי הקשיח (ראה שיטת "ברנוביץ", למשל).



טכנולוגיות הבנייה

בתהליך הבנייה של פרויקט למגורים נכללות עבודות רבות אשר כוללות שימוש בטכנולוגיות שונות. בין היתר, עבודות אלה כוללות: ביצוע חפירות, חציבות וקידוחים לצורך ביסוס המבנה; הנחת יסודות; טיפול בניקוז; בניית הקירות, התקרות והגגות; חיפוי רצפות וקירות, צביעת קירות ומחיצות; ייצור חלונות והתקנתם; עבודות אינסטלציה ונגרות; עבודות הקשורות למיזוג האוויר, החשמל והתקשורת; התחברות לתשתיות עירוניות (מים, ביוב, חשמל וכדומה) ועוד.

כאמור, בביצוע כל אחת מעבודות אלה ישנה חשיבות לבחירת הטכנולוגיה והטכניקה הנכונות, הן מבחינת הבטחת איכות העבודה, הן מבחינת בטיחות תהליך העבודה והן מבחינת כדאיותה הכלכלית. עבודות הבניין להן יש השלכה משמעותית על תפקודו האקלימי של הבניין – וכתוצאה מכך ישנה חשיבות לחיסכון בהוצאות אנרגיה לאקלומו – הן בניית קירות החוץ, כמו גם הגגות, התקרות והרצפות, ואפיון ותכנון חלונות המבנה.

בשנת 2014 פרסמה הלמ"ס סקר טכנולוגיות שהיו בשימוש בבנייני מגורים שבנייתם הושלמה בשנת 2008.¹⁷ שכיחות הטכנולוגיות בבניית קירות החוץ, הגגות, התקרות והחלונות בבנייני מגורים לפי סוג הבנייה מוצגת בטבלה 2. לפי טבלה זו ניתן לראות כי בין אותם אלמנטים המשפיעים על אקלים הדירה, השוני העיקרי בין טכנולוגיות הבנייה נמצא בסוג הזיגוג, בחלונות ובטכנולוגיות הבנייה של קירות החוץ.

¹⁷ למ"ס, 2014, סקר טכנולוגיות בנייה למגורים בישראל 2008, פרסום מס' 1556.

טבלה 2. שכיחות טכנולוגיות הבנייה בבנייני מגורים בבניית קירות החוץ, הגגות, התקרות והחלונות לפי סוג הבנייה

אלמנט בנייה / סוג בניין	צמוד קרקע	גבוה (6-10 קומות)	רב קומות
קירות חיצוניים	בלוק תאי מאושפר באוטוקלאב ¹⁸ (61.6%)	קירות בטון יצוקים באתר עם גימור חיצוני ופנימי (47.2%)	קירות בטון יצוקים באתר עם גימור חיצוני ופנימי (84.5% - 100%)
תקרות	בכל סוגי המבנים נהוגות תקרות מקשיות יצוקות באתר (79.3%)		
גגות הבניין	בכל סוגי המבנים נהוגים גגות עשויים בטון (80.1%)		
פרופיל החלון	בכל סוגי הבניינים נהוגים פרופילי אלומיניום (100%)		
סוג הזיגוג	זגוגית רגילה (44.2%)	זגוגית בידודית (65.7%)	זגוגית בידודית (73.7%)

מתוך זיהוי זה, המסמך שלפניכם מתמקד בטכנולוגיות הבנייה של קירות החוץ בלבד, ומטרתו לבחון כמה טכנולוגיות בנייה מתועשות עשויות להוות אלטרנטיבה לאלה המקובלות. אלטרנטיבות אלה נבחנו בהיבטי עלות ותפקוד תרמי.

¹⁸ במסמך המקורי נעשה שימוש בשם החברה "איטונג".

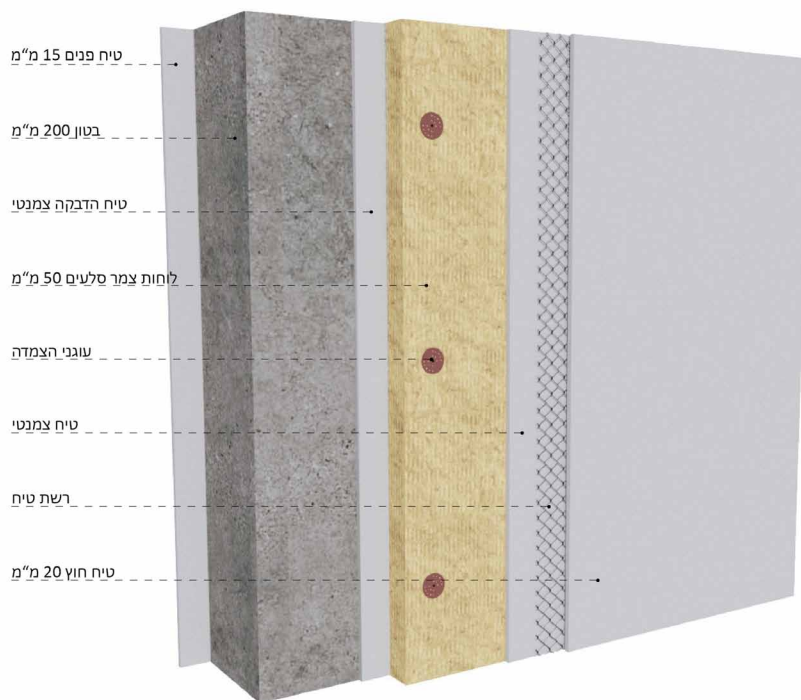
טכנולוגיות בנייה בסיסיות:

שיטות אלה הן השיטות הנפוצות ביותר לבניית קירות חוץ בישראל ולכן נבחרו להיות בסיס להשוואה.

3.1. הרכבת בידוד וחיפוי על קיר בנוי יצוק

בנייה קונבנציונלית המבוססת בעיקרה על קיר בנוי או יצוק. הבטון מחופה מצדו החיצוני בשכבת בידוד המעוגנת אליו בעוגני הצמדה מפלסטיק. על שכבת הבידוד מיושם טיח הדבקה צמנטי או אבן בתלייה רטובה. בשיטה זו ניתן לשלב אמצעים מתועשים כמו תבניות מטפסות ליציקת קירות בטון בבניינים רבי-קומות

הרכב הקיר באיור 3 הוא בעל התנגדות תרמית אופיינית (r) של 1.45 מ"ר*קלווין לווטט והוא עומד בת"י 1045. דירוגו בת"י 5282 הוא B בכל אזורי האקלים.



איור 3 : חתך קיר לדוגמא. קיר בנוי יצוק הכולל בידוד צמר סלעים מצידו החיצוני. את הבידוד והחיפוי ניתן ליישם גם על קירות בלוקים.

אזור אקלימי	א	ב	ג	ד
דירוג אנרגטי	B	B	B	B

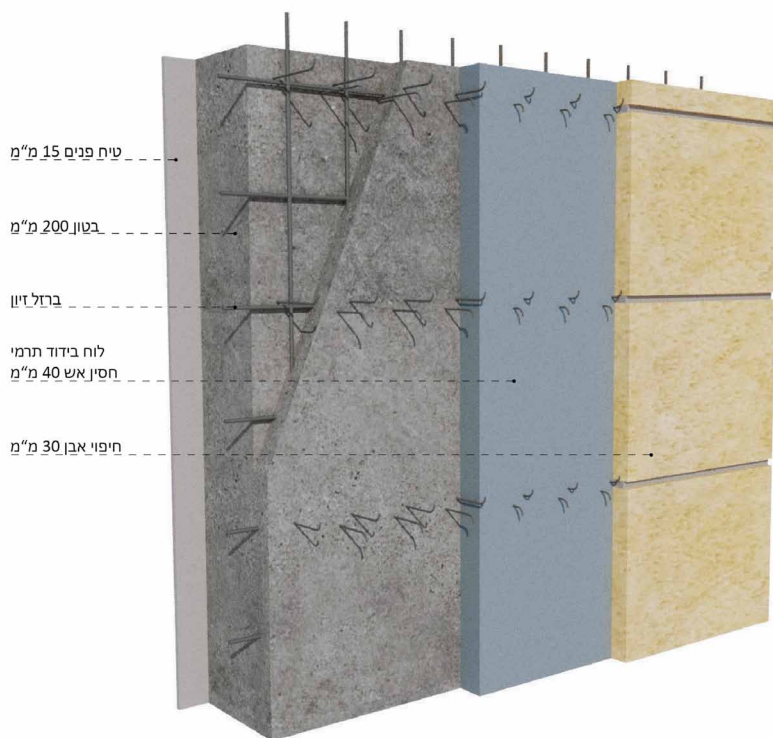
*לצורך עמידה בדירוג A בכל אזורי האקלים יש להוסיף 2 ס"מ לעובי שכבת הבידוד.



3.2. קיר מתועש עפ"י ת"י 6560

השיטה מבוססת על יציקת קירות בטון ביחד עם חיפוי חיצוני קשיח. קירות אלה מיוצרים בשיטה מתועשת, באתר או במפעל, כאשר יחידות החיפוי עם האביזרים לקיבוען המכני מונחות בטפסה ומעליהן הבידוד התרמי. כלומר, הבטון נוצק כנגד שכבת הבידוד התרמי. יחידות החיפוי, הבידוד התרמי, אביזרי הקיבוע והבטון מהווים יחד את האלמנט המתועש המחופה. בישראל, לא תמיד ניתן להשיג ודאות לגבי איכותם של לוחות האבן, כאשר לעומתם, אריחי פורצלן נחשבים למוצר מבוקר יותר.

הרכב הקיר המתואר באיור 4 הוא דוגמא לקיר המבוצע על-פי ת"י 6065. הבידוד שנלקח בחשבון הינו חסין אש ועומד בדרישות ת"י 921, ומקדם המוליכות התרמית שלו הוא 0.065 וואט למ"ר קלוין. הקיר בעל התנגדות תרמית אופיינית (r) של 0.92 מ"ר*קלוין לואט ועומד בדרישות ת"י 1045. דירוגו בת"י 5282 הוא:



איור 4. חתך קיר לדוגמא. עפ"י ת"י 6560 בה יחידות החיפוי הן אבן בעובי 30 מ"מ המעוגנות לקיר הבטון על-ידי עוגנים העוברים דרך שכבת הבידוד.

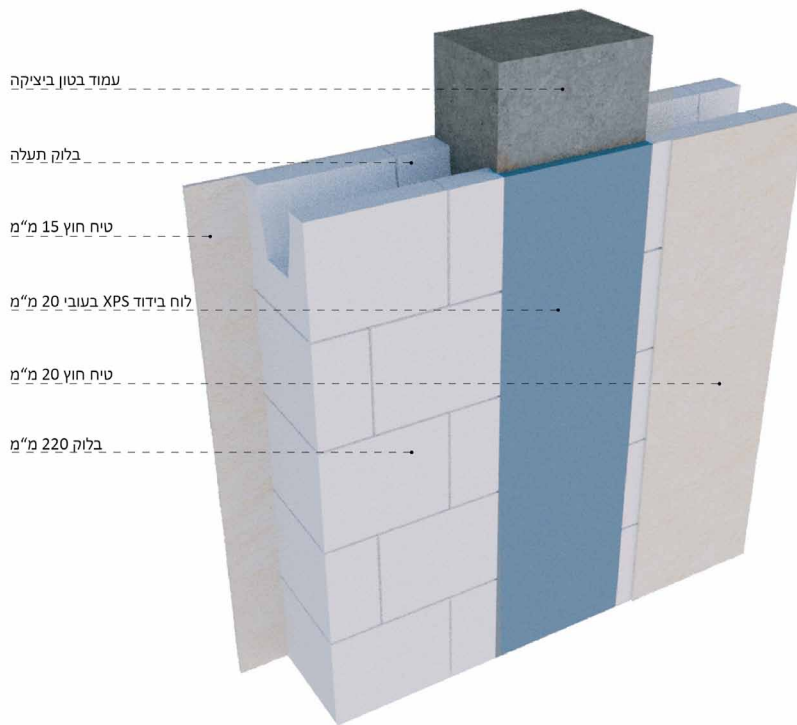
ד	ג	ב	א	אזור אקלימי
C	C	B	B	דירוג אנרגטי

*בכדי לעמוד בדירוג A בכל אזורי האקלים יש הוסיף 6 ס"מ לשכבת הבידוד.


3.3. בנייה בבלוק תאי מאושפר באוטוקלאב

בנייה קונבנציונלית המבוססת בעיקרה על שלד מבטון ומילואה עשויה בלוק תאי מאושפר באוטוקלאב.¹⁹ לבלוקים אלה (המאושפרים באוטוקלאב) התנגדות תרמית גדולה ביחס ל"בלוקים שחורים" רגילים, אך הם בעלי יכולת קיבול חום פחותה מהם. טכנולוגיה זו נפוצה מאוד במבנים בגובה של עד 9 קומות בישראל. אולם בשנים האחרונות, עם החמרת התקינה לעמידות בפני רעידות אדמה, יש ירידה בשימוש.

הרכב הקיר באיור 5 הוא בעל התנגדות תרמית אופיינית (r) של 1.56 מ"ר*קלוין לווטט²⁰ והוא עומד בת"י 1045. דירוגו בת"י 5282:



איור 5. חתך קיר לדוגמא. בבנייה נושאת באמצעות בלוק תאי מאושפר באוטוקלאב, בה גשרי הקיר מחופים בלוח בידוד תרמי בעובי 20 מ"מ.

ד	ג	ב	א	 אזור אקלימי
B	B	A	A	

בכדי לעמוד בדירוג A בכל אזורי האקלים יש לעבור לשימוש בבלוקים בעובי 25 ס"מ.

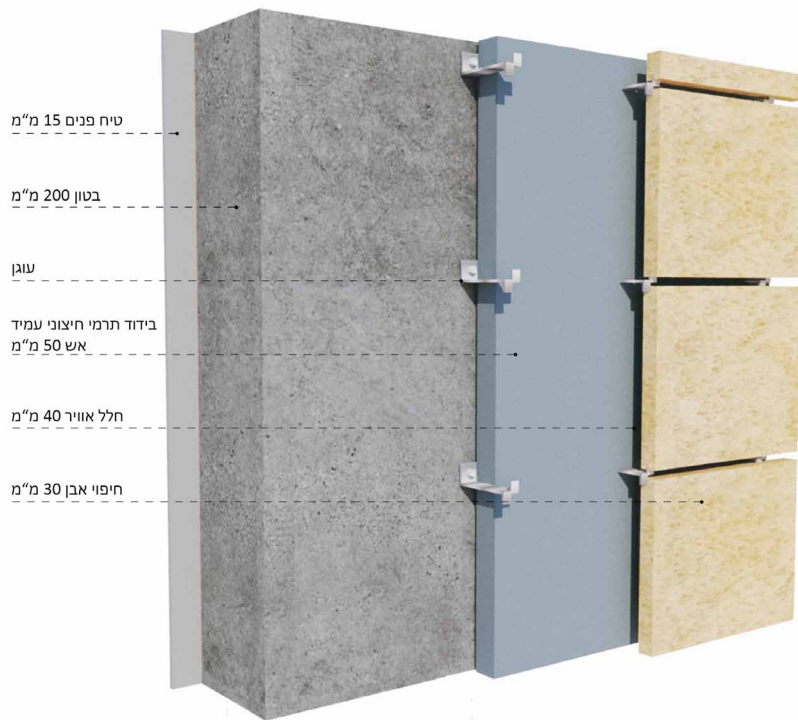
¹⁹ בנייה זו ידוע גם בשמה המסחרי "בנייה בלבני איטונג", אולם חברת "איטונג" היא לא היחידה שמייצרת לבנים מסוג זה בארץ.
²⁰ בחתך הקיר הכולל את הבלוק התאי המאושפר.

שיטות בנייה נוספות:



3.4. חזית מאווררת בהרכבה יבשה

טכנולוגיה זו מבוססת על שלד מבטון או מבלוקים עליו מורכבים אריחי חיפוי בשיטה "יבשה", שמשמעה חיבורם לקיר על-ידי עוגנים ללא שימוש במלט או בדבק. שיטה זו נהוגה בעיקר בבנייה גבוהה או רבת קומות ונחשבת יקרה יחסית. במידה שהקיר בנוי בטון או בלוק-בטון, יש ליישם שכבת בידוד בינה ובין החיפוי.

הרכב הקיר באיור 6 הוא דוגמא לקיר מאוורר בהרכבה יבשה. הבידוד שנלקח בחשבון הינו חסין אש ועומד בדרישות ת"י 921 ומקדם המוליכות התרמית שלו הוא 0.065 וואט למ"ר קלווין. הקיר בעל התנגדות תרמית אופיינית (r) של 0.9 מ"ר*קלווין לוואט ועומד בת"י 1045. דירוגו בת"י 5282:



איור 6. חתך קיר לדוגמא. חזית מאווררת בהרכבה יבשה בה החיפוי הקשיח עשוי אבן טבעית בעובי 30 מ"מ המעוגנת בצורה "יבשה" אל קיר הבטון דרך שכבת בידוד.

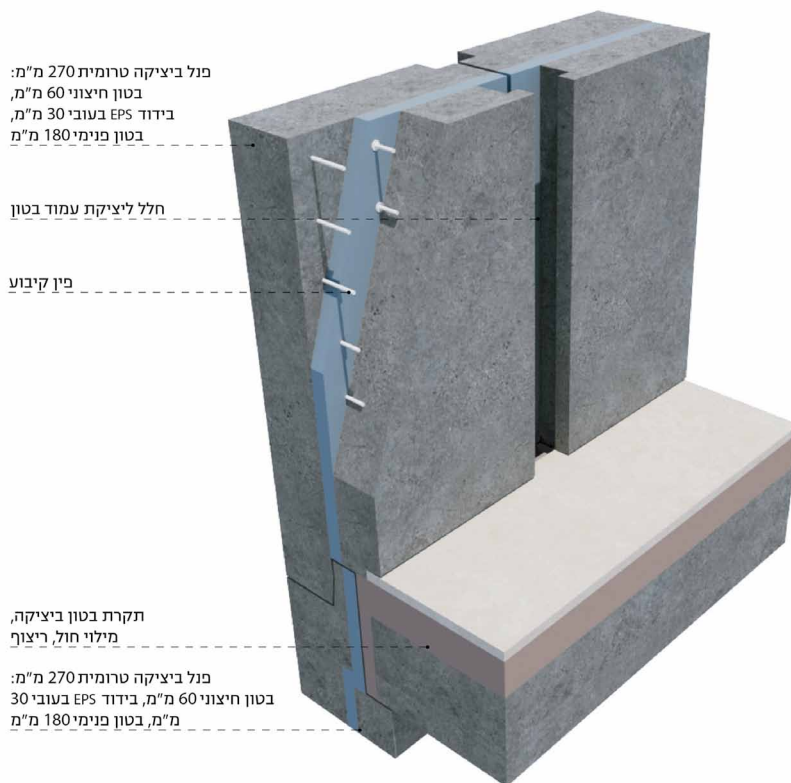
T	ג	ב	א	 אזור אקלימי
C	C	B	B	 דירוג אנרגטי

בכדי לעמוד בדירוג A בכל האזורים יש להגדיל את עובי הבידוד ל-11 ס"מ.

3.5 שיטת ה'קרומים'

פנל סנדוויץ' טרומי המאפשר בידוד רצוף בין שתי שכבות בטון יצוק כאשר החיבור בין היציקות מבוצע באמצעות מוטות פיברגלס. יציקות הקיר מבוצעות במפעל על גבי שולחנות יציקה מתהפכים. השלמות היציקה מתבצעות באתר.²¹ בשיטה זו יש לשים לב לאיכות התפרים, רגישות לרעידות אדמה ולהתמוטטות בשרשרת, ולגמישות המידות והתכנון.

הרכב הקיר המתואר באיור 7 הוא בעובי כולל של 270 מ"מ: 60 מ"מ בטון חוץ, 30 מ"מ בידוד EPS ו-180 מ"מ בטון פנימי. הוא בעל התנגדות תרמית אופיינית (r) של 0.96 מ"ר*קלווין לווטט ועומד בדרישות ת"י 1045. דירוגו בת"י 5282 הוא:²²



איור 7. חתך קיר לדוגמא. בשיטת הקרומים ניתן לראות כיצד שכבות הבידוד מייצרות רצף בידודי בין האלמנטים הטרומיים.

אזור אקלימי	א	ב	ג	ד
דירוג אנרגטי	B	B	C	C

*בכדי לעמוד בדירוג A בכל האזורים יש להגדיל את עובי הבידוד ל-7 ס"מ

²¹ בישראל, הקיר מיוצר במפעל בצורה חצי אוטומטית ומובא לאתר הבנייה. בעולם ישנם מפעלים המייצרים קירות אלה בצורה אוטומטית לחלוטין.

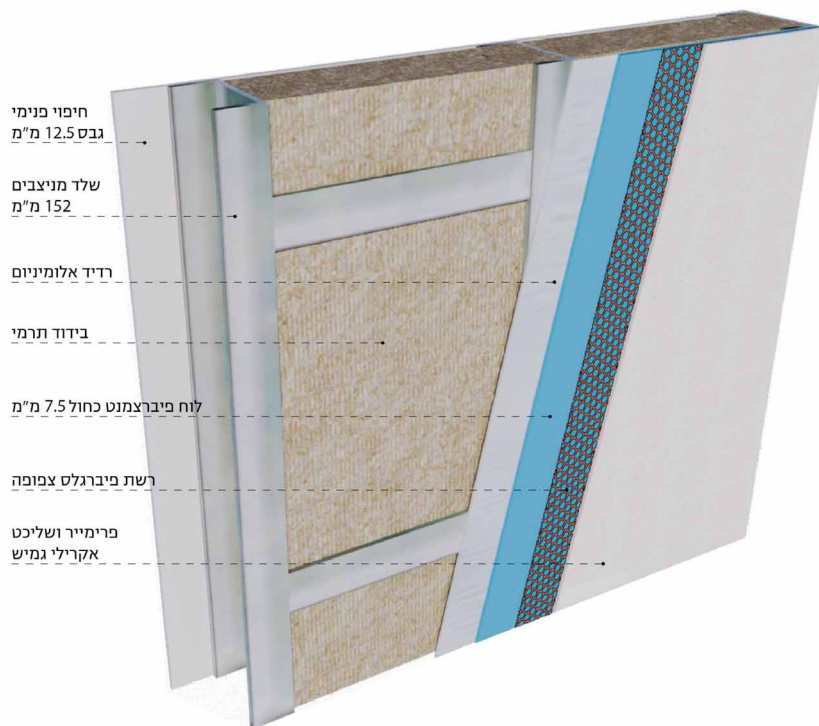
²² החישוב נעשה בתוספת טיח פנימי בעובי של 12 מ"מ וטיח חיצוני בעובי של 20 מ"מ



3.6. בנייה קלה – שלד עשוי פח או עץ

בנייה מתועשת "קלה" הכוללת לרוב רצפת בטון יצוק וממ"ד יצוק, שלד מפלדה דקת דופן או עץ גושני, ומילואת לוחות (גבס/צמנטבורד וכדומה). הבידוד מיושם בין הלוחות בתוך עובי הקיר. הטכנולוגיה מתאימה לבנייה נמוכה. בשיטה זו ישנה מסה תרמית יחסית.

הרכב הקיר מתואר באיור 8 והוא בעל התנגדות תרמית אופיינית (r) של 3.24 מ"ר*קלוין לזואט, עומד בדרישות ת"י 1045 ובעל דירוג אנרגטי A על פי ת"י 5282 בכל אזורי האקלים בישראל.



איור 8. חתך קיר לדוגמא. שיטת הבנייה הקלה בעלת שלד העשוי מפח או מעץ

ד	ג	ב	א	אזור אקלימי
B	B	A	A	דירוג אנרגטי

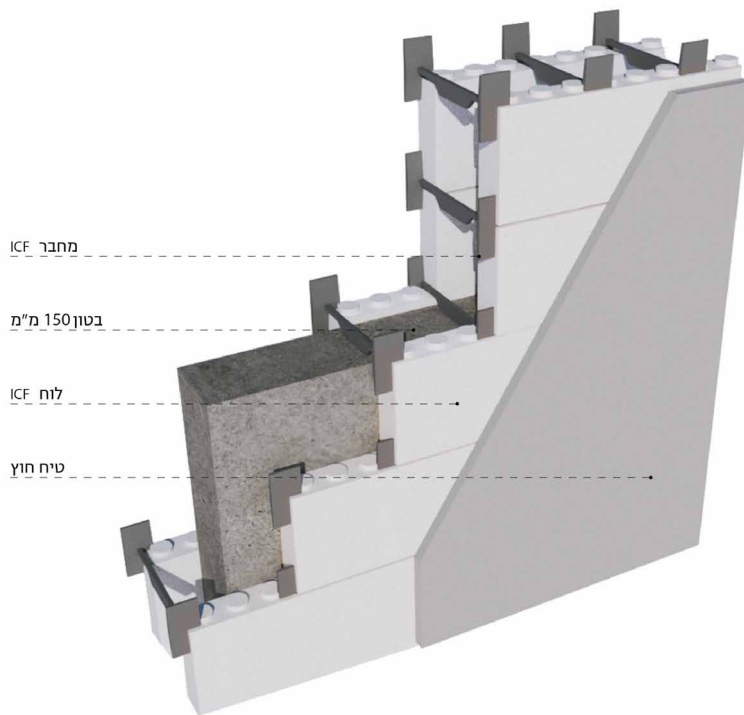
ICF .3.7 – יציקת קירות בטון מבודדים

קיר בנוי מלוחות (פנלים) עשויים פוליסטירן קשיח (קלקר) המחברים במחברי פלסטיק וביניהם יציקת בטון. לשיטה כמה חתכים אופייניים הכוללים גמר חיצוני מאבן או מטיח, וגמר פנימי מטיח או מגבס.


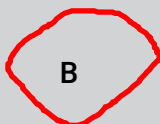
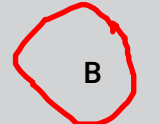

בשל חתך הקיר, מתקבלת התנגדות תרמית גבוהה מאוד, אולם יחסית ל"משקלו" הרב של הקיר מתקבלת מסה תרמית נמוכה.²³

יחד עם זאת, קשה לעמוד על טיב היציקה וקיימת סכנת אגרציה והיווצרות חללים בחתך שבקיר. אי לכך, מבחינת תכנון מבני קשה לקחת את הקיר בחשבון כחלק משלד הבניין. נדרשת הגנה על הקיר משיקולי בטיחות באש.

הרכב הקיר המתואר באיור 9 הוא בעל התנגדות תרמית אופיינית (r) של 3 מ"ר*קלוין לווט ועומד בדרישות ת"י 1045. דירוגו בת"י 5282 הוא A בכל אזורי האקלים בארץ.



איור 9. חתך קיר לדוגמא. קיר בשיטת ICF בו הבטון נוצק אל תוך תבניות קלקר שמהוות את הבידוד התרמי של הקיר בסיום היציקה.

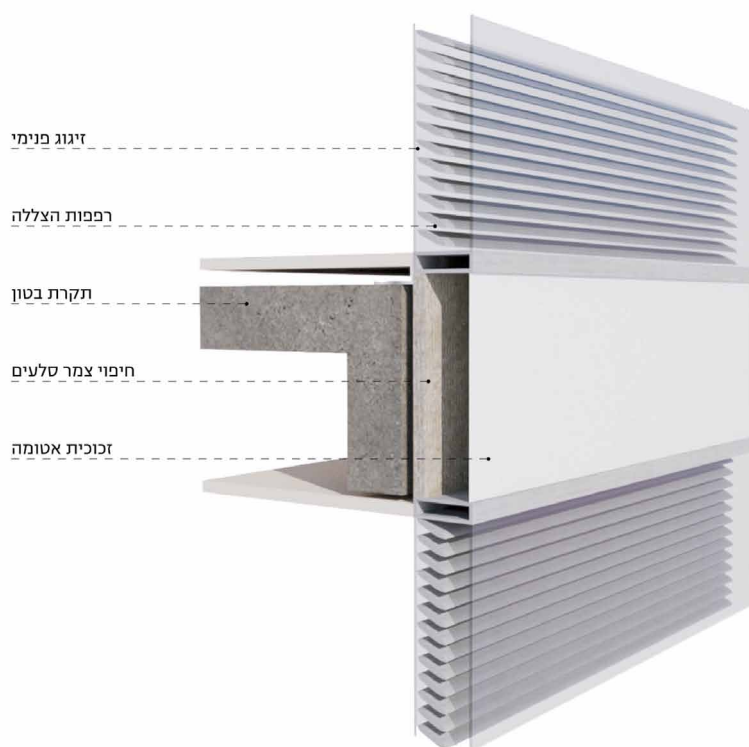
ט	ג	ב	א	 אזור אקלימי
 B	 B	A	A	 דירוג אנרגטי

²³ זאת בשל השכבה המבודדת בין חלל הפנים ובין שכבת הבטון.



3.8. קיר מסך כפול

קיר מסך בעל שני קרומי זגוגית. לקיר חלקים שקופים ואטומים. בחלקו השקוף מותקנת רפפת הצללה בין קרומי הזגוגית, ובחלקו האטום מותקנת שכבת בידוד. בכדי שמערכת זו תעמוד בדרישות ת"י 1045, חלקו האטום והמבודד של הקיר צריך להיות גדול בהרבה מחלקו השקוף.²⁴ הקיר לא עומד בדרישות ה"מרשמיות" של ת"י 5282, ולכן בכדי לעמוד

בדרישות תקן זה יש לבצע בדיקה "תפקודית" על-ידי תוכנה ייעודית.²⁵



איור 10. חתך קיר לדוגמא.
קיר מסך כפול הכולל מערכת הצללה אינטגרלית.

ד	ג	ב	א	 אזור אקלימי
-	-	-	-	 דירוג אנרגטי

²⁴ היחס בין שטחים אלה צריך להיות מחושב בהתאם להנחיות חישוב ערך "H" בת"י 5280.

²⁵ בד"כ נעשה על-ידי יועץ מומחה



ניתוח עלויות

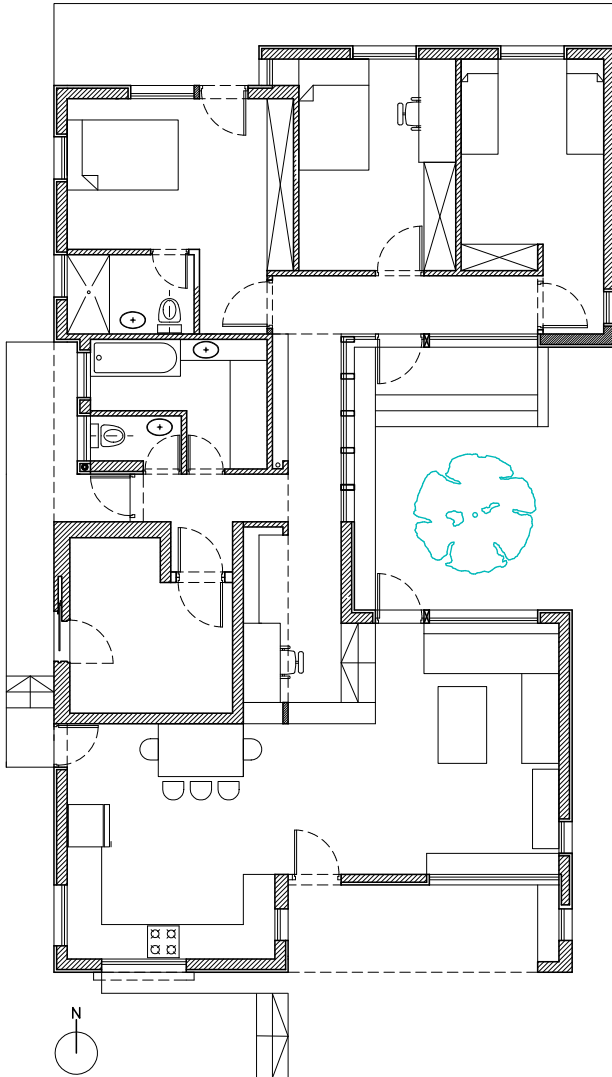
בפרק זה יוצגו עלויות הבנייה הצפויות לכל אחת מטכנולוגיות הבנייה, ובהתאם לשלושת טיפוסי הבנייה למגורים הנפוצים בישראל:

1. **בניין "צמוד קרקע"** – מבנה למשפחה או שתיים אשר לו יציאה פרטית לחצר או גינה. בד"כ בגובה של 1-3 קומות.²⁶
2. **בניין "גבוה"** – בניין מגורים משותף אשר גובהו בין 4-9 קומות.²⁷
3. **בניין "רב קומות"** – בניין מגורים משותף אשר גובהו 10 קומות ומעלה.²⁸

לכל טיפוס בניין תוכנן "מקרה בוחן" עליו בוצעו החישובים השונים. כל טיפוס הבנייה תוכנן כך שיעמדו גם בדרישות ת"י 1045 וגם בדרישות התכנון של ת"י 5282 לדירוג A בכל אזורי האקלים בישראל.²⁹ דרישות אלה כוללות עמידה ביחס מעטפת/שטח ובאחוז חילון נמוך.³⁰ עמידה בדרישה האחרונה לא בוצעה במבנים צמודי קרקע, מכיוון שבמבנים אלה שטח החלונות המתקבל נתפס כקטן מידי בהשוואה לסטנדרט המוכר בטיפוס בנייה זה.³¹

על מנת שניתן יהיה להשוות את העלויות בין כלל שיטות הבנייה, בוצע תמחור אחיד לכל השיטות ביחידות של **"ש"ח למ"ר של מעטפת**. מערכת הקיר שתומחרה כוללת את כל המרכיבים הדרושים להבטחת בידוד, איטום, יציבות, הפרדת אש וכדומה, למעט מערכות זיגוג וגמר פנים. המחירים מבוססים על מאגר מחירי בנייה "דקל", מהדורת יולי 2017, ומודל ממ"צים של חברות בינאריות, וכוללים תשומות עבודה, ימי עבודה של משאיות מנוף, עגורנים, משאבות בטון וכדומה.

²⁶ נכון לשנת 2018, כ-25% מכלל התחלות הבנייה בישראל נכללות בטיפוס בנייה זה (למ"ס).
²⁷ תקנות התכנון והבנייה מגדירות כי "בניין גבוה" הוא בניין אשר רצפת הקומה העליונה גבוהה ב-13 מ' לפחות ממפלס הכניסה הקובעת לטיפוס בניין זה ישנן דרישות מיוחדות בתקנות.
²⁸ תקנון התכנון והבנייה מגדירות כי בניין "רב קומות" הוא בניין אשר רצפת הקומה העליונה גבוהה מ-27 מ' לפחות ממפלס הכניסה הקובעת. גם לטיפוס בניין זה ישנן דרישות מיוחדות בתקנות.
²⁹ התכנון התבצע בהתאם לדרישות המרשמיות בת"י 5282. חלק מהדרישות מתאימות גם לדירוג A וגם ל-B ולחלקן רק לדירוג A. לא בוצעו בדיקות בהתאם לגישה התפקודית. בדיקות תפקודיות מאפשרות חופש עיצובי ותכנוני רב יותר.
³⁰ כלומר, שטח חלונות נמוך ביחס לשטח הרצפה, בהתאם לדרישות התקן.
³¹ מכיוון שת"י 5282 הינו תקן וולונטרי אין מניעה לתכנן כך.



4.1. מבנה צמוד קרקע

נתוני קומה :

שטח קומה (חיצוני) – 142 מ"ר

אורך המעטפת – 71.5 מטר

שטח מעטפת – 193 מ"ר

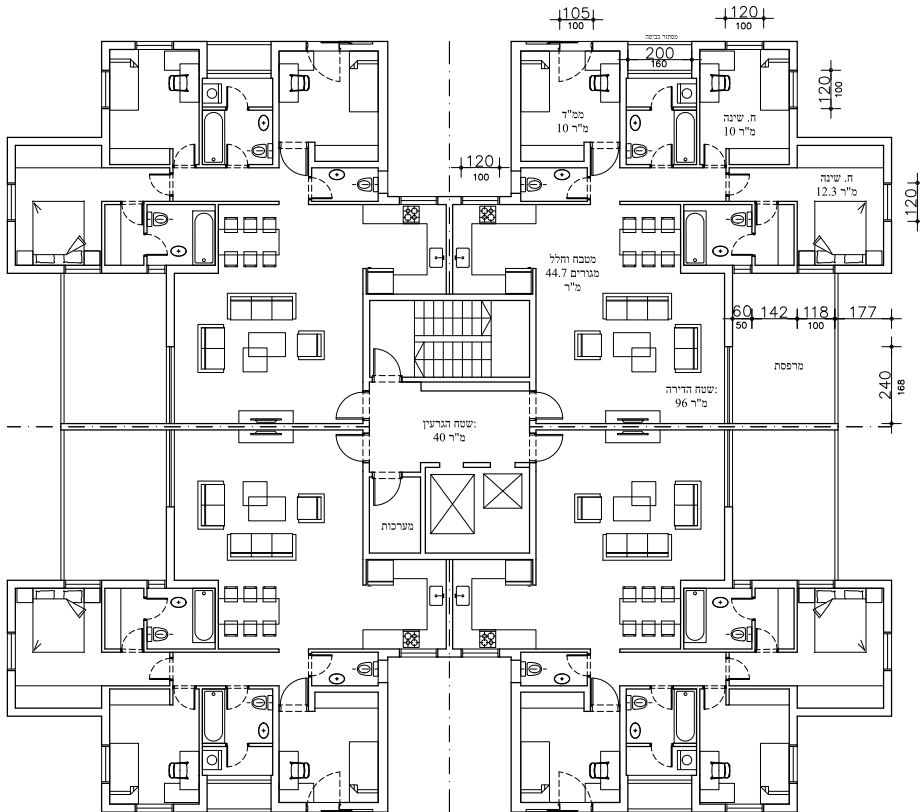
שטח חלונות – 35 מ"ר (24.6%)

איור 11. תכניות מקרה הבוחן לבנייה צמודת קרקע, ללא קנ"מ.
מקור: אדר' ברק פלמן

תוספת מחיר לדירוג אנרגטי A לכל האזורים	מחיר למ"ר מעטפת	טכנולוגית בנייה (דירוג אנרגטי לפי ת"י 5282)
ל.ר	462 ש"ח	בניה בבלוק תאי מאושפר באוטוקלאב (דירוג A)
ל.ר	546 ש"ח	שיטת ICF ליציקת קירות מבודדים (דירוג A)
כ-25 ש"ח	604 ש"ח	הרכבת בידוד על קיר בנוי יצוק (דירוג B)
ל.ר	962 ש"ח	בנייה קלה (דירוג A)
נתונים לא זמינים	2,024 ש"ח	שיטת הקרומים (דירוג B)

כפי שניתן לראות טכנולוגיית הקיר המבוססת על בנייה של שלד בטון ומילואה בבלוקים מאושפרים מעניקה בידוד ברמה טובה והיא הזולה ביותר מבין החלופות שנבדקו. יחד עם זאת, חלופה זו היא גם הכי פחות מתועשת ולמעשה אינה מציגה תועלות, כגון קיצור משך הבנייה, שיפור מיומנות הפועלים ובטיחותם כדומה.

4.2 מבנה גבוה



קומה 4 מתוך 9

נתוני קומה:

שטח קומה (חיצוני) - 491 מ"ר

אורך המעטפת - 150 מטר

שטח מעטפת - 458 מ"ר

נתוני דירה:

שטח דירה (פנימי) - 96 מ"ר

שטח מעטפת של דירה -

114.5 מ"ר

שטח חלונות בדירה -

17 מ"ר (17.7%)

איור 12. תכנית מקרה הבוחן ל"בניין גבוה", ללא קנ"מ. מקור: אדר' ברק פלמן

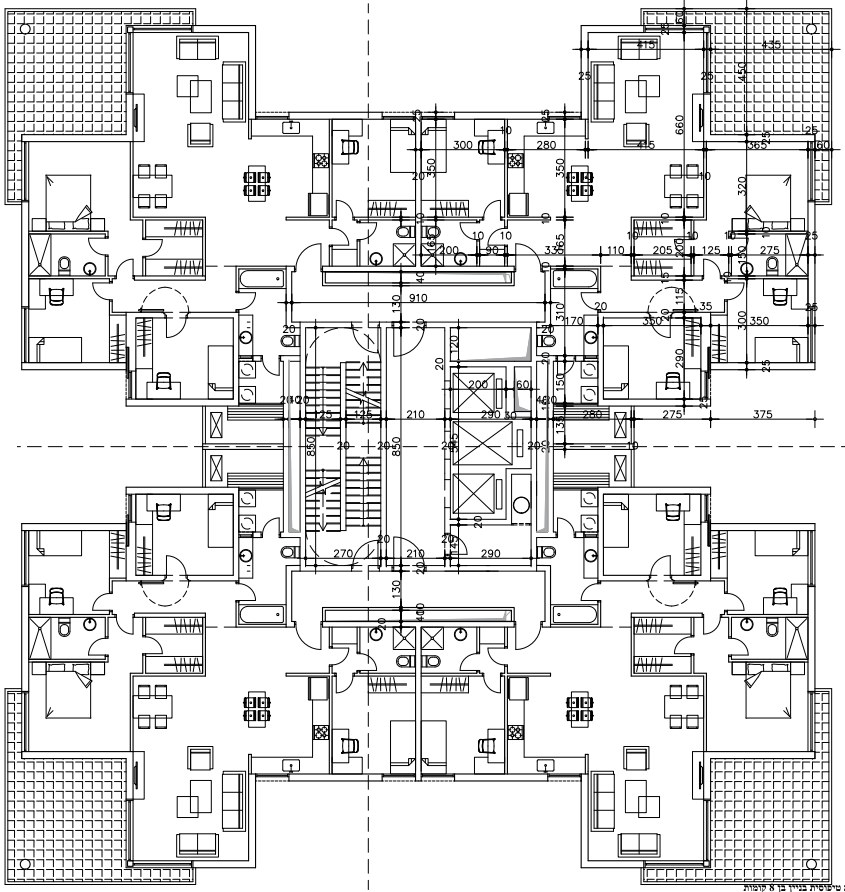
תוספת מחיר לדירוג אנרגטי A לכל האזורים	מחיר למ"ר מעטפת	טכנולוגית בנייה (דירוג אנרגטי לפי ת"י 5282)
נתונים לא זמינים	652 ש"ח	קיר מתועש על-פי ת"י 6560 (דירוג B/C)
ל.ר	472 ש"ח	בנייה בבלוק תאי מאושפר באוטוקלאב (דירוג A)
כ-25 ש"ח	697 ש"ח	הרכבת בידוד על קיר בנוי יצוק (דירוג B)
נתונים לא זמינים	1,790 ש"ח	שיטת הקרומים (דירוג B/C)

כפי שניתן לראות, גם בבנייה עד 9 קומות כלכלי יותר לבנות בבלוק תאי מאושפר. יצוין כי מסיבות הנדסיות שונות קיימת העדפה להמנע משיטת בניה זו בטיפוס מבנה זה ולכן השיטה הנפוצה תהיה גם פה ככל הנראה טכנולוגית הקיר המבוססת על ת"י 6560.³²

³² יש לשים לב שכל שאר השיטות בטבלה זו לא לקחו בחשבון עלות חיפוי חיצוני קשיח (כדוגמת אבן או קרמיקה). לכן, בהינתן דרישה תב"עית כזו, הפרש העלות בין טכנולוגיות אלה לשיטת קיר מתועש על-פי ת"י 6560 אף יגדל.



4.3. מגדל רב קומות



קומה 19 מתוך 20

נתוני קומה:

שטח קומה (חיצוני) – 491 מ"ר

אורך המעטפת – 150 מטר

שטח מעטפת – 458 מ"ר

נתוני דירה:

שטח דירה (פנימי) – 96 מ"ר

שטח מעטפת של דירה –

114.5 מ"ר

שטח חלונות בדירה –

17 מ"ר (17.7%)

איור 13. תכנית מקרה הבוחן, ללא קנ"מ. מקור: פלמן, ב. שוץ, ק., דניאל ר., 2014

תוספת לדירוג אנרגטי A לכל האזורים	מחיר למ"ר מעטפת	טכנולוגית בנייה (דירוג אנרגטי לפי ת"י 5282)
אין נתונים	598 ש"ח	קיר מתועש על-פי ת"י 6560 (דירוג B/C)
כ-25 ש"ח	1,019 ש"ח	חזית מאווררת (דירוג B/C)
ל.ר ³³	3,554 ש"ח	קיר מסך כפול

כפי שניתן לראות טכנולוגיית הקיר המבוססת על ת"י 6065 היא הזולה ביותר.

³³ בדיקת הדירוג האנרגטי מתאפשרת רק על ידי "בדיקה תפקודית" לפי ת"י 5282, אשר לא נעשתה במסגרת עבודה זו



סיכום

הבחירה בטכנולוגיית הבנייה המתאימה לבניית קירות המבנה מורכבת משיקולים רבים. השיקול הראשון הוא אדריכלי ונובע מ"פרופיל" הלקוח/ות להם מיועד המבנה. מבנה המיועד למגורים של אוכלוסייה חזקה ועשירה יתוכנן אחרת ממבנה שמיועד לאוכלוסייה ממעמד כלכלי-חברתי נמוך. הדבר ישפיע על התכנון האדריכלי של המעטפת ויקבע את אחוזי החילון, את סוג החיפוי, ויחד עם שיקולי בידוד ותקינה יוגדרו גם טכנולוגיות הבנייה הנבחרות.

יחד עם זאת, אנו מאמינים שככל הנראה חומר הבנייה שימשיך להיות דומיננטי בבנייה בישראל הוא בטון מזוין. השינוי שהתחולל בעשרים השנים האחרונות הוא מעבר מבניית מסגרות בטון מזוין וקירות מילואה מבלוקים חלולים לקירות המבוססים על בטון מזוין בלבד (ומחופים אבן בדרך כלל). מעבר זה התרחש בגלל כמה סיבות:

- מרחב מוגן בכל דירה עם 1-2 קירות בטון חיצוניים.
- דרישות תכן לרעידות אדמה במסגרתן קשיחות המעטפת מוגדלת.
- אי סדירות של הקומות ושימוש בקירות בטון להעברת עומסים סטאטיים.
- בבנייה נמוכה – הגדלת קשיחות וחוזק הבניין בגלל התנהגות קרקע חרסיתית שמנה.
- הדרישה לחיפוי אבן חזיתות – הצורך בעיגון האבן באופן יציב ואמין.

כלומר, ניתן לצפות שבשנים הבאות בבניין מגורים גבוהים וברבי קומות יהיו קירות מעטפת הבניין עשויים בטון מזוין שהוא חלק משלד הבניין (קונסטרוקטיביים), כפועל יוצא מדרישות תכן ולא כתוצאה משימוש בטכנולוגיה מסוימת; מה גם שבנייה בבלוקים או בלבנים נדרשת לרוב אף היא לבידוד תרמי.



מחשובי עלות הבנייה שפורטו בפרק 4 עולה כי בבנייה צמודת קרקע עדיין כלכלי יותר לבנות בשיטות בנייה קונבנציונליות מאשר בשיטות בנייה מתועשות. בנייה קונבנציונלית בבלוק תאי גם מאפשרת בידוד תרמי בדירוג גבוה. אולם ככל שהבנייה נעשית גבוהה יותר פער המחירים בין שיטות קונבנציונליות ומתועשות (בדגש על השיטה המבוססת על ת"י 6560) מצטמצם. בנייה רבת קומות בשיטות קונבנציונליות לא נפוצה בארץ ממילא, בעיקר מכיוון שאינה מצליחה לעמוד בתקינה הרלוונטית (בעיקר בתקינה העוסקת בתחום החיפויים).

קירות מתועשים, אשר בתהליך ייצורם נדרשים לתבניות רב פעמיות, מתבררים כזולים באופן יחסי, אולם הבחירה בהם משפיעה רבות גם על תכנון הדירות עצמו, מכיוון שבכדי שהשיטה תהיה זולה ליישום רוב הקומות בבניין, תכנון המעטפת שלהן מוכרח להיות זהה (כך ניתן יהיה להשתמש באותן תבניות יציקה שוב ושוב).

נראה כי טכנולוגיות הבנייה החדשות שנכנסו בשנים האחרונות לשוק, ואשר חלקן נבחנו במסגרת עבודה זו, לא הצליחו להיות אטרקטיביות מבחינת המחיר, ואף לא מבחינת רמות הבידוד שהן מציעות ביחס לשיטות ברמת תיעוש נמוכות יותר, כגון בנייה בבלוק תאי מאושפר וטכנולוגיית בנייה של קירות מתועשים בעלי חיפויים קשיחים. הצורך בהגדלת רמת המשיכות בכדי לעמוד בעומסים סיסמיים מטיל מגבלות כבדות על שימוש בבנייה טרומית מלאה כדוגמת שיטת הקרומים (למעשה נדרשת יציקה באתר כדי להבטיח את הרציפות, העיגון והמשיכות של המבנה). כיום, מתמקדים בעיקר על שיטות מתועשות וסמי-מתועשות בבנייה ולא בשיטות טרומיות. אם נגדיר את עומק התיעוש כחיסכון יחסי בכוח עבודה (יחסית לטכנולוגיות קונבנציונליות עתירות כוח אדם), הרי שהמעבר של השוק לקירות מתועשים עם חיפוי מבודד לפי ת"י 6560 יגדיל את עומק התיעוש באופן ניכר. למרות זאת, שיטות יבשות הן מורכבות עדיין ואינן תחרותיות מבחינת המחיר. לצד זאת, מגבלות רגולציה ושמרנות הענף לא מעודדות את הבנייה הקלה הנמוכה.

נספח א' חישוב עלות

קיר מתועש על-פי ת"י 6560 עבור קומה 4 בבית בן 9 קומות

הנחות יסוד:

מ"ר	קומה 4
491	שטח קומה
458	שטח מעטפת קומה
68	שטח חלונות קומה
390	שטח מעטפת ללא חלונות

- יש להיעזר במשאית מנוף לקומה 4 לטובת השימוש בתבניות עבור שיטת "ברנוביץ".
- מחיר יסוד לאבן: 140 ש"ח למ"ר.
- יציקת המעטפת תבצע בעזרת משאבת בטון.
- משך ביצוע מעטפת קומה הינו חודש ימים.

עלות:

תיאור	יחידה	כמות	מחיר יחידה (ש"ח)	סה"כ
תבניות	מ"ר	$458/2=229$	40 למ"ר צד אחד	$2 \times 40 \times 229 = 18,320$
בטון	קוב	$(458-68) \times 0.2 = 78$	320	$320 \times 78 = 24,960$
ברזל	טון	$78/10 = 7.8$	3,000	$3,000 \times 7.8 = 23,400$
לוח בידוד צמנטי	מ"ר	$458-68=390$	40	$40 \times 390 = 15,600$
חיפוי אבן	מ"ר	$458-68=390$	140	$140 \times 390 = 54,600$
אביזרים לחיפוי אבן, סרגלים, וויס וכו'	מ"ר	$458-68=390$	20	$20 \times 390 = 7,800$
תשומות עבודה לחיפוי אבן	מ"ר	$458-68=390$	60	$60 \times 390 = 23,400$
תשומות עבודה להרכבת קלקר, הרכבת תבניות, קשירת ברזל, ביצוע יציקה ופירוק תבניות	קוב	$(458-68) \times 0.2 = 78$	650	$650 \times 78 = 50,700$
משאית מנוף	ימי עבודה	הרכבת תבניות - 4 ימים. סידור ברזל, התקנת פיגום עבודה ויציקה - 2 ימים, סגירה ופירוק תבניות - 2 ימים) = 8	4,000	$4,000 \times 8 = 32,000$
משאבת בטון	קוב	$(458-68) \times 0.2 = 78$	25 ש"ח לקוב + 750 ש"ח להקמה	$750 \times 2 + 25 \times 78 = 3,450$
סה"כ עלות ביצוע מעטפת קומה				254,230 ש"ח
סה"כ עלות ביצוע מ"ר מעטפת				652 ש"ח / למ"ר



קיר מתועש על-פי ת"י 6560 עבור קומה 19 בבניין בן 20 קומות

הנחות יסוד:

מ"ר	קומה 19
670	שטח קומה
473	שטח מעטפת קומה
84.48	שטח חלונות קומה
388.52	שטח מעטפת ללא חלונות

בבניין בגובה זה העבודה תבצע ע"י עגורן. מחיר יסוד לאבן: 140 ש"ח למ"ר. יציקת המעטפת יתבצעו בעזרת עגורן צריח. משך ביצוע קומה (קירות + רצפה): חודש ימים; זמן ביצוע תקרה הינו שבוע; זמן ביצוע קירות מעטפת הינו שלושה שבועות.

עלות:

תיאור	יחידה	כמות	מחיר יחידה (ש"ח)	סה"כ
תבניות	מ"ר	$473/2=236.5$	40	$2 \times 40 \times 237 = 18,920$
בטון	קוב	$(473-84.48) \times 0.2 = 77.704$	320	$320 \times 77.7 = 24,865.28$
ברזל	טון	$56.4/10 = 7.7704$	3,000	$3,000 \times 7.77 = 23,311.2$
לוח בידוד צמנטי	מ"ר	$473-84.48 = 388.52$	40	$40 \times 389 = 15,540.8$
חיפוי אבן	מ"ר	$473-84.48 = 388.52$	140	$140 \times 389 = 54,392.8$
אביזרים לחיפוי אבן, סרגלים, וויס וכו'	מ"ר	$473-84.48 = 388.52$	20	$20 \times 389 = 7,770.4$
תשומות עבודה לחיפוי אבן	מ"ר	$473-84.48 = 388.52$	60	$60 \times 389 = 23,311.2$
תשומות עבודה להרכבת קלקר, הרכבת תבניות, קשירת ברזל, ביצוע יציקה ופירוק תבניות	קוב	$(473-84.48) \times 0.2 = 77.704$	500	$500 \times 77.7 = 38,852$
עגורן צריח	חודשי ביצוע	חודש ביצוע לקומה 19	הרכבה + פירוק - 70,000. שימוש חודשי 30,000. 3/4 חודש העוגרן יעבוד לטובת ביצוע המעטפת	$(70,000/19 + 30,000) \times 0.75 = 25,263$
סה"כ עלות ביצוע מעטפת קומה				ש"ח 232,226.84
סה"כ עלות ביצוע מ"ר מעטפת				ש"ח/למ"ר 597.72

הרכבת בידוד על קיר בנוי יצוק עבור קיר בבית צמוד קרקע

הנחות יסוד:

מ"ר	קומת קרקע
142	שטח קומה
193	שטח מעטפת קומה
35	שטח חלונות קומה
158	שטח מעטפת ללא חלונות

יש להשתמש בפיגום חיצוני לטובת ביצוע הרכבת לוחות בידוד וטיח חוץ. יציקת המעטפת תבצע בעזרת משאבת בטון.

עלות:

תיאור	יחידה	כמות	מחיר יחידה (ש"ח)	סה"כ
בטון	קוב	$(458-68) \times 0.2 = 31.6$	320	$320 \times 31.6 = 10,112$
תשומות עבודות בטונים (טפסנות, ברזלנות)	קוב	$(458-68) \times 0.2 = 31.6$	700	$700 \times 31.6 = 22,120$
ברזל	טון	$56.4 / 10 = 31.6$	3,000	$3,000 \times 31.6 = 9,480$
מערכת בידוד תרמי חיצוני	מ"ר	$458-68 = 158$	220	$220 \times 158 = 34,760$
שליכט אקרילי צבעוני	מ"ר	$458-68 = 158$	60	$60 \times 158 = 9,480$
פיגומיים	מ"ר	193	10 מ"ר חזית / לחודש	$10 \times 193 = 1,930$
משאית מנוף	י"ע	(הרכבת תבניות - 1 ימים, סגירה ופירוק תבניות - 1 ימים) = 2	3,000 ש" / יום עבודה	$3,000 \times 2 = 6,000$
משאבת בטון	קוב	$(458-68) \times 0.2 = 31.6$	25 ש" לקוב + 750 ש" להקמה	$750 + 25 \times 31.6 = 1,540$
סה"כ עלות ביצוע מעטפת קומה				95,422 ש"ח
סה"כ עלות ביצוע מ"ר מעטפת				604 ש"ח / למ"ר



הרכבת בידוד על קיר בנוי יצוק עבור קומה 4 בבית בן 9 קומות:

הנחות יסוד:

מ"ר	קומה 4
491	שטח קומה
458	שטח מעטפת קומה
68	שטח חלונות קומה
390	שטח מעטפת ללא חלונות

יש להשתמש בפיגום חיצוני לטובת ביצוע הרכבת לוחות בידוד וטיח חוץ.
הרמת תבניות ברזל זיון, ולוחות בידוד לקומה תבצע בעזרת משאית מנוף.

עלות:

תיאור	יחידה	כמות	מחיר יחידה (ש"ח)	סה"כ
בטון	קוב	$(458-68) \times 0.2 = 78$	320	$320 \times 78 = 24,960$
תשומות עבודות בטונים (טפסנות, ברזלנות)	קוב	$(458-68) \times 0.2 = 78$	700	$700 \times 78 = 54,600$
ברזל	טון	$56.4 / 10 = 7.8$	3,000	$3,000 \times 7.8 = 23,400$
מערכת בידוד תרמי חיצוני	מ"ר	$458 - 68 = 390$	270	$270 \times 390 = 105,300$
שליכט אקרילי צבעוני	מ"ר	$458 - 68 = 390$	60	$60 \times 390 = 23,400$
פיגומיים	מ"ר	458	10 מ"ר חזית / לחודש	$10 \times 458 = 4,580$
משאבת בטון	קוב	$(458-68) \times 0.2 = 78$	25 ש"ח לקוב + 750 ש להקמה	$750 \times 2 + 25 \times 78 = 3,450$
משאית מנוף	י"ע	(הרכבת תבניות - 4 ימים, סידור ברזל, התקנת פיגום עבודה ויציקה - 2 ימים, סגירה ופירוק תבניות - 2 ימים) = 8 ימים	4,000 ש"ח / יום עבודה	$4,000 \times 8 = 32,000$
סה"כ עלות ביצוע מעטפת קומה		271,690		ש"ח
סה"כ עלות ביצוע מ"ר מעטפת		697		ש"ח / למ"ר

חזית מאווררת עבור קומה 19 בבניין בן 20 קומות

הנחות יסוד:

מ"ר	קומה 19
670	שטח קומה
473	שטח מעטפת קומה
84.48	שטח חלונות קומה
388.52	שטח מעטפת ללא חלונות
29.2	אורך גליפים מסביב לחלונות

חיפוי חיצוני יתבצע באמצעות פיגום תלוי. יציקת הבטונים, הרמת התבניות, ברזל הזיון, שינוע כלל חומרי העזר – יתבצעו בעזרת עגורן. מאחר ומדובר על קירות בטון, זמן ביצוע לבניית שלד בקומה מוערך בכשלושה שבועות.

עלות:

תיאור	יחידה	כמות	מחיר יחידה (ש"ח)	סה"כ
בטון	קוב	$(473-84.48) \times 0.2 = 77.704$	320	$320 \times 77.7 = 24,865.28$
תשומות עבודות בטונים (טפסנות, ברזלנות)	קוב	$(473-84.48) \times 0.2 = 77.704$	650	$650 \times 77.7 = 50,507.6$
ברזל	טון	$77.7/10 = 7.7704$	3,000	$3,000 \times 7.77 = 23,311.2$
איטום קירות בציפוי צמנטי	מ"ר	$473-84.48 = 388.52$	60	$60 \times 388.52 = 23,311.2$
לוח בידוד צמנטי, עובי 5 ס"מ	מ"ר	$473-84.48 = 388.52$	40	$40 \times 388.52 = 15,540.8$
חיפוי אבן	מ"ר	$473-84.48 = 388.52$	510	$510 \times 388.52 = 198,145.2$
חיפוי גליפים (חשפים)	מ'	$29.2 \times 4 = 116.8$	255	$255 \times 116.8 = 29,784$
פיגום תלוי	קומפ'	ידרשו 3 פיגומים תלויים עם 3 העברות כל אחד	3,200 = פיגום תלוי כולל 3 העברות	$32,000 \times 3/19 = 5,052.63$
עגורן צריח לוח בידוד צמנטי,	חודשי ביצוע	חודש ביצוע לקומה	הרכבה + פירוק - 70,000. שימוש חודשי 3/4 .30,000 העוגרן יעבוד לטובת ביצוע המעטפת	$(70,000/19+30,000) \times 0.75 = 25,263$
סה"כ עלות ביצוע מעטפת קומה				ש"ח 395,781.07
סה"כ עלות ביצוע מ"ר מעטפת				ש"ח /למ"ר 1,018.69



קיר מסך כפול עבור קומה 19 בבניין בן 20 קומות

הנחות יסוד:

- הרמת הקונס' תבצע על-ידי העגורן; הרמת משטחי הזכוכית תבצע על-ידי העגורן לגג, ומשם ישונעו על-ידי פיגום תלוי.

מ"ר	קומה 19
670	שטח קומה
473	שטח מעטפת קומה
84.48	שטח חלונות קומה
388.52	שטח מעטפת ללא חלונות
29.2	אורך גליפים מסביב לחלונות

עלות:

תיאור	יחידה	כמות	מחיר יחידה (ש"ח)	סה"כ
קיר מסך כפול	מ"ר	$473 - 84.48 = 388.52$	3,519	$3519 \times 388.52 = 1,367.202$
פיגום תלוי	קומפ'	ידרשו 3 פיגומים תלויים עם 3 העברות כל אחד	32,000 פיגום תלוי כולל 3 העברות	$32,000 \times 3 / 19 = 5,052.63$
עגורן צריח	חודשי ביצוע	0.25 חודש ביצוע לקומה	הרכבה + פירוק - 70,000. שימוש חודשי 30,000. 1/4 חודש העגורן יעבוד לטובת ביצוע המעטפת	$(70,000 / 19 + 30,000) \times 0.25 = 8,421.05$
סה"כ עלות ביצוע מעטפת קומה				ש"ח 1,380,675.56
סה"כ עלות ביצוע מ"ר מעטפת				ש"ח / למ"ר 3,553.68

בנייה בבלוק תאי מאושפר באוטוקלב בבית צמוד קרקע

הנחות יסוד:

- כלל התגמירים יבוצעו בעזרת פיגומים חיצוניים.

מ"ר	קומת קרקע
142	שטח קומה
193	שטח מעטפת קומה
35	שטח חלונות קומה
158	שטח מעטפת ללא חלונות
85.1	אורך גליפים מסביב לחלונות

עלות:

תיאור	יחידה	כמות	מחיר יחידה (ש"ח)	סה"כ
קירות בלוקי בטון (לרבות חגורות (דקל)	מ"ר	$193 - 35 = 158$	270	$270 \times 158 = 42,660$
מערכת טיח חוץ	מ"ר	$193 - 35 = 158$	180	$180 \times 158 = 28,440$
פיגומים	מ"ר	193	10 מ"ר חזית / לחודש	$10 \times 193 = 1,930$
סה"כ עלות ביצוע מעטפת קומה				ש"ח 73,030
סה"כ עלות ביצוע מ"ר מעטפת				ש"ח / למ"ר 462.22

בנייה בבלוק תאי מאושפר באוטוקלב קומה 4 בבית בן 9 קומות

הנחות יסוד:

- כלל התגמירים יבוצעו בעזרת פיגומים חיצוניים.
- שינוע בלוקים לקומה יבוצע על-ידי מנוף.

מ"ר	קומה 4
491	שטח קומה
458	שטח מעטפת קומה
68	שטח חלונות קומה
390	שטח מעטפת ללא חלונות
26.81	אורך גליפים מסביב לחלונות

עלות:

תיאור	יחידה	כמות	מחיר יחידה (ש"ח)	סה"כ
קירות בלוקי בטון לרבות חגורות (דקל)	מ"ר	458-68= 390	270	270x390= 105,300
מערכת טיח חוץ	מ"ר	458-68= 390	180	180x390= 70,200
פיגומים	מ"ר	458	10 מ"ר חזית / לחודש	10x458= 4,580
משאיות מנוף לבניית קירות קומה	י"ע	י"ע אחד לטובת הרמת ופיזור בלוקים - 1	4,000 ש"ח/יום עבודה	1x4000= 4,000
סה"כ עלות ביצוע מעטפת קומה				ש"ח 184,080
סה"כ עלות ביצוע מ"ר מעטפת				ש"ח /למ"ר 472



בניה בשיטת ICF ליציקת קירות מבודדים בבית צמוד קרקע

הנחות יסוד:

- יש להתקין פיגומים בהיקף הקומה
- יש לבצע חיזוקים ותמיכה לתבניות

מ"ר	קומת קרקע
71.5	אורך מעטפת
142	שטח קומה
193	שטח מעטפת קומה
35	שטח חלונות קומה
158	שטח מעטפת ללא חלונות
85.1	אורך גליפים מסביב לחלונות

עלות:

סה"כ	מחיר יחידה (ש"ח)	כמות	יחידה	תיאור
$100 \times 158 = 25,280$	160 ש"ח/מ"ר	$193 - 35 = 158$	מ"ר	תבניות לקיר בטון ב-30 כדוגמת ESB
$320 \times 22.91 = 7,331.2$	320 ש"ח/קוב בטון	$(193 - 35) \times 0.145 = 22.91$	קוב	בטון
$3000 \times 2.291 = 6,873$	3,000 ש"ח/טון	$22.91 \times 0.1 = 2.291$	טון	ברזל
$2000 \times 0.27 \times 0.3 \times 22 = 3,564$	2,000 ש"ח/קוב	$71.5 / 3.5 + 1 = 22$	יח'	עמודון בטון 27/30
$180 \times 158 = 28,440$	180 ש"ח/מ"ר	$193 - 35 = 158$	מ"ר	מערכת טיח חוץ
$10 \times 193 = 1,930$	10 מ"ר חזית / לחודש	$193 = 193$	מ"ר	פיגומים
$500 \times 22.91 = 11,455$	500 תשומות בש"ח / קוב בטון	$(193 - 35) \times 0.145 = 22.91$	קוב	תשומות עבודה להרכבת תבניות, קשירת ברזל, ביצוע יציקה.
$750 + 25 \times 22.91 = 1,322.75$	25(750), 25 ש"ח לקוב + 750 ש"ח להקמה	$(193 - 35) \times 0.145 = 22.91$	קוב	משאבת בטון
ש"ח	86,195.95	סה"כ עלות ביצוע מעטפת קומה		
ש"ח / למ"ר	545.54	סה"כ עלות ביצוע מ"ר מעטפת		

בנייה קלה לבית צמוד קרקע

הנחות יסוד:

- נלקח בחשבון מחיר יסוד עבור לוחות עץ, על סך 70 ש"ל מ"ר.

מ"ר	קומת קרקע
142	שטח קומה
193	שטח מעטפת קומה
35	שטח חלונות קומה
158	שטח מעטפת ללא חלונות
85.1	אורך גליפים מסביב לחלונות

עלות:

תיאור	יחידה	כמות	מחיר יחידה (ש"ח)	סה"כ
חיפוי מעטפת חיצונית 2 צדדים בלוחות עץ	מ"ר	193-35= 158	560 ש"ח/מ"ר מעטפת	560x158= 88,480
חיפוי גבס ירוק	מ"ר	(193-35)= 158	170 ש"ח/מ"ר מעטפת	170x158= 26,860
בידוד באמצעות לוח XPS	מ"ר	(193-35)= 158	40 ש"ח/מ"ר	40x158= 6,320
מערכת טיח חוץ	מ"ר	(193-35)= 158	180 ש"ח/מ"ר	180x158= 28,440
פיגומים	מ"ר	193= 193	10 מ"ר חזית / לחודש	10x193= 1,930
סה"כ עלות ביצוע מעטפת קומה				ש"ח 152,030
סה"כ עלות ביצוע מ"ר מעטפת				ש"ח /למ"ר 962.22



שיטת הקרומים בבית צמוד קרקע

הנחות יסוד:

- יש להיעזר במשאית מנוף בהרכבת קירות
- יש להיעזר בפיוגום / במת הרמה לביצוע איטום תפרים וביצוע צבע חוץ.
- החזיתות אינן זהות ויציקה מיוחדת של האלמנטים מחייבת התארגנות מיוחדת אשר מגולמת במחיר

מ"ר	קומת קרקע
142	שטח קומה
193	שטח מעטפת קומה
35	שטח חלונות קומה
158	שטח מעטפת ללא חלונות

עלות:

תיאור	יחידה	כמות	מחיר יחידה (ש"ח)	סה"כ
קירות חוץ טרומיים בעובי כולל 27 לרבות פלציב 3 ס"מ	מ"ר	193	1,400	$1,400 \times 193 = 270,200$
איטום תפרי התפשטות/ תפרי הפסקות יציקה	מ"ר	193	20	$20 \times 193 = 3,860$
פיוגומיים	מ"ר	193	10 מ"ר חזית / לחודש	$10 \times 193 = 1,930$
משאית מנוף	י"ע	הרכבת אלמנטים - 2	3,000 ש"ח / יום עבודה	$3,000 \times 2 = 6,000$
התארגנות עבור ביצוע חיפוי באזורים קטנים	קומפ'	1	30,000	$30,000 \times 1 = 30,000$
צבע חוץ	מ"ר	$193 - 35 = 158$	49 רב גמיש	$49 \times 158 = 7,742$
סה"כ עלות ביצוע מעטפת קומה				ש"ח 319,732
סה"כ עלות ביצוע מ"ר מעטפת				ש"ח / למ"ר 2,023.62

שיטת הקרומים קומה 4 בבית בן 9 קומות

הנחות יסוד:

- יש להיעזר במשאית מנוף בהרכבת קירות
- יש להיעזר בפיגום / במת הרמה לאיטום תפרים ולביצוע צבע.

עלות:

מ"ר	קומה 4
491	שטח קומה
458	שטח מעטפת קומה
68	שטח חלונות קומה
390	שטח מעטפת ללא חלונות

תיאור	יחידה	כמות	מחיר יחידה (ש"ח)	סה"כ
קירות חוץ טרומיים בעובי כולל 27 לרבות פלציב 3 ס"מ	מ"ר	458	1,400	$1400 \times 458 = 641,200$
איטום תפרי התפשטות/ תפרי הפסקות יציקה	מ"ר	458	20	$20 \times 458 = 9,160$
פיגומיים	מ"ר	458	10 מ"ר חזית / לחודש	$10 \times 458 = 4,580$
משאית מנוף	י"ע	הרכבת אלמנטים - 6	4,000 ש"ח / יום עבודה	$4,000 \times 6 = 24,000$
צבע חוץ	מ"ר	$458 - 68 = 390$	49 רב גמיש	$49 \times 390 = 19,110$
סה"כ עלות ביצוע מעטפת קומה				ש"ח 698,050
סה"כ עלות ביצוע מ"ר מעטפת				ש"ח / למ"ר 1,789.87



תמחור שיטות בידוד

בנייה מתועשת בישראל

2019