



אנרגיה מקיימת

במבני מגורים משותפים

ניתוח טכנו-כלכלי

ניצול מיטבי של גגות מבני מגורים לייצור אנרגיה וחימום מים יעיל

תוכן עניינים

1.	תקציר מנהלים.....	4
2.	רקע.....	14
3.	מתודולוגיה - עקרונות הניתוח.....	18
3.1	טכנולוגיות לחימום מים במבני מגורים.....	19
3.1.1	טכנולוגיית ה-PVT.....	20
3.2	עקרונות הניתוח.....	22
3.3	מתודולוגיה לניתוח הטכנו-כלכלי.....	23
3.4	מתודולוגיה לניתוח מאזן האנרגיה.....	26
4.	נתונים והנחות יסוד בבסיס הניתוח.....	28
4.1	הנחות הניתוח הטכנו-כלכלי.....	28
4.2	הנחות ניתוח מאזן האנרגיה.....	32
5.	ניתוח טכנו-כלכלי ותוצאות.....	35
5.1	ניתוח בראי היזם.....	35
5.2	ניתוח בראי משקי הבית.....	37
5.3	מסקנות מהניתוח הכלכלי.....	41
5.4	תוצאות מאזן האנרגיה.....	45
6.	השפעות על משק החשמל.....	49
6.1	מאפייני הביקוש הביתי.....	49
6.2	ניתוח כמותי- השפעות על משק החשמל.....	52
6.3	סיכום הממצאים העיקריים.....	55
6.4	תובנות ומסקנות.....	56
7.	חסמים, תובנות והמלצות להמשך.....	58
7.1	סיכום הממצאים ותובנות עיקריות.....	58
7.2	חסמים ליישום החלופה הנבחרת ותובנות מרכזיות מן הניתוח.....	58
7.3	המלצות מדיניות.....	62
8.	נספח א' - ניתוח רגישות להנחות הניתוח.....	64
8.1	מחיר החשמל.....	65
8.2	אורך חיי המערכות.....	69
8.3	עלויות תחזוקה שנתית.....	78
8.4	עלות ההון.....	87
8.5	ניתוח רגישות לגודל הגג.....	95
8.6	ניתוח רגישות לתעריף הפוטו-וולטאי.....	100
8.7	סיכום ניתוח רגישות.....	101
9.	נספח ב' – תוצאות ניתוח מאזן האנרגיה לפי תרחישי הביקוש.....	102
10.	נספח ג' – ניתוח השפעת שיטות ההתחשבנות - ייצור לעומת הזרמה.....	107



11.	נספח ד' – ניתוח היחס שבין מספר הדירות לגודל הגג לשם עמידה בתקנה
24	בראי חלופה ג'..... 111
12.	נספח ה' - חיסכון בפיתוח רשת החלוקה..... 114

1. תקציר מנהלים

לפני כ-50 שנה קבעה מדינת ישראל חובה רגולטורית היסטורית להתקנת דודי שמש במבני מגורים חדשים עבור חימום מים. החובה עוגנה בתקנה 24 בחוק התכנון והבנייה, ובכך הציבה את מדינת ישראל בחזית החדשנות בזירה הבינלאומית בתחום האנרגיה, ובמקביל יצרה חסכון כלכלי עבור משקי בית ותועלת משמעותית למשק האנרגיה. יחד עם זאת, לאור החידושים הטכנולוגיים של השנים האחרונות ולאור יעדי הממשלה למעבר לאנרגיה מקיימת שנקבעו בסדרה של החלטות ממשלה¹ להתייעלות באנרגיה, ייצור אנרגיות מתחדשות ומעבר לתחבורה חשמלית, הגיעה העת לבחון את הנושא מחדש.

שאלת המחקר בדו"ח זה בוחנת מהי החלופה הטכנולוגית והכלכלית האופטימלית לחימום מים וייצור אנרגיה במבני מגורים משותפים? הבחינה נעשתה תוך התחשבות במספר היבטים קריטיים - הפחתת צריכת החשמל בשעות השיא, חיזוק החוסן של רשת החשמל הלאומית וקידום יעדי האנרגיה המקיימת של ישראל.

הסקטור הביתי הוא הגורם הדומיננטי בעומסי השיא בחורף ומהווה יעד קריטי להתייעלות והסטת עומסים. אף שמשקי הבית אחראים לכ-30% מסך צריכת החשמל בישראל, בשעות השיא בערבי החורף חלקם מזנק ל-46% בממוצע, ובחודש ינואר 2024 משקלם הממוצע עמד על כ-56% - כלומר, הביקוש הביתי הוא רוב הביקוש המשקי בשעות הקריטיות ביותר בחורף. מאפיינים אלו הופכים את הסקטור הביתי ליעד אידיאלי לשני צעדים מרכזיים: ראשית, התייעלות אנרגטית שתפחית את הביקוש הכולל; שנית, הסטת עומסים משעות השיא לשעות השפל - באמצעות טכנולוגיות כמו משאבות חום עם אגירה תרמית. שילוב של שני הפתרונות יביא לחיסכון משמעותי בהקמת תחנות כוח ובעלויות תפעול, תוך תרומה קריטית לחוסן ויעילות רשת החשמל.

על מנת להתמודד עם האתגר שמציב סקטור המגורים, משרד האנרגיה והתשתיות פועל בימים אלו לגיבוש אסטרטגיה כוללת לשילוב טכנולוגיות בבנייה חדשה, שיתרמו לעמידה ביעדי הממשלה להתייעלות באנרגיה ולייצור אנרגיות מתחדשות. במסגרת זו, העבודה המוצגת במסמך זה מתייחסת לחימום מים סניטריים, האחראי בממוצע² ל-7%-14% מצריכת החשמל השנתית של משק בית בישראל³. במקרים קיצוניים, כאשר נעשה שימוש בטכנולוגיות לא יעילות כגון דודי חשמל או צריכת מים חמים גבוהה, הצריכה השנתית של משקי הבית לחימום מים עשויה להוות עד כ-36% מסך צריכת החשמל השנתית שלהם.

בנוסף, סוגיית חימום המים משפיעה באופן ישיר על השימושים האפשריים בשטחי הגגות, משאב מוגבל הנתון לתחרות בין מערכות שונות: דודי שמש (תרמו-סולאריים), פאנלים סולאריים (פוטו-וולטאיים), מערכות תפעוליות נוספות החיוניות לתפקוד המבנה, שילוב צמחייה ("גג ירוק") ושימושי פנאי נוספים.

¹ החלטת ממשלה 465 מיום 25.10.2020

² ממוצע של כלל משקי הבית במשק

³ החישוב מבוסס על נתוני דו"ח מצב משק החשמל לשנת 2024 ועל הערכת הלמ"ס למספר משקי הבית בישראל בשנת 2024.

מתודולוגיה

הניתוח הטכנו-כלכלי השווה חמש חלופות מרכזיות במבני מגורים שונים, בהתאם למספר הקומות, הדירות וגודל הגג. יודגש כי הניתוח מתמקד בבנייה חדשה בלבד. התאמה של בניינים קיימים (retrofit) תיבחן בעבודה משלימה, שתכלול הן את החלפת דודי חשמל במשאבות חום והן את החלפת דודי שמש במשאבות חום בשילוב מערכות פוטו-וולטאיות. לצורך הצגת הנתונים נבחרו שני מקרי בוחן של בנייני מגורים שבנייתם שכיחה כיום:



בניין 15 קומות (60 דירות)



בניין 7 קומות (28 דירות)

5 החלופות שנבחנו במסמך התייחסו לשילובים שונים של טכנולוגיות. בבניין בן 7 קומות קיימות ארבע חלופות בלבד, מאחר שניתן לעמוד בדרישות תקנה 24 באמצעות מערכות תרמו-סולאריות בלבד, ללא צורך בשילוב טכנולוגיות נוספות לחימום מים כפי שנדרש בבניין בן 15 קומות:

איור 1 - חלופות הניתוח – בניין בן 7 קומות



איור 2 – חלופות הניתוח – בניין בן 15 קומות



בחינה טכנו-כלכלית משלוש נקודות מבט

- **יזם הבנייה:** עלויות ההקמה הראשוניות של המערכות השונות.

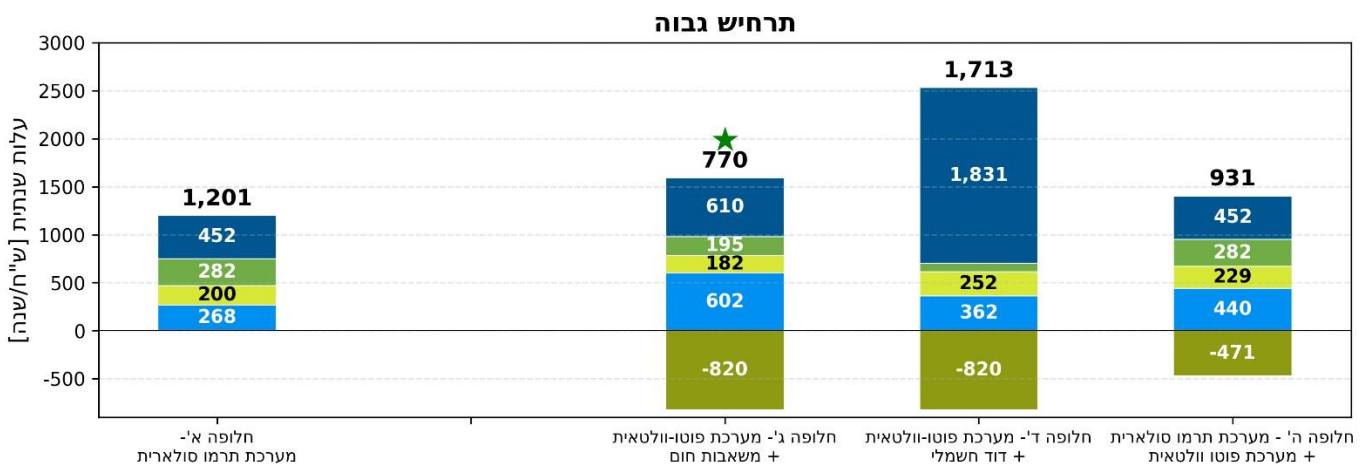
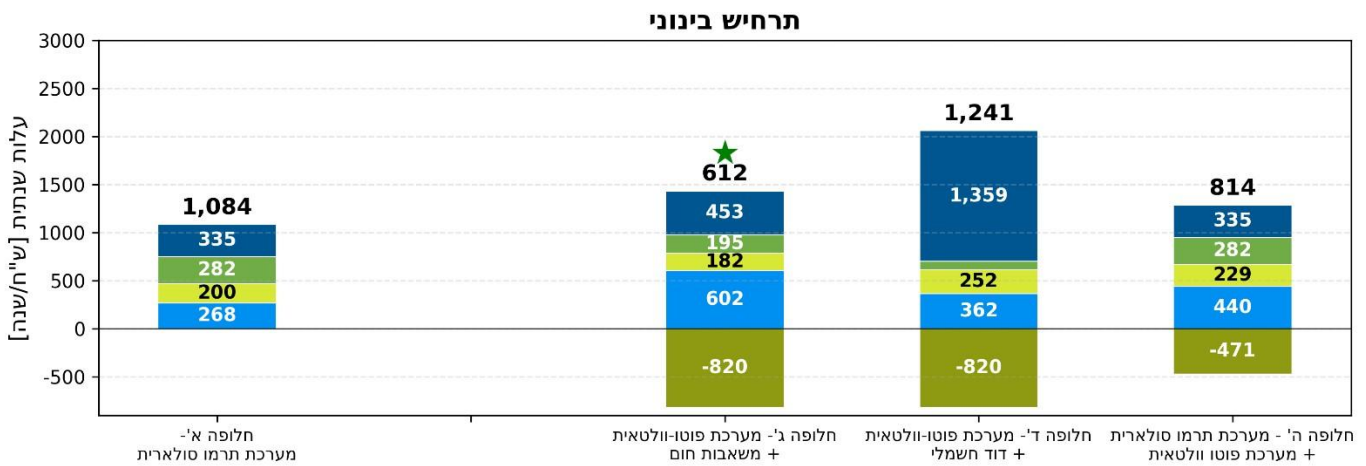
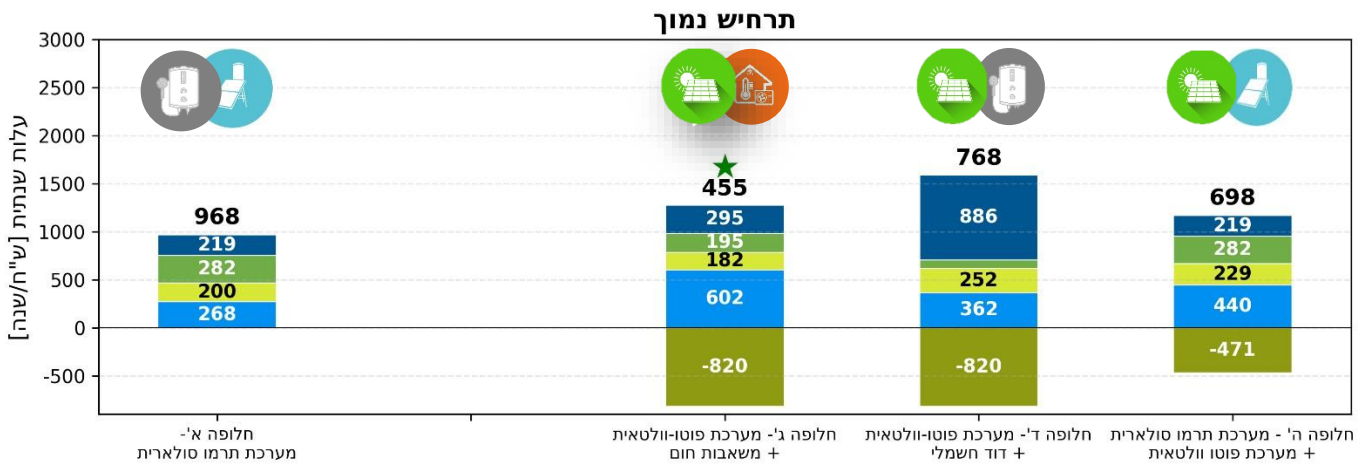
- **משק הבית:** עלויות התפעול, התחזוקה והתחלופה של המערכות השונות, לאורך 25 שנה.
- **תועלות משקיות:** השפעת החלופות המובילות על משק החשמל בישראל, לרבות חיסכון בהקמת כושר ייצור נוסף וצמצום הצורך בפיתוח תשתיות רשת נוספות.

החלופה הנבחרת (חלופה ג') – מערכת פוטו-וולטאית בשילוב משאבות חום

איור 3 – תועלת החלופה הנבחרת (חלופה ג') ביחס לחלופת הבסיס ברמת משק הבית, הבניין הבודד ורשת החשמל



תרשים 1 - עלות שנתית ליחידת דיור ממוצעת בבניין בן 7 קומות [ש"ח בשנה]⁴

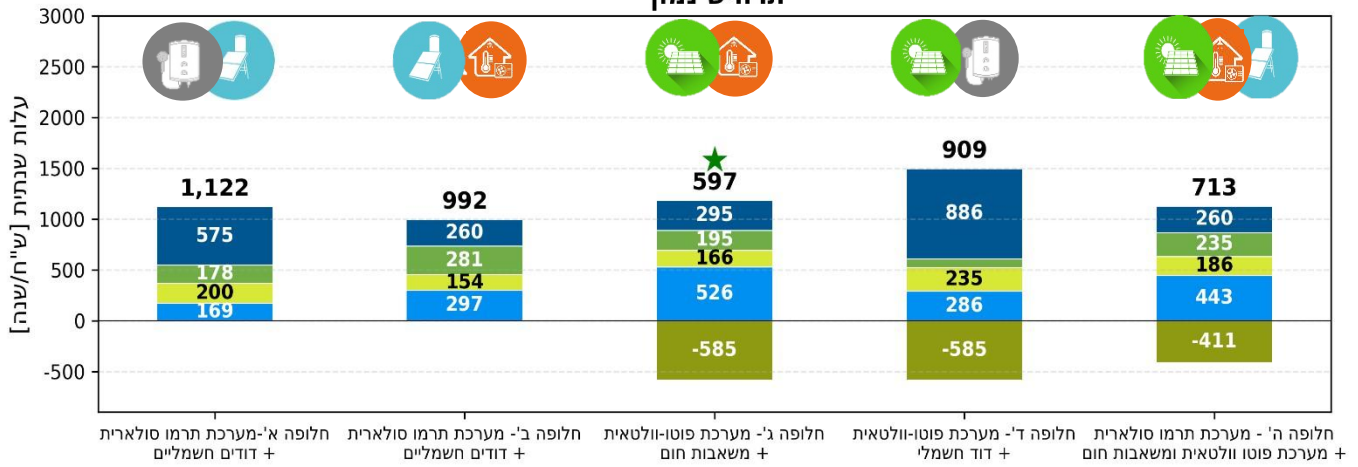


הכנסה שנתית ממכירת חשמל [ש"ח]
עלויות החשמל ליחידה מ"מ [ש"ח]
עלויות החשמל ליחידה מ"מ [ש"ח]
עלויות השקעה ראשונית במערכת לחימום מים [ש"ח כולל מע"מ]
עלויות אחזקת המערכת [ש"ח כולל מע"מ]

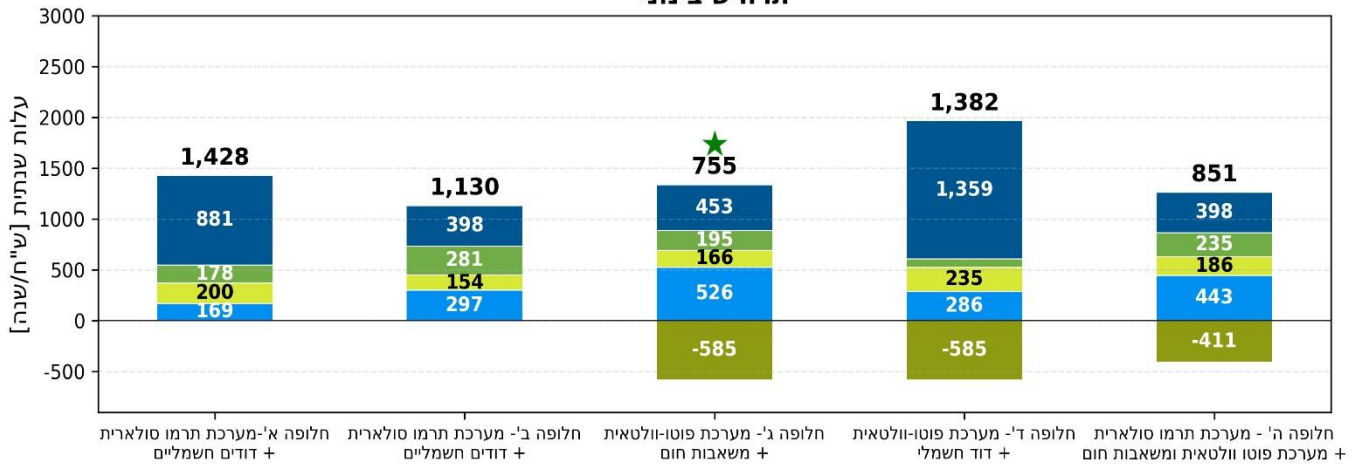
⁴ עלות ההון הראשונית ועלויות ההחלפות מפורסות על פני 25 שנה בריבית היוון של 6%. מרווחי ההחלפה: 8 שנים למערכות תרמו-סולאריות ודודים חשמליים, 10 שנים למשאבות חום. ההפרדה בין רכיב ההון לרכיב ההחלפות נובעת מכך שבחלק מהחלופות רכיב ההון כולל גם מערכת פוטו-וולטאית (אורך חיים 25 שנה), בעוד מערכות חימום המים דורשות החלפה תקופתית. לפירוט נוסף [ראו פרק 4](#).

תרשים 2 - עלות שנתית ליחידת דיור ממוצעת בבניין בן 15 קומות [ש"ח בשנה]

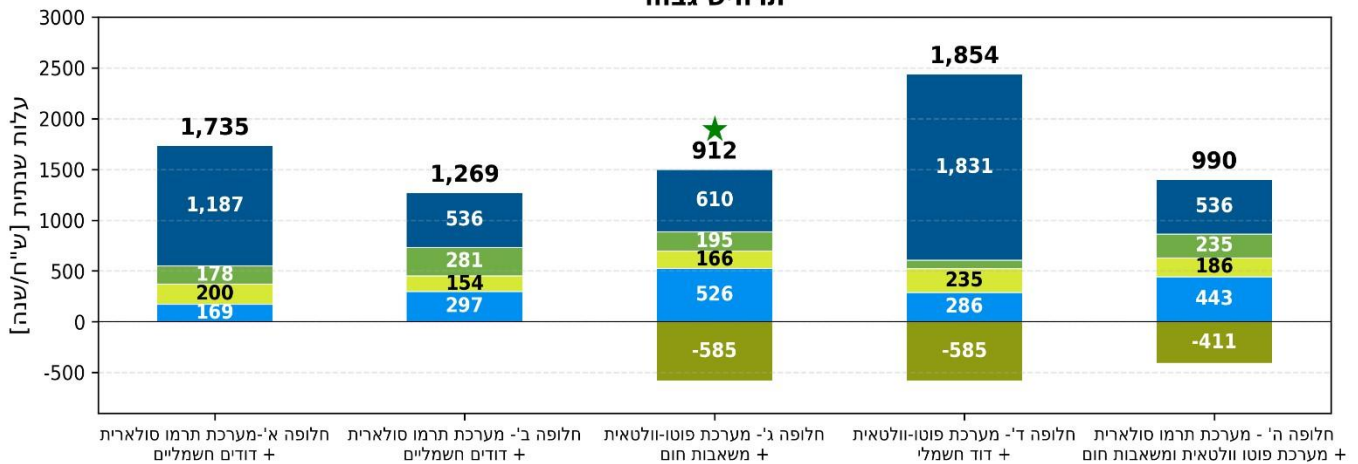
תרחיש נמוך



תרחיש בינוני



תרחיש גבוה



■ עלות החשמל לחימום מים [ש"ח/ח/שנה] (כולל מע"מ)
■ עלויות החלפת המערכת [ש"ח/ח/שנה] (כולל מע"מ)
■ עלויות אחזקת המערכת [ש"ח/ח/שנה] (כולל מע"מ)
■ עלות השקעה ראשונית במערכת לחימום מים [ש"ח/ח/שנה] (כולל מע"מ)
■ הכנסה שנתית ממכירת חשמל [ש"ח/ח/שנה]

הניתוח מצביע על כך שחלופה ג' (מערכת פוטו-וולטאית בשילוב משאבות חום) מהווה את הפתרון הכלכלי המיטבי לחימום מים בשני סוגי הבניינים הנבחנו. בבניין בן 7 קומות, חלופה זו מניבה חיסכון של 36% עד 53% ביחס לחלופת הבסיס, ובבניין בן 15 קומות החיסכון עומד על כ-47% בכל תרחישי הביקוש.

בבניינים גבוהים, חלופת הבסיס כוללת דודים חשמליים עבור יחידות הדיוור בקומות הנמוכות, מה שהופך אותה לרגישה יותר למחיר החשמל ומגדיל את העלות השנתית למשק הבית. חלופת המציאות הרגולטורית (חלופה ב') אמנם מציגה שיפור של 12% עד 27% ביחס לחלופת הבסיס, אך עדיין יקרה ב-28% עד 40% מחלופה ג'. פער זה מדגיש את הפוטנציאל הכלכלי הגלום במעבר לטכנולוגיות המשלבות ייצור חשמל עצמי עם יעילות אנרגטית גבוהה.

ניתוח הכדאיות הכלכלית של המעבר מחלופת הבסיס (חלופה א') לחלופה הנבחרת (חלופה ג') מצביע על כדאיות כלכלית גבוהה. העלות התוספתית הנדרשת מיזם הבנייה עומדת כ-3,600-3,800 ₪ (תוספת של כ-4,500-4,200 ₪ עבור הדייר⁵) ליחידת דיוור, בעוד שהחיסכון השנתי הצפוי למשק הבית בעלות החשמל לחימום מים נע בין 661 ל-1,486 ש"ח, בהתאם לסוג המבנה, שיטת ההתחשבות ודפוסי הצריכה. המעבר מחימום מים באמצעות מערכות תרמו-סולאריות ודודים חשמליים למשאבות חום בשילוב מערכת פוטו-וולטאית זה מניב שיעור תשואה פנימי (IRR) בטווח של 15%-33% ותקופת החזר השקעה קצרה של 3-6 שנים.

בבניין בן 15 קומות, ההשוואה בין חלופה ג' לחלופה ב' המציגה יישום על פי הדרישות הרגולטוריות העדכניות, מראה כי העלות התוספתית ליזם עומדת על כ-2,924 ש"ח ליחידת דיוור, והחיסכון השנתי למשק הבית נע בין 510 ל-1,188 ש"ח. המעבר מחלופה ב' לחלופה ג' מניב תשואה פנימית של 17%-30% עם תקופת החזר של 3-6 שנים. גם המעבר מחלופה א' לחלופה ב' כדאי כלכלית, עם תשואה פנימית של 19%-40% ותקופת החזר של 3-5 שנים, הודות לחיסכון השנתי של 315-651 ש"ח בעלות החשמל הנובע מהחלפת הדודים החשמליים במשאבות חום.

הטבלה להלן מפרטת את מדדי הכדאיות הכלכלית עבור שתי שיטות ההתחשבות (ייצור והזרמה) ושני טיפוסי המבנים (7 ו-15 קומות):

⁵ התוספת לדייר כוללת מע"מ של 18%

טבלה 1 – מדדי כדאיות כלכלית למעבר מחלופה א' לחלופה ג' – השוואה בין שיטות התחשבות וטיפול מבינים⁶

פרמטר כלכלי	שיטת ההתחשבות	חלופה ג' מול חלופה א' – בניין בן 7 קומות	חלופה ג' מול חלופה א' – בניין בן 15 קומות	חלופה ג' מול חלופה ב' – בניין בן 15 קומות
הפרש עלות הון ליחידת דיור [ש"ח] ⁷	-	4,279	4,560	2,924
חיסכון שנתי למשק בית בעלות החשמל לחימום מים [ש/שנה]	שיטת הייצור	661-743	864-1,162	510-549
	שיטת ההזרמה	1,047-1,129	1,188-1,486	873-835
החזר השקעה [שנים]	שיטת הייצור	6	4-5	6
	שיטת ההזרמה	4	3-4	4
תשואה פנימית (IRR)	שיטת הייצור	17%-15%	25%-19%	19%-17%
	שיטת ההזרמה	26%-24%	33%-26%	30%-29%

מעבר לכדאיות הכלכלית, חלופה ג' מציגה יתרון משמעותי בהיבט הצדק החלוקתי במשאב שטח הגג. בחלופת הבסיס בבניין בן 15 קומות קיים פער ניכר בעלויות חימום המים בין יחידות הדיור: בעוד שהדירות בקומות העליונות, הנהנות ממערכות תרמו-סולאריות, צורכות 341-705 קוט"ש בשנה בעלות של 219-452 ש"ח, הדירות בקומות התחתונות המסתמכות על דודים חשמליים צורכות 1,385-2,861 קוט"ש בשנה בעלות של 886-1,831 ש"ח – פער של פי 3 עד 4. פער זה נובע מכך שיחידות הדיור העליונות מנצלות את שטח הגג המשותף לקבלת מים חמים ללא עלות רוב ימות השנה. בחלופת המציאות הרגולטורית (חלופה ב') הפער מצטמצם אך עדיין קיים: הדירות בקומות התחתונות, המצוידות במשאבות חום, צורכות 462-954 קוט"ש בשנה בעלות של 295-610 ש"ח – תוספת של כ-35% ביחס לדירות העליונות. לעומת זאת, בחלופה ג' כל יחידות הדיור מצוידות במשאבות חום יעילות ומתחלקות באופן שוויוני בהכנסות מהמערכת הפוטו-וולטאית המותקנת על הגג המשותף, מה שמבטל את חוסר הצדק החלוקתי הקיים בחלופות האחרות.

חסמים מרכזיים ליישום החלופה הנבחרת

למרות יתרונותיה המובהקים של חלופה ג', קיימים שני חסמים מרכזיים המעכבים את אימוצה:

⁶ החזר ההשקעה, החיסכון השנתי ליחידת דיור ושיעור התשואה חושבו על בסיס ההפרש בעלויות התפעול וההון בין החלופות. בחלופה א' נלקחה בחשבון עלות ההון ועלות צריכת החשמל בלבד, ואילו בחלופה ג' נלקחו בחשבון עלות ההון ועלות צריכת החשמל בניכוי ההכנסות ממכירת עודפי החשמל לרשת (בשיטת הייצור) או החיסכון בעלות החשמל כתוצאה מייצור עצמי (בשיטת ההזרמה).
⁷ ההפרש בעלות כולל מע"מ של 18% בכדי לשקף את הכדאיות הכלכלית מנקודת מבטו של משק הבית

1. **בעיית הסוכן:** הפער בין חלופה א' (חלופת הבסיס) לחלופה ג' ממחישה את בעיית הסוכן הקיימת בשוק הדיור. בעוד שחלופה ג' כדאית משמעותית עבור הדיירים, בזכות עלויות מחזור חיים נמוכות יותר, עלות ההקמה הגבוהה בכ-3,600-3,800 ₪ (תוספת של כ-4,200-4,500 ₪ עבור הדייר⁸) (מתוכם כ-600 ₪ עבור משאבת חום והשאר עבור התקנת מערכות פוטו-וולטאיות) ליח"ד הופכת אותה לפחות אטרקטיבית עבור היזם. כיוון שהיזם מתוגמל על בסיס עלויות ההקמה הראשוניות בלבד, ולא על פי החיסכון העתידי לדיירים, אין לו תמריץ לבחור בחלופה היקרה יותר להקמה, גם אם היא היעילה והכלכלית ביותר למשק הבית ולמשק החשמל בטווח הארוך. יחד עם זאת, כשמדובר בהחלפת דוד חשמלי רגיל, בדירה שאין בה מערכת תרמו-סולארית, מדובר בהשקעה כדאית שהחזר ההשקעה עליה ינוע בין ארבע לשש שנים, לכל היותר.

2. **פער רגולטורי:** החלופה היעילה והכדאית ביותר (חלופה ג') אינה עומדת בדרישות תקנה 24 לתקנות התכנון והבנייה בטיפולוגיות מבנים מסוימות (7 קומות). פער זה מדגיש את הצורך בעדכון הרגולציה הקיימת על מנת לנצל את התועלות הכלכליות למשקי הבית, כמו גם את התועלות למשק החשמל. על מנת להבין את הפער הרגולטורי המתואר לעיל, נבחן להלן את עמידת החלופות בדרישות הרגולציה הקיימת.

פירוט החלופות בראי הרגולציה הקיימת

תקנה 24⁹ לתקנות התכנון והבנייה קובעת תנאים לאספקת מים חמים ביעילות אנרגטית ליחידות דיור חדשות. בחינת החלופות מול התקנה הקיימת חושפת פער משמעותי: החלופה האופטימלית מבחינה כלכלית ואנרגטית אינה עומדת בדרישות הרגולציה. טבלה 2 שלהלן מסכמת את עמידת החלופות בתקנה.

טבלה 2 - ניתוח החלופות בניתוח בראי תקנה 24

⁸ התוספת לדייר כוללת מע"מ של 18%

⁹ תקנות התכנון והבנייה (תכנון הבנייה) (תברואה), תש"ף-2019 – פרק יא' מערכות לחימום מים והפקת אנרגיה



לא עומדת בתקנה 24 – לפי סעיף
(1) לא ניתן להתקין דוד חשמלי
כמערכת ראשית לחימום מים

עומדת בתקנה 24



חלופה א'

עומדת בתקנה 24



חלופה ב'

עומדת בתקנה 24

לא עומדת בתקנה 24 - בחלופה זו
מיוצר כ-55 MWh לעומת 61.8
הנדרשים לפי תקנה 24



חלופה

לא עומדת בתקנה 24 – לפי סעיף
(1) לא ניתן להתקין דוד חשמלי
כמערכת ראשית לחימום מים

לא עומדת בתקנה 24 – לפי סעיף
(1) לא ניתן להתקין דוד חשמלי
כמערכת ראשית לחימום מים



חלופה ד'

עומדת בתקנה 24

עומדת בתקנה 24



חלופה ה'



מסקנות מרכזיות

שילוב מערכות פוטו-וולטאיות עם משאבות חום (חלופה ג') מהווה את הפתרון האופטימלי לחימום מים, הן מנקודת מבט של החסכון למשקי הבית והן מבחינת התועלות למשק החשמל. חלופה זו משתלבת בתפיסה ההוליסטית שמשרד האנרגיה והתשתיות מקדם לאנרגיה במבנים, הכוללת התייעלות באנרגיה, חשמול (צמצום השימוש בדלקים מאובנים והקמת תשתיות טעינה), ייצור אנרגיה מתחדשת, ואגירה חשמלית כחלופה לגנרטורים. חשוב לציין את הסינרגיה בין החלופה הנבחרת לאגירה: מערכת פוטו-וולטאית על הגג יכולה לטעון את מערכת האגירה במהלך היום, ולספק חשמל הן למשאבות החום (לחימום מים מוקדם יותר) והן לצרכים קריטיים בחירום – ניצול אופטימלי של התשתית והפחתת עומסי שיא. עם זאת, מימוש הפוטנציאל תלוי בהתמודדות עם מגוון אתגרים: חוסר היכרות עם טכנולוגיית משאבות החום, השקעה ראשונית גבוהה יותר, ומגבלות רגולטוריות שאינן מותאמות למציאות הטכנולוגית. משרד האנרגיה והתשתיות פועל להסרת חסמים אלו באמצעות עדכון רגולציה וגיבוש מנגנוני תמרוץ, כחלק מהגישה המשולבת לאנרגיה במבנים, שתאפשר למצות את הפוטנציאל ולתרום להתייעלות באנרגיה, לחיסכון עבור משקי הבית ולחיזוק חוסן משק החשמל.

בכדי לממש את היתרונות המשקיים והצרכניים, הדו"ח ממליץ על קידום מספר צעדי מדיניות:

1. **עדכון רגולציה:** בחינת תיקון הרגולציה הקיימת (תקנות התכנון והבנייה (תכנ הבנייה) (תברואה), תש"ף-2019) כך שתחייב שילוב של מערכות פוטו-וולטאיות ומשאבות חום כבר בשלב היתר הבנייה בבנייני מגורים משותפים חדשים.
2. **תמריצים כלכליים:** בחינת מנגנוני תמרוץ להחלפת דודי חשמל במשאבות חום בבנייה קיימת, בדגש על יחידות דיור נטולות דודי שמש. בישראל מוחלפים מדי שנה כ-400,000 דודי חשמל רגילים (הצורכים פי 3-2.5 יותר חשמל ממשאבות חום), מהלך זה מהווה הזדמנות מהותית להתייעלות.
3. **הסטת ביקושים:** עידוד הפעלה חכמה של משאבות חום בשעות השפל ברשת, על מנת למקסם את החיסכון ולצמצם את צריכת החשמל בשעות השיא.
4. **הנגשת מידע לציבור:** ליווי המהלכים בהסברה והנגשת ידע לציבור הרחב, כך שיכיר את התועלות הכלכליות והאנרגטיות של החלופה הן בבנייה חדשה והן בהחלפת דודי חשמל במשאבות חום.

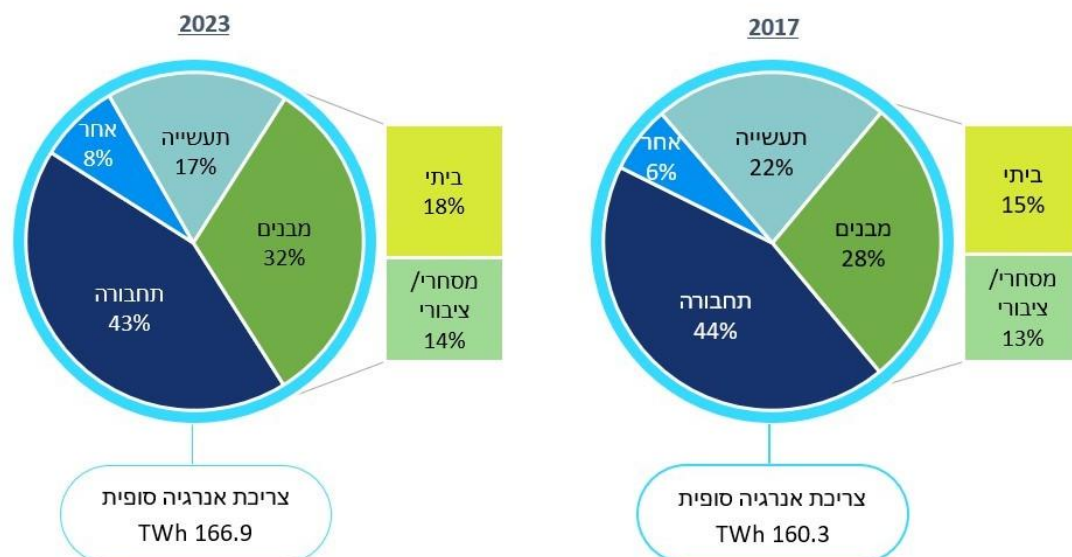
2. רקע

בניינים, בתי מגורים, משרדים, מוסדות ציבור ומרכזי מסחר, מהווים חלק מרכזי בחיי היומיום שלנו ובה בעת הם מצרכני האנרגיה המשמעותיים ביותר במשק. על פי דו"ח ה-IEA¹⁰, האנרגיה הנצרכת לחימום, קירור, תאורה והפעלת מכשירים בבניינים מהווה כשליש מסך צריכת האנרגיה העולמית, ותחזיות עדכניות מצביעות על עלייה צפויה של למעלה מ-20% בצריכה זו בשני העשורים הקרובים.

בעולם, אנו עדים לעלייה במספרם של מבנים הצורכים אנרגיה רבה במיוחד: הביקוש לשירותי טכנולוגיית מידע ואימוץ הבינה המלאכותית מובילים לצריכת חשמל גבוהה יותר ממרכזי נתונים, אשר מתרבים וגדלים בהיקפם. בנוסף, במגזר המגורים יש מגמה של מעבר לצריכת חשמל לצרכי בישול וחימום מים, אך עיקר הגידול בצריכה נובע עקב המעבר לתחבורה חשמלית וטעינת רכבים בבתי מגורים. מגמות אלו מציבות אתגרים משמעותיים ומחייבות חשיבה מחודשת על אופן תכנון וניהול המבנים בעידן של שינויי אקלים ומחסור במשאבים.

במדינת ישראל, צריכת האנרגיה במבנים במגמת עלייה ביחס לכלל צריכת האנרגיה במשק. אם בשנת 2017 צריכת האנרגיה במבנים עמדה על 28% מכלל הצריכה במשק, נכון לשנת 2023 כבר עמדה על 32%. באותן שנים, צריכת האנרגיה במגזר הביתי עלתה מ-15% ל-18% מכלל הצריכה הארצית - עליה ניכרת בצריכת אנרגיה במגזר זה.

תרשים 3 - התפלגות צריכת האנרגיה במשק לפי סקטורים¹¹

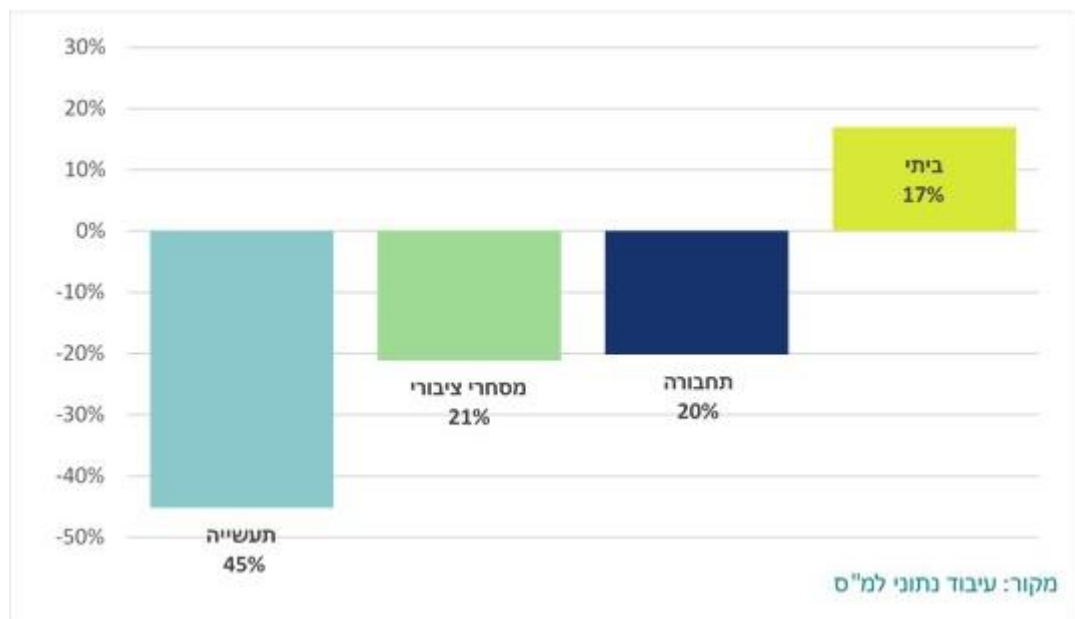


¹⁰ World Energy Outlook 2024, IEA

¹¹ דיווח לבנסט - סטאטוס יישום התוכנית הלאומית להתייעלות באנרגיה - דיווח על פי חוק מקורות האנרגיה התש"ן-1989, יוני 2025

יתרה מזאת, בזמן שעצימות האנרגיה¹² בכלל המשק השתפרה, בין השנים 2013-2023, ב-21.2%, המגזר הביתי הוא היחיד שהייתה בו מגמה שלילית של עלייה בעצימות באנרגיה בסך 17%. כאמור, הסיבה העיקרית לכך וביתר שאת בעתיד הוא מעבר לצריכת חשמל עבור בישול וחימום מים ובעיקר טעינת רכבים חשמליים בחניוני מבני המגורים.

תרשים 4 - שיעור השינוי בעצימות האנרגיה לפי מגזרים במשק - 2017¹³



בראייה זו, משרד האנרגיה והתשתיות מקדם את המעבר למשק אנרגיה מקיים, נקי ובר השגה תוך חיזוק החוסן באנרגיה ושמירה על רציפות תפקודית בשעת חירום. מטרת אלו קודמו במסגרת **החלטות ממשלה** אשר קבעו יעדים להתייעלות בצריכת אנרגיה, הגדלת אחוז הייצור מאנרגיות מתחדשות ומעבר לשימוש בתחבורה חשמלית, בין היתר:

- **החלטת הממשלה 465 מיום 25.10.2020** קבעה יעד של 30% ייצור חשמל מאנרגיות מתחדשות עד שנת 2030.
- **החלטת ממשלה 541 מיום 24.10.2021** - מאשרת את התוכנית הלאומית להתייעלות באנרגיה לשנים 2020-2030, מאמצת את יעדי עצימות האנרגיה שנקבעו בתוכנית לשנים 2025 ו-2030 – יעד לאומי עבור עצימות באנרגיה של 122.4 MWh למיליון ש"ח תמ"ג בשנת 2030.
- **החלטת ממשלה 542 מיום 24.10.2021** – קבעה יעד של 95% להפחתת פלטות מרכבים מיובאים ועידוד מעבר לתחבורה חשמלית.

¹² עצימות האנרגטית היא מדד לכמות האנרגיה הנצרכת ביחס להיקף פעילות כלכלית/פיזית. לרוב מודדים אותה כצריכת אנרגיה (סופית או ראשונית) ליחידת תוצר מקומי גולמי (למשל MJ או toe לכל מיליון ש"ח/PPP). ניתן לחשב גם ברמת מגזר/מתקן כצריכת אנרגיה ליחידת תפוקה (למשל kWh מוצר או למ"ר). ערך נמוך יותר מעיד בדרך-כלל על שימוש יעיל יותר באנרגיה, אך מושפע גם ממבנה המשק, אקלים והרכב ענפי.

¹³ התוכנית הלאומית להתייעלות באנרגיה - 2020

בהקשר זה, קודמו בשנים האחרונות גם **עדכוני רגולציה (תקנות ותקנים)**, משמעותיים לעידוד המעבר לאנרגיה מקיימת בבנייה חדשה. בשנת 2022 נכנסו לתוקף "תקנות התכנון והבנייה לבנייה בת-קיימה (תש"ף-2020)", בהן ניתן דגש ליעילות באנרגיה של מבנים חדשים. תקנות אלו עודכנו בשנת 2025 כך שהן מחייבות גם התקנת מערכות פוטו-וולטאיות לייצור אנרגיות מתחדשות על מבני מגורים צמודי קרקע ומבנים שאינם למגורים, מהלך אשר צפוי להניב הספק מותקן של כ-3.5 ג'יגה-וואט נוספים עד שנת 2040. לצורך קידום ועידוד המעבר לתחבורה חשמלית גם תוקנו תקנות "התקנת מקומות חניה" כך שיחייבו ביצוע תשתיות לטעינת רכבים חשמליים במבנים חדשים.

בראיה היסטורית, התקנות שאושרו בתחילת שנות ה-80 וחייבו חימום מים באמצעות דודי שמש, מלמדות אותנו על האימפקט המצטבר המשמעותי של רגולציה בתחום הבנייה על משק החשמל בישראל. נכון לשנת 2023, ההערכה היא כי תקנות אלו חוסכות כ-7%-14¹⁴ מצריכת החשמל בישראל, ש"ע לייצור חשמל במתקנים פוטו-וולטאי בהספק של כ-3.25-1.57 ג'יגה-וואט (11,000-23,000 דונם). התקנות, שהיו בשעתן חדשניות ופורצות דרך ברמה בינלאומית, עודכנו בשנת 2019, כך שניתן לבחור בין טכנולוגיות שונות לחימום מים, בין השאר באמצעות משאבות חום.

בהקשר זה, המשרד פועל לקידום אסטרטגיה מקיפה וכוללנית לתחום האנרגיה המקיימת במבנים. הגישה החדשה אותה מוביל המשרד מכונה בעולם – Grid-Interactive Efficient Buildings – ובקצרה – GEBs. GEBs הם מבנים יעילים בצריכת אנרגיה, המשלבים ייצור אנרגיות מתחדשות ואגירה, יחד עם יכולות ניהול אנרגיה מתקדמות ויכולת לתקשר באופן אינטראקטיבי עם רשת החשמל ולאפשר ניהול צד הביקוש, עבור ניהול עומסים דינמי ושרותי רשת נוספים. מטרת העבודה היא לייצר סנכרון ומיטוב בין הרגולציות הקיימות והטכנולוגיות האפשריות בתחום.

במקביל למהלכים בתחום חימום המים והתייעלות אנרגטית במבנים, משרד האנרגיה והתשתיות מקדם גם את הרחבת השימוש במתקני אגירה במרחב המבונה. בין המהלכים הבולטים ניתן למנות את קידום הקמת מתקני אגירה במתקני קליטה לשעת חירום¹⁵ וכן בחינת החלפת גנרטורים במערכות אגירה בבנייני מגורים המחויבים כיום בהתקנת גנרטור כמערכת גיבוי. שילוב של מהלכים אלו עם הקמת מערכות פוטו-וולטאיות על גגות מבנים משותפים, כפי שמפורט בהרחבה לאורך מסמך זה, יוצר סינרגיה משמעותית: המערכות הפוטו-וולטאיות מייצרות את האנרגיה, מערכות האגירה מאפשרות לאגור אותה לשימוש בשעות הערב או בעת הפסקות חשמל, והתוצאה היא חיזוק החוסן האנרגטי של המבנה לצד הגברת התועלות הכלכליות עבור הדיירים.

עבודה זו בוחנת כיצד לנצל את משאב הגגות במבני מגורים משותפים באופן שיענה על שני צרכים חשובים: מתן פתרון יעיל וכלכלי לחימום מים לדיירים, וקידום יעדי ישראל בתחום האנרגיה המתחדשת וחיזוק משק החשמל הלאומי. זאת, לאור השיפורים בטכנולוגיות לחימום מים וייצור חשמל מאנרגיות מתחדשות (מערכות

¹⁴ חישוב המבוסס על ממצאים מתוך סקר הוצאות משק בית 2019-2022, משקי בית – תכונות כלכליות וצפיפות דיור על פי סקר כוח אדם 2023, הלמ"ס ודו"ח מצב משק החשמל 2023, רשות החשמל

¹⁵ מוכנים לחירום: אגירה במתקני קליטה, 2025

פוטו-וולטאיות, משאבות חום וטכנולוגיות PVT) ומדיניות עדכנית המדגישה את הצורך במעבר לאנרגיה מקיימת וביזור ייצור החשמל, לצורך חיזוק החוסן באנרגיה.

חימום מים הוא רכיב משמעותי בביקוש הביתי לאנרגיה. הביקוש לחום מוערך 3.79 – 7.84 קוט"ש-תרמי ליום למשק-בית ממוצע. צריכת החשמל השנתית הממוצעת למשק-בית היא כ-168,000 קוט"ש/שנה, על בסיס נתונים אלה, ניתן להסיק כי בממוצע, חימום המים מהווה כ-7%-14%¹⁶ מצריכת החשמל של משק בית ממוצע בישראל. עם זאת, בהינתן מערכות לא יעילות לחימום מים (כגון: דודים חשמליים) וצריכה מוגברת של מים חמים, חימום המים יכול להוות כ-30% מצריכת החשמל השנתית של משק הבית. התייעלות בתחום זה צפויה להשפיע באופן ניכר על עמידת המשק ביעדי ההתייעלות באנרגיה, הפחתת פליטות והוזלת יוקר המחיה.

החלופות בעבודה זו ייבחנו, בין השאר, גם ביחס לרגולציה הקיימת בנושא, תקנות התכנון והבנייה (תכן הבנייה) (תברואה), תש"ף 2019, תקנה 24¹⁸ – תקנות חימום מים במבני מגורים משותפים. תקנה זו מפרטת שתי חובות חוקיות – אספקת מערכת יעילה לחימום מים לכל יחידת דיור במבנה מגורים משותף וייצור אנרגיה ממקור מתחדש לשימוש הבניין. ניתן לעמוד בחובות חוקיות אלו בשתי דרכים עיקריות – מערכת תרמו-סולארית (דוד שמש) או משאבות חום בשילוב מערכת פוטו-וולטאית (PV). בפועל, סעיף 3 של התקנה נותן עדיפות ברורה לדודי שמש, שכן לפי סעיף זה ניתן להתקין בבניין מגורים מערכת אחת העונה על שני התנאים שלעיל גם יחד. הדוגמה הנפוצה ביותר למערכת שביכולתה לעשות כך, היא מערכת תרמו-סולארית (כדוגמת דוד שמש). בישראל מרבית המבנים מצוידים במערכת תרמו-סולארית. יודגש כי שטח הגג הוא משאב מוגבל עליו ישנה תחרות בין המערכת הפוטו-וולטאית לבין המערכת התרמו-סולארית, בנוסף למערכות אחרות החיוניות לתפקוד המבנה.

בעידן של מעבר לאנרגיות מתחדשות, מסמך זה מתמודד עם דילמה מרכזית: מהו השימוש האופטימלי בשטחי הגגות המוגבלים במבני מגורים משותפים? האם עדיף להתקין דודי שמש לחימום ישיר של מים, או מערכות פוטו-וולטאיות שמייצרות חשמל (לחימום מים ולשימושים נוספים)? התשובה לשאלה זו קריטית הן לכלכלת משקי הבית והן להשגת יעדי האנרגיה הלאומיים.

סוגייה זו תיבחן באמצעות ניתוח חלופות חימום המים כשקריטריון ההשוואה הוא עלות חימום המים ליחידת דיור. החלופות נבחנו אך לא הוגבלו לדרישות האנרגיה בתקנה 24, מאחר שעבודה זו מהווה בסיס אפשרי לעדכון התקנה בראי האסטרטגיה לאנרגיה במבנים המגובשת בימים אלו במשרד האנרגיה והתשתיות.

¹⁶ מחושב על בסיס נתוני צריכת החשמל הביתית בשנת 2024 (דו"ח מצב משק החשמל, 2024) ומספר משקי הבית בישראל בשנת 2024 לפי הלמ"ס

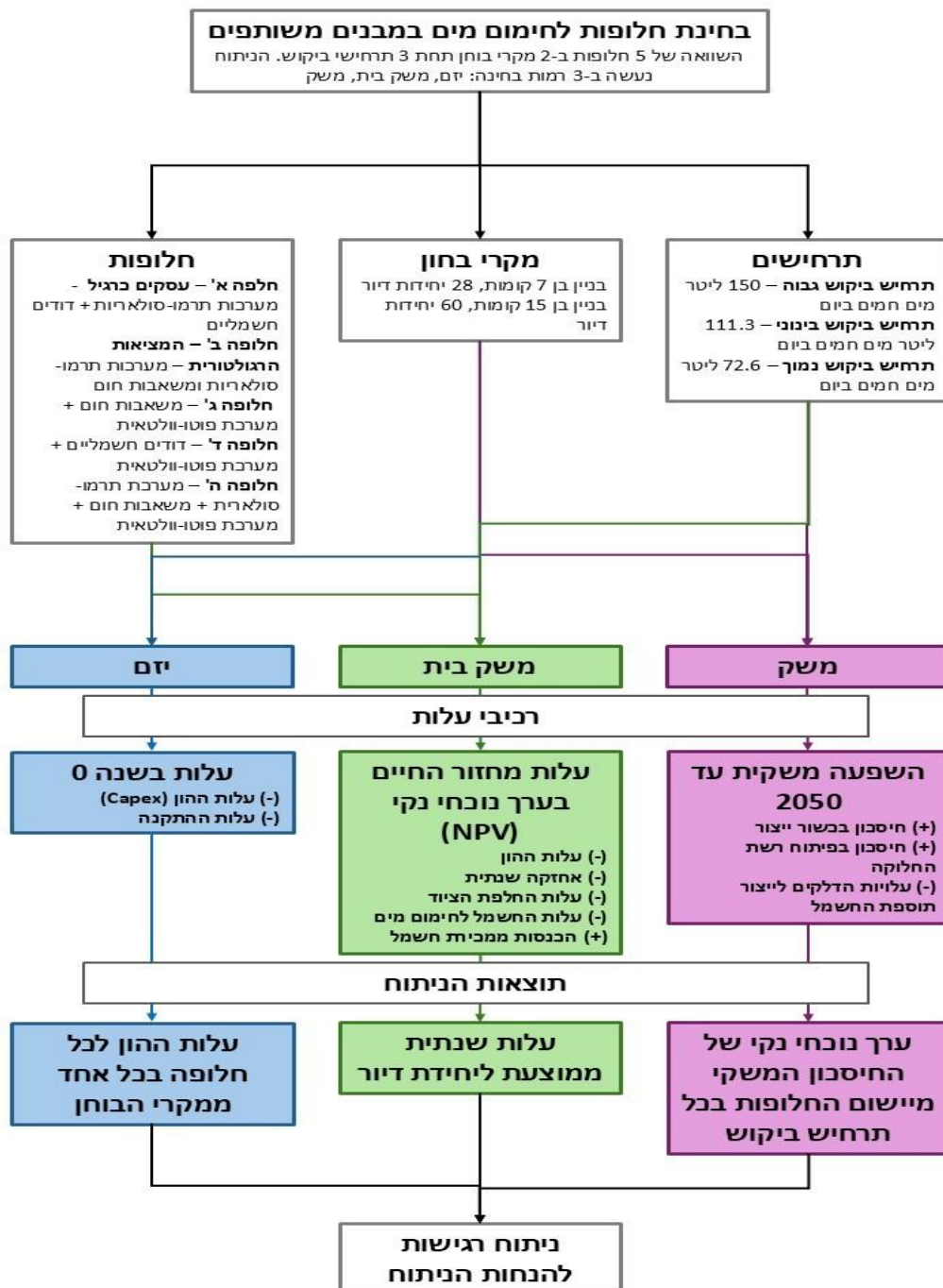
¹⁷ מחושב על בסיס הנחה כי ה-COP של מערכת לחימום מים ממוצעת בישראל הוא 2.5, בהתאם לתקנה 24 לתקנות התכנון והבנייה

¹⁸ תקנות התכנון והבנייה (תכן הבנייה) (תברואה), תש"ף-2019 – פרק יא' מערכות לחימום מים והפקת אנרגיה

3. מתודולוגיה - עקרונות הניתוח

המתודולוגיה מבוססת על ניתוח השוואתי של חמש חלופות טכנולוגיות לחימום מים, כמתואר באיור 4 מטה. הניתוח הטכנו-כלכלי מבוסס על חישוב ערך נוכחי נקי למשק בית (NPV) ל-25 שנה, תוך בחינת שלושה צירי הערכה: יזם (CAPEX), משק הבית (עלויות מחזור חיים) ומשק (חיסכון משקי ותוספת הספק פוטו-וולטאי מותקן), המתכנסים לניתוח רגישות מקיף ולגיבוש המלצות.

איור 4 – תרשים סכמטי של מתודולוגיית הניתוח



3.1 טכנולוגיות לחימום מים במבני מגורים

על מנת לבחון איזו טכנולוגיית חימום מים עדיפה, ביצענו ניתוח טכנו כלכלי השוואתי בין חמש חלופות לפי שני סוגי מבני מגורים שכיחים בבנייה חדשה בישראל. הטכנולוגיות הקיימות לחימום והשוואה ביניהן מפורטות בטבלה 3 להלן:

טבלה 3: השוואה בין טכנולוגיות קיימות לחימום מים

טכנולוגיה	דוד שמש (תרמו-סולארי) ¹⁹	משאבת חום ²⁰	מערכת PVT (היברידית) ²¹
יתרונות	- עלויות חשמל ותחזוקה נמוכות - אספקת מים ללא עלות בגין צריכת החשמל 75% מהשנה בממוצע - אנרגיות מתחדשות - זמינות ותפוצה גבוהות	- עלויות חשמל ותחזוקה נמוכות - פועלת בכל מזג אוויר - יעילות אנרגטית גבוהה - לא דורשת שטח גג	- שילוב של ייצור חשמל וחימום מים במערכת אחת - ניצול מרבי של שטח הגג – שני פתרונות אנרגיה בשטח אחד. - זרימת המים מקררת את הפאנלים ומשפרת את יעילותם
חסרונות	- בעל פונקציה יחידה – חימום מים - תלות במזג אוויר - דורש שטח גג פנוי להתקנה - צורך בגיבוי חשמלי לחימום בימים קרים - מחייב בידוד רכיבים	- עלות התקנה גבוהה - דורשת מקום להתקנה חיצונית - יעילות נמוכה בטמפרטורות נמוכות מאוד	- עלות התקנה גבוהה - תחזוקה מורכבת יותר בשל המורכבות הטכנולוגית
יעילות אנרגטית	- יעילות גבוהה מאוד בקיץ, נמוכה בחורף - חימום תרמו-סולארי חוסך כ-4%-7% מצריכת החשמל הכוללת של הסקטור הביתי, אשר	COP מקובל של 2.5-4 לפי יצרנים. בפועל, COP 2.2-3.6	ניצול 50-70% מאנרגיית השמש גם להפקת חשמל וגם להפקת חום.

¹⁹ The advantages & disadvantages of solar water heaters

²⁰ Everything you need to know about the wild world of heat pumps

²¹ Influence of the nature of lamp on model parameters of PV modules operating in an indoor environment

		שווים להספק מותקן של PV בהיקף של 1.57-3.25 GW	
זמינות בשוק בישראל	- זמינות גבוהה - מגוון ספקים ומוצרים בשוק המקומי	- זמינות גבוהה - רגולציה מוטה לטובת אמצעי זה	
מגמות עתידיות	- שימוש במגמת עלייה	- פתרון פופולרי בתפוצה רחבה	- טכנולוגיה מתפתחת - צפויה להיות יותר נפוצה עם עליית המודעות ליעילות אנרגטית וניצול שטח

3.1.1 טכנולוגיית ה-PVT

טכנולוגיית PVT Hybrid (פוטו-וולטאית תרמית) המשלבת פאנלים פוטו-וולטאים עם מערכות חימום תרמי, ומספקת יתרונות משולבים של ייצור חשמל יחד עם חימום מים. מערכות ה-PVT מנצלות את אנרגיית השמש בשני אופנים בו-זמנית: קרינת השמש מומרת לחשמל באמצעות תאים פוטו-וולטאים, ובמקביל נאגר החום הנפלט מהתאים לשימושים תרמיים. עיקרון הפעולה מבוסס על הסעת חום מאחורי הפאנל הפוטו-וולטאי - תהליך זה תורם לקירור התאים הפוטו-וולטאים ובכך משפר את יעילותם, תוך מיצוי יעיל יותר של קרינת השמש. קיימים שני סוגים עיקריים של מערכות PVT, הנבדלים ביניהם בזרם החום: **מערכות מבוססות נוזל** עושות שימוש במים או בתערובת מים-גליקול ומספקות נצילות תרמית גבוהה יותר, אך דורשות מערכת צנרת. **מערכות מבוססות אוויר** משתמשות באוויר להעברת החום.

טבלה 4 - נתונים טכנו-כלכליים של מערכות PVT

פרמטר	מערכת מבוססת נוזל	מערכת מבוססת אוויר	יחידות מידה
תפיסת שטח הגג	5-7	5-6	kW/m^2
עלות הון ²²	16,855-19,602 ²³	9,791-17,622	₪/kW
עלות הון	3,522-6,662	1,176-3,525	₪/מ"ר

²² שימוש בשער היוור של \$1.18 להמרת מחירים

²³ הומר לשקלים על בסיס שער של 3.32 ₪/דולר בתאריך 10/9/2025

עלות תחזוקה שנתית ²⁴	1-2	0.5-1	% מעלות ההון
אורך חיים	25	25	שנים
תפוקה חשמלית של המערכת ²⁶	950-1200	950-1200	kWh/kWp

טבלה 5 - נתוני אנרגיה של מערכות PVT

פרמטר	מערכת מבוססת נוזל	מערכת מבוססת אוויר	יחידות מידה
הספק מותקן של PVT הנדרש לייצור kW/day heat	0.5-0.7	1.4-1.6	kWp
שטח גג נדרש לייצור מים חמים בבניין בן 7 קומות	98-138	274-314	מ"ר
שטח גג נדרש לייצור מים חמים בבניין בן 15 קומות	210-294	588-672	מ"ר
צריכת חשמל נטו עבור בניין בין 7 קומות בשנה	6,457 – (3,763)	(17,483) – (34,003)	kWh
צריכת חשמל נטו עבור בניין בין 15 קומות בשנה	13,836 – (8,064)	(72,864) – (37,464)	kWh

מניתוח נתוני **Error! Reference source not found.** עולה כי השטח הזמין על הגג אינו מספיק לאספקת כמות המים החמים הנדרשת לכלל הדירות בבניין. מגבלה זו בולטת במיוחד במערכות מבוססות אוויר, המתאפיינות ביעילות נמוכה יותר בייצור מים חמים ודורשות הספק מותקן גבוה יותר של מערכת PVT להשגת הכמויות הנדרשות.

עולה גם ספק לגבי יכולתה של מערכת PVT לספק מים חמים לכלל המבנה בבניינים רב-קומתיים (מעל 7 קומות), דבר המחייב התקנת מערכות חימום מים משלימות במקביל.

²⁴ Bandaru, S. H. (2021). A review of photovoltaic thermal (PVT) technology for residential applications: performance indicators, progress, and opportunities. *Energies*, 14(13), 3853.
²⁵ Aspetakis, G., & Wang, Q. (2025). Critical review of Air-Based PVT technology and its integration to building energy systems. *Energy and Built Environment*, 6(1), 121-135.
²⁶ הערכה המבוססת על כך שיעילות המערכת בייצור חשמל היא 8%-15%

טכנולוגיית PVT המוצגת לעיל מציעה פוטנציאל לייעול השימוש באנרגיית השמש בישראל, אך אינה נכללת בין החלופות המרכזיות הנבחנות במסמך זה לחימום מים. מהניתוח הראשוני של נתוני המערכת מתבררים חסמים משמעותיים, ובראשם עלות ההון הגבוהה והשטח הנרחב הנדרש על הגג לייצור כמויות המים החמים הנדרשות. עם זאת, מומלץ להמשיך ולעקוב אחר ההתפתחויות בתחום, שכן קידמה טכנולוגית והרחבת היישום עשויות להפוך את הטכנולוגיה לחלופה כדאית במערכות חימום מים בבניינים בעתיד.

3.2 עקרונות הניתוח

סוגי מבנים (מקרי בוחן): החלופות הטכנולוגיות נבחנו אל מול טיפולוגיות מבני מגורים שונות (מספר קומות, מספר דירות ושטח גגות). לשם המחשה העבודה מציגה באופן מפורט בחינה של שני סוגי מבנים שכיחים בבנייה חדשה, בהתאם להגדרות חוק התכנון והבנייה:

- **מבנה גבוה – בו 7 קומות, בהנחה של 4 דירות בכל קומה (סה"כ 28 דירות).**
- **מבנה רב-קומות – בו 15 קומות, בהנחה של 4 דירות בכל קומה (סה"כ 60 דירות).**

תרחישי צריכת מים חמים: העלויות נבחנו תחת שלושה תרחישי ביקוש למים חמים. ההנחות ואופן בו חושב הביקוש למים חמים בכל תרחיש מפורטות בנספח ב'.

- **תרחיש ביקוש גבוה – 150 ליטר מים חמים ביום למשק בית**
- **תרחיש ביקוש בינוני – כ-111 ליטר מים חמים ביום למשק בית**
- **תרחיש ביקוש נמוך – כ-73 ליטר מים חמים ביום למשק בית**
- **טכנולוגיות:** החלופות שנבחנו כוללות את הטכנולוגיות שפורטו מעלה ובהתאם למאפייני הבניין בכל תרחיש. מקובל להניח שמערכת תרמו-סולארית מסוגלת לספק מים חמים ביעילות ל-7 עד 10 הקומות העליונות בבניין, לכל היותר²⁷.

חלופות הניתוח בבניין בן 7 קומות:

- מערכת תרמו-סולארית (חלופת הבסיס)
- משאבות חום בשילוב מערכת פוטו וולטאית²⁸
- דוד חשמלי בשילוב מערכת פוטו וולטאית – (לא עומדת ברגולציה הקיימת)
- מערכת תרמו-סולארית בשילוב מערכת פוטו וולטאית

חלופות הניתוח בבניין בן 15 קומות

- מערכת תרמו-סולארית בשילוב דוד חשמלי לגיבוי (חלופת הבסיס)
- מערכת תרמו-סולארית בשילוב משאבות חום (המציאות הרגולטורית)

²⁷ בבניין בן 7 קומות נבחנו 4 חלופות בלבד, שכן חלופות א' ו-ב' זהות במקרה זה: כאשר הבניין אינו עולה על 7 קומות, ניתן לעמוד בדרישות תקנה 24 באמצעות מערכות תרמו-סולאריות בלבד, ללא צורך בהתקנת משאבות חום.

²⁸ על פי ניתוח רגישות שבצענו, חלופה זו אינה עומדת ברגולציה הקיימת במבני מגורים, מתחת ל-29 מטר, בהם היחס שבין שטח הגג למספר הדירות קטן: 14.4:1. להרחבה ראה נספח ד' - ניתוח היחס שבין מספר הדירות לגודל הגג לשם עמידה בתקנה 24 בראי חלופה ג'



ג. משאבות חום בשילוב מערכת פוטו וולטאית²⁹

ד. דוד חשמלי בשילוב מערכת פוטו וולטאית – (לא עומדת ברגולציה הקיימת)

ה. מערכת תרמו-סולארית בשילוב מערכת פוטו וולטאית ומשאבות חום

יודגש, כי על פי תיקון רגולציה משנת 2019 הדירות בקומות התחתונות בבניינים מעל 7 קומות, שקיבלו היתר בנייה לאחר שנת 2020, מחויבות במשאבות חום. בפועל ההוראה לא מיושמת ולא נאכפת במרבית המקרים ובדירות הללו עדיין מותקנים דודים חשמליים. לפיכך, לצורך ניתוח המשקף את המציאות בשטח, מסמך זה מגדיר את הפרקטיקה הנהוגה בשוק כחלופת הבסיס להשוואה (חלופה א'), ואילו החלופה העומדת בדרישות הרגולציה (חלופה ב' בבניין בן 15 קומות) נבחנת כחלופה נפרדת ונמדדת אף היא ביחס לחלופת הבסיס.

3.3 מתודולוגיה לניתוח הטכנו-כלכלי

הניתוח הכלכלי נערך משלוש זוויות ראייה משלימות – יזם הבניה, משק הבית ומשק החשמל. עבור היזם ומשק הבית, הניתוח בוחן את העלות הכוללת של הפקת מים חמים עבור כל אחת החלופות שהוגדרו, בשתי טיפולוגיות המבנים ותחת שלושת התרחישים שהוגדרו.

הניתוח מנקודת מבטו של יזם הבניה מתמקד בהשקעה הראשונית בלבד – עלויות הרכש וההתקנה (CAPEX). לעומת זאת, הניתוח מנקודת מבטו של משק הבית מקיף את מלוא מחזור החיים של המערכת: בנוסף לעלויות ההון וההתקנה, הוא כולל גם את עלויות התפעול והתחזוקה השנתיות ואת הוצאות החשמל לחימום מים (OPEX) עלויות אלה מחושבות בגישת הערך הנוכחי הנקי (NPV) לאורך 25 שנה. התוצאות מציגות את העלות הכוללת למשק בית ואת ההשלכות הכלכליות עבור היזם. בנוסף, הניתוח כולל מאזן אנרגיה מפורט המציג את הביקוש הכולל לאנרגיה לחימום מים ואת צריכת החשמל הנדרשת להפקתה.

הניתוח המשקי מתמקד בהיבט שונה - בחינת ההשפעה של החלת רגולציה פוטנציאלית לחיוב התקנת משאבות חום ותמרוץ התקנת משאבות חום בבניינים קיימים על משאב רשת החשמל הלאומית. ניתוח זה, המפורט בהרחבה בפרק 6 – השפעות על משק החשמל, בוחן תרחישי רגולציה שונים תוך שימוש באותן הנחות טכנו-כלכליות של שאר פרקי הדו"ח.

ב

טבלה 6 מטה מפורטים רכיבי העלות-תועלת הכלולים בכל אחת מהטכנולוגיות המרכיבות את החלופות. **סימן מינוס (-) מייצג עלות, בעוד שסימן פלוס (+) מייצג הכנסה.**

טבלה 6 מציגה את העלות והתועלת מנקודת מבטו של משק הבית. מובן כי היזם לא נושא בעלויות האחזקה ולא מרוויח מתקבולי מכירת חשמל.

²⁹ על פי ניתוח רגישות שבצענו, חלופה זו אינה עומדת ברגולציה הקיימת במבני מגורים, מתחת ל-29 מטר, בהם היחס שבין שטח הגג למספר הדירות קטן 14.4:1. להרחבה ראה נספח ד' - ניתוח היחס שבין מספר הדירות לגודל הגג לשם עמידה בתקנה 24 בראי חלופה ג'

טבלה 6 – מרכיבי העלות בניתוח הטכנו-כלכלי למשק הבית

חלופה	7 קומות (28 דירות)	15 קומות (60 דירות)
 חלופה א' מערכת תרמו-סולארית בשילוב דודים חשמליים (חלופת הבסיס)	- עלות רכישת המערכת התרמו-סולארית - עלות אחזקת המערכת התרמו-סולארית - עלות החלפת המערכת התרמו-סולארית - עלות החשמל שנצרך בחורף לחימום מים בגיבוי החשמלי של דודי שמש	- עלות רכישת המערכת התרמו-סולארית - עלות רכישת דודים חשמליים - עלות אחזקת המערכת התרמו-סולארית - עלות אחזקת דודים חשמליים - עלות החלפת המערכת התרמו-סולארית - עלות החלפת הדודים החשמליים - עלות החשמל שנצרך בחורף לחימום מים בגיבוי החשמלי של המערכת התרמו-סולארית - עלות החשמל של הדוד החשמלי
 חלופה ב' מערכת תרמו-סולארית בשילוב משאבות חום (המציאות הרגולטורית)	-	- עלות רכישת המערכת התרמו-סולארית - עלות רכישת משאבות החום - עלות אחזקת המערכת התרמו-סולארית - עלות אחזקת משאבות החום - עלות החלפת המערכת התרמו-סולארית - עלות החלפת משאבות החום - עלות החשמל שנצרך בחורף לחימום מים בגיבוי החשמלי של המערכת התרמו-סולארית - עלות החשמל של משאבות החום
 חלופה ג'	- עלות רכישת מערכת פוטו-וולטאית - עלויות תפעול ותחזוקה של המערכת הפוטו-וולטאית - עלות רכישת משאבות חום	

- עלות אחזקת משאבות חום - עלות החלפת משאבות חום - הוצאות על חשמל שנצרך להפעלת משאבות החום + תקבולים ממכירת חשמל לרשת		מערכת פוטו-וולטאית בשילוב משאבות חום
- עלות רכישה של דוד חשמלי - עלות תפעול ותחזוקה של דוד חשמלי - עלות החלפת דודים חשמליים - הוצאה על חשמל שנצרך להפעלת דוד חשמלי + תקבולים ממכירת חשמל לרשת		 חלופה ד' מערכת פוטו-וולטאית בשילוב דוד חשמלי
- עלות רכישת משאבות חום - עלות אחזקת משאבות חום - עלות החלפת משאבות החום - הוצאה על חשמל שנצרך להפעלת משאבות החום - עלות רכישת המערכת התרמו-סולארית - עלות אחזקת המערכת התרמו-סולארית - עלות החלפת המערכת התרמו-סולארית - הוצאה על חשמל שנצרך בחורף לחימום מים בגיבוי החשמלי של דוד השמש - עלות רכישה של מערכת פוטו-וולטאית - עלויות תפעול ותחזוקה של המערכת הפוטו-וולטאית + תקבולים ממכירת חשמל לרשת	- עלות רכישה של מערכת פוטו-וולטאית - עלויות תפעול ותחזוקה של המערכת הפוטו-וולטאית - עלות רכישת המערכת התרמו-סולארית - עלות אחזקת המערכת התרמו-סולארית - עלות החלפת המערכת התרמו-סולארית - עלות החשמל שנצרך בחורף לחימום מים בגיבוי החשמלי של דודי שמש + תקבולים ממכירת חשמל לרשת	 חלופה ה' מערכת תרמו-סולארית בשילוב מערכת פוטו וולטאית ומשאבות חום

כמו כן, הניתוח נעשה על פני תקופה זו של 25 שנה, היות שזהו אורך החיים של מערכת פוטו-וולטאית לייצור חשמל מן השמש³⁰, ומכיוון שזהו הרכיב בעל אורך החיים הארוך ביותר במסגרת הניתוח. כמו כן, נלקחה בחשבון

³⁰ הנחה זו מבוססת על ההערכות המקובלות בשוק בדבר אורך חיי מערכות פוטו-וולטאיות

העובדה שאורך החיים של חלק מן המערכות שנבחנו במסגרת עבודה זו, קצר מ-25 שנים. לפיכך נלקחו בחשבון עלויות החלפתן (לעיתים מס' פעמים) במהלך תקופת הניתוח.

3.4 מתודולוגיה לניתוח מאזן האנרגיה

בנוסף לניתוח הטכנו-כלכלי, הניתוח כולל בחינה של מאזן האנרגיה של כל חלופה. ניתוח זה בוחן את היחס בין צריכת החשמל לחימום מים לבין ייצור החשמל מהמערכות הפוטו-וולטאיות, ומאפשר הערכה של התרומה של כל חלופה להפחתת העומס על רשת החשמל ולקידום יעדי האנרגיה המתחדשת.

תרחישי ביקוש

בניית תרחישי הביקוש התבססה על פירוק צריכת המים החמים לרכיביה הבסיסיים. המתודולוגיה שילבה נתונים על צריכת מים במשקי בית עם עקרונות תרמו-דינמיים, כדי ליצור שלושה תרחישים המייצגים את טווח דפוסי הצריכה הריאליים. החישוב מבוסס על ערבוב של מים חמים (60°C) למים קרים (15°C) להשגת טמפרטורת המים הרצויה במקלחת (37°C), תוך התחשבות בגודל משק הבית הממוצע בישראל ובצריכת המים הממוצעת למקלחת. הפרמטרים המדויקים ותרחישי הביקוש המתקבלים מפורטים בפרק 4.

שלבי החישוב

החישוב מבוסס על מאזן אנרגיה שנתי הלוך בחשבון את הצרכים האנרגטיים של כלל יחידות הדיור בבניין ואת התפוקה האנרגטית של המערכות השונות. הניתוח מתבצע על בסיס שנתי לכל חלופה בשלושה שלבים:

- שלב 1 — חישוב הביקוש הכולל לאנרגיה: הביקוש השנתי לאנרגיה מחושב על בסיס מכפלת הביקוש היומי ליחידת דיור במספר יחידות הדיור בבניין ובמספר הימים בשנה.
- שלב 2 — חישוב צריכת החשמל בפועל: עבור כל חלופה מחושבת צריכת החשמל בפועל מהרשת, תוך התחשבות ביעילות המערכת. מערכות תרמו-סולאריות משתמשות בגיבוי חשמלי רק בימי החורף; משאבות חום מציגות צריכה מופחתת בהתאם למקדם הביצועים (COP) שלהן; צריכת החשמל של דודים חשמליים מחושבת לפי יחס של 1:1 בין אנרגיה חשמלית לאנרגיה תרמית.
- שלב 3 — חישוב תפוקת המערכת הפוטו-וולטאית: התפוקה מחושבת על ידי הכפלת ההספק המותקן בכל אחת מהחלופות בתפוקה השנתית הממוצעת לקילו-וואט מותקן.

בחלופות הכוללות שילוב של טכנולוגיות (כמו חלופות א', ב' וה'), החישוב מתבצע בנפרד עבור כל קבוצת יחידות דיור ולאחר מכן מסוכמות התוצאות לרמת הבניין.

תוצאות הניתוח

ניתוח מאזן האנרגיה מפיק שלושה מדדים עיקריים:

- צריכת אנרגיה שנתית – כמות החשמל הנצרך מהרשת לחימום מים בכל חלופה, לאחר התחשבות ביעילות המערכת. מדד זה מאפשר להשוות את נטל הצריכה של כל חלופה על רשת החשמל.
- תפוקה שנתית של המערכת הפוטו-וולטאית – כמות האנרגיה המופקת בפועל מהמערכת הפוטו-וולטאית המותקנת על גג הבניין. מדד זה רלוונטי רק לחלופות הכוללות מערכת פוטו-וולטאית (ג', ד' וה').

צריכת אנרגיה שנתית נטו – ההפרש בין צריכת החשמל השנתית עבור חימום מים לתפוקת החשמל השנתית מהמערכת הפוטו-וולטאית. ערך חיובי מציין צריכת חשמל מהרשת (צריכה נטו), בעוד שערך שלילי מציין עודף. מדד זה מאפשר לזהות את החלופות היעילות ביותר באנרגיה.

4. נתונים והנחות יסוד בבסיס הניתוח

הנתונים נאספו ממספר מקורות: מידע על טכנולוגיות חימום מים - מערכות תרמו-סולאריות (דודי שמש), משאבות חום ודודים חשמליים - נלקח מדו"ח של מינהל התכנון. נתונים על מערכות פוטו-וולטאיות נלקחו מדו"ח של משרד האנרגיה והתשתיות שבוצע לקראת החיוב להתקנת מתקנים אלו על גגות מבנים חדשים, שאושר באוגוסט 2024. ההנחות המוצגות להלן כוללות פרמטרים טכניים, עלויות התקנה ותחזוקה, אורך חיי המערכות, וביצועים צפויים של כל טכנולוגיה במבני מגורים רבי קומות.

4.1 הנחות הניתוח הטכנו-הכלכלי

- שטח הגג הנתפס על ידי המערכת:
 - למערכות פוטו-וולטאיות נלקח מקדם של 7 מ"ר לק"ו³¹.
 - למערכות תרמו סולאריות נלקח מקדם של 4 מ"ר למערכת. נתון זה מבוסס על הנחות של מרכז המחקר והמידע של הכנסת, במסגרת ניתוח שנעשה לבחינת האפשרות של התקנת דודי שמש בבניינים רבי קומות, וצריכת אנרגיה לחימום מים³².
- טבלה 7 מטה מציגה את המאפיינים העיקריים של גגות המבנים שנבחנו בניתוח.
- טבלה 7 – מאפיינים מרכזיים שלל גגות המבנים³³

תיאור טיפולוגית המבנה	שטח הגג הכולל ברוטו [מ"ר]	פוטנציאל גג זמין להתקנת מערכת פוטו- וולטאית [%]	פוטנציאל גג זמין להתקנת מערכת פוטו- וולטאית [מ"ר]
בניין מגורים בן 7 קומות (28 דירות)	360	65%	234 מ"ר
בניין מגורים בן 15 קומות (60 דירות)	630	60%	378 מ"ר

- יש לציין כי ההנחות המוצגות בטבלה 7 לגבי שטח הגג הכולל והפוטנציאל הזמין להתקנת מערכות פוטו-וולטאיות מבוססות על ערכים טיפוסיים, אך בפועל עשויה להיות שונות משמעותית בין מבנים שונים בהתאם למאפייניהם הספציפיים. על מנת לבחון את השפעת

³¹ הערכת חטיבת אנרגיה מקיימת

³² אפשרות התקנת דודי שמש בבניינים רבי קומות, וצריכת אנרגיה לחימום מים במגזר התעשייתי – עדכון - 2012

³³ עבודת רשות החשמל להגדלת יעדי ייצור החשמל באנרגיות מתחדשות לשנת 2030, קובץ נלווה - פוטנציאל שטחים, גיליון 'הנחות עבודה', נלקח הערך הממוצע להערכת מימוש גגות על ידי יזמים

פרמטר זה על תוצאות הניתוח, בוצע ניתוח רגישות מקיף לגודל הגג הזמין (ראה ניתוח רגישות לגודל שטח הגג).

טבלה 8 המוצגת מטה מתארת את שטח הגג המנוצל בכל אחת מן החלופות בניתוח בכל אחת מטיפולוגיות המבנה:

טבלה 8 - ניצול שטח הגג במ"ר לפי חלופה וטיפולוגית מבנה

חלופה א' מערכת תרמו- סולארית + דודים חשמליים	חלופה ב' משאבות חום בלבד	חלופה ג' מערכת פוטו- וולטאית + משאבות חום	חלופה ד' מערכת פוטו- וולטאית + דוד חשמלי	חלופה ה' מערכת תרמו- סולארית + מערכת פוטו וולטאית ומשאבות חום	תיאור טיפולוגית המבנה
112	0	234	234	234	בניין מגורים בן 7 קומות (4 דירות בקומה) שטח גג מנוצל [מ"ר]
240	0	378	378	378	בניין מגורים בן 15 קומות (4 דירות בקומה) שטח גג מנוצל [מ"ר]

• עלויות רכישה, לפי סוג הבניין:

טבלה 9 - עלויות רכישה והתקנה לפי סוג בניין ללא מע"מ

חלופה א' מערכת תרמו-סולארית ³⁴	חלופה ב' מערכת משאבות חום לחימום מים ³⁵	חלופה ג' מערכת דוד חשמלי	עלות לק"ו מוחקן [ש"ח לק"ו] ³⁶	תיאור טיפולוגית המבנה
2,900	3,500	900	2,535-3,000	בניין מגורים בן 7 קומות
2,900	3,500	900	2,442-2,500	בניין מגורים בן 15 קומות

³⁴ מערכות לחמים מים בבתי מגורים - מסמך הערכת השפעות רגולטוריות, מינהל התכנון, נובמבר 2018

³⁵ הערכת חטיבת אנרגיה מקיימת

³⁶ סקר חברות שבוצע על ידי משרד האנרגיה והתשתיות

• כמות המערכות המותקנות לפי סוג הבניין³⁷:

טבלה 10 - כמות והספק מותקן של המערכות המותקנות בבניין בכל חלופה

חלופה ה'	חלופה ד'	חלופה ג'	חלופה ב'	חלופה א'	טכנולוגיה	תיאור טיפולוגית המבנה
מערכת תרמו- סולארית + מערכת פוטו וולטאית ומשאבות חום	מערכת פוטו- וולטאית + דוד חשמלי	מערכת פוטו- וולטאית + משאבות חום	משאבות חום בלבד	מערכת תרמו- סולארית + דודים חשמליים		
28	0	0	0	28	מערכת תרמו- סולארית [מספר מערכות]	בניין מגורים 7 קומות
0	0	28	28	0	משאבות חום [מספר מערכות]	
0	28	0	0	0	דוד חשמלי [מספר מערכות]	
17	33	33	0	0	מערכת פוטו-וולטאית [הספק מותקן - kWp]	
28	0	0	0	28	מערכת תרמו- סולארית [מספר מערכות]	בניין מגורים 15 קומות
32	0	60	60	0	משאבות חום [מספר מערכות]	
0	60	0	0	32	דוד חשמלי [מספר מערכות]	
38	54	54	0	0	מערכת פוטו-וולטאית [הספק מותקן - kWp]	

• עלויות תחזוקה:

- מערכות פוטו-וולטאית – 1.7% מעלות ההון הראשונית להקמת המערכת לשנה³⁸.
- מערכת תרמו-סולארית – נקבע כסכום שנתי קבוע, 180 ש"ח³⁹.
- משאבות חום – נקבע כסכום שנתי קבוע 110 ש"ח לשנה⁴⁰.

³⁷ קיימת גם אפשרות להתקין מערכת חימום מים מרכזית אחת לכל הבניין, אך פתרון פחות נפוץ בבנייה החדשה ולכן לא נכלל בבחינה.
³⁸ הגדלת יעדי ייצור החשמל באנרגיות מתחדשות לשנת 2030 – קובץ נלווה – עלות תועלת – רשות החשמל, 2020.
³⁹ מערכות לחמים מים בבתי מגורים – מסמך הערכת השפעות רגולטוריות, מינהל התכנון, נובמבר 2018.
⁴⁰ מערכות לחמים מים בבתי מגורים – מסמך הערכת השפעות רגולטוריות, מינהל התכנון, נובמבר 2018.

• אורך החיים של הטכנולוגיות השונות

טבלה 11 - אורך החיים של הטכנולוגיות השונות בניתוח [שנים]

טכנולוגיה	אורך החיים (שנים)
מערכת פוטו-וולטאית	25 שנים ⁴¹
מערכת תרמו-סולארית	8 שנים ⁴²
דוד חשמלי	8 שנים ⁴³
משאבת חום	10 שנים ⁴⁴

- מקדם המרה מהספק מותקן לקוט"ש חשמל מיוצר בשנה: $1,650 \text{ kWh/kWp}$, מבוסס על הנחות העבודה של רשות החשמל בעבודתה להגדלת יעדי ייצור החשמל באנרגיות מתחדשות לשנת 2030⁴⁵.
- שיעור הדגרציה של המערכת: ירידה של 0.5%⁴⁶
- שיעור ההיוון: כדי לחשב את הערך הנוכחי הנקי של העלויות השונות, נלקחה בחשבון ריבית להיוון בגובה 6%.
- שיעור המע"מ במשק: 18%, בהתאם לנתוני רשות המיסים⁴⁷.
- עלות החשמל לצרכן: העלות לקוט"ש חשמלי לצרכן נקבעה על פי התעריף האחיד לצרכן במתח נמוך. מחיר החשמל לצרכן בחודש ינואר 2025 עמד על 64.02 אג"/קוט"ש כולל מע"מ⁴⁸.
- תועלת ממכירת חשמל: כפי שצוין לעיל, התועלת מנקודת מבטם של משקי הבית חושבה על בסיס האסדרות הרלוונטיות של רשות החשמל⁴⁹. אסדרות אלו בנויות לפי עקרון הדירוג שלהלן, אשר קובע תעריף שונה לכל מדרגת ייצור:

⁴¹ הנחה זו מבוססת על ההערכות המקובלות בשוק בדבר אורך חיי מערכות פוטו-וולטאיות

⁴² מערכות לחמים מים בבתי מגורים - מסמך הערכת השפעות רגולטוריות, מינהל התכנון, נובמבר 2018

⁴³ מערכות לחמים מים בבתי מגורים - מסמך הערכת השפעות רגולטוריות, מינהל התכנון, נובמבר 2018

⁴⁴ מערכות לחמים מים בבתי מגורים - מסמך הערכת השפעות רגולטוריות, מינהל התכנון, נובמבר 2018

⁴⁵ הגדלת יעדי ייצור החשמל באנרגיות מתחדשות לשנת 2030, רשות החשמל

⁴⁶ הערכת חטיבת אנרגיה מקיימת

⁴⁷ רשות המיסים בישראל, מס ערך מוסף

⁴⁸ תעריף החשמל הביתי - אתר חברת חשמל, עודכן לאחרונה 1.1.2025

⁴⁹ החלטה מס' 70103 - הארכת תוקף ועדכון האסדרה והתעריפים למתקני ייצור חשמל בטכנולוגיה פוטו-וולטאית לצריכה עצמית והעברת עודפים

לרשת - מיום 13.1.2025

טבלה 12 - תעריפי רשות החשמל לייצור חשמל באמצעות אנרגיית השמש

תעריף רשות החשמל [אג' לקוט"ש חשמל]	מדרגת ייצור בהתאם לאסדרות רשות החשמל [ק"ו]
48	15
37.31	100
34.37	300
28.44	630

התעריף המשוקלל לכל סוג מבנה חושב בהתבסס על הערכת יכולת הייצור של אותו מבנה (ראה טבלה 10) ובעזרת המחשבון שרשות החשמל פרסמה בחלק מהחלטה מס' 70103⁵⁰ – תעריף המשך למתקני ייצור חשמל בטכנולוגיה פוטו וולטאית לצריכה עצמית והעברת עודפים לרשת⁷.

מקדם המרה מהספק DC להספק AC: הונח מקדם המרה של 1.3⁵¹. התעריף למערכת הפוטו-וולטאית חושב על בסיס הספק AC של המערכת.

4.2 הנחות ניתוח מאזן האנרגיה

- פרמטרים לחישוב חימום מים וצריכה

טבלה 13 - פרמטרי חימום מים

פרמטר	ערך	יחידה
גודל משק בית ממוצע	3.19 ⁵²	נפשות למשק בית
צריכת מים כוללת במקלחת	45	ליטר/יום/נפש
ביקוש יומי למים חמים לדירה	72.6-150 ⁵³	ליטר/יום
טמפרטורת מים קרים נכנסים	15	°C
טמפרטורת מים חמים יוצאים	60	°C
טמפרטורת מים רצויה במקלחת	37	°C
צפיפות המים	1	ק"ג/ליטר
חום סגולי של המים	4.18	(ק"ג×°C)/קילו-ג'ול

⁵⁰ חישוב התקבולים ממכירת החשמל נקבע לפי החלטה מס' 70103 מאחר ובניתוח הכלכלי הונח ששנת 2025 היא שנת ה-0 ולכן לא מתבצעת מכירת חשמל כלל בשנה זו. החלטה 70103 מייצגת תעריפים שיהיו בתוקף החל מינואר 2026 ולכן מייצגים בצורה מדויקת יותר את התקבולים ממכירת החשמל בניתוח זה.

⁵¹ הערכת חטיבת אנרגיה מקיימת

⁵² משקי בית לפי סוג משק בית, ממוצע נפשות למשק בית, אורח חיים מבחינה דתית של הגרים בדירים וקבוצת אוכלוסייה 2022 – לוח 2.67 הלשכה

המרכזית לסטטיסטיקה

⁵³ ההנחות ואופן החישוב לביקוש היומי של משקי בית למים חמים מפורטים בנספח ב'

ביקוש אנרגטי יומי לחימום מים	3.79-7.84	קוט"ש תרמי/יום
------------------------------	-----------	----------------

• תרחישי הביקוש

צריכת המים החמים אחידה בכל יחידות הדיור בתוך כל תרחיש, כאשר ההבדלים בהרגלי הצריכה ובגודל משק הבית באים לידי ביטוי בהבחנה בין התרחישים השונים. אין הבדלים עונתיים בצריכת המים החמים מעבר להשפעה על יעילות המערכת התרמו-סולארית.

טבלה 14 – תרחישי הביקוש למים חמים

תרחיש ביקוש למים חמים	ביקוש יומי	ביקוש יומי לאנרגיה תרמית	תיאור
נמוך	72.6 ליטר מים חמים/יום	3.79 קוט"ש תרמי/יום	משק בית חסכוני המחמם רק את כמות המים הנדרשת למקלחות
בינוני	111.3 ליטר מים חמים/יום	5.82 קוט"ש תרמי/יום	דפוס צריכה ממוצע
גבוה	150 ליטר מים חמים ליום	7.84 קוט"ש תרמי/יום	חימום מלוא נפח הדוד מדי יום, ללא בקרה על זמני החימום

• הנחות מערכות תרמו-סולאריות

טבלה 15 – יעילות עונתית של מערכות תרמו-סולאריות

פרמטר	ערך	הערות
ימים בחורף	90 יום	נדרש גיבוי מלא של דוד חשמלי
ימי קיץ	275 יום ⁵⁴	ללא צורך בגיבוי של דוד חשמלי

⁵⁴ מערכות חימום מים והפקת אנרגיה בבניין מגורים – תקנה 24

בבניין בן 7 קומות המערכות התרמו-סולאריות מספקות כיסוי לכלל 28 יחידות הדיור. בבניין בן 15 קומות הכיסוי מוגבל ל-28 יחידות הדיור בקומות העליונות בלבד; יחידות הדיור בקומות התחתונות אינן נהנות ממערכות תרמו-סולאריות עקב אילוצי גובה ולחץ המים.

• ביצועי המערכות

טבלה 16 - מקדמי ביצועים של דוד חשמלי, משאבת חום ומערכת פוטו-וולטאיות

יחידה	ביצועים	סוג המערכת
ק"ו/ק"ו	$COP = 1^{55}$	דוד חשמלי
ק"ו/ק"ו	$COP = 3^{56}$	משאבת חום
קוט"ש / ק"ו/שנה	$1,650^{57}$	מערכת פוטו-וולטאית

מקדמי הביצועים קבועים לאורך השנה ואינם תלויים בתנאי הסביבה.

⁵⁵ מקדם ביצועים נורמטיבי לגוף חשמלי

⁵⁶ הערכת חטיבת אנרגיה מקיימת

⁵⁷ הגדלת יעדי ייצור החשמל באנרגיות מתחדשות לשנת 2030, רשות החשמל

5. ניתוח טכנו-כלכלי ותוצאות

פרק זה מציג את תוצאות הניתוח הטכנו-כלכלי של החלופות לחימום מים שנבחנו, מנקודת מבטם של היזם ומשק הבית. הניתוח בוחן את עלויות ההשקעה הראשוניות (CAPEX) מנקודת מבט היזם, ואת העלות הכוללת למשק בית לאורך 25 שנה (NPV), בשני טיפוסים מבנים (7 ו-15 קומות) ובשלושה תרחישי ביקוש. בנוסף, הפרק כולל ניתוח מאזן אנרגיה המשווה בין צריכת החשמל הנדרשת לחימום מים לבין ייצור החשמל מהמערכות הפוטו-וולטאיות. התוצאות חושפות פערים בכדאיות הכלכלית בין החלופות ואת בעיית הסוכן בשוק הדיור בישראל.

הניתוח בחן ארבע וחמש חלופות לחימום מים בשני בניינים בני 7 (28 יחידות דיור) קומות ובניינים בני 15 (60 יחידות דיור) קומות בהתאמה.

לכל חלופה חושב הערך הנוכחי הנקי (NPV) במונחי ש' בשנת 2025. ההבחנה העיקרית היא בין יזם, הנושא רק בעלות ההון הראשונית (CAPEX) לבין משק הבית, הנושא בעלות מחזור-חיים מלאה לאורך 25 שנים.

חלופה א', התקנת מערכות תרמו-סולאריות ודודים חשמליים, היא הנורמה המקובלת היום בשוק. לכן הדיון בתוצאות נעשה באופן השוואתי לחלופה א' כדי להמחיש את ההבדל שבין החלופה הנבחנת לבין האלטרנטיבה המקובלת בשוק. חשוב לציין כי בבניין בן 15 קומות, חלופה ב' היא החלופה המייצגת את המצב הרצוי על פי תקנה 24.

5.1 ניתוח בראי היזם

כפי שצוין מעלה, הניתוח בראי היזם מציג את עלות ההון הנדרשת להתקנת המערכות לחימום מים והמערכות הפוטו-וולטאיות במבנה מגורים חדש.

טבלה 17 - נקודת המבט של היזם עלות ההון (CAPEX) בשנה 0

חלופה	עלות בבניין בן 7 קומות 28 יחידות דיור [אלש"ח]	היחס בין עלות החלופה לבין עלות חלופה א' [אלש"ח]	עלות בבניין 15 קומות 60 יחידות דיור [אלש"ח]	היחס בין עלות החלופה לבין עלות חלופה א' [אלש"ח]
תרמו סולארי בשילוב דודים חשמליים (חלופת הבסיס)	80-90	1.00	110-120	1.00
מערכת תרמו-סולארית בשילוב משאבות חום (המציאות הרגולטורית)	-	-	190-200	1.76
פוטו-וולטאי בשילוב משאבות חום	150-160	1.9-2	300-310	2.7-2.8
פוטו-וולטאי בשילוב דוד חשמלי	80-90	1.0-1.1	140-150	1.3-1.4
תרמו סולארי + מערכת פוטו וולטאית ומשאבות חום	120-130	1.5-1.6	280-290	2.5-2.6

עלויות ההשקעה הראשונית (CAPEX) ממחישות פערים בין החלופות השונות, כמפורט ב

טבלה 17 חלופה א' (תרמו-סולארית + דודים חשמליים) מהווה את החלופה הזולה ביותר עם עלות של 80-90 אלף ש"ח בבניין בן 7 קומות ו-110-120 אלף ש"ח בבניין בן 15 קומות.

חלופות המשלבות מערכות פוטו-וולטאיות דורשות השקעה ראשונית גבוהה יותר בהשוואה לחלופה א'. חלופה ג' (פוטו-וולטאית + משאבות חום) מהווה את החלופה היקרה ביותר עם עלות של תוספתית של עד 80 אלף ש"ח בבניין בן 7 קומות ועלות תוספתית של 200 אלף ש"ח בבניין בן 15 קומות בהשוואה לחלופה א'. חלופה ד' (פוטו-וולטאית + דוד חשמלי) מציגה עלות דומה לחלופה א' במבנה בן 7 קומות (80-90 אלף ש"ח) אך עלות חלופה זו בבניין בן 15 קומות גבוהה בכ-30%-40% בהשוואה לחלופת הבסיס.

ניתוח היחסים בין סוגי הבניינים מגלה דפוסים שונים בהתאם לטכנולוגיה. במערכות פוטו-וולטאיות קיים יתרון לגודל ברור העלות הקבועה מתפרסת על שטח גג גדול יותר, מה שמוביל להקטנת העלות היחסית בבניינים גבוהים. לעומת זאת, במערכות תרמו-סולאריות (חלופה א') היחס כמעט לינארי (היחס בעלות הראשונית בין בניין בן 7 קומות לבניין בן 15 קומות הוא 1.4), שכן כמות הציוד נקבעת בעיקר לפי מספר הדירות.

הרגולציה הקיימת מחייבת את היזמים להגדיל את ההוצאות על המערכות לחימום מים בכ-76% בהשוואה לחלופת הבסיס. בחלופה ה' (היברידית), למרות שילוב הטכנולוגיות, היתרון לגודל מצטמצם עקב מגבלות שטח הגג הזמין.

מנקודת מבט היזם, העלויות הראשוניות מהוות שיקול מרכזי בבחירת החלופה. חלופות א' משקפת עלות נמוכה יותר, אולם קיימים שיקולים נוספים – כגון מורכבות התקנה, דרישות תחזוקה, והתאמה לטיפולוגיות המבנה השונות (למשל, מערכות חימום מים משותפות בבניינים רבי קומות). צפוי שבהיעדר תמריצים, חלופה א' תהיה בחירה שכיחה, גם אם חלופות אחרות עשויות להיות כדאיות יותר למשקי הבית בטווח הארוך.

5.2 ניתוח בראי משקי הבית

כפי שפורט בפרק 3 מתודולוגיה – עקרונות הניתוח, הניתוח בראי משק הבית בוחן את העלות הכוללת לחימום מים בכל אחת מהחלופות, תוך חישוב הערך הנוכחי של כלל ההוצאות - רכישה, תחזוקה ואנרגיה - לאורך כל תקופת חיי המערכת.

5.2.1 בניין בן 7 קומות

ניתוח העלות השנתית ליחידת דיור ממוצעת בבניין בן 7 קומות (תרשים 5) מצביע על פערים בכדאיות הכלכלית של החלופות הנבחנות.

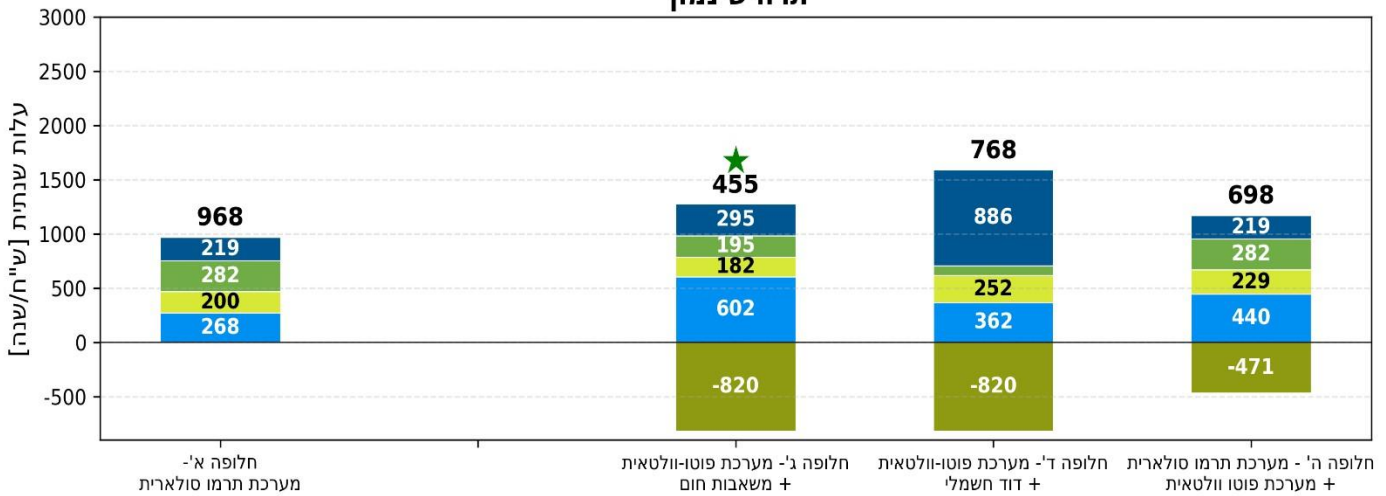
מבין החלופות שנבדקו, חלופה ג' (מערכת פוטו-וולטאית בשילוב משאבות חום) מציגה את הביצועים הכלכליים המיטביים, עם עלות שנתית הנעה בין 455 ל-770 ש"ח ליחידת דיור בהתאם לתרחיש הביקוש. חלופה זו מייצרת חיסכון של 36% עד 53% ביחס לחלופת הבסיס (מערכת תרמו-סולארית), וזאת בזכות ההכנסות השנתיות ממכירת עודפי חשמל לרשת, המסתכמות ב-820 ש"ח ליחידת דיור בשנה.

הכדאיות היחסית של החלופות משתנה בהתאם לרמת הביקוש למים חמים. בתרחיש ביקוש גבוה, חלופה ד' (מערכת פוטו-וולטאית עם דוד חשמלי) מציגה את העלות השנתית הגבוהה ביותר – 1,713 ש"ח ליחידת דיור – עקב עלויות חשמל גבוהות לחימום מים. לעומת זאת, בתרחיש ביקוש נמוך חלופת הבסיס, החלופה התרמו-סולארית, הופכת ליקרה יחסית (968 ש"ח לשנה), בעוד חלופה ד' מציגה עלות נמוכה יותר – 768 ש"ח לשנה, הפחתה של כ-21% מחלופת הבסיס.

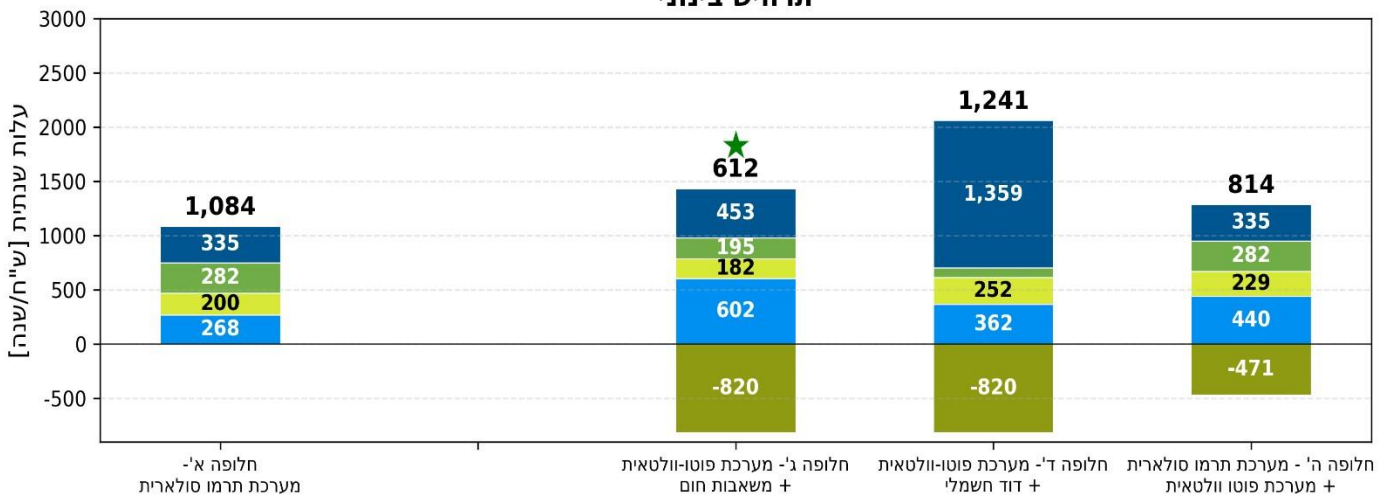
חלופה ה' (שילוב מערכת תרמו-סולארית עם מערכת פוטו-וולטאית) מציגה איזון בין יתרונות שתי הטכנולוגיות ומניבה חיסכון של 23% עד 28% ביחס לחלופת הבסיס, עם עלות שנתית של 698 עד 931 ש"ח ליחידת דיור.

תרשים 5 - עלות שנתית ליחידת דיור ממוצעת בבניין בן 7 קומות [ש"ח/שנה] - לפי תרחישי הביקוש

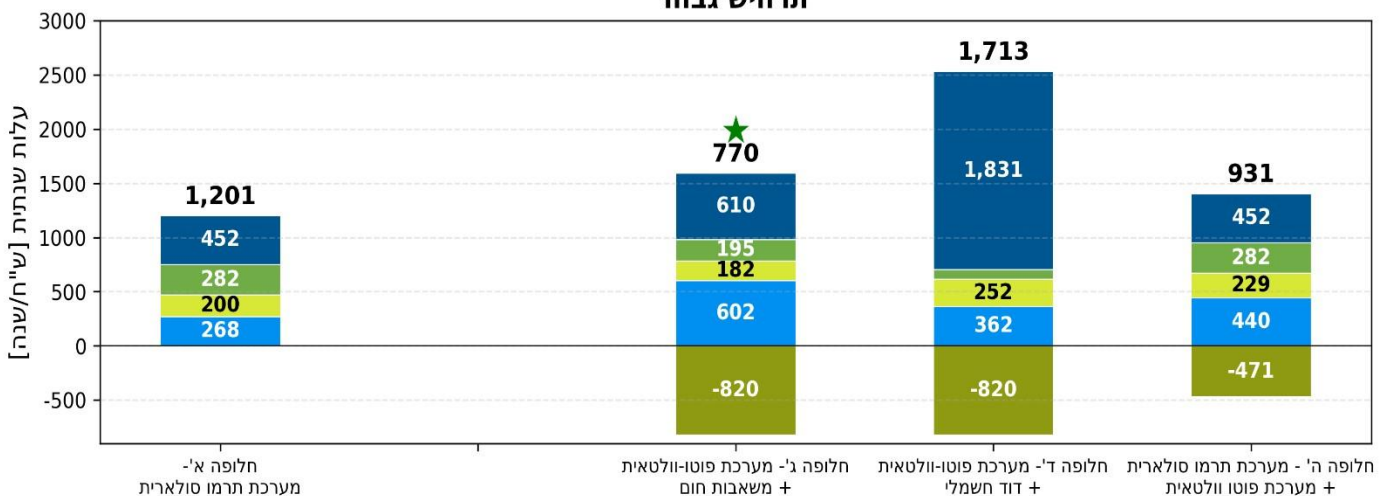
תרחיש נמוך



תרחיש בינוני



תרחיש גבוה



■ עלות השקעה ראשונית במערכת לחימום מים [ש"ח/מ"ר] מע"מ
■ עלויות החלפת המערכת [ש"ח/מ"ר] מע"מ
■ עלות החשמל לחימום מים [ש"ח/מ"ר] מע"מ
■ עלויות אחזקת המערכת [ש"ח/מ"ר] מע"מ
■ עלויות החשמל לחימום מים [ש"ח/מ"ר] מע"מ
■ עלויות החשמל לחימום מים [ש"ח/מ"ר] מע"מ
■ עלויות החשמל לחימום מים [ש"ח/מ"ר] מע"מ

5.2.2 בניין בן 15 קומות

בבניין בן 15 קומות (תרשים 6), המגמות שזוהו בבניין הנמוך מתעצמות, עם יתרון כלכלי בולט יותר לחלופות המבוססות על טכנולוגיות יעילות באנרגיה. יש לציין כי בבניין זה חלופת הבסיס כוללת מערכות תרמו-סולאריות רק עבור 28 יחידות הדיור בקומות העליונות, בעוד 32 יחידות הדיור בקומות הנמוכות מסתמכות על דודים חשמליים בלבד – פתרון בעל יעילות אנרגטית נמוכה ועלויות תפעול גבוהות.

חלופה ג' (מערכת פוטו-וולטאית בשילוב משאבות חום) נותרת החלופה המיטבית מבחינה כלכלית, עם עלות שנתית הנעה בין 597 ל-912 ₪ ליחידת דיור ממוצעת. בכל תרחישי הביקוש, חלופה זו מניבה חיסכון של כ-47% ביחס לחלופת הבסיס, לעומת חיסכון של 36%-53% בבניין בן 7 קומות. ביחס לחלופת המציאות הרגולטורית (חלופה ב'), חלופה ג' מציגה יתרון של 28% עד 40% בהתאם לתרחיש הביקוש.

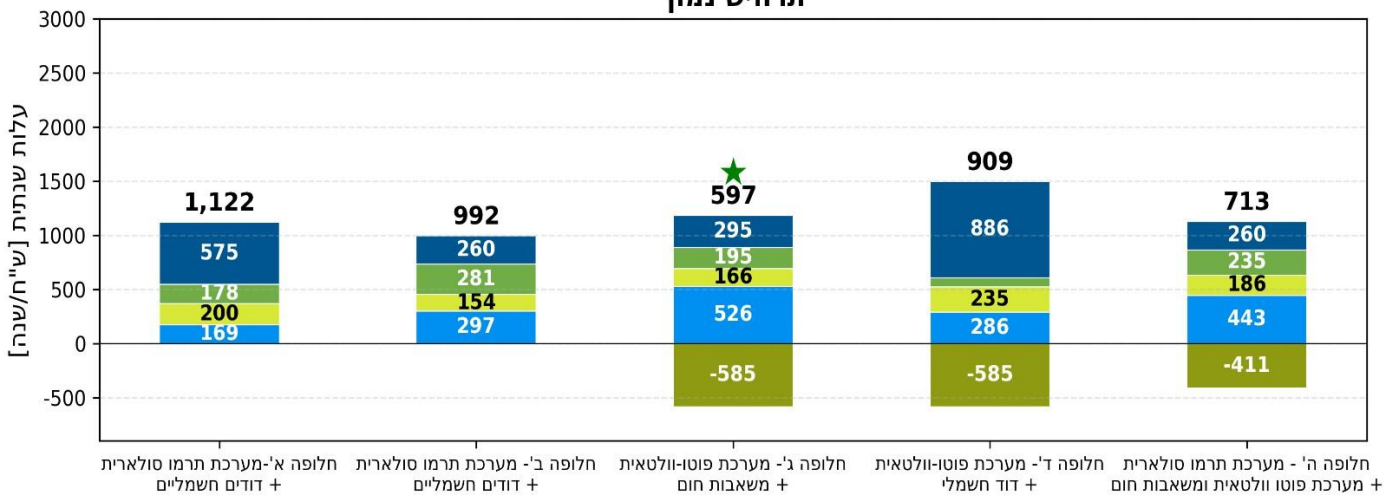
חלופת המציאות הרגולטורית (חלופה ב' – מערכת תרמו-סולארית בשילוב דודים חשמליים) מציגה עלות שנתית של 992 עד 1,269 ₪ ליחידת דיור ממוצעת. חלופה זו משקפת את אופן הבנייה הנדרש כיום בבניינים גבוהים, המביאה להוזלה של 12% עד 27% בעלות חימום המים השנתית ביחס לחלופת הבסיס.

חלופה ד' (מערכת פוטו-וולטאית עם דוד חשמלי) נותרת היקרה מבין החלופות הנבדקות, עם עלות שנתית של 909 עד 1,854 ₪ ליחידת דיור ממוצעת. עם זאת, הפער ביחס לחלופת הבסיס מצטמצם משמעותית בהשוואה לבניין הנמוך: בתרחיש ביקוש גבוה, חלופה זו יקרה ב-7% בלבד מחלופת הבסיס, לעומת תוספת של 43% בבניין בן 7 קומות. בתרחישי ביקוש נמוך ובינוני חלופה ד' מציגה חיסכון של 3% עד 19% ביחס לחלופת הבסיס. ביחס לחלופת המציאות הרגולטורית, חלופה ד' זולה ב-8% בתרחיש ביקוש נמוך, אך יקרה יותר ב-22% עד 46% בתרחישים האחרים.

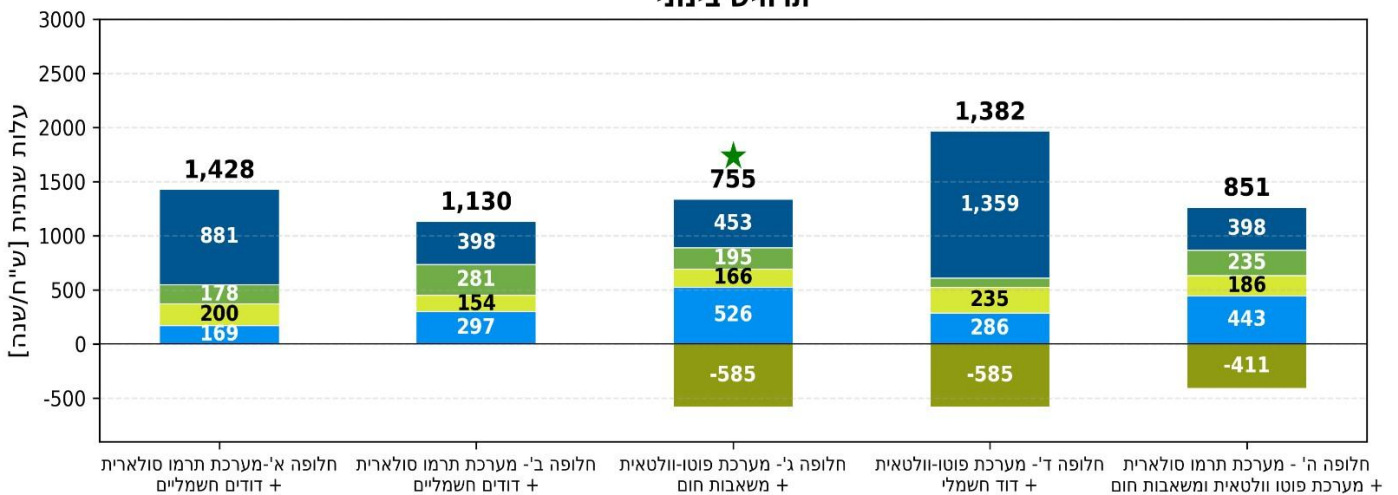
חלופה ה' (שילוב מערכת תרמו-סולארית, מערכת פוטו-וולטאית ומשאבות חום) מציגה שיפור ניכר בכדאיותה הכלכלית בבניין הגבוה, עם חיסכון של 36% עד 43% ביחס לחלופת הבסיס, לעומת חיסכון של 23% עד 28% בבניין הנמוך. העלות השנתית עומדת על 713 עד 990 ₪ ליחידת דיור ממוצעת. ביחס לחלופת המציאות הרגולטורית, חלופה זו מציגה חיסכון של 22% עד 28%.

תרשים 6 - עלות שנתית ליחידת דיור ממוצעת בבניין בן 15 קומות [ש"ח/שנה] - לפי תרחישי הביקוש

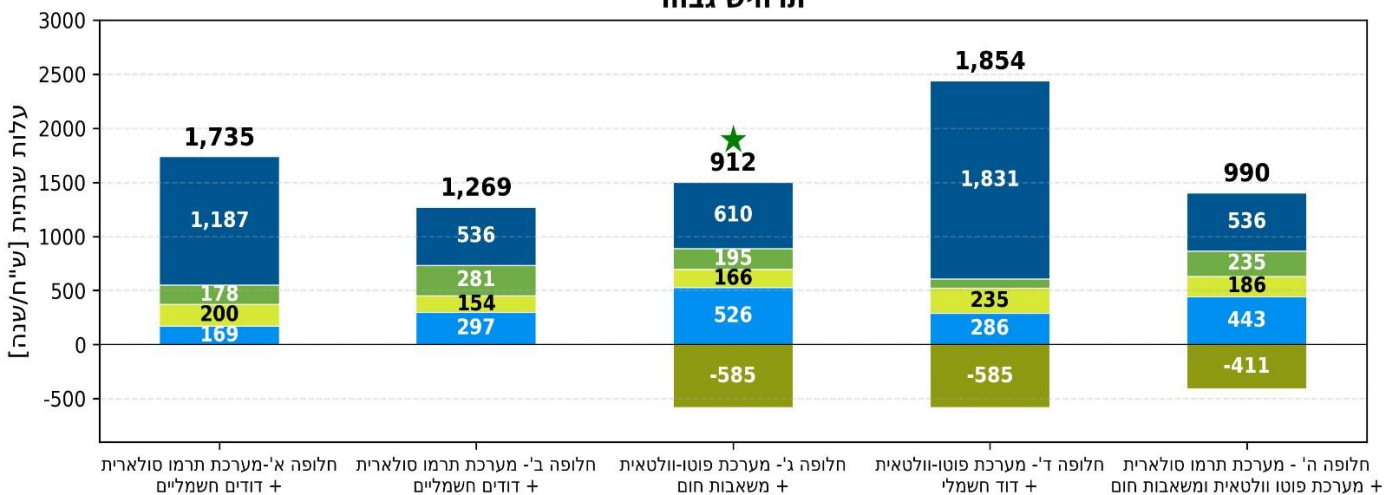
תרחיש נמוך



תרחיש בינוני



תרחיש גבוה



■ עלויות השקעה ראשונית במערכת לחימום מים [₪ כולל מע"מ]
 ■ עלויות החלפת המערכת [₪ כולל מע"מ]
 ■ עלויות אחזקת המערכת [₪ כולל מע"מ]
 ■ עלויות החשמל לחימום מים [₪ כולל מע"מ]
 ■ הכנסה שנתית ממכירת חשמל [₪]

המסקנה המרכזית: הניתוח מצביע על כך שחלופה ג' (מערכת פוטו-וולטאית בשילוב משאבות חום) מהווה את הפתרון הכלכלי המיטבי לחימום מים בשני סוגי הבניינים הנבחנו. בבניין בן 7 קומות, חלופה זו מניבה חיסכון של 36% עד 53% ביחס לחלופת הבסיס, ובבניין בן 15 קומות החיסכון עומד על כ-47% בכל תרחישי הביקוש.

בבניינים גבוהים, חלופת הבסיס כוללת דודים חשמליים עבור יחידות הדיור בקומות הנמוכות, מה שהופך אותה לרגישה יותר למחיר החשמל ומגדיל את העלות השנתית למשק הבית. חלופת המציאות הרגולטורית (חלופה ב') אמנם מציגה שיפור של 12% עד 27% ביחס לחלופת הבסיס, אך עדיין יקרה ב-28% עד 40% מחלופה ג'. פער זה מדגיש את הפוטנציאל הכלכלי הגלום במעבר לטכנולוגיות המשלבות ייצור חשמל עצמי עם יעילות אנרגטית גבוהה.

5.3 מסקנות מהניתוח הכלכלי

סיכום הממצאים העיקריים

הניתוח הכלכלי מצביע על פערים משמעותיים בכדאיות הכלכלית של החלופות השונות לחימום מים במבנים. הגורם המרכזי המשפיע על הכדאיות הוא היכולת להפחית את צריכת החשמל מהרשת באמצעות ייצור אנרגיות מתחדשות באתר ושימוש במערכות בעלות יעילות אנרגטית גבוהה.

טבלה 18 - סיכום החלופות הכדאיות ביותר לפי טיפולוגית המבנה

תיאור טיפולוגית המבנה	דירוג כדאיות ביחס לחלופת הבסיס (חלופה א')	החלופה	עלות שנתית ממוצעת לדירה [₪]	חיסכון ביחס לחלופת הבסיס (חלופה א')	חיסכון ביחס לחלופת המציאות הרגולטורית (חלופה ב')
בניין בן 7 קומות	ראשונה	חלופה ג' משאבות חום + מערכות פוטו-וולטאיות	455-770	53%-36%	-
	שנייה	חלופה ה' מערכות תרמו-סולאריות + מערכות פוטו-וולטאיות	698-931	28%-23%	

40%-28%	47%	597-912	חלופה ג' משאבות חום + מערכות פוטו- וולטאיות	ראשונה	בניין בן 15 קומות
28%-22%	43%-36%	713-990	חלופה ה' מערכות תרמו- סולאריות + משאבות חום + מערכות פוטו- וולטאיות	שנייה	

ניתוח השוואתי בין טיפולוגיות המבנה

הניתוח מציג הבדלים בכדאיות החלופות בהתאם להרכב החלופות לחימום מים:

בבניין בן 7 קומות (28 יחידות דיור) (ראה תרשים 5), חלופת הבסיס (חלופה א') כוללת מערכות תרמו-סולאריות לכל יחידות הדיור, בעלות שנתית ממוצעת של 968 עד 1,201 ש"ח ליחידת דיור בהתאם לתרחיש הביקוש. חלופה ג' (מערכת פוטו-וולטאית בשילוב משאבות חום) מפחיתה את העלות השנתית ב-431 עד 513 ש"ח ליחידת דיור, המהווים חיסכון של 36% עד 53% ביחס לחלופת הבסיס. חלופה ד' (מערכת פוטו-וולטאית עם דוד חשמלי) מדגימה רגישות גבוהה לביקוש למים חמים: בתרחיש ביקוש גבוה היא היקרה ביותר מבין החלופות עם תוספת עלות של 43% ביחס לחלופת הבסיס, ואילו בתרחיש ביקוש נמוך היא הופכת לכדאית יותר עם חיסכון של 21%.

בבניין בן 15 קומות (60 יחידות דיור) (ראה תרשים 6), חלופת הבסיס כוללת מערכות תרמו-סולאריות ל-28 יחידות הדיור בקומות העליונות בלבד, ודודים חשמליים ל-32 יחידות הדיור הנותרות. העלות השנתית הממוצעת בחלופה זו עומדת על 1,122 עד 1,735 ש"ח ליחידת דיור. חלופת המציאות הרגולטורית (חלופה ב') – מערכת תרמו-סולארית בשילוב דודים חשמליים) מציגה עלות שנתית של 992 עד 1,269 ש"ח ליחידת דיור, המהווה חיסכון של 12% עד 27% ביחס לחלופת הבסיס. חלופה ג' מפחיתה את העלות השנתית ב-525 עד 823 ש"ח ליחידת דיור, המהווים חיסכון של כ-47% ביחס לחלופת הבסיס ו-28% עד 40% ביחס לחלופת המציאות הרגולטורית. החיסכון נובע הן מהחלפת הדודים החשמליים במשאבות חום יעילות והן מייצור החשמל במערכת הפוטו-וולטאית. חלופה ד' מדגימה רגישות גבוהה לביקוש למים חמים גם במקרה הבוחן הזה, אך הפערים מצטמצמים משמעותית: בתרחיש ביקוש גבוה תוספת העלות עומדת על 7% בלבד ביחס לחלופת הבסיס (לעומת 43% בבניין הנמוך), ובתרחיש ביקוש נמוך החיסכון עומד על 19%. ביחס לחלופת המציאות הרגולטורית, חלופה ד' זולה ב-8% בתרחיש ביקוש נמוך אך יקרה ב-22% עד 46% בתרחישים האחרים.

השונויות בתוצאות בין טיפולוגיות המבנים נובעת מההרכב השונה של חלופת הבסיס: בעוד שבבניין הנמוך כל יחידות הדיור מצוידות במערכות תרמו-סולאריות, בבניין הגבוה 53% מיחידות הדיור מסתמכות על דודים חשמליים בלבד. מצב זה יוצר פוטנציאל חיסכון גדול יותר בעת החלפת הדודים החשמליים במערכות יעילות באנרגיה. חלופת המציאות הרגולטורית (חלופה ב') מממשת חלק מפוטנציאל זה באמצעות החלפת הדודים החשמליים במשאבות חום בקומות התחתונות, אך חלופה ג' מציגה חיסכון משמעותי יותר – 28% עד 40% מעבר לחלופת המציאות הרגולטורית – הודות לשילוב ייצור חשמל מקומי באמצעות מערכת פוטו-וולטאית.

5.3.1 השפעת שיטת התחשבות

ניתוח הכדאיות הכלכלית שהוצג לעיל התבסס על שיטת התחשבות הייצור. בחינת החלופות תחת שיטת התחשבות ההזרמה (תרשים 25 ותרשים 26) מצביעה על שיפור משמעותי בכדאיות החלופות הכוללות מערכות פוטו-וולטאיות (חלופות ג', ד' וה'). בשיטת ההזרמה, החשמל המיוצר מקזז את צריכת החשמל במקום בתעריף של 0.64 ש"ח לקוט"ש, לעומת תעריף מכירה של 0.4-0.48 ש"ח לקוט"ש בשיטת הייצור. פירוט אופן החישוב מוצג בנספח ג'.

טבלה 19 מציגה את שיעור החיסכון של כל חלופה ביחס לחלופת הבסיס, בהשוואה בין שתי שיטות ההתחשבות:

טבלה 19 – שיעור החיסכון של כל חלופה ביחס לחלופה א' (חלופת הבסיס) – השוואה בין שתי שיטות התחשבות⁵⁸

טיפולוגית המבנה	חלופה	תרחיש ביקוש	שיטת הייצור	שיטת ההזרמה	שיפור [נקודות האחוז]
בניין בן 7 קומות	חלופה ג' מערכת פוטו-וולטאית בשילוב משאבות חום	נמוך	53%	93%	40
		בינוני	44%	79%	35
		גבוה	36%	68%	32
	חלופה ד' מערכת פוטו-וולטאית בשילוב דוד חשמלי	נמוך	21%	60%	39
		בינוני	-14%	21%	35
		גבוה	-43%	-11%	32
	חלופה ה' מערכת תרמו-סולארית בשילוב מערכת פוטו וולטאית ומשאבות חום	נמוך	28%	44%	16
		בינוני	25%	39%	14
		גבוה	23%	36%	13

⁵⁸ ערכים שליליים מציינים תוספת עלות ביחס לחלופת הבסיס

29	76%	47%	נמוך	חלופה ג' מערכת פוטו-וולטאית בשילוב משאבות חום	בניין בן 15 קומות
23	70%	47%	בינוני		
19	66%	47%	גבוה		
29	48%	19%	נמוך	חלופה ד' מערכת פוטו-וולטאית בשילוב דוד חשמלי	
23	26%	3%	בינוני		
19	12%	-7%	גבוה		
28	64%	36%	נמוך	חלופה ה' מערכת תרמו-סולארית בשילוב מערכת פוטו וולטאית ומשאבות חום	
25	65%	40%	בינוני		
22	65%	43%	גבוה		

מהנתונים עולים מספר ממצאים:

ראשית, המעבר לשיטת הזרמה משפר את כדאיות כל החלופות הפוטו-וולטאיות, כאשר השיפור הגדול ביותר נרשם בחלופה ג' בבניין בן 7 קומות בתרחיש ביקוש נמוך – עלייה של 40 נקודות האחוז בשיעור החיסכון ביחס לחלופה התרמו-סולארית (חלופת הבסיס). שנית, חלופה ד', שבשיטת הייצור אינה כדאית בתרחישי ביקוש בינוני וגבוה בבניין בן 7 קומות, הופכת לכדאית בתרחיש הביקוש הבינוני תחת שיטת ההזרמה (חיסכון של 21% במקום תוספת של 14%). שלישית, השיפור בנקודות האחוז גדול יותר בבניין הנמוך מאשר בבניין הגבוה, משום שבבניין הנמוך שטח הגג ליחידת דיור גדול יותר ולכן ההכנסות ממכירת חשמל גבוהות יותר פר יחידת דיור.

בבניין בן 15 קומות, שיטת ההזרמה מגדילה משמעותית את החיסכון הן ביחס לחלופת הבסיס והן ביחס לחלופת המציאות הרגולטורית (חלופה ב'). ביחס לחלופת הבסיס, חלופה ג' מציגה חיסכון של 66% עד 76% בשיטת ההזרמה, לעומת 47% בשיטת הייצור – שיפור של 19 עד 29 נקודות האחוז. חלופה ד' הופכת לכדאית בכל תרחישי הביקוש בשיטת ההזרמה, עם חיסכון של 12% עד 48% ביחס לחלופת הבסיס, לעומת טווח של תוספת עלות של 7% ועד חיסכון של 19% בשיטת הייצור. חלופה ה' מציגה חיסכון של 64% עד 65% ביחס לחלופת הבסיס בשיטת ההזרמה, לעומת 36% עד 43% בשיטת הייצור.

ביחס לחלופת המציאות הרגולטורית, חלופה ג' מציגה חיסכון של 54% עד 72% בשיטת ההזרמה, לעומת 28% עד 40% בשיטת הייצור. חלופה ה' מציגה חיסכון של 53% עד 59% בשיטת ההזרמה, לעומת 22% עד 28% בשיטת הייצור.

5.3.2 בעיית הסוכן - ניגוד האינטרסים בין היזם לדייר

הניתוח הכלכלי חושף ניגוד אינטרסים מובנה בין היזם לדייר, הנובע מהבדלים באופק הזמן הכלכלי ובמטרות העסקיות של כל צד. בעוד שהיזם מתמקד בביצועים כלכליים מיידיים ובמזעור סיכונים טכניים בטווח הקצר, הדייר מושפע מהעלויות ארוכות הטווח. הפער מתחדד במיוחד בבניינים גבוהים של 15 קומות ומעלה, שם הפער

בעלויות ההשקעה הראשונית מתעצם: בבניין בן 15 קומות, חלופה ג' דורשת מהיזם השקעה תוספתית של עד כ-220 אלש"ח ביחס לחלופת הבסיס ושל כ-110 אלש"ח ביחס לחלופת המציאות הרגולטורית, בעוד שהיא מספקת לדייר חיסכון שנתי של 47% ביחס לחלופת הבסיס ושל 28% עד 40% ביחס לחלופת המציאות הרגולטורית. לכן, בהיעדר מנגנוני תמרוץ מתאימים, היזם צפוי לבחור בחלופה ב' (המציאות הרגולטורית) – העומדת בדרישות הרגולציה הקיימת – למרות היותה פחות כדאית לדייר בטווח הארוך ופחות כדאית למשק החשמל כפי שמפורט בפרק הבא.

מציגה את העימות הזה במספר ממדים מרכזיים:

טבלה 20 – בעיית הסוכן

דייר	יזם	
25 שנים ויותר – תפעול, עלויות חשמל, החלפת מערכות	שנה "0" בלבד	אופק כלכלי
עלות מחזור החיים (NPV)	עלות ההון (CAPEX)	מדד מפתח
להימנע מחשבונות חשמל גבוהים ועלויות תפעול (O&M) יקרות	להימנע ממורכבויות טכניות, עיכובים ואחריות עתידית	בקרת סיכון
תשלומי חשמל נמוכים/תקבולים ממכירת חשמל, נוחות תרמית	רווח יזמי ביחס להשקעה, פרמיית מכירה מזערית ⁵⁹ .	רווח ישיר
שטח הגג הוא נכס למערכות פוטו-וולטאיות, חיסכון והכנסה	שטח גג יקר לטובת פנטהאוזים או מתקנים אחרים	מגבלה פיזית
תעריף חשמל לשנים קדימה	מחירי ציוד בזמן הבנייה	סיכון במחירים

5.4 תוצאות מאזן האנרגיה

כדי לבחון את המשמעות של החלופות השונות מבחינה אנרגטית, בוצע ניתוח של מאזן האנרגיה עבור חמש החלופות טכנולוגיות בשני סוגי הבניינים. תוצאות מאזן האנרגיה מוצגות בטווח, הטווח מייצג את השפעת

⁵⁹ ההנחה היא שהיזם אינו מרוויח על מכירת מערכות לחימום מים או על מכירת המערכות הפוטו-וולטאיות. כלומר, היזם מוכר מערכות אלה במחיר עלות וזאת בשל תנאי השוק התחרותיים של סקטור הנדל"ן.

תרחישי הביקוש למים חמים על מאזן האנרגיה. פירוט החישוב והתוצאות עבור כל תרחיש ביקוש מפורטים
[בנספח ב'.](#)

- בניין בן 7 קומות (28 דירות) הזקוק ל-38,768-80,099 קוט"ש תרמי בשנה לחימום מים
- בניין בן 15 קומות (60 דירות) הזקוק ל-83,074-171,641 קוט"ש תרמי בשנה.

כמות החשמל הנדרשת לייצור אנרגיה תרמית זו משתנה באופן משמעותי בהתאם לטכנולוגיה הנבחרת. הניתוח
בוחן את צריכת האנרגיה השנתית נטו של כל חלופה. התוצאות מציגות הבדלים משמעותיים ביעילות האנרגטית
ומבהירות כיצד בחירות התכנון משפיעות על עלויות התפעול בטווח הארוך.

טבלה 21 - תוצאות ניתוח מאזן אנרגיה - בניין בן 7 קומות

חלופה	ביקוש שנתי לחשמל לצורך ייצור מים חמים [קוט"ש/שנה]	סה"כ חשמל מיוצר מהמערכת הפוטו- וולטאית [קוט"ש/שנה]	צריכת אנרגיה שנתי נטו [קוט"ש/שנה] ⁶⁰	שיעור מתוך צריכת האנרגיה הנדרשת לחימום מים ⁶¹
חלופה א' מערכת תרמו- סולארית	9,559-19,751	-	9,559-19,751	24.7%
חלופה ג' - מערכת פוטו- וולטאית + משאבות חום (33 kWp)	12,923-26,700	55,157	(42,234)-(28,457) ⁶²	(35.5%)-(109%)
חלופה ד' - מערכת פוטו- וולטאית + דוד חשמלי (33 kWp)	38,768-80,099	55,157	(16,389)-24,942	(31.1%)-(42.3%)
חלופה ה' - מערכת תרמו- סולארית + מערכת פוטו	9,559-19,751	28,757	(19,198)-(9,007)	(11.2%)-(49.5%)

⁶⁰ צריכת אנרגיה נטו מייצגת את סך החשמל שנצרך מהרשת לצורך ייצור המים החמים בניכוי החשמל המיוצר בבניין בכל חלופה. ערך שלילי מייצג
עודף ייצור חשמל בבניין.

⁶¹ שיעור הצריכה מתוך הצריכה הכוללת - היחס בין צריכת החשמל (קוט"ש חשמלי) הנדרשת להפעלת מערכת חימום המים לבין כמות החום
המיוצרת (קוט"ש תרמי). ערך חיובי מייצג צריכת חשמל לייצור מים חמים, ערך שלילי מייצג עודף ייצור חשמל.

⁶² מספר המופיע בסוגריים מייצג מספר שלילי



				וולטאית 17) (kWp
--	--	--	--	---------------------

טבלה 22 - תוצאות ניתוח מאזן אנרגיה - בניין בן 15 קומות

חלופה	ביקוש שנתי לחשמל לצורך ייצור מים חמים [קוט"ש/שנה]	סה"כ חשמל מיוצר מהמערכת הפוטו- וולטאית [קוט"ש/שנה]	צריכת אנרגיה שנתית נטו [קוט"ש/שנה]	שיעור מתוך צריכת האנרגיה הנדרשת לחימום מים
חלופה א' מערכת תרמו- סולארית + דודים חשמליים	53,866-111,293	-	53,866-111,293	64.8%
חלופה ב' מערכת תרמו- סולארית בשילוב משאבות חום	24,328-50,265	-	24,328-50,265	29%
חלופה ג' – מערכת פוטו- וולטאית + משאבות חום (54 kWp)	27,691-57,214	89,100	(61,409)-(31,886)	(74%)-(18.6%)
חלופה ד' - מערכת פוטו- וולטאית + דוד חשמלי (54 kWp)	17,164-83,074	89,100	(6,026)-82,541	(7.3%)-48.1%
חלופה ה' - מערכת תרמו- סולארית + מערכת פוטו וולטאית ומשאבות חום (38 kWp)	24,328-50,265	62,700	(38,372)-(12,436)	(46.2%)-(7.3%)

5.4.1 מסקנות מהניתוח מאזן האנרגיה

ניתוח מאזן האנרגיה (טבלה 21 וטבלה 22) בוחן את היחס בין הביקוש לאנרגיה לחימום מים לבין ייצור החשמל מהמערכות הפוטו-וולטאיות, ומצביע על כך שניצול יעיל של שטח הגג מאפשר לייצר חשמל מעבר לנדרש לחימום מים בשני סוגי הבניינים. יש להדגיש כי עודפי הייצור המתוארים להלן מתייחסים לביקוש האנרגיה לחימום מים בלבד, ואינם מביאים בחשבון את צריכת החשמל הכוללת של הבניין לשימושים אחרים.

חלופה ג' (שילוב משאבות חום עם מערכות פוטו-וולטאיות) היא היעילה ביותר מבחינה אנרגטית. בבניין בן 7 קומות, חלופה זו מייצרת עודף של 28-42 מגה-וואט שעה בשנה ביחס לביקוש לחימום מים, המהווים 35% עד 109% מעבר לביקוש זה – לעומת חלופת הבסיס הצורכת את מלוא הביקוש מהרשת. בבניין בן 15 קומות, חלופה ג' מייצרת עודף של 32-61 מגה-וואט שעה בשנה ביחס לביקוש לחימום מים (19% עד 74% מעבר לביקוש), בעוד חלופת הבסיס צורכת 54-111 מגה-וואט שעה בשנה מהרשת וחלופת משאבות חום בשילוב מערכת תרמו סולארית (חלופה ב' – המציאות הרגולטורית) צורכת 24-50 מגה-וואט שעה בשנה.

חלופות המסתמכות על דודים חשמליים הן הפחות יעילות מבחינה אנרגטית. חלופת הבסיס בבניין בן 15 קומות, המשלבת 28 מערכות תרמו-סולאריות עם 32 דודים חשמליים, דורשת כמות חשמל השווה ל-65% מסך הביקוש השנתי לאנרגיה תרמית – נתון המעיד על יעילות נמוכה במיוחד, השקולה למערכת חימום מים בעלת מקדם ביצועים (COP) של 1.54 בלבד. חלופת המציאות הרגולטורית משפרת משמעותית את היעילות האנרגטית ומפחיתה את צריכת החשמל לחימום מים ל-29% מסך הביקוש לאנרגיה תרמית, השקול למקדם ביצועים (COP) של 3.41. עם זאת, חלופה זו עדיין נותרת פחות יעילה מחלופות ג' וה' המייצרות עודפי חשמל. חלופה ד', המבוססת על דודים חשמליים עם מערכת פוטו-וולטאית, משפרת את מאזן האנרגיה ביחס לחלופת הבסיס אך עדיין מציגה צריכת אנרגיה נטו של 6-83 מגה-וואט שעה בשנה בבניין בן 15 קומות, בהתאם לתרחיש הביקוש.

6. השפעות על משק החשמל

המעבר ממערכות תרמו-סולאריות למשאבות חום, בשילוב התקנה רחבה של מערכות פוטו-וולטאיות במבני מגורים, צפוי להשפיע לחיוב באופן משמעותי על משק החשמל בישראל. בפרק זה נבחנות ההשפעות המשקיות של תרחיש זה, תוך התייחסות לשינוי הצפוי בדפוסי הצריכה, בעומסי השיא, ובאופן שבו השילוב בין משאבות חום ומערכות פוטו-וולטאיות עשוי לתרום ליעילות המערכת ולפוטנציאל לייצור חשמל על גגות המבנים. מטרת פרק זה היא להעריך את ההשלכות הכלכליות והתפעוליות:

- חיסכון בהקמת כושר יצור.
- צמצום הצורך בפיתוח רשת חלוקה.
- שינוי בצריכת החשמל השנתית מהרשת.
- והרחבת פוטנציאל ההקמה של מתקנים פוטו-וולטאים בשטחי גגות שיתפנו.

6.1 מאפייני הביקוש הביתי

6.1.1 חלקם של משקי הבית בצריכת החשמל הארצית

צריכת משקי הבית בישראל מהווים רכיב מרכזי בעומסי השיא ברשת החשמל. אף שחלקם הממוצע בצריכה הכוללת הוא כ-30%, בשעות השיא, חלקם מטפס לכ-35% בערבי קיץ, ולכ-46% בערבי חורף בממוצע. יתרה מכך, מעיבוד נתוני רשות החשמל ונגה עולה כי בחודש ינואר בשנת 2024, חלקם של משקי הבית מתוך הביקוש המשקי בשעות השיא היווה כ-56% בממוצע⁶³.

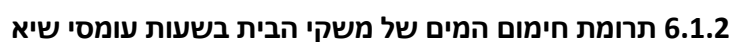
עונת השנה משפיעה על דפוסי הביקוש של המגזר הביתי:

- בחורף: ישנו ביקוש גבוה בערב לחימום חללי הבניין ומים ושיא ביקוש קצר לחימום מים גם בשעות הבוקר.
- בקיץ: ישנו ביקוש למיזוג אוויר המגיע לשיאו בשעות אחר הצהריים.

תרשים 7 מציג את פרופיל הביקוש הביתי ואת פרופיל העומס נטו⁶⁴ לפי עונות. ניתן לראות כי שיא הביקוש הביתי בעונת החורף גבוה מזה של הקיץ. יתרה מכך, ניתן לראות כי בעונת החורף דפוס העומס נטו דומה לזה של הביקוש הביתי ושעת השיא מתרחשת בשעה 19:00. כלומר, למשקי הבית יש חלק משמעותי מהעומס נטו על הרשת. לעומת זאת בקיץ, שעות השיא של העומס נטו מתרחשות בשעות שונות בזכות הייצור הפוטו-וולטאי.

⁶³ החישוב מתבסס על עיבוד נתוני ההתפלגות הצריכה בתעריף הביתי רשות החשמל, ונתוני הביקוש המשקי מחברת נגה מנהל המערכת.
⁶⁴ עומס נטו הוא תפוקת הייצור המשקית ללא תפוקת הייצור מאנרגיות מתחדשות.

תרשים 7 – הביקוש הביתי ביום שישי⁶⁵ אל מול העומס נטו הממוצע⁶⁶ בעונות קיץ וחורף בשנת 2024



⁶⁵ עיבוד נתוני ההתפלגות הצריכה בתעריף הביתי, רשות החשמל ונתוני הביקוש המשקי מחברת גגה מנהל המערכת.
⁶⁶ נתונים מתו דו"ח מצב משק החשמל 2024 - לוח 2.6, רשות החשמל

בהתבסס על ההנחות והחישובים שפורטו בפרקים 4 ו-5, צריכת החשמל הממוצעת לחימום מים ביחידת דיור עם דוד חשמלי מסתכמת בכ-2,123 קוט"ש בשנה – כ-27% מצריכת החשמל השנתית של משק הבית (כ-8,000 קוט"ש בשנה⁶⁷). במשקי בית עם ביקוש גבוה למים חמים, שיעור זה עשוי להגיע עד כ-36% מצריכת החשמל השנתית של משק הבית. בעונת הקיץ, מערכות תרמו-סולאריות מספקות חלק ניכר מצריכת חימום המים במשך היום, אך בחורף תרומתם מוגבלת, עוצמת הקרינה נמוכה משמעותית ולרוב אינם מספקים חימום מלא. כתוצאה מכך, גם בעלי מערכות תרמו-סולאריות נדרשים להשלמה על בסיס הגיבוי החשמלי בערב ולכן, עיקר הביקוש לחימום מים הינו בשעות השיא.

טבלה 23 – השוואת החלופות בראי השפעה על שיא הביקוש בחורף ובקיץ

תיאור החלופה	השפעה על הביקוש בשיא חורף – ערב	השפעה על הביקוש בשיא קיץ – ערב
חלופה א' מערכת תרמו-סולארית + דודים חשמליים	השפעה גבוהה – בהיעדר קרינת השמש, רוב משקי הבית מפעילים גוף חימום חשמלי (COP=1) בשיא הביקוש.	השפעה בינונית – שקלול של דיירים ללא מערכת תרמו-סולארית (המפעילים דוד חשמלי, COP=1) ודיירים בעלי מערכת תרמו-סולארית (לרוב אינם צורכים חשמל מהרשת לצורך חימום מים כלל).
חלופה ב' מערכת תרמו-סולארית בשילוב משאבות חום	השפעה בינונית – משאבות החום מאפשרות הסטת עומסים לשעות מוקדמות. עם זאת, יחידות הדיור שבהן יש מערכות תרמו-סולאריות מפעילות את הגיבוי החשמלי. צריכת חשמל חלקית בשעות השיא.	השפעה נמוכה – המערכת התרמו-סולארית אינה צורכת חשמל כלל בקיץ. במקרה הצורך בהשלמה, משאבות החום מאפשרות הסטת עומסים לשעות מוקדמות. צריכת חשמל מינימלית עד אפסית בשעות השיא.
חלופה ג' מערכת פוטו-וולטאית + משאבות חום	השפעה נמוכה – הסטת עומסים לשעות הצהרים וצריכת החשמל מהמערכת הפוטו-וולטאית. השלמה נדרשת בערב מתבצעת באמצעות משאבות חום (COP גבוה).	השפעה נמוכה – המערכת הפוטו-וולטאית מזינה את משאבות החום לחימום מוקדם בשעות הצהריים. אין צריכת חשמל מהרשת בשעות שיא הביקוש.
חלופה ד' מערכת פוטו-וולטאית + דוד חשמלי	השפעה גבוהה – בהיעדר ייצור פוטו-וולטאי בשעות הערב ובהיעדר הסטת עומסים, חימום המים מתבצע באמצעות דודים חשמליים בשעות השיא.	השפעה גבוהה – בהיעדר הסטת עומסים, חימום המים נעשה באמצעות דודים חשמליים בשעות שיא הביקוש, ללא ניצול של החשמל המיוצר מהמערכת הפוטו-וולטאית.

⁶⁷ מחושב על בסיס נתוני צריכת החשמל הביתית בשנת 2024 (דו"ח מצב משק החשמל, 2024) ומספר משקי הבית בישראל בשנת 2024 לפי הלמ"ס

השפעה נמוכה – הן הדיירים המתגוררים בדירות העליונות (בעלי מערכת תרמו-סולארית) והן הדיירים המתגוררים בדירות התחתונות (בעלי משאבות חום) אינם צורכים חשמל לחימום מים בשעות השיא.	השפעה בינונית – חלק מהאוכלוסייה צורכת חשמל רב (מחממת מים בשעות השיא באמצעות דודים חשמליים בדומה לחלופה א'). חלק מהאוכלוסייה צורכת חשמל מועט באמצעות חימום המים בשעות הצהריים והשלמת החימום בשעות השיא ביעילות גבוהה.	חלופה ה' מערכת תרמו-סולארית + מערכת פוטו וולטאית ומשאבות חום
--	--	--

- **השפעה גבוהה** – תוספת משמעותית לביקוש בשעות השיא
- **השפעה בינונית** – תוספת מתונה לביקוש בשעות השיא
- **השפעה נמוכה** – תוספת מינימלית לביקוש בשעות השיא

חלופה ג' מפחיתה את תרומת חימום המים לעומס שיא חורפי, ובכך מסייעת למתן את עומסי הערב בעונה שבה **שיא העומס נטו מתלכד עם שיא הביקוש הביתי**. לעומת זאת, בחלופת הבסיס בבניין בן 15 קומות, 100% מיחידות הדיור מפעילות חימום חשמלי בשעות הערב – 53% באמצעות דודים חשמליים ו-47% באמצעות הגיבוי החשמלי של המערכות התרמו-סולאריות, הנדרש בעונת החורף. חלופת המציאות הרגולטורית מצמצמת בעיה זו: 53% מיחידות הדיור מצוידות במשאבות חום היעילות יותר ומאפשרות פריסה של הביקוש לאורך שעות היממה, ורק 47% מיחידות הדיור מסתמכות על הגיבוי החשמלי של המערכות התרמו-סולאריות. ההשפעה המצטברת משמעותית: הביקוש לחימום מים מצטרף לביקושי החשמל הגבוהים האחרים בשעות הערב (חימום חללים, בישול ותאורה), ומחריף את העומס בשעות הקריטיות ביותר של החורף.

6.2 ניתוח כמותי- השפעות על משק החשמל

הניתוח האיכותני שהוצג לעיל הדגיש את הפוטנציאל הטמון במעבר למשאבות חום כאמצעי להפחתת העומס על רשת החשמל בשעות השיא, תוך שיפור היעילות האנרגטית והניצול האופטימלי של הייצור הפוטו-וולטאי. על מנת לכמת את היתרונות הללו ולספק בסיס מוצק לקבלת החלטות מדיניות, ערך משרד האנרגיה והתשתיות ניתוח כלכלי מקיף הבוחן את ההשלכות הכמותיות של מדיניות תמרוץ משאבות חום על המשק הישראלי.

6.2.1 מתודולוגיה

המחקר מיישם ניתוח טכנו-כלכלי להשוואת הכדאיות הכלכלית וההנדסית של מדיניות המעודדת שימוש במשאבות חום, בעיקר באמצעות הערכת עלות ייצור החשמל, הגדלת ההספק המותקן הפוטו-וולטאי ופיתוח הרשת בתרחישים שונים.

נבחנו שלוש חלופות מדיניות עיקריות:

- **תרחיש עסקים כרגיל – תקנה 24:** תרחיש בסיס זה מניח שבניינים רבי-קומות שנבנו לאחר 2020 יתקימו מערכות תרמו-סולאריות עבור 7 הקומות העליונות, ומשאבות חום עבור יתר יחידות הדיור. בבניינים שאינם

רבי-קומות, צפוי שימוש במערכות תרמו-סולאריות. תרחיש זה מביא בחשבון גם מגמה גוברת שבה כ-20% מהדירות החדשות הנבנות לאחר 2020 צפויות לכלול משאבות חום במקום מערכות תרמו-סולאריות עקב הגידול בבנייה רבת-קומות.

- **חיוב משאבות חום בכל הדירות החדשות:** בחלופה זו, כל יחידות הדיור החדשות נדרשות להתקין משאבות חום במקום מערכות תרמו-סולאריות. בבניינים קיימים הקצאת שטחי גג לייצור אנרגיה פוטו-וולטאית נותרים כפי שהם כיום.
- **חיוב משאבות חום בבניינים חדשים + תמרוץ בניינים קיימים:** חלופה זו מרחיבה את השנייה באמצעות עידוד מעבר שנתי של 5% מהדירות הקיימות עם דודי חשמל (אלו שטרם מכוסות בתקנה 24) למשאבות חום. המחקר בחן גם את רגישות התוצאות לקצב המעבר.

6.2.2 פרופיל הצריכה וההשפעות על משק החשמל

התועלת המשקית של כל חלופה חושבה לפי הפער בעלות הכוללת של כושר היצור, עלות האנרגיה ועלות פיתוח קיבולת הרשת בין החלופות המעודדות מעבר למשאבות חום, לבין תרחיש "עסקים כרגיל". לצורך ניתוח ההשפעה של כל חלופת מדיניות, הוערך מספר הדירות שבהן צפויים להיות מותקנים מערכות לחימום מים, בהתאם לסוג הטכנולוגיה הנבחרת.

פרופיל צריכת חשמל:

המחקר העריך את צריכת החשמל היומית והתפלגותה לאורך היום עבור טכנולוגיות חימום שונות:

- מערכות תרמו-סולאריות צפויות לצרוך חשמל בעיקר בערבי חורף.
- דודי חשמל באופן עקבי לאורך השנה (בעיקר בערבים).
- משאבות חום לאורך השנה אך עם צריכה נמוכה יותר בזכות יעילותן, המתרחשת מוקדם יותר ביום בהשוואה למערכות תרמו-סולאריות.

צריכת האנרגיה ועלותה:

- צריכת האנרגיה השנתית חושבה לפי מספר ימי הצריכה מהרשת בכל עונה לכל סוג דירה ובהתאם לצריכת החשמל היומית לחימום מים בכל חלופה.
- המעבר למשאבות חום בבנייה חדשה מפחית את הצורך בפיתוח כושר היצור וקיבולת ההולכה, אך במקביל מגדיל את צריכת החשמל מהרשת, שכן משאבות חום מחליפות מערכות תרמו-סולאריות שאינן צורכות חשמל לאורך רוב השנה. עלות צריכת הדלקים הנוספת מוערכת בכ- 160 מלש"ח במונחי ערך נוכחי נקי עד לשנת 2050.
- חלופות הכוללות תמרוץ לדירות קיימות להחליף את דודי החשמל במשאבות חום, מפחיתות את צריכת החשמל, משום שצריכת החשמל של משאבות החום נמוכה בהשוואה לדודי החשמל. החיסכון בצריכת הדלקים בתרחיש זה מוערך בכ- 271 מלש"ח במונחי ערך נוכחי נקי עד לשנת 2050.

חסכון בכושר ייצור:

המעבר למשאבות חום צפוי להביא לשינוי בפרופיל צריכת החשמל של משק הבית על ידי פריסת הביקוש לחשמל לאורך זמן ובשעות מוקדמות יותר ביום. כמו כן, משאבות החום מביאות לשיפור היעילות האנרגטית וניצול אופטימאלי של הייצור הפוטו-וולטאי ובכך מביאות להפחתת הביקוש הביתי בשעות השיא. השלת העומסים בשעות השיא והסטת הביקוש לשעות הבוקר והצהריים הינה בעלת חשיבות מהותית למשק החשמל, שכן היא מאפשרת לצמצם את הצורך בהקמת כושר ייצור חדש.

- החיסכון בכושר הייצור ובקיבולת הרשת נמדד על בסיס ההשפעה הצפויה של כל חלופה על שיא הביקוש הביתי בחורף בערב, עונת השיא בצריכת משקי הבית.
- חיסכון בכושר ייצור חושב לפי החיסכון בצריכה בשעת השיא למשק בית מוכפל בגידול מספר משאבות החום לעומת תרחיש עסקים כרגיל.
- עלות כושר הייצור מחושבת לפי העלות הנורמטיבית בעדכון השנתי של תעריף החשמל לשנת 2025, והיא עומדת על 590 אש"ח למגה-וואט לשנה⁶⁸.

טבלה 24 – חיסכון בכושר ייצור לפי חלופות הניתוח עד לשנת 2050 – חיסכון בהספק מותקן [MW] ובעלות הקמה [ערך נוכחי נקי מלש"ח]

משאבות חום בבנייה חדשה + תמרוץ בבנייה קיימת	משאבות חום בבנייה חדשה בלבד	
711-1,050	355-525	חיסכון בכושר ייצור [MW]
1,661-2,876	831-1,438	חיסכון בעלות הקמת כושר ייצור [מלש"ח]

הטבלה מציגה את החיסכון בכושר הייצור בהספק מותקן ואת החיסכון המשקי הנובע במונחי ערך נוכחי עד לשנת 2050. כמו כן, ניתן לראות כי בחלופת התמרוץ החיסכון בהספק מותקן עשוי להגיע לכ-1,050 MW, שווה ערך לכשתי תחנות כח הפועלות בגז טבעי. כתוצאה מכך, החיסכון המשקי עשוי להגיע לכ-2.8 מיליארד ש"ח עד לשנת 2050.

חסכון בפיתוח רשת חלוקה:

כפי שתואר לעיל, הקטנת שיא הביקוש הביתי בערבי החורף מביאה לצמצום הצורך בהקמת כושר ייצור נוסף וכתוצאה מכך נחסך גם הצורך בפיתוח נוסף של רשת החלוקה. בתרחיש בנייה חדשה בלבד, החיסכון בפיתוח רשת החלוקה מוערך בכ-94-54 מלש"ח. בתרחיש הכולל תמרוץ החלפת דודים חשמליים בבנייה קיימת

⁶⁸ רשות החשמל, החלטה 70004, עדכון שנתי לתעריף החשמל מיום 29.12.2024

החיסכון מטפס לכ-188-109 מלש"ח. הניתוח מבוסס על חישוב רשות החשמל לצורך גיבוש ה"פרמיה האורבנית" בשנת 2023⁶⁹ (לפירוט ההנחות והחישוב ראה נספח ה' – חיסכון בפיתוח רשת החלוקה).

פוטנציאל אנרגיה פוטו-וולטאית:

החלפת דודי שמש במשאבות חום מפנה שטחי גג יקר ערך. בהנחה שמערכת פוטו-וולטאית בהספק של 33-54 קילוואט מותקן (בהתאם לגודל הבניין) יכולה להיות מותקנת על כל גג שמתפנה, מדובר בתוספת של 43 מגה-ואט מותקן חדש מדי שנה. פוטנציאל שעשוי להגיע ל-1,090 מגה-וואט עד שנת 2050, ולתרום משמעותית לעמידה ביעדי אנרגיות מתחדשות בישראל.

6.3 סיכום הממצאים העיקריים

הניתוח הכמותי מספק תובנות משמעותיות לגבי היתרונות הכלכליים וההשפעות על משק החשמל. עיקר התרומה נובעת מהפחתת הצורך בהקמת כושר ייצור חדש, לצד חיסכון בהשקעות בפיתוח רשת החלוקה.

חיסכון כלכלי כולל:

- **חייב משאבות חום בבנייה חדשה:** הערך הנוכחי הנקי של החיסכון הכלכלי הכולל הוא כ-1,800-725 מלש"ח.

- **חייב משאבות חום בבנייה חדשה ותמריצים לבנייה קיימת:** הערך הנוכחי הנקי של החיסכון הכלכלי הכולל עולה לכ-3,335-1,610 מלש"ח.

טבלה 25, המסכמת את הממצאים, ממחישה את ההשפעות הכלכליות על משק החשמל (ערך נוכחי נקי במלש"ח, לתקופה 2025-2050):

טבלה 25 – ערך נוכחי נקי⁷⁰ של החיסכון ביחס לחלופת עסקים כרגיל⁷¹

תחום השפעה	משאבות חום בבנייה חדשה בלבד [מלש"ח]	משאבות חום בבנייה חדשה + תמריצים בקיימת [מלש"ח]
חיסכון בכושר ייצור	830-1,440	1,660-2,880
חיסכון בפיתוח רשת חלוקה	54-94	109-188
עלות/חיסכון ייצור אנרגיה נוספת	(160)	271

⁶⁹ רשות החשמל החלטה 66406 מ 14.9.23.

⁷⁰ הערך הנוכחי מהווה לפי 6%

⁷¹ מספר בסוגריים מציין עלות נוספת

1,610-3,335	725-1,800	חיסכון כלכלי כולל [ערך נוכחי נקי]
-------------	-----------	-----------------------------------

תוצאות ניתוח רגישות:

- **פרופיל צריכת משאבות חום:** גם אם משאבות חום יופעלו בשעות השיא בדומה לדודי חשמל, הפגיעה בתועלת הכלכלית שולית, ירידה של כ-5 מיליון ש"ח לשנה בלבד. עם זאת, הערך הנוכחי הנקי של החיסכון יישאר גבוה, כ-חצי מיליארד ש"ח עבור דירות חדשות ו-0.7 מיליארד ש"ח אם יינתנו תמריצים לבניינים קיימים.
- **קצב המעבר:** בקצב איטי של כ-0.5% לשנה בקרב בעלי דודי חשמל העוברים למשאבות חום התועלות בבנייה חדשה נותרים זהים, אך התועלת בדירות קיימות מצטמצמת לכ-0.8-1.6 מיליארד ש"ח.

6.4 תובנות ומסקנות

הניתוח הכמותי תומך בהערכה האיכותנית שקידום אימוץ משאבות חום מציע יתרונות כלכליים ותפעוליים משמעותיים למשק החשמל הישראלי:

- **הפחתת עומסי שיא:** הפעלת משאבות חום מפחיתה ביעילות את צריכת החשמל בשעות השיא מהרשת, ובכך תורמת להפחתת הצורך בכושר ייצור חדש ולחיסכון בפיתוח רשת חלוקה. הפעלת משאבות החום מביאה לחיסכון כלכלי כולל של 725-1,800 מיליארד ש"ח בבנייה חדשה ול-1,610-3,335 מיליארד ש"ח בתרחיש המורחב. העלות הנוספת של צריכת החשמל בתרחיש בנייה חדשה (160 מיליארד ש"ח) נמוכה משמעותית ביחס לחיסכון בכושר ייצור. ואילו בתרחיש תמרוץ בבנייה קיימת צריכת החשמל קטנה (חיסכון בעלות הדלקים של כ-210 מיליארד ש"ח).
 - **סינרגיה עם אנרגיה פוטו-וולטאית:** המדיניות מטפחת הרחבת השימוש באנרגיות מתחדשות באמצעות פינוי שטחי גג יקרי ערך להתקנות מערכות פוטו-וולטאיות חדשות, עם פוטנציאל מוערך של 43 מגה-ואט מותקן נוסף מדי שנה ופוטנציאל מצטבר של 1,000 מגה וואט עד שנת 2050.
 - **חשיבות תזמון ההפעלה:** עידוד הפעלת משאבות חום בשעות הייצור הפוטו-וולטאי ממקסם את החיסכון, אך גם בשעות השיא, נשמרת תועלת גבוהה (כ-0.5-0.7 מיליארד ש"ח).
 - **תמרוץ בניינים קיימים משפר משמעותית את התועלת:** עידוד בעלי דודי חשמל קיימים לעבור למשאבות חום יכול להגדיל את התועלת הכלכלית הכוללת ל-1,610-3,335 מיליון ש"ח. גם בתרחיש שמרני של קצב מעבר איטי (0.5% בשנה), התועלת נשארת משמעותית (0.8-1.6 מיליארד ש"ח).
 - **עמידות התוצאות:** החיסכון נשאר משמעותי גם בתרחישים שמרניים, ומדגיש את תרומת המשאבות ליציבות ולאמינות רשת החשמל.
- שילוב משאבות חום עם ייצור פוטו-וולטאי מבוזר (חלופה ג') עדיף על החלופה הרווחת כיום (מערכות תרמו-סולאריות ודודים חשמליים), הן מבחינה כלכלית והן בהפחתת עומסי שיא בחורף ובקיץ. משאבות החום



מצטיינות ביעילות אנרגטית גבוהה (COP של 3-4), מאפשרות חימום מקדים בצהריים וניצול ייצור החשמל הפוטו-וולטאי, ובכך מבטיחות אספקת מים חמים תוך כדי הפחתת הביקוש לחשמל בשעות השיא.

לצד זאת, יש חשיבות לשינוי רגולטורי: כיום צרכנים ביתיים בישראל אינם משתתפים בהסדרי ניהול ביקושים, אף שחלקם בצריכת השיא בערבי החורף יכול להגיע עד למעלה ממחצית מהביקוש המשקי. שילובם בהסדרים אלה יגביר את יעילות חלופה ג' ברמה הארצית.

לסיכום, אימוץ רחב של משאבות חום עם מערכות פוטו-וולטאיות צפוי לחסוך למשק 0.7-3.3 מיליארד ₪, להפחית משמעותית את עומסי השיא ולתרום ליתירות ולאמינות רשת החשמל הישראלית בטווח הארוך.

7. חסמים, תובנות והמלצות להמשך

דו"ח זה נערך על רקע יעדי האנרגיה הלאומיים של ישראל ובוחן חמש חלופות טכנולוגיות לחימום מים במבני מגורים משותפים. הניתוח, שהתבסס על גישת הערך הנוכחי הנקי (NPV) לאורך 25 שנים, בחן את כדאיות החלופות מנקודת המבט של היזם, משק הבית ומשק החשמל בשני סוגי מבנים (7 ו-15 קומות) ובשלושה תרחישי ביקוש.

7.1 סיכום הממצאים ותובנות עיקריות

הממצאים הכלכליים והאנרגטיים מצביעים באופן מובהק על החלופה הכדאית ביותר, כפי שמסוכם בטבלה הבאה:

טבלה 26 – סיכום החלופות הכדאיות ביותר למשק הבית

טיפולוגית המבנה	החלופה הכדאית ביותר למשק הבית	עלות שנתית ממוצעת ליחידת דיור	חיסכון שנתי לעומת חלופה א' (חלופת הבסיס)	חיסכון שנתי לעומת חלופה ב' (חלופת המציאות הרגולטורית)
בניין בן 7 קומות	משאבות חום ומערכת פוטו-וולטאית (חלופה ג')	455-770 ₪/שנה (ראה תרשים 5)	53%-36%	-
בניין בן 15 קומות	וולטאית (חלופה ג')	597-912 ₪/שנה (ראה תרשים 6)	47%	40%-28%

עלויות חלופה א' (חלופת הבסיס) הן 968-1,201 ₪ לשנה ליחידת דיור בבניין בן 7 קומות ו-1,122-1,735 ₪ לשנה ליחידת דיור בבניין בן 15 קומות. בבניין בן 15 קומות, חלופה ב' (חלופת המציאות הרגולטורית) מציגה עלות של 992-1,269 ₪ לשנה ליחידת דיור.

7.2 חסמים ליישום החלופה הנבחרת ותובנות מרכזיות מן הניתוח

7.2.1 חסמים ליישום החלופה הנבחרת

פרק זה מציג את החסמים המרכזיים המונעים אימוץ רחב של החלופה הנבחרת: ראשית, בעיית הסוכן, שבפועל מתעדף עלויות הקמה (CAPEX) נמוכות על פני חיסכון מחזור-חיים לדיירים; שנית, פער רגולטורי בין החלופה המיטבית לבין דרישות תקנה 24 לתקנות התכנון והבנייה; ושלישית, חוסר היכרות ומידע נגיש לציבור לגבי התועלות הכלכליות והאנרגטיות של החלופה.

בעיית הסוכן - החסם נובע מפער בין נקודת המבט של היזם, המתמקד בעלות ההקמה (CAPEX) ובמכירה קצרה-טווח, לבין טובת הדיירים הנשענת על עלות-מחזור חיים כולל. אף שהחלופה ג' מפחיתה הוצאות תפעול וצריכת אנרגיה לאורך השנים, תוספת ההשקעה הראשונית בסדר גודל של בכ-3,600-3,800 ₪ (תוספת של כ-4,500-4,200 ₪ עבור הדייר⁷²) ליחידת דיור מקטינה את כדאיותה בעיני היזם, שאינו נהנה ישירות מהחיסכון העתידי. היעדר מנגנון להעברת הערך גורם לכך שהחלטת התכנון מתעדפת פתרונות זולים להקמה אך יקרים לאורך חיי הבניין.

פער רגולטורי – ניתוח החלופות בראי תקנה 24

תקנה 24 לתקנות התכנון והבנייה (תכן הבנייה) (תברואה), תש"פ-2019⁷³ מגדירה את הדרישות להתקנת מערכות לחימום מים והפקת אנרגיה בבניין מגורים. התקנה כוללת שלושה רכיבים מרכזיים.

סעיף (1) קובע את סוגי המערכות המותרות לאספקת מים חמים: מערכת סולרית (תרמו-סולארית) לפי ת"י 579, משאבות חום לפי ת"י 6226 ות"י 16147, או כל מערכת אחרת המספקת לפחות 1,897,500 קילו-קלוריות לשנה לכל דירת מגורים בצריכה מרבית שוות ערך ל-880 קוט"ש. יש לציין כי דודים חשמליים אינם נכללים ברשימת המערכות המותרות לאספקת מים חמים ראשית, אלא רק כמערכת גיבוי למערכת סולרית בהתאם לסעיף (4) ותקנה 12.

סעיף (2) קובע חובה להתקנת מערכת להפקת אנרגיה מאנרגיית שמש, רוח או חום שיורי. בבניין שאינו רב-קומות (מתחת ל-29 מטר) נדרשת הפקה של לפחות 2,206 קוט"ש לשנה לכל דירת מגורים – בבניין בן 7 קומות עם 28 יחידות דיור מדובר בכ-61.8 מגה-וואט שעה בשנה. בבניין רב-קומות (מעל 29 מטר) נדרשת הפקה של לפחות 76.7 מגה-וואט שעה בשנה לכלל הבניין.

סעיף (3) מאפשר להתקין מערכת אחת העונה על שתי הדרישות שבסעיפים (1) ו-(2). מערכת תרמו-סולארית היא המערכת היחידה שיכולה לעמוד בשני התנאים במקביל, שכן היא מספקת הן מים חמים והן הפקת אנרגיה מאנרגיית השמש. כל מערכת אחרת לחימום מים, לרבות משאבות חום, מחייבת התקנת מערכת נוספת להפקת אנרגיה (כגון מערכת פוטו-וולטאית) על מנת לעמוד בדרישות התקנה.

בנוגע למערכות גיבוי, סעיף (4) קובע כי למערכת סולרית תותקן מערכת גיבוי לחימום מים לפי תקנה 12. תקנות 10-12 מגדירות את הדרישות הכלליות לאספקת מים חמים, כולל חובת ההתקנה (תקנה 10), הגבלות טמפרטורה (תקנה 11), וסוגי המערכות המותרות (תקנה 12). תקנה 12 מפרטת את אמצעי הגיבוי האפשריים, הכוללים גז, חשמל, משאבות חום או אמצעי חימום אחרים. בפועל, הגיבוי הנפוץ ביותר למערכות סולריות הוא גוף חימום חשמלי המותקן בתוך הדוד – פתרון פשוט וזול להתקנה אך בעל יעילות אנרגטית נמוכה, כפי שעולה מניתוח מאזן האנרגיה.

⁷² התוספת לדייר כוללת מע"מ של 18%

⁷³ [תקנות התכנון והבנייה \(תכן הבנייה\) \(תברואה\), תש"פ-2019](#)

טבלה 27 – ניתוח החלופות בניתוח בראי תקנה 24

15 קומות	7 קומות	
לא עומדת בתקנה 24 – לפי סעיף (1) לא ניתן להתקין דוד חשמלי כמערכת ראשית לחימום מים	עומדת בתקנה 24	חלופה א'
עומדת בתקנה 24	-	חלופה ב'
עומדת בתקנה 24	לא עומדת בתקנה 24 - בחלופה זו מיוצר כ-55 MWh לעומת 61.8 הנדרשים לפי תקנה 24	חלופה ג'
לא עומדת בתקנה 24 – לפי סעיף (1) לא ניתן להתקין דוד חשמלי כמערכת ראשית לחימום מים	לא עומדת בתקנה 24 – לפי סעיף (1) לא ניתן להתקין דוד חשמלי כמערכת ראשית לחימום מים	חלופה ד'
עומדת בתקנה 24	עומדת בתקנה 24	חלופה ה'

מניתוח העמידה בתקנה 24 עולה ממצא משמעותי: לא כל החלופות היעילות ביותר עומדות בדרישות הרגולטוריות הנוכחיות. חלופה ג' (משאבות חום עם מערכת פוטו-וולטאית) מציגה ביצועים מיטביים הן מבחינה כלכלית (חיסכון של 36%-53% למשק הבית) והן מבחינה אנרגטית (ייצור עודף אנרגיה ביחס לצורך לחימום מים), אך בבניין בן 7 קומות היא אינה עומדת בדרישות התקנה. הסיבה לכך נעוצה בדרישות שטח הגג: בבניינים שאינם רבי קומות (מתחת ל-29 מטר) נדרשים 14.4 מ"ר שטח גג לכל דירה, ובבניינים רבי קומות (מעל 29 מטר) נדרש שטח גג של כ-543 מ"ר לייצור כמות החשמל הנדרשת לפי התקנה (76.7 מגה-וואט שעה בשנה⁷⁴).

⁷⁴ להרחבה ראה נספח ד' - ניתוח היחס שבין מספר הדירות לגודל הגג לשם עמידה בתקנה 24 בראי חלופה ג'.

פער זה בין הכדאיות בפועל לבין הדרישות הרגולטוריות משקף את השינויים שחלו בשוק מאז תיקון התקנות ב-2018. באותה עת, טכנולוגיית משאבות החום כמעט לא הייתה קיימת בשוק הבנייה הישראלי, ועצם תיקון התקנה היה הזרז המרכזי להתפתחות השוק. כיום, לאחר שהותקנו אלפי משאבות חום בבנייה החדשה והטכנולוגיה הוכיחה את יעילותה, נוצרה הזדמנות לעדכן את המסגרת הרגולטורית כך שתשקף את המציאות הטכנולוגית העדכנית.

בבנייה הרוויה קיים פער נוסף בין דרישות התקנה לבין הפרקטיקה הנהוגה בשוק. בעוד שתקנה 24 מחייבת, הלכה למעשה, התקנת משאבות חום בקומות התחתונות הנעדרות גישה סולארית ישירה, הבניינים החדשים עדיין מותקנים דודים חשמליים בקומות אלו. יתרה מכך, הניתוח הכלכלי מעלה כי גם עמידה מלאה בדרישות התקנה – שילוב של מערכות תרמו-סולאריות בקומות העליונות עם משאבות חום בקומות התחתונות – עדיין יקרה יותר מחלופה ג' המבוססת באופן מלא על משאבות חום לכלל הבניין בשילוב מערכת פוטו-וולטאית. ממצא זה מדגיש כי המעבר למשאבות חום המגובות בייצור חשמל סולארי מציג עדיפות כלכלית ותפעולית על פני שימור הטכנולוגיה המסורתית של מערכות תרמו-סולאריות בבניינים רבי-קומות.

הנגשת מידע לציבור - חוסר מודעות, מידע חלקי וקושי להשוות בין חלופות על בסיס העלות מייצרים חסם התנהגותי משמעותי. דיירים וועדי בתים מתקשים לאמוד חיסכון עתידי, עלויות תחזוקה וסיכוני ביצועים, ולכן נוטים להעדיף מחיר רכישה נמוך על פני חיסכון לאורך זמן. העדר כלים פשוטים (מחשבון עלות מחזור חיים, גילוי נאות של הוצאות שנתיות, תיוג/תו אינטגרטיבי למערכות חימום מים בבניינים) מפחית אמון ומעכב החלטה. שקיפות נתונים, סטנדרטיזציה, ותקשורת ממוקדת-משתמש הם תנאי להאצת אימוץ החלופה היעילה.

התחשבות כנגד צריכת החשמל של משק הבית

הניתוח הטכנו-כלכלי מצביע על כך ששיטת ההזרמה משפרת את הכדאיות הכלכלית של חלופה ג' ביחס לשיטת הייצור, בזכות האפשרות לקזז צריכה מקומית כנגד הייצור הפוטו-וולטאי. עם זאת, במסגרת הסדרי ההתחשבות הקיימים, הקיזוז מוגבל לצריכת הרכוש המשותף בלבד ואינו חל על צריכת משקי הבית הפרטיים הנמדדת במונים האישיים. מגבלה רגולטורית זו מונעת את מימוש מלוא הפוטנציאל הכלכלי של החלופה הנבחרת, ומהווה חסם שיש לתת עליו את הדעת בעת גיבוש המלצות מדיניות ליישום.

7.2.2 תובנות מרכזיות מהניתוח

- **יתרונות אנרגטיים למשק הבית ולמשק החשמל:** חלופה ג' מייצרת חשמל בכמות העולה על זו הנדרשת לחימום המים. עודף אנרגיה זה (19%-109%), יחד עם ניהול צריכה חכם, מפחית באופן משמעותי את העומס על רשת החשמל בשעות השיא ותורם ליציבותה.
- **השפעת הרכב המערכות ומספר הדירות:** היתרון הכלכלי של חלופות ג' ו-ה' מתעצם בבניין הגבוה, בעיקר בגלל ההרכב השונה של חלופת הבסיס (חלופה א'). בבניין בן 15 קומות, 32 דירות מסתמכות על דודים חשמליים לא יעילים, ולכן המעבר למערכות מתקדמות (כמו משאבות חום) יוצר חיסכון

משמעותי בהשוואה לבניין הנמוך, שבו כל הדירות מצוידות במערכות תרמו-סולאריות. חלופת המציאות הרגולטורית (חלופה ב') ממחישה חלק מהפוטנציאל זה: החלפת הדודים החשמליים במשאבות חום עבור 32 יחידות הדיור בקומות התחתונות מניבה חיסכון של 12%-27% ביחס לחלופת הבסיס. עם זאת, חלופות ג' וה' ממשות פוטנציאל חיסכון גדול יותר – 47% ו- 36%-43% בהתאמה. בנוסף, מספר הדירות הגדול יותר מאפשר לחלק את העלויות הקבועות של המערכות, ובכך לתרום ליתרון לגודל, בעיקר בחלופות הכוללות מערכת פוטו-וולטאיות.

- **התועלת הכלכלית לרשת החשמל משמעותית ועמידה:** אימוץ משאבות חום בשילוב מערכות פוטו-וולטאיות צפוי לחסוך למשק 0.7-3.3 מיליארד ₪ (תלוי בהרחבה לבנייה קיימת), להפחית את עומסי השיא בחורף עד MW 1,050, ולחסוך השקעות בכושר ייצור ורשת חלוקה. החיסכון נשאר משמעותי גם בתרחישים שמרניים.
- **שינוי רגולטורי הכרחי למימוש הפוטנציאל:** משקי הבית מהווים עד 56% מהביקוש בשעות השיא בחורף, אך אינם משולבים כיום בניהול ביקושים. שילובם, לצד התאמות רגולטוריות, הכרחי לניצול מלא של הפוטנציאל.

לסיכום, הדו"ח מספק בסיס נתונים מוצק ומקיף המאפשר לקובעי מדיניות לקדם פתרונות אנרגיה מקיימים בסקטור המבנים, תוך תרומה משמעותית ליעדים הלאומיים, לחיסכון כלכלי למשקי הבית ולחיזוק רשת החשמל.

7.3 המלצות מדיניות

פרק זה מציג צעדי מדיניות מומלצים למימוש הפוטנציאל של החלופה הנבחרת ולהפחתת חסמי שוק ורגולציה. ההמלצות מתמקדות בעדכון מסגרת רגולטורית, בתמרוץ כלכלי ממוקד לשדרוג בנייה קיימת, בניהול ביקושי החשמל ובהנגשת מידע וכלים לציבור – בבנייה חדשה וקיימת.

1. עדכון רגולציה – שילוב מערכות פוטו-וולטאיות ומשאבות חום בבנייה חדשה

מוצע לעגן כדרישת סף בהליכי היתר הבנייה התקנת מערכת פוטו-וולטאית ומשאבות חום לחימום מים, על בסיס ביצועי המערכת (Performance-based) ולא קביעה קשיחה. יש לכלול מסלול שקילות טכנולוגית ופטורים מוגבלים, לצד יישום מדורג המאפשר היערכות מקצועית של הענף.

2. תמריצים כלכליים – החלפת דודי חשמל בבנייה קיימת

נוכח היקף ההחלפה השנתי (כ-400,000 יחידות), מוצע להפעיל תכנית דו-שלבית: סיוע במימון עלות ההון (מענק/הלוואה מסובסדת). התוכנית תעדיף דירות ללא מערכות תרמו-סולאריות, תכלול סטנדרט התקנה ואחריות מינימלית, ותופעל במסגרת.

3. ניהול ביקושים – הפעלה בשעות שפל

מוצע לבחון קידום חלופות לעידוד שימוש במשאבות חום לחימום מים בשעות השפל של צריכת החשמל באמצעות, בין היתר, תעריפי זמן-שימוש, בקרים חכמים ותוכניות לניהול ביקושים באמצעות מאגדים (אגרגטורים). כל זאת, על מנת למצות את הסטת הביקושים משעות העומס לשעות השפל ובייחוד



לשעות הצהריים בהם הייצור הסולארי גבוה. יש להבטיח התאמה לקודי רשת ותקינה בטיחותית, ולבחון תמריצי ציוד חד-פעמיים להתקנת בקרים.

4. הנגשת מידע לציבור – כלים ושקיפות

מוצע לפרוס סט כלים אחיד: מחשבון עלות מחזור חיים להשוואת חלופות, "גילוי נאות אנרגטי" בעת רכישה/שדרוג, מדריך צרכן קצר ורישום מתקינים מדורג. בנוסף, מומלץ לפרסם נתוני ביצוע אנונימיים מתוכניות התמרוץ בדשבורד ציבורי ולקיים הסברה ממוקדת המדגישה אמינות, נוחות וחיסכון חודשי.

8. נספח א' - ניתוח רגישות להנחות הניתוח

ניתוח רגישות מקיף נערך כדי לבחון את חוסן התוצאות הכלכליות ולהעריך כיצד שינויים בפרמטרים מרכזיים משפיעים על הכדאיות של כל חלופה. המתודולוגיה התבססה על בחינת השפעת השינוי של כל פרמטר בנפרד על הערך הנוכחי הנקי (NPV) של עלות חימום המים לבניין, תוך שמירה על שאר הפרמטרים קבועים.

חמישה פרמטרים קריטיים נבחנו:

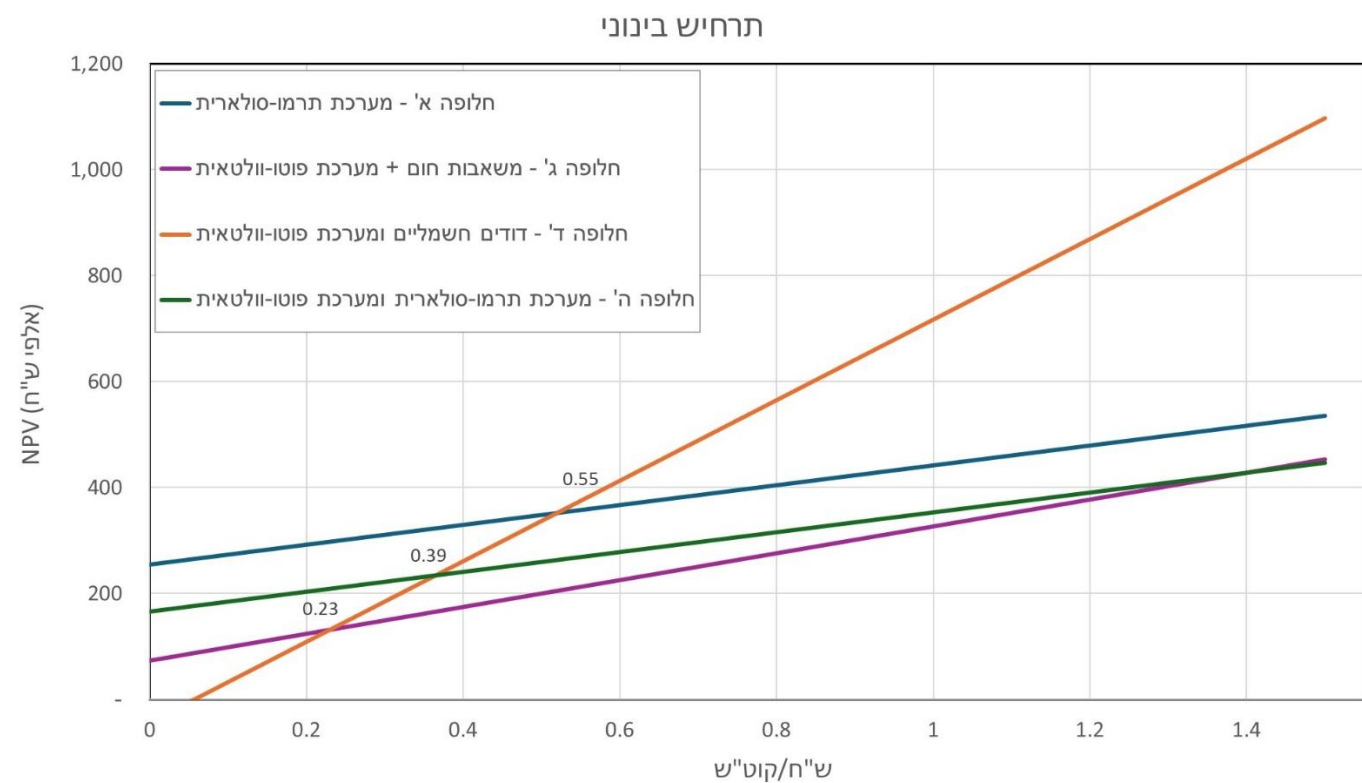
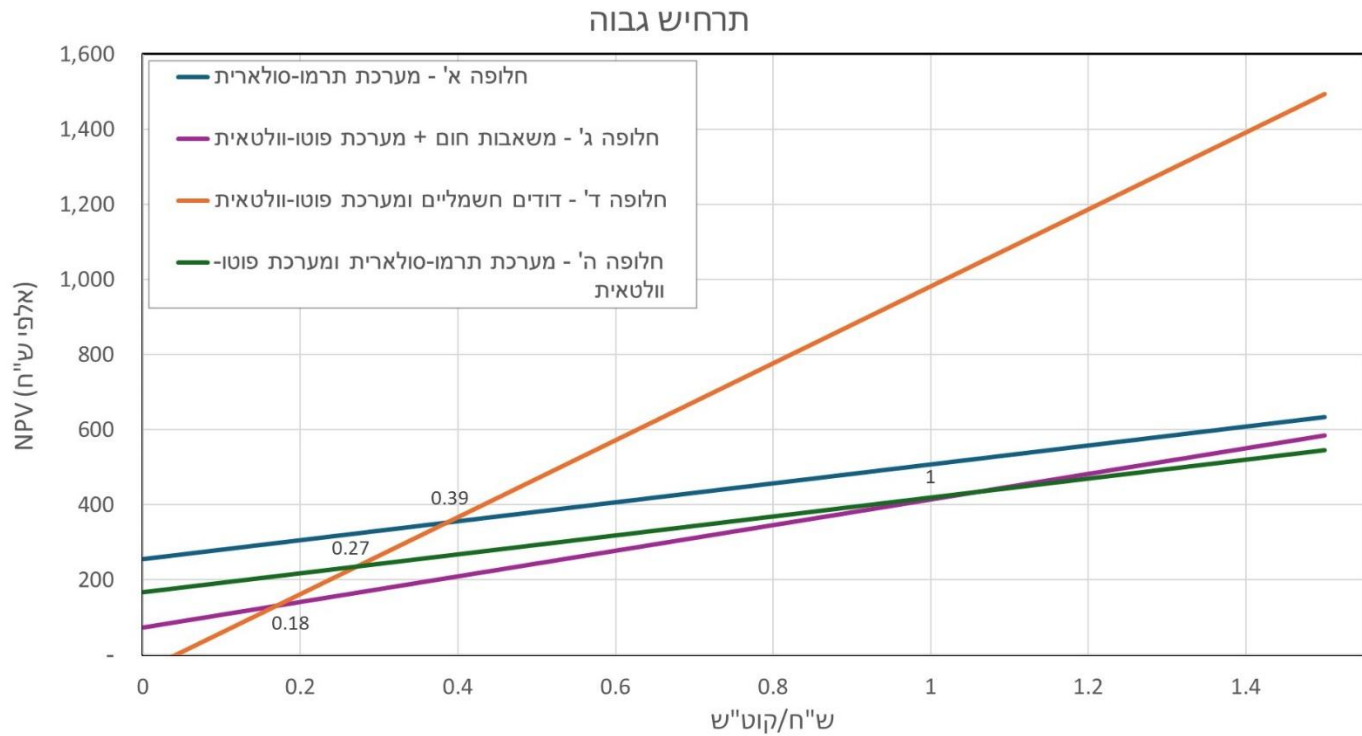
- אורך חיי המערכות
- עלות התחזוקה השנתית
- עלות ההון (CAPEX)
- מחיר החשמל
- תעריף מכירת חשמל ממערכות פוטו-וולטאיות

הבדיקה בוצעה באופן שיטתי עבור כל אחת מחמש החלופות הטכנולוגיות, בשני טיפוסים המבנים (7 ו-15 קומות), ובשלושת תרחישי הביקוש⁷⁵.

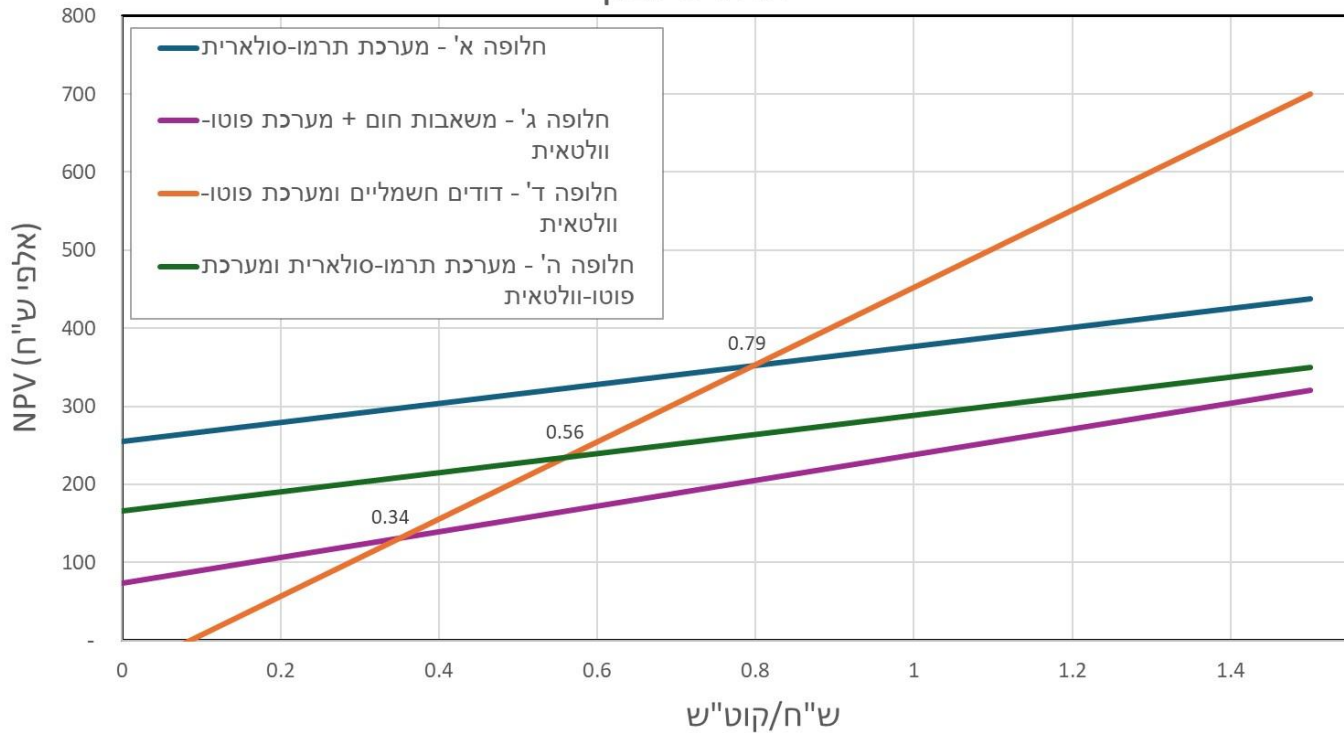
⁷⁵ ניתוח הרגישות מראה את תוצאות הניתוח עבור התרחיש הגבוה בלבד. את תוצאות הניתוח עבור התרחיש הבינוני והנמוך ניתן לראות נספח ב' –

8.1 מחיר החשמל

תרשים 8- ניתוח רגישות לתעריף החשמל בכל התרחישים בבניין בן 7 קומות - ערך נוכחי נקי לבניין כפונקציה של תעריף החשמל



תרשיש נמוך

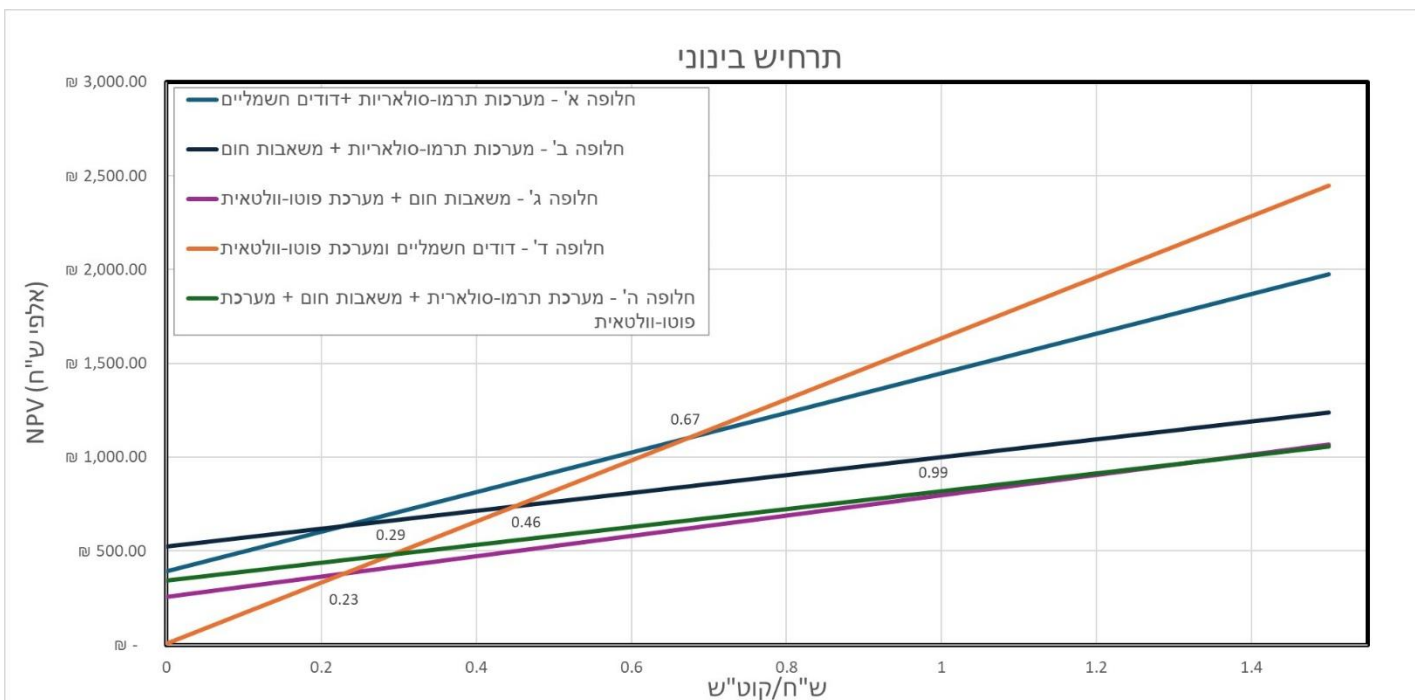
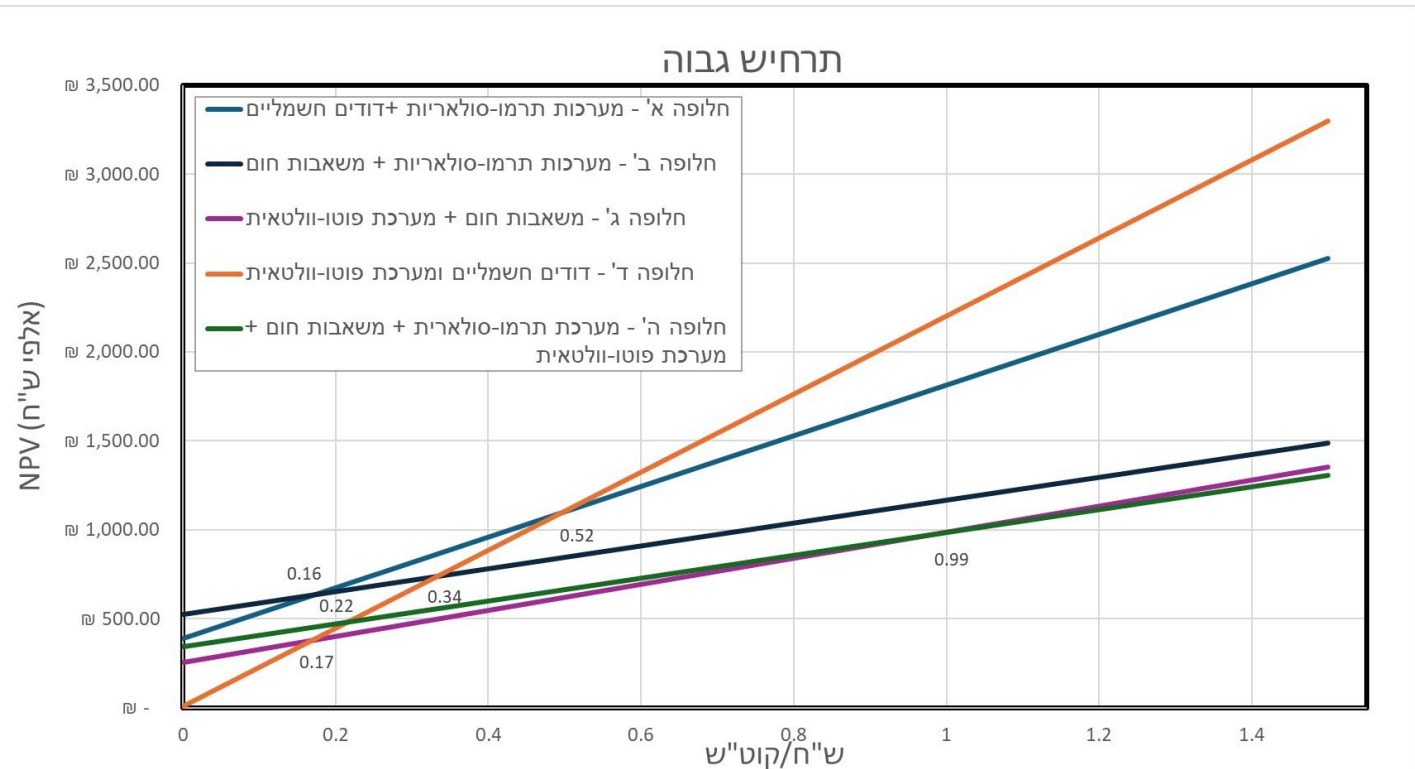


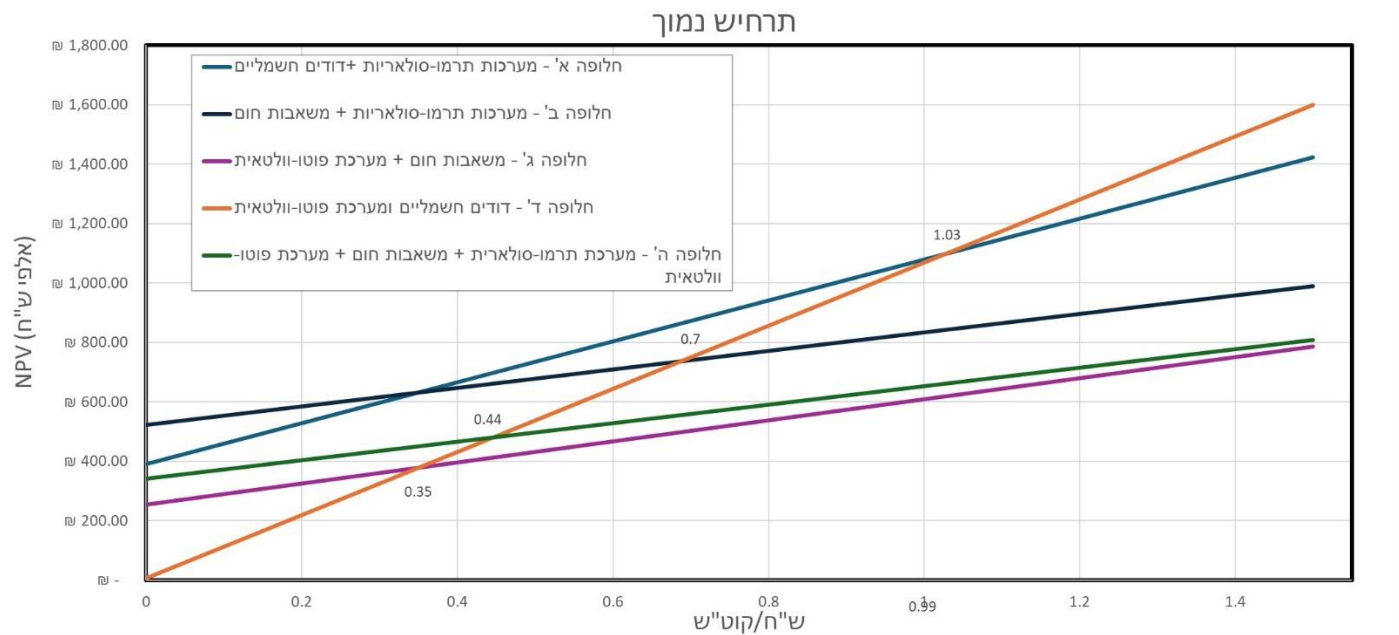
התרשימים מציגים את נקודות המפנה בכדאיות היחסית של חלופה ג' ביחס לחלופות האחרות כתלות בתעריף החשמל:

- בתרשיש הגבוה, בטווח בין 18-100 אג' לקוט"ש חלופה ג' היא העדיפה ביותר.
- בתרשיש הבינוני, מעל תעריף של 23 אג' לקוט"ש חלופה ג' היא העדיפה ביותר.
- בתרשיש הנמוך, מעל תעריף של 35 אג' לקוט"ש חלופה ג' היא העדיפה ביותר

מסקנה – חלופה ג' עדיפה תמיד על חלופת הבסיס. הטווח בו היא העדיפה ביותר מבין כל החלופות בכל התרשישים הוא 35-100 אג' לקוט"ש. טווח זה מתאים למחיר החשמל לצרכן בינואר 2025 (64 אג' לקוט"ש כולל מע"מ)

תרשים 9 - ניתוח רגישות לתעריף החשמל בכל התרחישים בבניין בן 15 קומות - ערך נוכחי נקי לבניין כפונקציה של תעריף החשמל





התרשימים מציגים את נקודות המפנה בכדאיות היחסית של חלופה ג' ביחס לחלופות האחרות כתלות בתעריף החשמל:

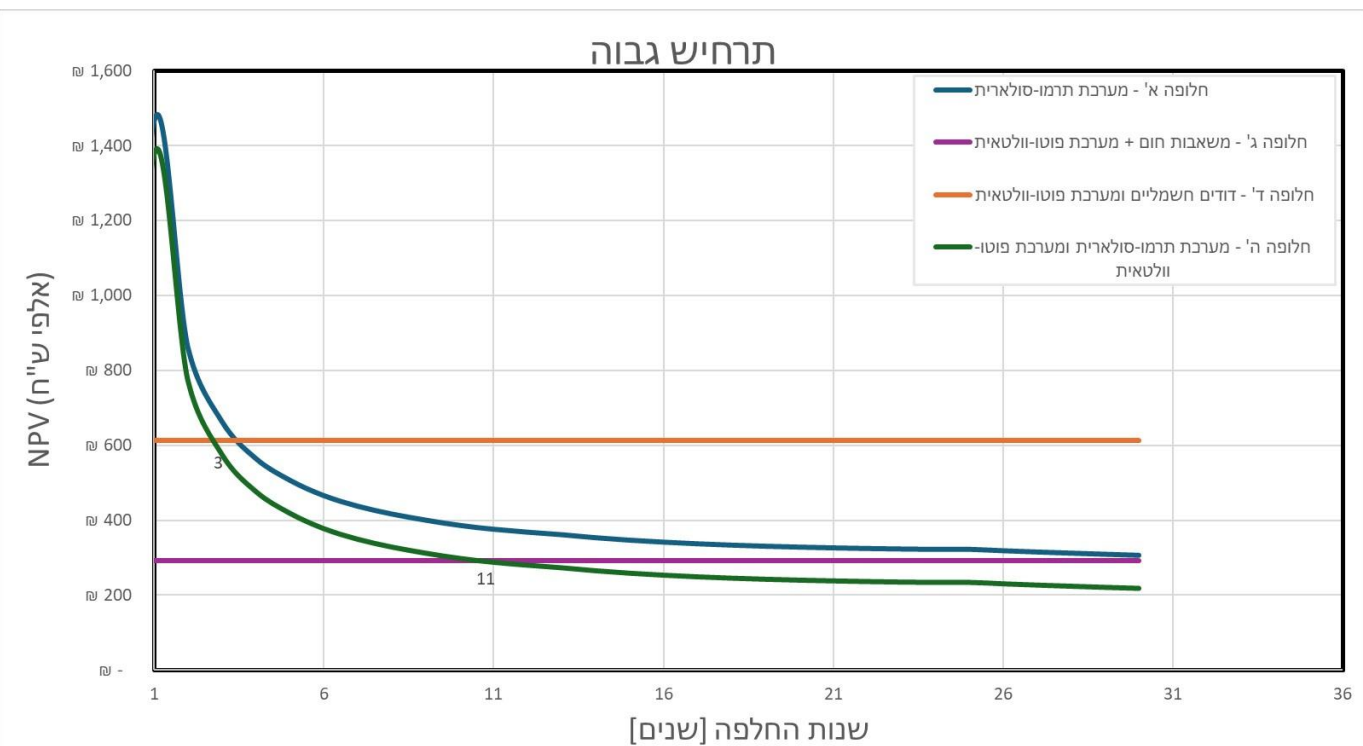
- בתרחיש הגבוה, חלופה ג' היא העדיפה ביותר בטווח של 17-99 אג' לקוט"ש.
- בתרחיש הבינוני, בטווח של 23-99 אג' לקוט"ש חלופה ג' היא העדיפה ביותר
- בתרחיש הנמוך, חלופה ג' העדיפה ביותר מעל תעריף של 35 אג' לקוט"ש

מסקנה - חלופה ג' עדיפה תמיד על חלופת הבסיס. הטווח בו היא העדיפה ביותר מבין כל החלופות בכל התרחישים הוא 35-99 אג' לקוט"ש. טווח זה מתאים למחיר החשמל לצרכן בינואר 2025 (64 אג' לקוט"ש כולל מע"מ)

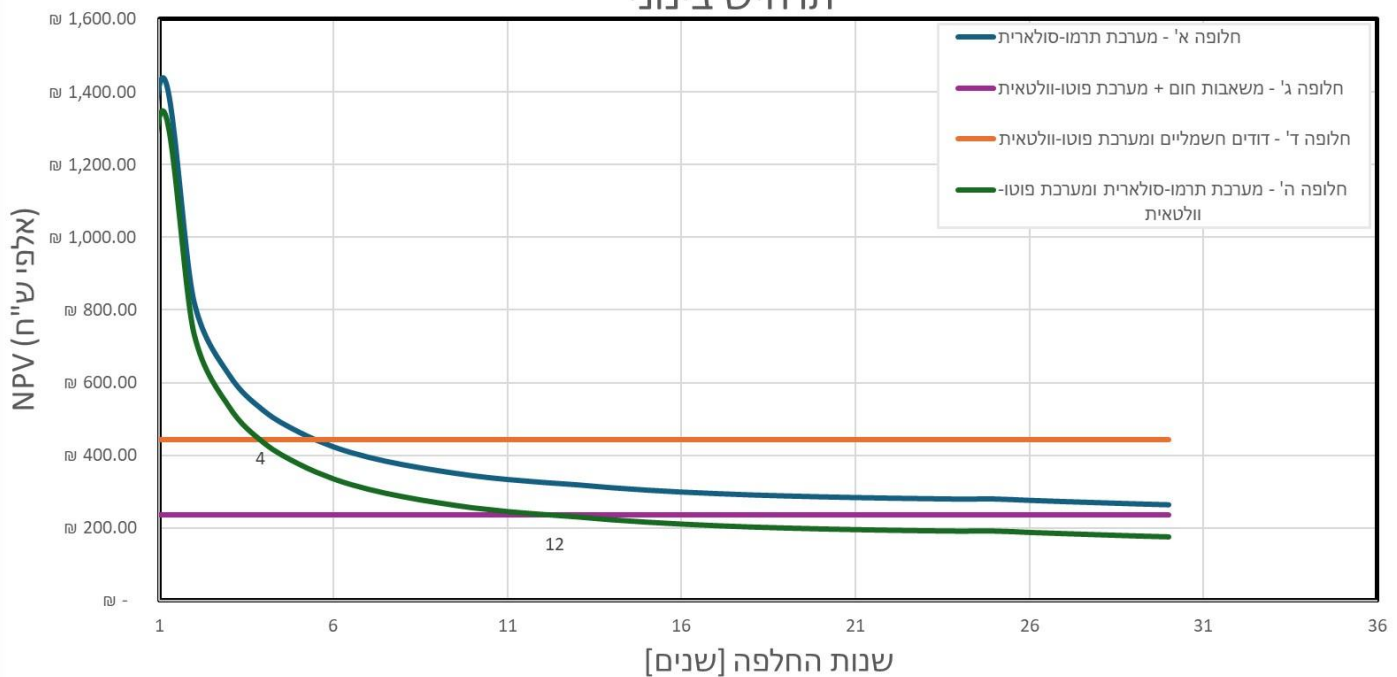
8.2 אורך חיי המערכות

הניתוח בחן את השפעת אורך חיי המערכות בחלופה א' על הערך הנוכחי הנקי של כל החלופות עבור שלוש הטכנולוגיות (תרמו-סולארי, משאבות חום ודוד חשמלי) לשני סוגי הבניינים ובכלל התרחישים. נמצא שעבור כל ערך ריאלי של אורך חיי הדוד החשמלי, חלופה ג' היא העדיפה ביותר מבין כל החלופות בכל התרחישים בשני סוגי הבניינים.

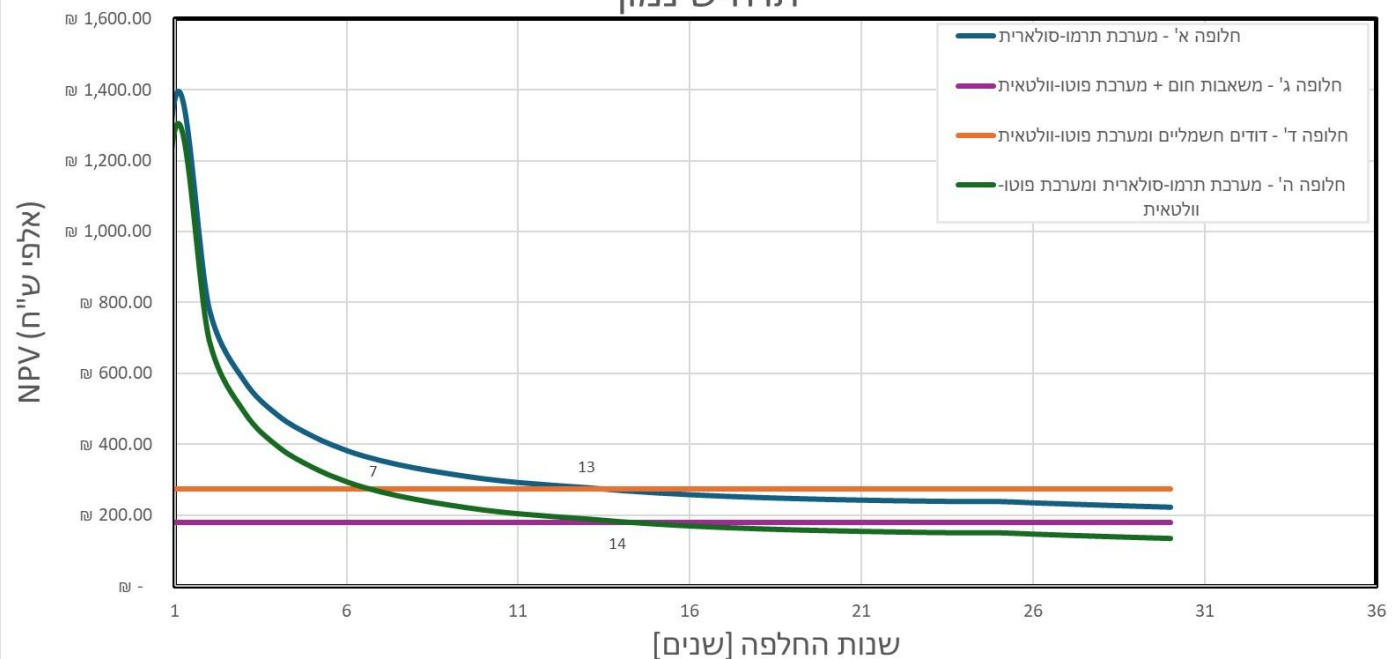
תרשים 10 - ערך נוכחי נקי של החלופות השונות כפונקציה של אורך חיי המערכת התרמו-סולארית בכל התרחישים – בניין בן 7 קומות



תרחיש בינוני



תרחיש נמוך

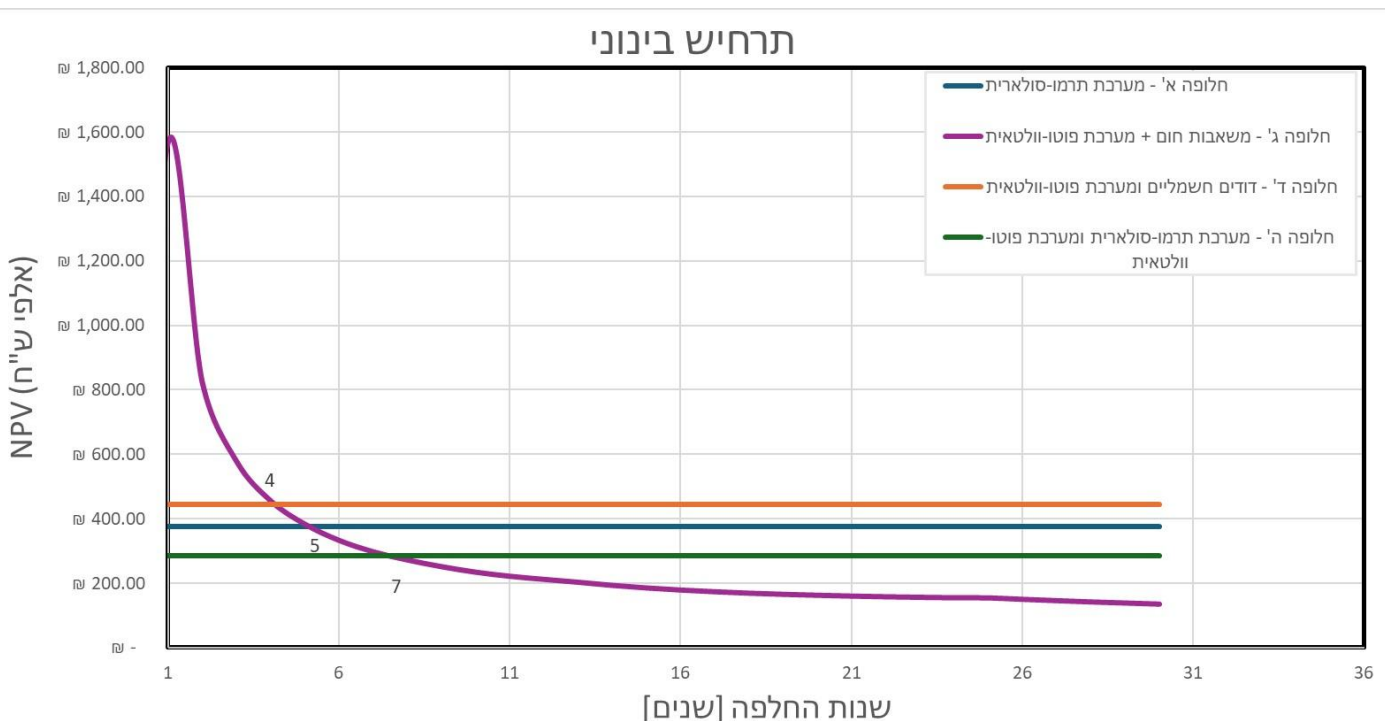
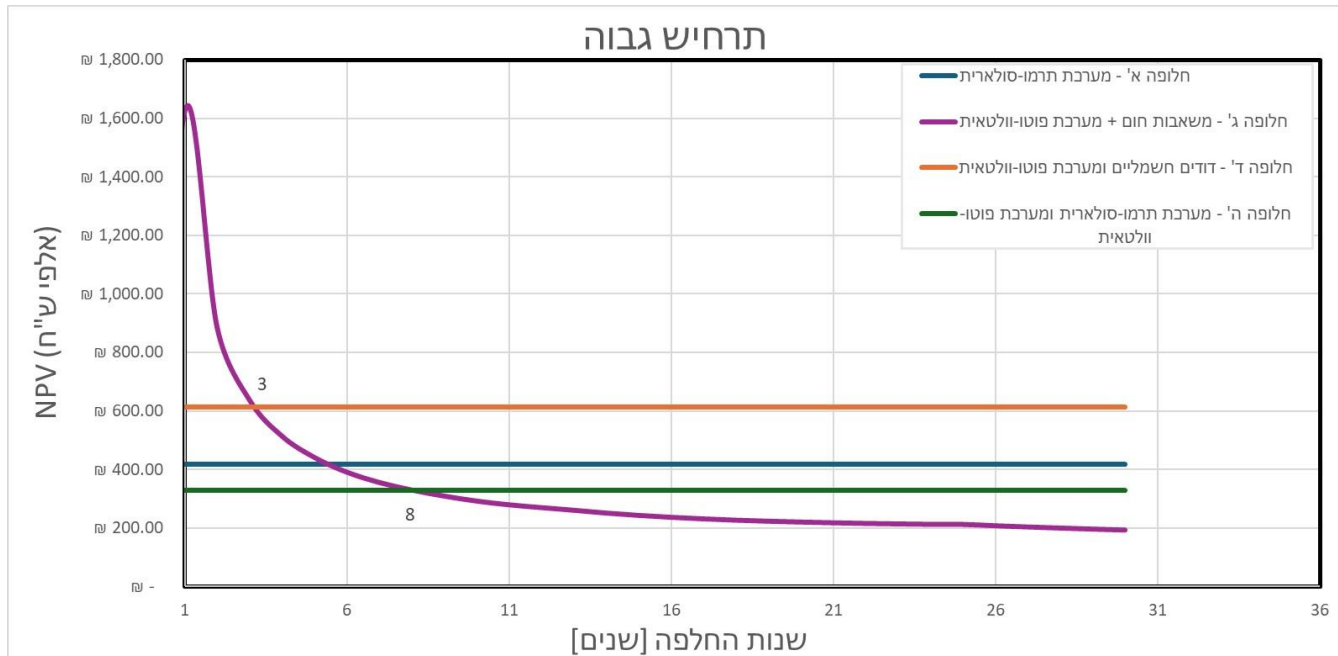


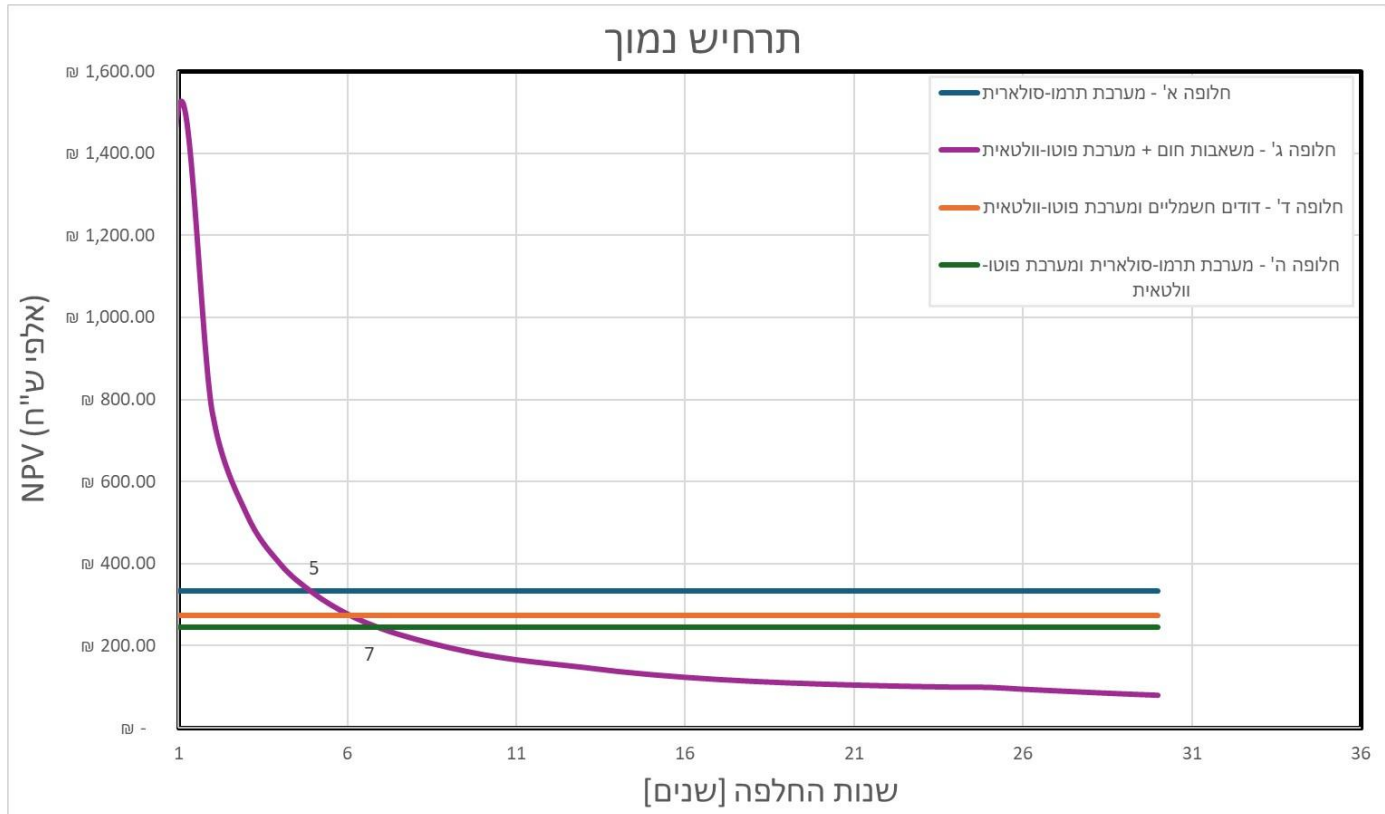
התרשימים מציגים את נקודות המפנה בכדאיות היחסית של חלופה ג' ביחס לחלופות האחרות כתלות באורך חיי המערכת התרמו-סולארית:

- בתרחיש הגבוה, חלופה ג' היא העדיפה ביותר עד 11 שנות החלפה. בטווח לאחר 11 שנות החלפה, חלופה ה' היא העדיפה ביותר
- בתרחיש הבינוני, חלופה ג' היא העדיפה ביותר עד 12 שנות החלפה. בתרחיש הנמוך, חלופה ג' היא העדיפה ביותר עד 14 שנות החלפה.

מסקנה - חלופה ג' עדיפה תמיד על חלופת הבסיס. אך חשוב לציין שאם אורך חיי המערכת התרמו-סולארית עולה על 11 שנים, חלופה ה' היא העדיפה ביותר.

תרשים 11 - ערך נוכחי נקי של החלופות השונות כפונקציה של אורך חיי משאבות חום בכל התרחישים – בניין בן 7 קומות



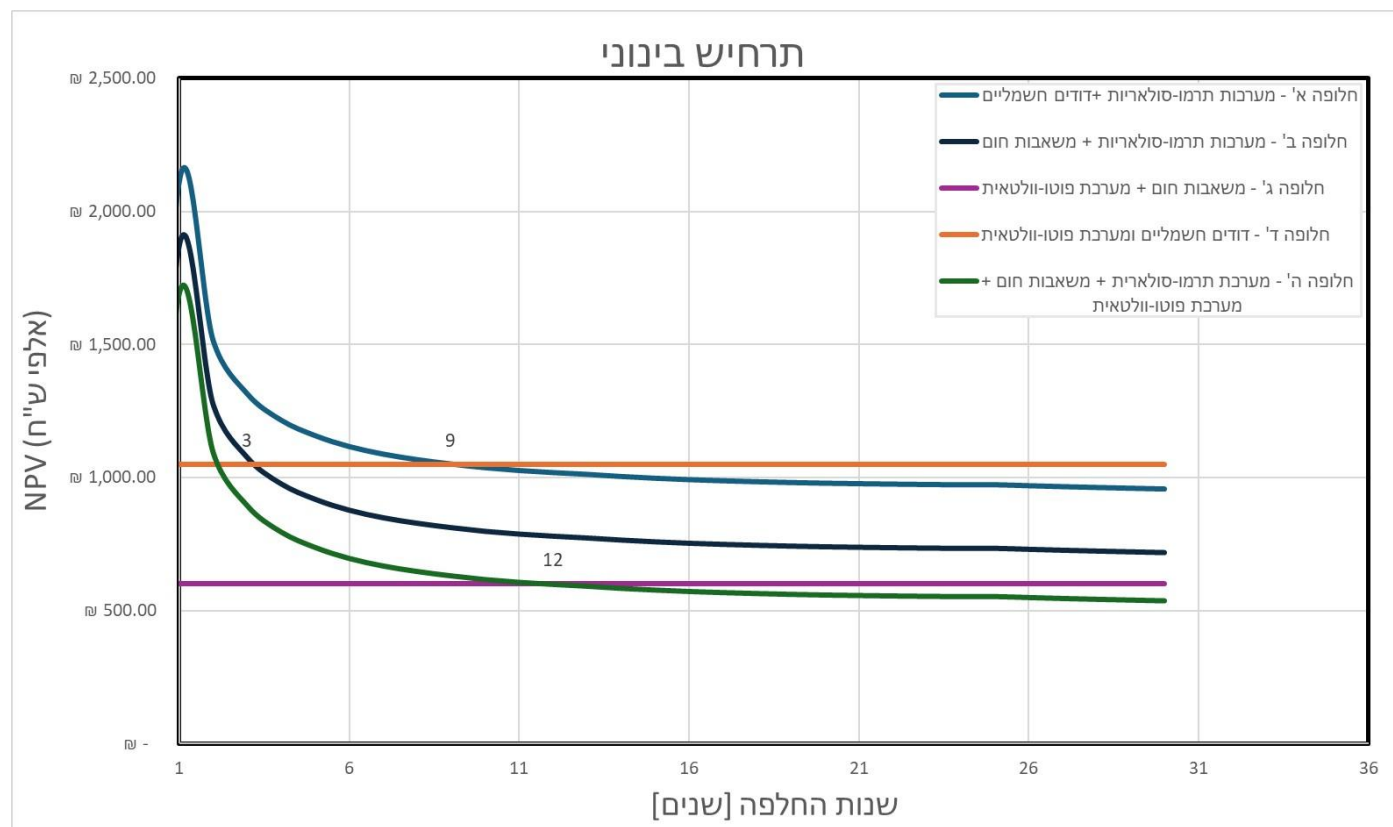
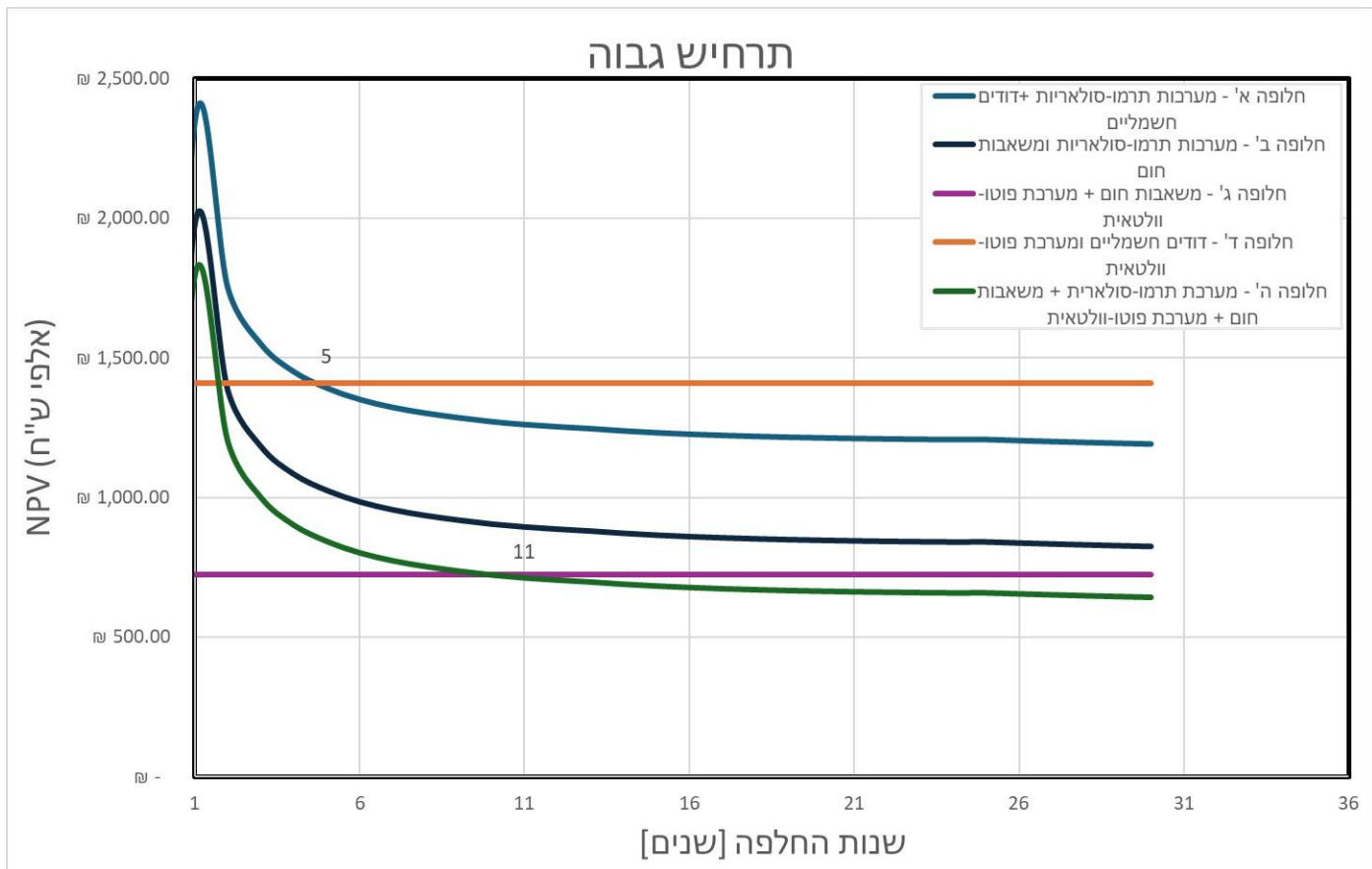


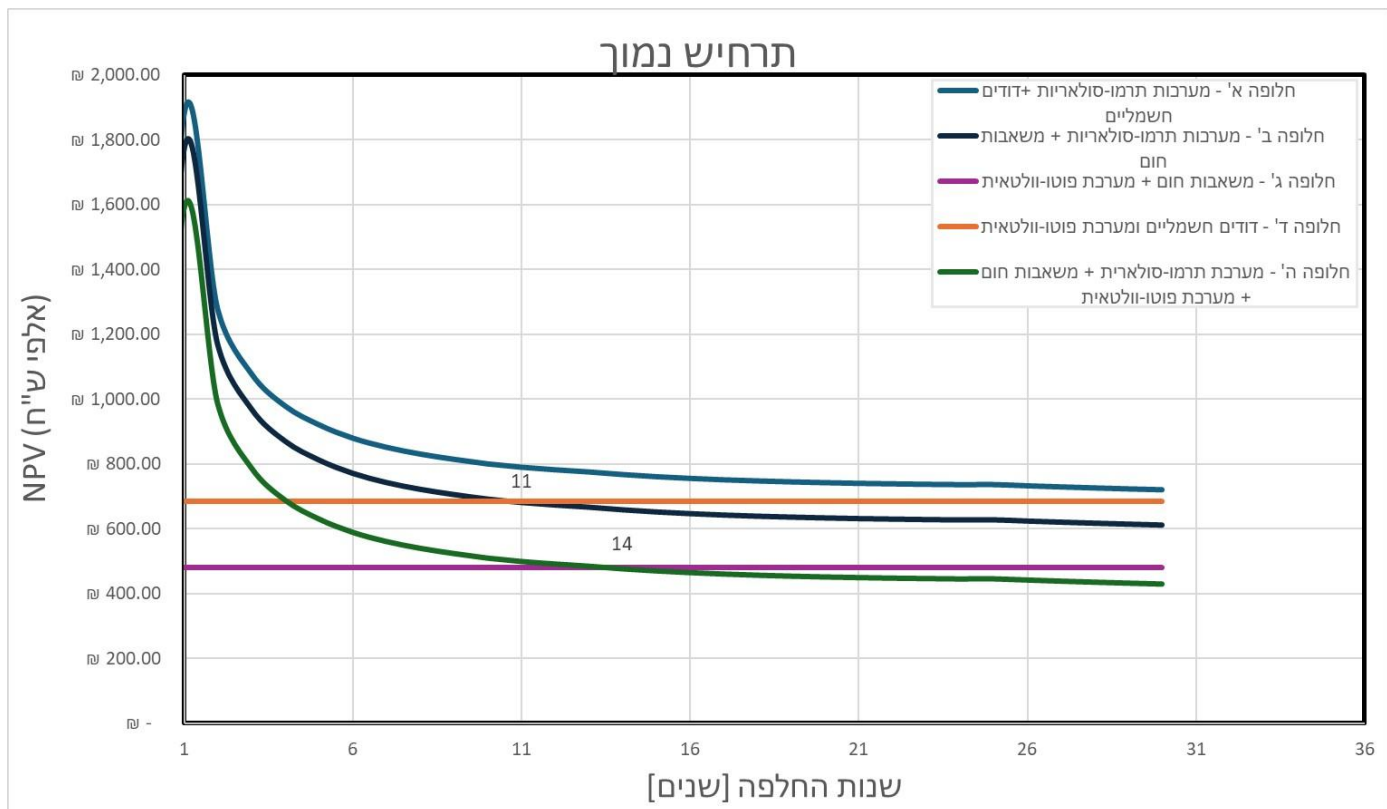
התרשימים מציגים את נקודות המפנה בכדאיות היחסית של חלופה ג' ביחס לחלופות האחרות כתלות באורך חיי משאבות החום:

- בתרחיש הגבוה, חלופה ג' היא העדיפה ביותר החל מ-8 שנות החלפה. עד 8 שנות החלפה, חלופה ה' היא העדיפה ביותר
- בתרחיש הבינוני, חלופה ג' היא העדיפה ביותר החל מ-7 שנות החלפה. עד 7 שנות החלפה, חלופה ה' היא העדיפה ביותר
- בתרחיש הנמוך, חלופה ג' היא העדיפה ביותר החל מ-7 שנות החלפה. עד 7 שנות החלפה, חלופה ה' היא העדיפה ביותר

מסקנה - חלופה ג' עדיפה על חלופת הבסיס כאשר אורך חיי משאבות החום גבוה מ-5 שנים. אך חשוב לציין שאם אורך חיי משאבת החום יורד מתחת ל-8 שנים, חלופה ה' היא העדיפה ביותר.

תרשים 12 - ערך נוכחי נקי של החלופות השונות כפונקציה של אורך חיי המערכת התרמו-סולארית בכל התרחישים – בניין בן 15 קומות



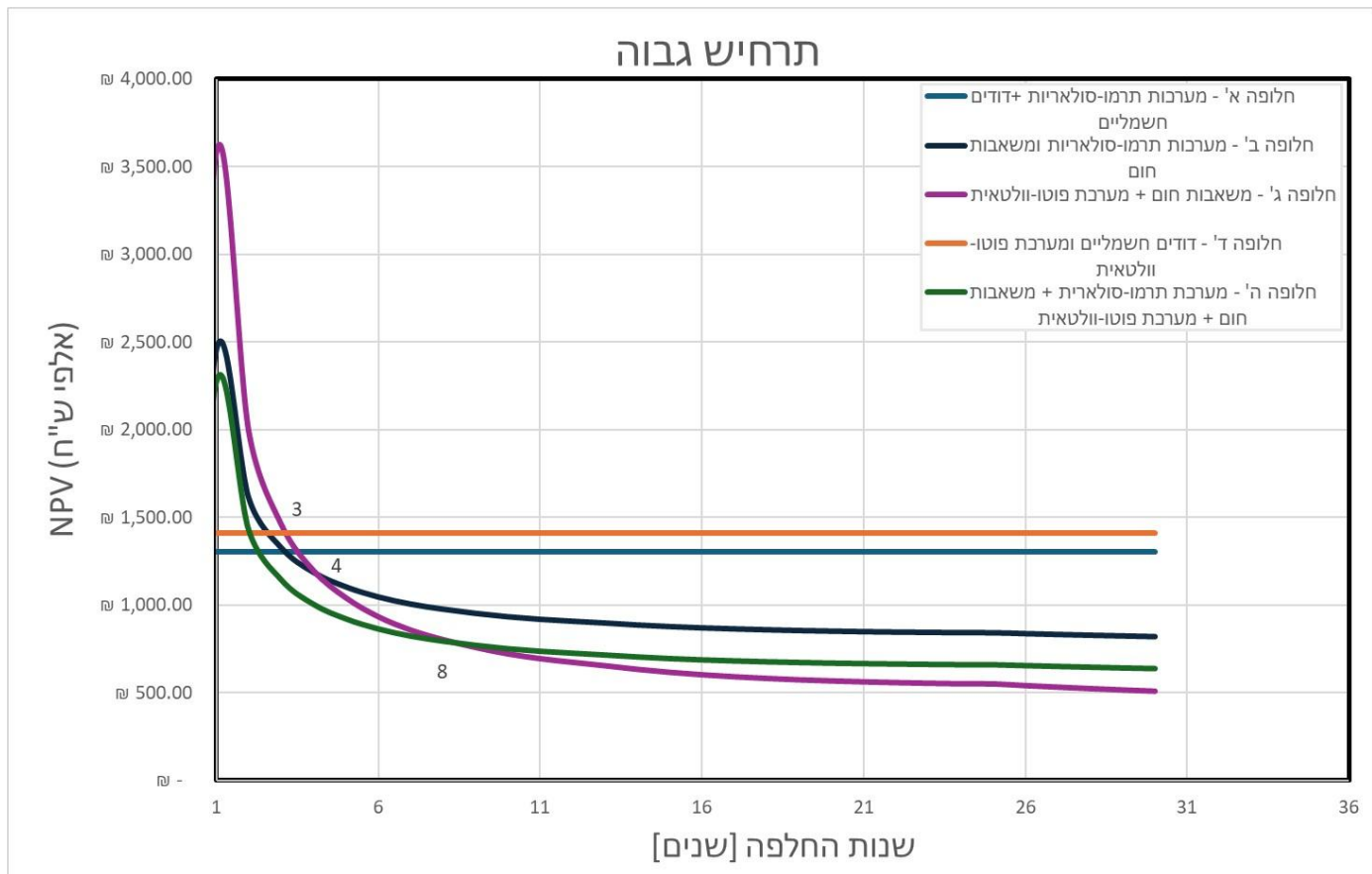


התרשימים מציגים את נקודות המפנה בכדאיות היחסית של חלופה ג' ביחס לחלופות האחרות כתלות באורך חיי המערכת התרמו-סולארית:

- בתרחיש הגבוה, חלופה ג' היא העדיפה ביותר עד 11 שנות החלפה. לאחר טווח זה חלופה ה' היא העדיפה ביותר
- בתרחיש הבינוני, חלופה ג' היא העדיפה ביותר עד 12 שנות החלפה
- בתרחיש הנמוך, חלופה ג' היא העדיפה ביותר עד 14 שנות החלפה

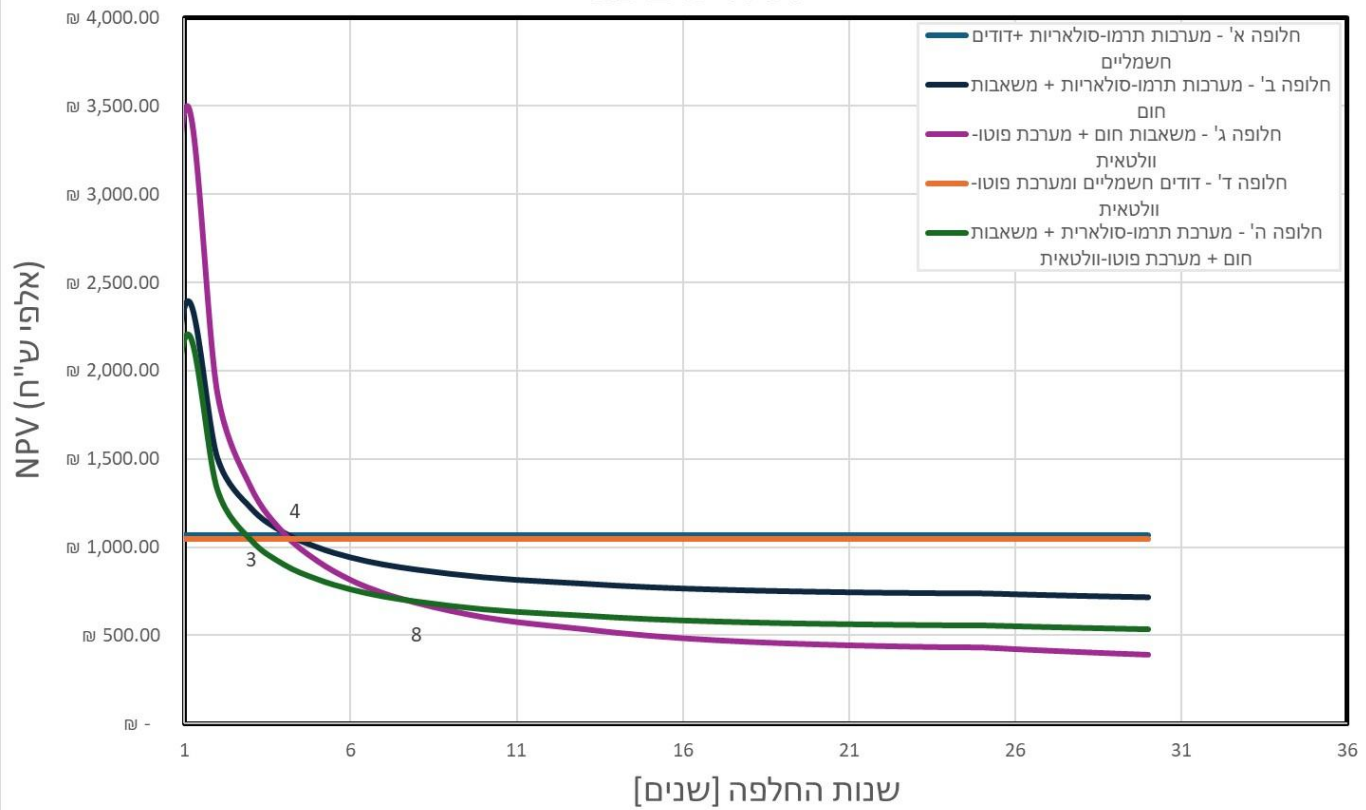
מסקנה - חלופה ג' עדיפה תמיד על חלופת הבסיס. אך חשוב לציין שאם אורך חיי המערכת התרמו-סולארית יעלה על 11 שנים, חלופה ה' תהיה העדיפה ביותר.

תרשים 13 - ערך נוכחי נקי של החלופות השונות כפונקציה של אורך חיי משאבת החום בכל התרחישים – בניין בן 15 קומות

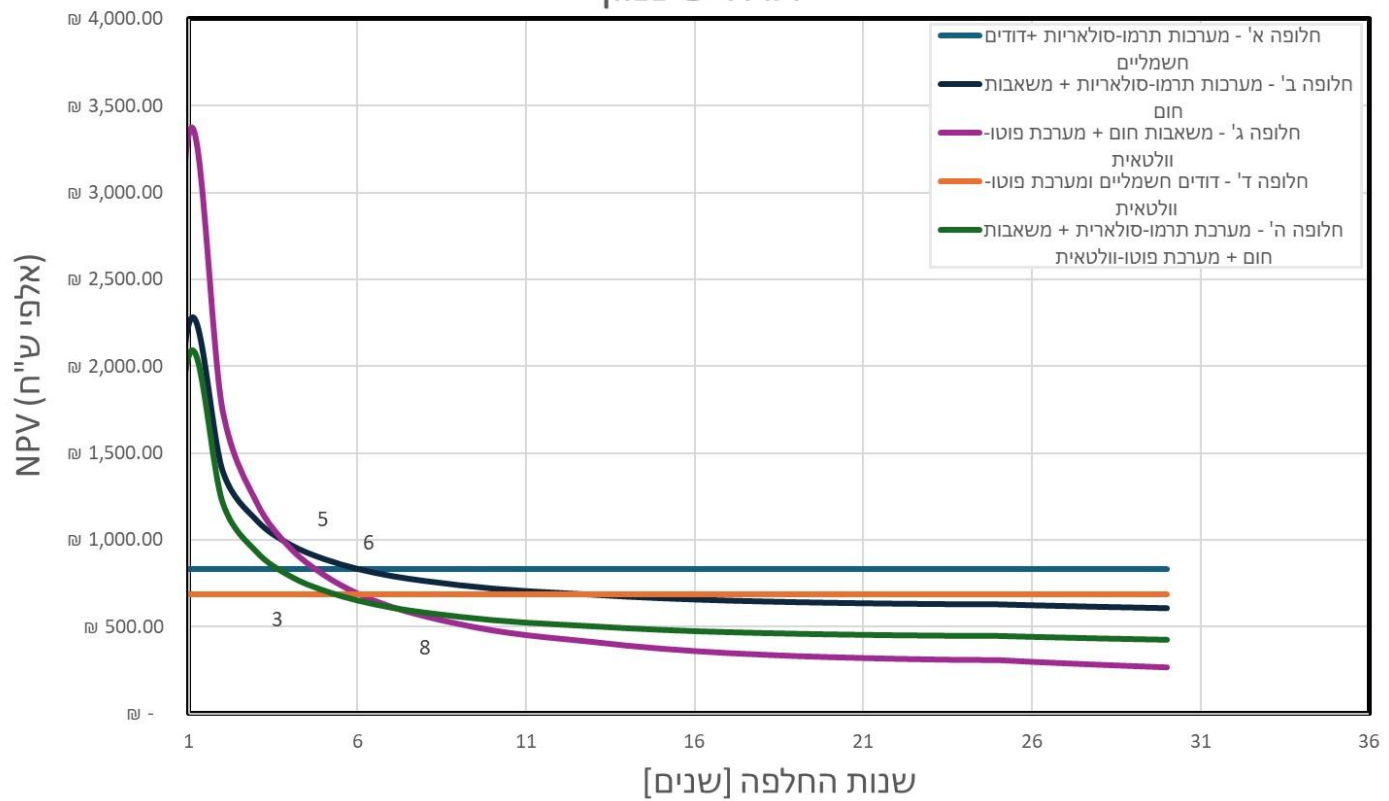




תרחיש בינוני



תרחיש נמוך





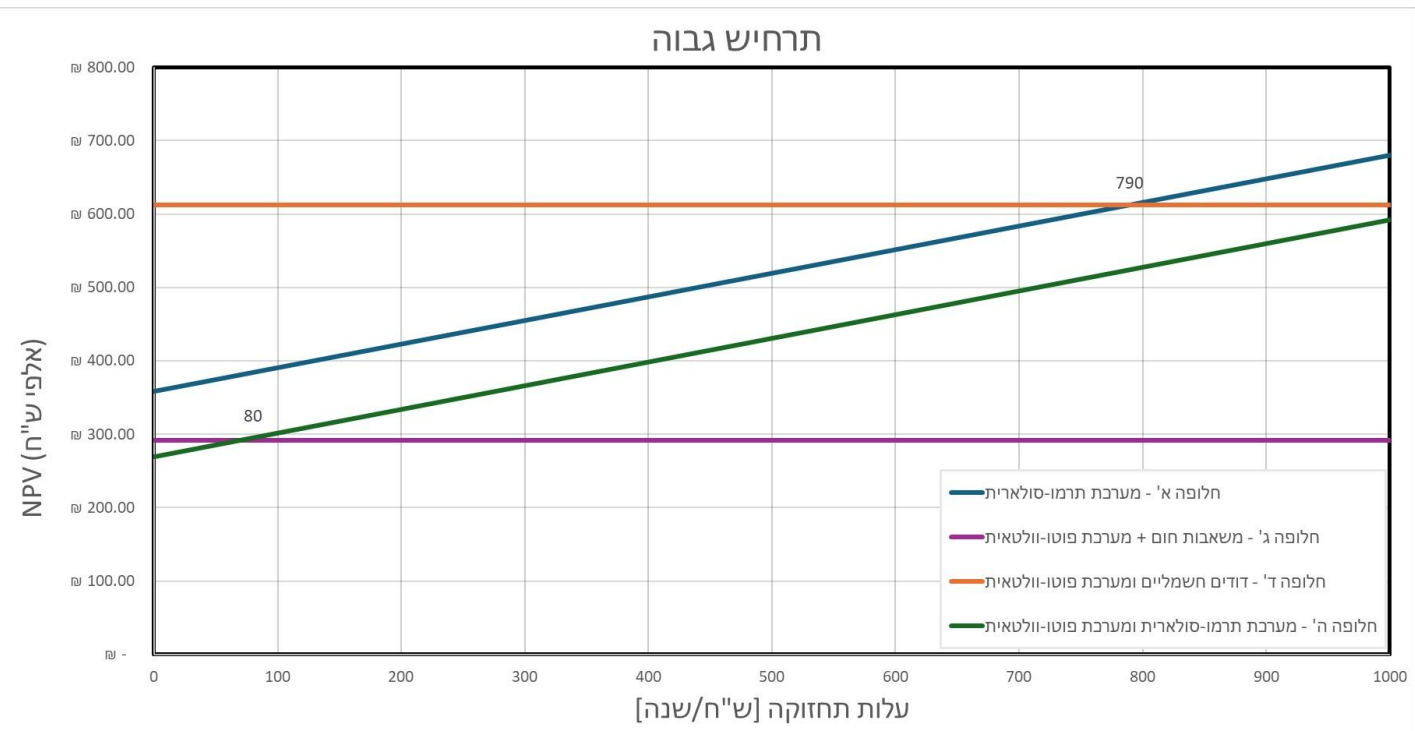
התרשימים מציגים את נקודות המפנה בכדאיות היחסית של חלופה ג' ביחס לחלופות האחרות כתלות באורך חיי משאבת החום – בכל התרחישים, חלופה ג' היא העדיפה ביותר כאשר אורך החיים של משאבות החום הוא לפחות 8 שנים. בטווח לפני 8 שנים, חלופה ה' היא העדיפה ביותר בכל התרחישים.

מסקנה - חלופה ג' עדיפה על חלופת הבסיס כאשר אורך חיי משאבות החום גבוה מ-3-5 שנים (תלוי ביקוש). אך חשוב לציין שאם אורך החיים יירד מתחת ל-4 שנים, חלופה ב' עדיפה על חלופה ג'. נוסף על כך, אם אורך החיים יירד מתחת ל-8 שנים, חלופה ה' תהיה העדיפה ביותר.

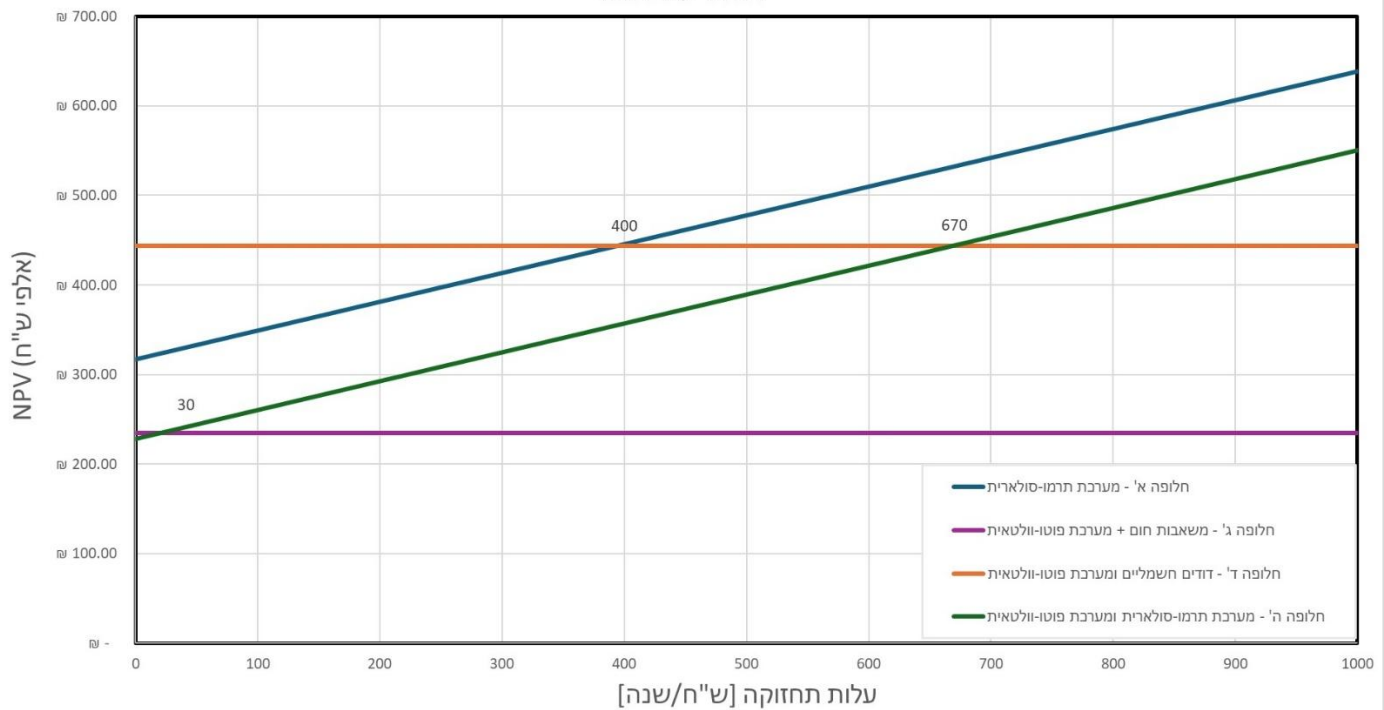
8.3 עלויות תחזוקה שנתית

הניתוח בחן כיצד שינויים בעלויות התחזוקה השנתיות משפיעים על הכדאיות הכלכלית של החלופות. עלויות התחזוקה הנוכחיות עומדות על 180 ₪ בשנה למערכות תרמו-סולאריות ודודים חשמליים, ו-110 ₪ בשנה למשאבות חום. נמצא שעבור כל ערך ריאלי של עלות תחזוקה של הדוד החשמלי, חלופה ג' היא העדיפה ביותר עבור שני סוגי הבניינים.

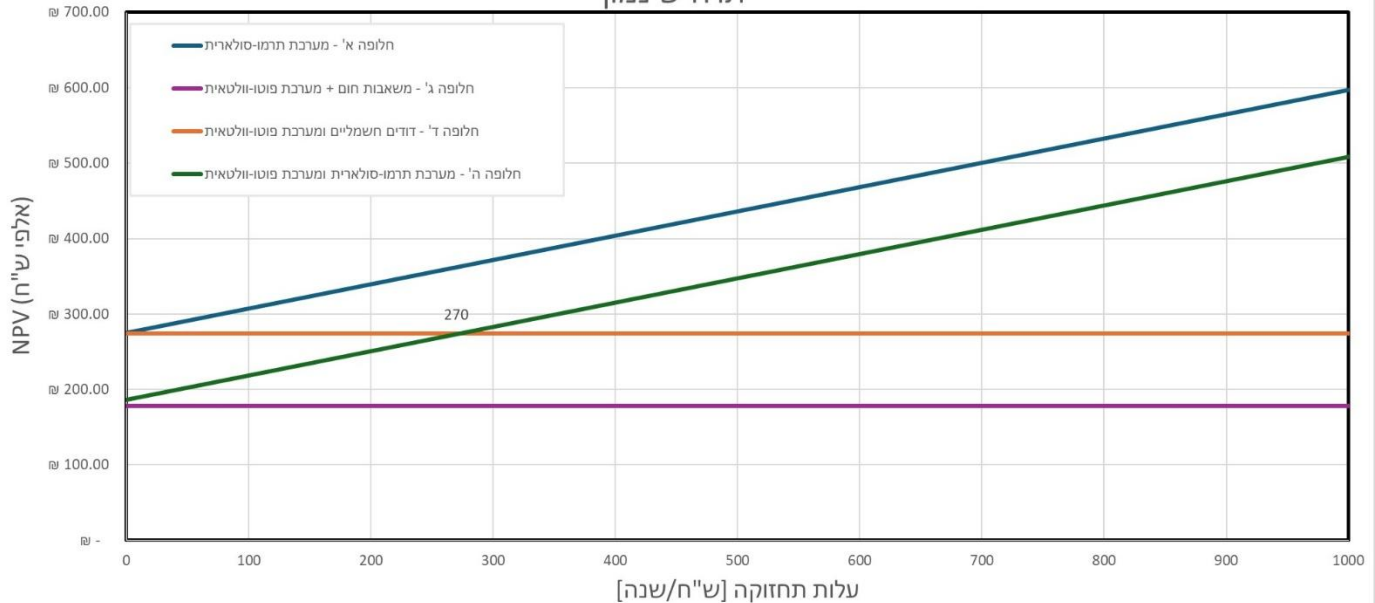
תרשים 14 - ערך נוכחי נקי של חלופות הניתוח כפונקציה של עלות התחזוקה של מערכות תרמו-סולארית בכל התרחישים – בניין בן 7 קומות



תרחיש בינוני



תרחיש נמוך

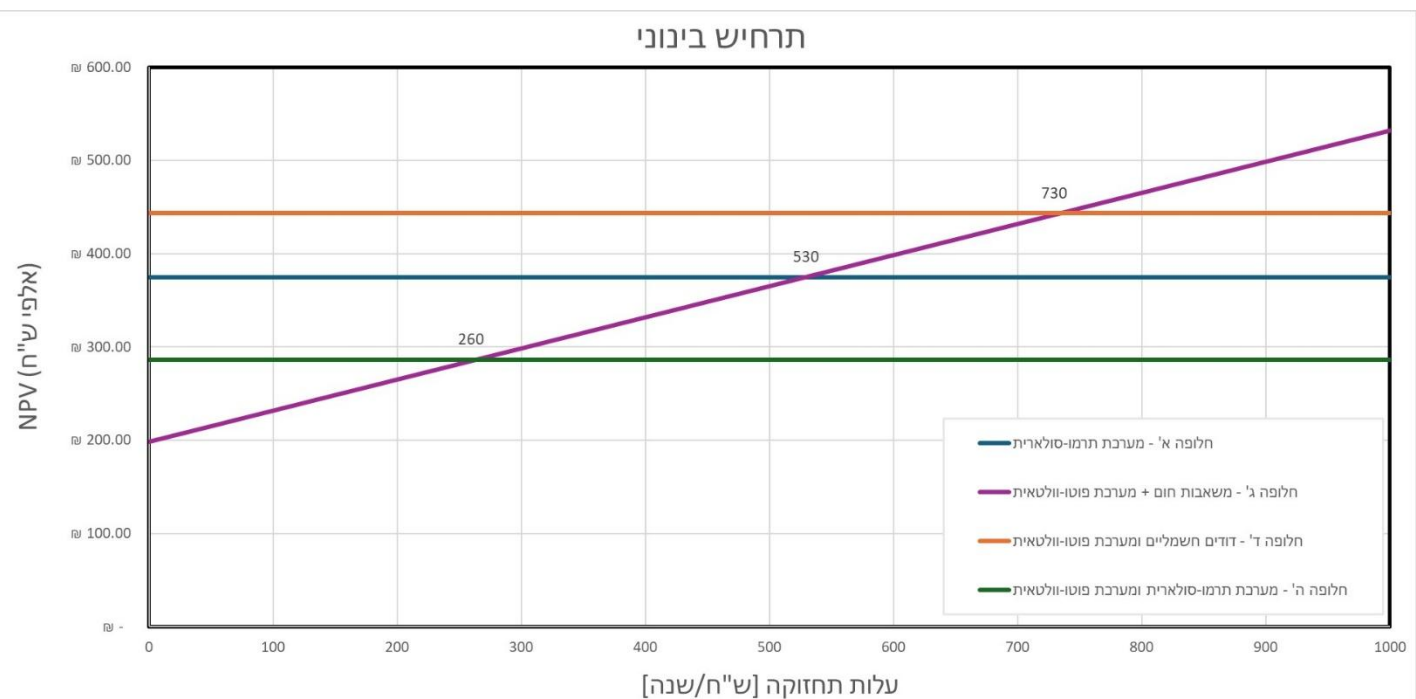
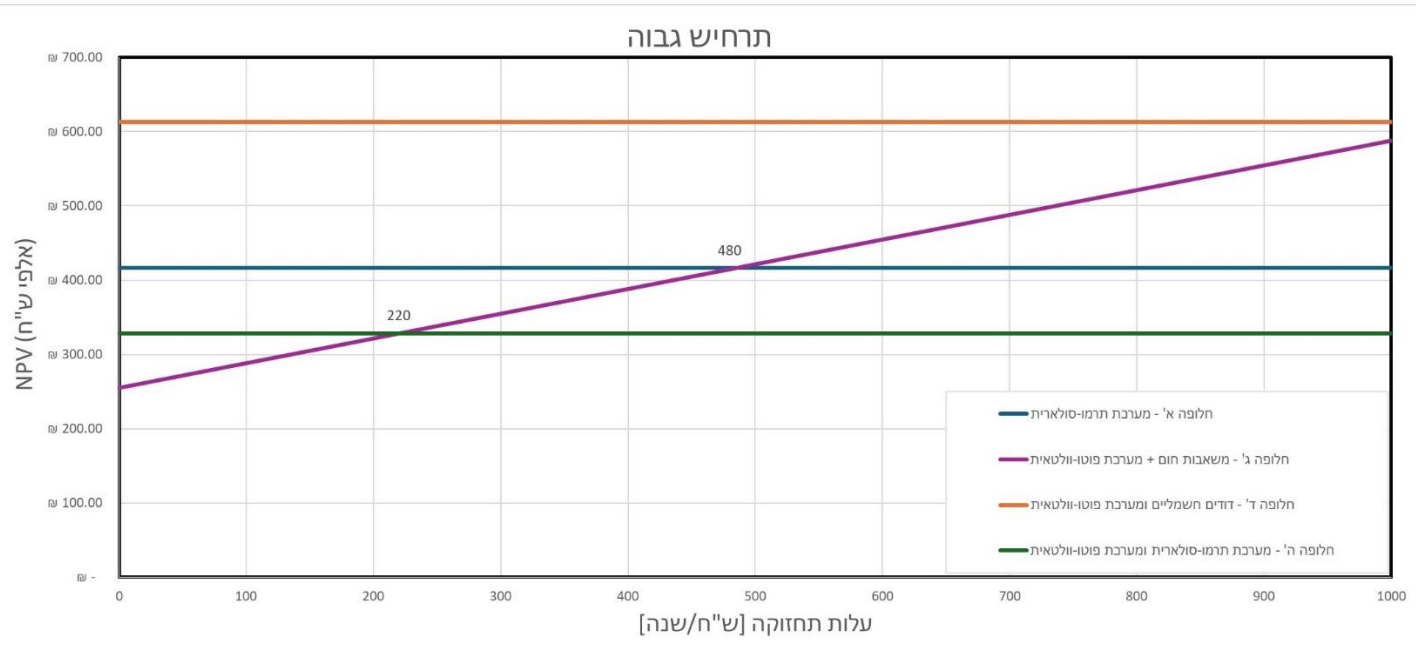


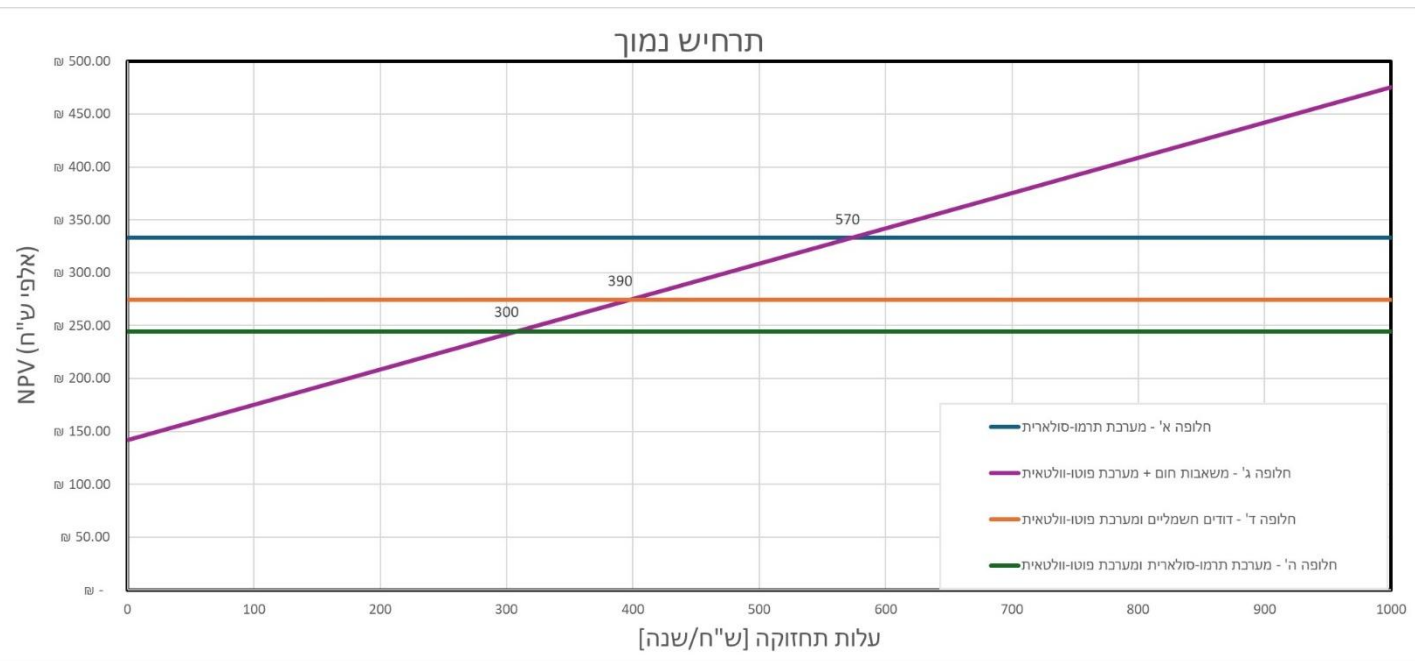
התרשימים מציגים את נקודות המפנה בכדאיות היחסית של חלופה ג' ביחס לחלופות האחרות כתלות עלות התחזוקה של מערכות תרמו-סולאריות:

- בתרחיש הגבוה, חלופה ג' היא העדיפה ביותר החל מ-80 ש"ח לשנה
- בתרחיש הבינוני, חלופה ג' היא העדיפה ביותר החל מ-30 ש"ח לשנה
- בתרחיש הנמוך, חלופה ג' היא העדיפה ביותר לאורך כל הטווח

מסקנה - חלופה ג' עדיפה תמיד על חלופת הבסיס. אך חשוב לציין שאם עלות התחזוקה של מערכת תרמו-סולארית יירד מתחת ל-80 ₪ לשנה, חלופה ה' תהיה העדיפה ביותר.

תרשים 15 - ערך נכחי נקי של חלופות הניתוח כפונקציה של עלות התחזוקה של משאבות חום בכל התרחישים – בניין בן 7 קומות



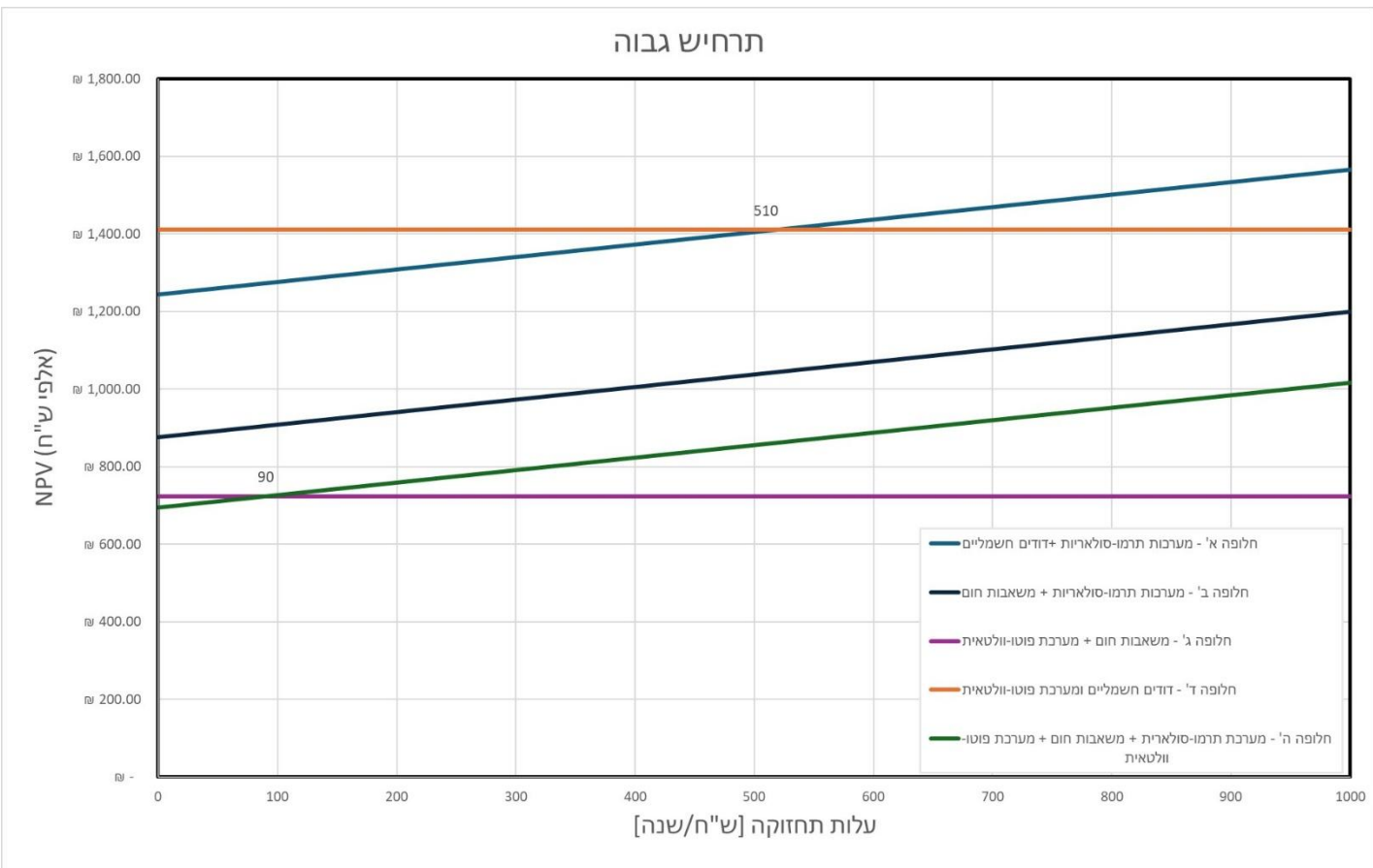


התרשימים מציגים את נקודות המפנה בכדאיות היחסית של חלופה ג' ביחס לחלופות האחרות כתלות עלות התחזוקה של משאבות חום:

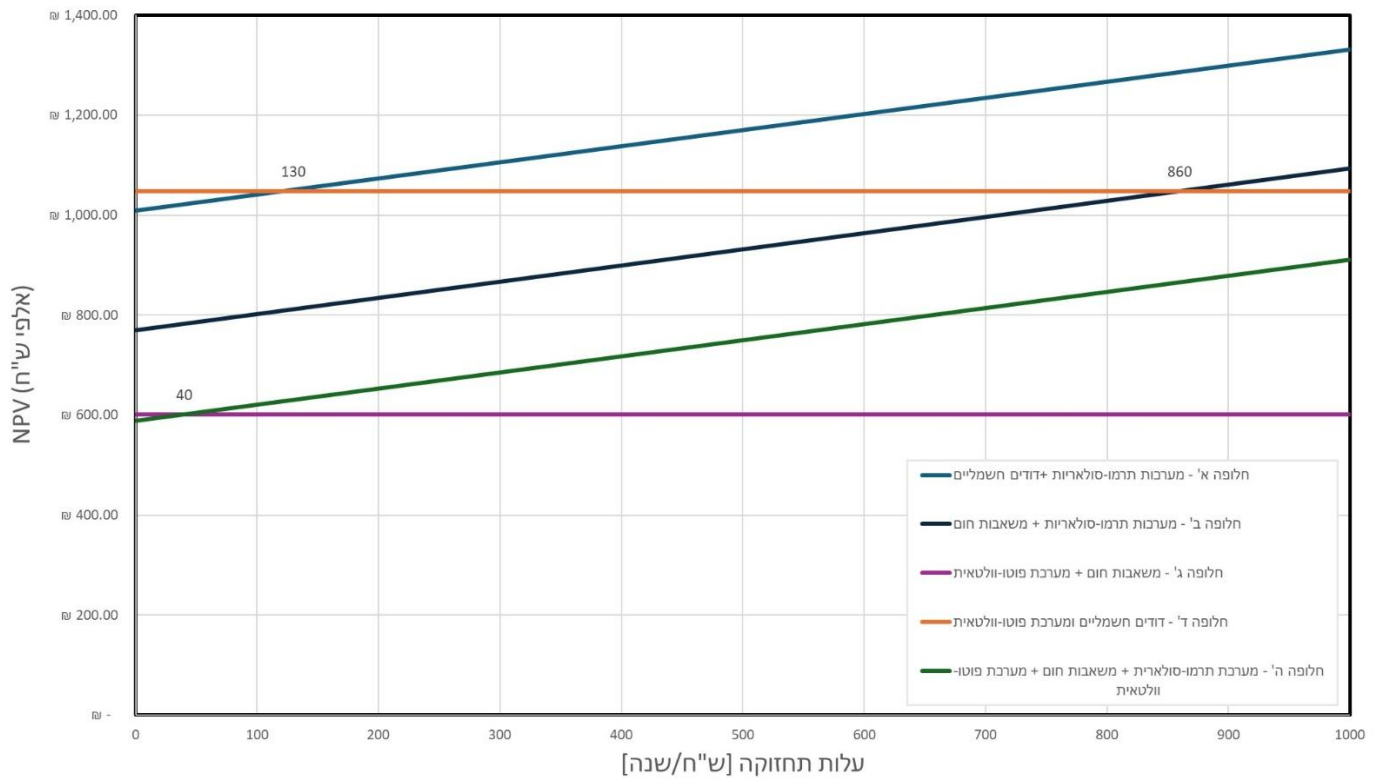
- בתרחיש הגבוה, חלופה ג' היא העדיפה ביותר עד 220 ₪ לשנה. בטווח העלויות לאחר מכן, חלופה ה' היא העדיפה ביותר
- בתרחיש הבינוני, חלופה ג' היא העדיפה ביותר עד 260 ₪ לשנה
- בתרחיש הנמוך, חלופה ג' היא העדיפה ביותר עד 300 ₪ לשנה

מסקנה - חלופה ג' עדיפה על חלופת הבסיס כאשר עלות התחזוקה של משאבות חום לא עולה על 480 ₪ לשנה. אך חשוב לציין שאם עלות התחזוקה תעלה מעל 220 ₪ לשנה, חלופה ה' היא העדיפה ביותר.

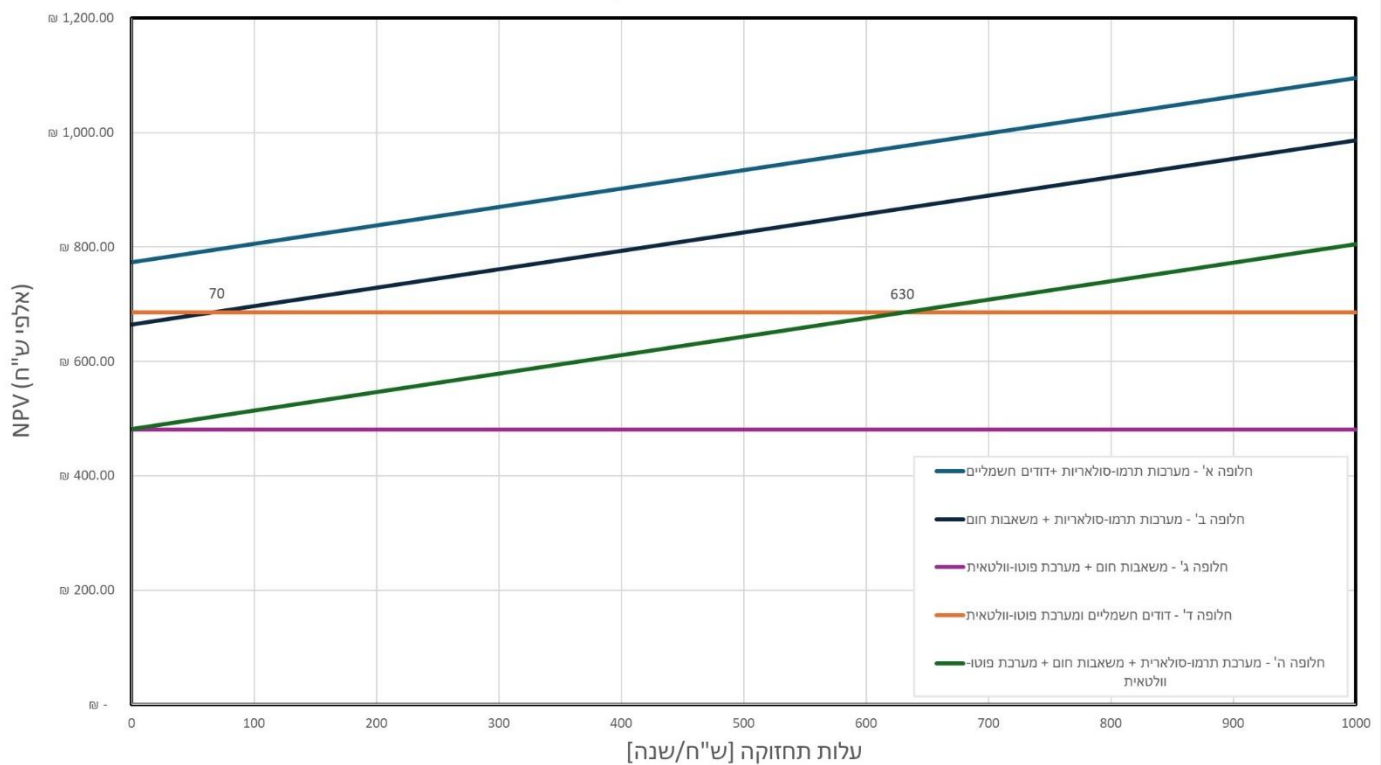
תרשים 16 - ערך נוכחי נקי של חלופות הניתוח כפונקציה של עלות התחזוקה של מערכת תרמו-סולארית בכל התרחישים – בניין בן 15 קומות



תרחיש בינוני



תרחיש נמוך

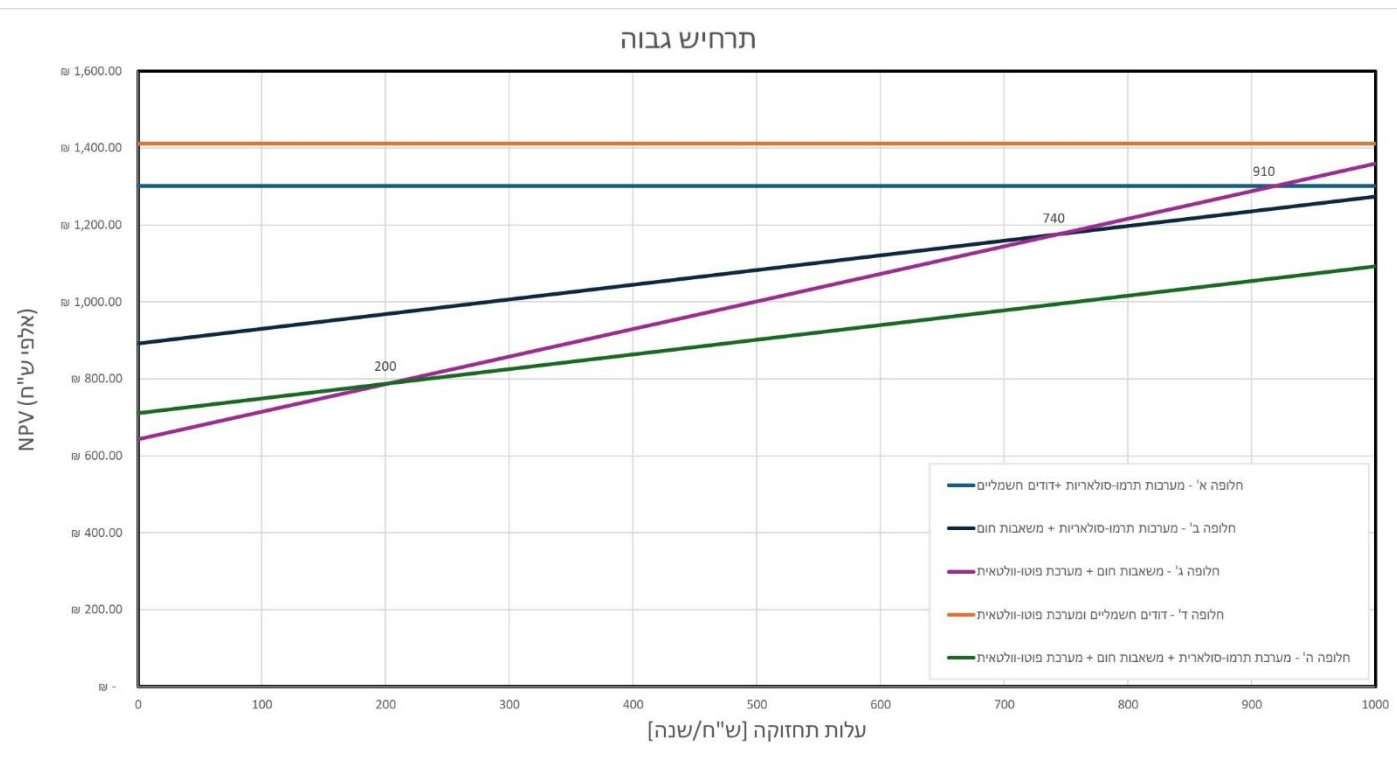


התרשימים מציגים את נקודות המפנה בכדאיות היחסית של חלופה ג' ביחס לחלופות האחרות כתלות עלות התחזוקה של מערכות תרמו סולאריות:

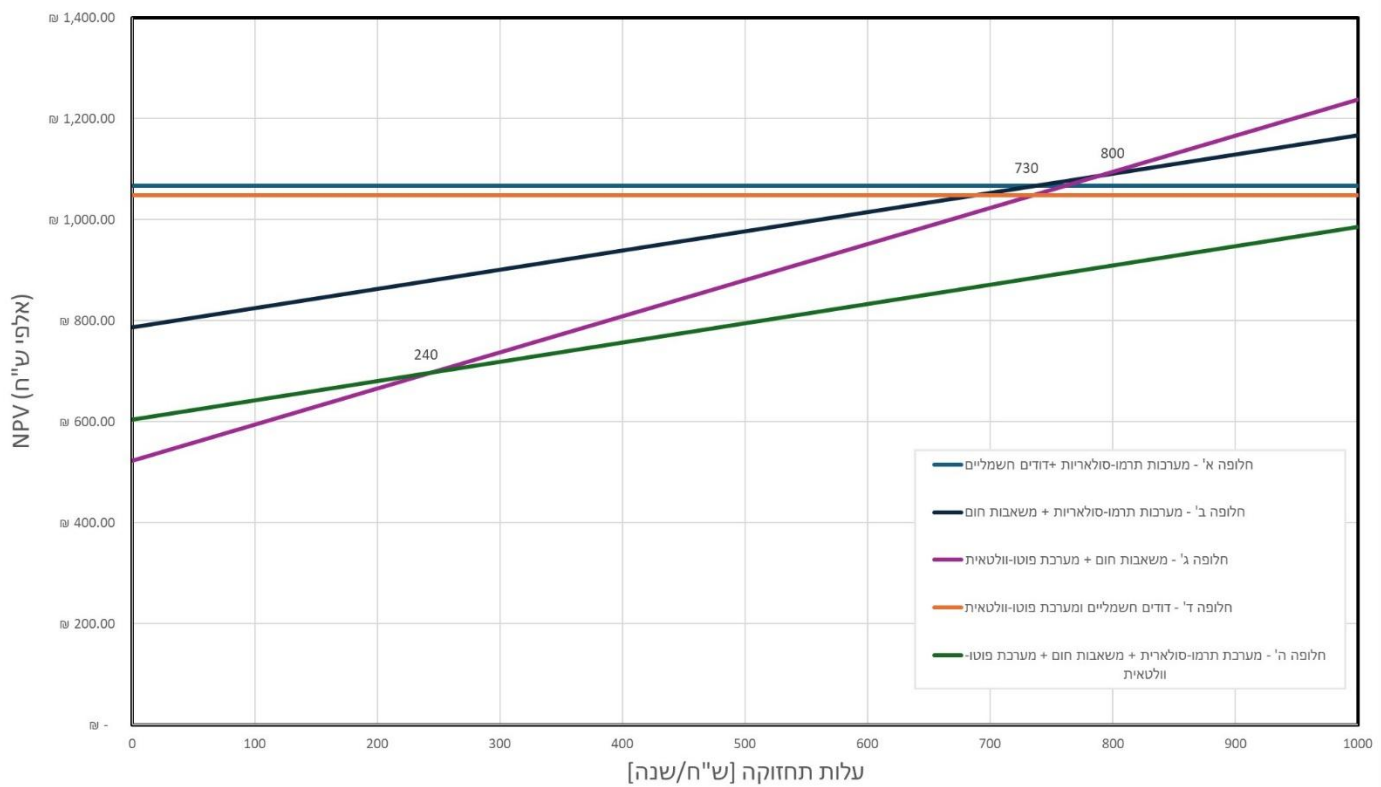
- בתרחיש הגבוה, חלופה ג' היא העדיפה ביותר החל מ-90 ש' לשנה. לפני נקודה זו, חלופה ה' היא העדיפה ביותר
- בתרחיש הבינוני חלופה ג' היא העדיפה ביותר החל מ-40 ש' לשנה
- בתרחיש הנמוך חלופה ג' היא העדיפה ביותר לאורך כל הטווח

מסקנה - חלופה ג' תמיד עדיפה על חלופת הבסיס. אך חשוב לציין שאם עלות התחזוקה תרד מתחת ל-90 ש', חלופה ה' תהיה העדיפה ביותר.

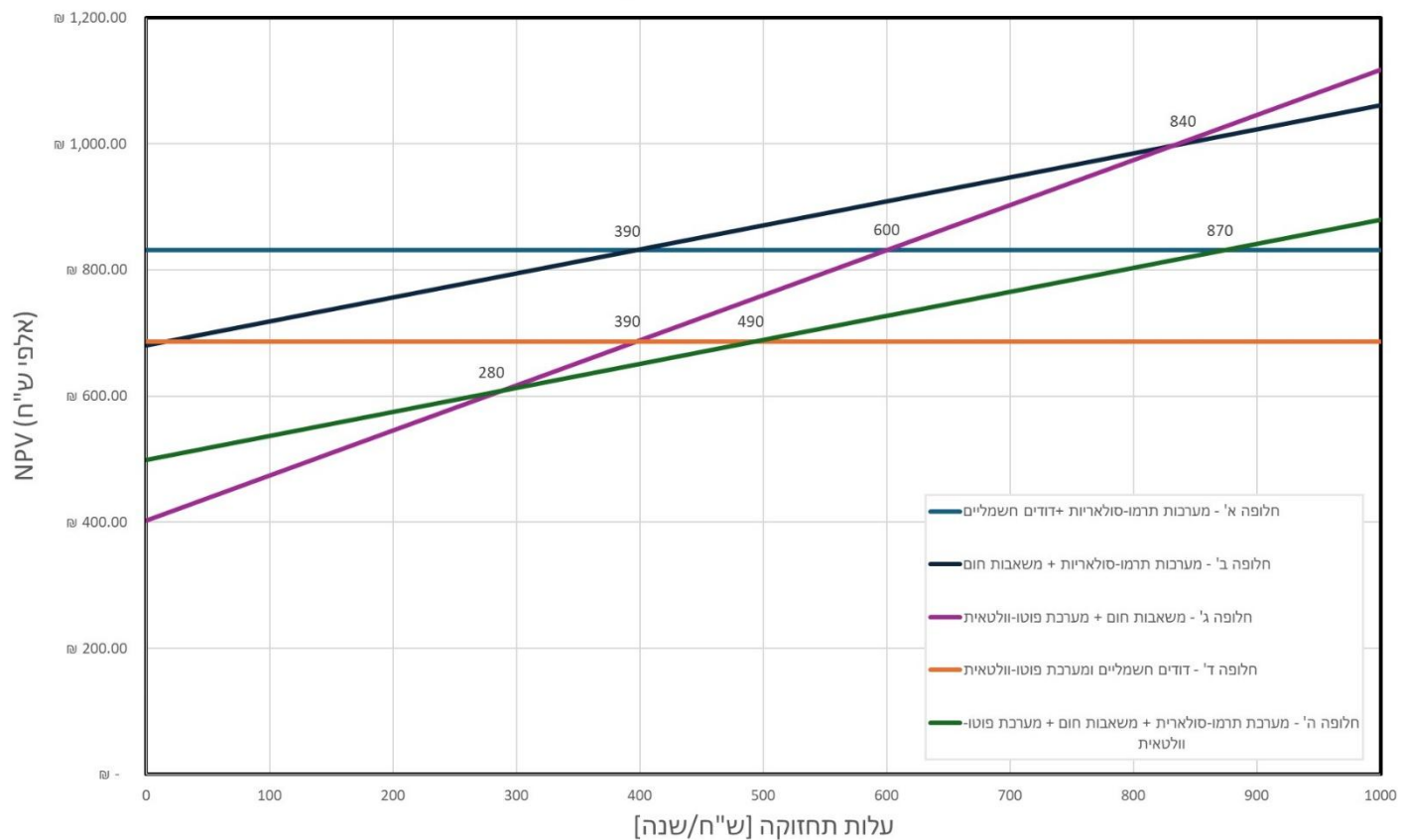
תרשים 17 - ערך נוכחי נקי של חלופות הניתוח כפונקציה של עלות התחזוקה של משאבות חום בכל התרחישים – בניין בן 15 קומות



תרחיש בינוני



תרחיש נמוך



התרשימים מציגים את נקודות המפנה בכדאיות היחסית של חלופה ג' ביחס לחלופות האחרות כתלות עלות התחזוקה של משאבות חום:

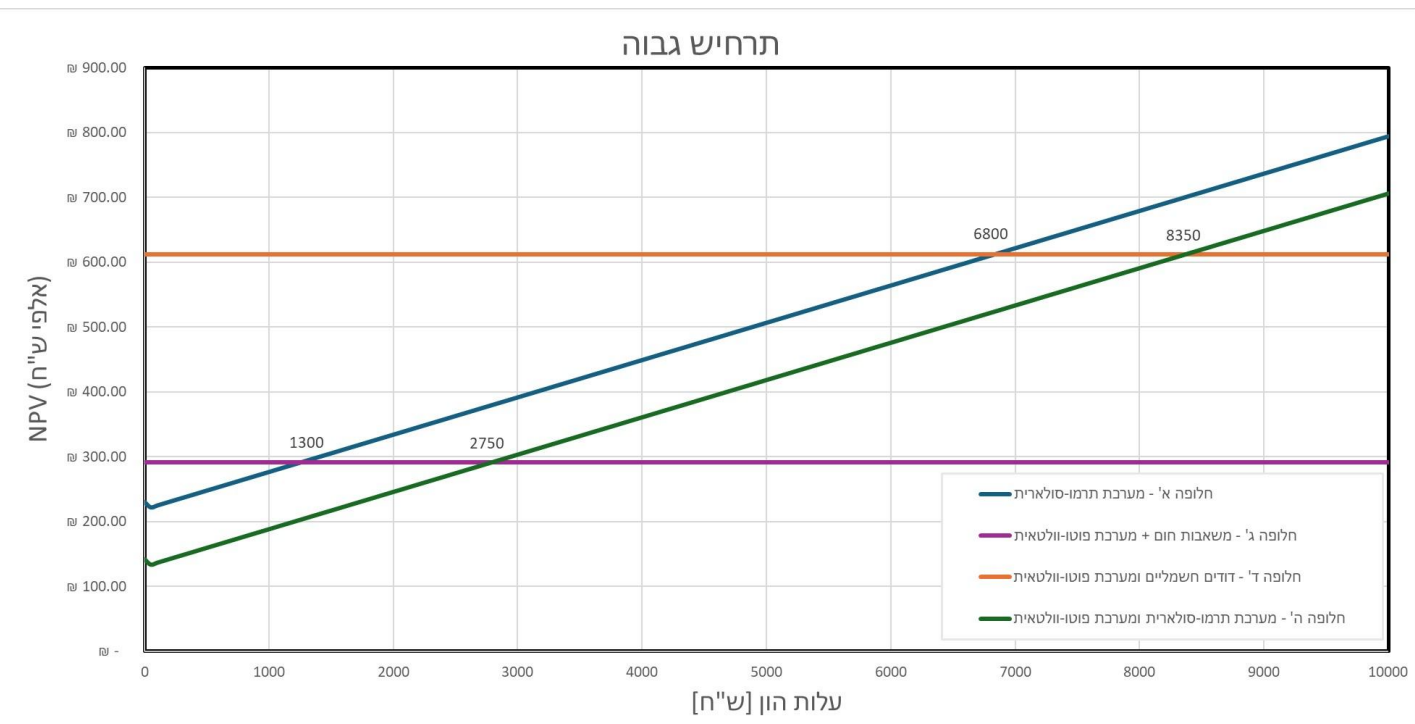
- בתרחיש הגבוה, חלופה ג' היא העדיפה ביותר עד 200 ₪ לשנה
- בתרחיש הבינוני חלופה ג' היא העדיפה ביותר עד 240 ₪ לשנה
- בתרחיש הנמוך חלופה ג' היא העדיפה ביותר עד 280 ₪ לשנה

מסקנה - חלופה ג' עדיפה על חלופת הבסיס כאשר עלות התחזוקה השנתית של משאבות החום גבוה מ-600 ₪ שנים. אך חשוב לציין שאם עלות התחזוקה תעלה מעל 200 ₪ לשנה, חלופה ה' תהיה העדיפה ביותר.

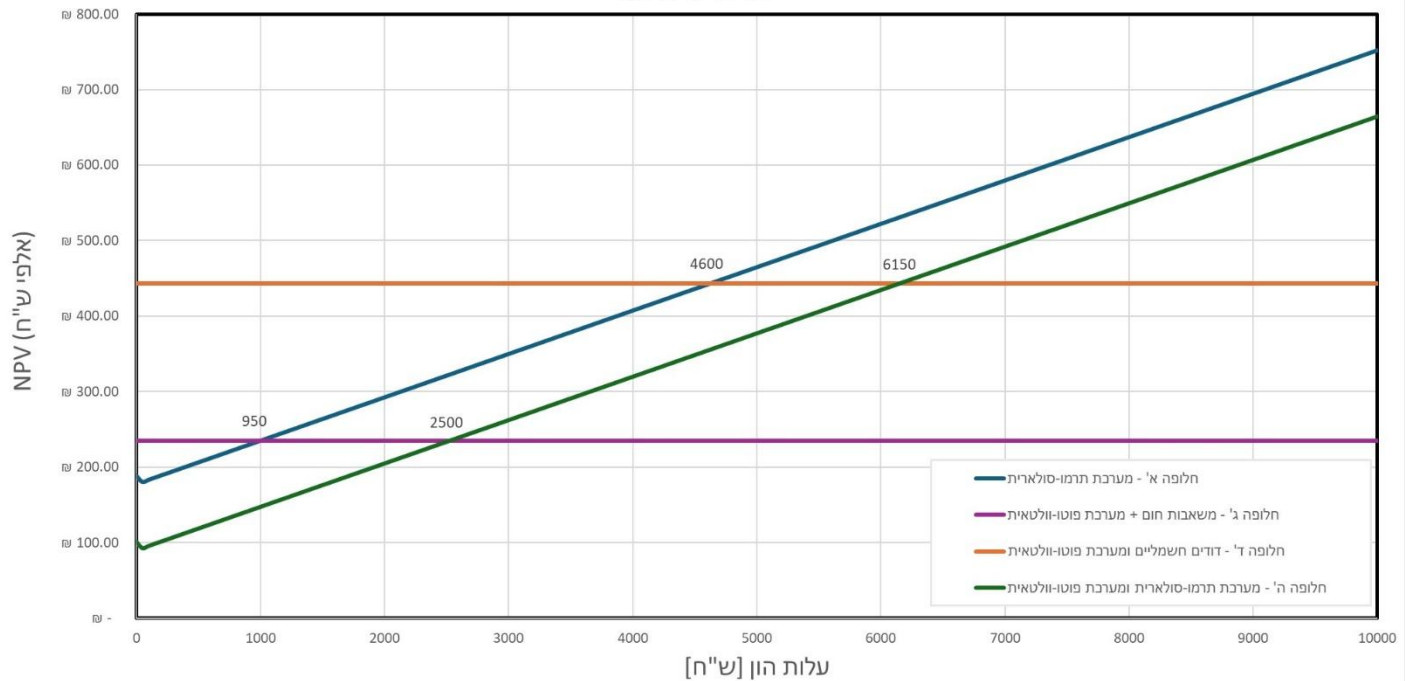
8.4 עלות ההון

הניתוח בחן כיצד שינויים בעלות ההון של המערכות בחלופה א' משפיעים על הכדאיות הכלכלית שלה מול החלופות האחרות. עלויות ההתקנה הנוכחיות עומדות על 2,900 ₪ למערכת תרמו-סולארית (3,422 ₪ כולל מע"מ), 3,500 ₪ למשאבת חום (4,130 ₪ כולל מע"מ) ו-900 ₪ לדוד חשמלי (1,062 ₪ כולל מע"מ). נמצא שעבור כל ערך ריאלי של עלות הון הדוד החשמלי חלופה ג' היא העדיפה ביותר בכל התרחישים בשני סוגי הבניינים.

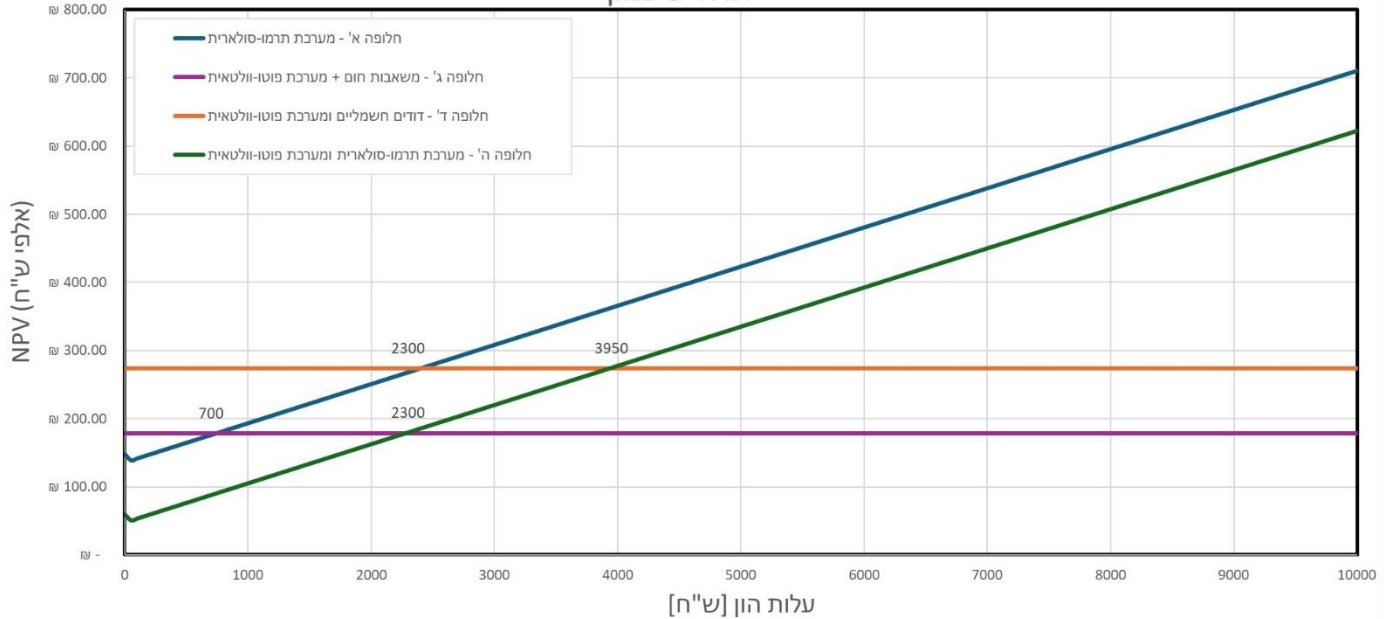
תרשים 18 - ניתוח רגישות לעלות ההון (כולל מע"מ) – ערך נוכחי נקי של החלופות השונות כפונקציה של עלות ההון של המערכת תרמו-סולארית בכל התרחישים – בניין בן 7 קומות



תרחיש בינוני



תרחיש נמוך



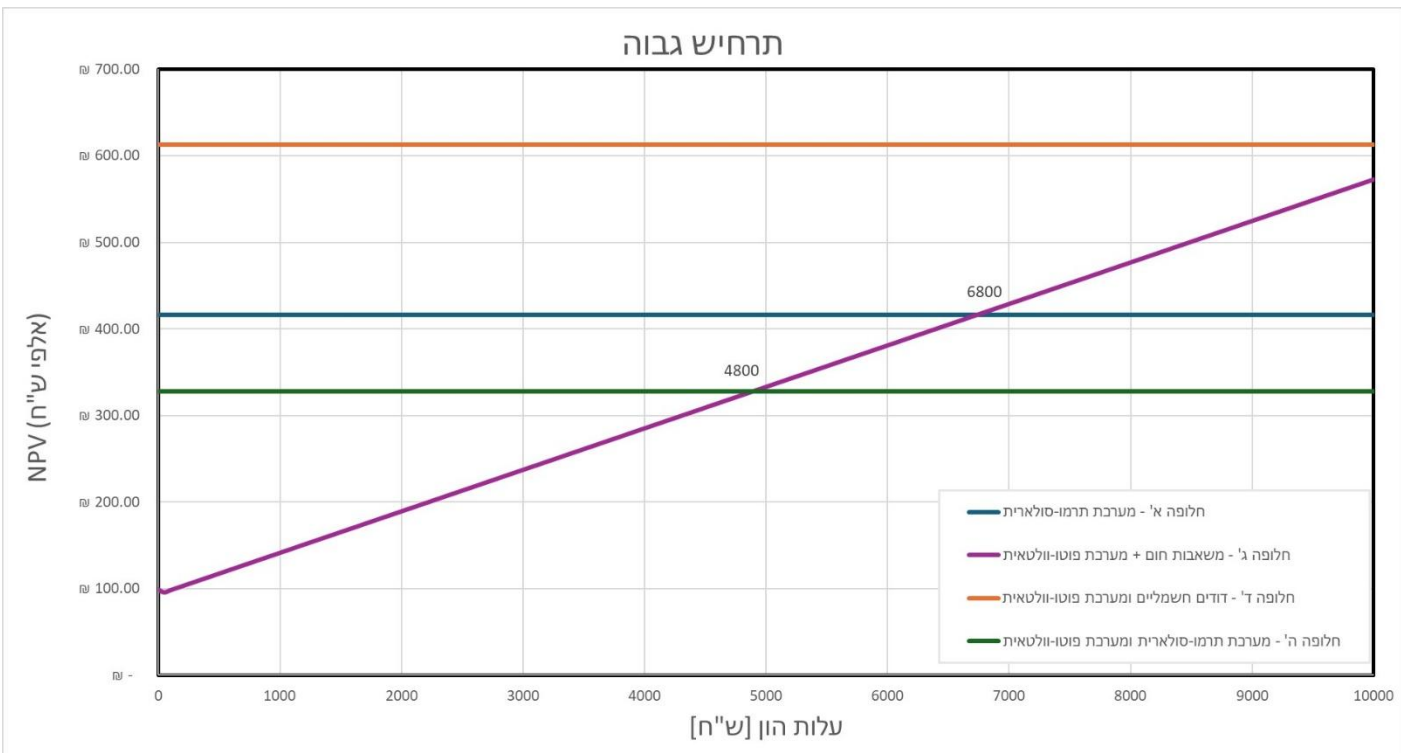
התרשימים מציגים את נקודות המפנה בכדאיות היחסית של חלופה ג' ביחס לחלופות האחרות כתלות בעלות ההון של מערכת תרמו סולארית:

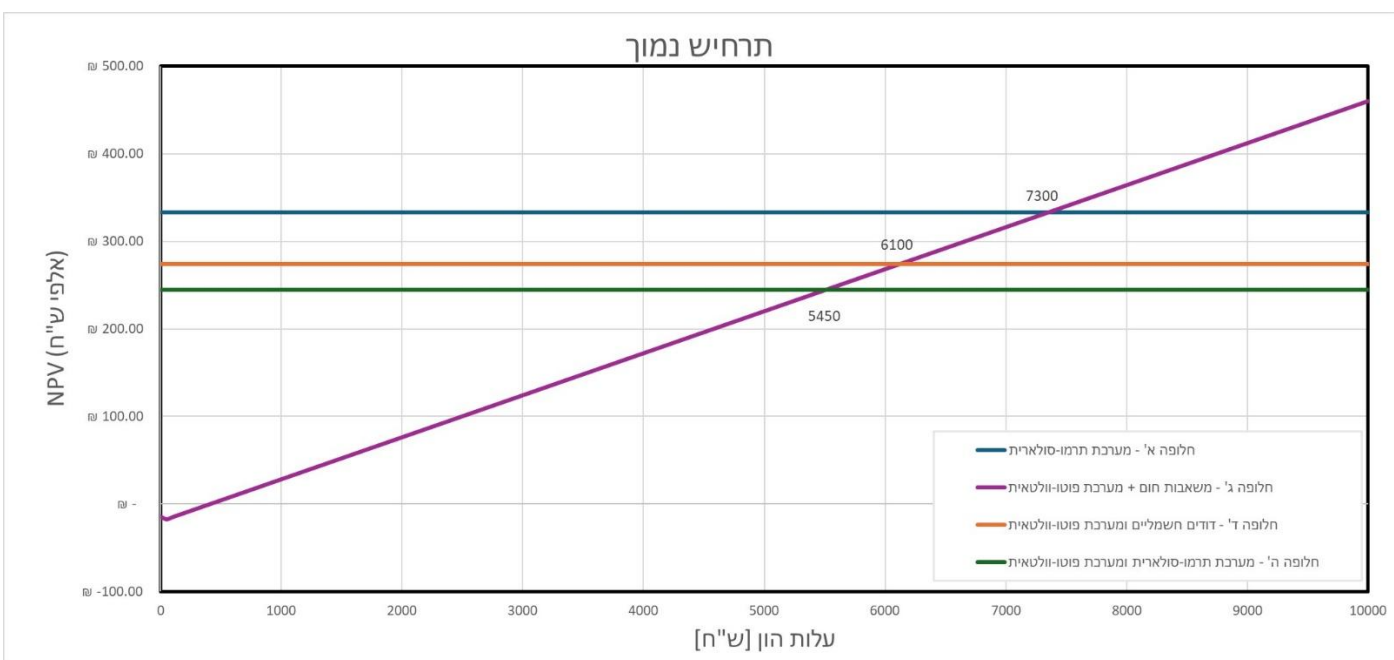
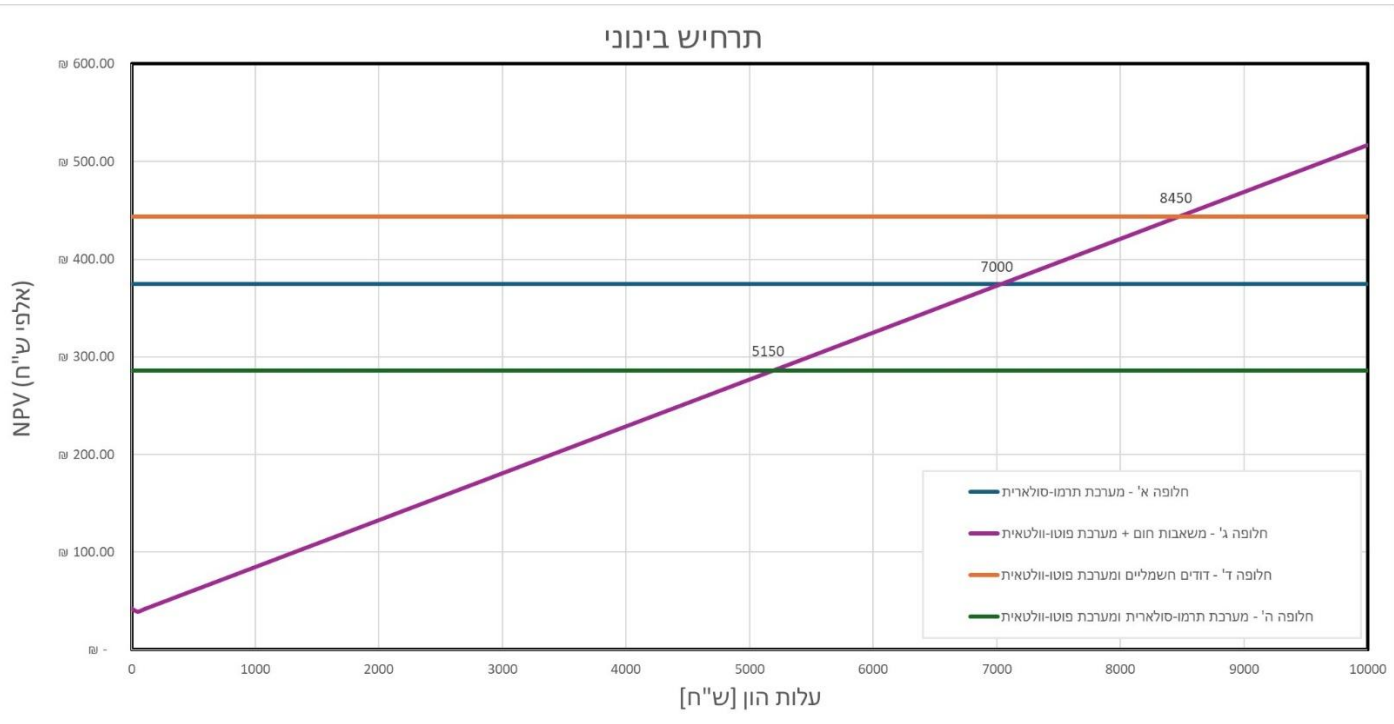
- בתרחיש הגבוה, חלופה ג' היא העדיפה ביותר החל מ-2,750 ש. לפני נקודה זו, חלופה ה' היא העדיפה ביותר.
- בתרחיש הבינוני, חלופה ג' היא העדיפה ביותר החל מ-2,500 ש. לפני נקודה זו, חלופה ה' היא העדיפה ביותר.

- בתרחיש הנמוך חלופה ג' היא העדיפה ביותר החל מ-2,300 ש. לפני נקודה זו, חלופה ה' היא העדיפה ביותר.

מסקנה - חלופה ג' עדיפה על חלופת הבסיס כאשר עלות ההון של מערכת תרמו-סולארית גבוהה מ-700 ש. אך חשוב לציין שאם עלות ההון תרד מתחת ל-2,300 ש, חלופה ה' תהיה העדיפה ביותר.

תרשים 19 - ניתוח רגישות לעלות ההון (כולל מע"מ) – ערך נוכחי נקי של החלופות השונות כפונקציה של עלות ההון של משאבות חום בכל התרחישים – בניין בן 7 קומות



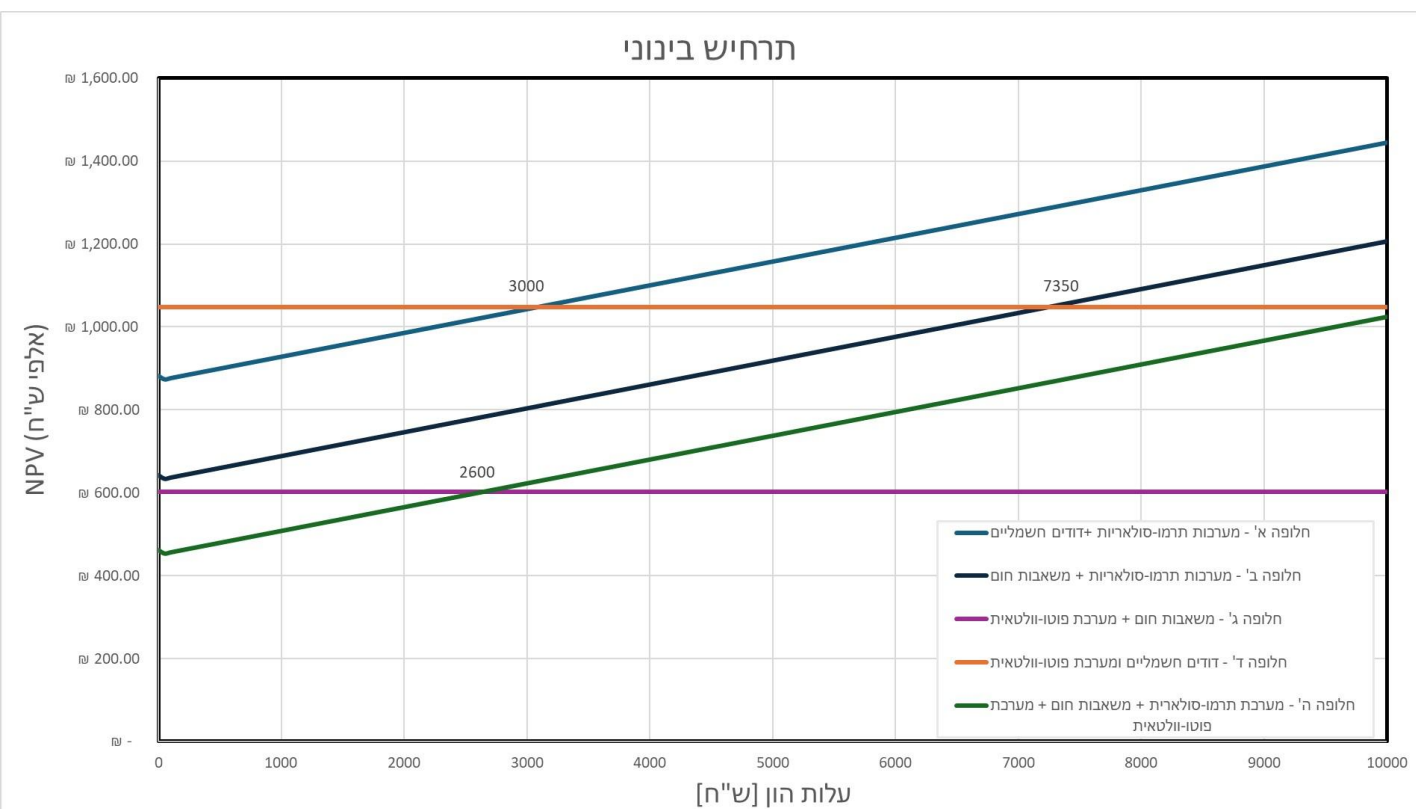
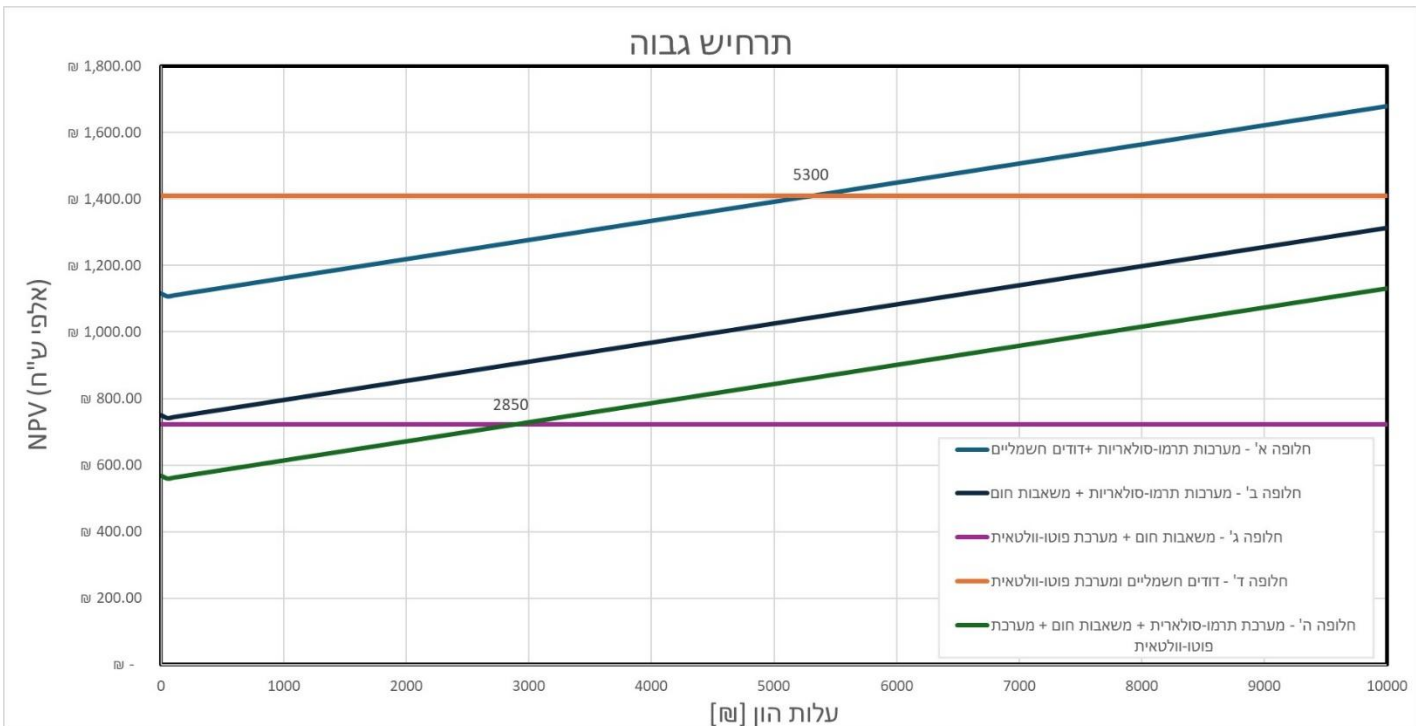


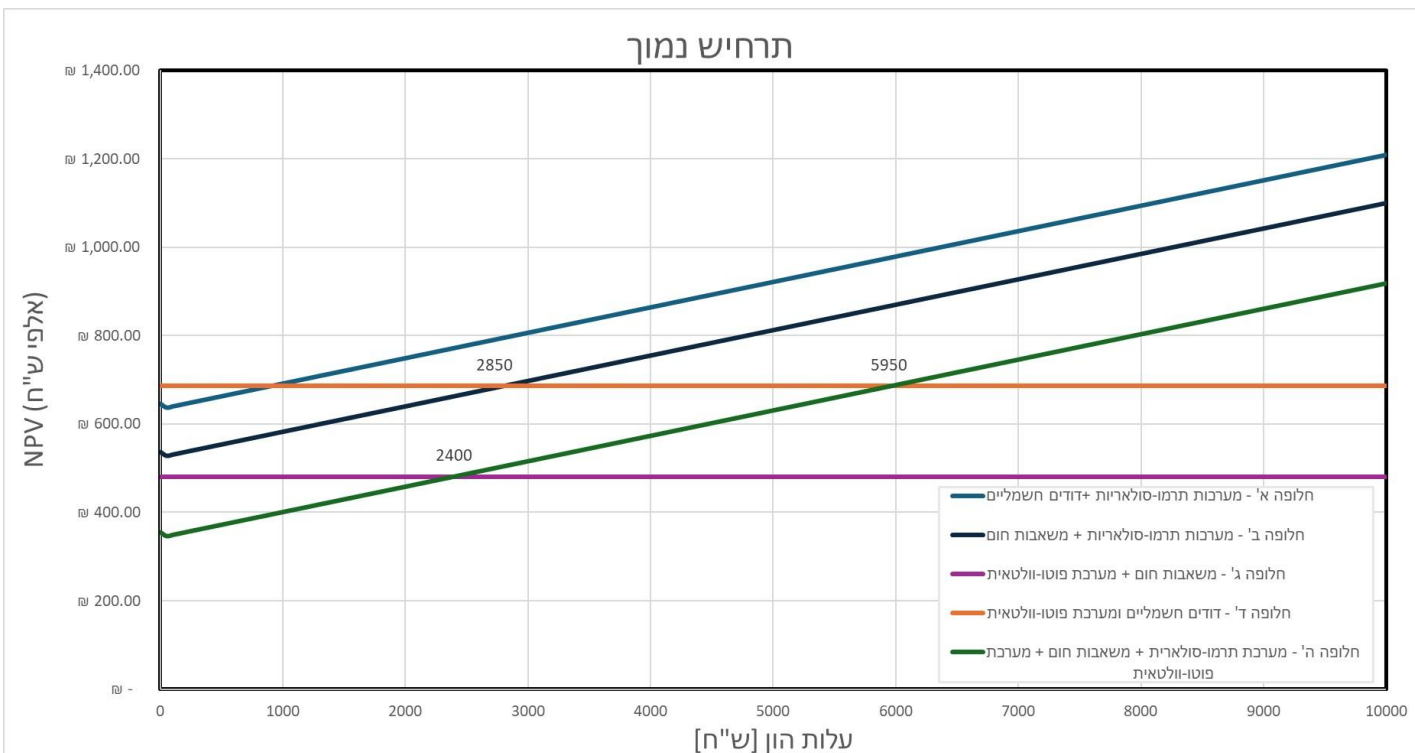
התרשימים מציגים את נקודות המפנה בכדאיות היחסית של חלופה ג' ביחס לחלופות האחרות כתלות בעלות ההון של משאבות חום:

- בתרחיש הגבוה, חלופה ג' היא העדיפה ביותר עד מ-4,800 ₪. לאחר נקודה זו, חלופה ה' היא העדיפה ביותר.
- בתרחיש הבינוני, חלופה ג' היא העדיפה ביותר עד מ-5,150 ₪
- בתרחיש הנמוך חלופה ג' היא העדיפה ביותר עד מ-5,450 ₪

מסקנה - חלופה ג' עדיפה על חלופת הבסיס כאשר עלות ההון של משאבות חום נמוכה מ-6,800 ₪. אך חשוב לציין שאם עלות ההון תעלה מעל 4,800 ₪ חלופה ה' תהיה העדיפה ביותר.

תרשים 20 - ניתוח רגישות לעלות ההון (כולל מע"מ) – ערך נוכחי נקי של החלופות השונות כפונקציה של עלות ההון של מערכות תרמו-סולאריות בכל התרחישים – בניין בן 15 קומות



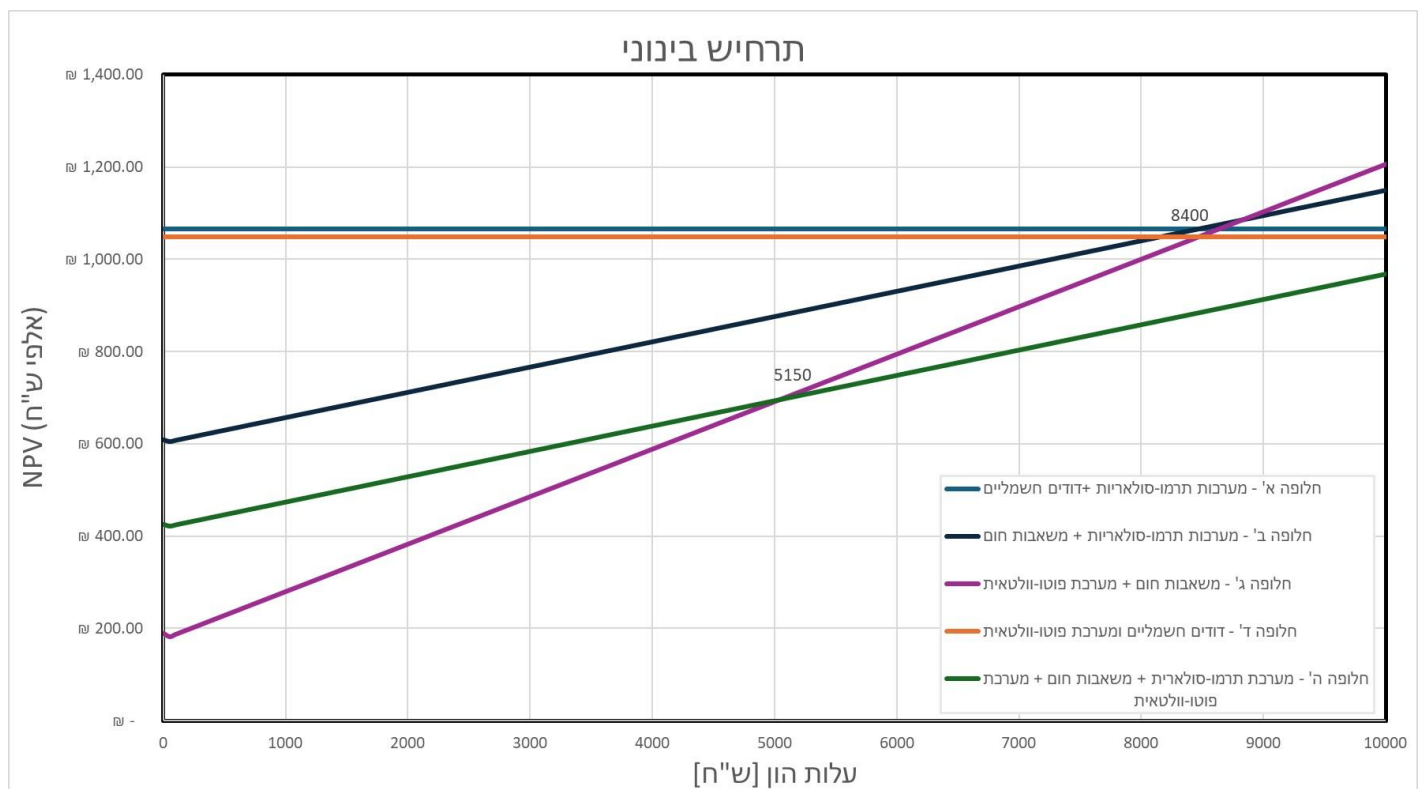
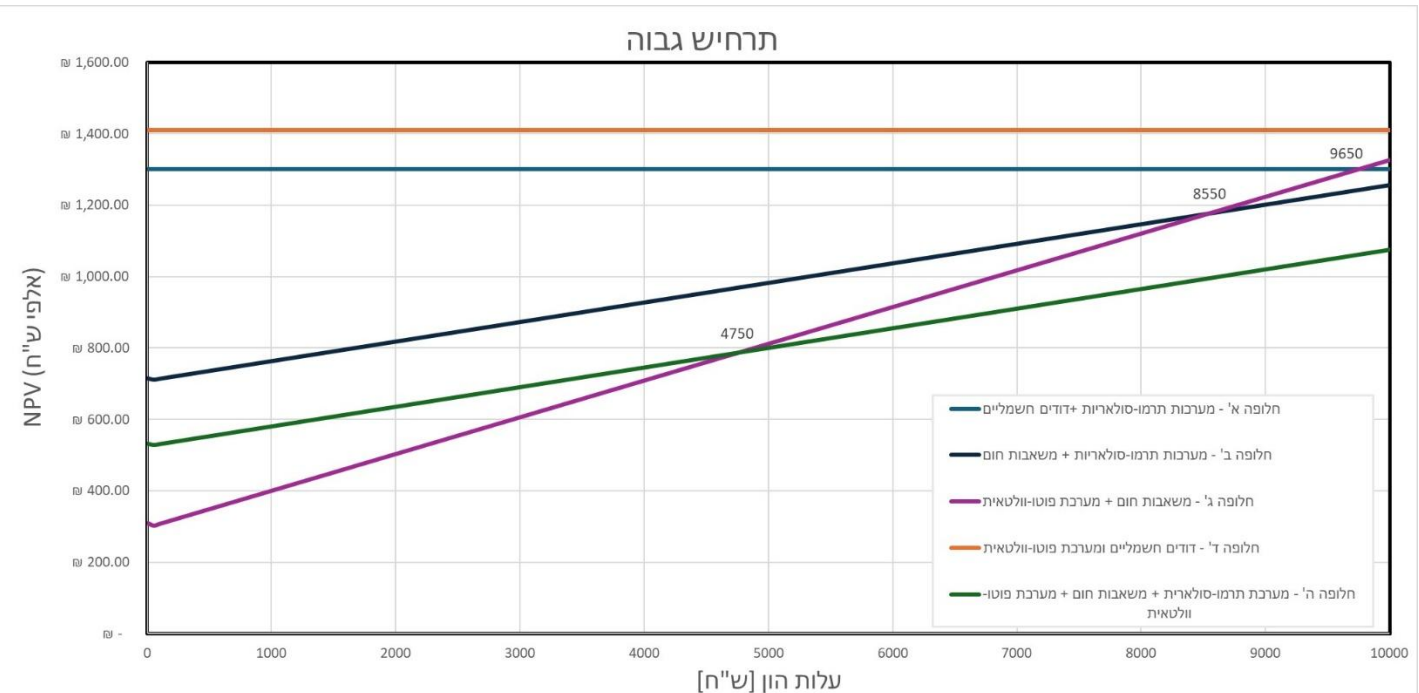


התרשימים מציגים את נקודות המפנה בכדאיות היחסית של חלופה ג' ביחס לחלופות האחרות כתלות בעלות ההון של מערכת תרמו סולארית:

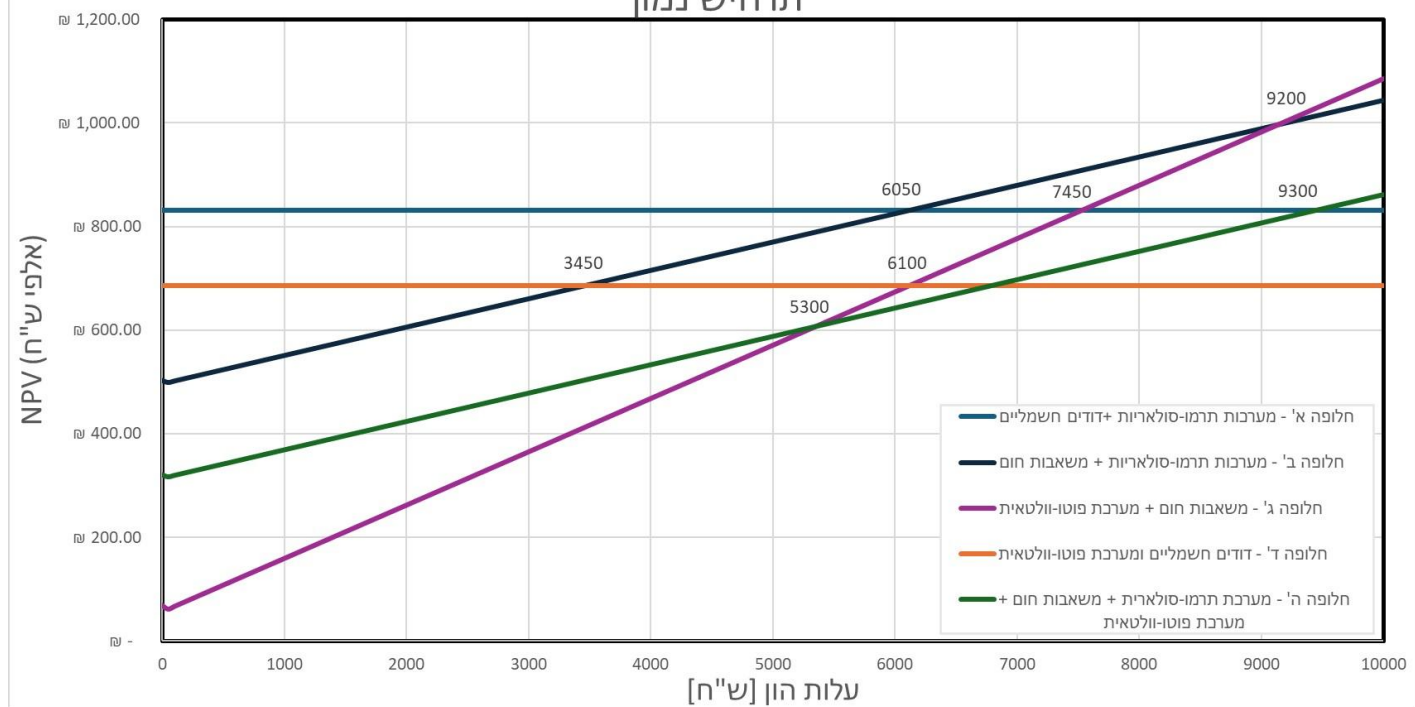
- בתרחיש הגבוה, חלופה ג' היא העדיפה ביותר החל מ-2,850 ש. לפני נקודה זו, חלופה ה' היא העדיפה ביותר.
- בתרחיש הבינוני, חלופה ג' היא העדיפה ביותר החל מ-2,600 ש. לפני נקודה זו, חלופה ה' היא העדיפה ביותר.
- בתרחיש הנמוך, חלופה ג' היא העדיפה ביותר החל מ-2,400 ש. לפני נקודה זו, חלופה ה' היא העדיפה ביותר.

מסקנה - חלופה ג' תמיד עדיפה על חלופת הבסיס. אך חשוב לציין שאם עלות ההון תרד מתחת ל-2,400 ש, חלופה ה' תהיה העדיפה ביותר.

תרשים 21 - ניתוח רגישות לעלות ההון (כולל מע"מ) – ערך נוכחי נקי של החלופות השונות כפונקציה של עלות ההון של משאבות חום בכל התרחישים – בניין בן 15 קומות



תרחיש נמוך



התרשימים מציגים את נקודות המפנה בכדאיות היחסית של חלופה ג' ביחס לחלופות האחרות כתלות בעלות ההון של משאבות חום:

- בתרחיש הגבוה, חלופה ג' היא העדיפה ביותר עד 4,750 ₪. אחרי נקודה זו, חלופה ה' היא העדיפה ביותר.
- בתרחיש הבינוני, חלופה ג' היא העדיפה ביותר עד 5,150 ₪.
- בתרחיש הנמוך, חלופה ג' היא העדיפה ביותר עד 5,300 ₪.

מסקנה - חלופה ג' עדיפה על חלופת הבסיס כאשר עלות ההון של משאבות חום נמוכה מ-7,450 ₪. אך חשוב לציין שאם עלות ההון תעלה מעל 4,750 ₪, חלופה ה' תהיה העדיפה ביותר.

8.5 ניתוח רגישות לגודל הגג

ניתוח הרגישות מתמקד בחלופות הכוללות מערכת פוטו-וולטאית (חלופות ג', ד' ו-ה'), מכיוון שגודל הגג משפיע ישירות על הכדאיות הכלכלית שלהן. חלופה א' (תרמו-סולארית + דודים חשמליים) וחלופה ב' (תרמו-סולארית + משאבות חום) לא נכללו בניתוח מאחר שגודל הגג אינו משפיע על עלותן (החלופות מוצגות בתרשימים רק לשם בסיס להשוואה בין החלופות).

הנתונים מגלים מתאם שלילי עקבי בין גודל הגג לעלות השנתית בכל החלופות הנבדקות. ככל שגודל הגג גדל, העלות השנתית יורדת באופן משמעותי, כאשר חלופה ג' (פוטו-וולטאית + משאבות חום) מציגה את החיסכון הגדול ביותר וחלופה ד' (פוטו-וולטאית + דוד חשמלי) מציגה חיסכון בהיקפים קטנים יותר.

החיסכון הכלכלי נובע מיתרון הגודל של מערכות פוטו-וולטאיות: ככל שניתן להתקין מערכת גדולה יותר, העלות השולית של kWp יורדת וכמות החשמל המיוצרת בשנה עולה, מה שמשפר את הכדאיות הכלכלית הכוללת.

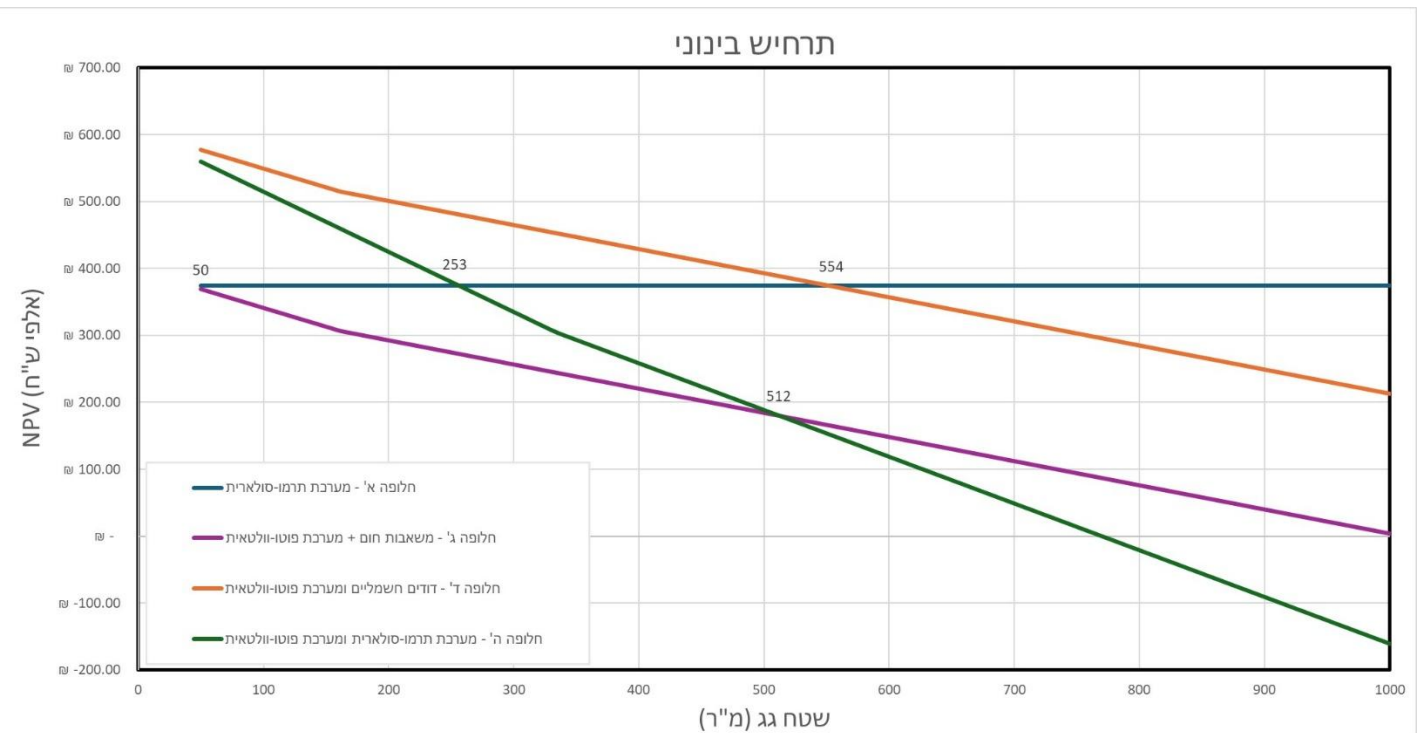
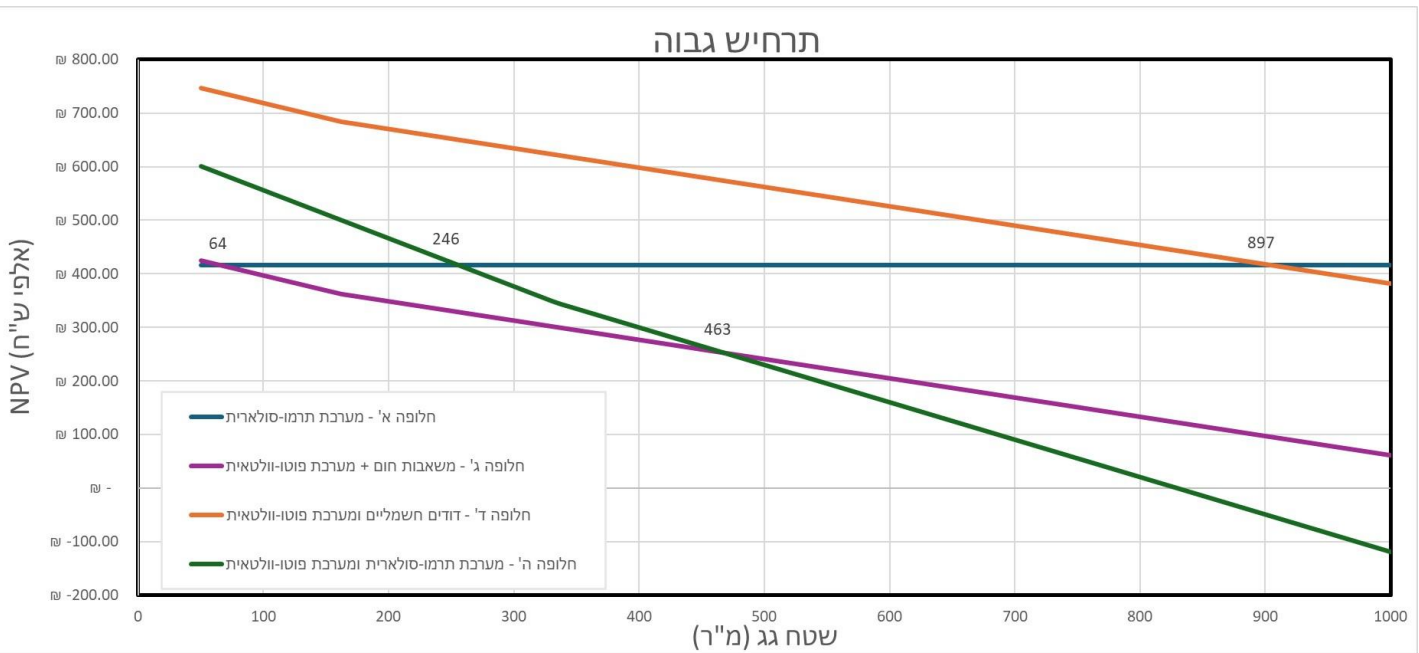
ניתוח השפעת הוספת מטר רבוע אחד לגג הבניין מראה הבדלים בין סוגי הבניינים. הרגישות של עלויות החימום להגדלת שטח הגג גבוהה יותר בבניינים נמוכים יותר. חלופות ג' ו-ד' מציגות השפעה שולית זהה, בעוד שחלופה ה' מציגה השפעה מתונה יותר:

טבלה 28 – ההשפעה השולית של תוספת מ"ר לגג המבנה על עלות חימום המים בחלופות ג', ד' ו-ה'

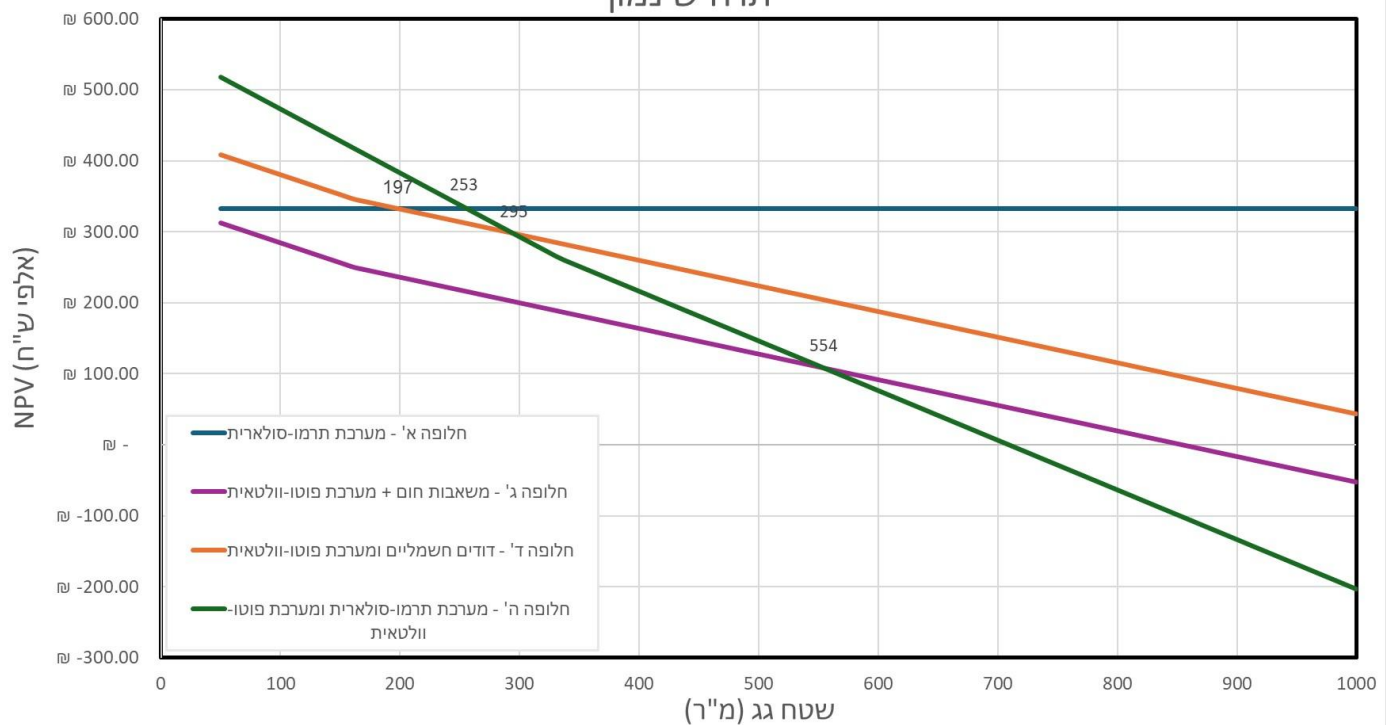
ההשפעה השולית של תוספת מ"ר לגג המבנה בבניין בן 7 קומות [ש/מ"ר]	ההשפעה השולית של תוספת מ"ר לגג המבנה בבניין בן 15 קומות [ש/מ"ר]	
-587.97	-608.20	חלופה ג' – מערכת פוטו-וולטאית + משאבות חום
-587.97	-608.20	חלופה ד' – מערכת פוטו-וולטאית + דוד חשמלי
-606.75	-595.58	חלופה ה' – מערכת תרמו-סולארית + מערכת פוטו וולטאית ומשאבות

הנתונים מעידים כי הגדלת שטח הגג מביאה לחיסכון בעלויות חימום המים, כאשר בכל מטר רבוע נוסף מביא לחיסכון שנתי של כ-600 ₪ בממוצע.

תרשים 22 - עלות חימום המים לחלופות ג', ד' ו-ה' לפי גודל הגג בכל התרחישים - בניין בן 7 קומות



תרשיש נמוך



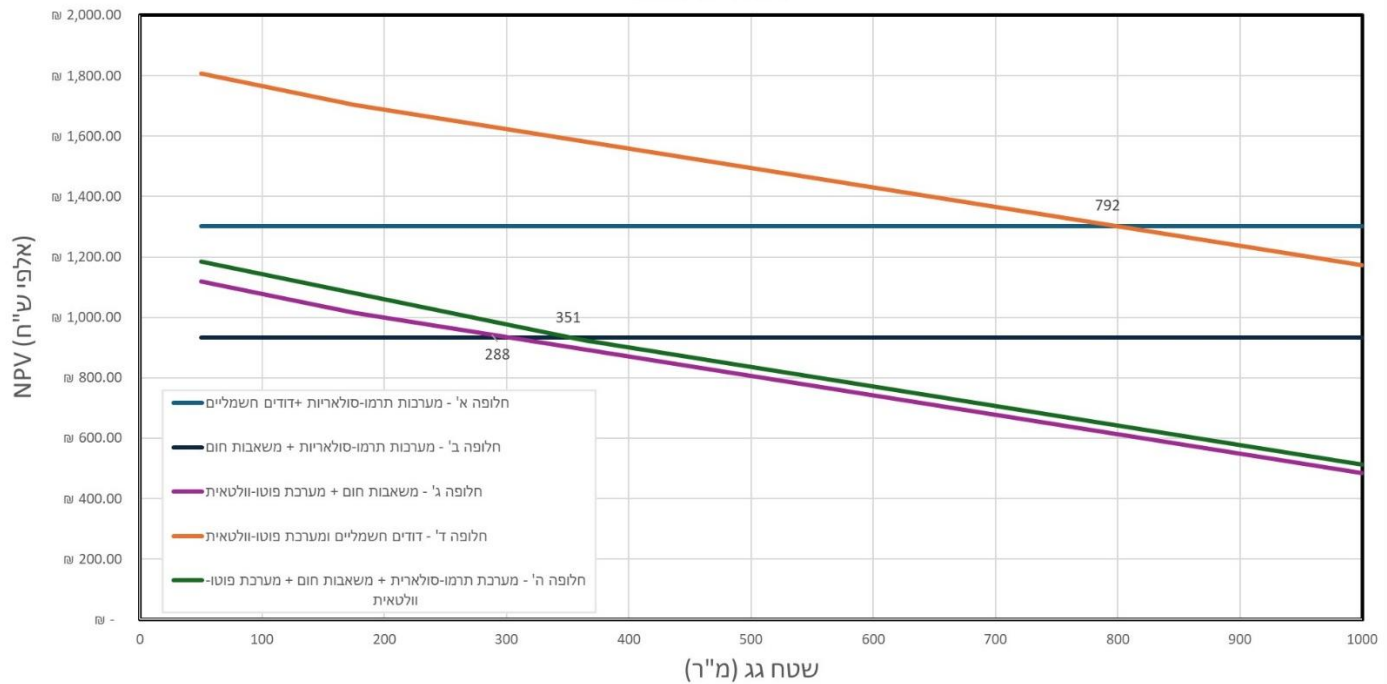
התרשימים מציגים את נקודות המפנה בכדאיות היחסית של חלופה ג' ביחס לחלופות האחרות כתלות שטח הגג:

- בתרשיש הגבוה, חלופה ג' היא העדיפה ביותר בטווח של 64-463 מ"ר
- בתרשיש הבינוני, חלופה ג' היא העדיפה ביותר בטווח של 50-512 מ"ר
- בתרשיש הנמוך, חלופה ג' היא העדיפה ביותר עד 554 מ"ר

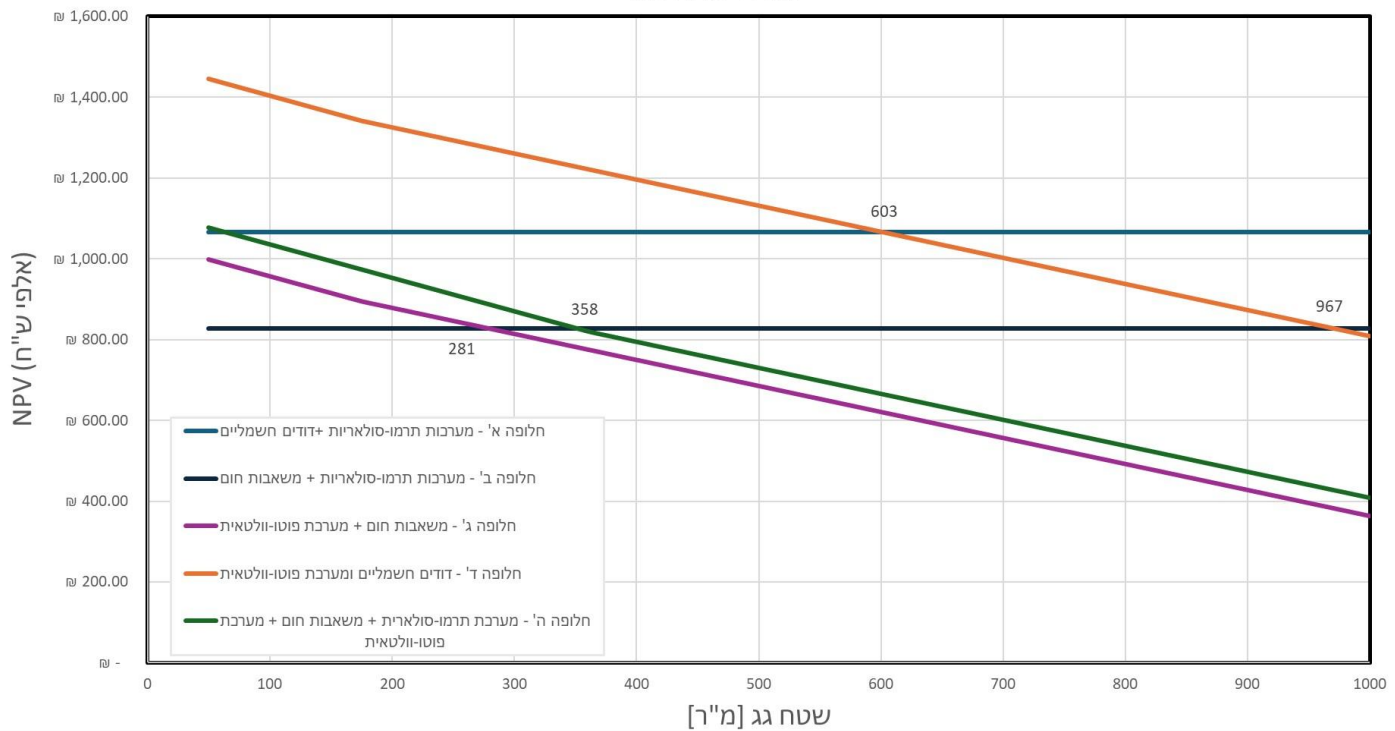
מסקנה - חלופה ג' עדיפה על חלופת הבסיס בכל התרשישים כאשר שטח הגג גדול מ-64 מ"ר. אם שטח הגג נמוך מ-64 מ"ר, חלופה א' היא העדיפה ביותר.

תרשים 23 - עלות חימום המים לחלופות ג', ד' ו-ה' לפי גודל הגג בכל התרחישים - בניין בן 15 קומות

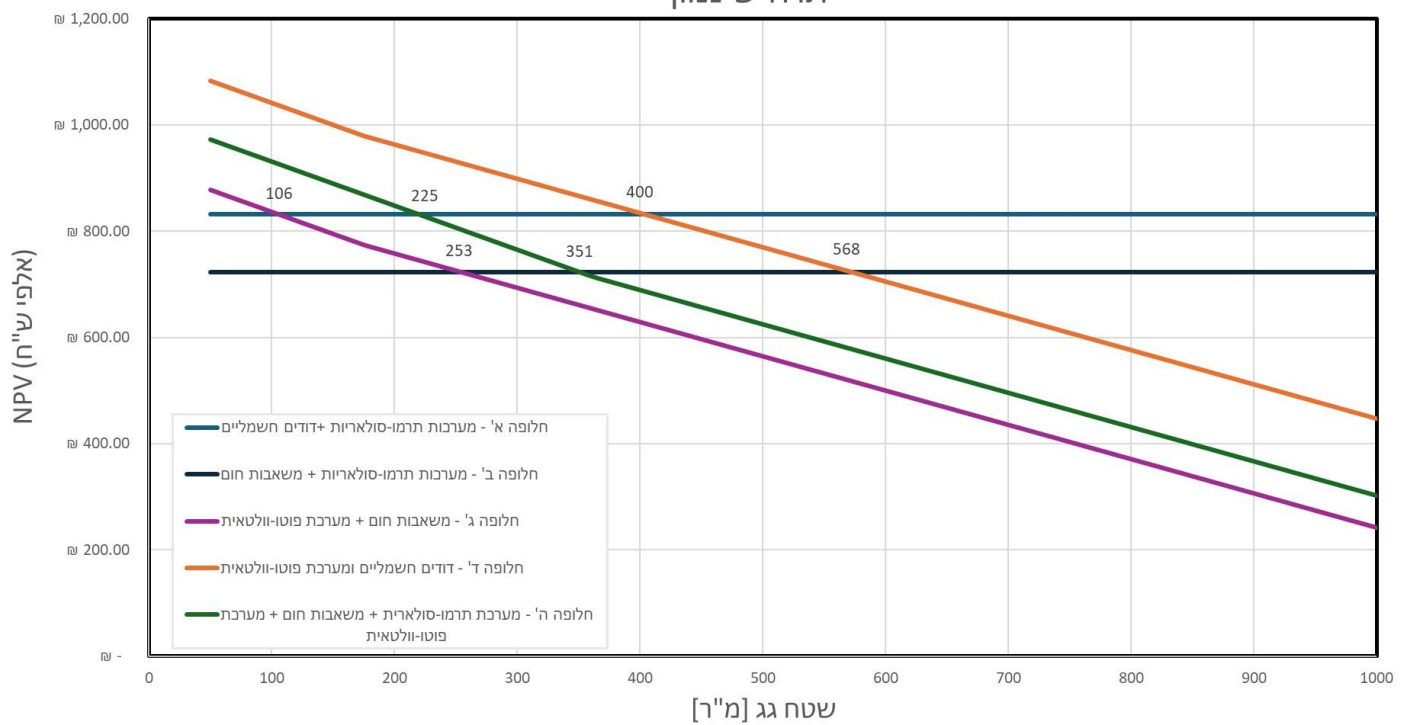
תרחיש גבוה



תרחיש בינוני



תרחיש נמוך



התרשימים מציגים את נקודות המפנה בכדאיות היחסית של חלופה ג' ביחס לחלופות האחרות כתלות שטח הגג:

- בתרחיש הגבוה, חלופה ג' היא העדיפה ביותר החל מ-288 מ"ר
- בתרחיש הבינוני, חלופה ג' היא העדיפה ביותר החל מ-281 מ"ר
- בתרחיש הנמוך, חלופה ג' היא העדיפה ביותר החל מ-253 מ"ר

מסקנה - חלופה ג' עדיפה על חלופת הבסיס בכל התרחישים כאשר שטח הגג גדול מ-106 מ"ר. אך חשוב לציין שאם שטח הגג נמוך מ-288 מ"ר, חלופה א' היא העדיפה ביותר.

8.6 ניתוח רגישות לתעריף הפוטו-וולטאי

Error! Reference source not found. מציג את מגמת הירידה בעלות ההתקנה (CAPEX) של מערכות פוטו-וולטאיות ביתיות בארה"ב בין השנים 2010-2022, על פי נתוני NREL. התרשים כולל שלושה מדדים סטטיסטיים: האחוזון ה-80 (מדד עליון), החציון (מדד אמצעי) והאחוזון ה-20 (מדד תחתון) של מחירי ההתקנה.

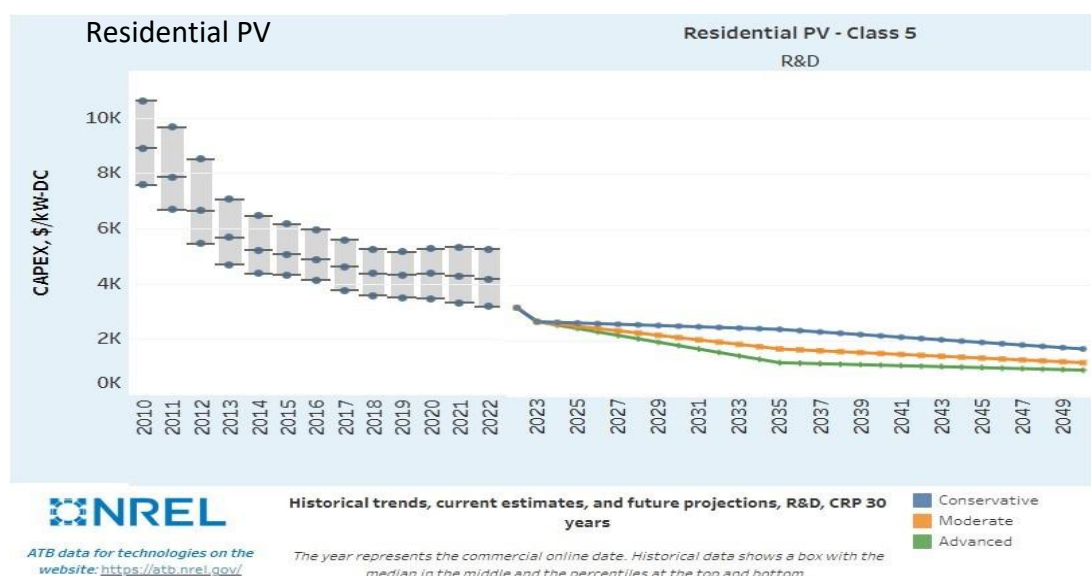
הנתונים מגלים ירידה עקבית ומשמעותית בעלויות ההתקנה לאורך התקופה הנבדקת, כאשר העלות ירדה מכ- \$/kWDC 9,000 בשנת 2010 לכ- \$/kWDC 2,000 בשנת 2022. מגמה זו הופכת את התקנת מערכות פוטו-וולטאיות לאטרקטיבית יותר מבחינה כלכלית.

התחזיות עד שנת 2050 מצביעות על המשך הירידה בעלויות ההשקעה בכל תרחישי ההתקדמות הטכנולוגית שנבחנו. ירידת המחירים נובעת בעיקר מהירידה המתמשכת במחירי הפאנלים הפוטו-וולטאיים בשוק העולמי ומשיפורים טכנולוגיים ביעילות הייצור.

בהקשר הישראלי, חשוב לציין כי תעריפי החשמל למערכות פוטו-וולטאיות נקבעים באופן המבטיח החזר השקעה של 6-7 שנים. מנגנון זה אומר שכל שינוי עתידי בתעריפי החשמל לא ישנה באופן מהותי את הכדאיות הכלכלית של המערכות הפוטו-וולטאיות, מכיוון שהתעריף יותאם תמיד לשמירה על אותה מסגרת זמן להחזר ההשקעה.

מבחינה מתודולוגית, לא ניתן לבצע ניתוח רגישות לשינויי תעריפי החשמל הפוטו-וולטאי, מכיוון ששינוי בתעריף יגרור אחריו שינוי בעלות המערכת הפוטו-וולטאית. כך נוצר מצב שבו שני פרמטרים משתנים בו-זמנית, מה שמונע את מציאת נקודת שוויון ברורה בניתוח הרגישות.

תרשים 24 - שינוי בעלות ההון המדרשת להקמת מערכת פוטו-וולטאית (2010-2022)⁷⁶



⁷⁶ Capital Expenditures (CAPEX)

8.7 סיכום ניתוח רגישות

ניתוח הרגישות בחן את עמידות המסקנות הכלכליות בפני שינויים בחמישה פרמטרים מרכזיים: מחיר החשמל, אורך חיי המערכות, עלויות תחזוקה, עלות ההון וגודל הגג הזמין. הניתוח נערך עבור שני טיפוסים המבנים ושלושת תרחישי הביקוש.

הממצא המרכזי והעקבי הוא העדיפות המובהקת של חלופה ג' (משאבות חום + פוטו-וולטאי) על פני חלופת הבסיס התרמו-סולארית בכל טווח הפרמטרים הריאליים. חלופה זו נותרת האופטימלית בטווח רחב של תעריפי חשמל (15.7-102.3 אג'/קוט"ש בבניין נמוך, 15.7-104 אג'/קוט"ש בבניין גבוה) ובכל טווח אורכי החיים של המערכות (0-30 שנה).

נקודות מפנה קריטיות נמצאו במספר פרמטרים:

- תעריף חשמל: בבניין נמוך, חלופת הבסיס הופכת עדיפה על משאבות חום בלבד רק מעל 20.6 אג'/קוט"ש. בבניין גבוה, המצב מתהפך - משאבות החום עדיפות כבר מעל 15.1 אג'/קוט"ש.
- אורך חיי מערכות: בבניין נמוך, משאבות חום הופכות עדיפות על החלופה התרמו-סולארית כאשר אורך החיים של המערכת התרמו-סולארית יורד מתחת ל-6.3 שנים. בבניין גבוה, משאבות החום עדיפות בכל אורך חיים ריאלי.
- עלות הון: חלופה ג' הופכת לעדיפה כאשר עלות מערכת תרמו-סולארית עולה על 2,358 ₪ (מתחת לעלות השוק הנוכחית של 2,900 ₪).

רגישות לגודל הגג מהווה גורם קריטי בחלופות הפוטו-וולטאיות. כל מטר רבוע נוסף של שטח גג מביא לחיסכון שנתי של כ-600 ₪ בעלויות חימום המים. חלופה ג' נותרת העדיפה ביותר עבור כל שטח גג ריאלי (150-450 מ"ר), מה שמדגיש את חשיבות השטח הפנוי כמשאב כלכלי.

מגמת הירידה במחירי מערכות פוטו-וולטאיות (מ-9,000 \$ ל-kW ב-2010, ל-2,000 \$ /kW ב-2022) מחזקת את הכדאיות העתידית של חלופות אלו. עם זאת, המנגנון הרגולטורי הישראלי המבטיח החזר השקעה קבוע (6-7 שנים) מייצב את הכדאיות הכלכלית ללא תלות בשינויי מחירים עתידיים.

המסקנה המרכזית מניתוחי הרגישות

החלופות המשלבות טכנולוגיות יעילות באנרגיה לחימום מים (משאבות חום) עם ייצור חשמל עצמי (פוטו-וולטאי) מציגות עדיפות ברורה ועמידות גבוהה בפני שינויים בפרמטרים הכלכליים. הבחירה האופטימלית תלויה בעיקר במאפייני הבניין - מספר דירות ושטח גג זמין - ופחות רגישה לתנודות בפרמטרים הכלכליים.

9. נספח ב' – תוצאות ניתוח מאזן האנרגיה לפי

תרחישי הביקוש

נספח זה מציג את תוצאות ניתוח מאזן האנרגיה עבור כל חלופה בשלושת תרחישי הביקוש. הניתוח בוחן את היחס בין צריכת החשמל לחימום מים לבין ייצור החשמל מהמערכות הפוטו-וולטאיות, ומאפשר הערכה של התרומה של כל חלופה להפחתת העומס על רשת החשמל. המתודולוגיה לחישוב מאזן האנרגיה מפורטת בפרק

3.

טבלה 29 - תוצאות ניתוח מאזן אנרגיה – תרחיש גבוה

טיפולוגית מבנה	חלופה	ביקוש שנתי לחשמל לצורך ייצור מים חמים [קוט"ש/שנה]	סה"כ חשמל מיוצר מהמערכת הפוטו-וולטאית [קוט"ש/שנה]	צריכת אנרגיה שנתית נטו [קוט"ש/שנה] ⁷⁷	שיעור מתוך צריכת האנרגיה הנדרשת לחימום מים ⁷⁸
בניין בן 7 קומות	חלופה א' – מערכת תרמו-סולארית	19,751	-	19,751	24.7%
	חלופה ג' – מערכת פוטו-וולטאית+ משאבות חום (kWp33)	26,700	55,157	(28,457)	(35.5%)
	חלופה ד' – מערכת פוטו-וולטאית + דוד חשמלי (kWp33)	80,099	55,157	24,942	31.1%
	חלופה ה' – מערכת תרמו-סולארית + מערכת פוטו-וולטאית (kWp17)	19,751	28,757	(9,007)	(11.2%)
בניין בן 15 קומות	חלופה א' – מערכת תרמו-	111,293	-	111,293	64.8%

⁷⁷ צריכת אנרגיה נטו מייצגת את סך החשמל שנצרך מהרשת לצורך ייצור המים החמים בניכוי החשמל המיוצר בבניין בכל חלופה. ערך שלילי מייצג עודף ייצור חשמל בבניין.

⁷⁸ שיעור הצריכה מתוך הצריכה הכוללת - היחס בין צריכת החשמל (קוט"ש חשמלי) הנדרשת להפעלת מערכת חימום המים לבין כמות החום המיוצרת (קוט"ש תרמי). ערך חיובי מייצג צריכת חשמל לייצור מים חמים, ערך שלילי מייצג עודף ייצור חשמל.

				סולארית + דודים חשמליים
29.3%	50,265	-	50,265	חלופה ב' - מערכת תרמו- סולארית בשילוב משאבות חום
(18.6%)	(31,886)	89,100	57,213	חלופה ג' - מערכת פוטו- וולטאית+ משאבות חום (kWp33)
48.1%	82,541	89,100	171,641	חלופה ד' - מערכת פוטו- וולטאית + דוד חשמלי (33) (kWp)
(7.2%)	(12,435)	62,700	50,265	חלופה ה' - מערכת תרמו- סולארית + מערכת פוטו וולטאית ומשאבות חום (kWp 17)

טבלה 30 - תוצאות ניתוח מאזן אנרגיה – תרחיש בינוני

שיעור מתוך צריכת האנרגיה הנדרשת לחימום מים ⁸⁰	צריכת אנרגיה שנתי נטו [קוט"ש/שנה] ⁷⁹	סה"כ חשמל מיוצר מהמערכת הפוטו- וולטאית [קוט"ש/שנה]	ביקוש שנתי לחשמל לצורך ייצור מים חמים [קוט"ש/שנה]	חלופה	טיפולוגית מבנה
24.7%	14,655	-	14,655	חלופה א' - מערכת תרמו- סולארית	בניין בן 7 קומות
(59.5%)	(35,346)	55,157	19,811	חלופה ג' - מערכת פוטו- וולטאית+ משאבות חום (kWp33)	

⁷⁹ צריכת אנרגיה נטו מייצגת את סך החשמל שנצרך מהרשת לצורך ייצור המים החמים בניכוי החשמל המיוצר בבניין בכל חלופה. ערך שלילי מייצג עודף ייצור חשמל בבניין.

⁸⁰ שיעור הצריכה מתוך הצריכה הכוללת - היחס בין צריכת החשמל (קוט"ש חשמלי) הנדרשת להפעלת מערכת חימום המים לבין כמות החום המיוצרת (קוט"ש תרמי). ערך חיובי מייצג צריכת חשמל לייצור מים חמים, ערך שלילי מייצג עודף ייצור חשמל.



7.2%	4,277	55,157	59,434	חלופה ד' - מערכת פוטו- וולטאית + דוד חשמלי (33) (kWp)	
(23.7%)	(14,102)	28,757	14,655	חלופה ה' - מערכת תרמו- סולארית + מערכת פוטו וולטאית (17) (kWp)	
64.8%	82,579	-	82,579	חלופה א' - מערכת תרמו- סולארית + דודים חשמליים	בניין בן 15 קומות
29.3%	37,296	-	37,296	חלופה ב' - מערכת תרמו- סולארית בשילוב משאבות חום	
(36.6%)	(46,647)	89,100	42,453	חלופה ג' - מערכת פוטו- וולטאית + משאבות חום (33 kWp)	
30%	38,258	89,100	127,358	חלופה ד' - מערכת פוטו- וולטאית + דוד חשמלי (33) (kWp)	
(20%)	(25,404)	62,700	37,296	חלופה ה' - מערכת תרמו- סולארית + מערכת פוטו וולטאית ומשאבות חום (17 kWp)	

טבלה 31 - תוצאות ניתוח מאזן אנרגיה – תרחיש נמוך

טיפולוגית מבנה	חלופה	ביקוש שנתי לחשמל לצורך ייצור מים חמים [קוט"ש/שנה]	סה"כ חשמל מיוצר מהמערכת הפוטו-וולטאית [קוט"ש/שנה]	צריכת אנרגיה שנתית נטו [קוט"ש/שנה] ⁸¹	שיעור מתוך צריכת האנרגיה הנדרשת לחימום מים ⁸²
בניין בן 7 קומות	חלופה א' – מערכת תרמו-סולארית	9,559	-	9,559	24.7%
	חלופה ג' – מערכת פוטו-וולטאית+משאבות חום (kWp33)	12,923	55,157	(42,234)	(109%)
	חלופה ד' – מערכת פוטו-וולטאית + דוד חשמלי (kWp33)	38,768	55,157	(16,389)	(42.3%)
	חלופה ה' – מערכת תרמו-סולארית + מערכת פוטו-וולטאית (kWp17)	9,559	28,757	(19,198)	(49.5%)
בניין בן 15 קומות	חלופה א' – מערכת תרמו-סולארית + דודים חשמליים	53,866	-	53,866	64.8%
	חלופה ב' – מערכת תרמו-סולארית בשילוב משאבות חום	24,328	-	24,328	29.3%
	חלופה ג' – מערכת פוטו-וולטאית+משאבות חום (kWp33)	27,691	89,100	(61,409)	(74%)

⁸¹ צריכת אנרגיה נטו מייצגת את סך החשמל שנצרך מהרשת לצורך ייצור המים החמים בניכוי החשמל המיוצר בבניין בכל חלופה. ערך שלילי מייצג עודף ייצור חשמל בבניין.

⁸² שיעור הצריכה מתוך הצריכה הכוללת - היחס בין צריכת החשמל (קוט"ש חשמלי) הנדרשת להפעלת מערכת חימום המים לבין כמות החום המיוצרת (קוט"ש תרמי). ערך חיובי מייצג צריכת חשמל לייצור מים חמים, ערך שלילי מייצג עודף ייצור חשמל.

(7.3%)	(6,026)	89,100	83,074	חלופה ד' - מערכת פוטו- וולטאית + דוד חשמלי (33) (kWp)
(46%)	(38,372)	62,700	24,328	חלופה ה' - מערכת תרמו- סולארית + מערכת פוטו- וולטאית ומשאבות חום (17 kWp)

סיכום ניתוח מאזן האנרגיה

מהניתוח עולה כי חלופה ג' (משאבות חום בשילוב מערכת פוטו-וולטאית) מציגה את הביצועים האנרגטיים המיטביים בכל תרחישי הביקוש ובשתי טיפולוגיות המבנה, עם עודפי ייצור חשמל הנעים בין 19% ל-109% מעבר לביקוש לחימום מים.

10. נספח ג' – ניתוח השפעת שיטות

ההתחשבות - ייצור לעומת הזרמה

לצורך התחשבות על ייצור חשמל פוטו-וולטאי קיימות שתי שיטות עיקריות: ייצור והזרמה, המשפיעות על הכדאיות הכלכלית של המערכות הפוטו-וולטאיות.

שיטת ייצור – בשיטה זו מתקיימת הפרדה מלאה בין ייצור החשמל לצריכתו. חברת החשמל משלמת ליצרן עבור כל כמות החשמל שהמערכת הפוטו-וולטאית מייצרת ומזרימה לרשת החשמל. במקביל, צרכן החשמל במבנה משלם לחברת החשמל עבור כל החשמל שהוא צורך מהרשת, בדיוק כמו כל צרכן רגיל.

שיטת הזרמה – שיטת התחשבות המבוססת על מדידת האנרגיה נטו המוזרמת לרשת החשמל, המחושבת כהפרש בין האנרגיה המיוצרת על ידי המערכת הפוטו-וולטאית לבין הצריכה המקומית של המתקן בזמן אמת. חברת החשמל מתחשבת עם היצרן אך ורק על עודפי הייצור המוזרמים לרשת, לאחר קיזוז הצריכה העצמית. במודל זה, התעריף משולם עבור האנרגיה נטו שהוזרמה לרשת בלבד, כאשר הצריכה העצמית מהמערכת הפוטו-וולטאית אינה מזכה בתשלום מחברת החשמל אך חוסכת עלויות רכישת חשמל מהרשת. בניתוח זה הונח כי כל החשמל המיוצר מהמערכת הפוטו-וולטאית נצרך במקום, ולכן החיסכון מחושב לפי התעריף הקבוע למשקי בית של חברת החשמל (0.64 ש"ח לקוט"ש).

התוצאות שהוצגו עד כה בניתוח מתבססות על הנחת שיטת ייצור. להלן יוצגו תוצאות נוספות המתבססות על שיטת הזרמה, המשקפות תרחיש שונה של התחשבות עם חברת החשמל.

הנחה מהותית בניתוח שיטת ההזרמה היא שהצרכן מנהל את צריכת החשמל באופן אקטיבי, כלומר הוא מתזמן את פעולת חימום המים ושימושים נוספים לשעות שבהן המערכת הפוטו-וולטאית מייצרת חשמל, כך שהצריכה המקומית תקוזז כנגד הייצור. בנוסף לצריכת יחידות הדיור (מכונת כביסה, מדיח כלים, מזגנים וכדומה), ניתן לקזז גם את צריכת החשמל של הרכוש המשותף בבניין, הכוללת אוורור חניון, מעליות, תאורה ומיזוג אוויר בשטחים המשותפים.

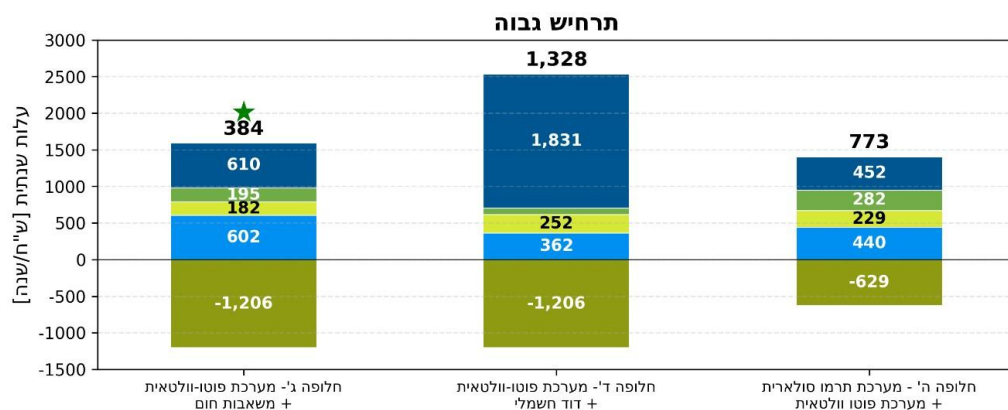
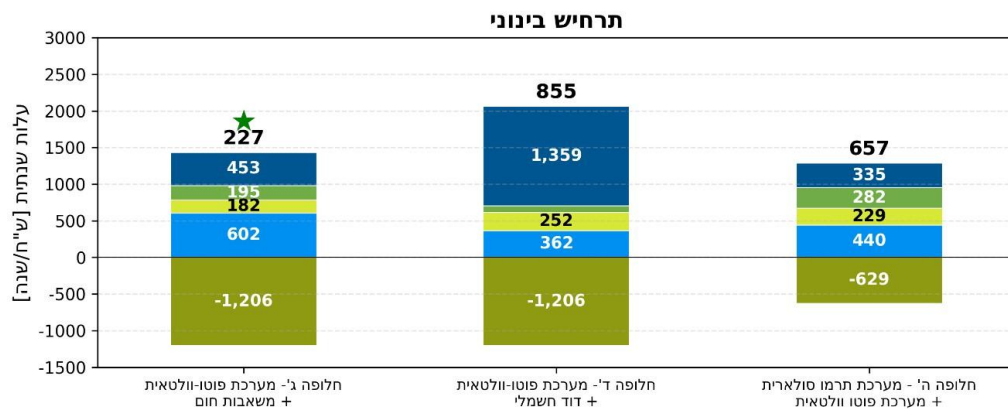
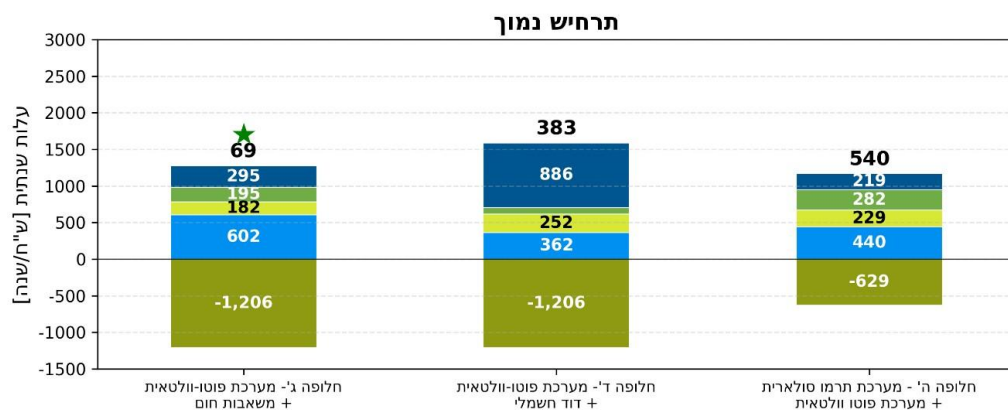
זו הנחה קריטית בניתוח זה, ואם היא לא מתקיימת התוצאות של שתי שיטות ההתחשבות יהיו זהות. יתרה מכך, במקרים בהם ניתנת פרמיה אורבנית למערכות פוטו-וולטאיות באזורים עירוניים צפופים, התמריץ הכלכלי הנוסף עשוי לצמצם או אף לבטל את הפערים הכלכליים בין שיטת הייצור לשיטת ההזרמה, מה שעלול להפוך את משקי הבית לאדישים בבחירה בין שתי החלופות, שכן שתיהן יניבו תועלת כלכלית דומה⁸³.

⁸³ החלטה מס' 66406 – פרמיה אורבנית למתקני ייצור ואגירה

יש לציין כי קיים פער בין הנחה תיאורטית זו לבין המציאות הרגולטורית הקיימת: בפועל, במסגרת הסדרי ההתחשבות הנוכחיים, לא ניתן לקזז את צריכת החשמל של משקי הבית הפרטיים כנגד ייצור המערכת הפוטו-וולטאית המשותפת, והקיצוז מוגבל לצריכת החשמל של הרכוש המשותף בלבד. מגבלה זו מצמצמת את הפוטנציאל הכלכלי של שיטת ההזרמה בהשוואה לתרחיש התיאורטי המתואר.

הניתוח נעשה עבור חלופות ג', ד' וה' בלבד, מאחר ובחלופות אלה מתקיימת התחשבות על מכירת חשמל שלא מתבצעת בחלופות א' וב' (שאינן כוללות מערכות פוטו-וולטאיות).

תרשים 25 - עלות שנתית ליחידת דיור ממוצעת בבניין בן 7 קומות [ש"ח/שנה] - שיטת ההזרמה



הכנסה שנתית ממכירת חשמל [נ"ל] עלויות החלפת המערכת [נ"ל כולל מע"מ] עלויות השקעה ראשונית במערכת לחימום מים [נ"ל כולל מע"מ]
עלויות אחזקת המערכת [נ"ל כולל מע"מ] עלויות החשמל לחימום מים [נ"ל כולל מע"מ]

תרשים 26 - עלות שנתית ליחידת דיור ממוצעת בבניין בן 15 קומות [ש"ח/שנה] - שיטת ההזרמה



■ עלויות השקעה ראשונית במערכת לחימום מים [₪ כולל מע"מ]
 ■ עלויות החלפת המערכת [₪ כולל מע"מ]
 ■ הכנסה שנתית ממכירת חשמל [₪]
 ■ עלויות החשמל לחימום מים [₪ כולל מע"מ]
 ■ עלויות אחזקת המערכת [₪ כולל מע"מ]

המעבר משיטת ייצור לשיטת הזרמה, תוך ניהול חכם של זמני חימום המים, מביא לשיפור משמעותי בכדאיות הכלכלית של כל החלופות הפוטו-וולטאיות. התוצאות מציגות חיסכון עקבי בעלויות השנתיות כאשר הצרכן מתזמן את חימום המים לשעות ייצור החשמל מהשמש.

בבניין בן 7 קומות, שיטת ההזרמה מביאה לירידה משמעותית בעלויות: חלופה ג' יורדת מ-455-770 ש"ח ל-69-384 ש"ח לשנה ליחידת דיור, חלופה ד' יורדת מ-768-1,713 ש"ח ל-383-1,328 ש"ח, וחלופה ה' יורדת מ-698-931 ש"ח ל-540-773 ש"ח. בבניין בן 15 קומות הממצאים דומים: חלופה ג' יורדת מ-597-912 ש"ח ל-273-588 ש"ח, חלופה ד' יורדת מ-909-1,854 ש"ח ל-585-1,530 ש"ח, וחלופה ה' יורדת מ-713-990 ש"ח ל-406-600 ש"ח.

בהשוואה לחלופת הבסיס (968-1,201 ש"ח בבניין בן 7 קומות ו-1,122-1,735 ש"ח בבניין בן 15 קומות), החיסכון בשיטת הזרמה מרשים במיוחד: חלופה ג' מציגה חיסכון של 68%-93% בבניין בן 7 קומות ו-66%-76% בבניין בן 15 קומות. חלופה ה' מציגה חיסכון של 36%-44% בבניין בן 7 קומות ו-54%-64% בבניין בן 15 קומות. בבניין בן 15 קומות, ההשוואה לחלופת המציאות הרגולטורית (חלופה ב' – 992-1,269 ש"ח לשנה ליחידת דיור) מדגישה את היתרון של החלופות הפוטו-וולטאיות: חלופה ג' זולה ב-54%-72% מחלופה ב', וחלופה ה' זולה ב-53%-59%.

המנגנון מאחורי השיפור בחלופה ד' (דוד חשמלי עם מערכת פוטו-וולטאית) משתנה בהתאם לתרחיש הביקוש. בתרחיש ביקוש נמוך, המערכת הפוטו-וולטאית מכסה את מלוא צריכת החשמל לחימום מים ואף מייצרת עודפים, מה שמוביל לעלות שנתית נמוכה של 383 ש"ח בבניין בן 7 קומות ו-585 ש"ח בבניין בן 15 קומות. בתרחיש ביקוש גבוה, עלויות החשמל עולות משמעותית ל-1,328 ש"ח בבניין בן 7 קומות ו-1,530 ש"ח בבניין בן 15 קומות, עקב היעילות הנמוכה של הדוד החשמלי שמובילה לצריכת חשמל גבוהה שאינה מתקצת על ידי ייצור המערכת הפוטו-וולטאית.

הממצאים מדגישים את החשיבות של ניהול זמני צריכת החשמל בחלופות הפוטו-וולטאיות. ניהול חכם זה הופך את החלופות הפוטו-וולטאיות לכדאיות יותר ומגדיל את הפער הכלכלי ביחס לחלופות שאינן כוללות ייצור חשמל עצמי. המסקנה המעשית היא שאימוץ שיטת הזרמה, יחד עם מערכות ניהול חכמות לתזמון צריכת החשמל, יכול לשפר משמעותית את הכדאיות הכלכלית של הפתרונות הפוטו-וולטאיים.

11. נספח ד' – ניתוח היחס שבין מספר הדירות

לגודל הגג לשם עמידה בתקנה 24 בראי חלופה ג'

תקנה 24 לתקנות התכנון והבנייה (תכן הבנייה) (תברואה), תש"ף-2019 קובעת שתי דרישות מרכזיות לבניין מגורים: התקנת מערכת לאספקת מים חמים (מערכת תרמו-סולארית, משאבות חום או מערכת שוות ערך) והתקנת מערכת להפקת אנרגיה מאנרגיית שמש, רוח או חום שיורי. בבניין שאינו רב-קומות נדרשת הפקה של 2,206 קוט"ש לשנה לכל יחידת דיור, ובבניין רב-קומות נדרשת הפקה של 76.7 מגה-וואט שעה בשנה לכלל הבניין. מערכת תרמו-סולארית היא היחידה העונה על שתי הדרישות במקביל, בעוד שמשאבות חום מחייבות התקנת מערכת נוספת להפקת אנרגיה. נשאלת השאלה: מהו היחס הנדרש בין שטח הגג הזמין למספר יחידות הדיור כדי שחלופה ג' (משאבות חום עם מערכת פוטו-וולטאית) תעמוד בדרישות התקנה?

מתודולוגיה

הניתוח קובע את היחס המינימלי בין שטח גג (מ"ר) למספר דירות בבניינים שאינם רבי קומות, הנדרש כדי שמערכת פוטו-וולטאית תספק את האנרגיה הנדרשת על פי התקנה.

החישוב התבסס על הנחות היסוד הבאות:

דרישת התקנה: על המערכת הפוטו-וולטאית לספק 2,206 קוט"ש בשנה עבור כל יחידת דיור.

תפוקת המערכת: כל קילוואט מותקן (kWp) של מערכת פוטו-וולטאית מייצר כ-1,650 קוט"ש בשנה.

שטח נדרש להתקנה: התקנת 1 קילוואט מותקן דורשת 7 מ"ר של שטח גג פנוי.

שטח גג זמין: 65% משטח הגג הכולל זמין ומתאים להתקנת המערכת הפוטו-וולטאית.

היחס המינימלי חושב על ידי השוואה בין סך האנרגיה הנדרשת לכלל הדירות בבניין לבין פוטנציאל ייצור האנרגיה הכולל מהשטח הזמין על הגג. תנאי הסף לעמידה בתקנה הוא מצב שבו פוטנציאל הייצור גדול או שווה לאנרגיה הנדרשת.

הנוסחה לחישוב היחס המינימלי היא:

משוואה 1 – יחס מינימלי בין שטח הגג לבין מספר הדירות הנדרש בכדי לעמוד בתקנה 24 בבניין שאינו רב קומות

$$\text{יחס מינימלי (מ"ר/דירה)} = \frac{\text{דרישת אנרגיה שנתית לדירה}}{\left(\frac{\text{אחוז שטח זמין}}{\text{שטח למערכת}} \right) \times \text{ייצור שנתי למערכת}}$$

$$\text{יחס מינימלי (מ"ר/דירה)} = \frac{2,206}{\left(\frac{0.65}{7}\right) \times 1,650} \approx 14.4$$

תוצאת החישוב מראה כי נדרש יחס מינימלי של כ-14.40 מ"ר של שטח גג כולל עבור כל דירה בבניין על מנת לעמוד בדרישות התקנה בבניין שאינו רב קומות.

מפת החום שהוכנה במסגרת הניתוח (תרשים 27) ממחישה תוצאה זו באופן ויזואלי. התאים הירוקים במפה מייצגים שילובים של מספר דירות ושטח גג שבהם הדרישה מסופקת, בעוד שהתאים האדומים מייצגים שילובים שאינם עומדים בדרישות התקנה. הקו האלכסוני הברור המפריד בין האזורים הירוקים והאדומים הוא הייצוג הגרפי של יחס המינימום שחושב.

תרשים 27 – ניתוח שטח הגג המינימלי הנדרש לעמידה בתקנה 24 בבניין שאינו רב קומות בראי חלופה ג'

ניתוח רגישות - שטח גג מינימלי לצורך עמידה בדרישות תקנה 24

שטח גג (מ"ר)	מספר דירות בבניין												
	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28
350	נדרש: 8,824 סונציאל: 53,625	נדרש: 13,236 סונציאל: 53,625	נדרש: 17,648 סונציאל: 53,625	נדרש: 22,060 סונציאל: 53,625	נדרש: 26,472 סונציאל: 53,625	נדרש: 30,884 סונציאל: 53,625	נדרש: 35,296 סונציאל: 53,625	נדרש: 39,708 סונציאל: 53,625	נדרש: 44,120 סונציאל: 53,625	נדרש: 48,532 סונציאל: 53,625	נדרש: 52,944 סונציאל: 53,625	נדרש: 57,356 סונציאל: 53,625	נדרש: 61,768 סונציאל: 53,625
325	נדרש: 8,824 סונציאל: 49,795	נדרש: 13,236 סונציאל: 49,795	נדרש: 17,648 סונציאל: 49,795	נדרש: 22,060 סונציאל: 49,795	נדרש: 26,472 סונציאל: 49,795	נדרש: 30,884 סונציאל: 49,795	נדרש: 35,296 סונציאל: 49,795	נדרש: 39,708 סונציאל: 49,795	נדרש: 44,120 סונציאל: 49,795	נדרש: 48,532 סונציאל: 49,795	נדרש: 52,944 סונציאל: 49,795	נדרש: 57,356 סונציאל: 49,795	נדרש: 61,768 סונציאל: 49,795
300	נדרש: 8,824 סונציאל: 45,964	נדרש: 13,236 סונציאל: 45,964	נדרש: 17,648 סונציאל: 45,964	נדרש: 22,060 סונציאל: 45,964	נדרש: 26,472 סונציאל: 45,964	נדרש: 30,884 סונציאל: 45,964	נדרש: 35,296 סונציאל: 45,964	נדרש: 39,708 סונציאל: 45,964	נדרש: 44,120 סונציאל: 45,964	נדרש: 48,532 סונציאל: 45,964	נדרש: 52,944 סונציאל: 45,964	נדרש: 57,356 סונציאל: 45,964	נדרש: 61,768 סונציאל: 45,964
275	נדרש: 8,824 סונציאל: 42,134	נדרש: 13,236 סונציאל: 42,134	נדרש: 17,648 סונציאל: 42,134	נדרש: 22,060 סונציאל: 42,134	נדרש: 26,472 סונציאל: 42,134	נדרש: 30,884 סונציאל: 42,134	נדרש: 35,296 סונציאל: 42,134	נדרש: 39,708 סונציאל: 42,134	נדרש: 44,120 סונציאל: 42,134	נדרש: 48,532 סונציאל: 42,134	נדרש: 52,944 סונציאל: 42,134	נדרש: 57,356 סונציאל: 42,134	נדרש: 61,768 סונציאל: 42,134
250	נדרש: 8,824 סונציאל: 38,304	נדרש: 13,236 סונציאל: 38,304	נדרש: 17,648 סונציאל: 38,304	נדרש: 22,060 סונציאל: 38,304	נדרש: 26,472 סונציאל: 38,304	נדרש: 30,884 סונציאל: 38,304	נדרש: 35,296 סונציאל: 38,304	נדרש: 39,708 סונציאל: 38,304	נדרש: 44,120 סונציאל: 38,304	נדרש: 48,532 סונציאל: 38,304	נדרש: 52,944 סונציאל: 38,304	נדרש: 57,356 סונציאל: 38,304	נדרש: 61,768 סונציאל: 38,304
225	נדרש: 8,824 סונציאל: 34,473	נדרש: 13,236 סונציאל: 34,473	נדרש: 17,648 סונציאל: 34,473	נדרש: 22,060 סונציאל: 34,473	נדרש: 26,472 סונציאל: 34,473	נדרש: 30,884 סונציאל: 34,473	נדרש: 35,296 סונציאל: 34,473	נדרש: 39,708 סונציאל: 34,473	נדרש: 44,120 סונציאל: 34,473	נדרש: 48,532 סונציאל: 34,473	נדרש: 52,944 סונציאל: 34,473	נדרש: 57,356 סונציאל: 34,473	נדרש: 61,768 סונציאל: 34,473
200	נדרש: 8,824 סונציאל: 30,643	נדרש: 13,236 סונציאל: 30,643	נדרש: 17,648 סונציאל: 30,643	נדרש: 22,060 סונציאל: 30,643	נדרש: 26,472 סונציאל: 30,643	נדרש: 30,884 סונציאל: 30,643	נדרש: 35,296 סונציאל: 30,643	נדרש: 39,708 סונציאל: 30,643	נדרש: 44,120 סונציאל: 30,643	נדרש: 48,532 סונציאל: 30,643	נדרש: 52,944 סונציאל: 30,643	נדרש: 57,356 סונציאל: 30,643	נדרש: 61,768 סונציאל: 30,643
175	נדרש: 8,824 סונציאל: 26,812	נדרש: 13,236 סונציאל: 26,812	נדרש: 17,648 סונציאל: 26,812	נדרש: 22,060 סונציאל: 26,812	נדרש: 26,472 סונציאל: 26,812	נדרש: 30,884 סונציאל: 26,812	נדרש: 35,296 סונציאל: 26,812	נדרש: 39,708 סונציאל: 26,812	נדרש: 44,120 סונציאל: 26,812	נדרש: 48,532 סונציאל: 26,812	נדרש: 52,944 סונציאל: 26,812	נדרש: 57,356 סונציאל: 26,812	נדרש: 61,768 סונציאל: 26,812
150	נדרש: 8,824 סונציאל: 22,982	נדרש: 13,236 סונציאל: 22,982	נדרש: 17,648 סונציאל: 22,982	נדרש: 22,060 סונציאל: 22,982	נדרש: 26,472 סונציאל: 22,982	נדרש: 30,884 סונציאל: 22,982	נדרש: 35,296 סונציאל: 22,982	נדרש: 39,708 סונציאל: 22,982	נדרש: 44,120 סונציאל: 22,982	נדרש: 48,532 סונציאל: 22,982	נדרש: 52,944 סונציאל: 22,982	נדרש: 57,356 סונציאל: 22,982	נדרש: 61,768 סונציאל: 22,982
125	נדרש: 8,824 סונציאל: 19,152	נדרש: 13,236 סונציאל: 19,152	נדרש: 17,648 סונציאל: 19,152	נדרש: 22,060 סונציאל: 19,152	נדרש: 26,472 סונציאל: 19,152	נדרש: 30,884 סונציאל: 19,152	נדרש: 35,296 סונציאל: 19,152	נדרש: 39,708 סונציאל: 19,152	נדרש: 44,120 סונציאל: 19,152	נדרש: 48,532 סונציאל: 19,152	נדרש: 52,944 סונציאל: 19,152	נדרש: 57,356 סונציאל: 19,152	נדרש: 61,768 סונציאל: 19,152
100	נדרש: 8,824 סונציאל: 15,321	נדרש: 13,236 סונציאל: 15,321	נדרש: 17,648 סונציאל: 15,321	נדרש: 22,060 סונציאל: 15,321	נדרש: 26,472 סונציאל: 15,321	נדרש: 30,884 סונציאל: 15,321	נדרש: 35,296 סונציאל: 15,321	נדרש: 39,708 סונציאל: 15,321	נדרש: 44,120 סונציאל: 15,321	נדרש: 48,532 סונציאל: 15,321	נדרש: 52,944 סונציאל: 15,321	נדרש: 57,356 סונציאל: 15,321	נדרש: 61,768 סונציאל: 15,321
75	נדרש: 8,824 סונציאל: 11,491	נדרש: 13,236 סונציאל: 11,491	נדרש: 17,648 סונציאל: 11,491	נדרש: 22,060 סונציאל: 11,491	נדרש: 26,472 סונציאל: 11,491	נדרש: 30,884 סונציאל: 11,491	נדרש: 35,296 סונציאל: 11,491	נדרש: 39,708 סונציאל: 11,491	נדרש: 44,120 סונציאל: 11,491	נדרש: 48,532 סונציאל: 11,491	נדרש: 52,944 סונציאל: 11,491	נדרש: 57,356 סונציאל: 11,491	נדרש: 61,768 סונציאל: 11,491
50	נדרש: 8,824 סונציאל: 7,661	נדרש: 13,236 סונציאל: 7,661	נדרש: 17,648 סונציאל: 7,661	נדרש: 22,060 סונציאל: 7,661	נדרש: 26,472 סונציאל: 7,661	נדרש: 30,884 סונציאל: 7,661	נדרש: 35,296 סונציאל: 7,661	נדרש: 39,708 סונציאל: 7,661	נדרש: 44,120 סונציאל: 7,661	נדרש: 48,532 סונציאל: 7,661	נדרש: 52,944 סונציאל: 7,661	נדרש: 57,356 סונציאל: 7,661	נדרש: 61,768 סונציאל: 7,661

לדוגמה, עבור בניין בן 10 דירות, נדרש שטח גג של לפחות 144 מ"ר (10 דירות × 14.4 מ"ר/דירה). ניתן לראות במפה כי עבור 10 דירות, גג בשטח של 150 מ"ר (מעל הסף) מסומן בירוק, בעוד שגג בשטח 125 מ"ר (מתחת לסף) מסומן באדום.

עבור בניינים רבי קומות הדרישה בתקנה 24 היא שונה. התקנה מגדירה שיש לספק 76,744 קוט"ש בשנה לכלל הבניין ללא תלות במספר יחידות הדיור. שהו הבדל מהותי כאשר בוחנים את השטח הגג המינימלי לצורך עמידה בתקנה.

מאחר ואין תלות במספר שטח הגג המינימלי הוא השטח שבו ניתן להתקין מערכת פוטו-וולטאית המסוגלת לייצר 76,744 קוט"ש בשנה. להלן נוסחה המבטאת קשר זה:

משוואה 2 – שטח גג מינימלי הנדרש לעמיה בתקנה בבניין רב קומות

$$\text{שטח מינימלי (מ"ר)} = \frac{\text{דרישת התקנה}}{\text{ייצור שנתי למערכת}} \times \frac{\text{שטח למערכת}}{\text{אחוז שטח זמין}}$$

$$\frac{76,744 \times 7}{1,650 \times 0.6} \approx 543$$

כלומר, בכדי לעמוד בדרישות תקנה 24 נדרש שטח גג (ברוטו) של כ-543 מ"ר בבניין המוגדר כבניין רב קומות. כל גג קטן מזה לא יוכל לעמוד בדרישות תקנה 24 ללא תלות במספר יחידות הדיור במבנה.

12. נספח ה' - חיסכון בפיתוח רשת החלוקה

צמצום שיא הביקוש בערבי החורף יכול להפחית באופן משמעותי את ההשקעה הנדרשת ברשת החלוקה. טבלה 32 מציגה את החיסכון המשוער לכל קילו-וואט שנחסך מעומס השיא, המבוסס על מתודולוגיית החישוב של רשות החשמל מ-2023 לצורך קביעת "הפרמיה האורבנית"⁸⁴. החישוב מניח פריסה של עלויות הרשת על פני 45 שנה.

טבלה 32 – פרמטרים לחישוב החיסכון בפיתוח רשת החלוקה

פרמטר	יחידות	ערך
שנים לפריסה	שנים	45.0
תשואה להון	%	4
עלות חדר שנאים נורמטיבי	₪	526,806.0
הספק חדר שנאים	קילוואט	630
עלות השנאה קו"א	ש"ח/קו"א	836
עלות ק"מ מתח גבוה מוטמן	₪	795,520.0
אורך קו מתח גבוה נורמטיבי בק"מ	ק"מ	1.5
עלות כוללת קו	₪	1,193,280.0
קיבולת קו	kVA	22,000.00
עלות קו"א	ש"ח לקילוואט	54.24
סה"כ עלות kVa	ש"ח לקו"א	890.4
עלות שנתיית לקילוואט	ש"ח לקילוואט/שנה	-43.0

החיסכון בעלויות פיתוח הרשת החלוקה מוצג בטבלה 32, משלבת את ההשקעה הנחסכת בכושר ייצור (טבלה 24) את ההפחתה הצפויה בביקוש השנתי בערבי החורף. התוצאות מצביעות על חיסכון בערך נוכחי של 54-94

⁸⁴ רשות החשמל החלטה 66406 מ-14.9.23



מלש"ח, אשר יכול לעלות ל-109-188 מלש"ח במידה במידה ותוקם תוכנית תמריצים למעבר לדירות קיימות למשאבות חום. עם זאת, חשוב לציין כי החיסכון ברשת החלוקה קטן בהרבה מהחיסכון בהקמת כושר ייצור.