



מוסד שמואל נאמן  
למחקר מתקדם במדע וטכנולוגיה



# ייעול השימוש באנרגיה בקיבוץ עין חרוד איחוד

מתחם מכבסה, מטבח וחדר אוכל

יולי 2006

כתב: אליעזר פרוכטר, חברת Scitherm  
בדק: פרופ' גרשון גרוסמן, הטכניון, הפקולטה להנדסת מכונות

תוכן העניינים:

3 .....	מבוא.....	1
4 .....	מצב קיים .....	2
8 .....	הערות בקשר לנתונים וההמלצות שבדו"ח גרגו .....	3
11.....	ניתוח הצריכה האנרגטית .....	4
12.....	צעדים לחיסכון אנרגטי .....	5
13.....	תיאור המדידות והציוד הנדרש .....	6
14.....	דוגמת תחשיב לשימוש בקולטי שמש לחמום מים עבור מכונות הכביסה .....	7
16.....	סיכום .....	8
17.....	מקורות .....	9
18.....	נספחים .....	10

## 1 מבוא

עבודה זו הוכנה במסגרת הפרויקט "קיבוץ עין חרוד-איחוד – קיבוץ ירוק", המבוצע ע"י הקיבוץ בסיוע מוסד שמואל נאמן בטכניון, חיפה. מטרת הפרויקט היא לבחון דרכים לחיסכון/ הוזלת עלויות האנרגיה בקיבוץ ולהציע צעדי חיסכון הכוללים שימוש באנרגיות אלטרנטיביות כגון אנרגית שמש וביוגז ( מופק מזבל אורגני), תוך כדי עמידה בקריטריונים של כדאיות כלכלית. מתחם המכבסה והמטבח מהווה צרכן האנרגיה הגדול ביותר לחימום מים בקיבוץ. צרכנים אחרים וקטנים יותר הם הרפת, הדיר וצרכני המים בבתיים.

דו"ח זה מתרכז במתחם הכביסה והמטבח. במתחם שני ריכוזי מבנים: מבנה המכבסה ומבנה חדר האוכל והמטבח הנמצאים במרחק של כ- 110 מטר זה מזה. המתחם מוזן ע"י מערכת מרכזית של קיטור ומים חמים, מופעלת ע"י שני דוודים מוזנים בגז. למתחם צרכני קיטור ומים מגוונים, בעלי דרישות שונות הן בטמפרטורות והן בכמויות. בשנת 2005 הסתכמה צריכת הגז בכ- 130,000 ק"ג ובעלות כספית של כ- 315,000 ₪ במחירי 2005 (408,000 ₪ במחירי 2006). כל העלויות הן ללא מע"מ. ליד עלויות הגז, ישנן עלויות נוספות של חשמל, מים, חומרים כימיים ועלויות תחזוקה בהן לא דן הדו"ח.

ע"מ לאמוד את פוטנציאל החיסכון דרוש קודם כל להכיר את המצב הקיים מבחינה איכותית ומבחינה כמותית. הנתונים הכמותיים היחידים כיום, הם כמויות ועלויות הגז שנרכשו במהלך שנת 2005. במערכת הזנת הקיטור והמים אין ציוד מדידה זולת מספר מדי לחץ ביציאה מהדוד. אצל הצרכנים קיים ציוד שמעיד על טמפ' השימוש (תלוי בגיל הציוד). לסיכום - אין במתחם מערכת מדידה זולת רישום רכש הדלק.

הדו"ח הנוכחי מסתמך על שני מקורות מידע עיקריים: שיחות ומכתבים שנשלחו למחבר הדו"ח ע"י מיקי יונתי ויוחאי קמחי - חברי הקיבוץ, וסקר האנרגיה שבוצע ע"י טיטו גרגו מארגון עובדי המים (ראה להלן - גרגו).

שני המקורות מסתמכים על צריכת הגז הכוללת כפי שרשומה בדפי הנהלת החשבונות. בנוסף קיימת הסכמה לגבי סוג הקיטור, טמפ' וזמן השימוש (גרגו קיבל את הנתונים מהקיבוץ). קיים שוני בנתון מהותי כגון משקל הכביסה. בסקר של גרגו ישנם אומדנים על צריכת צרכני האנרגיה מבלי לציין את מקור המידע. הפסדי האנרגיה נאמדים ע"י השוואת הצריכה בקיבוץ למקובל במכבסות אחרות. דו"ח גרגו מציע חלופות השקעה להשגת החיסכון, אולם אינו מסביר כיצד יתקבל החיסכון.

דו"ח זה מתבסס על מקורות המידע לעיל ועל הסקר הוויזואלי של מחבר הדו"ח בקיבוץ, ומצביע על הבעייתיות של הנתונים והמסקנות שנובעות מכך. בהעדר נתוני מדידה, קיים סיכוי גבוה שביצוע ההמלצות של גרגו לא יביאו לחיסכון החזוי. בהעדר נתונים כמותיים הכרחיים (לדעת המחבר), דו"ח זה אינו סקר אנרגיה רגיל שמסתיים בהמלצת השקעות וחשבוניות, אלא דן בהבנת עקרונות הצריכה, בצורך במדידות, בפוטנציאל החיסכון ומציג דוגמת חישוב של פוטנציאל החיסכון בחימום מים למכוונת הכביסה. הדו"ח אינו מציג חישובי כדאיות השקעה עבור כל המתחם.

## 2 מצב קיים

במתחם שני ריכוזי מבנים: מבנה המכבסה ומבנה חדר אוכל והמטבח. בין המבנים מרחק של כ- 110 מטר. המתחם מוזן ע"י מערכת מרכזית של קיטור ומים חמים, שמקורה בחדר מכונות ממוקם במבנה המכבסה (ראה איור 1). המערכת מופעלת ע"י שני דוודים מופעלים בגז: דוד אחד תוצר "המלחים" בעל תפוקה של 1100 ק"ג קיטור לשעה, דוד שני תוצר "חירות" בעל תפוקה של 1000 ק"ג קיטור לשעה. כאשר אחד הדוודים עובד השני כבוי. לחץ העבודה: 8 אטמ' (9 בר אבסולוטי).

הקיטור עובר מהדוד למיכל חלוקה בעל כניסה אחת ומספר צינורות יציאה. על כל צינור מותקן ברז ניתוק.

- במעגל הראשון, מוזן קיטור ב- 8 אט' ל- 3 מכונות כביסה תוצרת Milson ו- 3 מייבשים תוצרת Passat
- במעגל השני מוזן קיטור ב- 4 אט' למעגלה ולפרס (Press) וקיטור ב- 1 אט' מסופק למגהץ.
- במעגל השלישי, הקיטור עובר הפחתת לחץ ל- 4 אט' ומוזן למטבח שנמצא כאמור במרחק של כ- 110 מטר.
- במעגל הרביעי הקיטור ב- 4 אט' מחמם מים ל- 45°C לצריכה כללית במכבסה ובמטבח.

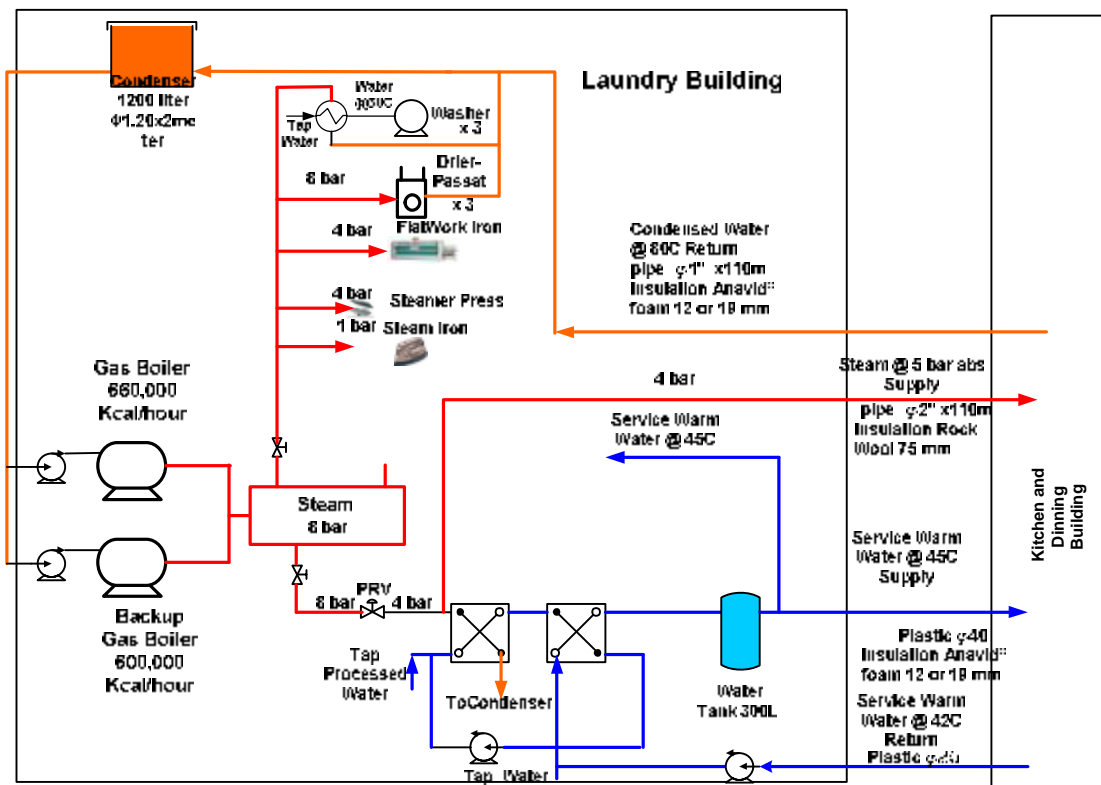
**במכבסה**, קווי הקיטור מנוקזים דרך מלכודות קיטור למיכל איסוף הנמצא בחדר המכונות. משם, מוזרמים מי העיבוי החמים באמצעות משאבה למיכל העיבוי בנפח 1200 ליטר שנמצא על גג הבניין.

**במטבח**, הקיטור שמחמם את המים של מדיח הכלים מוחזר בצורת מי עיבוי למיכל איסוף שנמצא במרתף המטבח ומשם באמצעות משאבה למיכל מי העיבוי שעל גג המכבסה.

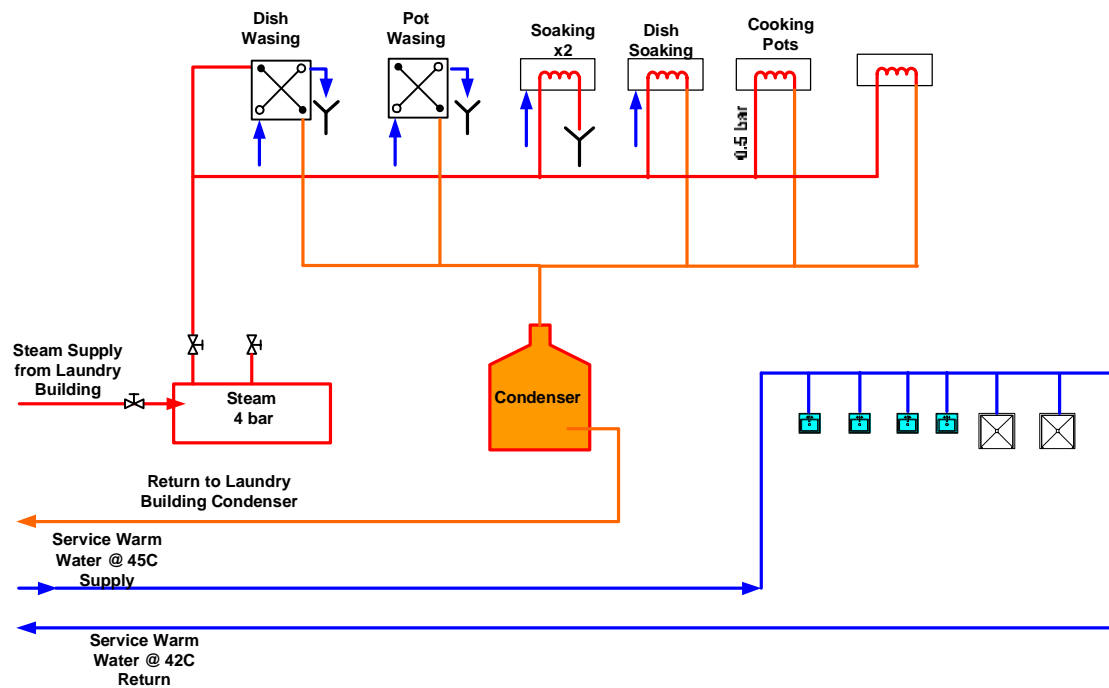
פירוט מלא של צרכני מערך הקיטור והמים החמים נמצא ב**טבלה 1**. בטבלה חמישה עמודים: תיאור המערכת, צריכה ע"פ מקורות מן הקיבוץ, צריכה ע"פ גרגו, דרישות הלחץ והטמפ' של הצרכנים השונים, ולחץ הקיטור שמזין את הצרכנים.

מתוך הטבלה עולה ש**במכבסה**, צרכני הקיטור העיקריים הם מייבשי הכביסה (יבשנים) בעלי דרישות טמפ' תהליך של 120°C ומכונות הכביסה בעלות דרישה טמפ' מכסימלית של 60°C. צרכנים אחרים בעלי דרישה לקיטור הן הפרס ומעגלת קיטור.

**במטבח**, להוציא חימום בקיטור של סירי הבישול, ניתן להחליף את הקיטור במים חמים בטמפ' עד 90°C.



**Kitchen and Dining Building**



איור 1. תאור מערך אספקת הקיטור והמים החמים במתחם המכבסה וחדר אוכל

טבלה 1: צרכני האנרגיה בקיטור במתחם המכבסה והמטבח<sup>1</sup>

מס'	מערכת	צריכה שנתית ע"פ נתוני הקיבוץ	צריכה שנתית ע"פ דו"ח גרגו	דרישת לחץ / טמפ'	אספקה Bar gauge
1	2	3	4	5	6
1	חדר דוודים אספקת קיטור בלחץ 9Bar/175°C				
2	מכבסה ימי עבודה א-ו 06:00-13:30				
	כמות כביסה לשנה	155,000 ק"ג כביסה	218,400 ק"ג כביסה		
	מכונות כביסה – כמות: 3 כביסת כותנה כביסה סינטטית	120,000 ק"ג 35,000 ק"ג			
	סה"כ	155,000 ק"ג	218,400 ק"ג		
	צריכת קיטור סגולית				
2.1	מכונות כביסה ק"ג קיטור לק"ג כביסה	כ- 1.8		מיס בטמפ' מכסימלית 60°C	קיטור ב- 8Bar/175°C
2.2	יבשנים – כמות: 3 ק"ג קיטור לק"ג כביסה	כ- 1.4		אוויר בטמפ' מכסימלית של 120°C	קיטור ב- 8Bar/175°C
	סה"כ ק"ג קיטור לק"ג כביסה	כ- 3.2	כ- 3.0		
	צריכת קיטור לשנה, כביסה וייבוש, כולל 10% תוספת	550,000 ק"ג	720,720 ק"ג		
	מחסן בגדים				
2,3	פרס (ע"פ גרגו) 80 kg steam/hr x 9h/d x 6d/w x48w/y		207,360 ק"ג קיטור		4 Bar
2.4	מעגלת קיטור (ע"פ גרגו) 100 kg steam/hr x 4h/w x52w/y		20,800 ק"ג קיטור		4 Bar
	סה"כ צריכת קיטור מכבסה		948,880 ק"ג קיטור		
3.	מטבח 7 ארוחות חמות לשבוע				
3.1	מכונות שטיפת כלים 200 kg steam/hr x 33h/w x52w/y		343,200 ק"ג קיטור		4 Bar
3.2	מכונות שטיפת סירים ?		TBD		

4 Bar מי העיבוי לא מוחזרים		300,000 ק"ג קיטור		אמבטיות השרית תבניות 2- יחידות 2x160 kg steam/hr x 3h/d x 6d/w x52w/y	3.3
1.5 Bar		101,400 ק"ג קיטור		סירים שונים 325 kg steam/d x 6d/w x52w/y	3.4
		42,545 ק"ג קיטור		מים חמים 3000 ליטר ליום ב- 45°C (3000x25C)/550 x 6d/w x52w/y	3.5
		787,145 ק"ג קיטור	?????? TBD בהעדר נתונים	סה"כ צריכה במטבח	

הערה: 1. הנתונים בעמודות 2 ו-4 נלקחו מדו"ח גרגו. חלק מתוצאות החישוב מעוגלות לצורך נוחות הקריאה.

טבלה 2: מכון כביסה ומטבח, מאזן צריכת אנרגיה שנתית

צרכן הקיטור	צריכה שנתית ק"ג קיטור (מקור גרגו)	% מצריכת הקיטור (מקור גרגו)	% מצריכת הדלק (תוספת של מחבר הדו"ח)
1	2	3	4
מכבסה + מחסן בגדים	948,880	43%	37%
מטבח	787,145	36%	31%
הפסדי בידוד וכוננות לא מזוהים (plug number)	427,389	21%	17%
הפסדי דוד (ע"פ גרגו)			15%
סה"כ	2,163,414	100%	100%
צריכת דלק שנתית (גז)			129,018 ק"ג
עלות ק"ג גז ממוצע בשנת 2005			₪ 2.43
עלות שנתית (2005)			₪ 313,516
עלות ק"ג גז ממוצע 4 חודשים 2006			₪ 3.16
עלות שנתית (2005) במחירי 2006			₪ 407,696
המרה מגז לקיטור (ע"פ גרגו) $10850 \times 850/550 =$ $= 16.8\text{kg steam/kg gas}$			
הערה: העלויות ללא מע"מ			

פילוג צריכת הקיטור וצריכת הדלק נתון ב **טבלה 2** . הנתונים משתי העמודות הראשונות הם מדו"ח גרגו. הנתונים בעמודה האחרונה מציגים את התפלגות הצריכה במישור של צריכת הגז ועובדו מתון נתוני פילוג צריכת הקיטור. הנתונים חושבו בהנחת נצילות דוד של 85% . כך לדוגמה צריכת הקיטור של המטבח מהווה 36% מצריכת הקיטור הכללית אולם מהווה רק :  
 $36\% / 1.15 = 31\%$   
מצריכת הגז. הפסדי הבידוד והכוננות במישור קיטור המופעים בעמודה 3 , פורקו להפסדי בידוד וכוננות והפסדים בדוד בעמודה הרביעית.  
מתוך הטבלה עולה שמסה "כ" צריכה של 129,000 ק"ג גז, כשליש הם הפסדי בידוד, כוננות ונצילות הדוד.

מהנתונים ב**טבלה 3** (שסוכמו מתוך דו"ח גרגו), עולה השוואה בין החלופות להשקעה. הטבלה משווה בין המצב הקיים לבין שלוש חלופות השקעה. החלופות מתייחסות בנפרד למכבסה ולמטבח, מכאן שגרגו החליט להפריד בין שתי המערכות. חלופות א' ו ב' עבור המכבסה הן זהות מבחינה טכנית, כאשר ההבדל היחידי ביניהם היא שיטת המימון, רכש לעומת השכרה. בחלופות לעיל אין פתרון להפעלת הפרס והמעגלה. חלופה ג' היא להשאיר את המצב הקיים מבחינת הצרכנים והקווים ורק להחליף את דוד הקיטור הקיים בדוד קיטור בעל תפוקה קטנה יותר, שאין צורך להחזיקו בכוננות מאחר והוא מייצר קיטור מיידי (לאחר 20 דקות). החיסכון בגובה 40,000 ₪ יושג ע"פ גרגו רק ע"י קיצור זמן הכוננות של הדוד, שמוערך על ידו ב 2% בלבד (בעת חישוב נצילות הדוד). ע"פ הטבלה, מאחר והחיסכון זהה בכל החלופות, חלופה ג' – החלפת דוד הקיטור הקיים בדוד קטן יותר היא הכדאית ביותר.  
במטבח, מומלצת חלופה אחת בלבד, והיא להתקין דוד קיטור זהה למומלץ במכבסה, ואזי יתקבל חיסכון דומה גם במטבח. החיסכון הכולל עבור שתי המערכות יחד הוא כ- 78,000 ₪ (כ- 25% מעלות הצריכה השנתית הקיימת, וההשקעה תוחזר תוך שנתיים וחצי.

### 3 הערות בקשר לנתונים וההמלצות שבדו"ח גרגו

הנתון היחיד ה"נמדד" היא צריכת הגז הרשומה בדו"ח "כרסטת המחירית" של הקיבוץ. כל יתר הנתונים הם הערכות. הניתוחים והמסקנות בדו"ח גרגו מסתמכים על נתון זה ( שיתכן ויש בו שגיאת הדפסה!).

(1) נתחיל בחלוקה השרירותית של הצריכה בין שתי המערכות העיקריות : מכבסה ומטבח. בשתי המערכות יש צריכה ואומדני הפסד , ובשניהם הערכת ההפסד דומה - 40,000 ₪ ו 37,000 ₪ ש"ח. אין הערכת הפסד חום של צנרת הקישור, של מלכודות הקיטור ושל הפסדי החום של מי העיבוי המוחזרים בטמפ' גבוהה לדוד.

(2) לחישוב המעבר בין ק"ל לק"ג קיטור נקבע מספר המרה של 550 ק"ל לק"ג קיטור. עבור קיטור ב 8 אט' (9 בר אבסולוטי) , האנתלפיה היא 662 ק"ל/ק"ג. ע"מ לקבל את ההפרש בסך 550, מי העיבוי בכניסה לדוד צריכים להיות בטמפ' של 110°C. אמנם מערכת הקיטור היא במעגל סגור, אולם יש איבודי מים הנובעים מאי החזרת חלק מן הקיטור, נזילות שונות ואידוי מי



העיבוי, מכאן שניתן להניח שטמפ' המים בכניסה לדוד היא בסביבת ה-  $80^{\circ}\text{C}$  ואזי מספר ההמרה הוא: 580 קק"ל לק"ג קיטור, משמע כ- 5% אי-וודאות בחישוב ההמרה.

3) הנחת נצילות הדוד. נצילות של 85% הוא מספר מקובל בחישובים עבור דוודים מתחזקים ומכוונים היטב. אין בקיבוץ תעודות בדיקה שמעידות על מדידת נצילות הדוד. על כן ניתן להוסיף עוד כ- 5% של אי-וודאות בנצילות הדוד. מכאן אי-וודאות המצטברת היא 10%.

4) חישובי צריכת הקיטור במכבסה (מכונות כביסה וייבוש כביסה) מתבססים על משקל כביסה שלא צוין מקור המידע שלו וגם לא נשקל בצורה שוטפת, ועל מספר המרה בגובה 3 ק"ג קיטור לק"ג כביסה. אי-וודאות של 10% במשקל (לדעתי אי-וודאות גדולה בהרבה), והשגיאה במספר ההמרה יכולים לגרום לטעות גדולה מ- 20% בחישוב צריכת הקיטור, טעות ששקולה ל- 21% מצריכת הקיטור אותה משייך גרגו להפסדי בידוד וכוונות.

4) לא ברור מקורו של אומדן צריכת הקיטור לצרכני המטבח.

5) בחלופת החיסכון המומלצת מבחינת הכדאיות כלכלית, חלופה ג' שבטבלה 3, מוצע כאמור לרכוש 2 דוודים חדשים. אין בהצעה התייחסות לגיבוי הדוודים במקרה של אחזקת שבר או אחזקה מתוכננת כגון הכנה לביקורת שנתית וכו'. לצורך כך יש לרכוש 2 דוודים נוספים, או להשתמש בדוודים הקיימים יחד עם שיפור תחזוקתה של הצנרת המשותפת בין שני המתחמים.

6) חסר הסבר כיצד יתקבלו חסכוניות בגובה 77,000 ₪ כתוצאה מהתקנת דוודים נפרדים.

7) הדלקה וכיבוי יומי של הדוד מקצרים בדרך כלל את אורך חייו. יש לבדוק את המלצות היצרן בנידון. בנוסף, לאחר כיבוי הדוד, מתעבה הקיטור בצנרת עקב הפסדי החום לסביבה. על כן לאחר הדלקה חוזרת של הדוד, יש לנקז את קווי הקיטור, אחרת עלולה להתרחש תופעת הרעשים בצנרת (Water Hammering) דבר שעלול לגרום נזק לצנרת ולשחיקה מוגברת של השסתומים ושל מלכודות הקיטור. בנוסף, עקב דליפות בשסתומים השונים, עלול אוויר להיכנס למערכת ולגרום לביצועים ירודים של מחליפי החום, דבר שידרוש ניקוז חוזר של האוויר.

**לסיכום, בהעדר נתוני מדידה, קיים סיכוי גבוה שביצוע ההמלצות שבדו"ח לא יביאו לחיסכון המתוכנן.**

טבלה 3: השוואה בין חלופות ההשקעה והחיסכון למתחם המכבסה ומטבח (מקור: דו"ח גרגו)

חלופה ג	חלופה ב	חלופה א	מצב קיים	
5	4	3	2	1
				<b>מכבסה</b>
			56,480	צריכת גז (ק"ג)
122,522	122,522	122,522	161,309	עלות צריכה (₪)
94,912	46,200 (הוצאה שוטפת בגין השכרה)	143,250	-	השקעה (₪)
כ-2.5	-	כ-3.5		החזר השקעה (שנים)
			40,000 ש"ח	הפסדים לעומת החלופות
				<b>מטבח</b>
			46,854 ק"ג	צריכת גז (ק"ג)
	-	-	133,814 ש"ח	עלות צריכה (₪)
94,912				השקעה (₪)
כ-3	-			החזר השקעה (שנים)
			37,000 ש"ח	הפסדים לעומת החלופות

טבלה 4: תאור החלופות שבטבלה 3 (מתוך גרגו)

חלופה	תאור	
א	רכש 2 מכוונות כביסה רכש 3 יבשנים <u>אוגר גז לחימום מים</u> סה"כ	$2 \times \$ 10,000 = \$ 20,000$ $3 \times \$ 3,500 = \$ 10,500$ $2 \times \$ 666 = \$ 1,333$ \$ 31,833 143,250 NIS
ב	השכרת 2 מכוונות כביסה השכרת 3 יבשנים <u>אוגר גז לחימום מים - חסר</u> סה"כ	$2 \times 1,100 \times 12 \text{ month} = 26,400 \text{ NIS}$ $3 \times 550 \times 12 \text{ month} = 19,800 \text{ NIS}$ 46,200 NIS
ג	רכש והתקנת דוד קיטור בהספק 470 ק"ג קיטור לשעה	94,912 NIS

#### 4 ניתוח הצריכה האנרגטית

ייצור האנרגיה של הדוודים שווה לאנרגיה הנצרכת ע"י צרכני הקיטור והפסדי החום. בהנחה שצרכני האנרגיה פועלים 45 שעות בשבוע מתוך 168 שעות הקיימות, צריכת הדלק הממוצעת לשעה נתונה ע"י :

$$m = \frac{45 \dot{Q}_{system} + 168 \dot{Q}_{losses}}{168 H h_{boiler}} = \frac{1}{H h_{boiler}} \left( 0.267 \dot{Q}_{system} + \dot{Q}_{losses} \right) \quad \text{Eq 1}$$

$m = \text{gas consumption [kg / h]}$

$\dot{Q}_{system} = \text{system heat consumption rate [kcal / hr]}$

$\dot{Q}_{losses} = \text{heat losses rate [kcal / hr]}$

$H = \text{fuel calorific value} = 10,850 \text{ kcal / kg}$

$h_{boiler} = \text{boiler efficiency}$

מתוך המאזן לעיל עולה :

(1) להפסדי החום תרומה פי ארבע (מבחינת זמן ההתרחשות) לעומת צריכת הדלק של המערכות הייעודיות

(2) הפסדי החום של הצנרת תלויים בטמפ' הזורם, שטח הפנים של הצנרת (אורך וקוטר) ועובי וכושר הבידוד של המבודד. בטבלה 6 שבנספח ג' נתונים הפסדי חום של הצנרת בין המכבסה למטבח. בהנחת המידות שבטבלה, עבור צנרת מבודדת בצורה תקינה, הפסדי החום השנתיים נאמדים בכ- 5200 ק"ג גז. עבור צנרת לא מבודדת באותם התנאים הפסדי החום עולים בסדר גודל, 50,000 ק"ג גז בשנה. הפסדי החום לעיל אינם כוללים הפסדי חום בצנרת הנוספת שנמצאת בתוך הבניינים השונים, הפסדי אוגנים, הפסדי מלכודות קיטור והפסדים במיכל העיבוי. ע"פ גרגו, הפסדי החום נאמדים בכ- 25000 ק"ג גז בשנה.

$$427,389 \text{ kg steam/year} : 16.8 \text{ kg steam/kg gas} = 25, 440 \text{ kg gas}$$

(3) צריכת חום ייעודית של צרכני הקיטור  $\dot{Q}_{system}$  וזמן פעולתם: מתוך טבלה 1 עולות הערכות שונות אודות כמות הכביסה: 155 טון בשנה ע"פ הערכת הקיבוץ לעומת 218 טון בשנה ע"פ גרגו. כמו כן, מספר ההמרה של 3 ק"ג קיטור לק"ג כביסה מסוג מעורב דורש בדיקה. צריכות הקיטור והמים החמים במטבח דורשים גם כן אימות.

(4) נצילות הדוד  $h_{boiler}$  משפיע ישירות על הצריכה. החישובים במקור גרגו בוצעו ע"פ נצילות בגובה 85%. טעות של 5% בנצילות שווה לכ- 6000 ק"ג דלק בשנה.

## 5 צעדים לחיסכון אנרגטי

כאמור לעיל, קיימים רק אומדנים אודות צריכות החום של הצרכנים השונים ואודות הפסדי החום. על כן, לפני ביצוע השקעות לצורך ייעול הצריכה, יש לבצע מספר מדידות מסודרות. המדידות ישמשו לקבלת בסיס נתונים אמין יותר והן צעד הכרחי לפני ביצוע חישובי כדאיות כלכלית ותכן לקראת הרכש. ציוד המדידה ישמש בהמשך למדידת הצריכה לאחר ביצוע השינויים, להפעלה נכונה של המערכות ולחישוב החיסכון. לפי מיטב ידיעתי אין כיום מערכת מדידה כלשהי במתקן. להלן מספר עקרונות שיובילו לחיסכון:

(1) ביטול המערך הקיים של ייצור ואספקת הקיטור מרכזית ע"י:

- a. החלפת יבשני האוויר ליבשנים מופעלים ישירות ע"י גז. זאת פעולה הכרחית. לאחר פעולה זו ניתן לבטל את הצורך במערכת קיטור מרכזית במכבסה.
- b. אספקת מים חמים ב  $60^{\circ}\text{C}$  למכונות הכביסה באמצעות קולטי שמש עם גיבוי חשמלי או גז.
- c. מחולל קיטור מקומי למכונת הפרס והמעגלה.

(2) ביטול צנרת הקיטור והמים החמים המקשרת בין שני המתחמים ע"י:

- a. התקנת קולטי שמש שיספקו את מרבית הצריכה של מי השטיפה והמים החמים בכניסה למכונה לשטיפת כלים
- b. מחוללי קיטור מקומיים לסירי הבישול ואמבטיות השרייה.

(3) במידה ובעקבות המדידות יתברר שהפסדי החום אינם מצדיקים את ביצוע השינויים

המומלצים לעיל, יומלץ על החלפת המייבשים, הורדת לחץ הקיטור, שימוש במי העיבוי לחימום המים לצריכה שוטפת, ביצוע תיקוני בידוד, הפעלת דוד הקיטור הקיים במשטר שונה, או החלפתו בדוד בעל הספק נמוך יותר.

**תיאור המדידות**

- (1) בדיקת הנצילות התרמית של הדוד: בדיקה זו תבוצע כאשר הדוד בפעולה מלאה. תימדדנה ספיקת הגז, ספיקת המים, ספיקת ה- Make up, טמפ' המים בכניסה, לחץ הקיטור.
- (2) בדיקת הפסדי הבידוד של הדוד בזמן כוונות: הבדיקה תבוצע על הדוד הנוסף במשך 24 שעות. לצורך הבדיקה יש לסגור את השסתום הראשי ביציאה מהדוד. תימדד צריכת הגז והזמן הנדרש עבור: מצב המעבר בו מובא הדוד ממצב קר למצב חם בלחץ של 8 אט'; המצב המתמיד בו מוחזק הדוד בלחץ של 8 אט' (בדיקה של 24 שעות); מצב מעבר של קירור למשך 16 שעות; חימום חוזר ל 8 אט'
- (3) מדידת הפסדי החום של המערכת בזמן כוונות: מדידת הפסדי החום של המערכת תבוצע באמצעות מדידה שוטפת של צריכת הדלק במשך שבוע. המדידות יבוצעו פעמיים ביום, לפני ובתום שעות העבודה, ובסוף השבוע מתום העבודה ביום ששי עד תחילת העבודה ביום א'. במידה והמכבסה תופעל בשבת, יש לבצע קריאת מונה לפני ולאחר הפעלת המכבסה. בתום המדידות נקבל את צריכת הדלק בזמן הצריכה ואת צריכת הדלק בזמן כוונות. ההפרש בין המדידות יצביע על הפסדי החום של המערכת.
- (4) מדידת הפסדי החום בצנרת בין שני המתחמים, בצנרת במכבסה ובצנרת המטבח: תוכן מטריצת מדידות בה יסגרו שסתומי הפרדה לסירוגין לפי מטרת המדידה.
- (5) מדידת צריכת האנרגיה של המטבח: בעת המדידה יש לסגור את קו הקיטור ואת משאבת הסחרור של המים החמים. המדידה תבוצע בשעות הבוקר במשך 1-2 שעות כאשר המכבסה פועלת והמטבח לא.
- (6) מדידת הפסדי חום במי העיבוי: תימדדנה טמפרטורות המים בצינור העיבוי לפני מיכל העיבוי ובכניסה לדוד. הטמפ' תימדד בעת פעולת משאבת ההזנה של הדוד.
- (7) מדידת צריכת האנרגיה וכמויות המים במכונת הכביסה: המדידה תבוצע בנפרד עבור כותנה וחומרים סינטטיים. יימדד משקל הכביסה, כמויות המים החמים והקרים במחזורים השונים. על מנת לקבל מדגם מייצג, רצוי לבצע את המדידות במשך שבוע.
- (8) מדידת צריכת האנרגיה במייבש: תישקל הכביסה הרטובה ותימדד צריכת הקיטור בעת תוכניות הייבוש שונות. צריכת הקיטור תימדד על ידי התקנת מונה מים בקו העיבוי או ע"י איסוף מי העיבוי במיכל שיותקן לצורך המדידה. במקביל יימדדו הביצועים האנרגטיים במייבש כביסה מופעל ישירות ע"י גז.
- (9) מדידת צריכת המים החמים ב 40°C במטבח: תבוצע ע"י התקנת מד מים.

## ציוד מדידה נדרש

מונה צריכת גז

מספר מדי מים

מספר מדי טמפרטורה / חוטי תרמוקפל

צבת חשמלית

## 7 דוגמת תחשיב לשימוש בקולטי שמש לחימום מים עבור מכונות הכביסה

התחשיב מתבסס על צריכת מים של מכונת כביסה בעלת תכולה של 22 ק"ג כביסה ובעלת צריכת מים של כ- 500 ליטר לכביסה אחת. במחזור לכביסת בגדי כותנה קיימים שני שלבים מתוך חמש בהם דרושים מים חמים ב- 60°C. ע"פ התחשיב של 760 ק"ג כביסה ביום (גרגו) ויחס של 70% כותנה ו- 30% בדים סינטטיים, ו- 40% צריכת מים חמים לבדי כותנה, תידרש כמות מים ב- 60°C:

$$\left(\frac{760}{22} \times 70\%\right) \times (500 \times 40\%) = 4840 \text{ liter / day}$$

נבחן את שדה הקולטים הנדרש עבור 5000 ליטר מים חמים ב- 60°C ביום. חישוב ביצועי שדה הקולטים בוצע ע"פ מקור 3, וחישוב האופטימיזציה הכלכלית בוצע ע"פ המשואות בנספח ב. התחשיב הכלכלי בוצע בהנחות הבאות (ללא מע"מ):

70°C	טמפ' המים בשדה הקולטים חישוב השדה בוצע בטמפ' גבוהה יותר, ע"מ לכלול את הפרש טמפ' הקירבה במחליף החום של הדוד.
$365 \times [5,000 \text{kg} \times (65 - 16.7) + 30,000 \text{kcal}] =$ $9.91e7 \text{kcal / year} = 115,232 \approx 115,000 \text{kWh / year}$	עומס תרמי שנתי בהנחות הבאות: טמפ' המים במיכל 65°C טמפ' מים קרים ממוצעת שנתית 16.7 °C הפסדי חום של המיכל והצנרת ביממה 30,000 Kcal -
$m = \frac{(1+0.17) \times 9.91e7}{10,850 \times 0.85} = 12,572 \text{kg gas / year}$	צריכת הדלק מותאמת לעומס הנ"ל בתוספת 17% איבודי כוונות של מערכת הקיטור במצב הקיים
3160 NIS/ton	עלות הדלק עלות דלק קבועה במשך בכל תקופת החזר ההשקעה. זו הנחה שמרנית.
5%	רבית על ההשקעה
10 years	משך ההלוואה

800, 1000, 1200 NIS/m <sup>2</sup>	מחיר שדה הקולטים ליח' שטח משתנה הצעת המחיר של כרומגן הסתכמה ב 700 ש"ל מ"ר שדה קולטים מותקן, לא כולל מיכלים.
$h = 0.71 - 4.14 \frac{T_{c,av} - T_{amb}}{I_{sol}}$ $T_{c,av} = \text{collector water average temperature } [^{\circ}C]$ $T_{amb} = \text{ambient air temperature } [^{\circ}C]$ $I_{sol} = \text{total insolation } [kcal / hr]$	קולטים של כרומגן בעלי עקומת נצילות:

הפעלה כדאית מבחינה כלכלית תתקבל ע"י שילוב אופטימאלי בין ההשקעה החד פעמית עבור מערכת קולטי השמש לבין ההוצאה השנתית על הדלק. היחס בין עלות האנרגיה המעורבת, שמש + דלק, לעלות האנרגיה המתקבלת אך ורק משריפת הדלק תיתן את העלות היחסית של יחידת האנרגיה המעורבת:

$$RYC_{fuel+solar} = \frac{YC_{solar}}{YC_{fuel,initial}} + (1 - F)$$

$$RYC_{fuel+solar} = \text{relative solar + fuel combined cost}$$

$$RYC_{fuel,initial} = 1.0$$

$$YC = \text{yearly cost}$$

$$F = \text{solar fraction}$$

העלות השנתית של השימוש בשמש  $YC_{solar}$  מיוצגת ע"י התשלום השנתי על ההשקעה הראשונית ומורכבת מהחזר השנתי ע"ח הקרן והרביית פירוט מלא נמצא בנספח ב.

תוצאות התחשיב נתונות באיור 2. האזור כולל:

בציר האנכי: (1) עלות יחסית של יחידת אנרגיה המעורבת, (כאשר 100% הינה עלות השימוש בגז ב 100%); (2) השבר הסולארי באחוזים בציר האופקי את גודל השדה הסולארי.

גודל השדה האופטימאלי נמצא בנקודת המינימום של עקומות העלות היחסית. מתוך האיור עולה שנקודת האופטימום היא בין 100 ל 125 מ"ר קולטים, תלוי בהשקעה. בנקודות לעיל, השבר הסולארי (החלק היחסי של האנרגיה המסופקת ע"י השמש) הוא 0.67 עבור 100 מ"ר, ו 0.77 עבור 125 מ"ר. העלויות היחסיות בהנחת 1000 ש"ל מ"ר שדה מותקן, הן 64.7% ו- 63.3% עבור 100 ו- 125 מ"ר שטח קולטים בהתאמה. מחיר שדה הקולטים ליח' שטח הינו היחס בין ההשקעה הכוללת (קולטים, התקנה, צנרת, מיכלים, גופי חימום חשמליים) לשטח הקולטים.

סיכום ההשקעה והחיסכון נתונים טבלה 4. מתוך הטבלה עולה שע"י השקעה בשדה קולטים והשלמת הביקוש ע"י חימום בחשמל תעריף שפל, החיסכון השנתי הוא כ 22,000 ש"ל וההשקעה מוחזרת בפחות משלוש שנים.

טבלה 4 : השוואת חלופות לחימום מים למכוונות הכביסה

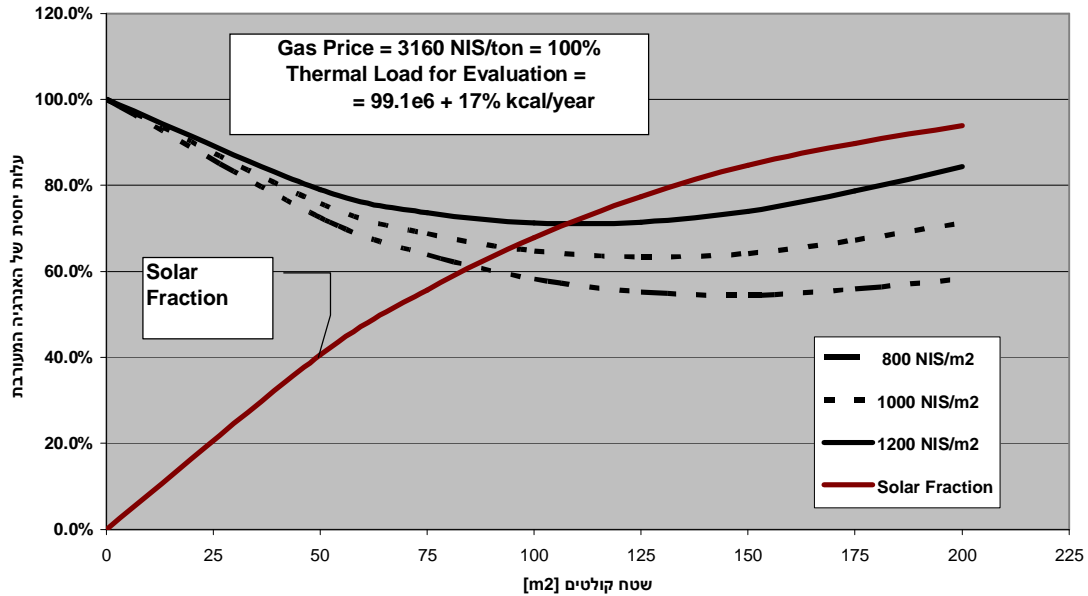
תאור	מצב קיים	חלופה א'	חלופה ב'
צריכת דלק לחימום 5000 ליטר מים ל- 65°C (במיכל) עלות הדלק (גפ"מ)	12,572 ק"ג לשנה		
גובה ההשקעה		₪ 100,000	₪ 100,000
החזר שנתי בגין השקעה בהתקנת 100 מ"ר קולטים לפי 1000 ₪ למ"ר (לפי רבית 5%, ו-10 שנים)	39,727 ש"ח	₪ 13,000	₪ 13,000
עלות השקעה בדוד מופעל גז			TBD
עלות השלמת הצריכה עם חשמל בתעריף שפל, לפי 67% חיסכון בצריכה ו-12.54 אג' לקוט"ש		₪ 4,768	
עלות השלמת הצריכה עם גז			₪ 13,110
סה"כ עלות שנתית		₪ 17,768	₪ 26,110
חיסכון שנתי	-	₪ 21,959	₪ 13,617 (לא כולל השקעה בדוד מופעל גז)
זמן החזר השקעה (ללא רבית) שנים		$100,000 / (39,727 - 4,768) = 2.9$	$100,000 / (39,727 - 13,110) = 3.8$

8 סיכום

גרגו עשה עבודה חשובה בזה שמיפה את הצרכנים ואמד את צריכת הקיטור של הצרכנים ע"פ מספרים מקובלים וניסיונו האישי. הוא הצביע על חלופות השקעה, אולם לא נימק את אופן קבלת החסכוניות. מאחר ומרבית העבודה (להוציא כאמור את צריכת הגז השנתית) מבוססת על מכפלה וסיכום של אומדנים, אנו ממליצים בתור צעד ראשון לאמת את הנתונים ע"י מדידה, ורק לאחר מכן להמליץ על חלופות השקעה לצורך חיסכון.



מים חמים למכונות כביסה . תחשיב ע"פ 5000 ליטר מים חמים ב 65C .  
 עלות יחסית של יחידת אנרגיה מעורבת (שמש+גז)  
 בתלות בשטח ועלות התקנת קולטי השמש



איור 2 . מים חמים למכונות כביסה . עקומות עלויות יחסיות,  
 וזמן החזר השקעה (RIT) של שדה סולארי

## 9 מקורות

1. טיטו גרגו, "סקר משק חום ושימוש באנרגיה לענפי הביגוד והמזון", ארגון עובדי המים, מדור משק חום, אפריל 2006
2. אומדנים שסופקו ע"י הקיבוץ
3. Beckman W.A., Klein S.A. and Duffie J. A., "Solar Heating Design by the F-chart method", John Wiley and Sons, 1977
4. Schweitzer S. "A possible 'average' weather year on Israeli's coastal plain for solar system simulations", Agricultural Research Organization", Institute of Agricultural Engineering , 1978

נספח א' – תחשיבים כלכליים

הפעלה כדאית מבחינה כלכלית של מערכת חימום המים תתקבל ע"י שילוב אופטימאלי בין השקעה חד פעמית עבור מערכת קולטי השמש לבין הוצאה שנתית על הדלק. במערכת המשולבת תתחלק צריכת האנרגיה הקיימת ומבוססת על דלק בלבד,  $Q_{total, fuel}$ , לצריכה מבוססת חלקית על דלק  $Q_{fuel}$  וחלקית על שמש  $Q_{sol}$ . אם נסמן את השבר סולארי באות  $F$ , אזי הביטוי לצריכת האנרגיה המעורבת יהיה:

$$Q_{total} = Q_{solar} + Q_{oil} = Q_{solar} + (1 - F)Q_{total, fuel} \quad \text{Eq 2}$$

עלות הכספית השנתית של צריכת האנרגיה המעורבת:

$$YC_{total} = YC_{solar} + YC_{fuel} + YC_{maintenance} + YC_{depreciation} \quad \text{Eq 3}$$

מאחר ואנרגית השמש היא בחינם, "עלות צריכת השמש" הינה החזר השנתי לכיסוי השקעה  $S$  עבור מערכת סולארית בעלת אורך חיים של  $n$  שנים. אנו נחשב את הערך של  $YC_{total}$  בתלות שטח הקולטים, בהנחת מחירי התקנה שונים, רבית שנתית קבוע, ומחירים שונים של הדלק.

$$YC_{solar} = \frac{S r(1+r)^n}{(1+r)^n - 1} \quad \text{Eq 4}$$

$$r = \text{relative interest} = \frac{i - f}{1 + f}$$

$YC_{solar}$  = yearly payment for solar investement loan

$S$  = solar investement

$i$  = interest rate;  $f$  = estimated yearly fuel price escalation;

$n$  = period of loan = life cycle (years)

לאחר התקנת קולטי השמש, עלות צריכת הדלק תהיה:

$$YC_{fuel} = (1 - F) \frac{Q_{total} P_{fuel}}{H_{oil} h_{boiler}} \quad \text{Eq 5}$$

$YC_{fuel}$  = fuel yearly cost

$F$  = solar fraction %

$p_{oil}$  = price of kg / liter of fuel

$H_{fuel}$  = fuel calorific value

$r$  = fuel density

$h_{boiler} = 0.85$

העלות היחסית של הפתרון המעורב (שמש + דלק)

$$RYC_{fuel+solar} = \frac{YC_{solar}}{YC_{fuel,initial}} + (1 - F) \quad \text{Eq 6}$$

$RYC_{fuel+solar}$  = relative solar + fuel combined cost

$RYC_{fuel,initial} = 1.0$

בהעדר נתוני עלויות אחזקה נוספת של הקולטים בלבד, החיסכון השנתי נתון ע"י:

$$YS = F \frac{Q_{total} P_{fuel}}{H_{oil} r h_{boiler}} \quad \text{Eq 7}$$

וזמן החזר ההשקעה נתון ע"י:

$$t = - \frac{\log\left[\frac{YS}{YS - Sr}\right]}{\log(1 + r)} \quad \text{Eq 8}$$

$t$  = investement return time [years]

$r$  = relative interest =  $\frac{i - f}{i + f}$

$YS$  = yearly savings ;  $S$  = investment

$i$  = interest rate;  $f$  = estimated fuel price escalation

# נספח ב'

טבלה 5 ריכוז נתונים אקלימיים ממוצעים

## Climatic Averages Harod Bet Shean Valley Station Hefzi Bah

Month	Ambient Temperature 24 Hours Averages <sup>1</sup>			Ambient Temperature Computed Averages		Daily Radiation on Collector	
	Maximum	Average	Minimum	Day	Night	Horizontal <sup>2</sup>	Tilted 45 deg <sup>3</sup>
	deg C	deg C	deg C	deg C	deg C	Kcal/m <sup>2</sup>	Kcal/m <sup>2</sup>
	A1	A2	A3	A4= (A1+A2)/2	A5= (A2+A3)/2		
1	17.4	12.4	7.4	14.9	9.9	2490	4002
2	19.6	15.8	8.1	17.7	12.0	3300	4555
3	22.5	16.2	9.9	19.4	13.1	4260	4861
4	27	19.8	12.6	23.4	16.2	5240	4810
5	31.6	23.8	16.1	27.7	20.0	6190	5008
6	34.4	27.2	19.9	30.8	23.6	6690	4989
7	35.3	28.7	22	32.0	25.4	6540	5024
8	35.4	28.8	22.2	32.1	25.5	6030	5208
9	34.3	27.5	20.7	30.9	24.1	5120	5331
10	31.3	24.2	17.2	27.8	20.7	3950	5090
11	25.6	19.2	12.9	22.4	16.1	2900	4484
12	19.1	14	9	16.6	11.5	2280	3862

הערות

1. אטלס אקלימי
2. מקור 4
3. מחושב ע"פ מקור 3

## נספח ג'

### טבלה 6 חישוב הפסדי החום בצנרת מבודדת תרמית בין המכבסה לחדר אוכל

א חישוב הפסדי החום בצנרת מבודדת תרמית בין המכבסה לחדר אוכל							א
שווה ערך צריכת גז לפי נצילות 0.85	הפסד חום שנתי	אורך צנרת	הפסדי חום למטר אורך	עובי בידוד	קוטר צינור נומינלי	טמפ' הזרם	מערכת
kg	KWH	m	w/meter	mm		deg C	
1797	19272	110	20	75	2"	150	קוטור 4 אט'
1960	21024	120	20	12	1"	80	מי עיבוי
899	9636	110	10	19	40 mm	45	מים חמים אספקה
539	5782	110	6	12	25mm	40	מים חמים חזרה
<b>5195</b>	<b>55714</b>						סה"כ

ב חישוב הפסדי החום בצנרת גלויה בין המכבסה לחדר אוכל							ב
שווה ערך צריכת גז לפי נצילות 0.85	הפסד חום שנתי	אורך צנרת	הפסדי חום למטר אורך		קוטר צינור נומינלי	טמפ' הזרם	מערכת
kg	KWH	m	w/meter			deg C	
32348	346896	110	360		2"	150	קוטור 4 אט'
8332	89352	120	85		1"	80	מי עיבוי
5391	57816	110	60		40 mm	45	מים חמים אספקה
3594	38544	110	40		25mm	40	מים חמים חזרה
<b>49666</b>	<b>532608</b>						סה"כ