

יום עיון: ניטור אנרגיה במבנים

ביה"ס ללימודי הסביבה ע"ש פורטר, אוניברסיטת תל אביב, 24 נובמבר 2016

## קידום התנהגות חוסכת אנרגיה בבנייני מגורים בישראל \*

פרופסור אביתר אראל, מיכל אסיף  
אוניברסיטת בן-גוריון בנגב

פרופסור בוריס פורטנוב  
אוניברסיטת חיפה

**ניטור ותיעוד התנאים בדירות,  
מאפייני הצריכה ופוטנציאל החיסכון**

\* המחקר מומן ע"י משרד התשתיות הלאומיות האנרגיה והמים על פי חוזה מספר 212-11-006

### Assumption

*“If building envelopes are constructed to a higher standard, following precise technical guidelines laid out in such standards, the buildings will consume less energy.”*

### Reality (?)

*“The measured energy performance of LEED buildings had little correlation with certification level of the building, or the number of energy credits achieved by the building at design time.”*

Guy R. Newsham \*, Sandra Mancini, Benjamin J. Birt (2009). “Do LEED-certified buildings save energy? Yes, but...” *Energy and Buildings* 41:897–905.

## היעד: להביא לחיסכון באנרגיה בבנייני מגורים בישראל

- לבחון, בהקשר הישראלי, מהו הפוטנציאל לחיסכון באנרגיה בבנייני מגורים על ידי שינוי מאפייני ההתנהגות של הדיירים
- להשוות את מידת היעילות של אמצעים שונים המיועדים להשפיע על דפוסי התנהגות אלה ולזהות את הגורמים העשויים להשפיע על יעילות הפעלתם
- לנסח המלצות למדיניות אשר מטרתה להביא לחיסכון באנרגיה באמצעות השפעה על התנהגות הדיירים בבנייני מגורים

# פוטנציאל החיסכון עקב שינוי הרגלי הצריכה

לוחות נושא שנתי - איכות הסביבה

למ"ס, הסקר החברתי 2014

## לוח 22 - בני 20 ומעלה, לפי הרגלי חיסכון באנרגיה במשק הבית ולפי תכונות נבחרות, 2014

הקיימים בבית		אביזרים חוסכי חשמל			בודקים דירוג אנרגטי בקניית מכשירי חשמל(1)	הרגלי חיסכון באנרגיה במשק הבית				סך הכל	אלפים	סך הכל
בידוד תרמי בגג, או בקירות חיצוניים	חלונות כפולים	מכשירי חשמל חסכוניים(1)	נורות חסכוניות	דוד שמש		תולים כביסה לייבוש במקום שימוש במייבש	מפעילים מכונת כביסה, או מדיח כלים, רק כשהם מלאים	מכבים חימום או מיזוג ביציאה מהבית	מכבים אורות ביציאה מחדרים			
17.1	22.4	69.3	86.4	89.6	54.8	83.8	88.2	88.0	95.0	5,173.7		

עם הבניינים  
עצמם יש  
בעיה...

כמעט כולם  
(מדווחים) על  
אביזרים חוסכים

כמעט כולם (מדווחים)  
על התנהגות חוסכת

הלשכה המרכזית לסטטיסטיקה (2014). הסקר החברתי.

[http://www.cbs.gov.il/publications16/seker\\_hevrati14\\_1648/pdf/t22.pdf](http://www.cbs.gov.il/publications16/seker_hevrati14_1648/pdf/t22.pdf)

ניסוי מבוקר במדגם של 120 דירות בשני אזורי אקלים (ירושלים ונשר)

1. בשלב ראשון: תיעוד מפורט ככל האפשר של צריכת האנרגיה בדירות במשך שנה שלמה (מצב ייחוס), ושל כל הגורמים העשויים להשפיע עליה.
2. בשלב שני: הפעלה ניסיונית של אמצעים לקידום שינויים בהתנהגות הדיירים במגמה להביא לחיסכון באנרגיה, ותיעוד השינויים, גם כן לאורך שנה.

# חשבון החשמל והתפלגות צריכת האנרגיה בדירה

**חשבון לתקופה – 59 ימים**  
מ – 27/05/2015 עד 30/03/2015

**תאריך עריכת החשבון**  
05/06/2015

לשירותך, 24 שעות ביממה:  
אתר האינטרנט של החברה  
www.iec.co.il  
בו ניתן לשלם את החשבון, למסור  
מצב מונה ולקבל מידע בנושאים  
שונים.

**חשבון לתקופה – 59 ימים**  
מ – 27/05/2015 עד 30/03/2015  
**תאריך עריכת החשבון**  
05/06/2015

010-929-0000

להחזרה: ת"ד 625 באר-שבע

**שירות 103**  
לדיווח על תקלות, לקבלת שירותים  
בנושאי חשבונות וצרכנות:  
טלפון קווי וסלולרי – 103  
פקס 103-200-1800

השיחות מטלפון קווי הן ללא תשלום.

**ריכוז החשבון**  
חיוב בגין צריכה – סה"כ 1074 קוט"ש  
**תשלום קבוע**  
חיובים חזריים שונים  
הסכומים החייבים ב- 18.00% מע"מ 544.92 ש"ח  
מע"מ בשיעור 18.00%

**ריכוז החשבון**  
חיוב בגין צריכה – סה"כ 1074 קוט"ש  
תשלום קבוע

**חשבוןך ייגבה**  
ב- 2015  
בכרטיס אש  
המסתיים ב-

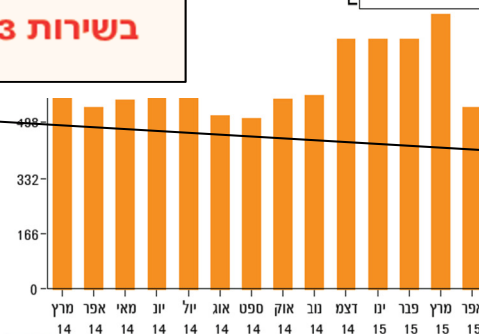
התפלגות:

643.01

סה"כ לתשלום (ש"ח)

**הודעות**  
■ **חשבון מוגש לפי הערכה. ניתן למסור את מצב המונה**  
**בשירות 103 או באתר האינטרנט.**

**הודעות**  
■ **חשבון מוגש לפי הערכה. ניתן למסור את מצב המונה**  
**בשירות 103 או באתר האינטרנט.**



# ניטור מפורט של צריכת האנרגיה ב-120 דירות?



Home About Us Solution Technology IoT News

## Scalable Demand Response

The process is based on 3 simple steps:

(1) SEND



Our pluggable units are SENT to customers

(2) CONNECT



Customers simply CONNECT them to loads

(3) CONTROL



Aggregators & Customers CONTROL loads via web

- (1) SEND a small kit including self-deployable (pluggable) Greenlet units is sent to consumers
- (2) CONNECT Consumers connect Greenlet unit to appliances
- (3) CONTROL Electric Utility and consumer control and monitor appliances via web

**מערכת הכוללת 10 יחידות גרינלט סטנדרטיות ויחידת תקשורת – כ-6,000 ש"ח + מ.ע.מ לדירה (מחירי 2013)**

# ניטור מפורט של צריכת האנרגיה ב-120 דירות?

Products>Smart Home

The diagram illustrates a smart home system architecture. At the top left, a wind turbine and solar panel are labeled 'Micro Generation Monitoring' and 'Solar'. Below them, a green house-shaped structure contains several components: 'In Home Displays' (KeyPad, Smart Pad, TV Unit) and 'Appliance Monitoring & Control Devices' (Socket Meter, Appliance Control). A central 'RF-DATA' icon indicates data flow. To the right, a cloud contains three smartphones and a tablet displaying data. Below the cloud, an 'Electric Vehicle Charging' station is shown with a car icon. Dashed lines connect the house components to the cloud and the EV charging station.

**Smart Home**

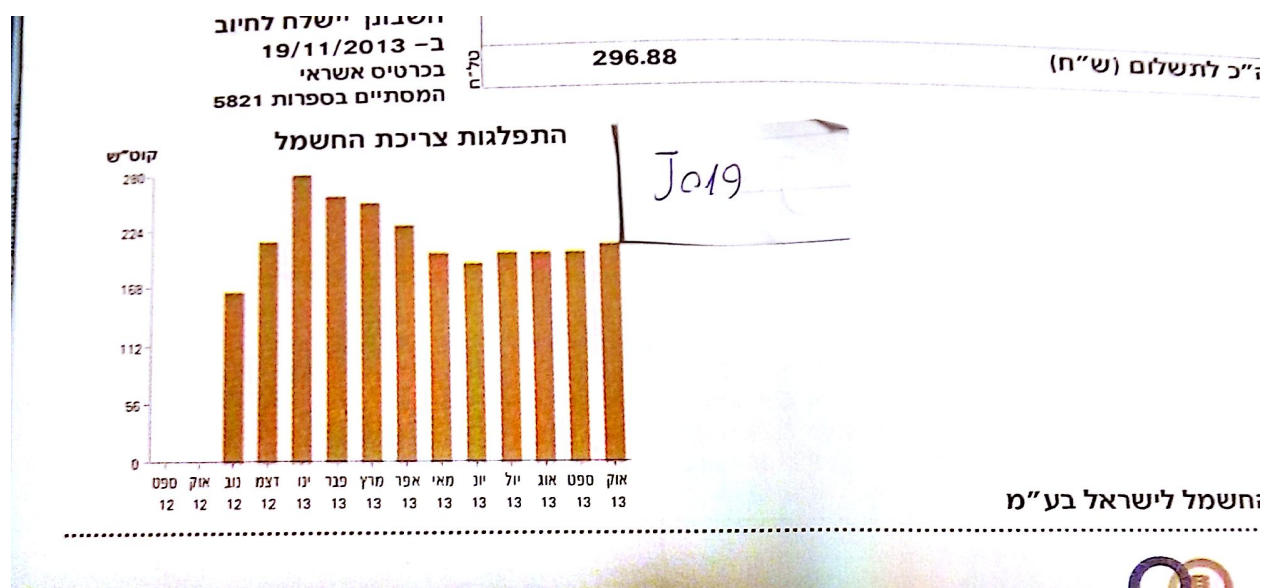
PowerCom's smart home devices are the smart new way to manage utility consumption in the home. The smart meters, in-home-displays (IHDs), and appliance meters provides greater visibility and control in an easy to use interface; which can contribute to lowering utility bills and smoothing peak demand.

**מערכת הכוללת אוגר נתונים, מונה חכם, 10 מוני תקע ותצוגה לדייר  
- כ-9,400 ₪ + מ.ע.מ לדירה (מחירי 2013)**



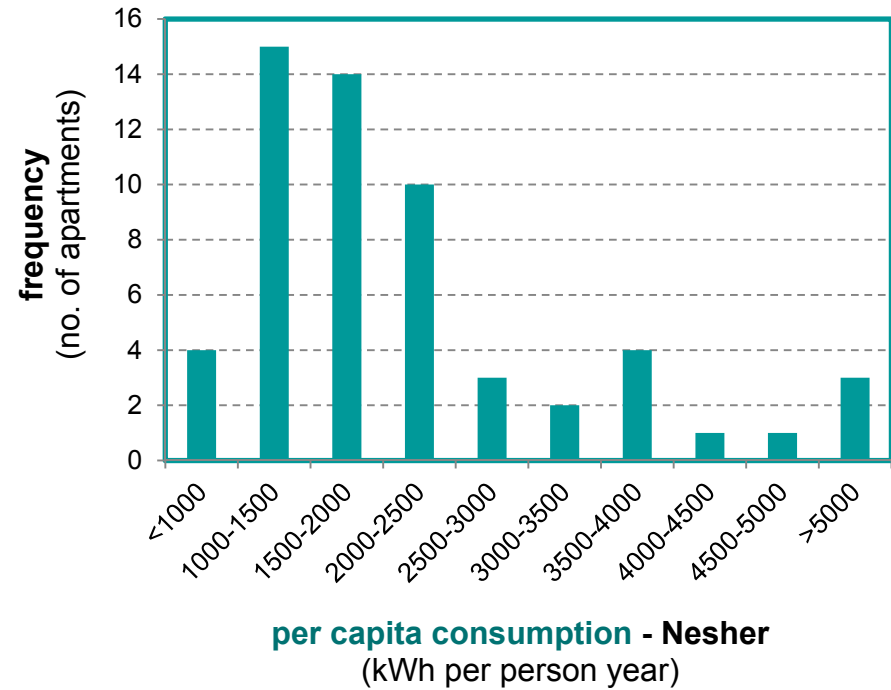
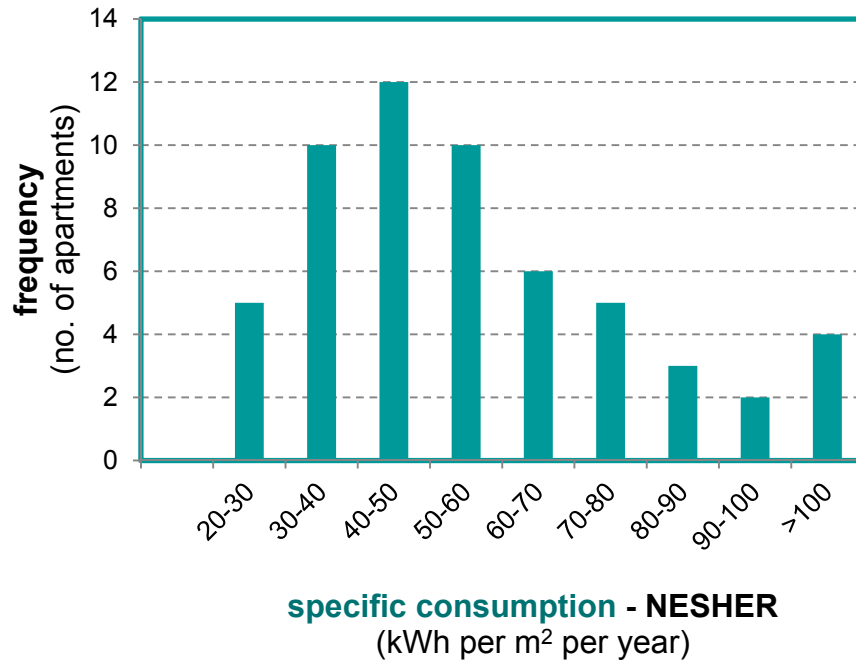
## תיעוד צריכת האנרגיה (א): חשבונות חשמל וגז

- התפלגות צריכת האנרגיה מתועדת על בסיס חודשי באמצעות חשבונות חשמל + גז. במקביל, מבוצעת קריאה של מוני החשמל בתדירות של אחת ל-2-3 שבועות.



# ישנה שונות גדולה מאוד בצריכת חשמל

... ולכן פוטנציאל החיסכון משמעותי



# תיעוד צריכת האנרגיה (ב): שאלון מפורט

"קידום התנהגות חוסכת אנרגיה בבנייני מגורים בישראל"

(6) מהם אמצעי הקירור בבית?

אמצעי הקירור	חודשי השנה בהם נעשה השימוש (להקיף בעיגול)	מספר ימים בשבוע	מספר שעות ביום	יצרן דגם/סוג	הספק שיא/ ממוצע	עוצמת/טמפ השימוש
מזגן 1 פולו	1/2/3/4/5/6/7/8/9 /10/11/12	אין שימוש		Fujitsu DC inverter 3.5		92-93
מזגן 2	1/2/3/4/5/6/7/8/9 /10/11/12					
מזגן 3	1/2/3/4/5/6/7/8/9 /10/11/12					
מאוורר 1 חיפוי	1/2/3/4/5/6/7/8/9 /10/11/12		אין שימוש			1/2/3
מאוורר 2	1/2/3/4/5/6/7/8/9 /10/11/12					1/2/3
מאוורר 3	1/2/3/4/5/6/7/8/9 /10/11/12					1/2/3
אחר:	1/2/3/4/5/6/7/8/9 /10/11/12					
אחר:	1/2/3/4/5/6/7/8/9 /10/11/12					

## נתונים דמוגרפיים

- בעלות על הדירה
- מספר דיירים בפועל, ומספר ילדים
- השכלה
- דפוסי נוכחות בדירה

## רשימת הציוד והאביזרים בדירה

- ציוד לבן
- ציוד מחשוב ובידור
- תאורה
- מיזוג אוויר
- חימום
- חימום מים

## דפוסי השימוש בציוד

- לפי עונות השנה
- לפי ימות השבוע

# תיעוד צריכת האנרגיה (ג): מחשבון צריכה

## מכשירי חשמל

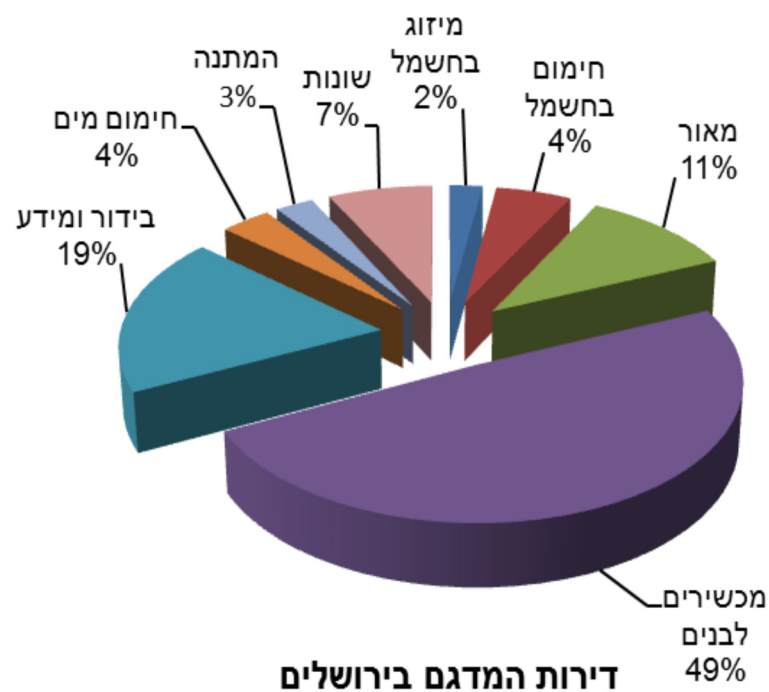
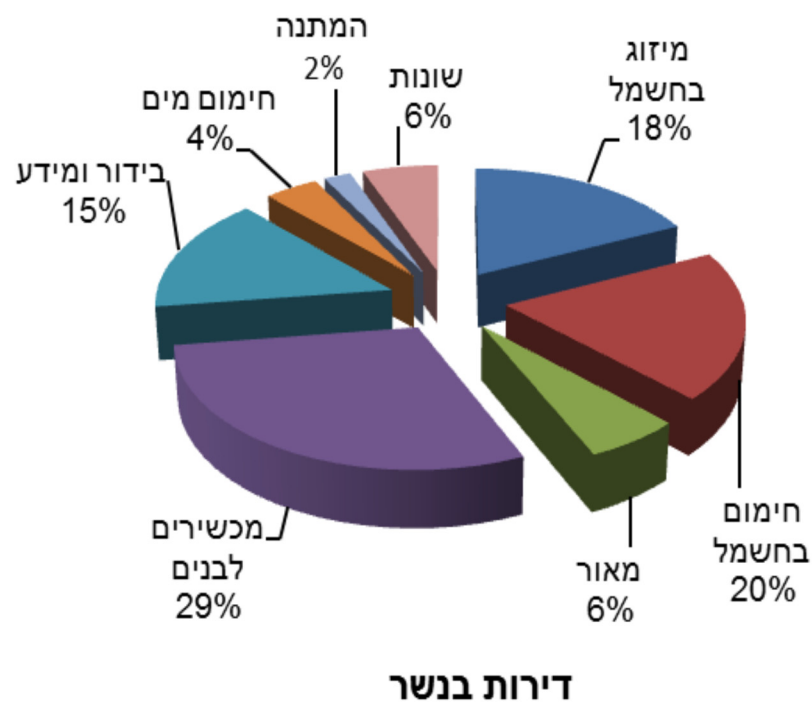
ציוד חשמלי שמעשה בו שימוש קבוע (24 שעות ביממה) או שימוש לפי דפוס הפעלה קבוע וידוע - לא כולל מערכות אקלום (חימום או מיזוג) וחימום מים.

מידע מפורט על כל הציוד בדירה ודפוסי השימוש בו מתורגם מהשאלון לגיליון אלקטרוני (אקסל), אשר באמצעותו נעשה אומדן של צריכת האנרגיה הכוללת בדירה – לפי דיווח הדיירים.

שם המוצר	מיקום בדירה	יצרן	תדירות הפעלה			הספק		צריכה		מקור הנתונים	הערות
			בשבוע פעמים	ביום שעות	בחודש שעות	שיא וואט	ממוצע וואט	חודשית קוט"ש	שנתית קוט"ש		
<b>מוצרים 'לבנים'</b>											
מקרר	מטבח	אמנה	7	24	731	250	69.4	832.2			
מקפיא	x						0.0	0.0			
תנור אפייה	מטבח	Sauter	3.5	0.5	8	850	6.5	155.1			
מיקרוגל	x						0.0	0.0			
טוסטר	מטבח	AEG	7	0.1	3	820	2.5	29.9			
טוסטר-אובן	x						0.0	0.0			
מדח כלים	מטבח	Siemens	3.5	1	15	2,000	15.2	365.0		הדחה ללא שטיפה מקדימה	
כיריים חשמליים	x						0.0	0.0			
פלטת שבת	x						0.0	0.0			
מכונת כביסה	מ. שרות	Lavamat AEG	3.5	1	15	1,500	3.0	73.0			
מייבש כביסה	מ. שרות	Whirlpool	7	0.1	1	2,120	6.5	77.4			
קומקום חשמלי	מטבח						0.0	0.0			
מכונת קפה	x						0.0	0.0			
קולט אדים	x						0.0	0.0			
<b>בידור ומידע</b>											
מערכת שמע	x	JVC				200	0.0	0.0			
טלוויזיה 1	סלון	LG "42	7	3	91	150	9.1	109.5			
טלוויזיה 2	x					60	0.0	0.0			
טלוויזיה 3	x					0	0.0	0.0			
מחשב 1	מטבח		7	1	30	120	2.7	32.9		מחשב שולחני	
מחשב 2	ח. עבודה		7	1	30	120	2.7	32.9		מחשב שולחני	
מחשב 3	ח. שינה		7	1	30	25	0.8	9.1		מחשב נייד	
מחשב 4	x						0.0	0.0			
ממיר HD	x					50	0.0	0.0			
ממיר עידן	סלון		7	3	91	50	0.9	11.0			
רכזת אינטרנט	x					5	0.0	0.0			
נתב אלחוטי	ח. עבודה		7	24	731	5	3.7	43.8			
טלפון אלחוטי	ח. עבודה		7	24	731	4	2.9	35.0			
טלפון אלחוטי	ח. שינה		7	24	731	4	2.9	35.0			
מודם	ח. עבודה		7	24	731	4	2.9	35.0			
מדפסת	ח. עבודה		7	0.1	3	19	0.1	0.7			
רדיו	x					20	0.0	0.0			
מוצרים לבנים								1,533			
בידור ומידע								345			
<b>סה"כ</b>								<b>1,878</b>	<b>132</b>		

מקור הנתונים	
M	מדדה
L	תווית
S	מכון תקנים
E	אומדן

## התפלגות צריכת החשמל (לפני ההתערבות)



הערה:

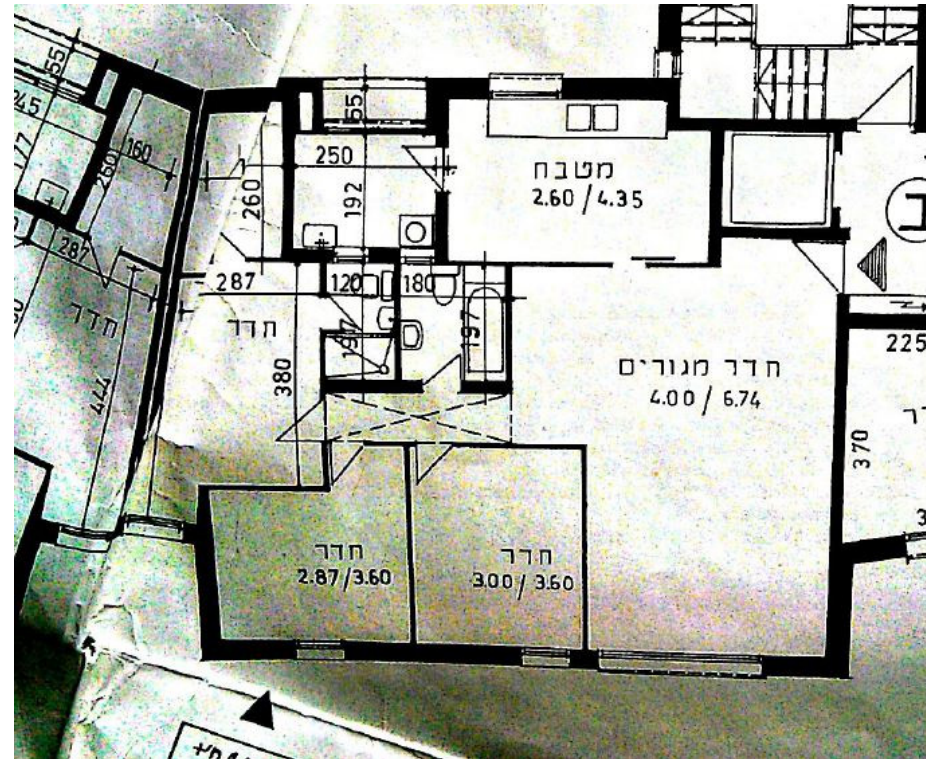
בירושלים, עיקר החימום נעשה בהסקה דירתית/מרכזית (גז או סולר), והוערכה בנפרד

# תיעוד צריכת האנרגיה (ד): תכניות הדירה והבניין

הבניינים מצולמים מבחוץ.



תוכניות הדירות מתקבלות מהדיירים או מהנדס העיר.



# תיעוד צריכת האנרגיה (ה): הדמיה ENERGYui

הדמיה של צריכת האנרגיה לאקלום נעשית באמצעות תוכנת ENERGYui.

The screenshot displays the ENERGYui software interface. The main window shows a floor plan of an apartment labeled "apartment j019" with a floor area of 92 m<sup>2</sup> and a volume of 1019 m<sup>3</sup>. The plan includes a staircase area labeled "stairs" with a floor area of 19 m<sup>2</sup> and a volume of 150 m<sup>3</sup>. The software is set to simulate energy consumption for a 300-600 m<sup>3</sup> volume apartment in a 300 m<sup>2</sup> building. The right-hand panel contains various simulation parameters, including a wind speed of 6.5, a building type of "apartment j019", and a simulation date of 1.1.3. The bottom panel shows simulation options such as "אנרגיה לילה/נחמה" (Energy Night/Comfort) and "לילה: ללא" (Night: None).

# דירוג הדירה לעומת צריכת האנרגיה בפועל

## דירות בירושלים, חימום וקירור בלבד

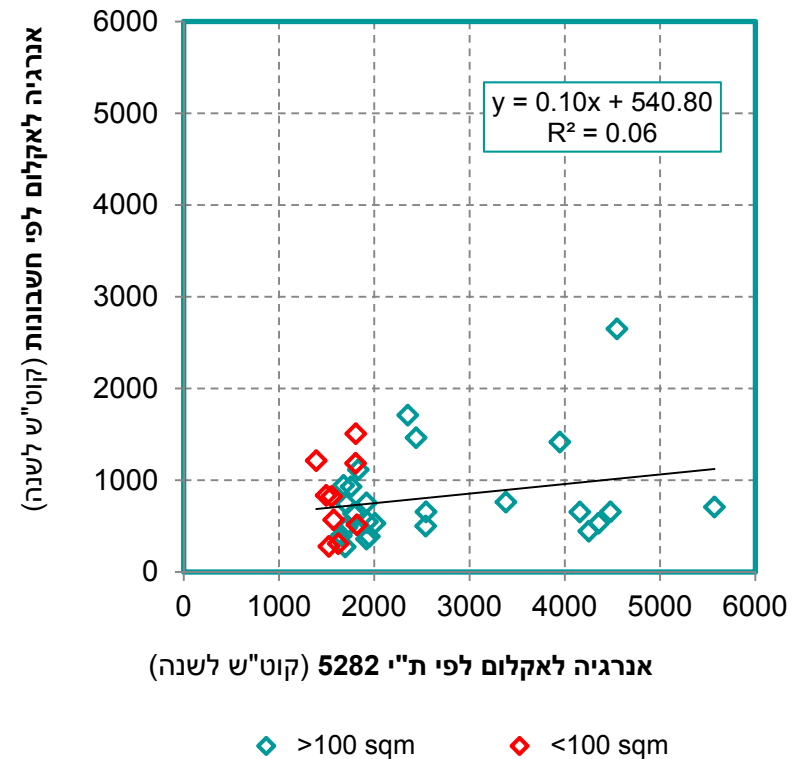
### הסתייגויות:

❖ המדגם קטן ולא בהכרח מייצג

❖ נתונים לשנה אחת בלבד

### הסברים:

- אקלום חלקי של הדירה, בחדרים המאוכלסים בלבד
- Fuel poverty – 41 אחוז מהמשיבים בסקר החברתי-כלכלי של למ"ס (2013) ויתרו על חימום/קירור מספיק של הדירה מסיבות כלכליות



התוכנה בסדר (גמור!) – ויכולה להיות כלי מצוין למתכננים. אולם לא די בתכנון דירות טובות: השגת חיסכון באנרגיה בפועל מחייב גם התנהגות חוסכת של הדיירים.

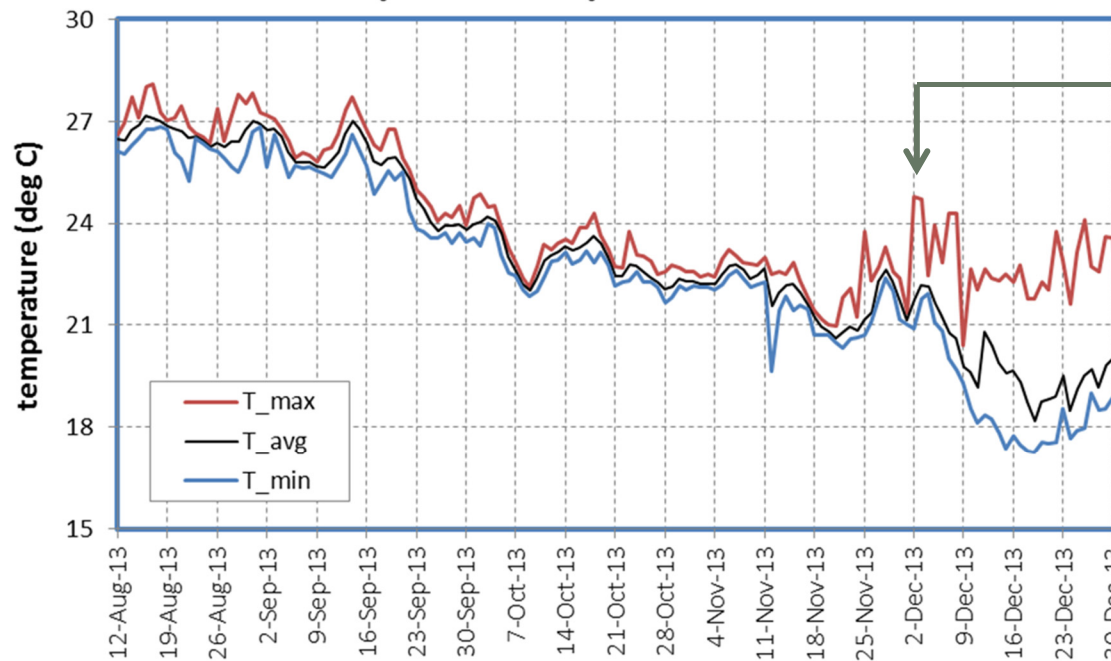


# תיעוד צריכת האנרגיה (ו): מדידת טמפ' ולחות

בכל דירה מותקן מד טמפרטורה ולחות  
+ אוגר נתונים HOBO



Temperature - apartment J004



תחילת חימום

- ✓ מיקום בדירה – החדר הפעיל ביותר, בדרך כלל חדר המגורים
- ✓ סוג הקיר - האוגר יותקן על מחיצה פנימית ולא על קיר חיצוני
- ✓ גובה – בערך 2.1-2.2 מטרים מעל הרצפה (גובה משקוף הדלת הוא בדרך כלל 2.05 מטרים, כך שהאוגר יותקן מעט מעל גובה המשקוף, ולא בצמוד לתקרה).
- ✓ מקורות חום – האוגר לא יותקן סמוך למקורות חום מובהקים כגון מזגן או מנורת הלוגן
- ✓ חשיפה לשמש ישירה – גובה ההתקנה אמור להבטיח כי האוגר לא יהיה חשוף לקרינת שמש ישירה גם כאשר התריסים פתוחים, גם אם ישנם חלונות בעלי גובה חריג.
- ✓ התקנה על רהיטים – ניתן להתקין את אוגר הנתונים על דופן ארון או כל משטח חלק אחר שאינו חשוף להבדלי טמפרטורה קיצוניים.

טמפרטורה ממוצעת לכלל  
הדירות: 20.1 מעלות...

Absolute min: 10.3°C

Mean min: 16.6°C

Mean: 20.1°C

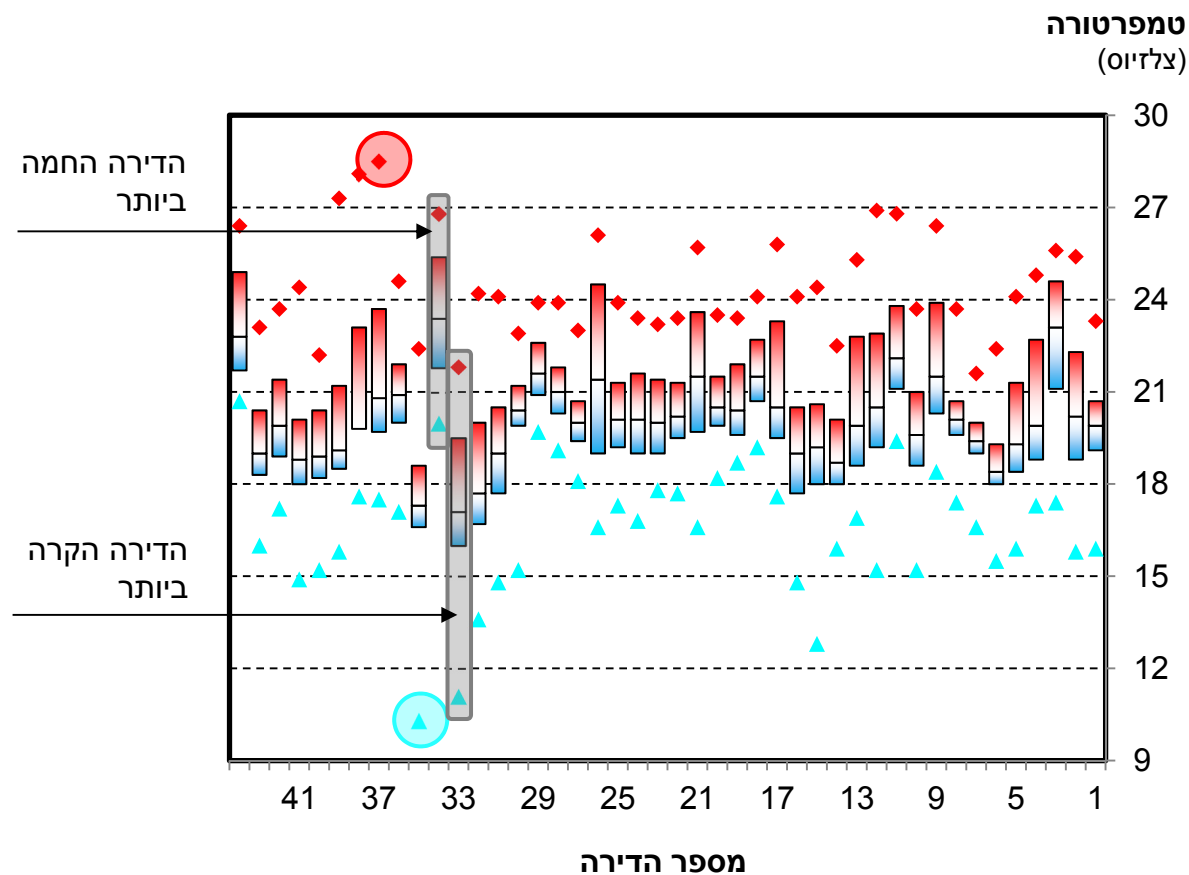
Mean max: 24.4°C

Absolute max: 28.8°C

...אבל בהרבה דירות אין  
חימום מספיק.

◆ מקסימום מוחלט לחודש  
 ■ מקסימום יומי ממוצע  
 ממוצע  
 ■ מינימום יומי ממוצע  
 ▲ מינימום מוחלט לחודש

ירושלים, דצמבר 2013 (לפני תחילת הניסוי)

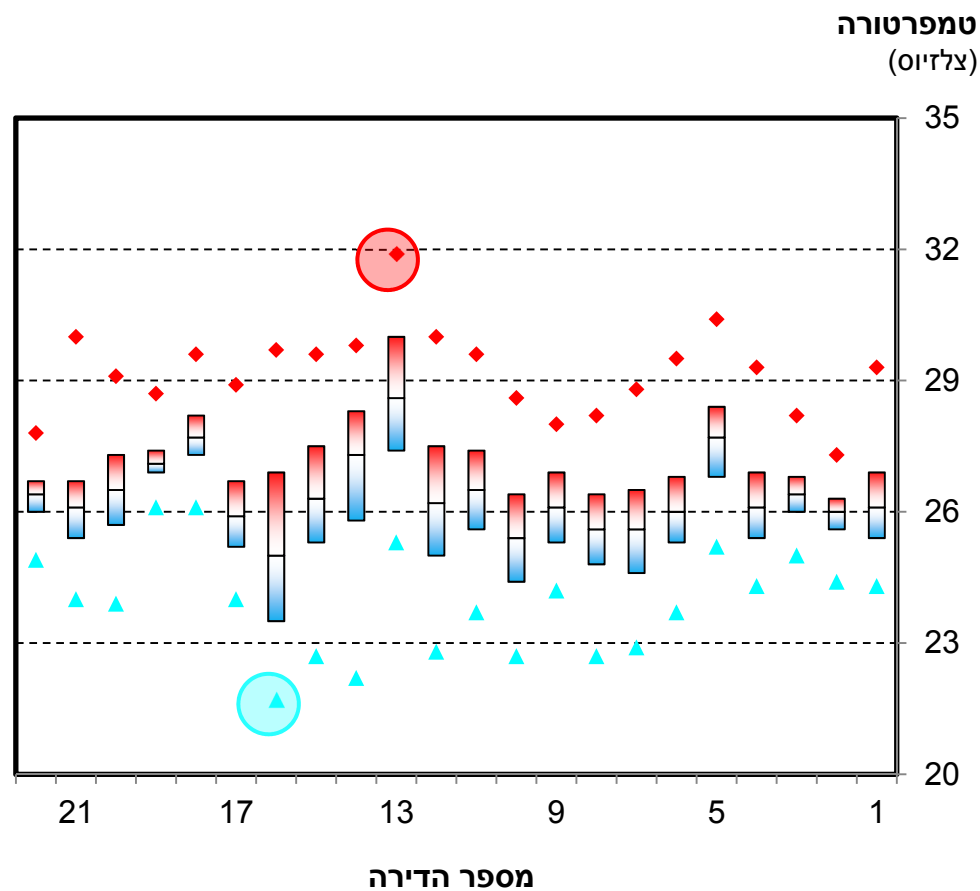


# הטמפרטורה בדירות (גם בקיץ יש שונות גדולה)

ירושלים, יולי 2014 (לפני תחילת הניסוי)

טמפרטורה ממוצעת לכלל הדירות:  
26.2 מעלות -  
וכמעט אין שימוש במזגן...

◆ מקסימום מוחלט לחודש  
▬ מקסימום יומי ממוצע  
▬ ממוצע  
▬ מינימום יומי ממוצע  
▲ מינימום מוחלט לחודש



# התערבות לקידום חיסכון באנרגיה

## A. "Feedback only"

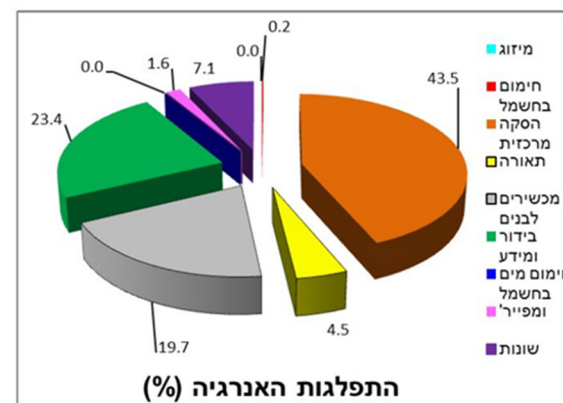
- Generic energy saving booklet (IEC)
- Generic recommendations poster
- Periodic feedback on consumption – compared to neighbors, and to self (previous month)



## B. "Detailed audit + feedback"

- All of "feedback only" actions
- Detailed analysis of apartment-specific energy consumption in baseline year, plus tailored recommendations for saving, in personal interview

התפלגות צריכת אנרגיה נוכחית



## C. "Control"

- Generic (IEC) energy saving booklet only

# המלצות אישיות על סמך ניתוח צריכה מפורט

## קטע מההמלצות לדירה:

צריכת האנרגיה בדירה גבוהה לפי כל הפרמטרים – גם באופן מוחלט וגם אם מתייחסים למספר הדיירים ולגודל הדירה. עיקר החרیגה היא בחימום הדירה ומוצרי בידור ומידע.

**צריכת האנרגיה לחימום גדולה מאוד!** ניתן להקטין על ידי הורדת תרמוסטט ועל ידי הקפדה על מימוש הפוטנציאל לחימום פסיבי. (על פי נתוני מדידת הטמפרטורה בבית, הטמפרטורה בחודש ינואר נשארת כמעט קבועה על 23 מעלות, לא יורדת מתחת ל-19 מעלות, ואף מגיעה ל-25 מעלות. זאת בהשוואה לחודש אוגוסט בו הטמפרטורה הממוצעת בדירה היא 25-26 מעלות, ולא יותר מ-27 מעלות – 2 מעלות בלבד מעל טמפרטורת המקסימום בחודשי החורף)

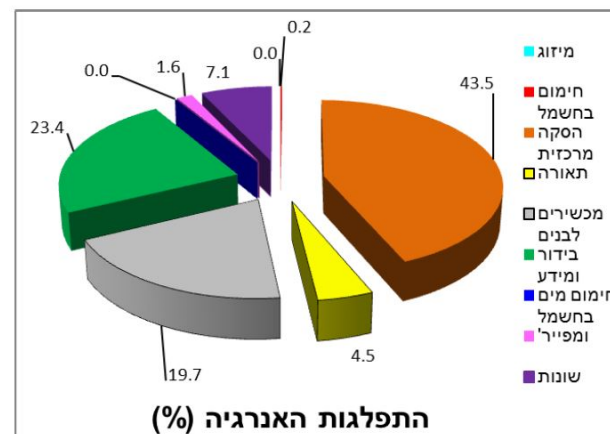
הצריכה מזערית. אין הערות.

קירור:

### דירה מספר J 3

צריכה שנתית			
יעוד	בדירה קוט"ש/שנה	ממוצע המדגם קוט"ש/שנה	אחוז
			מהממוצע (%)
<b>אנרגיה כוללת</b>			
לדירה	5,172	5,763	89.7
לנפש	5,172	2,519	205.3
למ"ר	74.0	57.3	129.2
<b>התפלגות אנרגיה</b>			
מיזוג	0	114	0.0
חימום בחשמל	8	263	3.0
הסקה מרכזית	2,232	890	250.9
תאורה	229	537	42.6
מכשירים לבנים	1,012	2,452	41.3
בידור ומידע	1,204	938	128.3
חימום מים בחשמל ומפייר'	0	176	0.0
ומפייר'	84	134	62.8
שונות	365	362	101.0

### התפלגות צריכת אנרגיה נוכחית



# האם היה שינוי בהרגלי צריכת האנרגיה?

## בפעם אחרת...

התמונה מורכבת, ולא ניתן להציג את הממצאים באופן אחראי במסגרת הזמן המיועד להרצאה הזו. את דו"ח המחקר המלא ניתן להוריד בקישור הבא:

<https://dl.dropboxusercontent.com/u/11327252/PEN16-19%20promoting%20energy-saving%20behavior%20-%20all.pdf>



# פרופ' אביתר אראל

אדריכלות ובינוי ערים במדבר  
המכונים לחקר המדבר ע"ש בלאושטיין  
אוניברסיטת בן-גוריון בנגב

טל. 08-6596878

[erell@bgu.ac.il](mailto:erell@bgu.ac.il)

<http://www.bgu.ac.il/~erell>



- ❑ שיפור הדירה הוא תנאי הכרחי לצריכת אנרגיה נמוכה – אך לא תנאי מספיק
- ❑ השונות הגדולה בין הדירות ממחישה את החשיבות של התנהגות הדיירים בקביעת צריכת האנרגיה בדירה
- ❑ קשה מאוד לשנות את התנהגות הדיירים לטווח הבינוני והארוך
  - ❖ "אפקט הריבאונד" מקשה לשמר הישגים לאורך זמן
  - ❖ צריכת האנרגיה של מכשירי חשמל רבים (כגון מקררים) קבועה ואינה ניתנת כמעט לשינוי
  - ❖ שינוי התנהגות דורש תמריצים משמעותיים
  - ❖ לחץ חברתי (peer pressure) עשוי להיות יעיל – אבל קשה מאוד ליצור לחץ כזה באופן מלאכותי
  - ❖ מידע (אפילו אישי ומפורט) והמלצות לחיסכון הם בעלי יעילות מוגבלת
  - ❖ החיסכון הכספי איננו מהווה מוטיבציה מספקת

## המלצות כלליות למדיניות להפחתת פליטות

- ✓ בניית מהלך הסברתי בהיקף נרחב בכדי לשנות את תפיסת הציבור בנוגע לחשיבות הנושא (בדומה לקמפיין 'ישראל מתייבשת' בעקבות משבר המים ב-2009).
- ✓ לאתר צרכני אנרגיה בזבזנים במיוחד ולמקד בהם את מאמצי החיסכון -  
'target 'behavers' rather than 'behaviors', באמצעות חשבונות החשמל (צנעת הפרט?)
- ✓ קביעת תעריף חשמל מדורג עם מחיר גבוה מאוד במדרגה העליונה
- ✓ שיפוץ ממוקד של הבניינים הגרוועים ביותר
- ✓ קביעת חובה להציג תווית אנרגיה לכל דירה בעת העברת בעלות (או שכירות)

חשוב לקבוע יעדים ריאליים, ולא ללכת שבי אחר משאלות הלב או מקסמי שווא של גורמים עם כוונות טובות.