

עדנה שביב

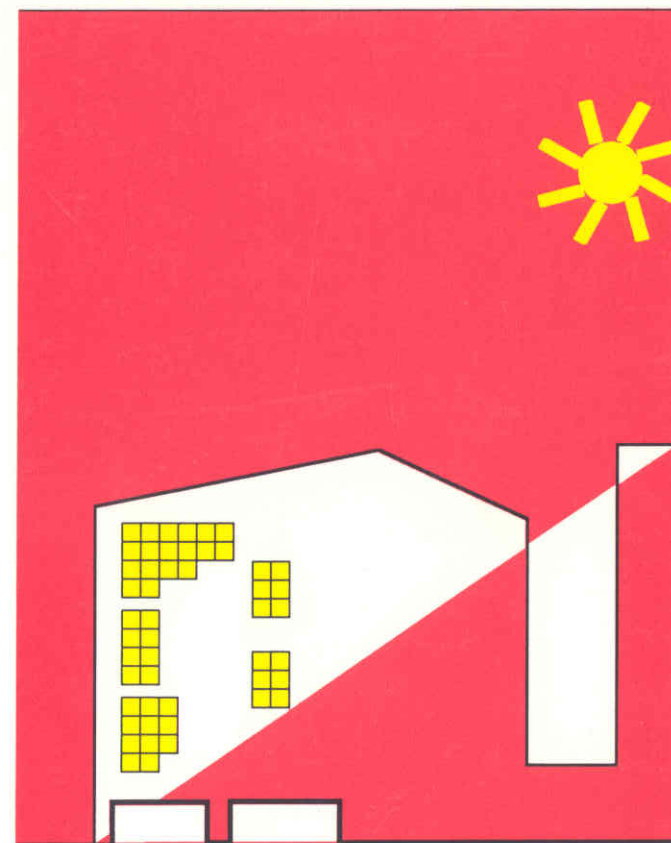
יצחק ג. קפלוטו

# קוים מנחים לתכנון אקלימי-אנרגטי של מבני מגורים

באקלים ים תיכוני ממוזג-קריר וחם-לח

אב תשנ"ב  
אוגוסט 1992

הטכניון - מכון טכנולוגי לישראל  
הפקולטה לארכיטקטורה ובינוי ערים



הוזמן ע"י: מנהל התכנון וההנדסה  
משרד הבינוי והשיכון

הטכניון - מכון טכנולוגי לישראל  
מוסד שמואל נאמן  
למחקר מתקדם במדע ובטכנולוגיה



עדנה שביב

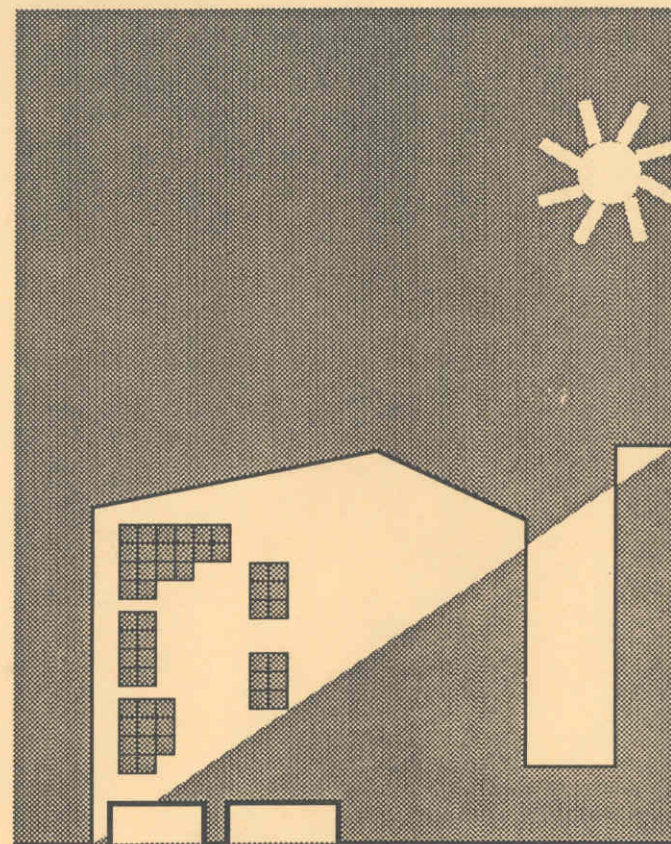
יצחק ג. קפלוטו

# קוים מנחים לתכנון אקלימי-אנרגטי של מבני מגורים

באקלים ים תיכוני ממוזג-קריר וחם-לח

אב תשנ"ב  
אוגוסט 1992

הטכניון - מכון טכנולוגי לישראל  
הפקולטה לארכיטקטורה ובינוי ערים



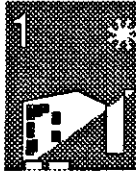
הוזמן ע"י: מנהל התכנון וההנדסה  
משרד הבינוי והשיכון  
חוזה מספר 022-474

הטכניון - מכון טכנולוגי לישראל  
מוסד שמואל נאמן  
למחקר מתקדם במדע ובטכנולוגיה



## תוכן העניינים

תקציר



**חלק ראשון: השפעת פרמטרי התכנון על צריכת אנרגיה ותנאי נוחות תרמית ביחידות מגורים**

1

תוכן העניינים של החלק הראשון

3

תקציר החלק הראשון

### חלק ראשון א

פרק א: מבוא

1-א	הקדמה
4-א	בניה סולרית פסיבית מודעת לאקלים ואנרגיה והשלכותיה התכנוניות
6-א	בדיקת המבנה בעזרת תוכנת סימולציה ENERGY
8-א	נתוני האקלים
8-א	נתוני המבנה לבדיקה
9-א	תוצאות ריצת מודל הסימולציה
11-א	רשימת הפרמטרים לבדיקה
12-א	תיאור הפרמטר הנבדק
13-א	אזורי האקלים לבדיקה
13-א	נושאים שלא נבדקו

### חלק ראשון ב

פרק ב: אזור אקלים ירושלים: אנליזה פרמטרית, המלצות וקיום מנחים

1-ב	הקדמה
1-ב	אקלים ירושלים
2-ב	בידוד קירות המבנה
4-ב	בידוד גג המבנה
6-ב	בידוד רצפת קומת העמודים
8-ב	חדירת אוויר (אינפילטרציה)



## חלק שני: המלצות וקוים מנחים לתכנון אקלימי-אנרגטי של יחידות מגורים ובתי דירות משותפים

1

3

תוכן העניינים של החלק השני

תקציר החלק השני

### חלק שני א

פרק א: קוים מנחים לתכנון יחידת המגורים: סיכום והשוואת המלצות

הקדמה

- 1-א המלצות וקוים מנחים לאקלים ירושלים - הפרמטרים שאינם גיאומטריים
- 2-א המלצות וקוים מנחים לאקלים ירושלים - הפרמטרים הגיאומטריים
- 3-א המלצות וקוים מנחים לאקלים תל אביב - הפרמטרים שאינם גיאומטריים
- 5-א המלצות וקוים מנחים לאקלים תל אביב - הפרמטרים הגיאומטריים
- 6-א השוואה בין ההמלצות לאקלים ירושלים לבין ההמלצות לאקלים תל אביב
- 8-א סיכום ומסקנות
- 15-א

פרק ב: השפעה מירבית על צריכת אנרגיה שנתית: סיכום והשוואת

החשיבות של פרמטרי התכנון

### חלק שני ב

הקדמה

- 1-ב ירושלים: דירת גג או עמחים - 4 חזיתות
- 2-ב ירושלים: דירה בקומה אמצעית - 2 חזיתות
- 4-ב תל אביב: דירת גג או עמחים - 4 חזיתות
- 6-ב תל אביב: דירה בקומה אמצעית - 2 חזיתות
- 8-ב סיכום ומסקנות
- 10-ב

פרק ג: צריכת האנרגיה בהתאם למיקום היחידה בבנין: סיכום,

השוואה והמלצות לפתרונות עדיפים

### חלק שני ג

הקדמה

- 1-ג סיכום הממצאים העיקריים
- 2-ג סיכום ומסקנות
- 10-ג

פרק ד: שיטה לקביעת שטח מומלץ לחלון דרומי: סולרי לעומת שימור

הקדמה

### חלק שני ד

- 1-ד בניית גרף לקביעת שטח מומלץ לחלון דרומי
- 1-ד שיטה לקביעת שטח מומלץ לחלון דרומי
- 2-ד המלצות להערכת אחוז רצוי לשטח חלון דרומי ביחס לשטח רצפה
- 3-ד ירושלים: גרף לקביעת שטח מומלץ לחלון דרומי
- 4-ד תל אביב: גרף לקביעת שטח מומלץ לחלון דרומי
- 5-ד

6-ד  
6-ד

סולרי לעומת שימור  
סיכום ומסקנות

פרק ה: הקבצת הדירות לבית המגורים המשותף: המלצות לקביעת גודל, נפח, צורה ופנות המבנה

## חלק שני ה

הקדמה

עקרונות המודל MulRes-ENERGY

קביעת נפח, צורה ופנות המבנה בהתאם למספר יחידות נתון

קביעת גודל, נפח, צורה ופנות המבנה

הערכת צריכת האנרגיה של בית מגורים משותף

סיכום ומסקנות

1-ה  
2-ה  
3-ה  
4-ה  
5-ה  
5-ה

פרק ו: המלצות וקווים מנחים לתכנון היחידה והבנין: הדגמת תהליך התכנון והערכת צריכת האנרגיה

## חלק שני ו

הקדמה

תכנון הבית המשותף

הערכה מהירה של צריכת האנרגיה של הבנין המתוכנן

תכנון יחידות המגורים

א. יחידות זהות

ב. יחידות שאינן זהות - שטח חלון דרומי בהתאם למומלץ למבנה סולרי

ג. יחידות שאינן זהות - בידוד ושטח חלון דרומי בהתאם למומלץ למבנה סולרי

סיכום ומסקנות

1-ו  
1-ו  
2-ו  
3-ו  
4-ו  
6-ו  
11-ו  
13-ו

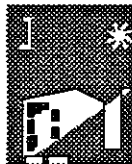
פרק ז: סיכום ומסקנות

## חלק שני ז

סיכום ומסקנות בהתאם לפרקי העבודה

סיכום המסקנות

1-ז  
4-ז



## נספחים:

נספח א: חשוב שטח קירות פנים בבניי מגורים טיפוסיים

נספח ב: דוגמאות לקבצי נתונים להרצת מודל הסימולציה

נספח ג: חתך דרך הבנין הסטנדרטי והמשופר

נספח ד: קובץ report של תוצאות ריצת מודל הסימולציה של המבנה הסטנדרטי שנבדק בירושלים

נספח ה: קבצי results של תוצאות ריצת מודל הסימולציה

נספח ו: השוואת צריכת האנרגיה בשתי דירות גמלוניות לעומת סכום צריכת

האנרגיה בדירה של 4 חזיתות ושל 2 חזיתות

נספח ז: חישוב הפסדי אנרגיה

## מקורות

10-ב	איורור המבנה בלילות הקיץ
12-ב	צבע הקירות
14-ב	צבע הגג
16-ב	הצללת חלונות
18-ב	הצללת קירות
20-ב	הצללת הגג
22-ב	הגדלת שטח קירות הבנין
24-ב	הגדלת שטח החלונות בכיוונים השונים
29-ב	גודל חלון דרומי
32-ב	פרופורציות המבנה
35-ב	פנות המבנה (אורינטציה)
38-ב	פנות המבנה הסולרי

### פרק ג: אזור אקלים תל-אביב: אנליזה פרמטרית, המלצות וקוים מנחים חלק ראשון ג

1-ג	הקדמה
1-ג	אקלים תל אביב
2-ג	בידוד קירות המבנה
4-ג	בידוד גג המבנה
6-ג	בידוד רצפת קומת העמודים
8-ג	חדירת אויר (אינפילטרציה)
10-ג	איורור המבנה בלילות הקיץ
12-ג	צבע הקירות
14-ג	צבע הגג
16-ג	הצללת חלונות
18-ג	הצללת קירות
20-ג	הצללת הגג
22-ג	הגדלת שטח קירות הבנין
24-ג	הגדלת שטח החלונות בכיוונים השונים
29-ג	גודל חלון דרומי
32-ג	פרופורציות המבנה
35-ג	פנות המבנה (אורינטציה)
38-ג	פנות המבנה הסולרי

## **Climatic and Energy Conscious Design Guidelines for Residential Buildings**

**In Temperate-Cool and Hot-Humid Mediterranean Climate**

Copyright © 1992.

By Edna Shaviv and Isaac G. Capeluto.

The research was supported by:

The State of Israel, Ministry of Construction and Housing, Grant No 022-474,  
and partially supported by:

The Fund for the Promotion of Research at the Technion,

The S. Neeman Institute for Advanced Studies in Science and Technology  
and the Technion Research and Development Foundation Ltd.

דו"ח זה משקף את דעות המחברים והמלצותיהם, ואיננו משקף בהכרח את דעותיהם של הטכניון ושל מוסד הטכניון למחקר ופיתוח. מוסד הטכניון למחקר ופיתוח בע"מ אינו אחראי לדיוק הנתונים הכלולים בדו"ח ולמסקנותיו, ואין הדו"ח מהווה הנחיה או המלצה שלו.

This report reflects the opinion and the recommendations of its authors only. It does not necessarily reflect the opinions of the Technion Israel Institute of Technology, or of the Technion R and D foundation, Ltd. The Technion R and D foundation, Ltd. is not legally responsible for the data and the conclusions presented in this report, and the report does not constitute a directive or recommendation of the foundation.

---

## המחברים

עדנה שביב

פרופסור לארכיטקטורה, ראש התחום לבניה אקלימית-סולרית בפקולטה  
לארכיטקטורה ובינוי ערים.

יצחק גדי קפלוטו

ארכיטקט, הפקולטה לארכיטקטורה ובינוי ערים.

## הבעת תודה

מחקר זה הוזמן ומומן ברובו ע"י מנהל התכנון וההנדסה, משרד הבינוי והשיכון, תקציב מחקר מספר  
022-474.

כמו כן מומן חלקית ע"י מוסד שמואל נאמן למחקר מתקדם, וע"י מענק מטעם הקרן לעידוד המחקר  
בטכניון ומוסד הטכניון למחקר ופיתוח בע"מ.  
ברצוננו להודות על התמיכה במחקרנו.

במיוחד ברצוננו להודות לצוות ועדת ההגוי של מחקרנו: ארכיטקטית רחל וילקנסקי, ראש צוות ועדת  
ההיגוי, ארכיטקטים י. ששון, ט. הורן ממנהל התכנון וההנדסה, משרד הבינוי והשיכון, ארכיטקט נתן און-  
בר ממשרד האנרגיה והתשתית, וארכיטקט דני רז (שהיה הארכיטקט הראשי של משרד הבינוי והשיכון,  
בזמן בצוע חלק אי של המחקר), על ליווי מחקר זה ועל הערותיהם החשובות שתרמו רבות למחקר.



פרק א: מבוא

פרק ב: אזור אקלים ירושלים: אנליזה פרמטרית, המלצות וקוים מנחים

פרק ג: אזור אקלים תל-אביב: אנליזה פרמטרית, המלצות וקוים מנחים

פרק ד: סיכום ומסקנות.

החלק השני: "המלצות וקוים מנחים לתכנון אקלימי-אנרגטי של יחידות מגורים ובתי דירות משותפים", מהווה מדריך לתכנון אקלימי-אנרגטי למבני מגורים ומתחלק למספר פרקים:

פרק א: קוים מנחים לתכנון יחידת המגורים: סיכום והשוואת המלצות

פרק ב: השפעה מירבית על צריכת אנרגיה שנתית: סיכום והשוואת החשיבות של פרמטרי התכנון

פרק ג: צריכת האנרגיה בהתאם למיקום היחידה בבנין: סיכום, השוואה והמלצות לפתרונות עדיפים

פרק ד: שיטה לקביעת שטח מומלץ לחלון דרומי: סולרי לעומת שימור

פרק ה: הקבצת הדירות לבית המגורים המשותף: המלצות לקביעת גודל, נפת, צורה ופנות המבנה

פרק ו: המלצות וקוים מנחים לתכנון היחידה והבנין: הדגמת תהליך התכנון והערכת צריכת האנרגיה

פרק ז: סיכום ומסקנות.

## תקציר

עבודה זו בודקת את ההשפעה של פרמטרי התכנון השונים, ובעיקר הפרמטרים הגיאומטריים, על צריכת האנרגיה ותנאי הנוחות התרמית המושגים בבתי מגורים משותפים. בתי המגורים בנויים מחומרי בניה כבדים כמקובל בישראל. הבדיקות וההמלצות הן עבור שני אזורי אקלים: שפלת החוף (חס-לח) וההר (ממוזג-קריר). תוצאות הבדיקות רוכזו בגרפים ולפיהם נקבעו המלצות וקיום מנחים לתכנון יחידות המגורים והמבנה השלם. המלצות אלו מאפשרות לארכיטקט בשלב התכנון הסכמטי-רעיוני, להתייחס להשפעת גיאומטריית הבנין ופרמטרי תכנון אחרים על התנהגות המבנה מבחינה תרמית.

הבדיקה מתבססת על חישובים דינמיים שעתיים של פתרון משוואות מעבר החום דרך כל חלקי מעטפת הבנין ואגירת אנרגיה באלמטי המבנה השונים. חישוב זה בודק, בהסתמך על עקרונות פיסיקליים, את השפעת גורמי התכנון והאקלים על צריכת האנרגיה ותנאי הנוחות המושגים בבנין. עבור כל פרמטר תכנוני נבדקו כ- 100 עד 400 חלופות תכנון שונות, בהתאם למידת חשיבותו ובהתאם למידת תלותו של הפרמטר הנבדק בערכי פרמטרים אחרים. בצורה זו ניתן לקבוע את מידת ההשפעה ההדדית של פרמטרי התכנון השונים. עבודה זו מותאמת לתנאי האקלים באזורים שנבדקו ולצורת בניה כבדה כמקובל בבניי מגורים בארץ. כמו כן היא אינה מניחה מראש עדיפות לפתרונות מסוימים, ואינה מאמצת המלצות שפותחו עבור תנאי בניה שונים, או טיפוס מגורים אחרים מאלו המקובלים ע"י משרד הבינוי והשיכון. בניגוד לעבודות אחרות שבוצעו בארץ בתחום זה, שבחלקן מבוססות על התאמת תוצאות ומסקנות מחקרים שנעשו בעולם עבור מקרים אחרים, הכוונה בעבודה זו הייתה להגיע להמלצות המבוססות על עקרונות ראשוניים ללא כל דעות קדומות.

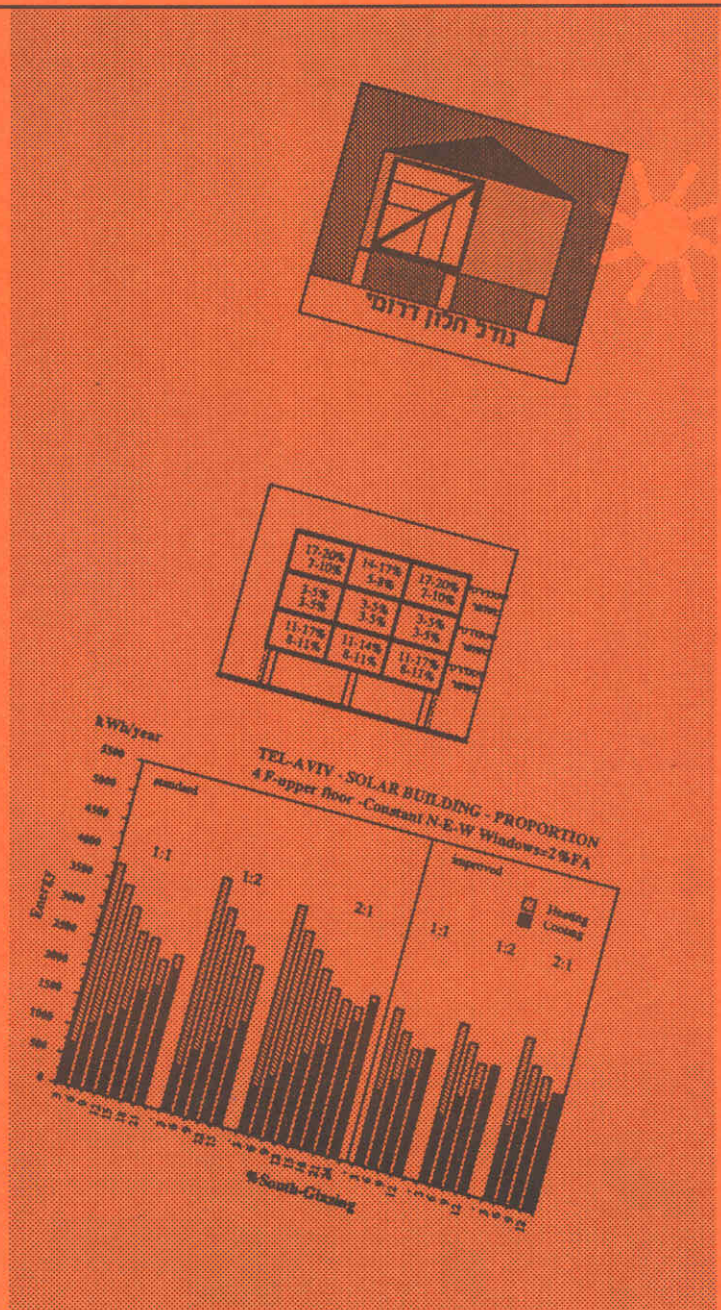
העבודה מתחלקת לשני חלקים:

החלק הראשון: "השפעת פרמטרי התכנון על צריכת אנרגיה ותנאי נוחות תרמית ביחידות מגורים" עוסק בבדיקה שיטתית של כל פרמטר תכנוני בנפרד. חלק זה מיועד למתכנן המעוניין להתעמק בתוצאות האנליזה הפרמטרית ולהבין את הבסיס לפיו הוסקו המסקנות ופותרו ההמלצות. בחלק זה נכללים הפרקים הבאים:

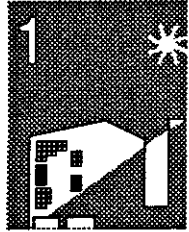


## חלק ראשון

השפעת פרמטרי התכנון על צריכת אנרגיה ותנאי נוחות תרמית ביחידות מגורים



# תוכן העניינים



חלק ראשון: השפעת פרמטרי התכנון על צריכת אנרגיה ותנאי נוחות תרמית ביחידות מגורים

3

תקציר החלק הראשון

## חלק ראשון א

פרק א: מבוא

1-א	הקדמה
4-א	בניה סולרית פסיבית מדעת לאקלים ואנרגיה והשלכותיה התכנוניות
6-א	בדיקת המבנה בעזרת תוכנת סימולציה ENERGY
8-א	נתוני האקלים
8-א	נתוני המבנה לבדיקה
9-א	תוצאות ריצת מודל הסימולציה
11-א	רשימת הפרמטרים לבדיקה
12-א	תיאור הפרמטר הנבדק
13-א	אזורי האקלים לבדיקה
13-א	נושאים שלא נבדקו

## חלק ראשון ב

פרק ב: אזור אקלים ירושלים: אנליזה פרמטרית, המלצות וקווים מנחים

1-ב	הקדמה
1-ב	אקלים ירושלים
2-ב	בידוד קירות המבנה
4-ב	בידוד גג המבנה
6-ב	בידוד רצפת קומת העמודים
8-ב	חדירת אויר (אינפילטרציה)
10-ב	איורור המבנה בלילות הקיץ
12-ב	צבע הקירות
14-ב	צבע הגג
16-ב	הצללת חלונות

18-ב	הצללת קירות
20-ב	הצללת הגג
22-ב	הגדלת שטח קירות הבנין
24-ב	הגדלת שטח החלונות בכיוונים השונים
29-ב	גודל חלון דרומי
32-ב	פרופורציות המבנה
35-ב	פנות המבנה (אורינטציה)
38-ב	פנות המבנה הסולרי

**חלק ראשון א** פרק ג: אזור אקלים תל-אביב: אנליזה פרמטרית, המלצות וקווים מנחים

1-ג	הקדמה
1-ג	אקלים תל אביב
2-ג	בידוד קירות המבנה
4-ג	בידוד גג המבנה
6-ג	בידוד רצפת קומת העמודים
8-ג	חדירת אויר (אינפילטרציה)
10-ג	איורור המבנה בלילות הקיץ
12-ג	צבע הקירות
14-ג	צבע הגג
16-ג	הצללת חלונות
18-ג	הצללת קירות
20-ג	הצללת הגג
22-ג	הגדלת שטח קירות הבנין
24-ג	הגדלת שטח החלונות בכיוונים השונים
29-ג	גודל חלון דרומי
32-ג	פרופורציות המבנה
35-ג	פנות המבנה (אורינטציה)
38-ג	פנות המבנה הסולרי

## תקציר החלק הראשון

החלק הראשון עוסק באנליזה שיטתית של השפעת פרמטרי תכנון על תנאי נוחות תרמית וצריכת אנרגיה ביחידות מגורים שהן חלק מבית מגורים משותף. היחידות בנויות מחומרי בניה כבדים כמקובל בישראל. הבדיקות בוצעו עבור שני אזורי אקלים: שפלת החוף (תל אביב) והחר (ירושלים). אקלים תל אביב מאופיין ע"י קיץ קשה וחורף קל, ואילו אקלים ירושלים מאופיין ע"י חורף קשה וקיץ קל.

עבור כל פרמטר תכנוני, בוצעו מספר רב של סימולציות מחשב והתוצאות רוכזו בגרפים. מתוך גרפים אלה, ניתן לראות את מידת השפעת כל פרמטר תכנוני על צריכת אנרגיה לחימום וקירור הדירה. גרפים נוספים מציגים את הטמפרטורה המקסימלית המתקבלת בקיץ בתוך הדירה, ללא הפעלת מזוג אויר, אלא רק ע"י איורור טבעי, או איורור מאולץ בעזרת מפוח. כמו כן ניתן ללמוד מגרפים אלה, על מידת ההשפעה ההדדית שבין פרמטרי התכנון השונים.

חלק זה של העבודה דן בכל פרמטר תכנוני בנפרד וכולל:

- א. תאור הבדיקה
- ב. סיכום התוצאות והממצאים החשובים
- ג. המלצות תכנון, לקביעת צורת ו/או גודל כל פרמטר תכנוני, לאזורי האקלים הממוזג-קריר והחם-לח.
- ד. קביעת מידת ההשפעה המקסימלית של כל פרמטר, על צריכת האנרגיה של יחידת המגורים.

החלק הראשון מיועד למתכנן המעוניין להתעמק בתוצאות האנליזה הפרמטרית ולהבין את הבסיס לפיו הוסקו המסקנות ופותרו ההמלצות. חלק זה מתחלק לפרקים הבאים:

פרק א: מבוא

- פרק ב: אזור אקלים ירושלים: אנליזה פרמטרית, המלצות וקיום מנחים
- פרק ג: אזור אקלים תל-אביב: אנליזה פרמטרית, המלצות וקיום מנחים
- פרק ד: סיכום ומסקנות.

## פרק א: מבוא

### הקדמה

מספר רב של פרמטרי תכנון גיאומטריים ושאינם גיאומטריים משפיעים על ההתנהגות התרמית של בית המגורים הישראלי הטיפוסי. בפני המתכנן המעוניין בתכנון אקלימי-סולרי-אנרגטי יעיל של הבנין מתעוררות לכן השאלות הבאות:

- האם כל פרמטרי התכנון משפיעים על התנהגות הבנין מהבחינה התרמית?
- האם השפעה זו תלויה בערכם של פרמטרי התכנון האחרים?
- מהם פרמטרי התכנון המשפיעים במידה רבה ביותר? ואיך לקבוע עבורם ערכים נכונים? ובעיקר בשלב התכנון הרעיוני מהם פרמטרי התכנון הגיאומטריים המשפיעים במידה רבה על תנאי הנוחות האקלימיים בבנין?
- מהם פרמטרי התכנון שהשפעתם חלשה וקיים לכן חופש תכנוני מבחינה תרמית בקביעת ערכם?
- כיצד ניתן לקבוע את ארגון הדירות בבית המגורים המשותף ואת צורת הבנין המועדפת מבחינה אנרגטית?
- כיצד ניתן לקבוע את רמת הסולריות הדרושה לכל דירה בבנין?
- האם ניתן לתכנן בית מגורים משותף, בו כל דירה, אף שממוקמת בצורה שונה בבנין, צורכת אנרגיה מועטה בהתאם לערך מקסימלי שנקבע מראש כרצוי?

פרמטרים גיאומטריים שנקבעו בשלבי התכנון הראשוניים כגון: היקף המעטפת ביחס לשטחו, פרופורציות הבנין (אורך, רוחב, מספר קומות), פנות הבנין, פנות החלונות ושטחם, קשה לשנותם בשלבי התכנון המתקדמים. בשלבים המתקדמים יש אפשרות לבדוק את פרטי הבנין השונים, כגון: חומרי בנין, אטימות החלונות וצבע המעטפת. לעומת זאת חשוב לקבוע, כבר בשלבי התכנון הראשוניים, את שטח הזיגוג הדרומי המועיל להשגת חימום סולרי פסיבי בחורף, התורם משמעותית לחסכון באנרגיה בבנין מבלי לגרום לחימום יתר בקיץ.

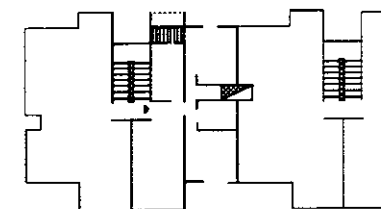
עבודה זו מנסה להשיב בצורה מדויקת ככל האפשר על השאלות שנמנו. כמו כן פותחו שיטות המאפשרות להציג בפני המתכנן בצורה פשוטה את:

- מרחב הפתרונות לקביעת ארגון הדירות וצורת הבנין המועדפת מבחינה אנרגטית.
- קביעת רמת הסולריות הדרושה לעומת שימור אנרגיה רצוי בבנין.
- מרחב הפתרונות לחלופות תכנון שונות לכל טיפוס דירה הצורכת אנרגיה מועטה ככל האפשר, או הצורכת אנרגיה בהתאם לערך מקסימלי שנקבע מראש כרצוי.

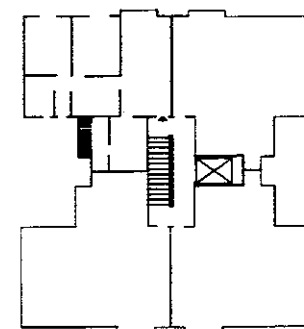
הושם דגש על פיתוח כללים והמלצות תכנון לגבי גיאומטריית הבנין המועדפת, על מנת לאפשר לארכיטקט, כבר בשלבי התכנון הראשוניים, קבלת החלטות עיצוביות הנכונות מבחינה אקלימית-אנרגטית. כמו כן, נוגעות ההמלצות לקביעת הערכים של הפרמטרים הלא גיאומטריים, אשר בדרך כלל ערכם המדויק נקבע בשלבי התכנון המתקדמים. הסיבה נעוצה בכך, שלא ידיעת רמת הטיב של אלה, אין אפשרות להמליץ גם על הפרמטרים הגיאומטריים. לימוד מהות הבעיות הקשורות בתכנון אנרגטי נכון מראה, כי קיימת השפעה הדדית חזקה בין פרמטרי התכנון השונים, והחלטה לגבי ערך האחד גוררת, בדיעבד, החלטות נוספות לגבי הפרמטרים האחרים.

לשם מתן תשובות לשאלות שנמנו, נבחן מודל סכמטי של בנינים משותפים אב-טיפוסיים בישראל, מטיפוס של הבית הטורי ושל בית המגדל (תמונות 1, 2). בשני טיפוסים אלה נבדקו השפעות של שינויים בגיאומטריית המבנה על התנהגותו התרמית. הבדיקות התבססו על חישובים דינמיים שעתיים של מעבר חום דרך כל חלקי מעטפת הבנין, ואגירת אנרגיה באלמטי הבנין השונים. החישובים התבצעו בעזרת מודל סימולציה ENERGY שפותח ע"י ע. שביב ו-ג. שביב (Shaviv & Shaviv, 1977, 1978a,b). מודל זה מאפשר להעריך, בהסתמך על עקרונות פיסיקליים ראשוניים, את צריכת האנרגיה בבנין לחימום ולקירור, ואת ההתנהגות התרמית של הבנין בקיץ ובחורף ללא הפעלת אמצעים מיכניים.

בדיקת השפעת גיאומטריית בית המגורים הפרטי, על התנאים האקלימיים השוררים בו ועל צריכת האנרגיה שלו, נעשתה לפני שנים רבות ע"י אולגאי (Olgay, 1963). התוצאות שקיבל מראות על חשיבות הנושא. אולם, הבדיקות שעשה מבוססות על חישובים ידניים של הפסדי אנרגיה במצב עמיד. לעומת זאת לא נעשתה בדיקה מעמיקה של השפעת הגיאומטריה של הבנין על התנאים האקלימיים השוררים בו בקיץ ובחורף, המבוססת על חישובים דינמיים, והמתחשבת לשאלות הבאות: "מהי הצורה האופטימלית של הבנין, או מהו היחס האופטימלי בין נפח הבנין לשטח פניו?" (ראה Santamouris et al., 1989).



תמונה 1. בית טורי - 3 חדרים



תמונה 2. בית מגדל - 1/2 3 חדרים



בדיקות פרמטריות מעמיקות, המתבססות על חישובים דינמיים והמתייחסות בצורה חלקית לשאלת השפעת הגיאומטריה של הבנין על התנאים התרמיים בו, בוצעו ע"י קבוצת המחקר בלוס אלמוס וסוכמו במדריך לתכנון סולרי-פסיבי (Balcomb et al., 1984). בדיקות אלו נעשו בעיקר עבור בנייני מגורים פרטיים, הבנויים מחומרים קלים. מדריך נוסף לתכנון סולרי-אנרגטי יעיל של מבני מגורים פורסם ע"י קבוצת מחקר מטעם מדינת השוק האירופאי המשותף. פרסום זה שם את הדגש על סיכום עקרונות ושיטות תכנון, אולם אין בו בדיקות פרמטריות שיטתיות והמלצות תכנון המבוססות על בדיקות אלה (Achard & Gicquel, 1986). המלצות תכנון נוספות עבור מבני מגורים ניתן למצוא בעוד מספר מקורות (נזכיר כאן אחדים כגון: Evans, 1980; Watson, 1983 וה- ASHRAE Fundamentals, 1989), אולם בכל המקורות הנ"ל אין טיפול בשאלות המחקר הנוגעות לבית המגורים המשותף.

עבודות המתייחסות לתכנון אנרגטי יעיל של מבנים שונים וביניהם גם מבני מגורים, בוצעו בארץ במשך תקופה ארוכה ע"י גבעוני (Givoni, 1981) והופמן (1976). עבודות אלה נוגעות בעיקר בשאלות המתעוררות בשלבי התכנון המתקדם ומתייחסות לפירוט המבנה, ופחות נוגעות בשאלות המתעוררות בשלבי התכנון הסכמטי-רעיוני. מדריך לשימור אנרגיה במבני מגורים, הודן בהבטים אקלימיים, תכנון אדריכלי, תכנון מעטפת הבנין והבטים כלכליים, התפרסם גם בארץ. מדריך זה, בדומה למדריך האירופאי, דן בסיכום עקרונות ושיטות תכנון קיימות, אולם אין בו בדיקות פרמטריות שיטתיות והמלצות תכנון המבוססות על בדיקות אלה (דבוסקין וגרנות, 1989). עבודה נוספת שבוצעה לאחרונה בארץ, ע"י קבוצת מחקר במכון לחקר המדבר (מאיר ושוית, 1990), שמה את הדגש על היבטים אנרגטיים בתכנון באזורים מדבריים. המלצות התכנון המובאות בעבודה זו מיועדות בעיקר לטיפוסי מבנים התואמים את האקלים המדברי, ואינן שמות דגש על בנייני מגורים משותפים רבי דירות, כמקובל באזורי בניה צפופים במרכז הארץ. עבודה אחרת המתייחסת לעקרונות וכללי תכנון ובנייה סולרית פסיבית של בנייני מגורים משותפים בישראל, נעשתה ע"י קבוצת מחקר במכון הלאומי לחקר הבנייה (פורת ושוית, 1989), אך לא הושם בה דגש על השאלות שמנינו לעיל ובעיקר על השאלה המרכזית בה נוגע מחקרנו זה והיא: מהם פרמטרי התכנון הגיאומטריים המשפיעים במידה רבה על תנאי הנוחות התרמיים בבית מגורים משותף ואיך לקבוע עבורם ערכים נכונים כבר בשלב התכנון הסכמטי-רעיוני. כמו כן לא הוצעה כל שיטה המאפשרת למתכנן לקבוע בצורה פשוטה את ארגון הדירות בבנין ואת צורתו המועדפת מבחינה אנרגטית, את רמת הסולריות הדרושה לעומת שימור אנרגיה ואת התכנון הרצוי לכל טיפוס דירה, כך שכל דירה בבנין המשותף תצרוך אנרגיה מועטה בהתאם לערך מקסימלי שנקבע מראש עבורה.

בנוסף נציין שלפני שניתן להשתמש בהמלצות תכנון שפותחו במסגרת המחקרים השונים, יש לברר את השאלות הבאות:

- האם ניתן להסתמך על המלצות תכנון שפותחו בעולם ללא התייחסות לתנאי האקלים הספציפיים ולשיטות הבניה המקובלות בארץ?
- האם ניתן להקיש מסקנות תכנון לגבי בית מגורים משותף על סמך המלצות שפותחו עבור בית מגורים פרטי?
- האם ניתן להקיש מסקנות תכנון כלליות לגבי טיפוסי הדירות השונים, כגון דירות הגג, על סמך המלצות שפותחו עבור דירות בקומה אמצעית ולהיפך?
- האם ניתן לקבוע המלצות תכנון הנוגעות לגיאומטריית הבנין, כגון השטח המומלץ לחלון דרומי, מבלי להתייחס לפרטי התכנון האחרים, כגון בידוד המבנה, או יכולת אגירת האנרגיה בו?

**המלצות התכנון בעבודה זו מותאמות לתנאי האקלים באזורים שנבדקו ולצורת הבניה הכבדה המקובלת בבנייני מגורים בארץ.** עבודה זו אינה מניחה מראש עדיפות לפתרונות מסוימים, ואינה מאמצת המלצות שפותחו עבור תנאי בניה שונים, או טיפוסי מגורים אחרים, מאלו המקובלים ע"י משרד הבינוי והשיכון. בניגוד לעבודות אחרות שבוצעו בתחום זה, שבחלקן מבוססות על התאמת תוצאות ומסקנות מחקרים שנעשו בעולם עבור מקרים כביכול דומים, **הכוונה בעבודה זו היא להגיע להמלצות המבוססות על עקרונות פיסיקליים ראשוניים ללא כל דעות קדומות.**

#### בניה סולרית פסיבית מודעת לאקלים ואנרגיה והשלכותיה התכנוניות

בבניה סולרית פסיבית, המבנה עצמו מהווה את מערכת הקליטה, ההובלה, והאגירה של אנרגית השמש. בסוג בניה זה, גיאומטריית הבנין ומרכיביו השונים משחקים תפקיד ראשי. חלונות הפונים לאוריינטציות מסוימות עוזרים לייקליטה ישירה של אנרגית השמש. בידוד מעטפת הבנין שומר על האנרגיה הסולרית שנקלטת ועל החום הפנימי של הבנין בחורף, ומונע חדירת חום מבחוץ בקיץ. בנוסף, המסה התרמית של הבנין אוגרת אנרגיה בתוכה כדי לשחררה בעת הנדרשת. תכנון ארכיטקטוני נכון של הבנין מאפשר כמו כן הובלת החום למקומות הדרושים, ללא הפעלת אמצעים מכניים.

מכיון והבנין הוא המערכת הסולרית, תכנון אדריכלי מודע לאנרגיה אינו ניתן להשגה בצורה מוצלחת רק ע"י תוספת בידוד לבנין, שתוכנן בצורה גרועה. יש צורך משלב התכנון הרעיוני, לעצב את הבנין כך שיוכל לתפקד

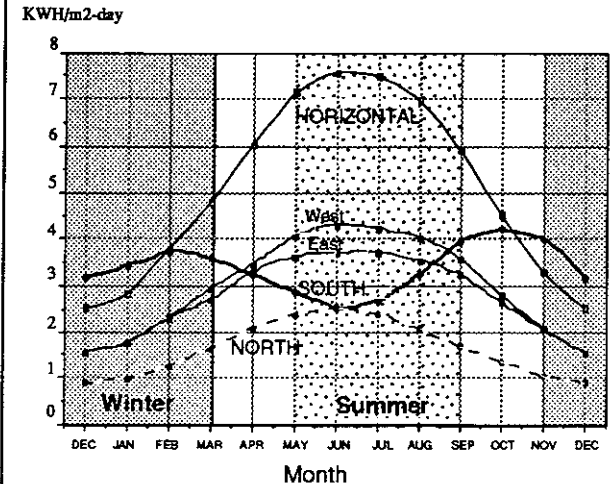
כמערכת סולרית וכבנין מודע לאנרגיה. יש להתייחס לתנאי אקלים המקום ולאספקט של שימור האנרגיה כבר בראשית התכנון ולא לנסות לפתור בעיות בצורה מאולתרת, לאחר שנוצרו ע"י תכנון לקוי מבחינה אקלימית.

בנין סולרי פסיבי מודע לאנרגיה צריך ויכול לתפקד גם בקיץ כבנין משמר אנרגיה וכמערכת פסיבית לקירור. בחלקים שונים של הארץ, בהם קיים אקלים ישראלי ים-תיכוני, אין הצדקה בהרבה מקרים למערכת מיווג אויר מכנית. זאת מכיון וניתן להשיג תנאי אקלים פנים נוחים באמצעות תכנון נכון. בצורה זו הבנין אינו מהווה רק מחסה בלבד, אלא הופך להיות מערכת הפועלת לצורך השגת תנאי נוחות תרמיים במינימום צריכת אנרגיה מתכלה. תכנון מערכת שכזו הוא באחריות הארכיטקט, החייב להבין את עקרונותיה, תפקודה ומעלותיה ומהן ההשלכות התכנוניות הנובעות ממנה.

אחת התופעות החשובות בבניה סולרית פסיבית המשפיעה על צורת הבנין והבינוי, קשורה בעובדה שכדור הארץ מקבל כמות גדולה של אנרגיה מהשמש, כקרינה ישירה הנופלת בצורה לא שווה על משטחים הפונים לכיוונים שונים. כמות קרינה זו לא רק שאינה אחידה, אלא משתנה במשך עונות השנה (ראה תמונה 3). בתמונה 4 מוצגים מסלולי השמש בשמים בישראל (עבור קו רוחב 32 מעלות צפון) לימים 21 ביוני, ספטמבר, דצמבר ומרץ. מצויר זה ניתן לראות שבינוי השמש זורחת צפונה למזרח, ושוקעת צפונה למערב. ברב שעות היום נמצאת השמש גבוה בשמים. כתוצאה השמש מכה בקיץ בצורה חזקה מאוד על המישור האופקי. המישור הדרומי, לעומת זאת, מקבל קרינה בכמות מעטה. נציין שגם המישור הצפוני מקבל בעונת הקיץ קרינה ישירה בשעות הבוקר המוקדמות והערב המאוחרות. בעונת החורף (דצמבר), השמש זורחת דרומה למזרח ושוקעת דרומה למערב. כלומר, בחורף השמש נעה במסלול נמוך וקצר ומקרנה במיוחד על המישור הדרומי. לפי תמונה 3 אפשר לראות בברור שמלבד המישור הדרומי, כל המישורים מקבלים את מרבית הקרינה בחודשי הקיץ, ובולט בצורה מיוחדת המישור האופקי. לעומת זאת המישור הדרומי מקבל דווקא בקיץ את מינימום הקרינה ובחורף את המקסימום.

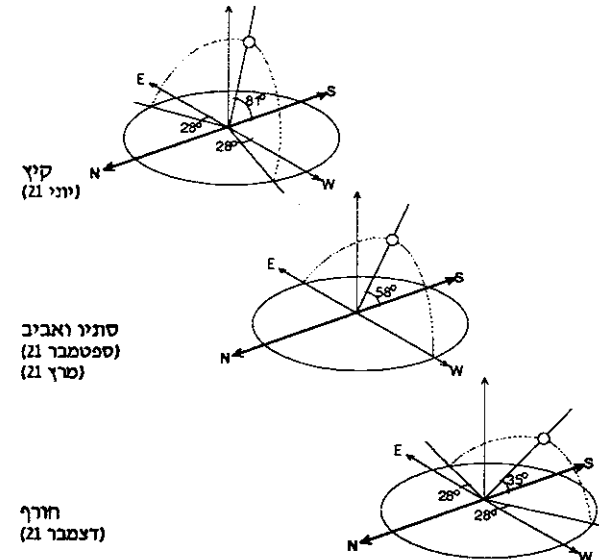
השאלה הנשאלת היא באיזו צורה משפיעה האסימטריה של מסלול השמש בשמים על:

- פנות הבנין?
- פרופורצית הבנין?
- גודל חלונות העדיף בכיוונים שונים?
- דרישה להצללות בכיוונים שונים?
- צבע הגג והקירות?



\* NRC Bet-Dagan, 1967-1978

תמונה 3. שטף קרינה גלובלי לישראל למישורים שונים



תמונה 4. מסלולי השמש בשמים בישראל בארבע עונות השנה

תמונה 5 מתארת את מהלך הטמפרטורה במשך חודשי השנה בירושלים ותל אביב. בכל אחד מהמקרים מסומנות טמפרטורות הנוחות המינימלית והמקסימלית. כדאי לשים לב לעובדה שטמפרטורת המינימום הדרושה בשני המקומות זהה, אולם טמפרטורת המקסימום שונה. בירושלים ניתן בקיץ להרגיש בנוח בטמפרטורה יותר גבוהה מאשר בתל אביב כתוצאה מהעובדה שבאקלים ההררי של ירושלים הלחות היחסית היא נמוכה ואילו בתל אביב, הקרובה לים, הלחות היחסית גבוהה מאוד.

מתמונה 5 ניתן לראות שבירושלים יש צורך לחמם בחורף את הבנינים. לעומת זאת בתל אביב החימום הדרוש הוא קטן ביותר ולכן, בתכנון נכון של הבנין, קיימת אפשרות להשיג תנאי נוחות תרמיים ללא צורך בחימום ע"י אמצעי מכני כל שהוא. בקיץ המצב הפוך: בתל אביב יש צורך לקרר את הבנין ובירושלים כמעט ולא. במקרה זה קיימת אפשרות להשיג בירושלים, בתכנון נכון, תנאי נוחות תרמיים בבנין ללא מיזוג אוויר. ניתן לסכם ולומר שבתכנון אדריכלי-אקלימי חייבים לקחת בחשבון את התנאים הספציפיים של המקום ולספק את הסטנדרטים של נוחות תרמית הדרושים למקום זה. פתרון טוב למקום מסויים אינו בהכרח טוב למקום אחר.

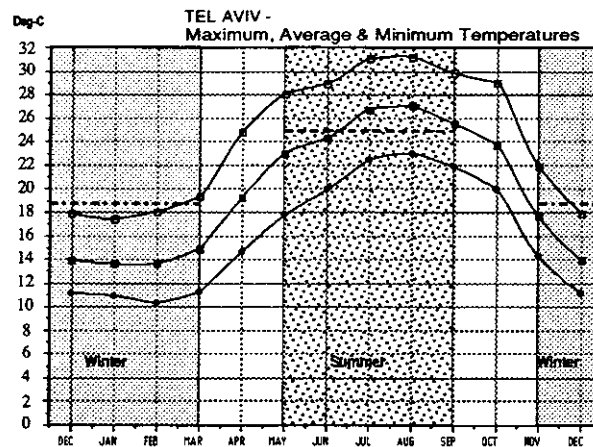
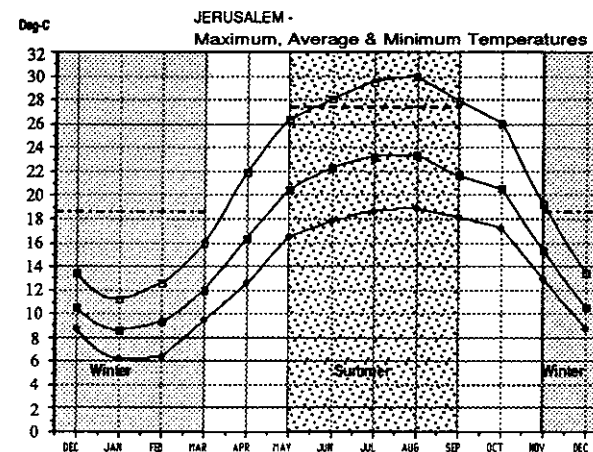
מכיון ובעיית חיזוי האקלים בבנין מושפעת ממספר רב של פרמטרי תכנון, יש צורך בנסיון ומומחיות בשטח, על מנת להצביע כבר בשלבי התכנון הראשוניים על עקרונות נכונים להשגת תכנון מודע לאקלים ואנרגיה. היות ולא כל הארכיטקטים הם בעלי נסיון ומומחיות זו, נולד הצורך בכלי תכנון פשוטים לחלוטין, בצורה של חוקי אצבע. חוקים אלה, המבוססים על הנסיון שהצטבר, בעיקר בעזרת הרצה על המחשב של מספר עצום של סימולציות אקלימיות-אנרגטיות, מספקים הנחיות והמלצות כלליות ומאפשרים קבלת החלטות תכנון בצורה טובה כבר בשלבים הראשונים. גם עבור המתכנן המנוסה, שבאפשרותו להעריך ביצועים אנרגטיים בעזרת מודל סימולציה שעתיד, מהווים חוקים אלה כלי תכנון חשוב ביותר, העוזר בקביעת כיוון הפתרון הרצוי.

**בדיקת המבנה בעזרת תוכנת סימולציה ENERGY**

בעיית חיזוי האקלים בבנין מורכבת ביותר, מהסיבות הבאות:

(א) מספר פרמטרי התכנון המשפיעים על תנאי האקלים הוא גדול.

(ב) שיפור בתנאי האקלים והחסכון באנרגיה המושג ע"י כל אחד מהפרמטרים בנפרד אינו ניתן לחיבור פשוט, כאשר מופעלים מספר פרמטרים יחד. יתר על כן - בתנאים מסויימים יכול להיות לפרמטר מסויים השפעה חיובית ובמקרים קיצוניים יכולה ההשפעה החיובית להפוך לשלילית. לדוגמא: אם בקיץ ישנם בבנין חלונות גדולים, סגורים ולא מוצללים, יכולה הקרינה הישירה לחמם את אוויר החדר לטמפרטורה הגבוהה



תמונה 5. טמפרטורות ממוצעות יומיות (מקסימלית, ממוצעת ומינימלית) לכל חודש בירושלים ובתל אביב

מהטמפרטורה החיצונית (תנאי תממה). במקרה זה זרימת החום חייבת להתבצע מתוך הבנין החוצה. בנין שמבודד טוב יותר, ימנע איבוד חום זה. במקרה זה לבידוד טוב של הקירות והגג תהיה השפעה שלילית על תנאי האקלים בבנין.

מודל הסימולציה ENERGY מאפשר בדיקה של ההשפעה הכוללת של פרמטרי התכנון על תנאי האקלים בבנין ועל צריכת האנרגיה. המודל מאפשר התיחסות לכל האספקטים התכנוניים, החל בתכנית הכללית, העמדת הבנין בשטח ועד פרטי הבנין. (לפרטים מדויקים על ניסוח המודל ראה Shaviv & Shaviv, 1977, 1978a,b).

בניגוד לחישובים ההנדסיים הסטטיים המבוססים על מצב עמיד (steady state) והמניחים שמעבר החום מהחדר לסביבה החיצונית מתרחש בפרק זמן השווה אפס, מתיחס מודל הסימולציה לתופעה הדינמית שבמעבר החום. זאת מכיון וחישוב מעבר החום דרך מעטפת הבנין, נעשה ע"י פתרון סימולטני של משוואות זרימת החום דרך חלקי המעטפת השונים של הבנין. חישוב זה מביא בחשבון את העובדה שקיבול החום של המעטפת ושל קירות הפנים מהווה מאגר חום (מסה תרמית). עקב זאת התופעות מתרחשות במציאות בפרק זמן מסויים, שלפעמים הוא ארוך מהזמן שלוקח למוג האוויר להתחלף בחוץ. כך למשל, לא ניתן להסביר ע"י החישובים הסטטיים, מדוע ביום חמסין בבנין הבנוי קירות אבן עבים וחלונותיו סגורים וקטנים, תהיה הטמפרטורה נוחה גם ללא מיזוג אויר. לעומת זאת, בבנין הבנוי מחומרים קלים, בעלי התנגדות טובה יותר למעבר חום מאשר בנין האבן, יורגש החמסין אחרי מספר שעות. יש כמו כן חשיבות לחישוב הדינמי עבור בניינים שאין שוהים בהם כל היום. החישוב הסטטי הממוצע, על כל שעות היום, אינו נכון במקרה זה. ככל ששינויי מזג האוויר בחוץ והאיחור בזרימת החום גדולים יותר, תהיה התוצאה המתקבלת ע"י חישובים סטטיים רחוקה יותר מהערכה נכונה המבוססת על חישובים דינמיים שעתיים.

בבניי מגורים, הבנויים מחומרי בניה כבדים, ניתן בקיץ לעכב את מעבר החום עד שעות הערב הקרירות, ואז ע"י פתיחת חלונות ויצירת רוח פרצים להפטר מהחום שנאגר במסה התרמית של הבנין. יש לדאוג לפתחים בכיוון הרוח השלטת בשעות בהן מעתינים באיורור זה. יש צורך כמו כן להקפיד גם על תכנון פתחים בכיוון הנגדי לכיוון הרוח השלטת. (פרטים בנושא איורור ראה שביב, 1989). בחורף לעומת זאת, ניתן לאגור במסה התרמית של הבנין אנרגיה סולרית החדרת לבנין בצורת קרינת שמש ישירה. בשעות הקרירות של הערב והלילה יפלט חלק מאנרגיה זו שנאגרה לתוך הבנין. בצורה זו ניתן לחסוך באנרגיה לצרכי חימום. תופעות אלו ניתן לחשב רק באמצעות מודל דינמי.

נתוני האקלים

חישוב דינמי יכול להעשות רק כאשר ידועים הנתונים האקלימיים בעונות השונות ובכל שעה של שעות היום. בחישובים שידווח עליהם בהמשך, הוכנסו נתונים אקלימיים מדוייקים לפי מדידות, שנערכו בארץ במספר שנים (Ashbel 1972, Manes et al. 1970). נתוני האקלים הם: קרינה קצרת גל על מישור אופקי (ישירה ומפוזרת) קרינה ארוכת גל (מהשמים ומהקרקע), טמפרטורה, לחות יחסית ומהירות הרוח (ראה תמונה 6). הנתונים עצמם נקבעו עבור כל שעה בכל חודש של השנה. נבחרו נתונים שעותיים ממוצעים למספר ימים לכל חודש והממוצע נקבע לפי מספר שנים כדי למנוע תנאים אקלימיים מקריים. הנתונים האקלימיים הרלבנטיים נשמרים בקובץ ואין צורך להזינם מחדש לפני כל בדיקה.

נתוני המבנה לבדיקה

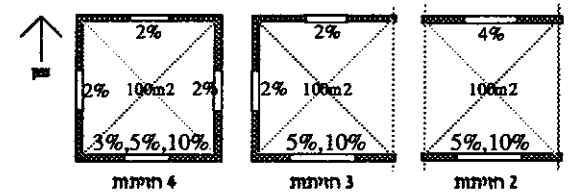
המבנה לבדיקה הוא מבנה סכמטי של דירה טיפוסית ששטח רצפתה 100 מ"ר וגובה תקרתה 2.50 מ'. על בסיס זה נבדקו 3 אלטרנטיבות של דירה האופייניות למבני מגורים משותפים בישראל (ראה תמונה 7) כלהלן: דירות בעלות 4 חזיתות (בית פרטי), 3 חזיתות (דירה גמלונית בבית משותף), ו- 2 חזיתות (דירה פנימית בבית משותף). לכל אחד משלושת הטיפוסים נבדקו שלוש אפשרויות לפי מיקום הדירה בחתך הבנין: קומת גג, אמצעית וקומה על עמודים (ראה תמונה 8). הקירות חולקו בתחילה ביחס 1:1 בין אורך לרוחב, כלומר פרופורציות ריבועיות. שטח מחיצות הפנים נקבע לפי הממוצע שהתקבל לכל טיפוס דירה בבנינים אב-טיפוסיים ששימשו כבסיס לעבודה (ראה נספח א').

שטח החלונות במבנה הבסיסי נקבע לפי המלצות משרד הבינוי והשיכון לפיהן:

- מינימום שטח חלונות בחדרים = 8% משטח הרצפה.
- מינימום שטח חלונות בחדר מגורים = 2.3 מ"ר (בהנחה ששטח חדר מגורים טיפוסי הוא בין 20-25 מ"ר, יהיה סה"כ חלונות בחדר מגורים = 10% משטח הרצפה).
- לכל החלונות תריסי גלילה המספקים תוספת בידוד בימים ללא שמש ובלילות החורף הקרים והצללה דינמית ובידוד בימי הקיץ החמים. מקדמי ההצללה בקיץ הם 10% לקרינה ישירה ו-50% לקרינה מפוזרת (ראה נספח ב'). כמו כן הנחנו שכאשר מגדילים את שטח החלונות מעבר לגדלים אלה, מוסיפים להם וילונות על מנת להקטין את השינוי בטמפרטורת הקרינה הממוצעת בחדר.

MONTH=	1	DAY=	9	DIR-H	DIF-H	LW-A	LW-G	TEMP	R.H.	WIND.V
HOURLY					CAL/CM2	HOURLY		°C	%	M/SEC
1	0.	0.	20.	23.	7.5	4.	3.			
2	0.	0.	20.	23.	7.4	75.	3.			
3	0.	0.	20.	23.	7.3	75.	3.			
4	0.	0.	20.	23.	7.1	75.	3.			
5	0.	0.	20.	23.	7.0	75.	3.			
6	0.	1.	21.	23.	6.9	76.	3.			
7	0.	2.	21.	23.	7.0	76.	3.			
8	6.	7.	20.	24.	7.4	75.	3.			
9	17.	12.	21.	27.	8.4	71.	3.			
10	26.	15.	23.	31.	9.4	69.	3.			
11	32.	18.	26.	33.	10.1	66.	4.			
12	32.	19.	29.	35.	10.7	65.	4.			
13	29.	18.	30.	36.	11.2	63.	4.			
14	24.	15.	29.	35.	11.1	62.	4.			
15	15.	12.	27.	32.	10.8	64.	4.			
16	5.	7.	26.	29.	10.2	68.	3.			
17	0.	2.	24.	28.	9.3	71.	3.			
18	0.	0.	23.	26.	8.8	74.	2.			
19	0.	0.	21.	24.	8.4	74.	2.			
20	0.	0.	21.	24.	8.2	74.	2.			
21	0.	0.	21.	24.	8.1	74.	2.			
22	0.	0.	21.	24.	7.9	74.	3.			
23	0.	0.	21.	24.	7.7	74.	3.			
24	0.	0.	21.	24.	7.8	73.	2.			

תמונה 6. דוגמא לנתוני אקלים שעותיים עבור מודל סימולציה ENERGY



תמונה 7. אלטרנטיבות דירה בתכנית



תמונה 8. אלטרנטיבות דירה בחתך

כאמצעי-גיבוי מכניים נקבעו: -בירושלים: לחורף - תנור בהספק 10000 וואט בפיקוח טרמוסטט לקיץ - מזגן בהספק 2000 וואט בפיקוח טרמוסטט.

-בתל-אביב: לחורף - תנור בהספק 6000 וואט בפיקוח טרמוסטט לקיץ - מזגן בהספק 6000 וואט בפיקוח טרמוסטט.

הבדיקות התבצעו בכל המקרים לשני סוגי בנין לפי טיב הבידוד (ראה נספח ג):

- בנין סטנדרטי (Standard building) - בידוד לפי סטנדרטים של משרד הבינוי והשיכון.
- בנין משופר (Improved building) - בידוד טוב יותר בהתאם למומלץ בעבודה זו.

טיב הבידוד נקבע בעיקר בהתאם למוליכות קירות החוץ ולא לפי פירוט החומרים הספציפיים. יש לראות לכן בפרטים המוצגים בנספח ג' כמיצגים אפשרות אחת מיני רבות.

כמו כן הנחנו שכל הקירות צבועים בכהות בינונית והגג צבוע בסיד לבן.

דוגמא לקבצי נתוני המבנים הבסיסיים (הסטנדרטי והמשופר עבור ירושלים ות"א) ניתן לראות בנספח ב'.

### תוצאות ריצת מודל הסימולציה

לכל בדיקה של חלופת תכנון מתקבלות תוצאות ריצת מודל הסימולציה בשני קבצים:

#### א. קובץ REPORT.

קובץ זה מכיל אינפורמציה שעתית מלאה על ההתנהגות התרמית של המבנה בחורף ובקיץ (ראה נספח ד'). כאשר מופעלים אמצעים מכניים, מחושבת כמות האנרגיה הדרושה לשמירת טמפרטורת פנים מוכתבת מראש. בקיץ מתבצעות גם בדיקות לחיזוי התנהגות הבנין ללא מיזוג אויר, אלא עם איורור לילה טבעי לקירור המסה התרמית של הבנין (4 החלפות אויר בשעה) ועם איורור לילה מאולץ המושג ע"י מפרח (20 החלפות אויר בשעה).

ב. קובץ RESULTS.

קובץ זה מכיל רק את האינפורמציה החשובה ביותר שהתקבלה עבור חלופת התכנון שנבדקה (ראה נספח ה').  
אינפורמציה זו משמשת בסיס להשוואת חלופות התכנון השונות המרוכזות בשני גרפים (ראה תמונות 9 ו-10):

(1) גרף צריכת האנרגיה

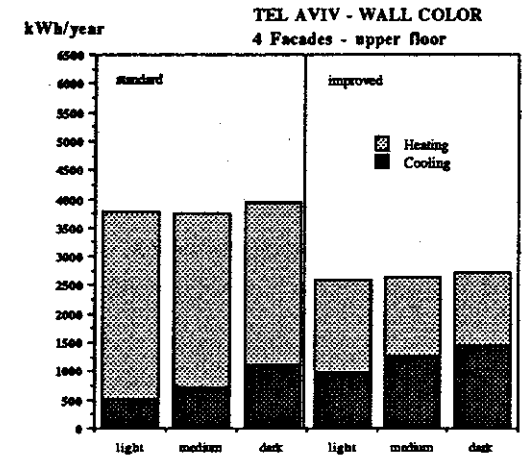
גרפים אלה מורכבים מהחלקים: חלק אחד מתאר מבנה סטנדרטי (Standard)  
חלק שני מתאר מבנה משופר (Improved)

בכל חלק ישנן עמודות של סה"כ צריכת אנרגיה שנתית כללית, כשכל עמודה מתארת אלטרנטיבה נבדקת  
המורכבת מ: בירושלים - אנרגיה לחימום (Heating)  
בתל-אביב - אנרגיה לחימום (חורף) ולקירור (קיץ) (Heating+Cooling)

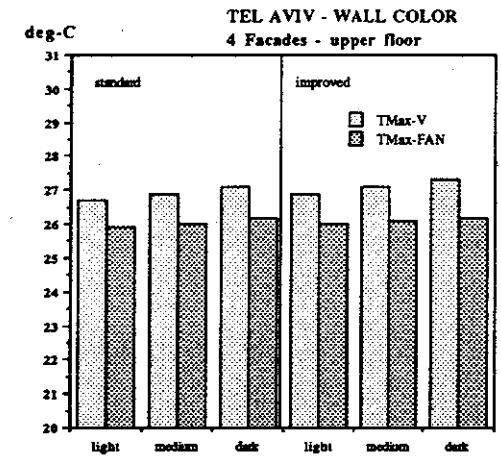
(2) גרף חיזוי טמפרטורות פנים הבנין בחודש אוגוסט

גרפים אלה מתארים את טמפרטורות הפנים המקסימליות שהתקבלו ללא מיזוג אויר, אלא רק עם איורור  
לילה טבעי או גם עם מפוח (מאוורר). בחלק מריצות הסימולציה גרפים אלה כוללים בנוסף את תיאור  
טמפרטורת הפנים ללא איורור לילה ומיזוג אויר. סימון טמפרטורות הפנים התבצע בגרפים בהתאם לפירוט:

- א) טמפרטורת מקסימום ללא איורור לילה (TMax-NV) (0.75 החלפות אויר בשעה ביום ובלילה)
  - ב) טמפרטורת מקסימום עם איורור לילה (TMax-V) (0.75 החלפות אויר בשעה ביום ו-4 בלילה)
  - ג) טמפרטורת מקסימום עם מאוורר לילה (TMax-FAN) (0.75 החלפות אויר בשעה ביום ו-20 בלילה)
- איורור לילה ומאוורר לילה פועלים כשהטמפרטורה בחוץ נמוכה מזו שבתוך הבנין.



תמונה 9. גרף צריכת האנרגיה



תמונה 10. גרף חיזוי טמפרטורות פנים הבנין בחודש אוגוסט



## רשימת הפרמטרים לבדיקה

בדיקת השפעת פרמטרי התכנון השונים על ביצועיו האקלימיים של הבנין כללה את הנושאים הבאים:

א. פרמטרים שאינם גיאומטריים:

בידוד קירות המבנה

בידוד גג המבנה

בידוד רצפת קומת העמודים

חדירת אויר (אינפילטרציה)

איורור המבנה בלילות הקיץ

צבע הקירות

צבע הגג

ב. פרמטרים גיאומטריים:

הצללת חלונות

הצללת קירות

הצללת הגג

הגדלת שטח קירות הבנין

הגדלת שטח החלונות בכיוונים השונים

גודל חלון דרומי

פרופורצית המבנה

פנות המבנה (אורינטציה)

פנות המבנה הסולרי

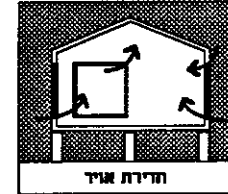
עבודה זו התרכזה בעיקר בהשפעת הפרמטרים הגיאומטריים על התנהגות הבנין מבחינה תרמית. למרות זאת נראה שחלק מפרמטרי התכנון המופיעים ברשימה זו אינם נוגעים ישירות לגיאומטריית הבנין. פרמטרים אלה נבדקו לשם קביעת ערכם המומלץ עבור ריצות הסימולציה, וכן על מנת לבדוק האם פרמטרי התכנון הגיאומטריים יכולים להקבע ללא התייחסות לתכונות התרמו-פיסיקליות של הבנין. יתכן וההמלצות לגבי הגיאומטריה המועדפת הן פונקציה של החלטות נוספות, כמו למשל צבע ומקדם המוליכות של מעטפת הבנין, או מידת הצללתו ואיורורו של הבנין בלילות הקיץ. נציין שמסקנות חלק זה היו שלרמת בידוד הבנין השפעה רבה על ההחלטות לגבי גיאומטריית המבנה. לכן, מרבית הבדיקות נעשו בהמשך עבור שתי רמות של בידוד, סטנדרטי ומשופר. נציין, שעבור כל פרמטר תכנוני נבדקו כ- 100 עד 400 חלופות תכנון שונות, בהתאם למידת חשיבותו ותלותו של הפרמטר הנבדק בערכי הפרמטרים האחרים. בצורה זו ניתן היה לקבוע את מידת ההשפעה ההדדית של פרמטרי התכנון השונים.

## תיאור הפרמטר הנבדק

האנליזה, המסקנות וההמלצות עבור כל פרמטר תכנוני מוצגים במתכונת קבועה. התיאור כולל את הנושאים הבאים:

## שם הפרמטר הנבדק

תיאור קצר של הבדיקה.  
בשוליים מופיעה "דמות" הפרמטר הנבדק.



## סיכום התוצאות

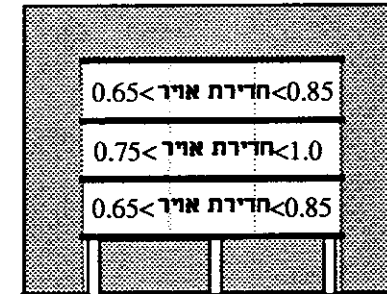
סיכום של הממצאים העיקריים והחשובים. לקורא המתעניין בפירוט הממצאים מובאות התוצאות כשהן מוצגות בגרפים המאפשרים הבנה טובה יותר של התופעות. נציין שבפועל הורצו מקרים וחלופות תכנון רבות יותר מאלה שבחרנו להציג בגרפים. אך על מנת לא להכביד בגודש של אינפורמציה, הצגנו רק את התוצאות החשובות ביותר. כך למשל הורצו כל קומות הקרקע והדירות הגמלוניות ועל כן ישנה בסעיף זה התייחסות לתוצאות אלו. הקורא המעוניין יכול לראות חלק מגרפים אלה בדו"ח החלקי (שביב וקפלוטו, 1990).

## המלצות

\* משפט קצר הכולל את ההמלצה האיכותית ו / או הכמותית.  
בשוליים מופיע תיאור גרפי של ההמלצה הכמותית בהתייחס למיקום הדירה בבנין.

## השינוי בצריכת אנרגיה (קווי"ש לעונה)

משופר (4u - 2m)	סטנדרטי (4u - 2m)	טווח אפשרי	תחום השתנות הגיוני
גג	4 דירה 4 חזיתות בקומת גג	טווח מומלץ	תחום השתנות מומלץ
אמצעית	2 - דירה 2 חזיתות בקומה אמצעית		



## גרפים של הפרמטר הנבדק

הצגת חלק מהתוצאות החשובות בגרפים מסכמים. הסבר הגרפים ראה בעמוד א-10.

## אזורי האקלים לבדיקה

אזורי האקלים בארץ, בהתאם לתקן 1045 לבידוד תרמי, הם ארבעה (ראה תמונה 11). בדיקת השפעת פרמטרי התכנון השונים על ביצועיו האקלימיים של הבנין מתבצעת בעבודה זו עבור אזור אקלים ההר שהוא אקלים ממוזג-קריר, המכונה בתקן אזור ג' ועבור אזור אקלים שפלת החוף שהוא אקלים חם-לח. ומכונה בתקן אזור א'. תיאור מפורט של אזורי אקלים אלה ניתן למצוא בעמוד הראשון של שני הפרקים הבאים.

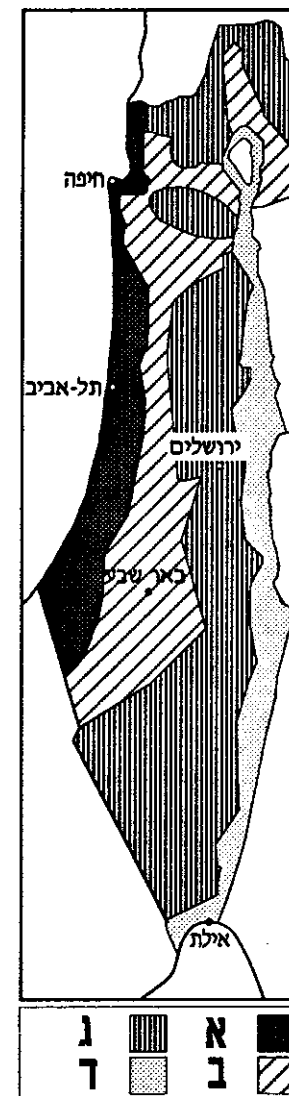
## נושאים שלא נבדקו

עבודה זו בוצעה במסגרת מחקר שהוזמן ע"י מנהל התכנון וההנדסה, משרד הבינוי והשיכון, חוזה מס' 022-474, בנושא: "השפעת פרמטרים גיאומטריים על צריכת האנרגיה ותנאי הנוחות התרמית בבנייני מגורים משותפים". במסגרת חוזה זה הוגבל המחקר לבדיקת בנייני מגורים משותפים על עמודים, בהתאם לטיפוסים הנבנים ע"י משרד הבינוי והשיכון. כמו כן הוגבל המחקר לבניה כבדה האופיינית למבנים אלה ולאזורי האקלים א': שפלת החוף ו-ג': ההר.

ההמלצות בעבודה זו מתבססות על שיקולים אנרגטיים ללא התייחסות לאספקטים כלכליים. שיקולים כלכליים תלויים בעלויות של חומרי בניה, ציפיות לעליה במחירי הדלק, שיעור הריבית במשק ובשיקולים נוספים שכולם תלויים בתנאי השעה (דבוסקין ושות', 1989). כדי שההמלצות במסמך זה תהינה בעלות תוקף כללי, נבדקה רגישות הפתרון מבחינה תרמית לפרמטרים השונים, וההמלצות התבססו על שיקולים אנרגטיים בלבד. העבודה שמה את הדגש על קבלת טווח הפתרונות הטובים מהבחינה האנרגטית ובמידת האפשר מציגה את מרחב כל הפתרונות האפשריים. מאחר וטווח זה גדול, ביכולת המתכנן להפעיל שיקולים נוספים בעת בחירת הפתרון הרצוי. שיקולים אלו יכולים להיות אסטטיים, פונקציונליים, קונסטרוקטיביים וכן שיקולים כלכליים המתאימים למציאות רגעית.

נושאים שלא נבדקו במסגרת עבודה זו אולם יש בדעת המחברים לבדקם בעתיד ולהציגם בפרסומים נוספים הם:

1. פיתוח הנחיות תכנון למבני מגורים צמודי קרקע.
2. פיתוח הנחיות תכנון למבני מגורים קלים על עמודים וצמודי קרקע.
3. הרחבת הבדיקות והנחיות התכנון למבני מגורים לכל אזורי אקלים הארץ.



תמונה 11. מפת אזורי האקלים בארץ

# פרק ב: אזור אקלים ירושלים: אנליזה פרמטרית, המלצות וקיום מנחים

## הקדמה

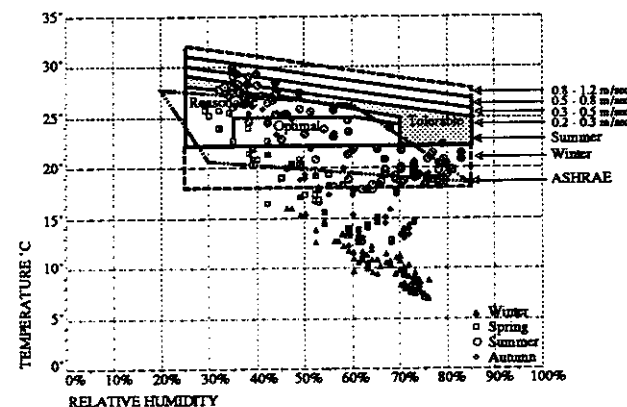
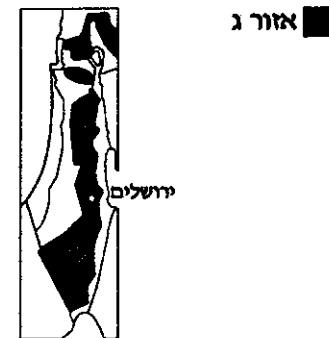
בדיקת השפעת פרמטרי התכנון השונים על ביצועי האקלימיים של הבנין מתבצעת בפרק זה עבור **אזור אקלים ההר שהוא אקלים ממוזג-קריד**. אזור זה מכונה בתקן 1045 לבידוד תרמי אזור ג' וכולל את הרי הגולן, הגליל, הנגב, יהודה ושומרון. למעשה כל מקום שגובהו מעל ל-600 מטר מעל פני הים נכלל באזור ההר. לאזור זה משתייכים הישובים הבאים: ברעם, הר חזון, הר שגב, הר תפן, יודפת, ירושלים, חלוצה, חצור הגלילית, כרמיאל, מנרה, מעלה גלבוע, מרום-גולן, נוה-אטיב, נוה-יעקב, נצרת עילית, עין-זיון, וצפת. **אזור ההר מאופיין ע"י אקלים קר בחורף וממוזג בקיץ ומיוצג בעבודה זו ע"י נתוני אקלים ירושלים.**

## אקלים ירושלים טמפרטורה ולחות

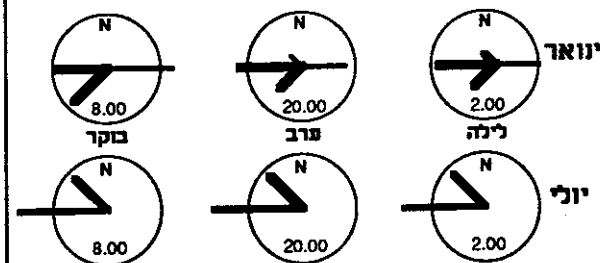
בתמונה 1 מוצגת מפה ביו-אקלימית לירושלים, המבוססת על תנאי נוחות תרמית כשם שמוגדרים ע"י שפירא (1989) וע"י ה-ASHRAE (1989). כל נקודה במפה זו מציגת את תנאי הנוחות בחדש ושעה נתונים. התנאים נקבעים לפי הטמפרטורה והלחות היחסית לשעה זו. המפה מראה כי החורף קר ולח ויש צורך בחימום ממושך של הבנין. הקיץ לעומת זאת נוח. כאשר הטמפרטורה היא מעל 25 מ"צ הלחות נמוכה מ-50%. **נציין שבתנאי לחות אלה ניתן להרגיש בנוח בטמפרטורה של 27-28 מ"צ.** המפה מציגה, כמו כן, כי קיימת אפשרות בקיץ להגיע לתנאי נוחות תרמית ע"י איורור המתבצע במשך היום, או לחילופין ע"י הורדת הטמפרטורה המקסימלית ביום. זאת ניתן להשיג ע"י קירור המסה התרמית של הבנין בערב ובלילה כאשר הטמפרטורה בחוץ נמוכה מזו שבתוך הבנין. במקרה האחרון יש צורך באיורור הבנין בשעות הערב והלילה.

## משטר הרוחות

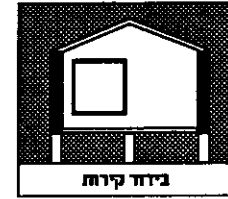
משטר הרוחות באזור ההר מושפע בשעות היום של עונת הקיץ מהבריזה הים תיכונית ואפיק המפרץ הפרסי. כתוצאה, הרוח השלטת בקיץ היא ממערב עד צפון מערב. בלילה, לא מתפתחת בריזה יבשתית וכיוון הרוח דומה לזה שביום (ראה תמונה 2). בחורף הרוח היא בעיקר ממערב עד דרום מערב. כמו כן שכיחות הרוח ממזרח היא גבוהה אך מהירותה נמוכה (ביתן ורובין, 1991).



תמונה 1. מפה ביו-אקלימית



תמונה 2. סכימת משטר הרוחות בחורף ובקיץ



### בידוד קירות המבנה

לקביעת השפעת בידוד הקירות על ביצועיו התרמיים של הבנין נבדק המבנה הבסיסי הבנוי מקיר המבודד בצורה סטנדרטית ומקיר ירושלמי הפך. במקרה האחרון, המסה התרמית פונה לחדר כשהיא מבודדת כלפי חוץ בפוליאוריטן מוקצף (נספח ג). שכבת הפוליאוריטן המוקצף נבדקה בעובי של 5-1 ס"מ. הגג בשני המקרים בנוי עם בידוד משופר.

#### סיכום התוצאות

1. בדירות הגג והעמודים קיים חסכון משמעותי בצריכת האנרגיה השנתית, כאשר משפרים את הבידוד מעבר לזה המומלץ ע"י משרד הבינוי והשיכון. חסכון זה ניכר במיוחד עד לעובי של 4 ס"מ בידוד. לכן, בידוד בעובי זה נקבע עבור המבנה המשופר שנבדק בהמשך. רצוי  $U < 0.65$  ווט/מ"ר/מ"צ.
2. בדירות האמצעיות קיים חסכון משמעותי בצריכת האנרגיה השנתית של הבנין, כאשר משפרים את הבידוד עד לעובי של 2 ס"מ הנותן רמת בידוד דומה לזו המומלצת ע"י משרד הבינוי והשיכון. כלומר בדירות אלו אין צורך לבדוד את קירות החוץ מעבר לבידוד הסטנדרטי. רצוי  $U < 1.0$  ווט/מ"ר/מ"צ.
3. שיפור בידוד המבנה מרע בקיץ את התנהגות הבנין שאינו מאורר היטב וגורם לקבלת טמפרטורת פנים שאינה בתחום הנוחות. יש לכן להקפיד בבנינים שמבודדים היטב על איורור לילה טוב בקיץ.
4. כאשר המסה התרמית פונה לחדר ומבודדת כלפי חוץ, יש צורך ברמת בידוד נמוכה במקצת להשגת אותם תנאי נוחות מאשר במקרה ההפוך.
5. ללא מיזוג אוויר, אולם עם איורור לילה טוב, מתקבלת בקיץ טמפרטורה נמוכה מ-25 מ"צ, שהיא טמפרטורה בתחום הנוחות. לכן, ההמלצות לגבי הבידוד המועדף יקבעו בהתאם לדרישות צריכת האנרגיה לחימום.

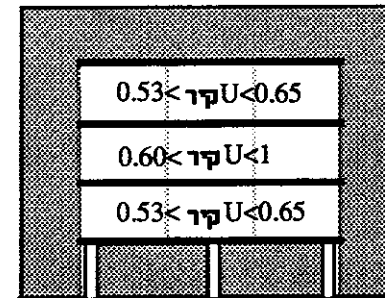
#### המלצות

- \* בדירות הגג והעמודים יש לבדוד את קירות החוץ היטב. רצוי  $0.53 < U < 0.65$  ווט/מ"ר/מ"צ.
- \* בדירות הפנימיות אין צורך לבדוד את קירות החוץ מעבר לרמת בידוד סטנדרטי. רצוי  $0.6 < U < 1.0$  ווט/מ"ר/מ"צ.
- \* ככל שהבנין מבודד טוב יותר ובעל שטח מעטפת קטן יותר יש להקפיד על איורורו בלילות הקיץ.
- \* עדיף במקצת כאשר המסה התרמית פונה לחדר ומבודדת כלפי חוץ.

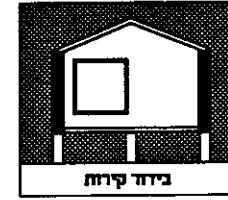
#### השינוי בצריכת אנרגיה (קווי"ש לעונה)

גג משופר (4u - 2m)  
550 - 1700  
300  
250

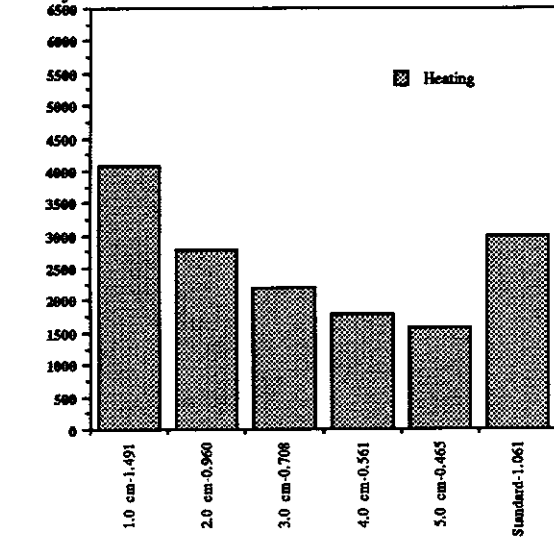
טווח אפשרי	$0.5 < U < 1.2$ ווט/מ"ר/מ"צ
טווח מומלץ (4u)	$0.53 < U < 0.65$ ווט/מ"ר/מ"צ
טווח מומלץ (2m)	$0.6 < U < 1.0$ ווט/מ"ר/מ"צ



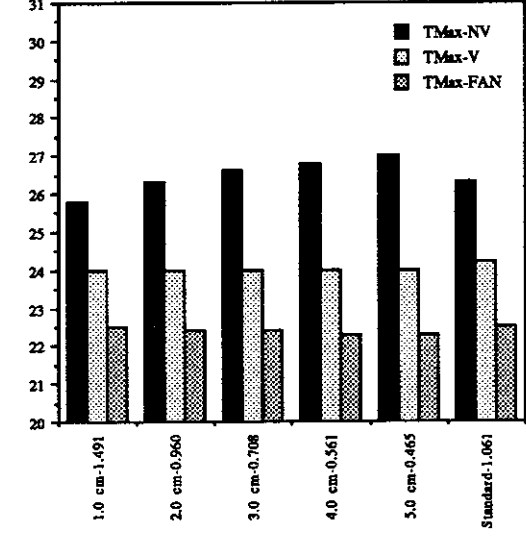
בידוד קירות המבנה



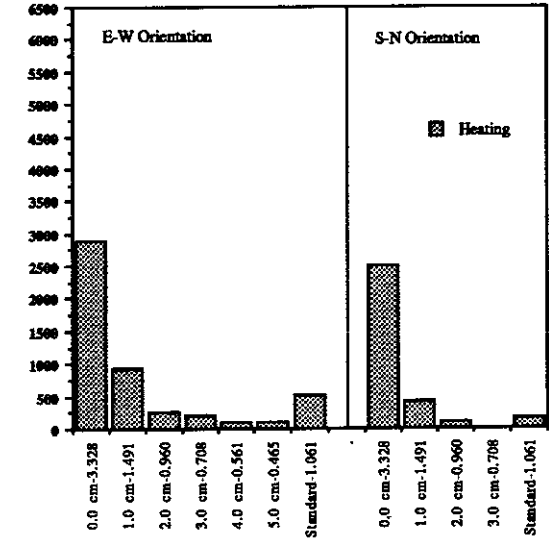
JERUSALEM - WALL INSULATION  
4 facades - upper floor



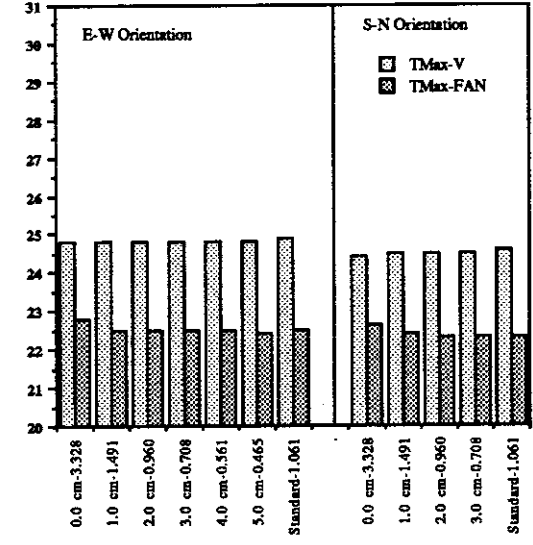
JERUSALEM - WALL INSULATION  
4 facades - upper floor



JERUSALEM - WALL INSULATION  
2 Facades - middle floor

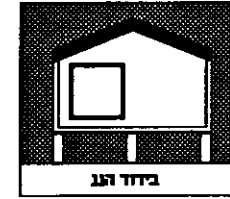


JERUSALEM - WALL INSULATION  
2 Facades - middle floor



## בידוד גג המבנה

לקביעת השפעת בידוד הגג על ביצועיו התרמיים של הבנין נבדק המבנה הבסיסי הבנוי מקיר משופר, כאשר הגג מבודד בצורה סטנדרטית ובצורה משופרת. הגג המשופר דומה לסטנדרטי אלא שהבידוד הוא פוליאוריטן מוקצף (נספח ג). עובי שכבת הפוליאוריטן המוקצף נבדק בתחום של 2-6 ס"מ.



## סיכום התוצאות

- קיים חסכון רב מאד בצריכת האנרגיה השנתית של הבנין, כאשר משפרים את בידוד הגג מעבר למומלץ ע"י משרד הבינוי והשיכון. חסכון זה משמעותי עד לעובי של 5 ס"מ בידוד. לכן, עובי זה נקבע כמבנה המשופר שנבדק בהמשך ( $U=0.47$  ווט/מ"ר/מ"צ).
- שיפור בידוד הגג מרע את התנהגות הבנין שאינו מאוורר היטב בלילות הקיץ וגורם לקבלת טמפרטורת פנים שאינה בתחום הנוחות. יש לכן להקפיד בקיץ על איורור לילה טוב.
- ללא מיזוג אויר, אולם עם איורור לילה טוב, מתקבלת בקיץ טמפרטורה נמוכה מ-25 מ"צ, שהיא טמפרטורה בתחום הנוחות. לכן ההמלצות לגבי הבידוד המועדף יקבעו בהתאם לדרישות צריכת האנרגיה לחימום.

## המלצות

- \* הגג חייב להיות מבודד היטב.
- \* רצוי  $0.43 < U < 0.53$  ווט/מ"ר/מ"צ.
- \* ככל שהבידוד טוב יותר יש להקפיד על איורור הבנין בלילות הקיץ.

השינוי בצריכת אנרגיה (קווי"ש לעונה)

קיר משופר (4u)

2300

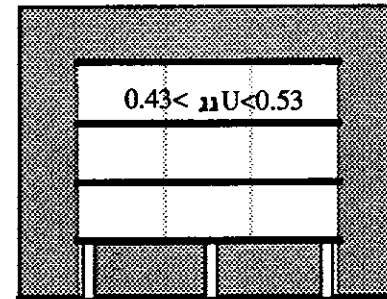
300

$0.4 < U < 1.1$  ווט/מ"ר/מ"צ

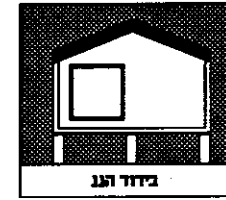
טווח אפשרי

$0.43 < U < 0.53$  ווט/מ"ר/מ"צ

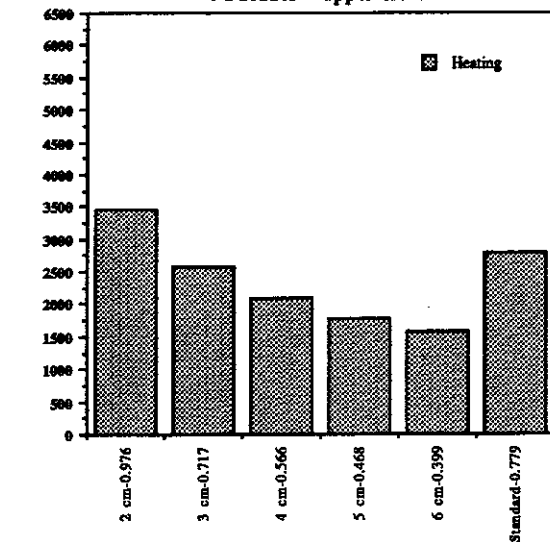
טווח מומלץ



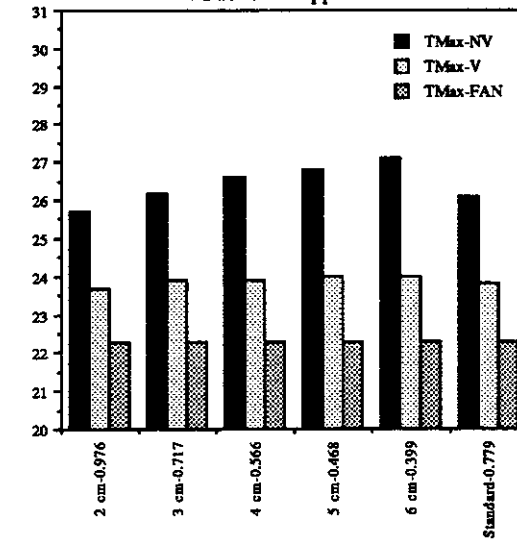
בידוד גג המבנה



JERUSALEM - ROOF INSULATION  
4 Facades - upper floor



JERUSALEM - ROOF INSULATION  
4 Facades - upper floor





## בידוד רצפת קומת העמודים

לקביעת השפעת בידוד רצפת קומת העמודים על ביצועיו התרמיים של הבנין נבדק המבנה הבסיסי הבנוי מקיר משופר, כאשר הרצפה מבודדת בצורה סטנדרטית ובצורה משופרת. ברצפה המשופרת הבידוד הנבדק הוא פוליאוריטן מוקצף (נספח ג) בעובי המשתנה בתחום של 5-1 ס"מ.



## סיכום התוצאות

- קיים חסכון רב מאד בצריכת האנרגיה השנתית של הבנין, כאשר משפרים את בידוד הרצפה מעבר למומלץ ע"י משרד הבינוי השיכון. חסכון זה משמעותי ביותר עד לעובי של 4 ס"מ בידוד. עובי זה נקבע כמבנה המשופר שנבדק בהמשך ( $U = 0.56$  ווט/מ"ר/מ"צ).
- שיפור בידוד רצפת הבנין אינו משפיע על התנהגות הבנין בקיץ. ללא מיוזג אויר, אולם עם איורור לילה טוב, מתקבלת בקיץ בכל המקרים טמפרטורה נמוכה מ-25 מ"צ, שהיא טמפרטורה בתחום הנוחות. לכן ההמלצות לגבי הבידוד המועדף יקבעו בהתאם לדרישות צריכת האנרגיה לחימום.

## המלצות

- \* רצפת קומת העמודים חייבת להיות מבודדת היטב.
- \* רצוי  $0.55 < U < 0.65$  ווט/מ"ר/מ"צ.

## השינוי בצריכת אנרגיה (קוויש לעונה)

קיר משופר (4u)

2000

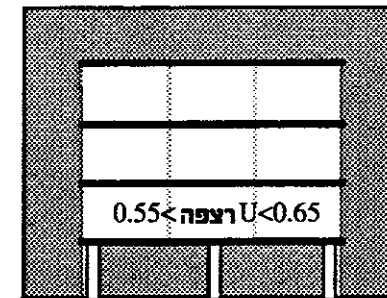
300

 $0.5 < U < 1.2$  ווט/מ"ר/מ"צ

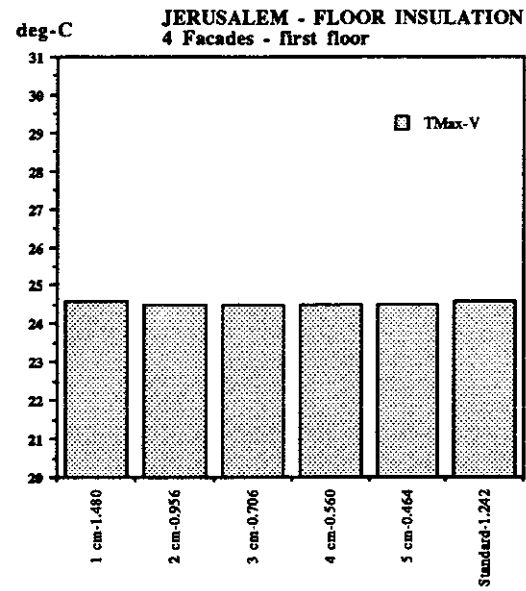
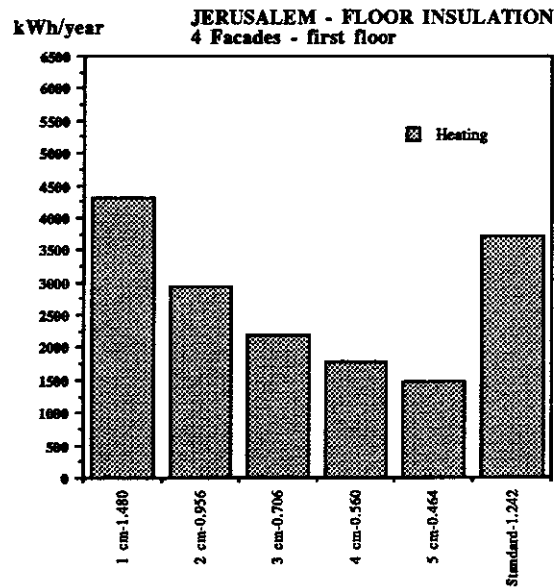
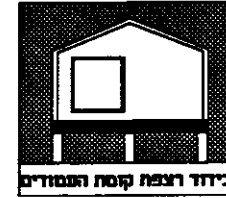
טווח אפשרי

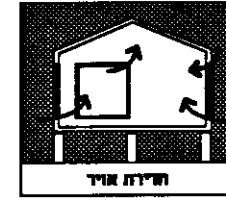
 $0.55 < U < 0.65$  ווט/מ"ר/מ"צ

טווח מומלץ



בידוד רצפת קומת העמודים





### חדירת אויר (אינפילטרציה)

לקביעת השפעת חדירת אויר דרך סדקים בבנין (אינפילטרציה) על ביצועי התרמיים נבדק מבנה הבנוי מקיר סטנדרטי ומקיר משופר, כאשר הגג בשני המקרים מבודד בצורה משופרת. מספר החלפות אויר לשעה ביום ובלילה שונה בתחום שבין 0.5 ל-4.0, כאשר מופעל מיזוג אויר. ללא מיזוג אויר, התבצע חיזוי התנהגות הבנין ביום קיץ בצורה דומה ואילו בלילה נקבעו מספר החלפות אויר לשעה ל-4 או 20, בהתאם לאיורור טבעי (TMax-V), או לאיורור בעזרת מפוח (TMax-FAN) בהתאמה. האיורור הטבעי והמפוח פועלים, כאשר הטמפרטורה בחוץ נמוכה מזו שבבנין ולא רק בלילה.

### סיכום התוצאות

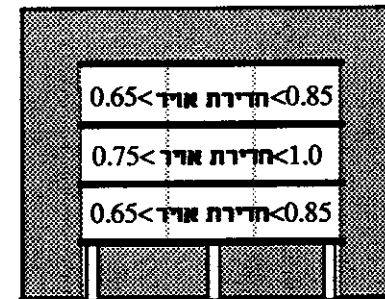
1. לחדירת אויר לבנין ישנה השפעה עצומה על צריכת האנרגיה שלו. יש על כן להקפיד על איטום טוב של הבנין.
2. בטווח של 0.5 עד 1.0 החלפות אויר בשעה, השינוי המקסימלי בצריכת האנרגיה של הבנין הוא כ- 600 קו"ש בבנין הסטנדרטי ובמשופר. ריצות הסימולציה התבצעו עבור 0.75 החלפות אויר בשעה.
3. מענין לציין שהמבנה הסטנדרטי והמבנה המשופר מושפעים בצורה דומה מהגדלת האינפילטרציה.
4. בדירות האמצעיות, בטווח של 0.5 עד 1.0 החלפות אויר בשעה, אין כמעט שינוי בצריכת האנרגיה של הבנין. נדגיש, שבטווח זה אין כמעט צורך לחמם את הדירה.
5. כאשר אין מפעילים מיזוג אויר עולה הטמפרטורה בדירות עם הגדלת האינפילטרציה.

### המלצות

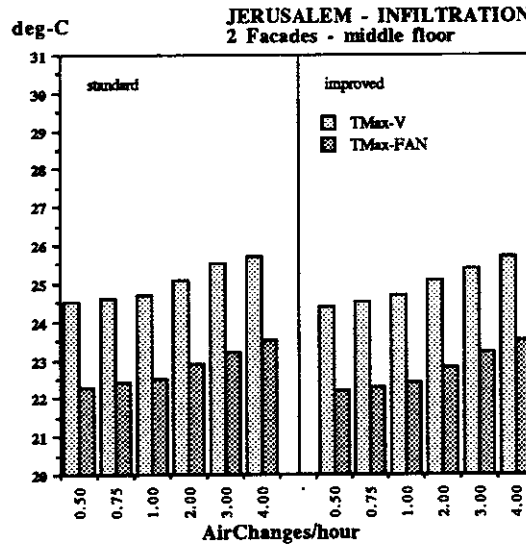
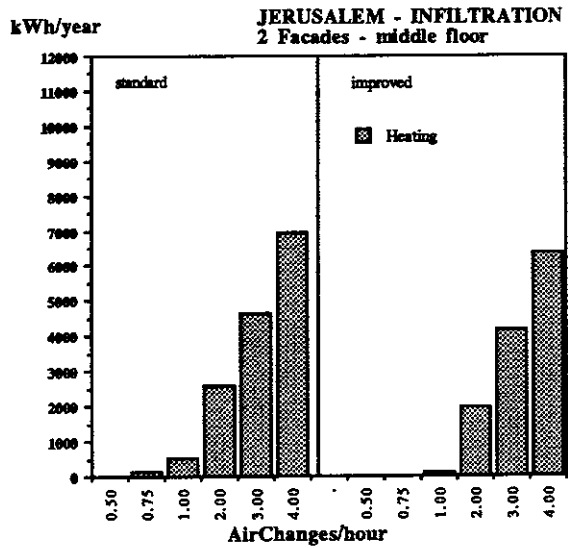
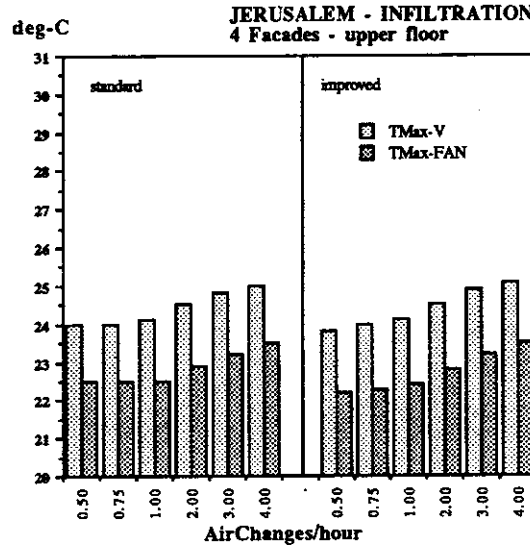
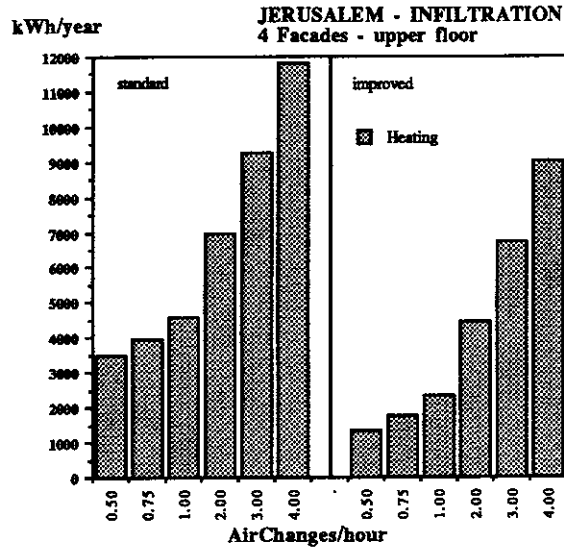
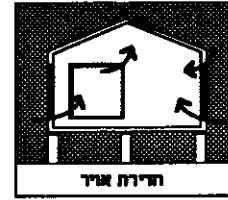
- \* יש להקפיד על איטום טוב של הבנין.
- \* רצוי  $0.85 <$  חדירת אויר  $< 0.65$  החלפות אויר/שעה בדירות בעלות שטח פנים גדול, כגון דירות גג ועמודים.
- \* אפשרי  $1.0 <$  חדירת אויר  $< 0.75$  החלפות אויר/שעה בדירות אמצעיות בעלות שטח פנים קטן.

### השינוי בצריכת אנרגיה (קו"ש לעונה)

משופר (2m - 4u)	סטנדרטי (2m - 4u)	טווח אפשרי	טווח מומלץ (4u)	טווח מומלץ (2m)
2000 - 3000	2500 - 3300	0.6 - 2.0 החלפות בשעה	0.65 - 0.85 החלפות בשעה	0.75 - 1.0 החלפות בשעה
450	450			
100	300			



חדירת אויר (אינפילטרציה)





## איורור המבנה בלילות הקיץ

לקביעת השפעת איורור הבנין בלילות הקיץ על הטמפרטורה המקסימלית המתקבלת בו, ללא הפעלת מיזוג אויר, נבדק מבנה הבנוי מקיר סטנדרטי ומקיר משופר, כאשר הגג בשני המקרים מבודד בצורה משופרת. מספר החלפות אויר לשעה ביום, בכל חלופת תכנון, נשאר קבוע ושווה ל-0.75. החלפות האויר בלילה שונו מ-0.75 עד 30 החלפות אויר בשעה. איורור לילה שכזה ניתן להשגה או ע"י איורור טבעי או בעזרת מפוח הצורך מעט מאד אנרגיה. האיורור הטבעי והמפוח פועלים כאשר הטמפרטורה בחוץ נמוכה מזו שבבנין ולא רק בלילה.

### סיכום התוצאות

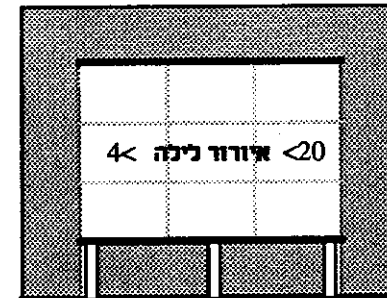
1. ע"י איורור לילה טבעי הנותן כ-4 החלפות אויר לשעה יש אפשרות להשיג טמפי פנים של כ-24 מ"צ בקומת הגג והעמודים וכ-24.5 מ"צ בקומות האמצעיות. ע"י שימוש במפוח המאפשר כ-20 החלפות אויר בשעה אפשר להוריד את טמפי הפנים מתחת ל-23 מ"צ. את האיורור הטבעי והמפוח יש להפעיל כאשר האויר בחוץ קר יותר מאשר בפנים.
2. בכל המקרים קיימת ירידת טמפרטורה משמעותית ביותר כאשר משפרים את איורור הלילה. ירידה זו גדולה יותר בקומות האמצעיות. ניתן להוריד את הטמפרטורה המקסימלית בדירת הגג בשיעור של 4 מ"צ במבנה הסטנדרטי ובשיעור של 5 מ"צ במבנה המשופר. בדירות האמצעיות ההשפעה היא עצומה. כאן ירידת הטמפרטורה המקסימלית היא בשיעור של 7 מ"צ במבנה הסטנדרטי ובשיעור של 8 מ"צ במבנה המשופר. רצוי לכן לאפשר איורור לילה טבעי טוב ובמידה וזה אינו אפשרי, יש להוסיף מפוח.
3. ירידת הטמפרטורה השולית קטנה מעבר ל-20 החלפות אויר בשעה. לכן אין טעם בהפעלת מפוח גדול הנותן איורור רב יותר. איורור זה נקבע כאיורור עם מפוח שנבדק במסגרת עבודה זו.
4. מענין לציין שהמבנה המשופר הלא מאוורר מגיע לטמפרטורה מקסימלית גבוהה מזו אליה מגיע הבנין הסטנדרטי הלא מאוורר. יש לכן צורך להקפיד על איורור טוב ביותר בבנין בעל הבידוד המשופר.
5. בכל בדיקות קומת הגג והעמודים התקבלה בקיץ, ללא מיזוג אויר, טמפרטורה נמוכה מ-28 מ"צ שהיא טמפרטורה בתחום הנוחות בירושלים, שבה רמת הלחות היחסית נמוכה. לא כן בקומה האמצעית. בקומה זו, ללא איורור לילה, עולה הטמפרטורה מעל ל-28 מ"צ ומתקבלת טמפרטורה שהיא מעבר לתחום הנוחות.

### המלצות

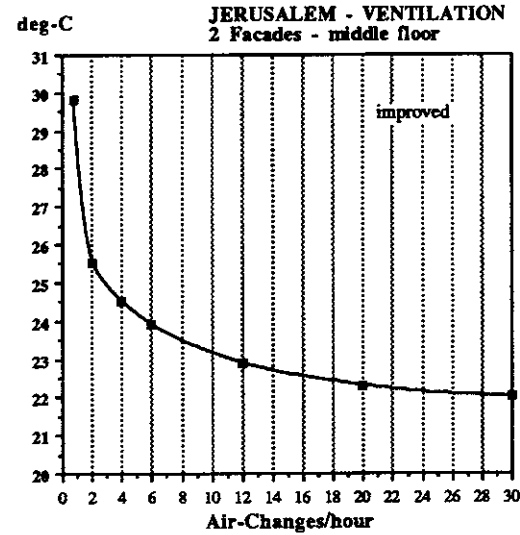
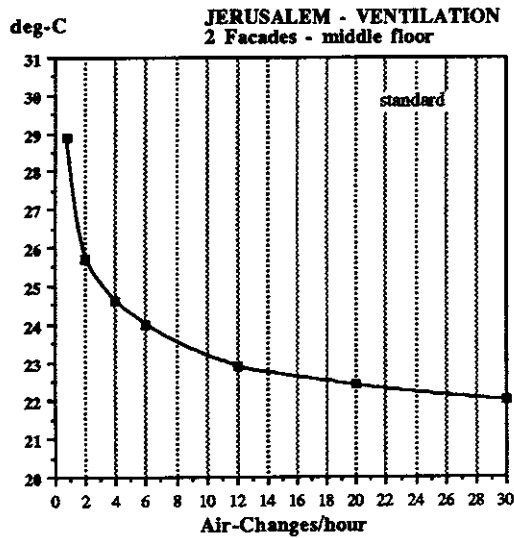
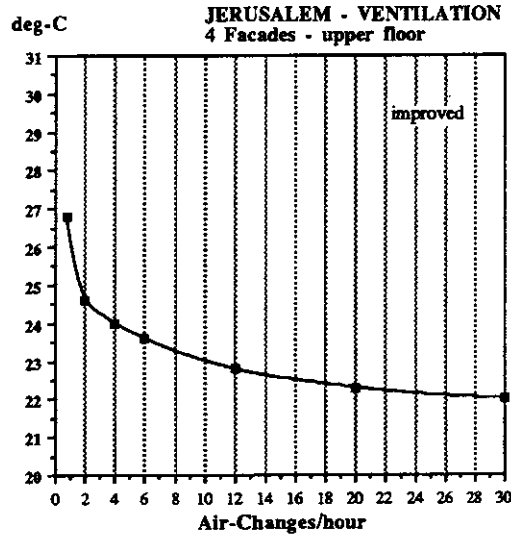
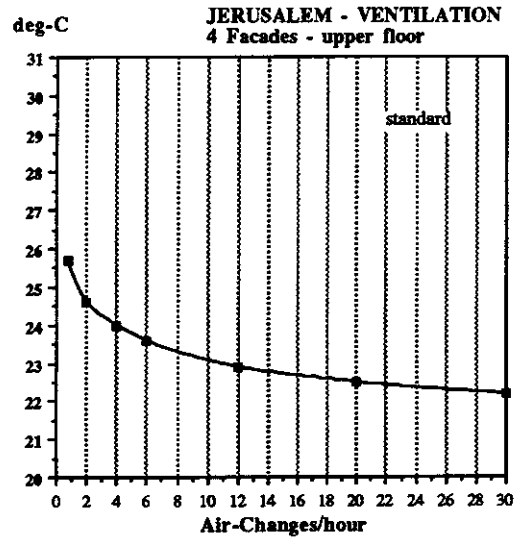
- \* אין צורך במיזוג אויר בירושלים, אלא יש לאפשר איורור לילה טבעי טוב. במידה ואיורור לילה טבעי אינו אפשרי מומלץ להוסיף מפוח המספק כ-20 החלפות אויר בשעה.
- \* ככל שהבנין מבודד טוב יותר או בעל שטח מעטפת קטן יותר יש צורך להקפיד על איורור לילה טוב יותר.

### השינוי בטמפרטורה המקסימלית בקיץ (מ"צ)

משופר (2m - 4u)	סטנדרטי (2m - 4u)	טווח אפשרי	טווח מומלץ
7.8 - 4.8	6.9 - 3.5	0.75 - 30.0 החלפות בשעה	4.0 - 20.0 החלפות בשעה
2.2 - 1.7	2.2 - 1.5		



איורור המבנה בלילות הקיץ





## צבע הקירות

לקביעת השפעת גוון קירות הבנין על ביצועי התרמיים נבדק המבנה הסטנדרטי והמשופר, כאשר קירותיו צבועים בגוון בהיר, כהה ובגווני ביניים (מקדם החזרה של 0.85, 0.65, ו-0.45 בהתאמה). גוון הגג בכל הבדיקות בהיר בעל מקדם החזרה גבוה של 0.85.

### סיכום התוצאות

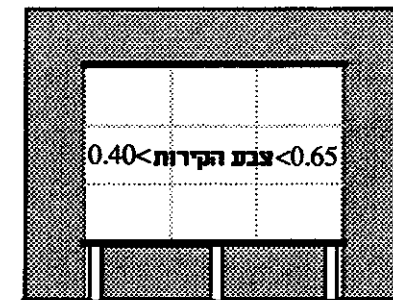
1. קיים חסכון בצריכת האנרגיה השנתית של המבנה הסטנדרטי בעל הקירות הכהים בהשוואה לקירות הלבנים. חסכון זה זניח ביותר הן במבנה המשופר והן בדירות שבקומה האמצעית.
2. בכל המקרים מתקבלת טמפרטורה נמוכה יותר בקיץ בבנין בעל הקירות הבהירים בהשוואה לקירות הכהים, אולם השינויים הם זניחים ביותר.
3. יש להדגיש שהשפעת גוון הקירות על הטמפרטורה המתקבלת בקיץ, ללא מיזוג אויר, זניחה מאד ביחס להשפעת איורוד הלילה.

### המלצות

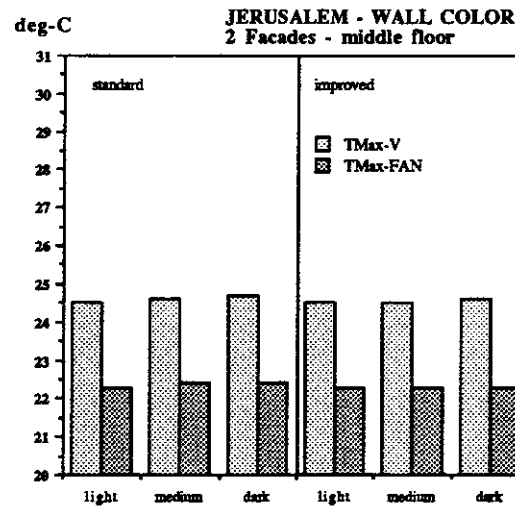
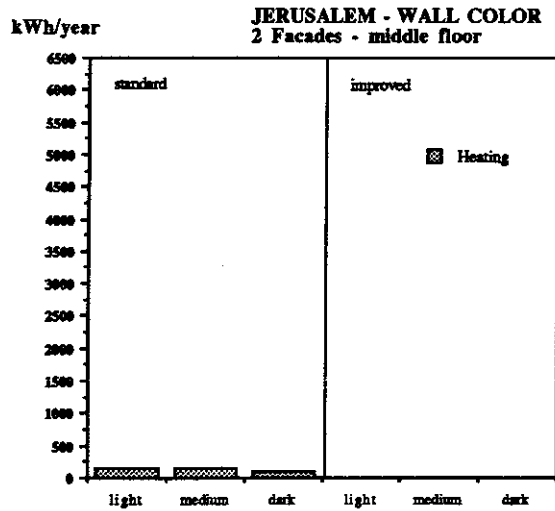
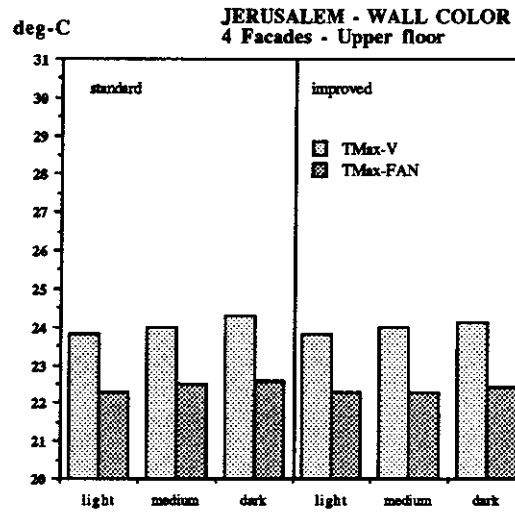
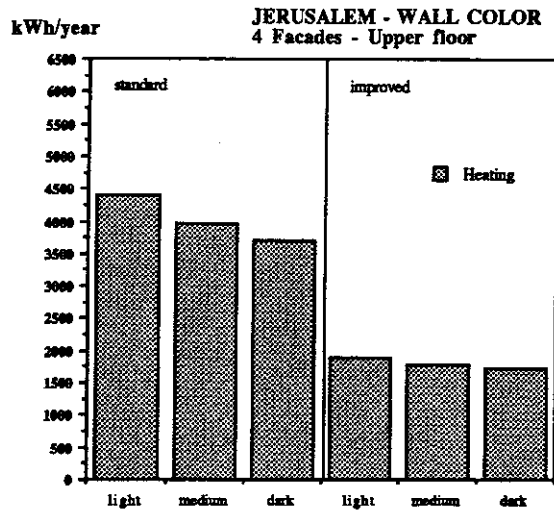
\* גוון הקירות הרצוי – חופשי, כאשר רק בקומת העמודים והגג של הבנין המבודד בצורה הסטנדרטית קיימת עדיפות לגוון כהה ( $0.65 < \text{מקדם החזרה}$ ).

### השינוי בצריכת אנרגיה (קרו"ש לעונה)

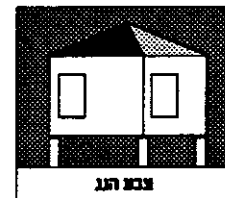
משופר (2m - 4u)	סטנדרטי (2m - 4u)	$0.25 < \text{מקדם החזרה} < 0.85$	טווח אפשרי
0 - 300	100 - 850	$0.40 < \text{מקדם החזרה} < 0.65$	טווח מומלץ
0 - 100	50 - 300		



צבע הקירות







## צבע הגג

לקביעת השפעת צבע גג הבנין על ביצועיו התרמיים נבדקה דירת הגג בעלת ארבע החזיתות, כאשר הגג צבוע בלבן, בשחור ובצבעי בנייים. הבדיקה נערכה עבור המבנה הסטנדרטי והמשופר. הקירות בכל המקרים צבועים בגוון בינוני בעל מקדם החזרה של 0.65.

## סיכום התוצאות

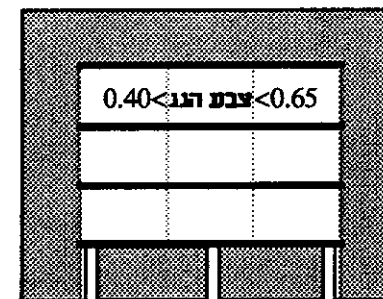
1. החסכון בצריכת האנרגיה השנתית של המבנה הסטנדרטי עם הגג הכהה יחסית לבהיר משמעותית. חסכון זה פחות משמעותי במבנה המשופר שגגו מבודד.
3. בקיץ מתקבלת טמפרטורה נמוכה יותר בבנין עם הגג הלבן בהשוואה לגג הכהה, אולם בכל המקרים מושגת בקיץ טמפרטורה בתחום הנוחות (פחות מ-26 מ"צ).
4. מכיון שבקיץ ניתן להשיג בירושלים תנאי נוחות ללא מיזוג אויר, אם מקפידים על איורור נכון של הבנין בלילה, יקבעו ההמלצות לגבי הגוון המועדף בעיקר בהתאם לדרישות סה"כ צריכת האנרגיה השנתית, שבמקרה של ירושלים שוות לצריכת האנרגיה לחימום בלבד. כלומר, ההמלצה היא לצבע כהה, אולם שלא בהגזמה, בהתייחס לתנאי נוחות בקיץ.
5. יש להדגיש שהשפעת צבע הגג על טמפרטורת פנים המבנה המתקבלת בקיץ, ללא מיזוג אויר, פחות משמעותית מהשפעת איורור הלילה.

## המלצות

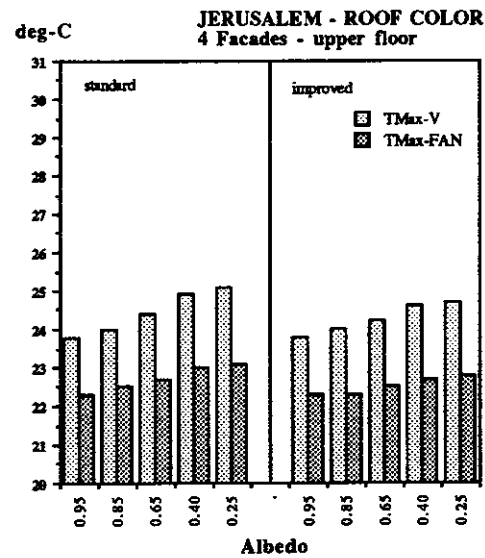
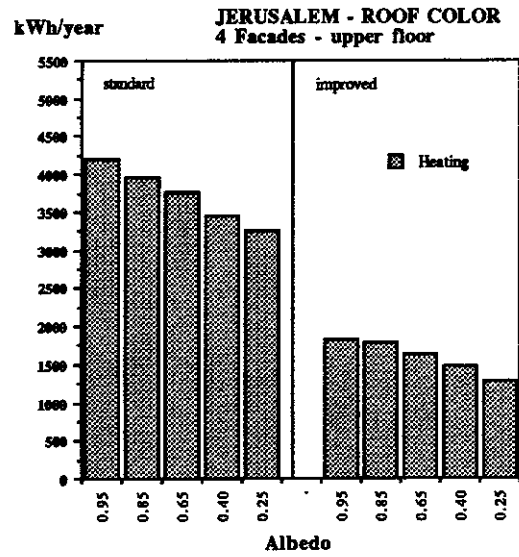
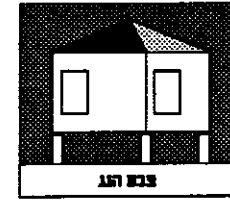
- \* גוון הגג הרצוי – כהות בינונית עד כהה (אך לא בהגזמה).
- \* רצוי  $0.65 < \text{מקדם החזרה} < 0.40$ .

## השינוי בצריכת אנרגיה (קווי"ש לעונה)

משופר (4u)	סטנדרטי (4u)	טווח אפשרי	טווח מומלץ
500	700	$0.25 < \text{מקדם החזרה} < 0.85$	$0.65 < \text{מקדם החזרה} < 0.40$
150	300	$0.25 < \text{מקדם החזרה} < 0.85$	$0.65 < \text{מקדם החזרה} < 0.40$



צבע הגג





### הצללת חלונות

לקביעת השפעת הצללת חלונות הבנין על התנהגותו התרמית נבדקו החלונות כאשר הם חשופים לשמש ברמות שונות. הבדיקה התבצעה בקיץ ללא מיזוג אויר ובחורף, עם הפעלת תנור חימום. מקדם ההצללה (s.c.) בקיץ שונה בטווח של 0.90 עד 0.70 לקרינה ישירה ומפוזרת (מסומן בגרף ע"י 90.90, 70.70) ומ-0.50 עד 0.10 לקרינה ישירה, כאשר הקרינה המפוזרת קבועה ברמה של 0.50 על מנת להבטיח תאורת יום מספיקה (מסומן בגרף ע"י 50.50, 30.50, 10.50). כמו כן נבדק חלון החשוף ברמות דומות לשמש החורפית. הצללה דינמית שכזו ניתנת להשגה ע"י תריס גלילה בעל דופן נפתחת, או תריס נגרר בעל שלבים נפתחים המקובלים בבניית המגורים בישראל.

### סיכום התוצאות

- קיימת ירידת טמפרטורה משמעותית בבנין כאשר משפרים את הצללת החלונות בקיץ. בכל דירות הגג שנבדקו מגיעה ירידה זו ליותר מ-1.5 מ"צ, כאשר קיים בלילה איורור טבעי, ולכ-1 מ"צ, כאשר קיים בלילה איורור ע"י מפות. נציין, שתרומת ההצללה להפחתת הטמפרטורה המקסימלית בבנין מתקרבת לזו המתקבלת ע"י איורור לילה ע"י מפות, בהשוואה לאיורור לילה טבעי.
- חשיפת החלונות לשמש החורפית בעלת חשיבות רבה ביותר ויכולה להפחית ביותר מ-3000 קו"ש לעונה בדירות הגג בעלות החלון הדרומי הגדול (10%). על כן יש להקפיד בדירות אלה על אי הצללת החלונות בחורף. הבדיקות במסגרת מחקר זה בוצעו עבור ערכי מקדמי הצללה של 0.10 ו-0.50 לקיץ, ו-0.90 ו-0.90 לחורף (המספר הראשון משמאל הוא עבור קרינה ישירה והשני, עבור קרינה מפוזרת). הצללה שכזו ניתנת להשגה ע"י תריס לפתיחה כנדרש ע"י משרד הבינוי והשיכון.
- גם כשאין הצללה על החלונות מתקבלת בקיץ ללא מיזוג אויר, אלא רק עם איורור לילה טוב, טמפרטורה נמוכה מ-26 מ"צ שהיא טמפרטורה בתחום הנוחות בירושלים.

### המלצות

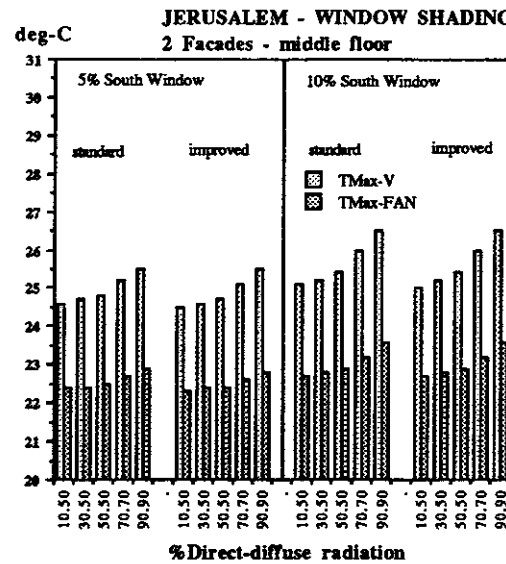
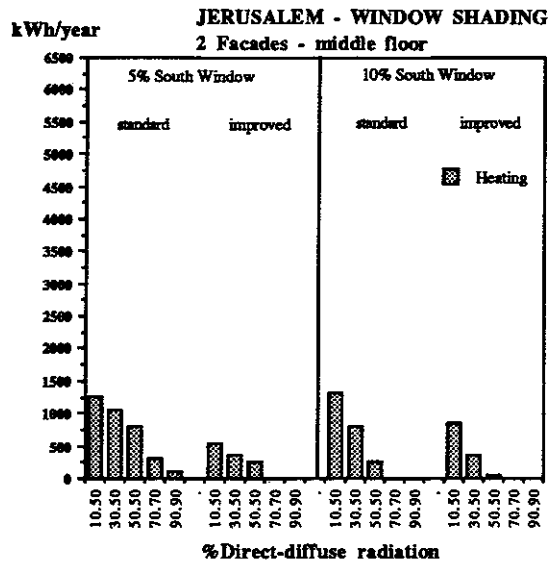
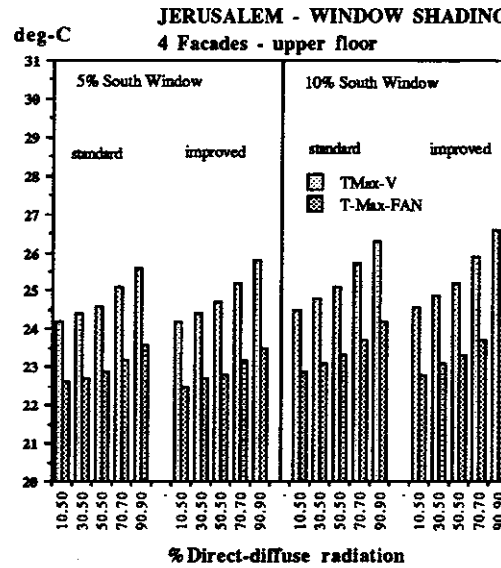
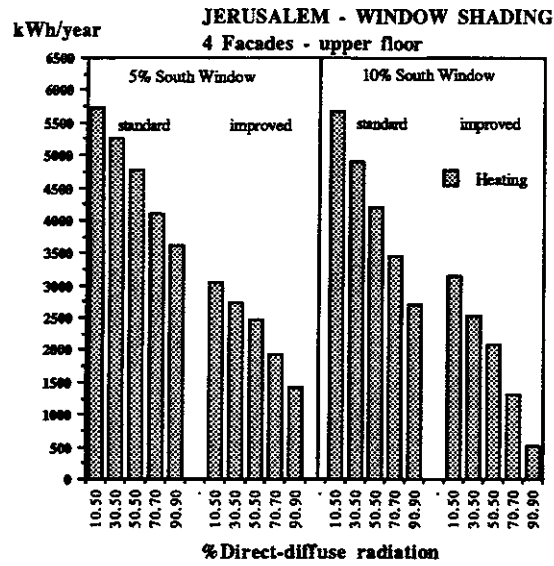
- \* בדירות הגג והעמודים יש להקפיד על אי הצללת החלונות בחורף ועל הצללתם היעילה בקיץ. אולם, גם ללא הצללה ומיזוג אויר ניתן בקיץ להשיג טמפרטורת פנים נוחה.
- \* יש לציין שבימי החורף התריסים מוסיפים בידוד לילה לחלונות ואם יוחלט על ביטולם תגדל צריכת האנרגיה לחימום בצורה משמעותית.
- \* בדירות שבקומה האמצעית יש להקפיד על הצללת חלונות יעילה בקיץ. אולם, ניתן להשתמש בתריס שאינו מאפשר פתיחה מלאה בחורף.
- \* בקיץ, רצוי בכל הדירות מקדם הצללה הקטן מ-0.50 לקרינה ישירה ומפוזרת.
- \* בחורף, רצוי מקדם הצללה הגדול מ-0.85 בדירות הגג והעמודים ומ-0.50 בדירות שבקומה האמצעית.

### השינוי בצריכת אנרגיה (קו"ש לעונה)

משופר (4u - 2m)	סטנדרטי (4u - 2m)	חלון חזית ראשית = 10% משטח רצפה
850 - 2600	1300 - 2950	טווח אפשרי (חורף) 90.90 - 10.50
400	350	טווח מומלץ (4u) 90.90 - 80.80
50	250	טווח מומלץ (2m) 90.90 - 50.50

קיץ s.c.<0.50,0.50
חורף s.c.>0.80,0.80
קיץ s.c.<0.50,0.50
חורף s.c.>0.50,0.50
קיץ s.c.<0.50,0.50
חורף s.c.>0.80,0.80

הצללת חלונות





### הצללת קירות

לקביעת השפעת הצללת קירות הבנין על התנהגותו התרמית, נבדקו הקירות בקיץ ובחורף כאשר הם חשופים לשמש ברמות שונות. מקדם ההצללה שונה בטווח של 0.90 עד 0.10 לקרינה ישירה ומפוזרת (מסומן בגרף ע"י 90-90 עד 10-10). הצללה שכזו ניתנת להשגה ע"י עצים, בנינים שכנים או כתוצאה מגיאומטריית הבנין.

### סיכום התוצאות

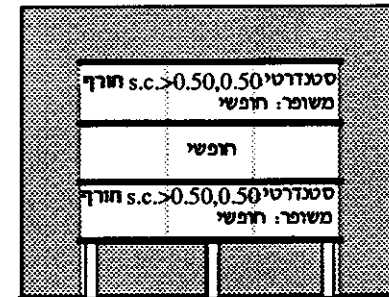
1. הצללת הבנין בקיץ משפרת במקצת את התנהגותו התרמית ואילו בחורף השפעתה שלילית. אולם, יש לציין שהשפעות אלו הן קטנות ביותר וניתנות להזנחה, מלבד בדירת הגג בת 4 החזיתות המבודדת בצורה סטנדרטית. במקרה זה חשיפת הקירות לשמש תורמת במקצת לחימום הבנין. אפשר לכן לאמר שהצללה הנופלת על קירות הבנין משפיעה על התנהגותו התרמית רק במידה והיא מצלילה את פתחיו, או כאשר שטח מעטפת הבנין, שאינו מבודד בצורה משופרת, גדול. בכל שאר המקרים קיים חופש מוחלט בקביעת גיאומטריית הבנין והבינוי הגורם לצל על הקירות האטומים של הבנין.

### המלצות

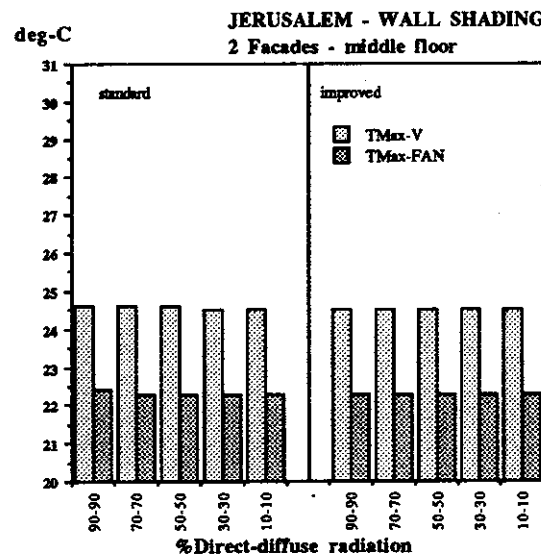
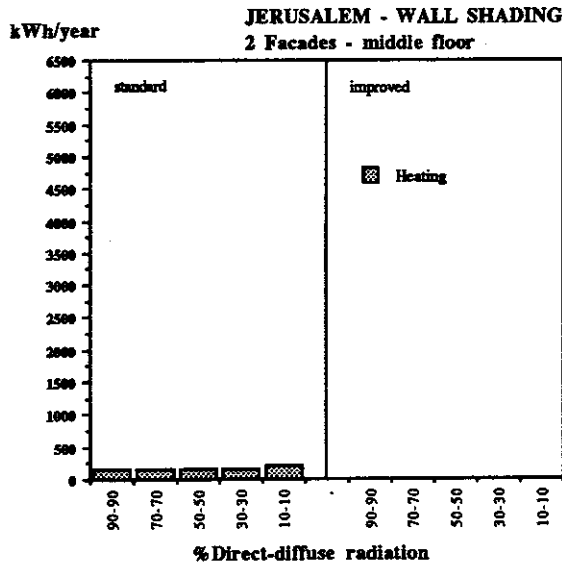
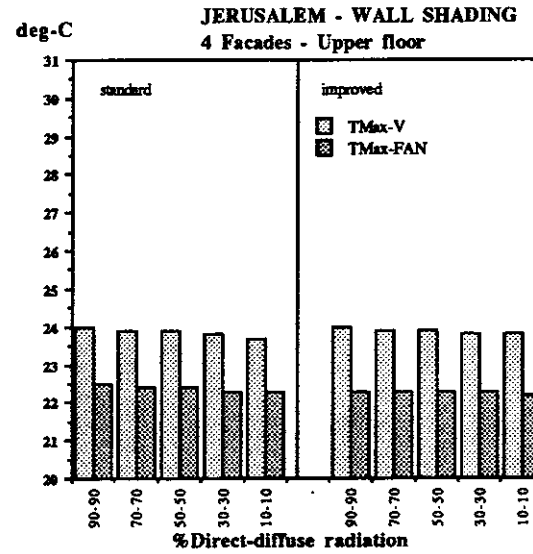
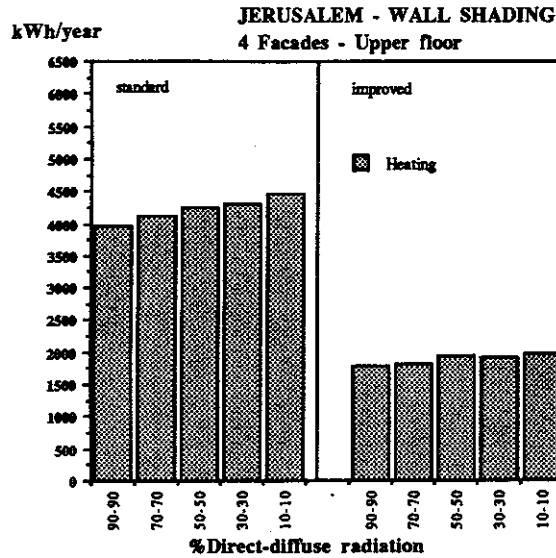
- \* קיים חופש בקביעת גיאומטריית הבנין והבינוי, הגורם לצל על הקירות האטומים של הבנין, בתנאי שהקירות מבודדים בצורה משופרת או בעלי שטח קטן.
- \* בדירות הגג והעמודים המבודדות בצורה סטנדרטית, ניכרת עדיפות לחשיפת הבנין לשמש חורפית.

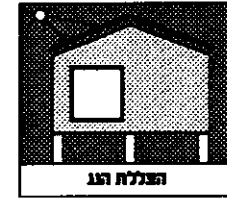
### השינוי בצריכת אנרגיה (קו"ש לעונה)

משופר (2m - 4u)	סטנדרטי (2m - 4u)	טווח אפשרי	טווח מומלץ
0 - 200	50 - 500	10-90 עד 10-10	חופשי
0 - 150	50 (2m)	חופשי	טווח מומלץ (4u)
	300 (4u)	50-90 עד 50-50	



הצלת קירות





### הצללת הגג

לקביעת השפעת הצללת גג הבנין על התנהגותו התרמית נבדק בגג בקיץ ובחורף כאשר הוא חשוף לשמש ברמות שונות. מקדם ההצללה שונה בטווח של 0.90 עד 0.10 לקרינה ישירה ומפוזרת (מסומן בגרף ע"י 90-90 עד 10-10). הצללה שכזו יכולה להיגרם ע"י עצים, בנינים שכנים או להתקבל כתוצאה מתכנון גג כפול עליון מצל. הגג נבדק כשהוא צבוע בגוון בהיר (מקדם החזרה של 0.85) ובצבע בגוון בינוני (מקדם החזרה של 0.50).

### סיכום התוצאות

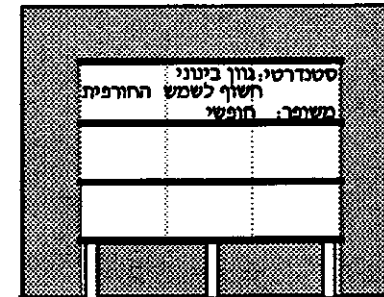
1. בדומה לתוצאות שהתקבלו עבור קירות הבנין, הצללת הגג בקיץ משפרת את התנהגותו התרמית ואילו בחורף השפעתה שלילית. יש לציין שהשפעות אלו הן קטנות וניתנות להזנחה כאשר הגג מסויד בלבן (מקדם החזרה של 0.85). כאשר הגג בעל גוון בינוני (מקדם החזרה של 0.50), כגון רעפים אדומים, השפעת הצללת הגג ניכרת יותר בעיקר בבנין המבודד בצורה סטנדרטית. אפשר לכן לאמר שקיים חופש מוחלט בקביעת גיאומטריית הבנין והבינוי הגורם לצל על גג הבנין, בתנאי שהוא מבודד בצורה משופרת כמומלץ. כאשר הגג מבודד בצורה סטנדרטית עדיף גג בגוון בינוני החשוף לשמש החורפית ומוצלל במדת האפשר בקיץ.
2. גג כהה מוצלל דומה בהתנהגותו התרמית לגג בהיר החשוף לשמש.

### המלצות

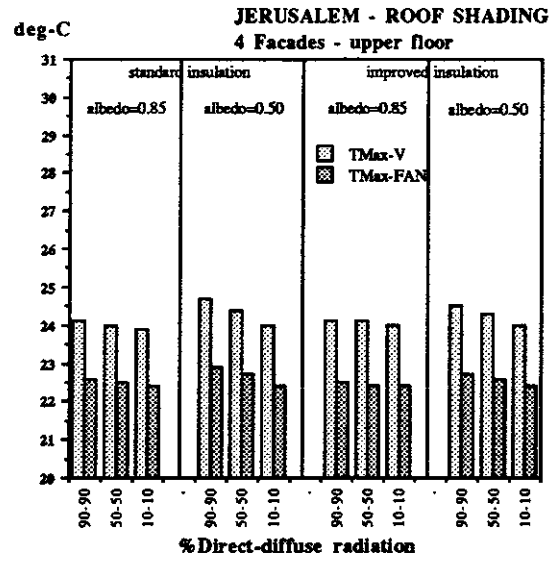
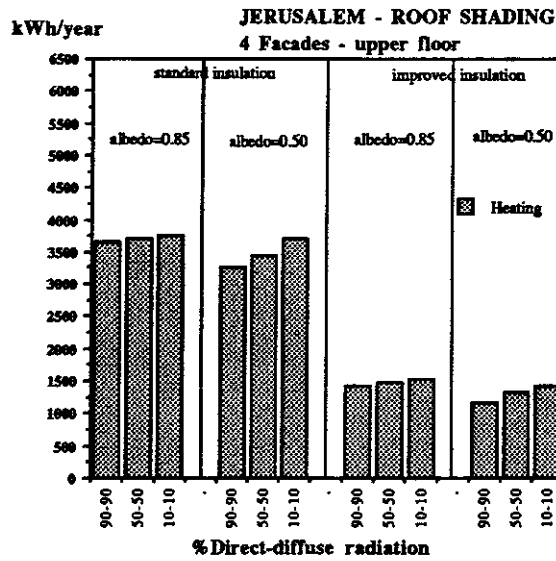
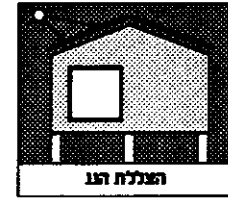
- \* קיים חופש מוחלט בקביעת גיאומטריית הבנין והבינוי הגורם לצל על גג הבנין המבודד בצורה משופרת.
- \* כאשר הגג מבודד בצורה סטנדרטית עדיף גג בעל גוון בינוני החשוף לשמש החורפית.

### השינוי בצריכת אנרגיה (קו"ש לעונה)

מסופר 4u (בהיר - בינוני)	סטנדרטי 4u (בהיר - בינוני)	90-90 עד 10-10	טווח אפשרי
100 - 250	100 - 450	חופשי	טווח מומלץ
100 - 250	100 - 450		



הצללת הגג







## הגדלת שטח קירות הבנין

לקביעת השפעת הגדלת שטח קירות הבנין על התנהגותו התרמית, נבדקו הדירות כאשר הן בעלות שני קירות חוץ עד חמישה. כל קיר בשטח כולל של 25 מ"ר (מסומן בגרף ע"י 2w עד 5w). דירה פנימית היא בעלת שני קירות חוץ, גמלונית בעלת שלושה, בית פרטי בעל ארבע קירות ואילו חמישה קירות חוץ מתקבלים כאשר הקיר החיצוני מזוגג (כולל שקעים ובליטות).

### סיכום התוצאות

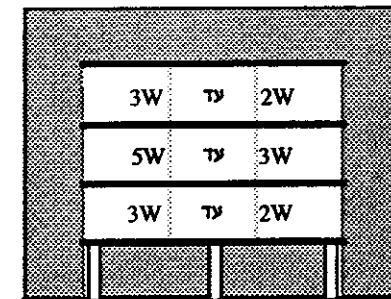
1. הגדלת שטח קירות הבנין בדירות הגג והעמודים מגדילה בצורה משמעותית את צריכת האנרגיה לחימום. השפעה זו חזקה במיוחד בבנין המבודד בצורה סטנדרטית. לכן, כאשר הבנין איננו מבודד בצורה משופרת רצוי להקטין שטח מעטפת הבנין. הגדלה בשיעור של עד קיר אחד, בשטח כולל של 25 מ"ר (השווה ל-25% משטח הרצפה) אפשרית, כאשר הבנין מבודד בצורה משופרת. הגדלה זו גורמת לתוספת צריכת אנרגיה בשיעור של כ-300 קו"ש לעונה בלבד. על כן בגבול של תוספת שכזו קיים חופש בקביעת גיאומטריית הבנין, בתנאי שהוא מבודד בצורה משופרת.
2. בדירות האמצעיות של הבנין הסטנדרטי, הגדלת שטח הקירות מגדילה בצורה משמעותית את צריכת האנרגיה לחימום בדומה לדירות הגג והעמודים. אולם, כאשר הבנין מבודד בצורה משופרת, השפעת הגדלת הקירות על צריכת האנרגיה של הדירה היא זניחה. זאת מכיון דירות אלו צורכות אנרגיה מועטה ביותר הן לחימום והן לקירור.

### המלצות

- \* בדירות הגג והעמודים, המבודדות בצורה משופרת, קיים חופש חלקי בקביעת גיאומטריית הבנין, זאת כל עוד תוספת השטח אינה עולה על 25% משטח הרצפה.
- \* כאשר הבנין מבודד בצורה סטנדרטית, רצוי להקטין את שטח המעטפת במידת האפשר.
- \* בדירות שבקומה האמצעית, המבודדות בצורה משופרת, קיים חופש מוחלט בקביעת שטח המעטפת.
- \* בדירה הגמלונית יש צורך לבודד את הגמלון בצורה משופרת.

### השינוי בצריכת אנרגיה (קו"ש לעונה)

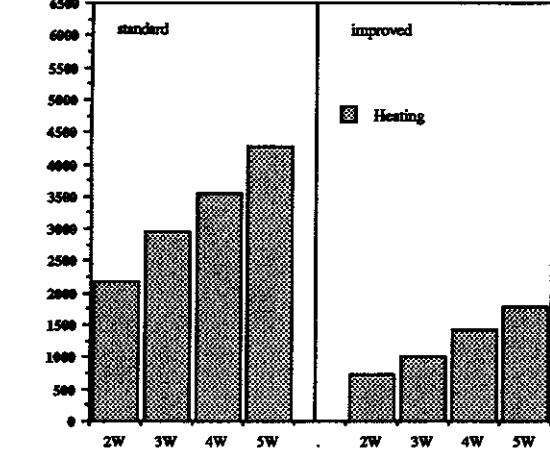
משופר (m - u)	סטנדרטי (m - u)	5w עד 2w	טווח אפשרי
1050 - 250	2100 - 1500	2w עד 25w	טווח מומלץ
	350 - 250	2w עד 3w	טווח מומלץ
300 (u)		2w עד 5w	טווח מומלץ
250 (m)			



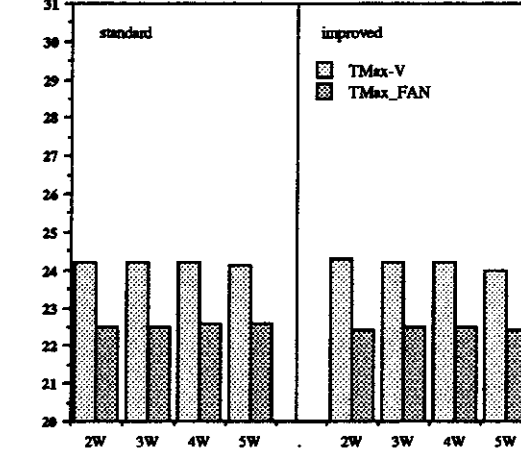
הגדלת שטח קירות הבנין



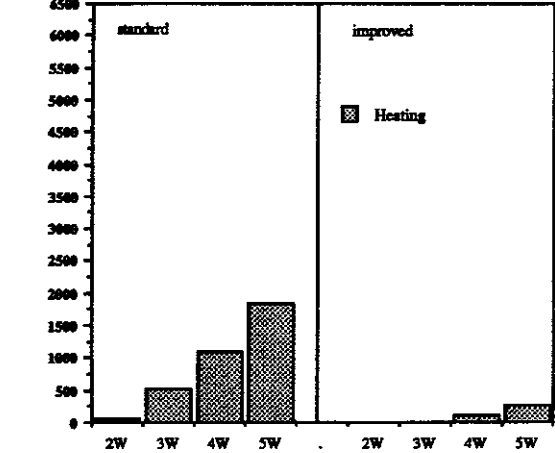
JERUSALEM - EXTERNAL WALLS AREA  
Upper floor



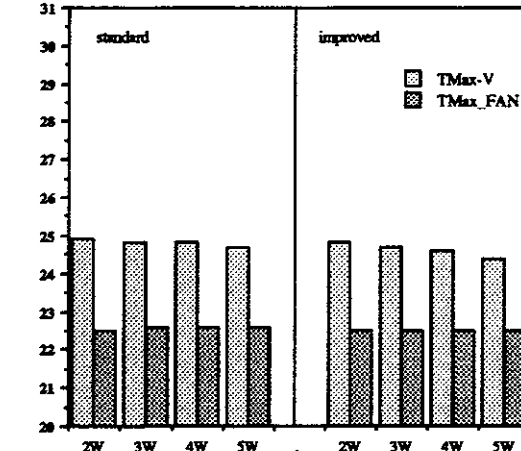
JERUSALEM - EXTERNAL WALLS AREA  
Upper floor



JERUSALEM - EXTERNAL WALLS AREA  
Middle floor



JERUSALEM - EXTERNAL WALLS AREA  
Middle floor





## הגדלת שטח החלונות בכיוונים השונים

בדיקת השינוי בצריכת האנרגיה השנתית לחימום ולקירור המבנה, כתוצאה מהגדלת שטח החלונות בארבעה הכיוונים הראשיים, התבצעה ע"י שינוי שטח החלון הנבדק החל מגודל של 2% ועד גודל של 10% משטח הרצפה. החלונות בכיוונים האחרים נשארו קבועים ושווים לשטח של 2% משטח הרצפה. בכל המקרים הונחה חשיפת חלונות מירבית לשמש החורפית. הצללה בקיץ נקבעה בשתי רמות: מצוינת, כשם שמתקבלת ע"י תריס חיצוני, ובינונית, כשם שמתקבלת ע"י הצללה פנימית. כמו כן, במקרה הראשון של תריס חיצוני, הונח קיום בידוד לילה.

### סיכום התוצאות

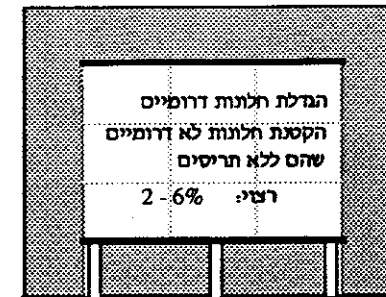
1. הגדלת החלונות בכל הכיוונים גורמת להתחממות הבנין בקיץ. השפעת הגדלת החלון המערבי על התחממות הבנין היא הרבה ביותר, בעיקר כאשר ההצללה היא פנימית.
2. בדירות הגג והעמודים ניתן לראות בבירור, שהגדלת החלון הדרומי מביאה לשיפור עצום בצריכת האנרגיה לחימום. השפעה זו דומה בבנין המבודד בצורה סטנדרטית ומשופרת. בקומה האמצעית השפעת הגדלת החלון הדרומי משמעותית רק בדירות עם הבידוד הסטנדרטי.
3. בחורף, בדירות הגג והעמודים כאשר מניחים קיום של בידוד לילה על החלונות, הגדלת החלון הצפוני אינה משפיעה כמעט על התנהגות הבנין מהבחינה התרמית ואפילו תורמת במקצת להורדת צריכת האנרגיה לחימום. לעומת זאת, ללא בידוד לילה ההשפעה היא שלילית. בדירות הקומה האמצעית השפעה זו היא קטנה מאד.
4. הגדלת החלונות המזרחי והמערבי משפרת במקצת את יעילות הבנין בחורף. יש להדגיש ולהזכיר שתוצאות אלו התקבלו, כיון והנחנו חשיפת חלונות מירבית לשמש חורפית. כמו כן הונח קיום בידוד לילה כתוצאה מקיום התריס. בהחלט יש להמליץ על חלונות קטנים בכיוונים אלה, היות ואם הדייר לא ישתמש בתריסים בצורה נכונה, בקיץ או בחורף, הגדלת החלונות הנ"ל תהיה בעלת השפעה שלילית.

### המלצות

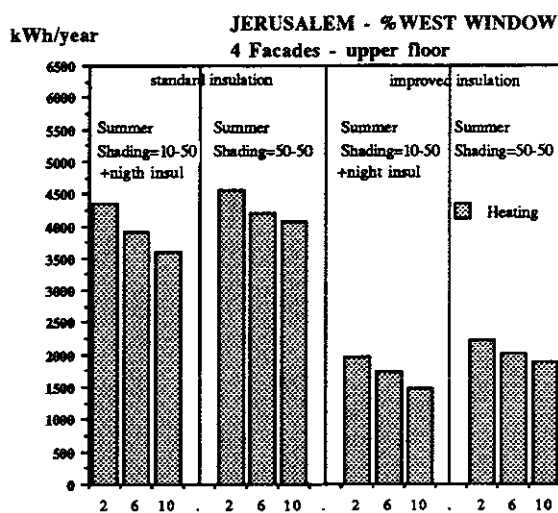
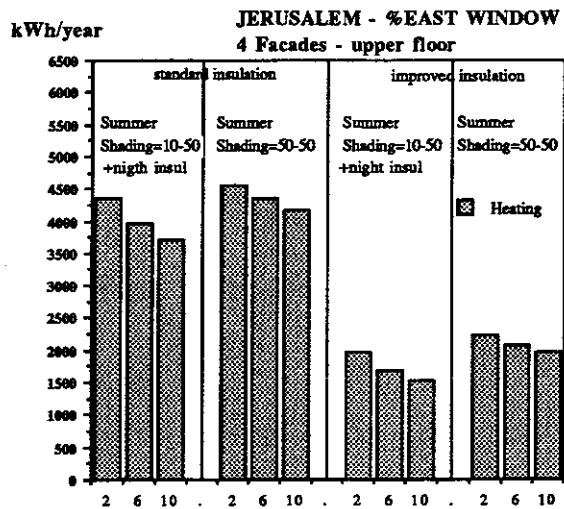
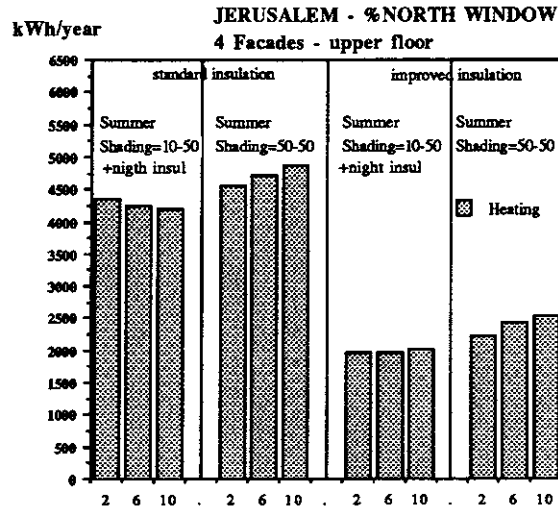
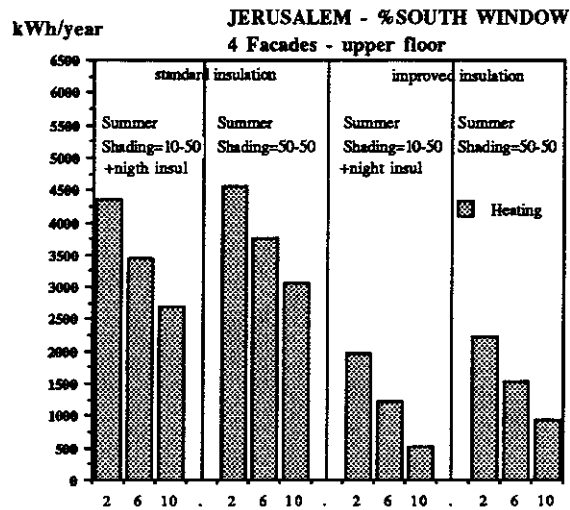
- \* רצוי מאד להגדיל שטח חלונות דרומיים בהתאם למומלץ בסעיף הבא.
- \* רצוי להקטין עד המינימום הנדרש (בהתאם לדרישות פונקציונליות ואחרות) את שטח החלונות שאינם דרומיים.
- \* במידה ומספקים תריסים להצללה חיצונית והדיירים משתמשים בהם כראוי יש אפשרות להגדיל הפתחים בכל הכיוונים.

### השינוי בצריכת אנרגיה (קווי"ש לעונה)

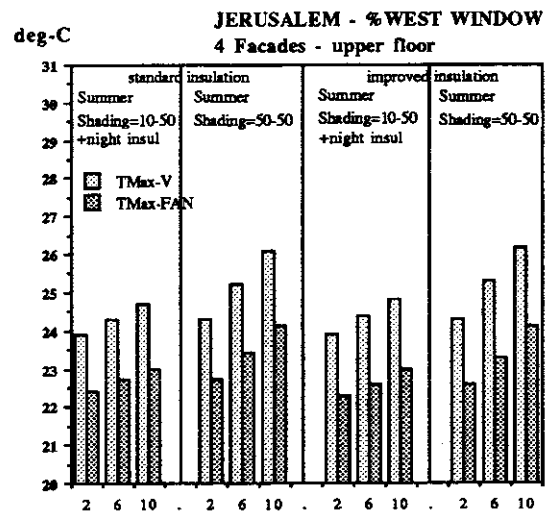
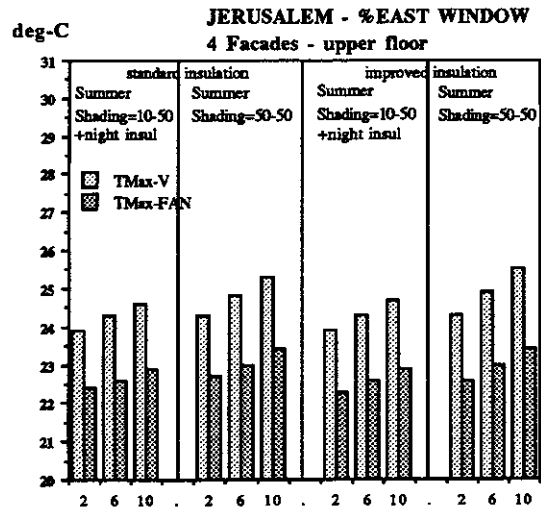
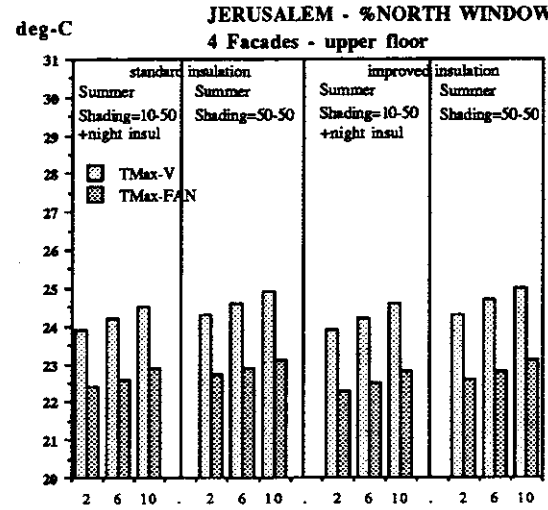
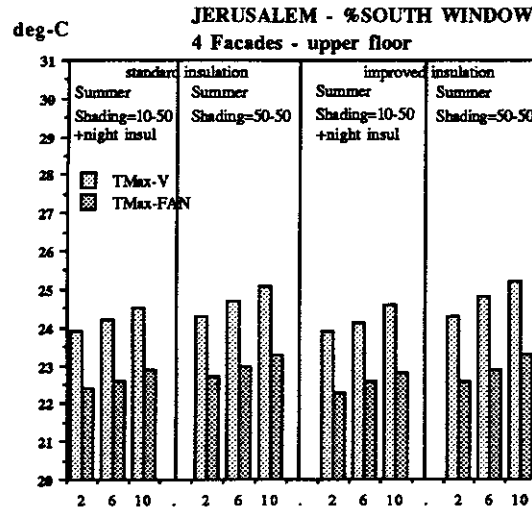
משופר (S - N - E - W)	סטנדרטי (S - N - E - W)	דירה 4u, תריס חיצוני
1450 - 50 - 450 - 500	1650 - 150 - 650 - 750	טווח אפשרי 2% - 10% משטח הרצפה
50 - 300 - 250	100 - 400 - 450	טווח רצוי (לא לדרום) 2% - 6%
משופר (S - N - E - W)	סטנדרטי (S - N - E - W)	דירה 2u, תריס חיצוני
50 - 100 - 100 - 100	450 - 100 - 300 - 350	טווח אפשרי 2% - 10% משטח הרצפה
50 - 100 - 100	100 - 200 - 250	טווח רצוי (לא לדרום) 2% - 6%



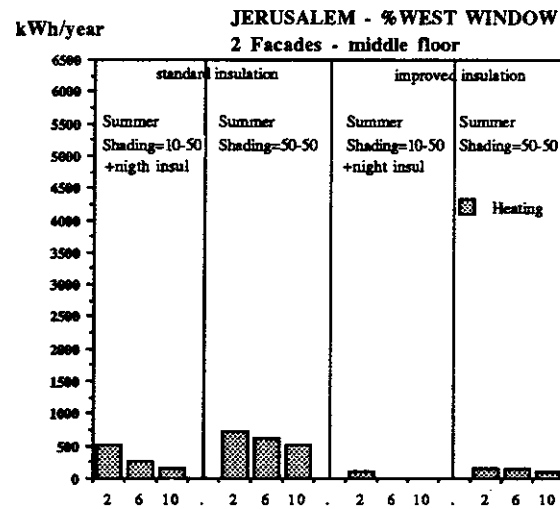
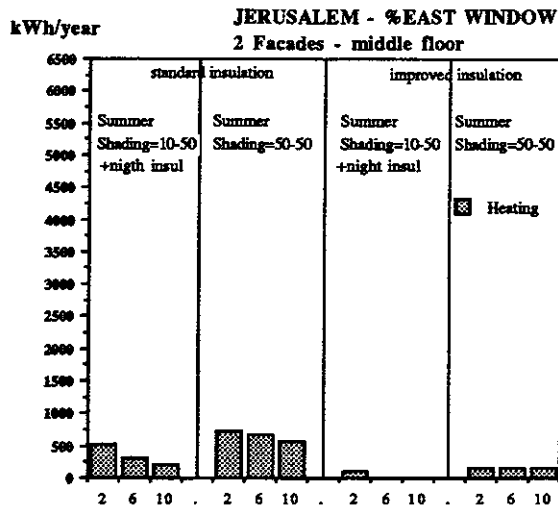
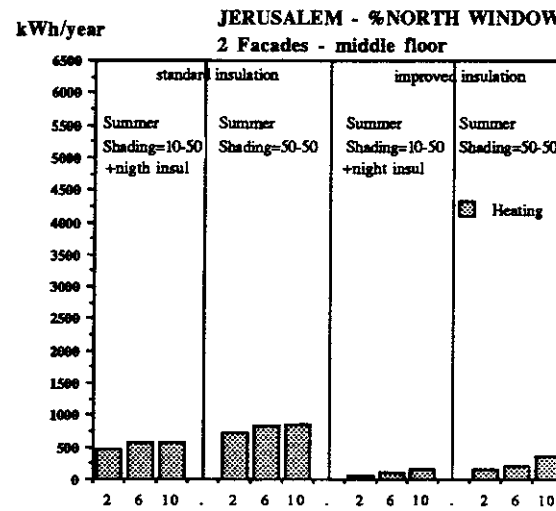
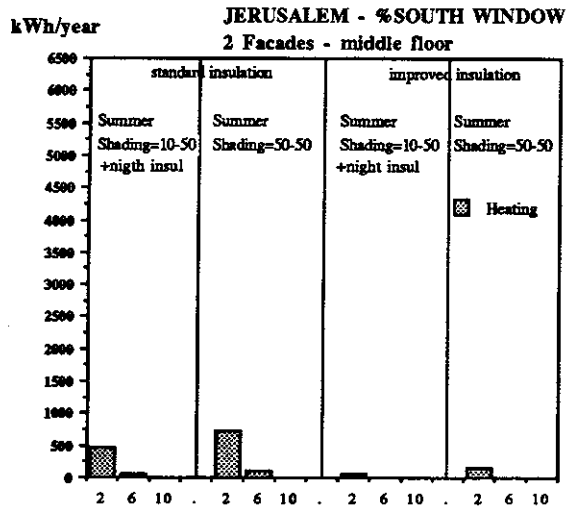
הגדלת שטח החלונות בכיוונים השונים



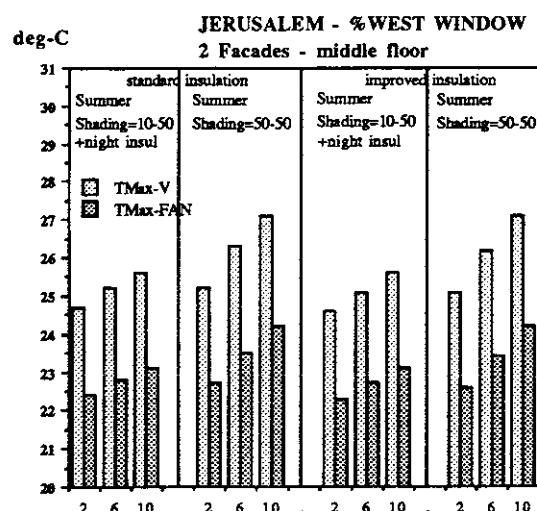
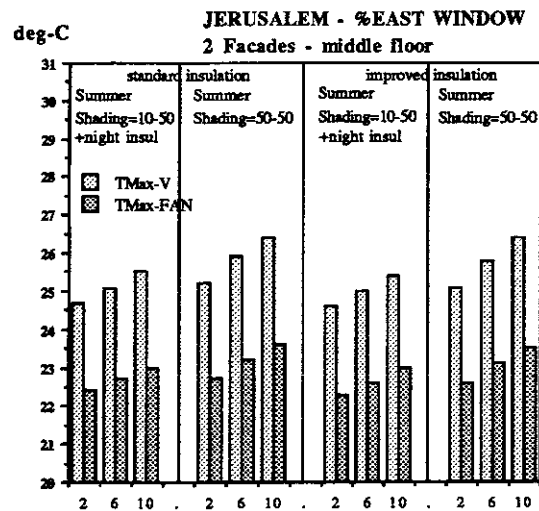
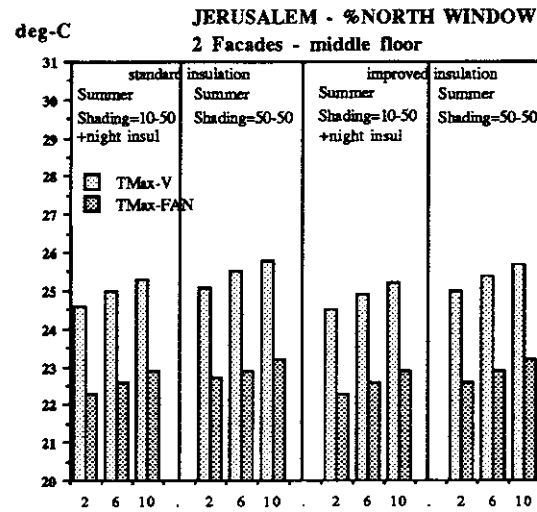
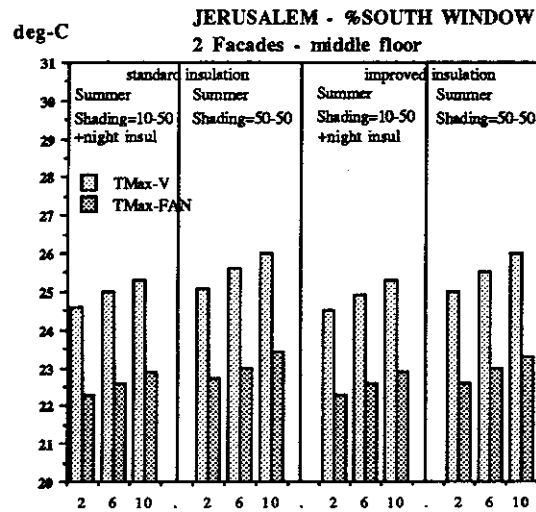
הגדלת שטח החלונות בכיוונים השונים



הגדלת שטח החלונות בכיוונים השונים



הגדלת שטח החלונות בכיוונים השונים





## גודל חלון דרומי

גורם המשפיע בצורה דומיננטית ביותר על צריכת האנרגיה של המבנה בירושלים, הוא ללא ספק האלמנט הסולרי, כלומר במקרה זה החלון הדרומי. לשם קביעת גודלו הרצוי, נבדק חלון דרומי החל מגודל בסיסי, אשר נקבע בהתאם לדרישות המינימום של משרד הבינוי והשיכון, תוך הגדלה הדרגתית. הגדלה זו בוצעה עד קבלת צריכת אנרגיה אפסית לחימום, או עד גודל חלון דרומי מקסימלי אפשרי (דהיינו, כל החזית הדרומית היא חלון).

### סיכום התוצאות

1. בכל המקרים שנבדקו נמצא שהגדלת החלון הדרומי מביאה לשיפור ניכר בצריכת האנרגיה. % החלון משטח הרצפה המומלץ תלוי במקרה ויפורט בסעיף ההמלצות.
2. הטמפרטורה בקיץ ללא מיזוג אוויר גדלה עם הגדלת החלון הדרומי. על כן יש צורך בקיץ לדאוג להצללה טובה של הבנין ביום ולאירור טוב של המבנה בלילה.
3. עם הגדלת החלון הדרומי, גדלה טמפרטורת הקרינה הממוצעת בקיץ וקטנה בחורף. על כן יש להמליץ על תוספת וילון בחלונות שהם מעל הגודל המינימלי הנדרש. מלבד בשעות זריחת השמש בחורף, יש להקפיד על סגירת התריס והוילון להגדלת בידוד החלון.

### המלצות

#### א. בידוד סטנדרטי:

- |                               |                 |                    |
|-------------------------------|-----------------|--------------------|
| 4 חזיתות- קומת עמודים: 30-34% | קומת גג: 24-32% | קומה אמצעית: 8-12% |
| 3 חזיתות- קומת עמודים: 28-32% | קומת גג: 20-27% | קומה אמצעית: 6-10% |
| 2 חזיתות- קומת עמודים: 26-30% | קומת גג: 17-23% | קומה אמצעית: 4-8%  |
- \* % שטח מומלץ לחלונות דרומיים ביחס לשטח רצפה: בקומת גג ועמודים 20-30% ובקומה אמצעית 5-9%.
- \* כאשר שטח החלונות מעל 10% יש להמליץ על תוספת וילון. יש להקפיד על סגירת התריס והוילון להגדלת בידוד החלון, מלבד בשעות זריחת השמש בחורף.

#### ב. בידוד משופר:

- |                               |                 |                   |
|-------------------------------|-----------------|-------------------|
| 4 חזיתות- קומת עמודים: 11-14% | קומת גג: 11-14% | קומה אמצעית: 3-5% |
| 3 חזיתות- קומת עמודים: 9-12%  | קומת גג: 9-12%  | קומה אמצעית: 3-5% |
| 2 חזיתות- קומת עמודים: 8-11%  | קומת גג: 8-11%  | קומה אמצעית: 3-5% |
- \* % שטח מומלץ לחלונות דרומיים ביחס לשטח רצפה: בקומת גג ועמודים 8-12% ובקומה אמצעית בהתאם למינימום הנדרש.

### השינוי בצריכת אנרגיה (קווי"ש לעונה)

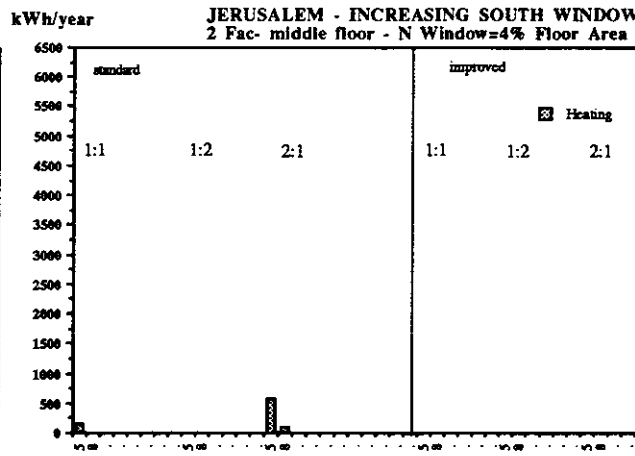
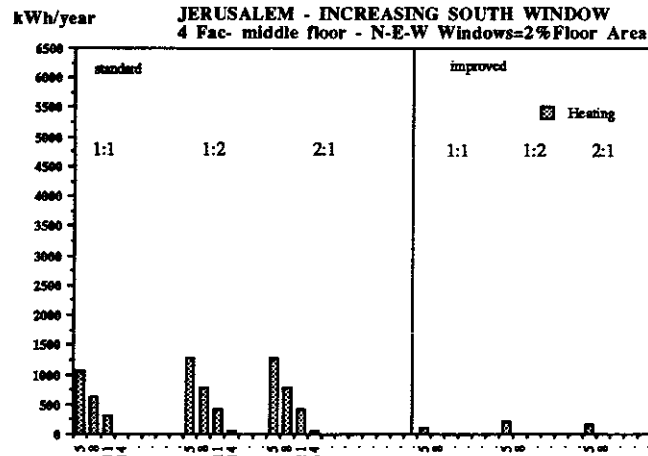
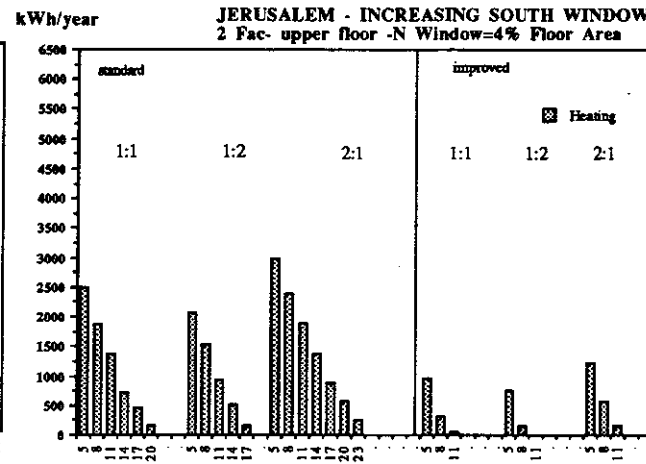
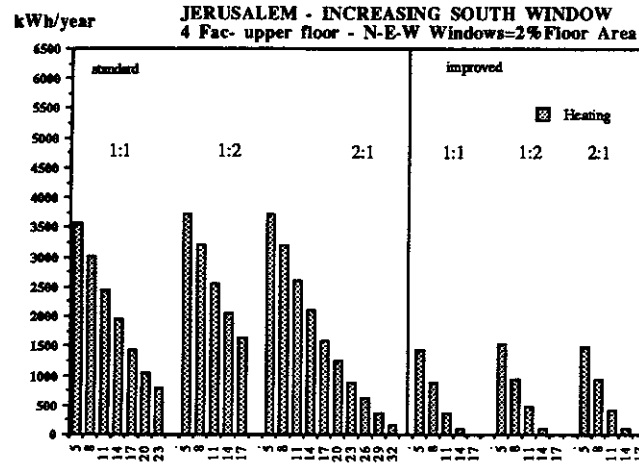
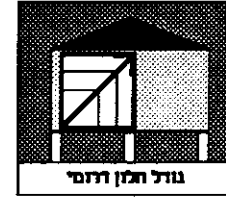
משופר (4u - 2u)	סטנדרטי (4u - 2m)
1550	3550
50	450
300 - 300	300 - 300

טווח אפשרי (st-4u) 5 - 32 % משטח רצפה  
 טווח אפשרי (imp-4u) 5 - 14 % משטח רצפה  
 טווח אפשרי (st-2m) 5 - 10 % משטח רצפה  
 טווח אפשרי (imp-2m) (רצוי מיני)  
 טווח מומלץ לפי כל מקרה

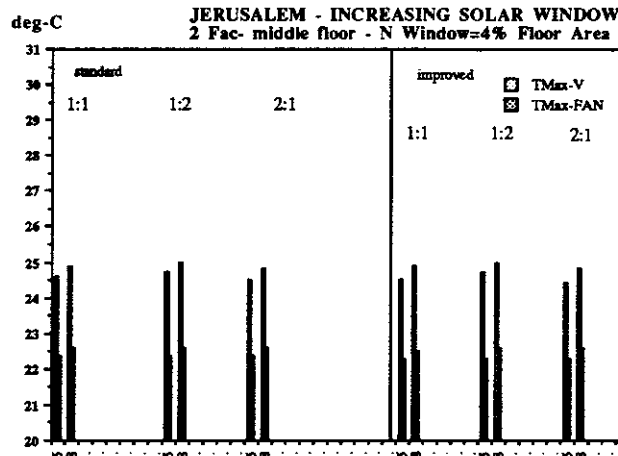
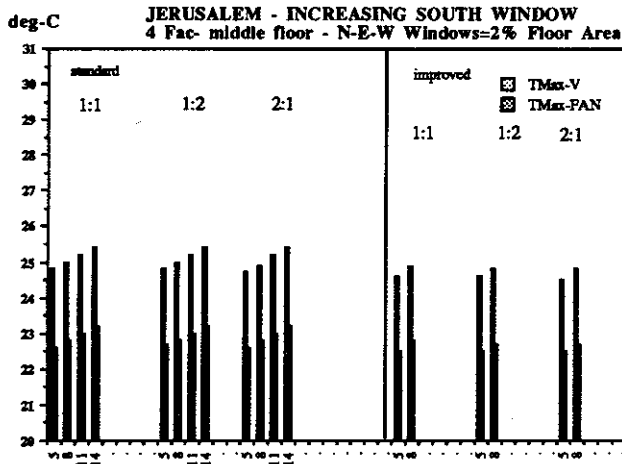
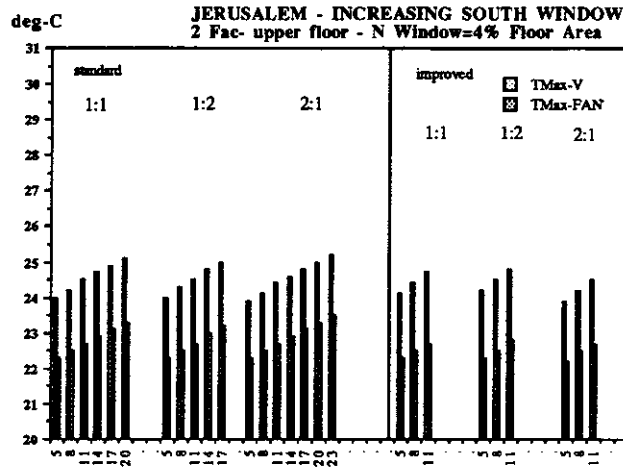
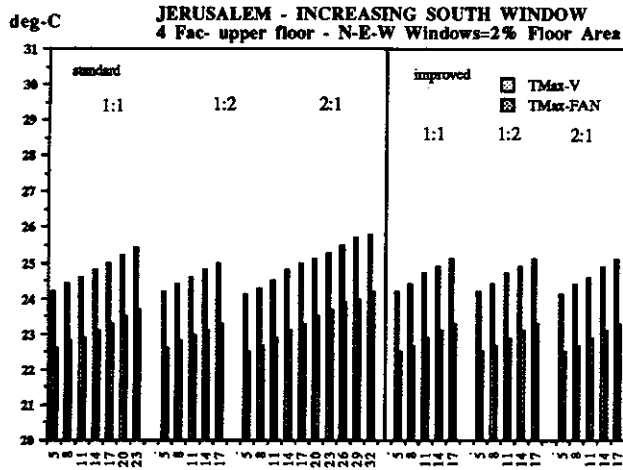
סטנדרטי משופר	20-27% 9-12%	17-23% 8-11%	20-27% 9-12%
סטנדרטי משופר	6-10% 3-5%	4-8% 3-5%	6-10% 3-5%
סטנדרטי משופר	28-32% 9-12%	26-30% 8-11%	28-32% 9-12%

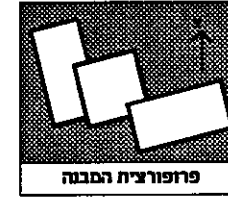


גודל חלון דרומי



גודל חלון דרומי





### פרופורצית המבנה

השינויים בצריכת האנרגיה כתוצאה משינוי פרופורצית המבנה נבדקו בתחום:  $X:Y = 1:2$  ועד ל-  $X:Y = 2:1$ , כאשר  $X$  הוא תמיד קיר חוץ ואילו  $Y$  הוא קיר חוץ או פנים.

#### סיכום התוצאות

##### א) שטח חלונות דרומיים קבוע ושווה 5%

1. משיקולי סה"כ צריכת אנרגיה, קיימת עדיפות קטנה במבנה בעל 4 חזיתות לפרופורציה ריבועית שבה מתקבל שטח מעטפת מינימלי. עדיפות זו פוחתת עם שיפור הבידוד. במבנה זה ההתנהגות התרמית של המבנים בעלי פרופורציות של 2:1 ו- 1:2 דומה היות וגודל החלונות ושטח המעטפת קבועים והשוני מתבטא רק בפנות אלמנטי המעטפת האטומים. כלומר, אין השפעה לפנות חלקי המעטפת האטומים כאשר הם מבודדים כמומלץ.

2. בדירה בעלת 2 החזיתות יש עדיפות לפרופורציה של-1:2, מכיוון שבפרופורציה זו הקירות הארוכים הם אלה המשותפים לדירה השכנה. כאן השינוי בפרופורצית הדירה משמעותי, מכיון והוא משפיע בצורה ניכרת על שטח מעטפת הדירה.

3. משיקולי נוחות תרמית בקיץ ללא מיזוג אוויר, מתקבל שאין כמעט שינוי בטמפרטורה בתוך המבנה כתוצאה מהבדלים בפרופורצית הבנין.

##### ב) בנין סולרי: שטח חלונות דרומיים בגודל מקסימלי דרוש או בהתאם לשטח החזית הדרומית

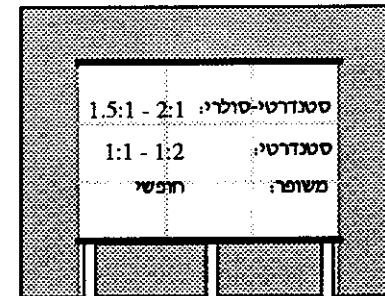
1. במידה שהתכנון מאפשר הגדלת החלונות הדרומיים, העדפה בדירה בעלת 4 חזיתות שבבנין הסטנדרטי היא לפרופורציה ריבועית עד מלבנית כאשר הצלע הארוכה פונה לדרום (2:1). בבנין המשופר ובכל הדירות שבקומה אמצעית או בעלות 2 חזיתות, אין כמעט חשיבות לפרופורצית המבנה.

#### המלצות

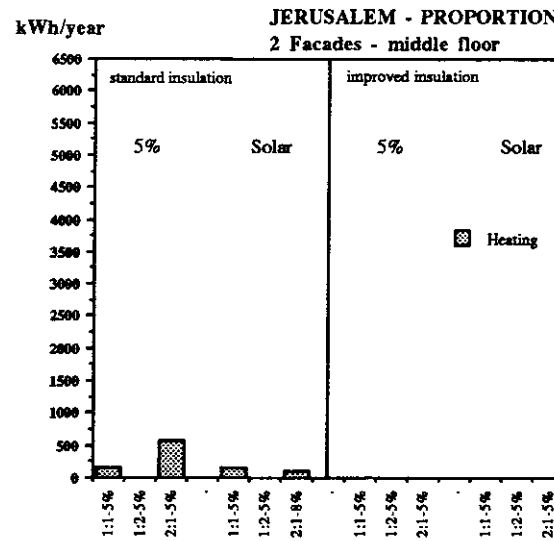
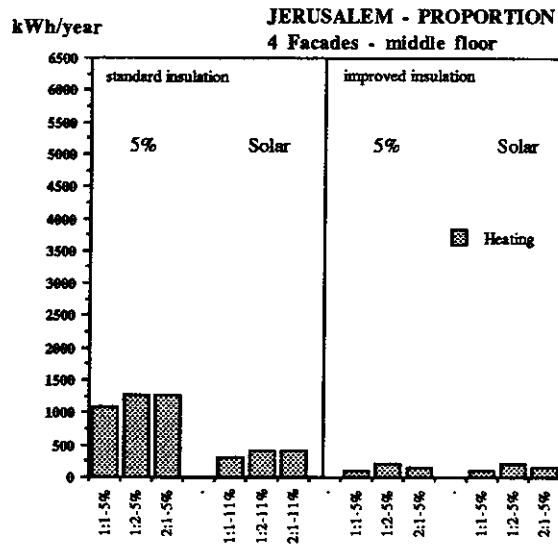
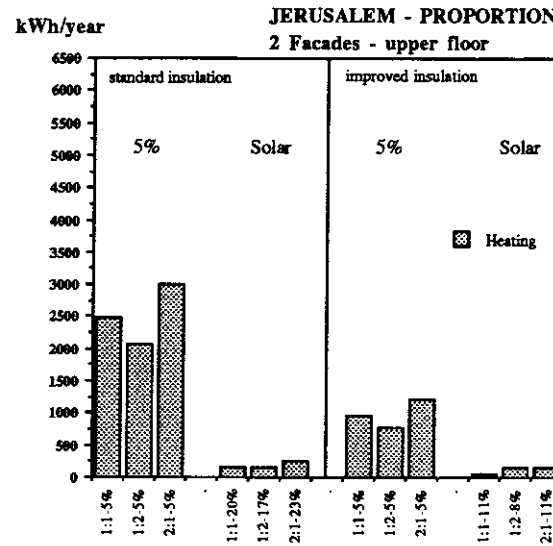
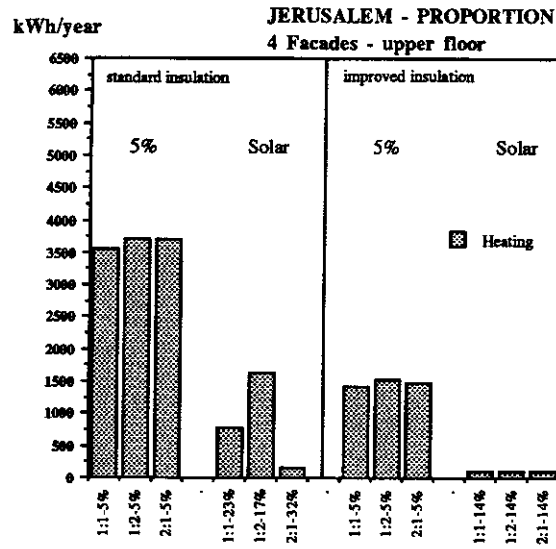
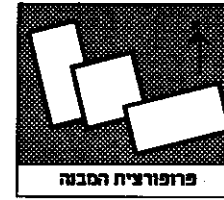
- \* כאשר הבנין מבודד כמומלץ אפשרית כל פרופורציה רצויה.
- \* באם הקירות אינם מבודדים כדרוש, רצויה פרופורציה ריבועית.
- \* בבנין סטנדרטי-סולרי רצויה פרופורציה מלבנית (2:1) כאשר הצלע הארוכה פונה לדרום. יחס זה מבטיח קיר דרומי בשטח המאפשר מיקום החלון בגודלו המומלץ.

#### השינוי בצריכת אנרגיה (קווי"ש לעונה)

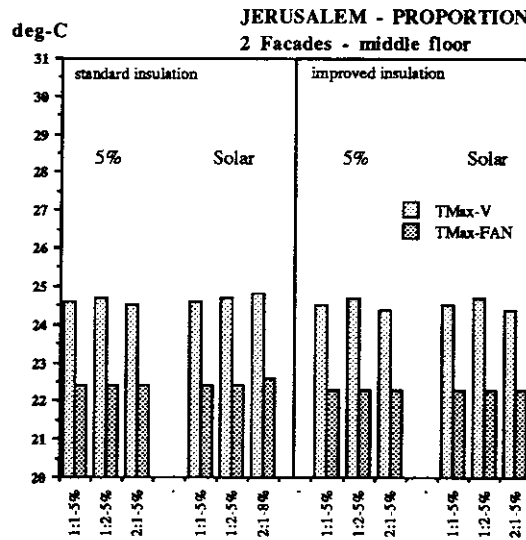
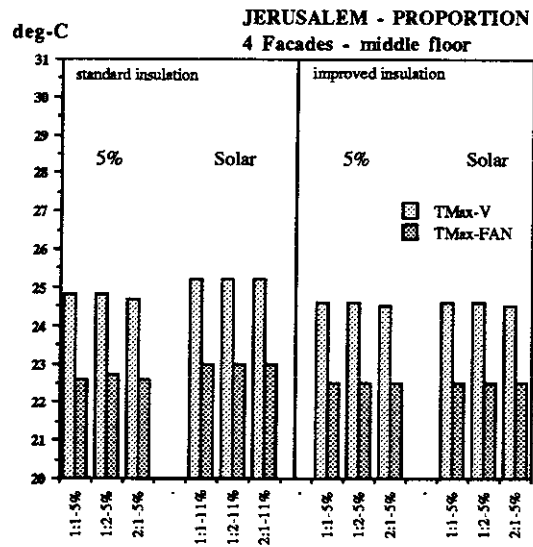
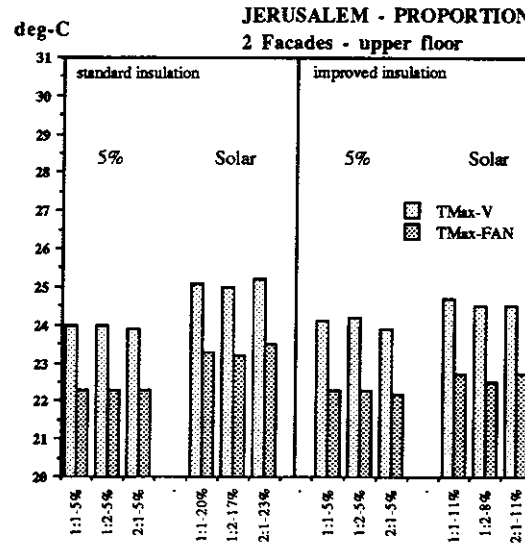
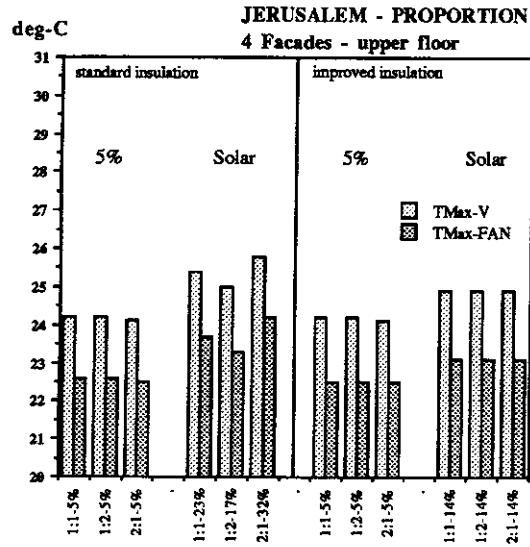
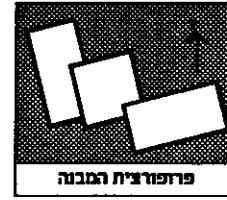
משופר (2m - 4u)	סטנדרטי (2m - 4u)	סטנדרטי - סולרי (4u)	טווח אפשרי
0 - 100	400 - 150	1500	1:2 - 2:1
		200	1.5:1 - 2:1
	150 - 150		1:1 - 1:2
0 - 100			1:2 - 2:1



פרופורצית המבנה

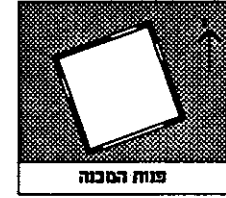


פרופורצית המבנה



### פנות המבנה (אוריינטציה)

לבדיקת השפעת פנות הבנין על צריכת האנרגיה שלו, נבחן המבנה הסטנדרטי והמשופר עם חלונות גדולים בחזית הראשית (חזית חדר המגורים) המגיעים ל-10% משטח הרצפה, כאשר חזית זו פונה כל פעם לכל אחד משמונה הכיוונים הראשיים. כמו כן נבחן המבנה הסטנדרטי עם חלונות בחזית הראשית, המגיעים ל-5% משטח הרצפה.



### סיכום התוצאות

1. משיקולי סה"כ צריכת אנרגיה, אפשר לראות בבירור שעדיפה הפנית הבנין לדרום.
2. משיקולי נוחות תרמית בקיץ ללא מיזוג אוויר, מתקבל שהשפעת פנות הבנין קטנה. זאת מכיון והנחנו בקיץ הצללה יעילה וחשיפה טובה לשמש החורפית. כלומר, השפעת פנות הבנין קיימת רק כשישנם חלונות שאינם מוצללים (כמו בחורף) ולא כתוצאה ממעטפת בנין אטומה שאינה מוצללת. הפנות העדיפה היא דרום וצפון.
3. בבדיקה חוזרת שנעשתה ללא הצללת החלונות בקיץ, התקבל שעדיפה הפנית הבנין לדרום ואחר כך לצפון. יש כמו כן להדגיש שכיוון המזרח עדיף על המערב.
4. השפעת פנות הבנין גדולה גם כאשר מעטפת הבנין מבודדת טוב יותר או בעלת שטח פנים קטן יותר. כלומר, ההשפעה אינה תלויה בפרמטרי התכנון הקשורים למעטפת האטומה אולם מושפעת מגודל החלונות. ככל שהחלון גדול יותר השפעת השוני בפנות הבנין גדלה.
5. השפעת פנות הדירות הפנימיות בקומה האמצעית קטנה, היות וכמעט אין צורך לחמם דירות אלו בחורף, גם כאשר משאירים את החלונות בגודל המינימלי כמומלץ ע"י משרד הבינוי והשיכון.

### המלצות

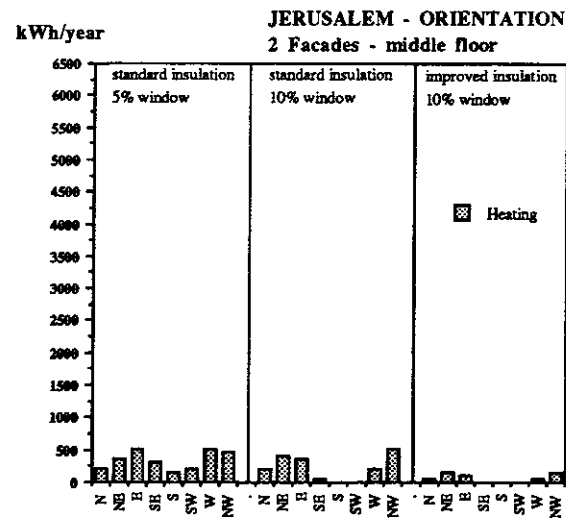
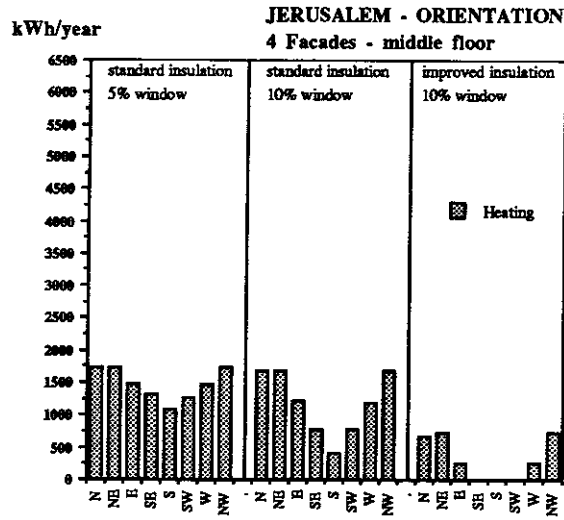
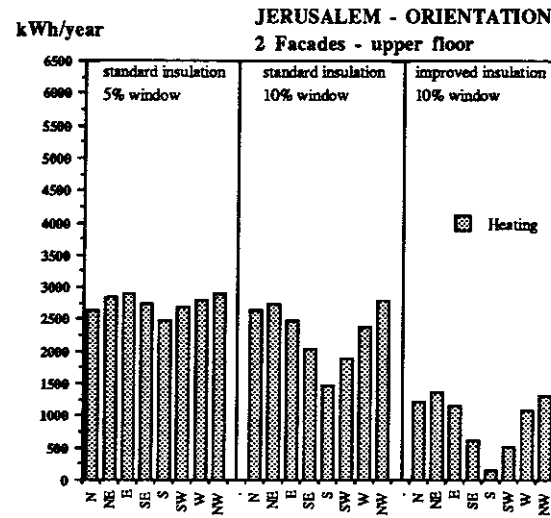
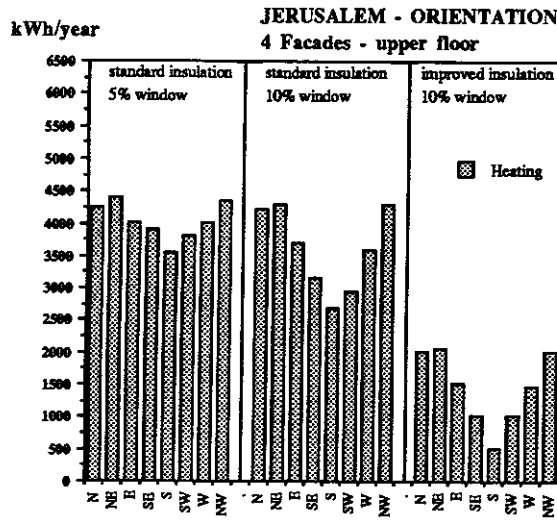
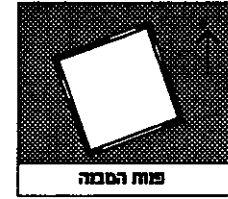
- \* קיימת חשיבות רבה להפנית החזית הראשית לדרום למעט דירות פנימיות של הקומה האמצעית.
- \* כאשר אין הצללת חלונות יעילה בקיץ, עדיף כיוון הדרום והצפון על המזרח והמערב, והמזרח עדיף על המערב.
- \* עקב הצורך באיורור לילה טבעי טוב, רצוי להפנות את החזית הראשית, או הנגדית לה, לכיוון הרוח השלטת בשעות הערב והלילה. כיוון זה הוא צפון-מערב עד מערב. הפנית החזית הראשית לכיוון דרום-מזרח (רצוי עד 20 מעלות מזרחה לדרום) תיתן פתרון העונה בצורה טובה על דרישות האיורור והקרינה.

### השינוי בצריכת אנרגיה (קור"ש לעונה)

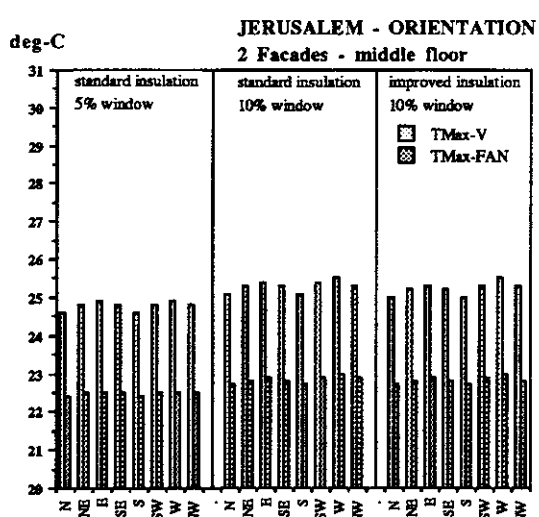
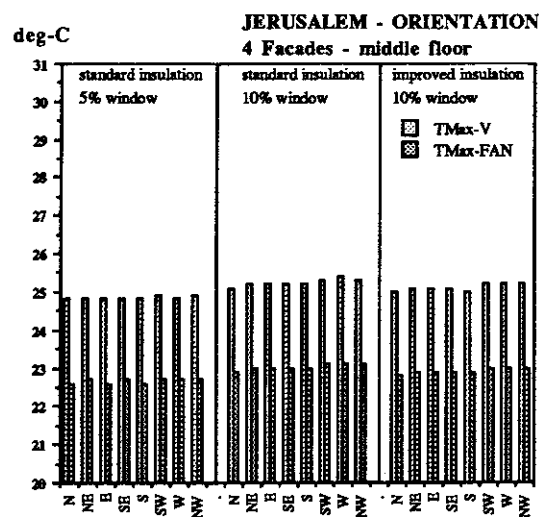
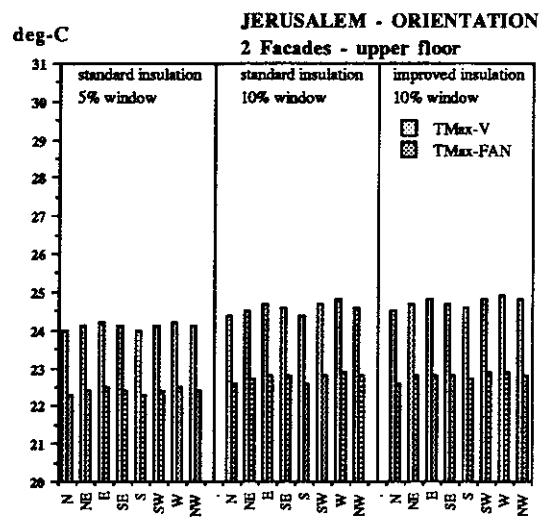
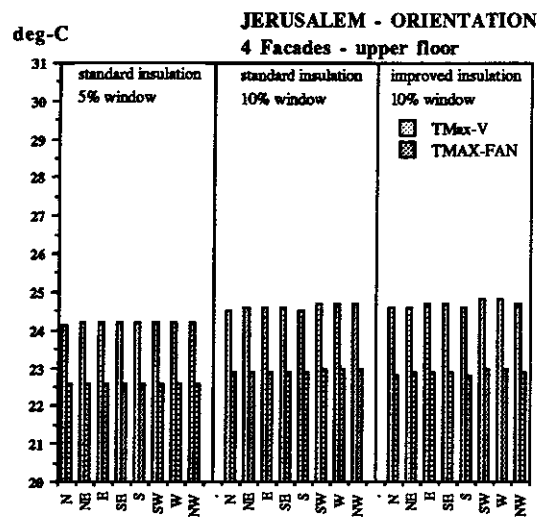
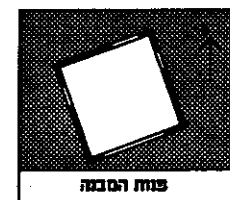
משופר (2m - 4u)	סטנדרטי (2m - 4u)	10% =	חלון חזית ראשית
150 - 1550	500 - 1600		טווח אפשרי
300	300		טווח מומלץ (4u)
	300		טווח מומלץ (2m)
150			טווח מומלץ (2m) חופשי

30	דרום	+30
סטנדרטי: 90	דרום	+90
משופר: חופשי		
30	דרום	+30

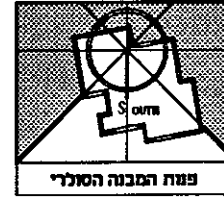
פנות המבנה (אוריינטציה)



פנות המבנה (אוריינטציה)







### פנות המבנה הסולרי

לבדיקת השפעת פנות המבנה הסולרי על צריכת האנרגיה שלו, נבחנו הדירות כאשר הן בעלות חלונות גדולים בחזית הראשית (חזית חדר המגורים), בהתאם להמלצות שנקבעו עבור שטח רצוי לחלון דרומי. בבדיקה זו התבצע סבוב הבנין כל 10 מעלות החל מ-45° מזרחה מהדרום (135) ועד-45° מערבה ממנו (225). כמו כן נבחן המבנה הסטנדרטי, כאשר החלונות בחזית הראשית מגיעים ל-10% משטח הרצפה. בדיקה דומה התבצעה עבור הדירות בקומה האמצעית, אלא שכאן החלונות בחזית זו נקבעו בהתאם לגודל סטנדרטי של 5%.

### סיכום התוצאות

1. מבדיקת צריכת האנרגיה לחימום דירות הגג והעמודים אפשר לראות שקיימת חשיבות רבה להפנית החזית הראשית לדרום עם אפשרות לסטיה עד-30° מערבה מהדרום ו-20° מזרחה לו. כלומר עדיפה הפניה מערבה לדרום מאשר מזרחה לו. נציין שהדרום המדויק עדיף בצורה ניכרת.
2. מבדיקת צריכת האנרגיה של דירות הקומה האמצעית, אפשר לראות שדירות אלו כמעט ואינן צורכות אנרגיה לחימום. כתוצאה, השפעת פנות הבנין בטווח הגזרה הדרומית היא מזערית. כלומר, קיימת אפשרות לסטיה של עד-45° מהדרום, מבלי לשנות בהרבה את סה"כ צריכת האנרגיה של הדירה.

### המלצות

- \* בדירות גג ועמודים קיימת חשיבות רבה להפנות את הבנין הסולרי לדרום, עם אפשרות לסטיה של עד-30° מערבה מהדרום ו-20° מזרחה לו.
- \* בקומה האמצעית אין כמעט השפעה לפנות הבנין בטווח הגזרה הדרומית. בדירות הגמלוניות קיימת אפשרות לסטיה של עד-45° מהדרום ואילו בפנימיות ההפניה יכולה להיות חופשית.
- \* עקב הצורך באיורור לילה טבעי טוב, רצוי להפנות את החזית הראשית של הבנין הסולרי לכיוון דרום-מזרח (עד 20 מעלות מזרחה לדרום), על מנת שהחזית הנגדית תפנה לכיוון הרוח השלטת. פנות זו עונה בצורה טובה על דרישות האיורור והקרינה.

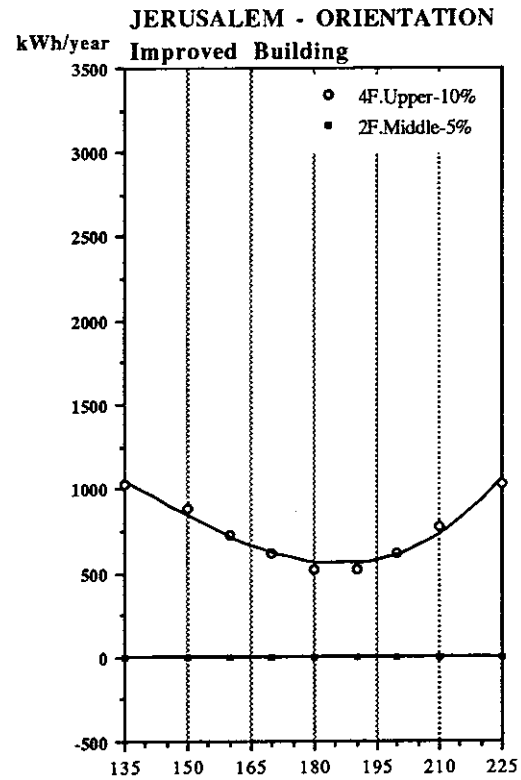
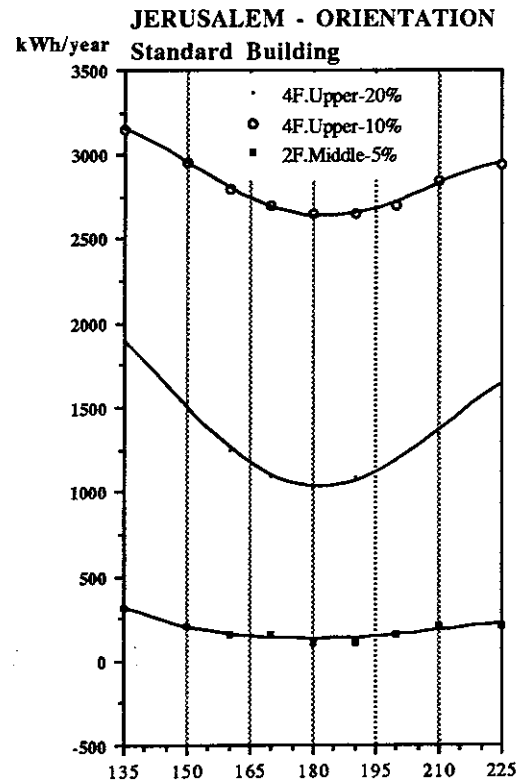
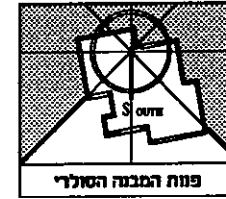
### השינוי בצריכת אנרגיה (קווי"ש לעונה)

סטנדרטי (2m:5% - 4u:20%)	משופר (2m:5%-4u:10%)
200 - 900	0 - 500
300	250
200	0

חלון חזית ראשית = בהתאם להמלצות	טווח אפשרי
דרום +45 מעלות	טווח מומלץ (4u)
דרום +30 - 20 מעלות	טווח מומלץ (2m)
דרום +45 מעלות	טווח מומלץ (2m)
חופשי	

דרום +30	-20
סטנדרטי: דרום +45	חופשי: דרום +30
דרום +30	-20

פנות המבנה הסולרי



# פרק ג: אזור אקלים תל אביב: אנליזה פרמטרית, המלצות וקוים מנחים

## הקדמה

בדיקת השפעת פרמטרי התכנון השונים על ביצועיו האקלימיים של הבנין מתבצעת בפרק זה עבור אזור אקלים שפלת החוף שהוא אקלים חם-לח. אזור זה מכונה בתקן 1045 לכידוד תרמי אזור א' וכולל את רצועת החוף ופנים מישור החוף. בצפון הארץ מגיע רוחב אזור זה לעד כ-10 ק"מ ואולם במקומות רבים במרכז ובדרום יכול להתרחב עד כ-30 ק"מ. קו הגובה של עד 200 מ' מעל פני הים קובע את גבולותיו ממזרח. לאזור זה משתייכים הישובים הבאים: ארז, אשדוד, אשקלון, בית דגן, גדרה, גילת, הרצליה, זכרון יעקב, חדרה, חיפה, חניתה, כפר סבא, לוד, נהריה, ניר יצחק, ניר עוז, נתניה, עכו, פרדס חנה, פתח-תקוה, קריות-חיפה, קרית-אתא, קרית-מלאכי, ראש הנקרה, ראש העין, ראשון לציון, רחובות, רמלה, שלומי, תל-אביב. אזור שפלת החוף מאופיין ע"י אקלים ממוזג בחורף וחם-לח בקיץ ומיוצג בעבודה זו ע"י נתוני אקלים תל אביב.

## אקלים תל אביב טמפרטורה ולחות

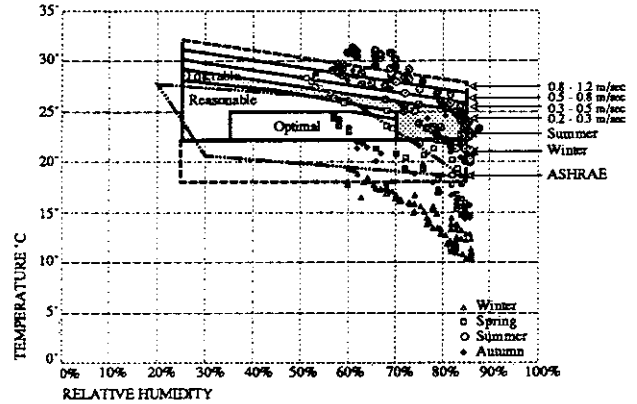
בתמונה 1 מוצגת מפה ביו-אקלימית לתל אביב, המבוססת על תנאי הנוחות התרמיים כשם שמוגדרים ע"י שפירא (1989) וע"י ה-ASHRAE (1989). כל נקודה במפה זו מציגת את תנאי הנוחות בחודש ושעה נתונים. התנאים נקבעים לפי הטמפרטורה והלחות היחסית לשעה זו. המפה מראה כי החורף קריר ולח ויש צורך בחימום הבנין אולם לא בצורה ממושכת כמו באזור ההר. הקיץ לעומת זאת חם ולח מאד. נציין שבתנאי לחות אלה, ללא איורור נוחות, ניתן להרגיש בנוח בטמפרטורה של עד 25 מ"צ. במידה ונגביר את מהירות הרוח עד 0.8 מ/שניה, אפשר להרגיש בנוח בטמפרטורה של עד כ-27 מ"צ. איורור נוחות בבנין מאפשר לכן להאריך את התקופה שבה אין צורך במיזוג אויר, אך קשה לבטל את הצורך בו לחלוטין, בעיקר מהסיבה שהלחות היחסית גבוהה מאד.

## משטר הרוחות

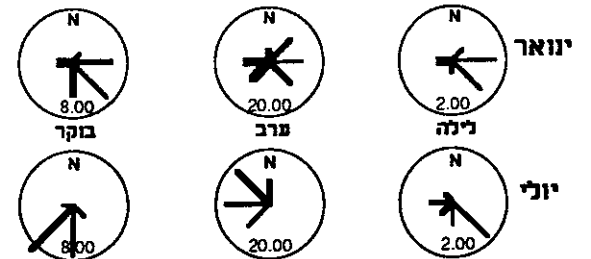
משטר הרוחות באזור שפלת החוף מושפע מאוד בעונת הקיץ מהבריזה הים תיכונית ופחות מאפיק המפרץ הפרסי. כתוצאה, הרוח השלטת בבוקר היא מדרום עד דרום מערב, בצהרים מהגזרה המערבית ובערב בעיקר מהגזרה המערבית עד הצפונית. בשעות הלילה המוקדמות כמעט ולא נושבת רוח כלל. לאחר חצות מתפתחת בריזה יבשתית והרוח או נושבת מכיוון דרום מזרח (ראה תמונה 2). בחורף, משטר הרוחות אינו יציב כמו בקיץ והרוח נושבת בכיוונים שונים, כאשר עוצמתה החזקה היא בעיקר מהגזרה המערבית (ביתן ורובין, 1991).



אזור א



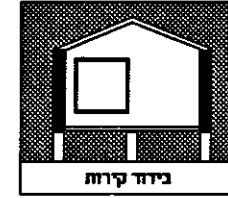
תמונה 1. מפה ביו-אקלימית



תמונה 2. סכימת משטר הרוחות בחורף ובקיץ

## בידוד קירות המבנה

לקביעת השפעת בידוד הקירות על ביצועי התרמיים של הבנין נבדק המבנה הבסיסי הבנוי מקיר המבודד בצורה סטנדרטית (בלוקי איטונג) ומקיר מבלוקי בטון המבודדים כלפי חוץ בפוליאוריטן מוקצף. במקרה השני, המסה התרמית פונה לחדר ואילו הבידוד פונה כלפי חוץ (נספח ג). שכבת הפוליאוריטן המוקצף נבדקה בעובי של 0-3 ס"מ. הגג בשני המקרים בנוי עם בידוד משופר.



## סיכום התוצאות

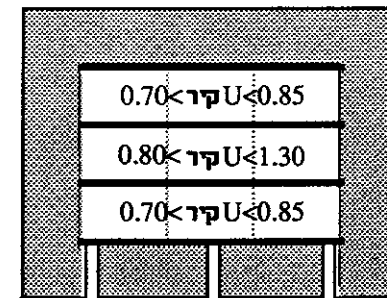
1. בדירות הגג והעמודים קיים חסכון ניכר בצריכת האנרגיה של הבנין לחימום כאשר משפרים את הבידוד עד לעובי של 2.5 ס"מ, אולם אין כלל שיפור בהתנהגות הבנין בקיץ. לכן אין טעם בבידוד מעבר לעובי זה. עובי זה נקבע כמבנה המשופר שנבדק בהמשך. רצוי  $0.7 < U < 0.85$  ווט/מ"ר/מ"צ.
2. בדירות האמצעיות קיים חסכון קטן בצריכת האנרגיה השנתית של הבנין הפונה בכיוון מזרח-מערב, כאשר מוסיפים 1 ס"מ בידוד לקירות הבטון. חסכון זה נובע מביטול הצורך בחימום הדירה בחורף. אולם, כאשר הבנין פונה בכיוון צפון-דרום, אין כלל חסכון באנרגיה שנתית, למרות שהצורך בחימום הדירה מתבטל. נציין, שצריכת האנרגיה הקטנה לחימום הדירה, הבנויה מבלוקי בטון ללא בידוד, עשויה להיות מסופקת ע"י הגדלת החלון הדרומי. בידוד בעובי של 2 ס"מ, הנותן רמה דומה לזו המומלצת ע"י משרד הבינוי והשיכון, הוא מעבר לדרוש. כלומר, בדירות אלו יש צורך לבדוד את קירות החוץ מעט פחות מהבידוד הסטנדרטי. רצוי  $0.8 < U < 1.3$  ווט/מ"ר/מ"צ.
3. שיפור בידוד המבנה מועיל בקיץ רק כאשר הבנין מאוורר היטב.
4. כאשר המסה התרמית פונה לחדר ומבודדת כלפי חוץ ברמת בידוד זהה לקיר הסטנדרטי (2 ס"מ), אין הבדל ניכר בתנאי הנוחות או בהשקעת האנרגיה הדרושה בהשוואה למתקבל בבנין הבנוי מקיר סטנדרטי.
5. גם כאשר מופעל איורור לילה ע"י מפוח, מתקבלת בקיץ ללא מיזוג אויר, טמפרטורה הגבוהה מתחום הנוחות (גבוהה מ-26 מ"צ). לכן, ההמלצות לגבי הבידוד המועדף יקבעו בהתאם לדרישות שה"כ צריכת האנרגיה לחימום וקירור.

## המלצות

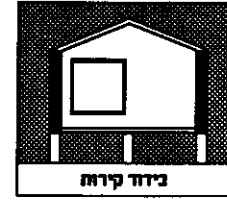
- \* בדירות הגג והעמודים יש לבדוד את קירות החוץ ברמה העולה במקצת על רמת הבידוד הסטנדרטי. רצוי  $0.7 < U < 0.85$  ווט/מ"ר/מ"צ.
- \* בדירות הפנימיות אין צורך לבדוד את קירות החוץ מעבר לרמת בידוד סטנדרטי. רצוי  $0.8 < U < 1.3$  ווט/מ"ר/מ"צ.

## השינוי בצריכת אנרגיה (קו"ש לעונה)

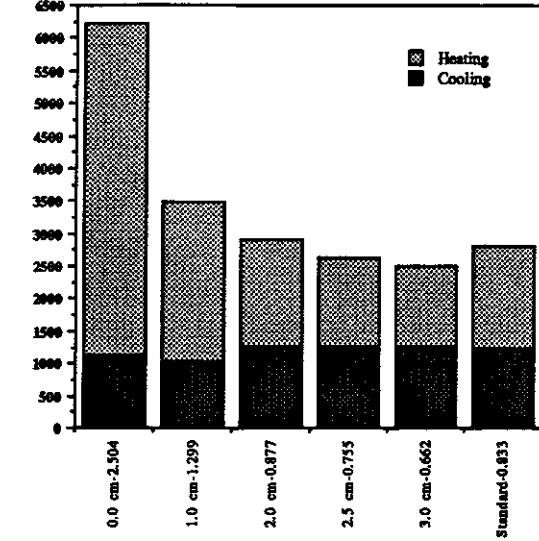
גג משופר (4u - 2m)	טווח אפשרי	$0.70 < U < 1.80$ ווט/מ"ר/מ"צ
300-2000	טווח מומלץ (4u)	$0.70 < U < 0.85$ ווט/מ"ר/מ"צ
300	טווח מומלץ (2m)	$0.80 < U < 1.30$ ווט/מ"ר/מ"צ
150		



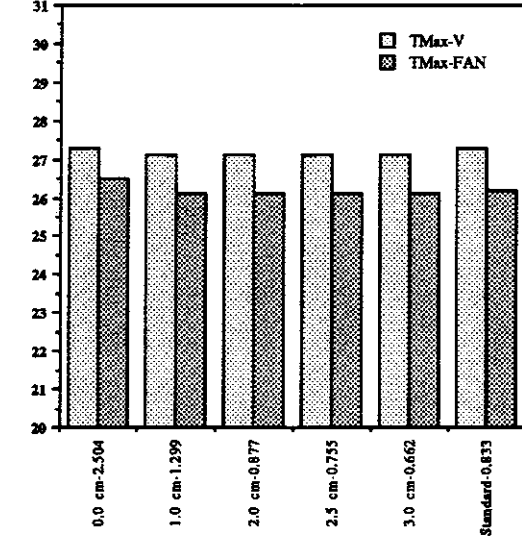
בידוד קירות המבנה



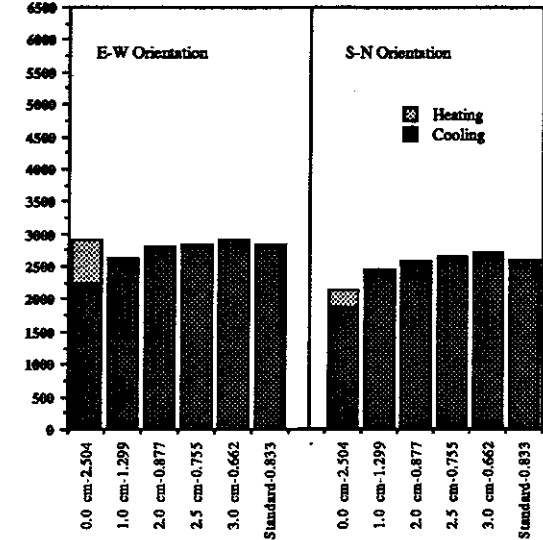
TEL AVIV - WALL INSULATION  
4 Facades - upper floor



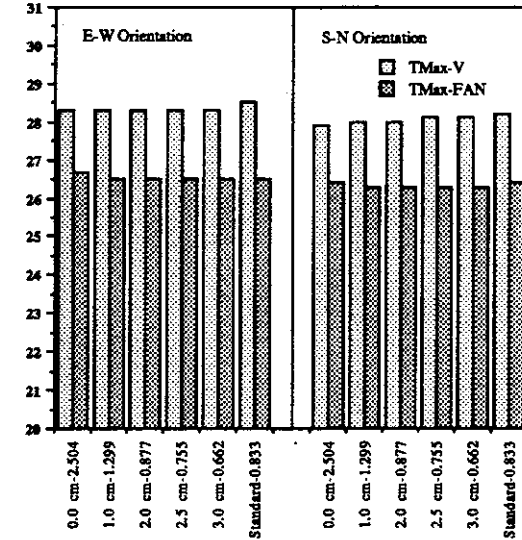
TEL AVIV - WALL INSULATION  
4 Facades - upper floor

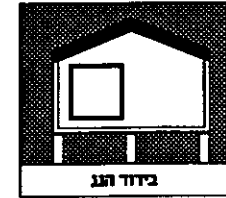


TEL AVIV - WALL INSULATION  
2 Facades - middle floor



TEL AVIV - WALL INSULATION  
2 Facades - middle floor





## בידוד גג המבנה

לקביעת השפעת בידוד הגג על ביצועיו התרמיים של הבנין נבדק המבנה הבסיסי הבנוי מקיר משופר, כאשר הגג מבודד בצורה סטנדרטית ובצורה משופרת. הגג המשופר דומה לסטנדרטי אלא שהבידוד הוא פוליאוריטן מוקצף (נספח ג). עובי שכבת הפוליאוריטן המוקצף נבדק בתחום של 1-4 ס"מ.

### סיכום התוצאות

- קיים חסכון בצריכת האנרגיה השנתית של הבנין, כאשר משפרים את בידוד הגג מעבר למומלץ ע"י משרד הבינוי והשיכון. חסכון זה משמעותי רק עד לעובי של 3 ס"מ בידוד. לכן, עובי זה נקבע כמבנה המשופר שנבדק בהמשך ( $U < 0.72$  ווט/מ"ר/מ"צ).
- שיפור בידוד הגג מרע את התנהגותו בקיץ. רצוי לכן שהגג יהיה מבודד היטב אך לא בהגזמה.  $0.6 < U < 0.8$  ווט/מ"ר/מ"צ.
- מכיון ולא ניתן להשיג בקיץ, ללא מיזוג אויר, טמפרטורה הנמוכה מ-25.5 מ"צ (שהיא טמפרטורה בתחום הנוחות), ההמלצות לגבי הבידוד המועדף יקבעו לפי סה"כ צריכת האנרגיה השנתית, שבמקרה של תל אביב שווה לצריכת האנרגיה לחימום וקירור.

### המלצות

- יש לבדוד את הגג אך לא בהגזמה.
- רצוי  $0.6 < U < 0.8$  ווט/מ"ר/מ"צ.

### השינוי בצריכת אנרגיה (קווי"ש לעונה)

קיר משופר (4u)

1700

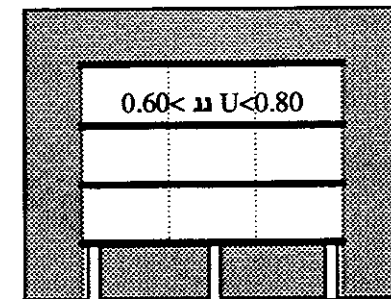
300

$0.6 < U < 1.5$  ווט/מ"ר/מ"צ

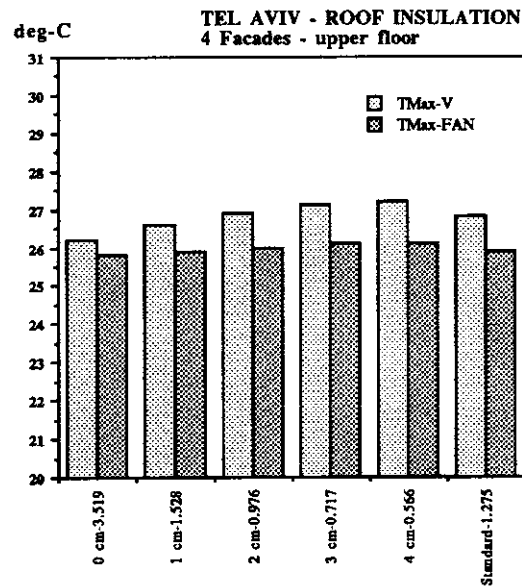
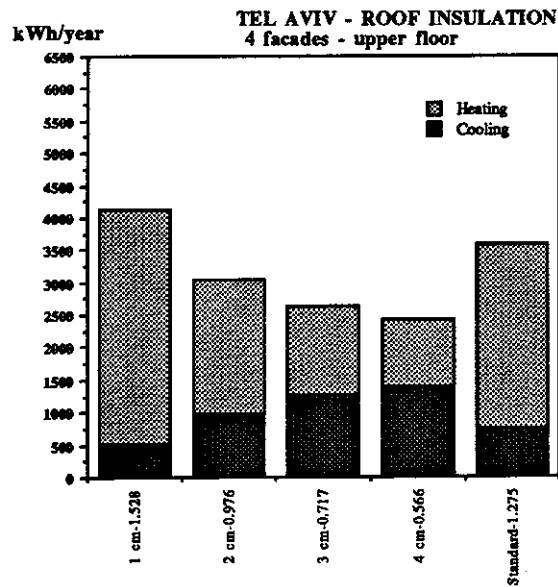
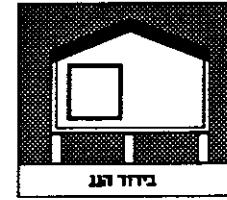
טווח אפשרי

$0.6 < U < 0.8$  ווט/מ"ר/מ"צ

טווח מומלץ



בידוד גג המבנה



## בידוד רצפת קומת העמודים

לקביעת השפעת בידוד רצפת קומת העמודים על ביצועיו התרמיים של הבנין נבדק המבנה הבסיסי הבנוי מקיר משופר, כאשר הרצפה מבודדת בצורה סטנדרטית ובצורה משופרת. ברצפה המשופרת הבידוד הנבדק הוא פוליאוריטן מוקצף (נספח ג) בעובי המשתנה בתחום של 1-3 ס"מ.



## סיכום התוצאות

1. קיים חסכון ניכר בצריכת האנרגיה השנתית של הבנין, כאשר משפרים את בידוד הרצפה מעבר למומלץ ע"י משרד הבינוי והשיכון. חסכון זה משמעותי עד לעובי של 2 ס"מ בידוד. עובי זה נקבע כמבנה המשופר שנבדק בהמשך ( $U = 0.96$  ווט/מ"ר/מ"צ).
2. שיפור בידוד רצפת הבנין מרע את התנהגותו בקיץ. רצוי לכן שרצפת הבנין תהיה מבודדת היטב אך לא בהגזמה.  $0.7 < U < 1.0$  ווט/מ"ר/מ"צ.
3. מכיון ולא ניתן להשיג בקיץ, ללא מיוזג אויר, טמפרטורה הנמוכה מ-25.5 מ"צ (שהיא טמפרטורה בתחום הנוחות), לכן ההמלצות לגבי הבידוד המועדף יקבעו לפי סה"כ צריכת האנרגיה השנתית, שבמקרה של תל אביב שווה לצריכת האנרגיה לחימום וקרור.

## המלצות

- \* רצפת קומת העמודים חייבת להיות מבודדת היטב אך לא בהגזמה.
- \* רצוי  $0.7 < U < 1.0$  ווט/מ"ר/מ"צ.

## השינוי בצריכת אנרגיה (קווי"ש לעונה)

קיר משופר (4u)

1350

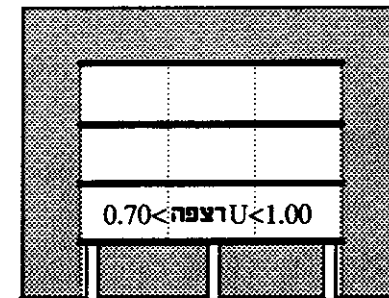
300

 $0.7 < U < 1.5$  ווט/מ"ר/מ"צ

טווח אפשרי

 $0.7 < U < 1.0$  ווט/מ"ר/מ"צ

טווח מומלץ

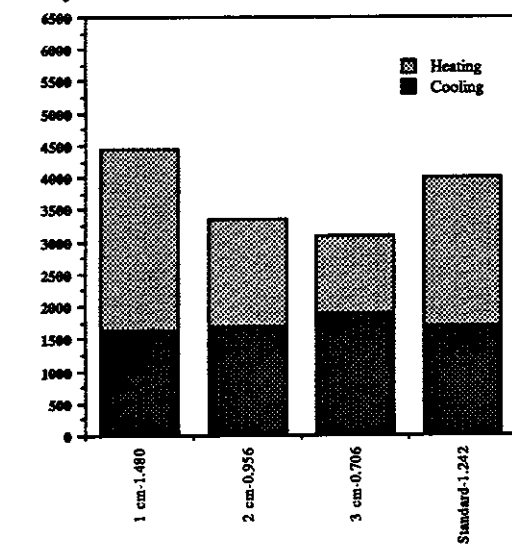




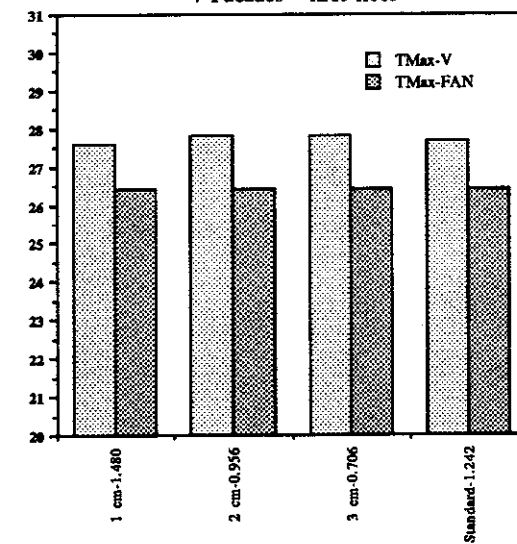
בידוד רצפת קומת העמודים



TEL AVIV - FLOOR INSULATION  
4 Facades - first floor



TEL AVIV - FLOOR INSULATION  
4 Facades - first floor



## חדירת אויר (אינפילטרציה)

לקביעת השפעת חדירת אויר דרך סדקים בבנין (אינפילטרציה) על ביצועיו התרמיים נבדק מבנה הבנוי מקיר סטנדרטי ומקיר משופר, כאשר הגג בשני המקרים מבודד בצורה משופרת. מספר החלפות אויר לשעה ביום ובלילה שונה בתחום שבין 0.5 ל-4.0, כאשר מופעל מיזוג אויר. ללא מיזוג אויר, התבצע חיזוי התנהגות הבנין ביום קיץ בצורה דומה ואילו בלילה נקבעו מספר החלפות אויר לשעה ל-4 או 20, בהתאם לאיורור טבעי (TMax-V) או לאיורור בעזרת מפוח (TMax-FAN) בהתאמה. האיורור הטבעי והמפוח פועלים, כאשר הטמפרטורה בחוץ נמוכה מזו שבבנין ולא רק בלילה.

### סיכום התוצאות

1. לחדירת אויר לבנין ישנה השפעה גדולה על צריכת האנרגיה שלו. השפעה זו חזקה בהרבה יותר בחורף מאשר בקיץ. יש להקפיד על איטום טוב של הבנין בעיקר בחורף ובדירות שלהן שטח מעטפת גדול.
2. בדירות הגג והעמודים, בטווח של 0.5 עד 1.0 החלפות אויר בשעה, השינוי המקסימלי בצריכת האנרגיה של הבנין הוא כ- 600 קו"ש בבנין הסטנדרטי ובמשופר. ריצות הסימולציה התבצעו עבור 0.75 החלפות אויר בשעה.
3. בדירות האמצעיות, בטווח של 0.5 עד 2.0 החלפות אויר בשעה, אין כמעט שינוי בצריכת האנרגיה של הבנין. נדגיש כמו כן, שבטווח זה אין כלל צורך לחמם את הדירה.
4. המבנה הסטנדרטי והמבנה המשופר מושפעים בצורה דומה מהגדלת האינפילטרציה.
5. כאשר אין מפעילים מיזוג אויר עולה הטמפרטורה בדירות עם הגדלת האינפילטרציה.

### המלצות

- \* בדירות בעלות שטח פנים גדול, כגון דירות גג ועמודים, יש להקפיד על איטום טוב של הבנין. רצוי  $0.90 <$  חדירת אויר  $< 0.65$  החלפות אויר/שעה.
- \* בדירות בעלות שטח פנים קטן, כגון דירות אמצעיות, אין צורך להקפיד על איטום טוב של הבנין. רצוי  $1.50 <$  חדירת אויר  $< 0.75$  החלפות אויר/שעה.

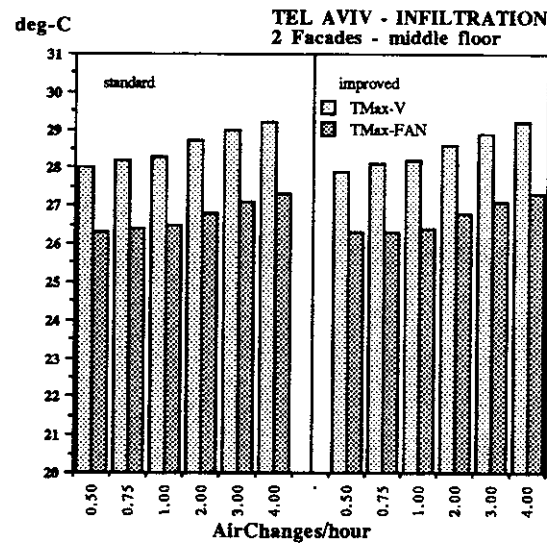
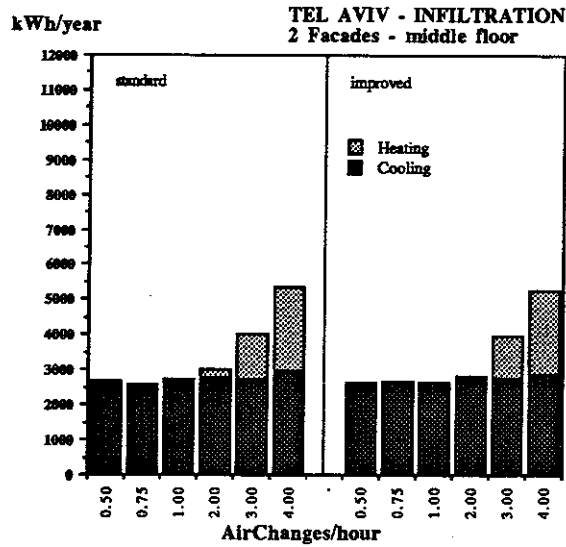
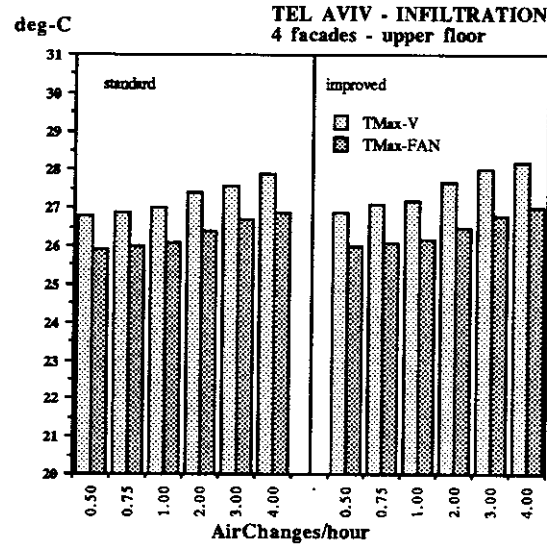
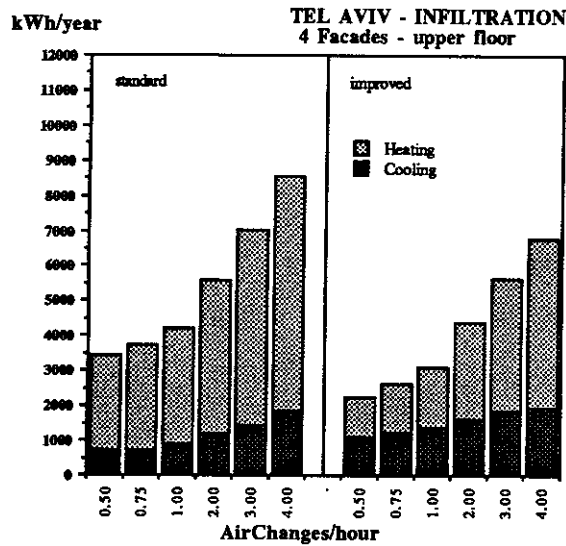
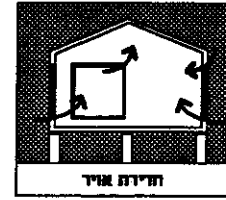
### השינוי בצריכת אנרגיה (קו"ש לעונה)

מספר (2m - 4u)	סטנדרטי (2m - 4u)	טווח אפשרי	טווח מומלץ (4u)	טווח מומלץ (2m)
250 - 2000	400 - 2050	0.6 - 2.0 החלפות בשעה	0.65 - 0.90	0.75 - 1.5
300	300			
50	200			



$0.65 <$ חדירת אויר $< 0.90$
$0.75 <$ חדירת אויר $< 1.5$
$0.65 <$ חדירת אויר $< 0.90$

חדירת אויר (אינפילטרציה)





## איורור המבנה בלילות הקיץ

לקביעת השפעת האיורור הבנין בלילות הקיץ על הטמפרטורה המקסימלית המתקבלת בו, ללא הפעלת מיזוג אויר, נבדק מבנה הבנוי מקיר סטנדרטי ומקיר משופר, כאשר הגג בשני המקרים מבודד בצורה משופרת. מספר החלפות אויר לשעה ביום, בכל חלופת תכנון, נשאר קבוע ושווה ל-0.75. החלפות האויר בלילה שונו מ-0.75 עד 30 החלפות אויר בשעה. איורור לילה שכזה ניתן להשגה או ע"י איורור טבעי או בעזרת מפוח הצורך מעט מאד אנרגיה. האיורור הטבעי והמפוח פועלים כאשר הטמפרטורה בחוץ נמוכה מזו שבבנין ולא רק בלילה.

### סיכום התוצאות

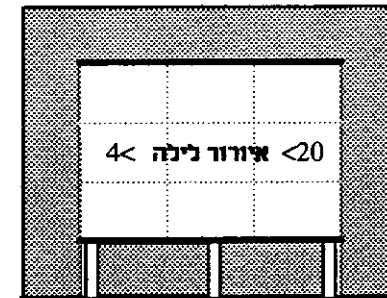
- קיימת ירידת טמפרטורה ניכרת כאשר משפרים את איורור הלילה. הירידה המקסימלית בדירות הגג היא בשיעור של כ-3 מ"צ ובשיעור של יותר מ-6 מ"צ בדירות האמצעיות. ערכים אלו קטנים במקצת בהשוואה לתוצאות שהתקבלו עבור ירושלים.
- רק עם איורור טבעי מתקבלת כמעט בכל חלופות התכנון טמפרטורה גבוהה מ-27 מ"צ. טמפרטורה זו היא מעבר לתחום הנוחות בתל-אביב שבה רמת הלחות היחסית גבוהה. הפעלת מפוח מורידה את הטמפרטורה המקסימלית לכ-26.5 מ"צ. טמפרטורה זו היא עדין מעבר לתחום הנוחות בתל-אביב. אולם, בטמפרטורה זו ניתן ע"י תנועת אויר בשיעור של 0.5 מ/שניה להרגיש בנוח. מהירות אויר שכזו ניתנת בנקל להשגה, מבלי לגרום להפרעות בבנין, ע"י הפעלת מאוורר בשעות היום (שביב, 1989).
- ירידת הטמפרטורה השולית קטנה מעבר ל-20 החלפות אויר בשעה. לכן אין טעם בהפעלת מפוח גדול הנותן איורור רב יותר. איורור זה נקבע כאיורור עם מפוח שנבדק במסגרת עבודה זו.
- בדומה לירושלים, המבנה המשופר שאינו מאוורר מגיע לטמפרטורה מקסימלית גבוהה מזו שאליה מגיע הבנין הסטנדרטי שאינו מאוורר. תופעה דומה נצפתה בדירות שבקומה האמצעית ביחס לדירות הגג. יש על כן צורך להקפיד על איורור טוב ביותר בבנין בעל הבידוד המשופר במיוחד כאשר שטח מעטפת הבנין קטן. כל זאת בתנאי שהלחות היחסית בלילה אינה גבוהה במיוחד.

### המלצות

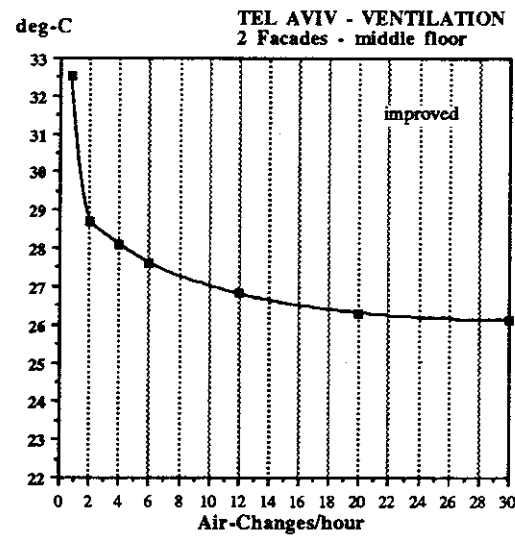
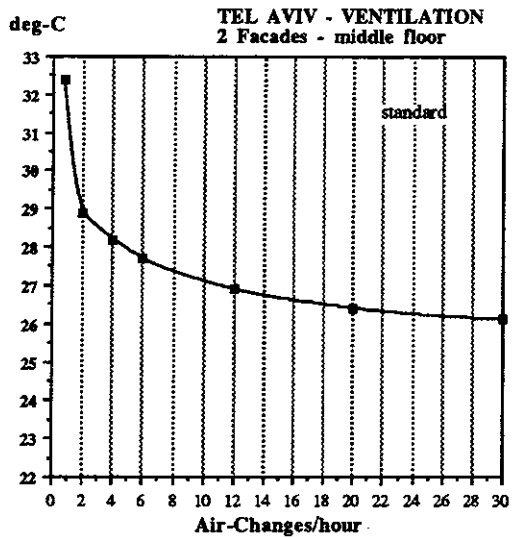
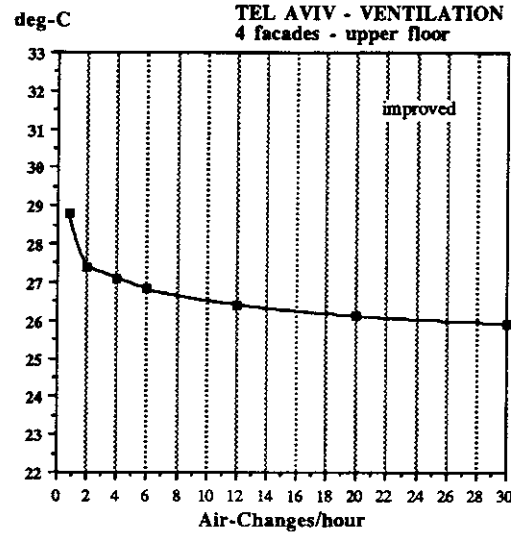
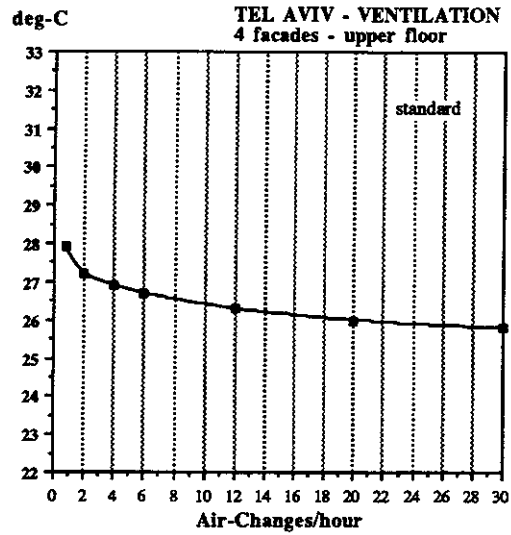
- \* איורור לילה טבעי טוב אינו מספיק להורדת הטמפרטורה בקיץ. יש צורך להפעיל מפוח לקבלת איורור לילה מצוין ובנוסף מאוורר לאיורור נוחות בשעות היום, או לחילופין להפעיל מיזוג אויר.
- \* ככל שהבנין מבודד טוב יותר או בעל שטח מעטפת קטן יותר יש צורך להקפיד על איורור לילה טוב יותר, בתנאי שהלחות היחסית בלילה אינה גבוהה.

### השינוי בטמפרטורה המקסימלית בקיץ (מ"צ)

משופר (2m - 4u)	סטנדרטי (2m - 4u)	0.75 - 30.0 החלפות בשעה	טווח אפשרי
6.4 - 2.9	6.3 - 2.1	4.0 - 20.0 החלפות בשעה	טווח מומלץ
1.8 - 1.0	1.8 - 0.9		



איורור המבנה בלילות הקיץ



## צבע הקירות

לקביעת השפעת גוון קירות הבנין על ביצועיו התרמיים, נבדק המבנה הסטנדרטי והמשופר, כאשר קירותיו צבועים בגוון בהיר, כהה ובגווני ביניים (מקדם החזרה של 0.85, 0.65, ו-0.45 בהתאמה). גוון הגג בכל הבדיקות בהיר, בעל מקדם החזרה גבוה של 0.85.



## סיכום התוצאות

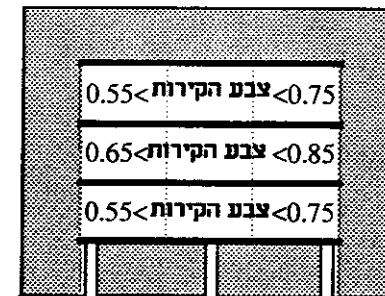
1. בדירת הגג שבמבנה הסטנדרטי שקירותיו כהים, קיים חסכון בצריכת האנרגיה בחורף וגידול בצריכת האנרגיה בקיץ, לעומת המבנה שקירותיו בהירים. מענין לציין שעבור מבנה זה מתקבל אופטימום (לא משמעותי) דוקא עבור גווני הביניים. במבנה המשופר צריכת האנרגיה השנתית כמעט ולא משתנה כלל עם שינוי הגוון.
2. בדירות שבקומה האמצעית של המבנה הסטנדרטי והמשופר, צריכת האנרגיה השנתית היא לקירור בלבד. במקרה זה יש עדיפות קטנה לקירות הבהירים.
3. בכל המקרים מתקבלת טמפרטורה נמוכה יותר בקיץ בבנין בעל קירות בהירים בהשוואה לקירות כהים, אולם השינויים הם קטנים ביותר. כמו כן יש לציין שבניגוד לירושלים, גם כאשר הבנין מאוורר טוב בלילה, מתקבלת בתוך המבנה טמפרטורה שהיא מעבר לתחום הנוחות (כ- 28.5 מ"צ). כאשר מפעילים מפוח בלילה נשארת הטמפרטורה ביום מעל 26 מ"צ. טמפרטורה זו היא מעל לתחום הנוחות, היות ושורת רמת לחות גבוהה בתי"א. אולם, בטמפרטורה זו ישנה אפשרות להשתמש במאוורר להשגת איורור נוחות.
4. יש להדגיש שהשפעת גוון הקירות על הטמפרטורה המתקבלת בקיץ, ללא מיזוג אויר, זניחה מאד ביחס להשפעת איורור הלילה.

## המלצות

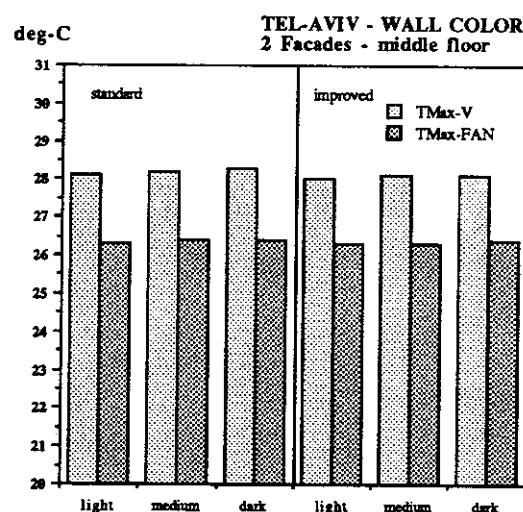
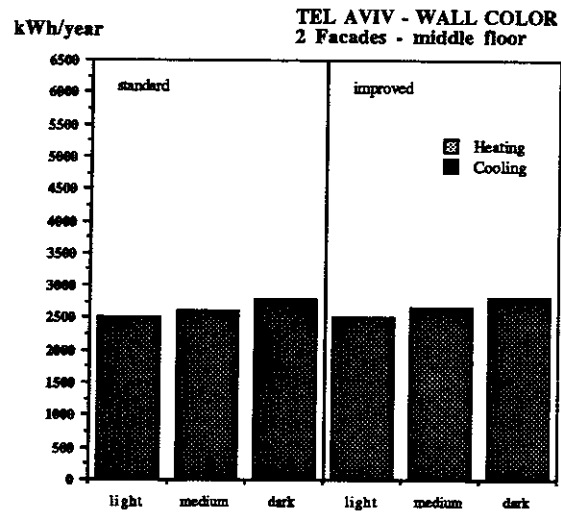
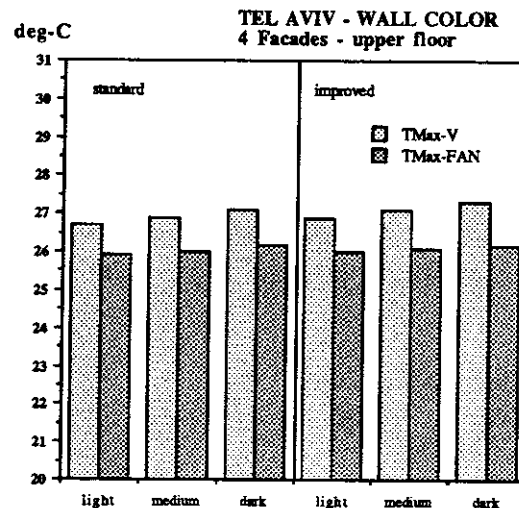
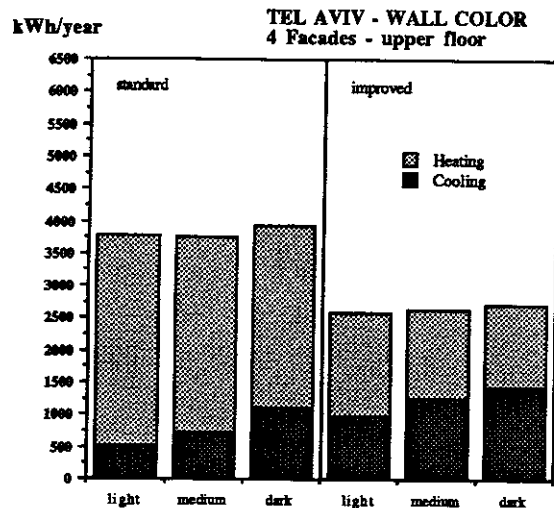
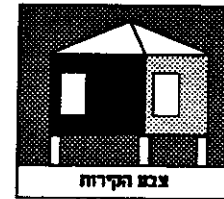
- \* גוון הקירות הרצוי – חופשי, כאשר קיימת עדיפות לגוון בינוני בקומת העמודים והגג ובהיר עד בינוני בקומה האמצעית, זאת על מנת למנוע בהיקות הקירות.
- \* עדיפות ל- 0.75 < מקדם החזרה < 0.55 – בקומת העמודים והגג.
- \* עדיפות ל- 0.85 < מקדם החזרה < 0.65 – בקומה אמצעית.

## השינוי בצריכת אנרגיה (קווי"ש לעונה)

משופר (2m - 4u)	סטנדרטי (2m - 4u)	טווח אפשרי	טווח מומלץ
300 - 100	350 - 150	0.25 < מקדם החזרה < 0.85	0.25 < מקדם החזרה < 0.85
300 - 100	300 - 150	0.55 < מקדם החזרה < 0.85	0.55 < מקדם החזרה < 0.85

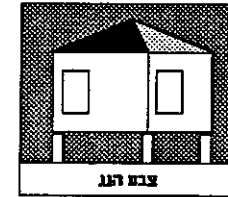


צבע הקירות



## צבע הגג

לקביעת השפעת צבע גג הבנין על ביצועיו התרמיים, נבדקה דירת הגג בעלת ארבע חזיתות, כאשר הגג צבוע בלבן, בשחור ובצבעי ביניים. הבדיקה נערכה עבור המבנה הסטנדרטי והמשופר. הקירות בכל המקרים צבועים בגוון בינוני בעל מקדם החזרה של 0.65.



## סיכום התוצאות

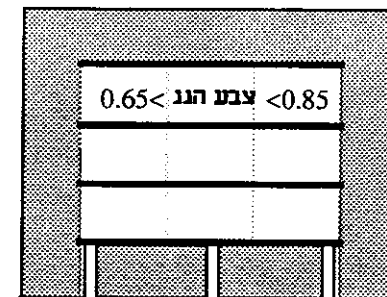
1. במבנה עם הגג בעל הגוון הבהיר, קיים חסכון בצריכת האנרגיה בקיץ וגידול בצריכת האנרגיה בחורף. מכיון והחסכון בקירור בקיץ גדול יותר מאשר הגידול בצריכת האנרגיה לחימום בחורף, מתקבל שקיים חסכון משמעותי בצריכת אנרגיה שנתית של שני סוגי המבנים בעלי הגג הבהיר. תופעה זו קיימת עד למקדם החזרה של 0.85. מקדם החזרה זה נקבע לכל המבנים שנבדקו בהמשך.
2. בקיץ מתקבלת תמיד טמפרטורה נמוכה יותר בבנין בעל הגג הלבן מאשר בבנין בעל הגג הכהה, אולם בכל המקרים לא מושגת טמפרטורה בתחום הנוחות ללא מיזוג אויר (פחות מ-25 מ"צ).
3. יש להדגיש שהשפעת צבע הגג על הטמפרטורה המתקבלת בקיץ ללא מיזוג אויר משמעותית מאד, אפילו ביחס להשפעת איורור הלילה. כאשר הגג צבוע בסיד טרי ניתן כמעט להגיע לתנאי נוחות, ללא מיזוג אויר, אלא רק עם איורור לילה יעיל המתקבל בעזרת מפוח (פחות מ-26 מ"צ).
4. מכיון ובת"א קשה בקיץ להשיג תנאי נוחות תרמיים ללא מיזוג אויר, יקבעו ההמלצות לגבי הגוון המועדף בהתאם לדרישות סה"כ צריכת האנרגיה השנתית, שבמקרה של ת"א שוות לצריכת האנרגיה לחימום ולקירור.
5. מענין לציין את השוני בתוצאות שהתקבלו עבור צבע הגג וצבע הקירות. מכיון והגג מקבל את מרבית הקרינה בקיץ, כאשר זו אינה רצויה, התקבל שהצבע הלבן לגג עדיף בצורה משמעותית. לעומת זאת לא התקבלה המלצה משמעותית לגבי צבע הקירות.

## המלצות

- \* גוון הגג הרצוי – בהיר ככל האפשר. יש צורך לסייד הגג בתחילת כל קיץ על מנת לשמור על מקדם החזרה בערך ממוצע גבוה של 0.85.
- \* רצוי  $0.85 > \text{מקדם החזרה} > 0.65$ .

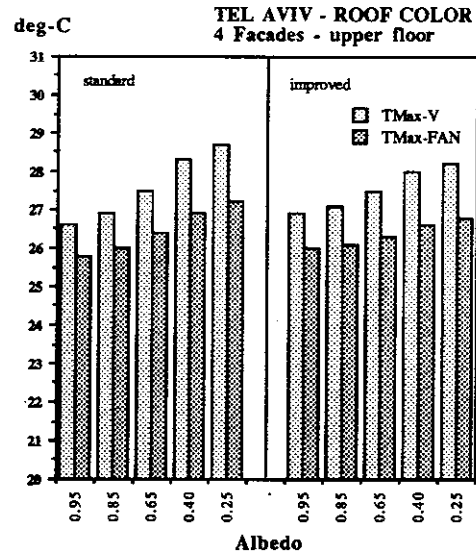
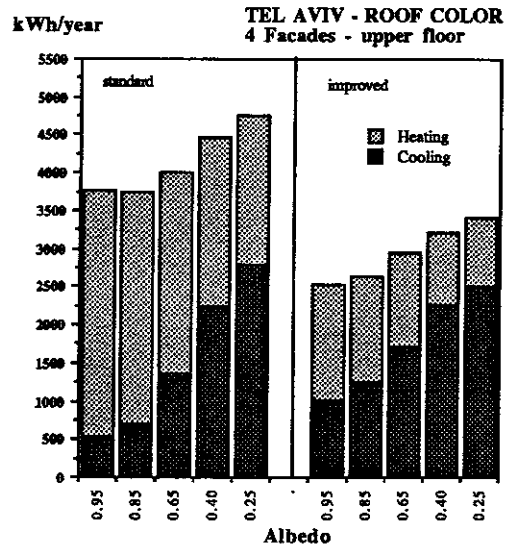
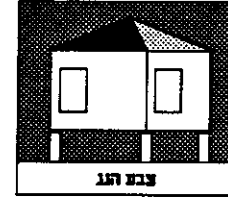
## השינוי בצריכת אנרגיה (קו"ש לעונה)

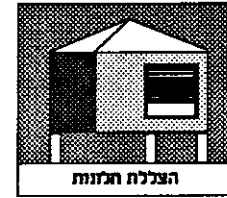
משופר (4u)	סטנדרטי (4u)	$0.85 > \text{מקדם החזרה} > 0.25$	טווח אפשרי
750	1000	$0.85 > \text{מקדם החזרה} > 0.65$	טווח מומלץ
300	250		





צבע הגג





## הצללת חלונות

לקביעת השפעת הצללת חלונות הבנין על התנהגותו התרמית, נבדקו החלונות בקיץ ובחורף כאשר הם חשופים לשמש ברמות שונות. מקדם ההצללה (s.c.) בקיץ ובחורף שונה בטווח של 0.90 עד 0.70 לקרינה ישירה ומפוזרת (מסומן בגרף ע"י 90.90, 70.70) ומ-0.50 עד 0.10 לקרינה ישירה, כאשר הקרינה המפוזרת קבועה ברמה של 0.50 על מנת להבטיח תאורת יום מספיקה (מסומן בגרף ע"י 50.50, 30.50, 10.50). כמו כן נבדק חלון החשוף לשמש החורפית, אולם מוצלל היטב בקיץ (מופיע כעמודה ראשונה בגרף ומסומן ע"י 10.50, 90.90). הצללה שכזו ניתנת להשגה ע"י תריס גלילה בעל דופן נפתחת, או תריס נגרר בעל שלבים נפתחים המקובלים בבתי מגורים בישראל.

### סיכום התוצאות

- קיימת ירידת טמפרטורה משמעותית בבנין, כאשר משפרים את הצללת החלונות בקיץ. בכל דירות הגג שנבדקו מגיעה ירידה זו ליותר מ-1.5 מ"צ, כאשר קיים בלילה איורור טבעי, ולכ-1 מ"צ, כאשר קיים בלילה איורור ע"י מפוח. נציין, שתרומת ההצללה להפחתת הטמפרטורה המקסימלית בבנין דומה לזו המתקבלת ע"י איורור לילה ע"י מפוח, בהשוואה לאיורור לילה טבעי.
- יש לציין שהשפעת הצללת החלונות בקיץ על ההפחתה בצריכת האנרגיה לקירור משמעותית ביותר. הפחתה זו מגיעה ליותר מ-1000 קו"ש לעונה, כאשר החלונות בחזית הדרומית הראשית שווים ל-5% משטח הרצפה וליותר מ-1500 קו"ש לעונה, כאשר החלונות בחזית זו שווים ל-10% משטח הרצפה. כלומר בבנינים בהם מתכוונים להפעיל מיזוג אויר, יש להקפיד על הצללת חלונות יעילה. מכיון ובתל-אביב קשה להשיג בקיץ, ללא מיזוג אויר, טמפרטורה בתחום הנוחות, יש לשער שהדיירים יפעילו מזגן אויר.
- חשיפת החלונות לשמש החורפית בעלת חשיבות רבה מאד ויכולה להפחית ביותר מ-2500 קו"ש לעונה. על כן יש להקפיד על אי הצללת החלונות בחורף. הבדיקות במסגרת מחקר זה בוצעו עבור ערכי מקדמי הצללה של 0.10 ו-0.50 לקיץ, ו-0.90 ו-0.90 לחורף (המספר הראשון משמאל הוא עבור קרינה ישירה והשני עבור קרינה מפוזרת). הצללה שכזו ניתנת להשגה ע"י תריס לפתיחה, כנדרש ע"י משרד הבינוי והשיכון.

### המלצות

- \* בדירות הגג והעמודים, יש להקפיד בקיץ על הצללת חלונות יעילה ע"י תריס הניתן לפתיחה מלאה, על מנת לאפשר חשיפת מירבית של החלונות לשמש החורפית.
- \* בדירות שבקומה האמצעית, יש להקפיד על הצללת חלונות יעילה בקיץ, אולם אין חשיבות לחשיפת החלונות לשמש החורפית.
- \* בכל הדירות רצוי מקדם הצללה לקיץ הקטן מ-0.30 לקרינה ישירה ו-0.50 לקרינה מפוזרת. רק בדירות הגג והעמודים רצוי מקדם הצללה לחורף הגדול מ-0.80.

השינוי בצריכת אנרגיה (קו"ש לעונה)

סטנדרטי (4u - 2m)

חלון חזית ראשית = 10% משטח רצפה

משופר (4u - 2m)

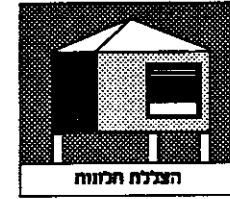
1800 - 2900  
50 - 300  
0 - 2050  
250

1950 - 2400  
150 - 300  
0 - 2450  
300

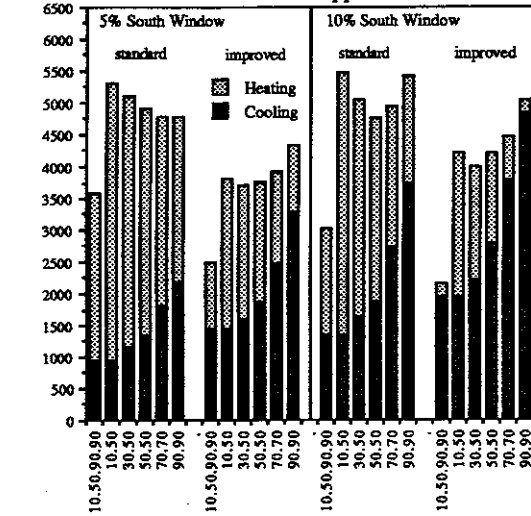
10.50-90.90 טווח אפשרי (קיץ)  
10.50-30.50 טווח מומלץ (קיץ)  
10.50-90.90 טווח אפשרי (חורף)  
80.80-90.90 טווח מומלץ-4u (חורף)

קיץ s.c.<0.30,0.50
חורף s.c.>0.80,0.80
קיץ s.c.<0.30,0.50
חורף s.c.= חופשי
קיץ s.c.<0.30,0.50
חורף s.c.>0.80,0.80

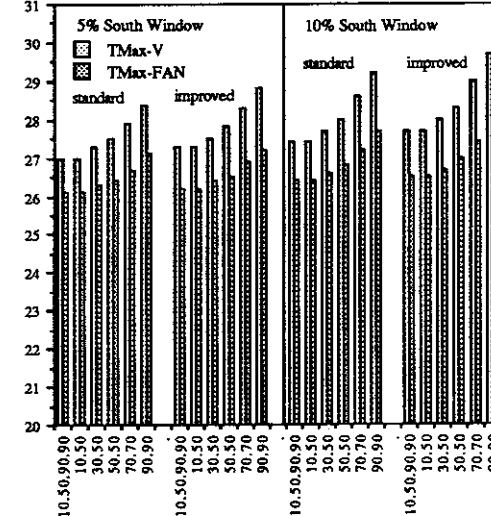
הצללת חלונות



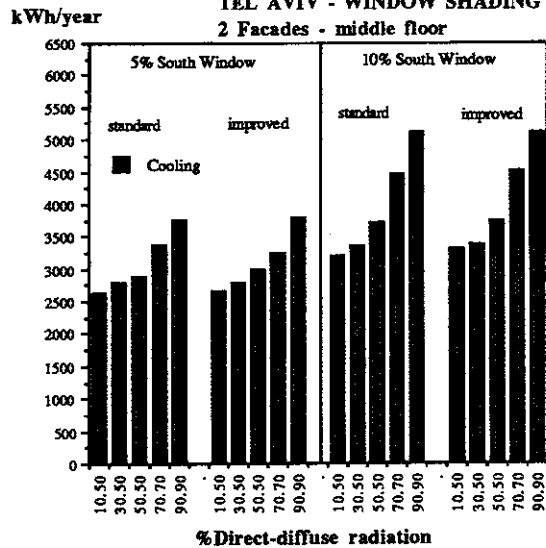
TEL AVIV - WINDOW SHADING  
4 Facades - upper floor



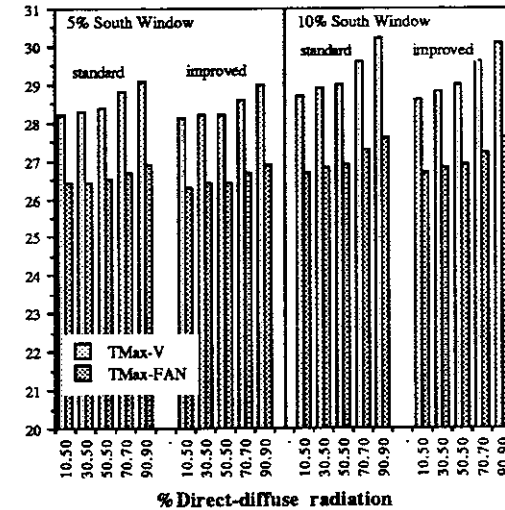
TEL AVIV - WINDOW SHADING  
4 Facades - upper floor



TEL AVIV - WINDOW SHADING  
2 Facades - middle floor



TEL AVIV - WINDOW SHADING  
2 Facades - middle floor





## הצללת קירות

לקביעת השפעת הצללת קירות הבנין על התנהגותו התרמית נבדקו הקירות בקיץ ובחורף כאשר הם חשופים לשמש ברמות שונות. מקדם ההצללה שונה בטווח של 0.90 עד 0.10 לקרינה ישירה ומפוזרת (מסומן בגרף ע"י 90-90 עד 10-10). הצללה שכזו ניתנת להשגה ע"י עצים, בנינים שכנים או כתוצאה מגיאומטריית הבנין.

### סיכום התוצאות

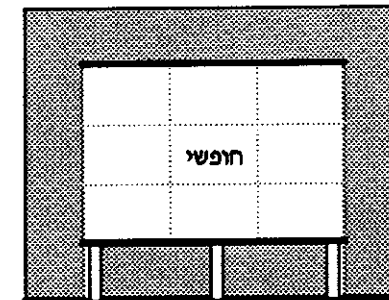
1. הצללת הבנין בקיץ משפרת במקצת את התנהגותו התרמית ואילו בחורף השפעתה שלילית. אולם, יש לציין שהשפעות אלו הן קטנות ביותר וניתנות להזנחה. אפשר לכן לאמר שההצללה הנופלת על קירות הבנין משפיעה על התנהגותו התרמית רק במידה והיא מצלילה את פתחיו. על כן, קיים חופש מוחלט בקביעת גיאומטריית הבנין והבינוי הגורם לצל על הקירות האטומים של הבנין.

### המלצות

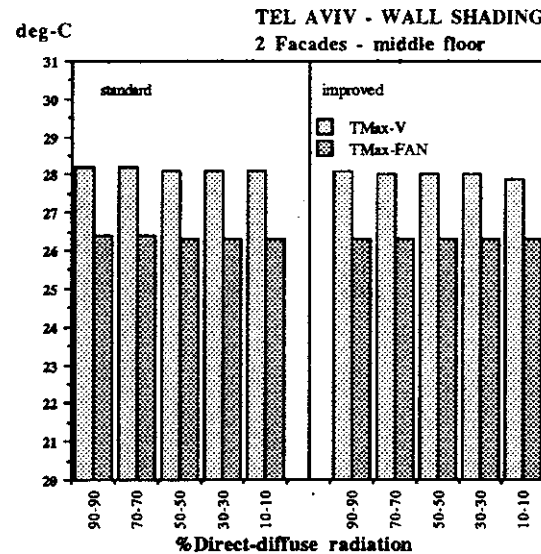
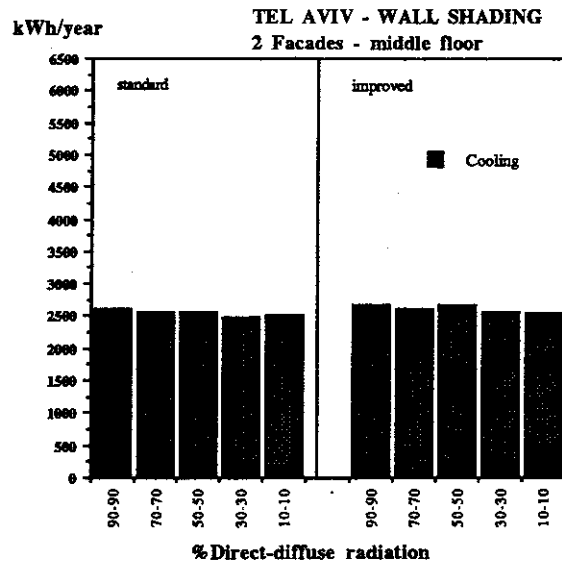
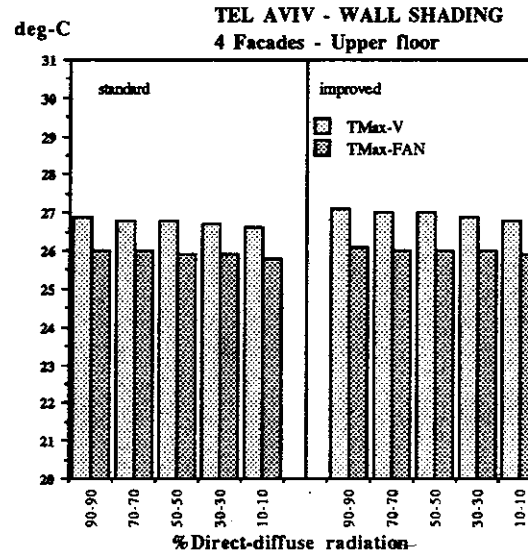
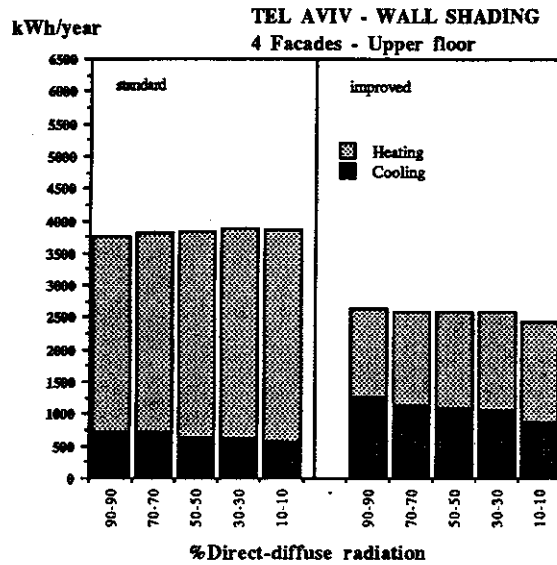
\* קיים חופש מוחלט בקביעת גיאומטריית הבנין והבינוי הגורם לצל על הקירות האטומים של הבנין.

### השינוי בצריכת אנרגיה (קוויש לעונה)

משופר (4u - 2m)	סטנדרטי (4u - 2m)	טווח אפשרי	טווח מומלץ
100 - 200	100 - 100	90-90 עד 10-10	חופשי
100 - 200	100 - 100		



הצללת קירות



הצללת הגג

לקביעת השפעת השפעת הצללת גג הבנין על התנהגותו התרמית נבדק הגג בקיץ ובחורף כאשר הוא חשוף לשמש ברמות שונות. מקדם ההצללה שנה בטווח של 0.90 עד 0.10 לקרינה ישירה ומפוזרת (מסומן בגרף עיי 90-90 עד 10-10). הצללה שכזו יכולה להיגרם עיי עצים, בנינים שכנים או להתקבל כתוצאה מתכנון גג כפול עליון מצל. הגג נבדק כשהוא צבוע בגוון בהיר (מקדם החזרה של 0.85) ובצבע בגוון בינוני (מקדם החזרה של 0.50).

סיכום התוצאות

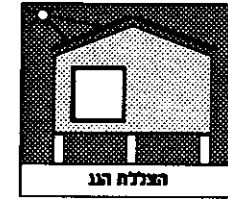
1. בדומה לתוצאות שהתקבלו עבור קירות הבנין, הצללת הגג בקיץ משפרת בצורה ניכרת את התנהגותו התרמית ואילו בחורף השפעתה שלילית. יש לציין שהשפעות אלו הן קטנות וניתנות להזנחה כאשר הגג מסויד בלבן (מקדם החזרה של 0.85). כאשר הגג בעל גוון בינוני (מקדם החזרה של 0.50), כגון רעפים אדומים, הצללת הגג משפרת בצורה ברורה את ההתנהגות התרמית של הבנין המבודד בצורה סטנדרטית ובצורה משופרת.
2. גג כהה מוצלל דומה בהתנהגותו התרמית לגג בהיר החשוף לשמש.

המלצות

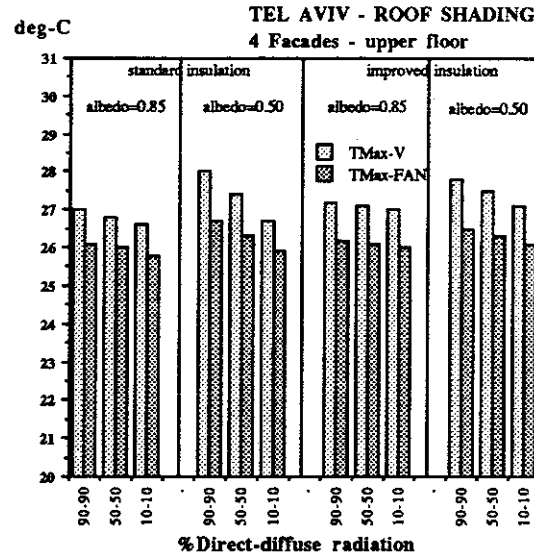
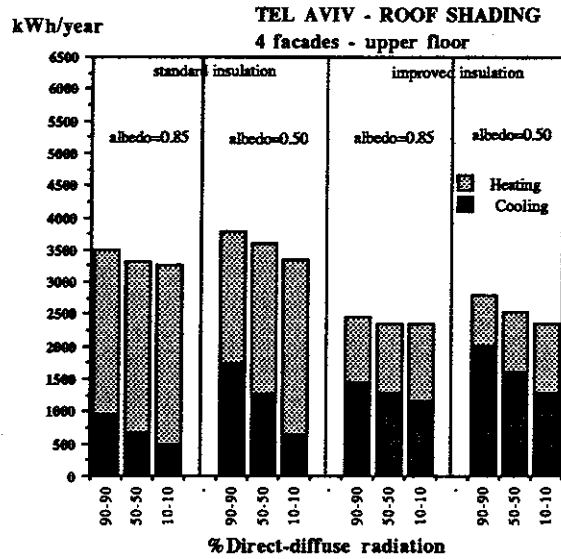
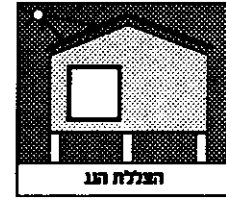
- \* קיים חופש מוחלט בקביעת גיאומטריית הבנין והבינוני הגורם לצל על גג הבנין, בתנאי שהוא בהיר.
- \* כאשר הגג בעל גוון בינוני עד כהה רצוי להצלילו מהשמש הקיצית.

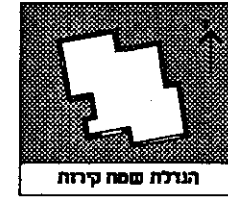
השינוי בצריכת אנרגיה (קווי"ש לעונה)

מסופר 4u (בהיר - בינוני)	סטנדרטי 4u (בהיר - בינוני)	90-90 עד 10-10	טווח אפשרי
450 - 100	450 - 250	90-90 עד 10-10	טווח מומלץ
100	250	חופשי (בהיר)	



הצללת הגג





### הגדלת שטח קירות הבנין

לקביעת השפעת הגדלת שטח קירות הבנין על התנהגותו התרמית, נבדקו הדירות כאשר הן בעלות שני קירות חוץ עד חמישה. כל קיר בשטח כולל של 25 מ"ר (מסומן בגרף ע"י 2w עד 5w). דירה פנימית היא בעלת שני קירות חוץ, גמלונית בעלת שלושה, בית פרטי בעל ארבע קירות, ואילו חמישה קירות חוץ מתקבלים כאשר הקיר החיצוני מזוגג (כולל שקעים ובלטות).

### סיכום התוצאות

- הגדלת שטח קירות הבנין בדירות הגג והעמודים משפרת במקצת את התנהגותו התרמית בקיץ, ואילו בחורף השפעתה שלילית. אולם, יש לציין שהשיפור בקיץ קטן בהשוואה להרעה בחורף. לכן, רצוי להקטין שטח מעטפת הבנין. הגדלה בשיעור של עד קיר אחד, בשטח כולל של 25 מ"ר (השווה ל-25% משטח הרצפה), אפשרית כיון ומגדילה את צריכת האנרגיה בשיעור של כ-300 קו"ש לעונה בלבד. על כן בגבול של תוספת שכזו, קיים חופש בקביעת גיאומטריית הבנין. מענין לציין שהתוצאות היחסיות כמעט ואינן משתנות, גם כאשר משפרים את בידוד הבנין.
- בדירות האמצעיות של הבנין הסטנדרטי או המשופר, הגדלת שטח הקירות מקטינה את צריכת האנרגיה לקירור ותורמת על כן לשיפור התנהגות הבנין מבחינה תרמית.

### המלצות

- \* בדירות הגג והעמודים קיים חופש חלקי בקביעת גיאומטריית הבנין, כל עוד תוספת שטח קירות החוץ אינה עולה על 25% משטח הרצפה.
- \* בדירות האמצעיות רצוי להגדיל את שטח קירות החוץ.

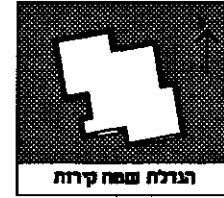
### השינוי בצריכת אנרגיה (קו"ש לעונה)

משופר (m-u)	סטנדרטי (m-u)	2w עד 5w	טווח אפשרי
700 - 800	750 - 1050	3w עד 2w	טווח מומלץ (u)
100	350	5w עד 3w	טווח מומלץ (m)
250	350		

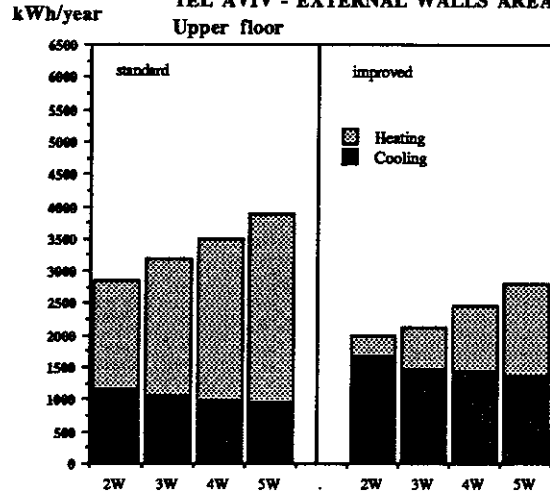
סטנדרטי:	2W עד 2.5W
משופר:	2W עד 3W
סטנדרטי:	2W עד 2.5W
משופר:	2W עד 5W
סטנדרטי:	2W עד 2.5W
משופר:	2W עד 3W



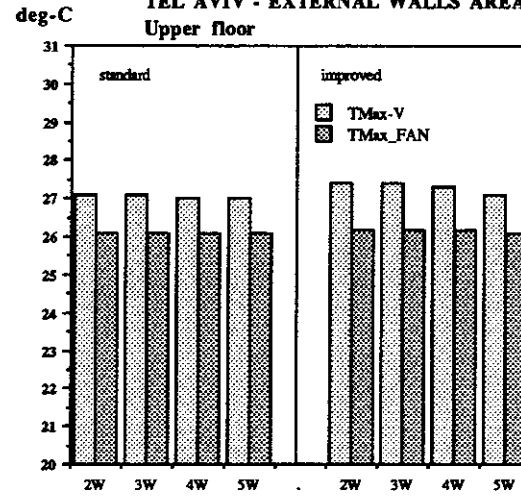
הגדלת שטח קירות הבנין



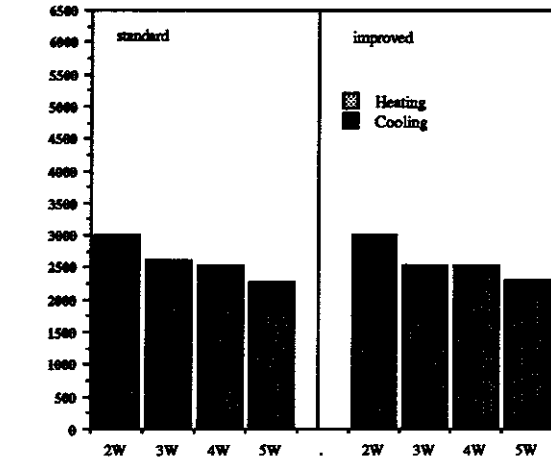
TEL AVIV - EXTERNAL WALLS AREA  
Upper floor



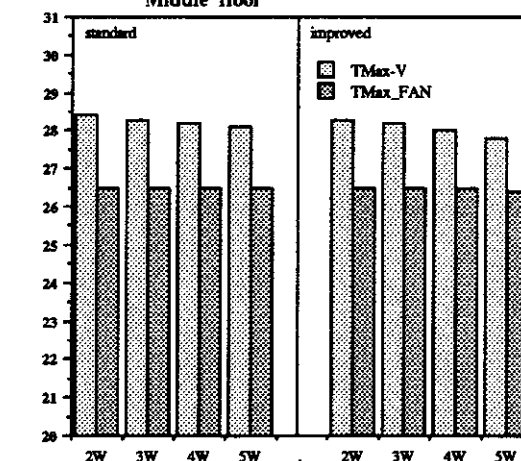
TEL AVIV - EXTERNAL WALLS AREA  
Upper floor



TEL AVIV - EXTERNAL WALLS AREA  
Middle floor



TEL AVIV - EXTERNAL WALLS AREA  
Middle floor





## הגדלת שטח החלונות בכיוונים השונים

בדיקת השינוי בצריכת אנרגיה שנתית לחימום ולקירור המבנה, כתוצאה מהגדלת שטח החלונות בארבעה הכיוונים הראשיים, התבצעה ע"י שינוי שטח החלון הנבדק החל מגודל של 2% ועד גודל של 10% משטח הרצפה. החלונות בכיוונים האחרים נשארו קבועים ושווים לשטח של 2% משטח הרצפה. בכל המקרים הונחה חשיפת חלונות מירבית לשמש חורפית. ההצללה בקיץ נקבעה בשתי רמות: מצוינת, כשם שמתקבלת ע"י תריס חיצוני, ובינונית, כשם שמתקבלת ע"י הצללה פנימית. כמו כן, במקרה הראשון של תריס חיצוני, הונח קיום בידוד לילה.

### סיכום התוצאות

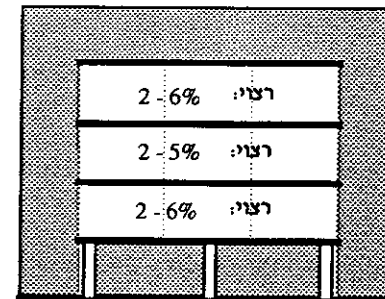
1. הגדלת החלונות בכל הכיוונים מפחיתה בקיץ את יעילות הבנין מבחינה תרמית. ללא מיזוג אויר עולה הטמפרטורה בבנין ויש להשקיע כמות אנרגיה לקירור רבה יותר, על מנת לשמור על תנאי אקלים פנים רצויים. השפעת הגדלת החלון המערבי על התחממות הבנין היא הרבה ביותר.
2. בדירות הגג והעמודים, ניתן לראות בבירור שהגדלת החלון הדרומי מביאה לשיפור ניכר בצריכת האנרגיה לחימום. למרות הגידול בצריכת האנרגיה לקירור, מתקבל, בכל המקרים בהם התריס חיצוני, חסכון באנרגיה שנתית לחימום ולקירור כתוצאה מהגדלת החלון. לעומת זאת, כאשר התריס הוא פנימי, לא רצוי להגדיל את שטח החלון מעבר ל 6% משטח הרצפה. בדירות הקומה האמצעית, הגדלת החלון הדרומי אינה רצויה.
3. הגדלת החלונות, שאינם פונים לדרום, מפחיתה ברב המקרים את יעילות הבנין מבחינה תרמית. הרעה זו רבה יותר ככל ששטח מעטפת הבנין קטן יותר, הבנין מבודד בצורה משופרת והצללת פתחיו בקיץ פחותה.

### המלצות

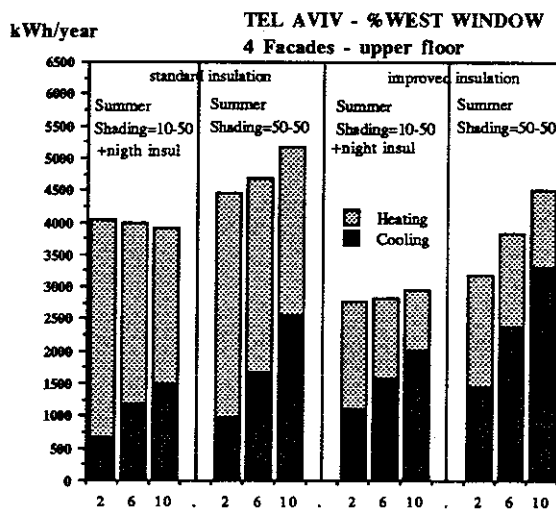
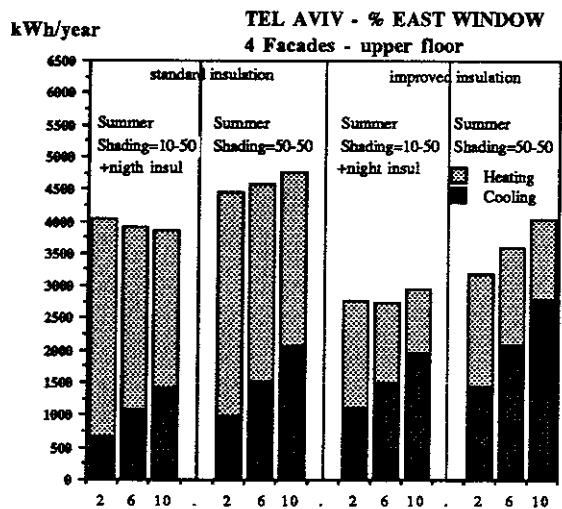
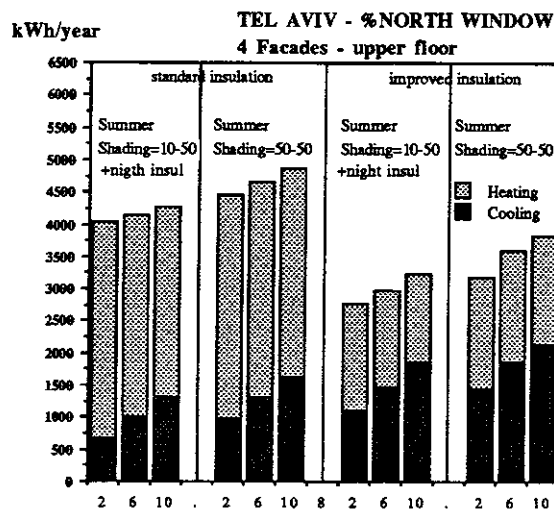
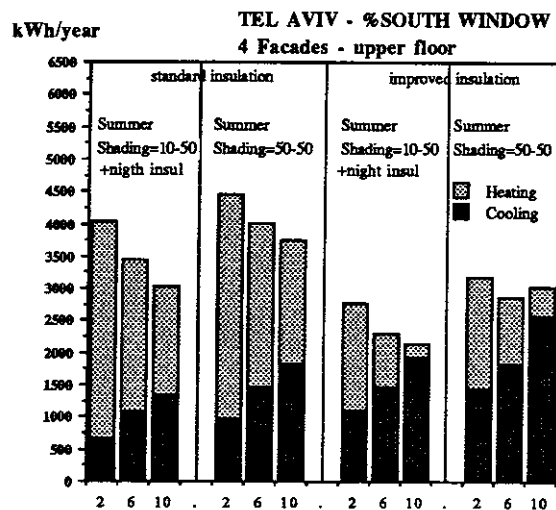
- \* בדירות הגג והעמודים, רצוי להגדיל שטח חלונות דרומיים בהתאם למומלץ בסעיף הבא.
- \* רצוי להקטין עד המינימום הנדרש (בהתאם לדרישות פונקציונליות ואחרות) את שטח החלונות שאינם דרומיים וכן את החלונות הדרומיים בדירות הקומה האמצעית.

### השינוי בצריכת אנרגיה (קו"ש לעונה)

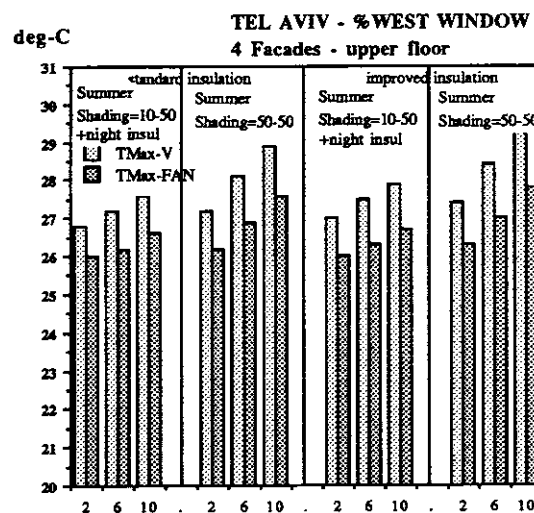
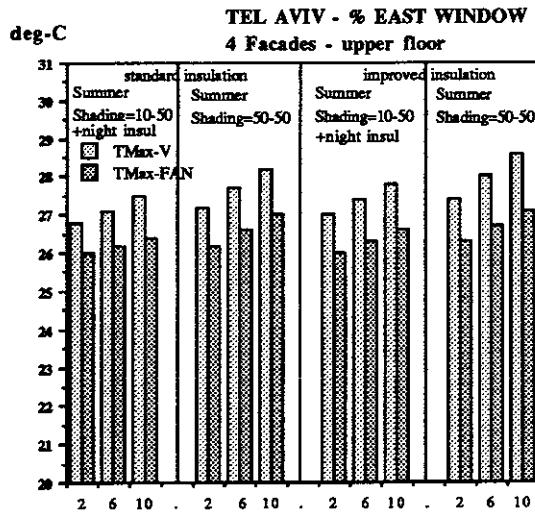
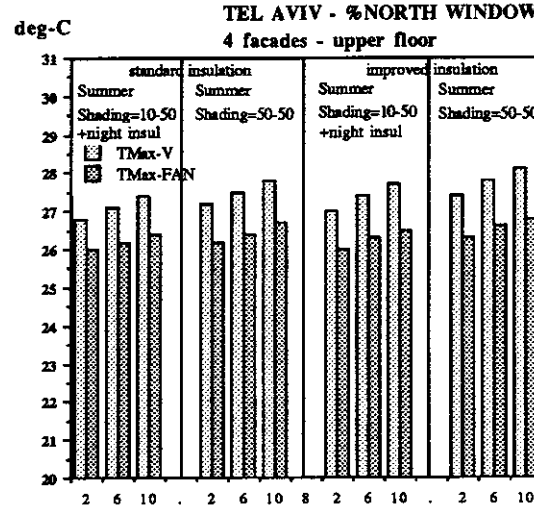
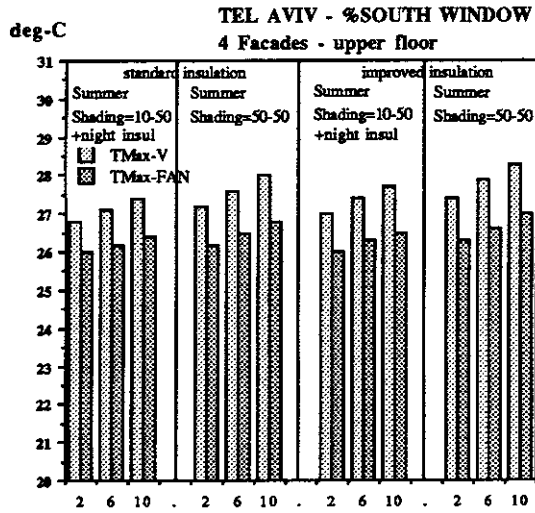
מספר (S - N - E - W)	סטנדרטי (S - N - E - W)	דירה 4u, תריס חיצוני
650 - 450 - 150 - 150	1000 - 200 - 200 - 200	טווח אפשרי 2% - 10% משטח הרצפה
200 - 50 - 50	100 - 150 - 50	טווח רצוי (לא לדרום) 2% - 6%
מספר (S - N - E - W)	סטנדרטי (S - N - E - W)	דירה 2u, תריס חיצוני
900 - 900 - 1000 - 1200	850 - 800 - 1000 - 1000	טווח אפשרי 2% - 10% משטח הרצפה
300 - 350 - 350	300 - 350 - 350	טווח רצוי (לא לדרום) 2% - 5%



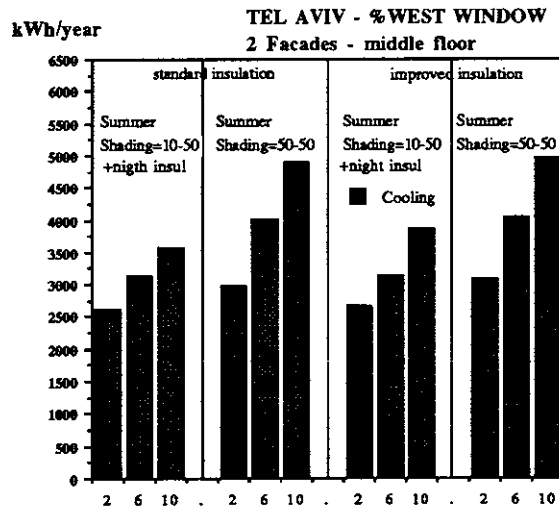
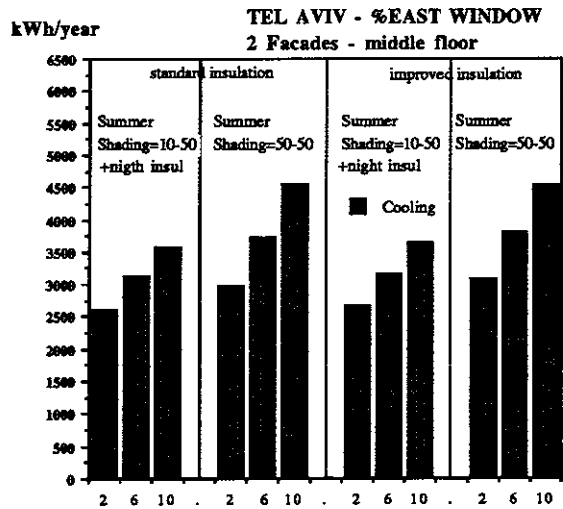
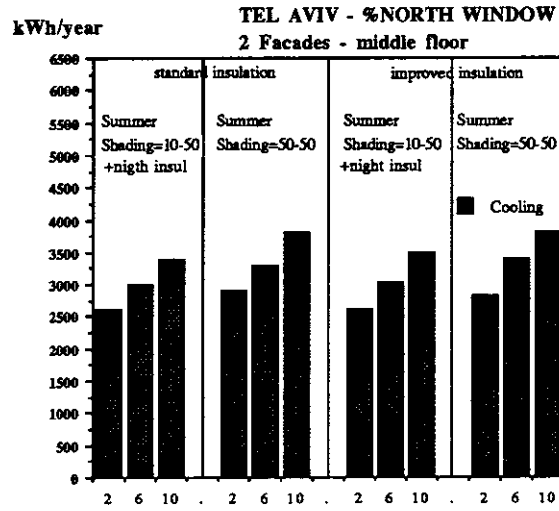
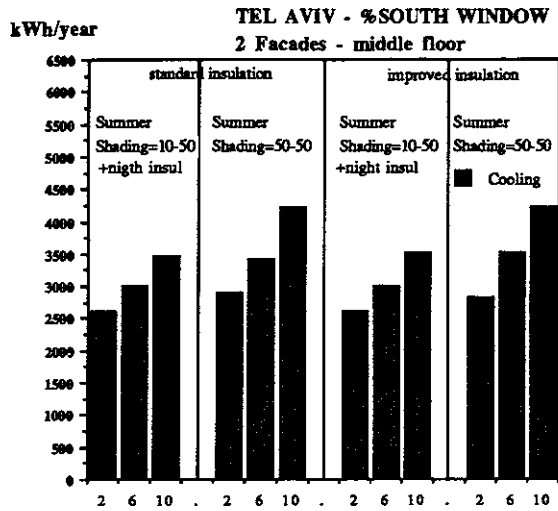
הגדלת שטח החלונות בכיוונים השונים



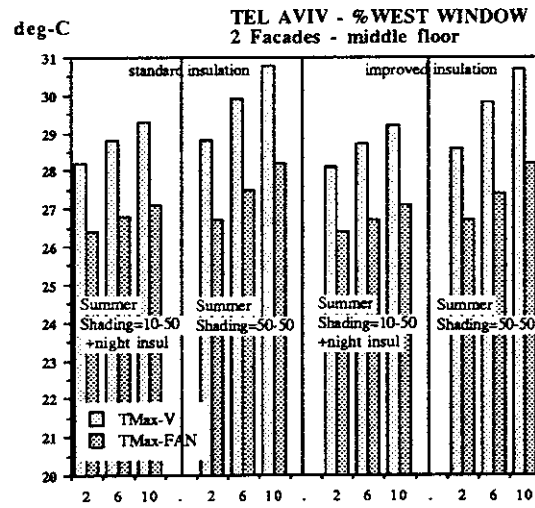
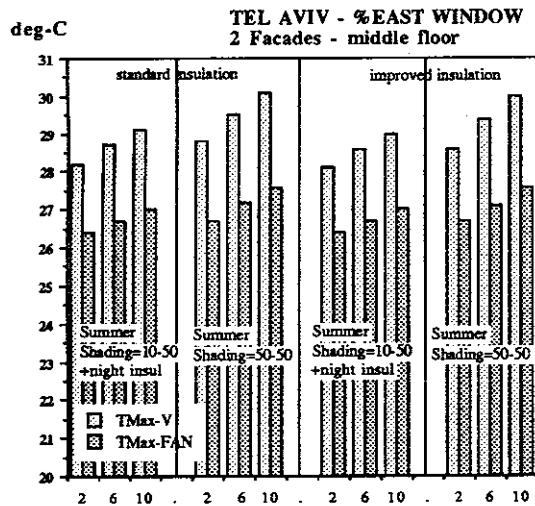
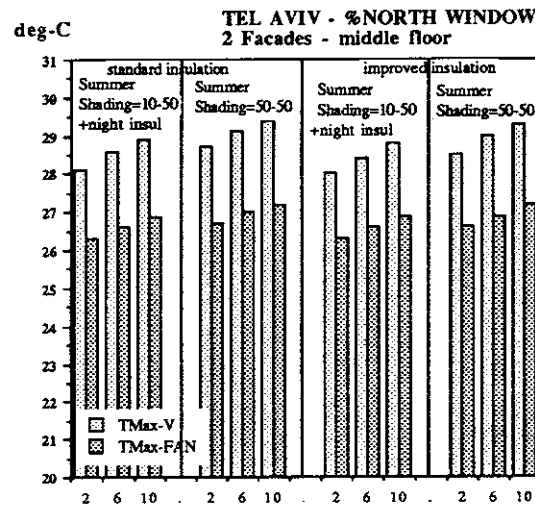
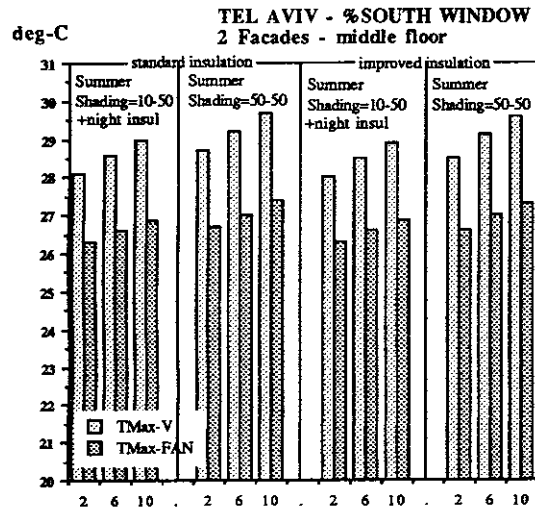
הגדלת שטח החלונות בכיוונים השונים

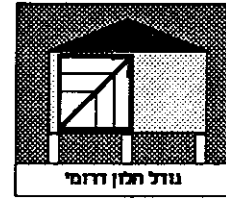


הגדלת שטח החלונות בכיוונים השונים



הגדלת שטח החלונות בכיוונים השונים





### גודל חלון דרומי

בדיקת השפעת השינוי בצריכת האנרגיה השנתית לחימום ולקירור של המבנה, כתוצאה מהגדלת שטח החלון הדרומי, נעשתה ע"י שינוי שטחו החל מגודל בסיסי אשר נקבע בהתאם לדרישות המינימום של משרד הבינוי והשיכון, תוך הגדלה הדרגתית. הגדלה זו בוצעה עד קבלת צריכת אנרגיה שנתית אופטימלית הדרושה לחימום ולקירור או עד גודל חלון דרומי מקסימלי אפשרי (דהיינו, כל החזית הדרומית היא חלון).

#### סיכום התוצאות

1. הגדלת החלון הדרומי בקומת הגג והעמודים, מביאה לשיפור ניכר בצריכת האנרגיה לחימום ולגידול הדרגתי בצריכת האנרגיה לקירור. % החלון משטח הרצפה הנותן את מינימום צריכת האנרגיה השנתית יפורט בסעיף המלצות.
2. הטמפרטורה בקיץ ללא מיזוג אויר גדלה עם הגדלת החלון הדרומי. על כן יש צורך בקיץ לדאוג להצללה טובה של הבניין ביום ולאירור טוב של המבנה בלילה.
3. עם הגדלת החלון הדרומי, גדלה טמפרטורת הקרינה הממוצעת בקיץ וקטנה בחורף. על כן יש להמליץ על תוספת וילון בחלונות שהם מעל הגודל המינימלי הנדרש. מלבד בשעות זריחת השמש בחורף, יש להקפיד על סגירת התריס והוילון להגדלת בידוד החלון.
4. חלון דרומי בגודל מינימלי מספק את כל דרישות חימום הדירה שבקומה האמצעית. זאת מכיון שהנחנו שקיים איטום טוב בדירה. צריכת האנרגיה השנתית בדירות אלה היא בעיקר לקירור. במקרה זה הגדלת החלון הדרומי רק תגדיל את צריכת האנרגיה לקירור בקיץ.

#### המלצות

##### א. בידוד סטנדרטי:

- |                   |                 |                     |                               |
|-------------------|-----------------|---------------------|-------------------------------|
| קומה אמצעית: 3-5% | קומת גג: 18-21% | קומת עמודים: 12-18% | 4 חזיתות- קומת עמודים: 12-18% |
| קומה אמצעית: 3-5% | קומת גג: 17-20% | קומת עמודים: 11-17% | 3 חזיתות- קומת עמודים: 11-17% |
| קומה אמצעית: 3-5% | קומת גג: 14-17% | קומת עמודים: 11-14% | 2 חזיתות- קומת עמודים: 11-14% |
- \* % שטח מומלץ לחלונות דרומיים ביחס לשטח רצפה: בקומת גג ועמודים 14-18% ובקומה אמצעית בהתאם למינימום הנדרש.
  - \* כאשר שטח החלונות מעל 10% יש להמליץ על תוספת וילון. יש להקפיד על סגירת התריס והוילון להגדלת בידוד החלון, מלבד בשעות זריחת השמש בחורף.

##### ב. בידוד משופר:

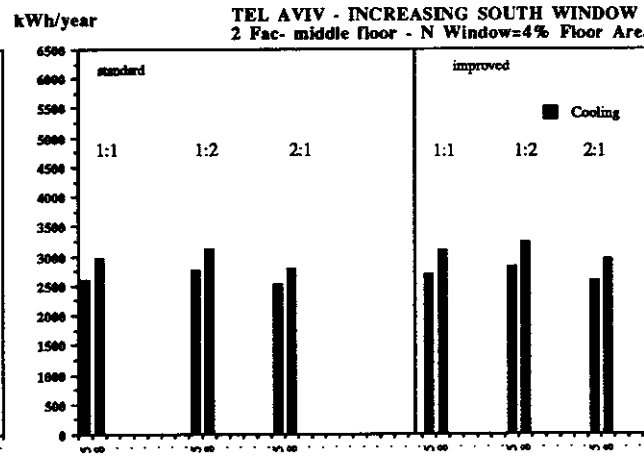
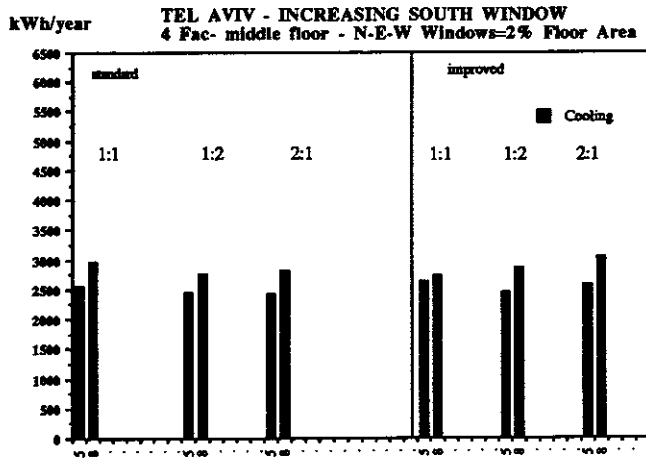
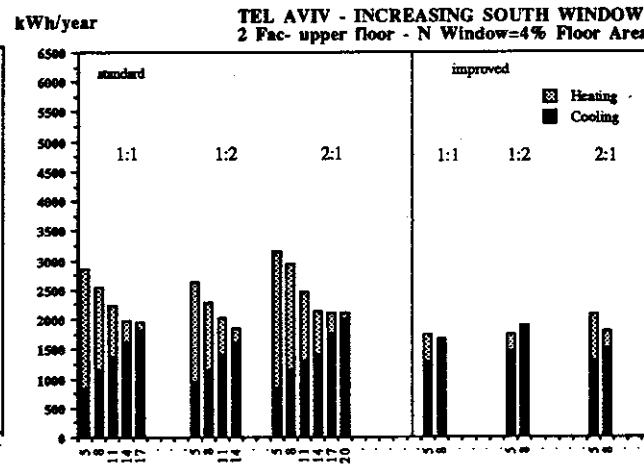
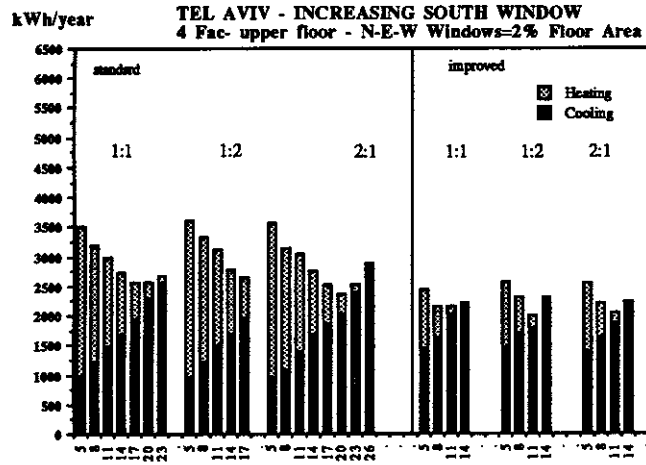
- |                   |                |                    |                              |
|-------------------|----------------|--------------------|------------------------------|
| קומה אמצעית: 3-5% | קומת גג: 9-12% | קומת עמודים: 9-12% | 4 חזיתות- קומת עמודים: 9-12% |
| קומה אמצעית: 3-5% | קומת גג: 7-10% | קומת עמודים: 8-11% | 3 חזיתות- קומת עמודים: 8-11% |
| קומה אמצעית: 3-5% | קומת גג: 5-8%  | קומת עמודים: 8-11% | 2 חזיתות- קומת עמודים: 8-11% |
- \* % שטח מומלץ לחלונות דרומיים ביחס לשטח רצפה: בקומת גג ועמודים 8-10% ובקומה אמצעית בהתאם למינימום הנדרש, במקרה זה עדיף בידוד סטנדרטי.

#### השינוי בצריכת אנרגיה (קו"ש לעונה)

	1200	טווח אפשרי (st-4u) 5 - 26 % משטח רצפה
550		טווח אפשרי (imp-4u) 5 - 14 % משטח רצפה
0	0	טווח אפשרי (st-2m) (מיני) 5 % משטח רצפה
0		טווח אפשרי (imp-2m) (מיני) 5 % משטח רצפה
300 - 300	300 - 300	לפי כל מקרה

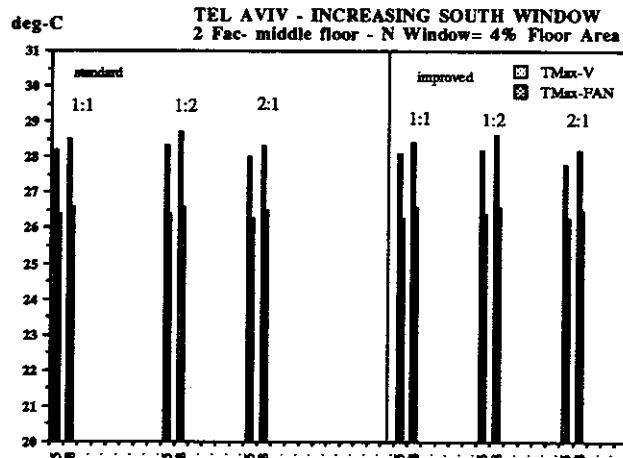
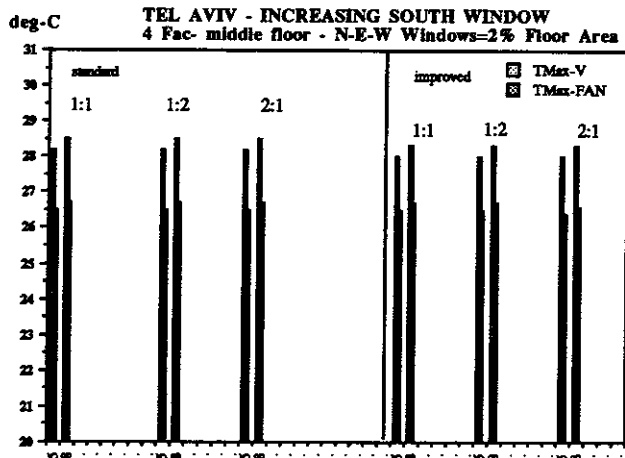
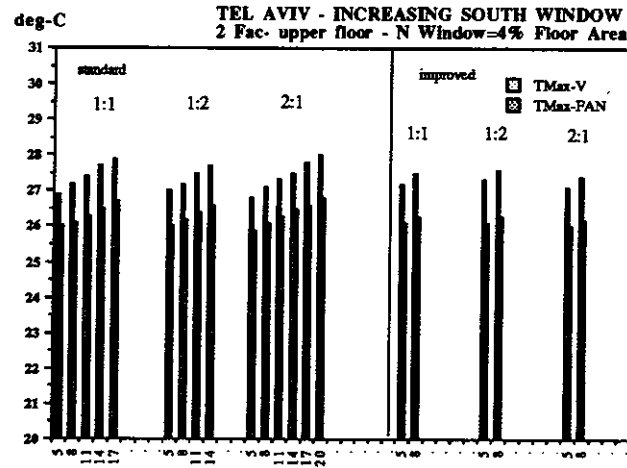
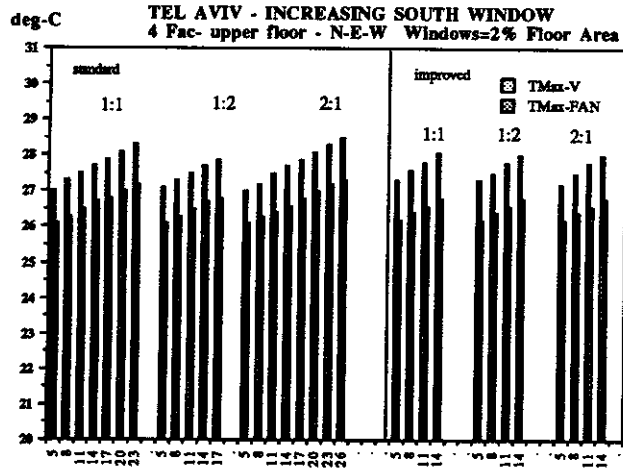
סטנדרט משופר	17-20% 7-10%	14-17% 5-8%	17-20% 7-10%
סטנדרט משופר	3-5% 3-5%	3-5% 3-5%	3-5% 3-5%
סטנדרט משופר	11-17% 8-11%	11-14% 8-11%	11-17% 8-11%

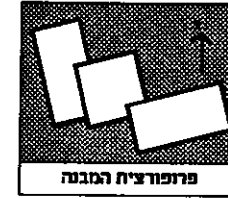
גודל חלון דרומי





גודל חלון דרומי





**פרופורצית המבנה**

השינויים בצריכת האנרגיה כתוצאה משינוי פרופורצית המבנה נבדקו בתחום:  $X:Y = 1:2$  ועד ל-  $X:Y = 2:1$ , כאשר X הוא תמיד קיר חוץ ואילו Y הוא קיר חוץ או פנים.

**סיכום התוצאות**

**א) שטח חלונות דרומיים קבוע ושווה 5%**

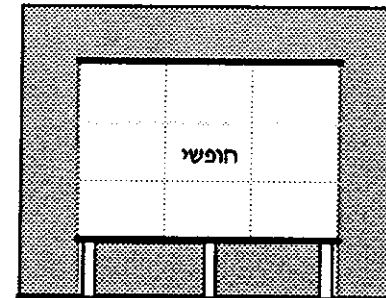
1. משיקולי סה"כ צריכת אנרגיה, קיימת עדיפות קטנה מאד במבנה בעל 4 חזיתות לפרופורציה ריבועית שבה מתקבל שטח מעטפת מינימלי.
2. בדירה בעלת 2 חזיתות יש עדיפות לפרופורציה של-1:2, מכיוון שבפרופורציה זו הקירות הארוכים הם אלה המשותפים לדירה השכנה. כאן השינוי בפרופורצית הדירה משמעותי, מכיון והוא משפיע בצורה ניכרת על שטח מעטפת הדירה.
3. משיקולי נוחות תרמית בקיץ ללא מיזוג אויר, מתקבל שאין כמעט שינוי בטמפרטורה בתוך המבנה כתוצאה מהבדלים בפרופורצית הבנין.

**ב) בנין סולרי: שטח חלונות דרומיים בגודל מקסימלי דרוש או בהתאם לשטח החזית הדרומית**

1. גם כאשר התכנון מאפשר הגדלת החלונות הדרומיים, מתקבל שהשפעת השינוי בפרופורצית הבנין היא זניחה.

**המלצות**

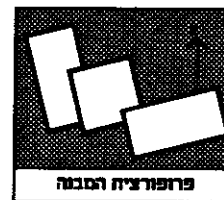
\* בד"כ השפעת פרופורצית הבנין קטנה. אפשרי לכן תכנון חופשי בכל פרופורציה רצויה, כל עוד ניתן למקם על החזית הדרומית הלון בהתאם לגודלו המומלץ.



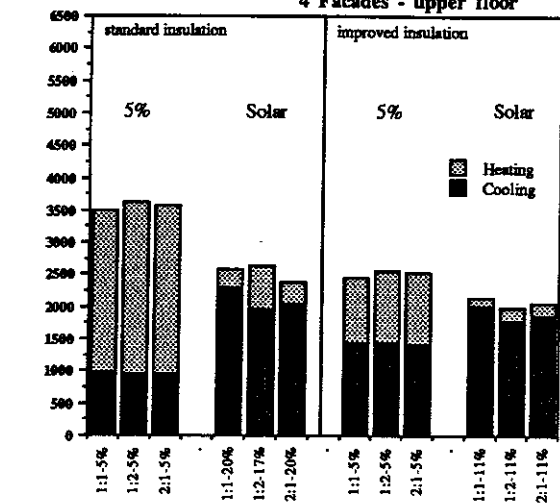
**השינוי בצריכת אנרגיה (קווי"ש לעונה)**

משופר (2m - 4u)	סטנדרטי (2m - 4u)	סטנדרטי-סולרי (4u)	טווח אפשרי	טווח מומלץ
250 - 100	250 - 100	300	1:2 - 2:1	1:2 - 2:1
250 - 100	250 - 100	300	1:2 - 2:1	1:2 - 2:1

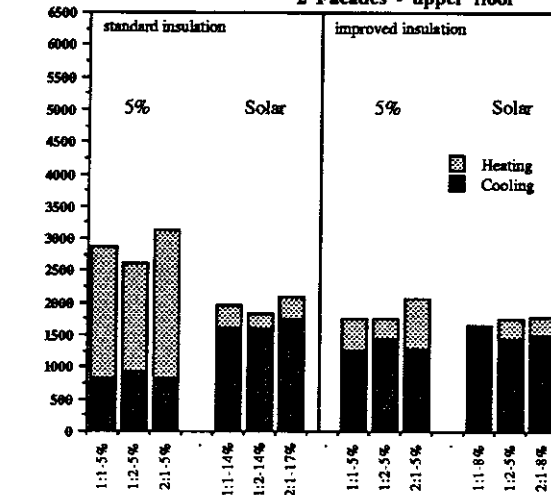
פרופורציה המבנה



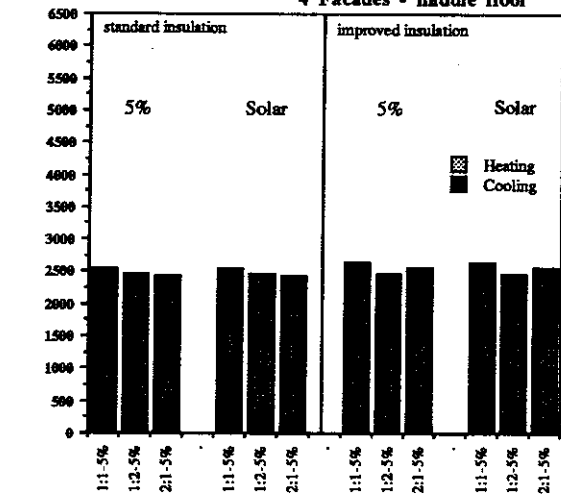
TEL AVIV - PROPORTION  
4 Facades - upper floor



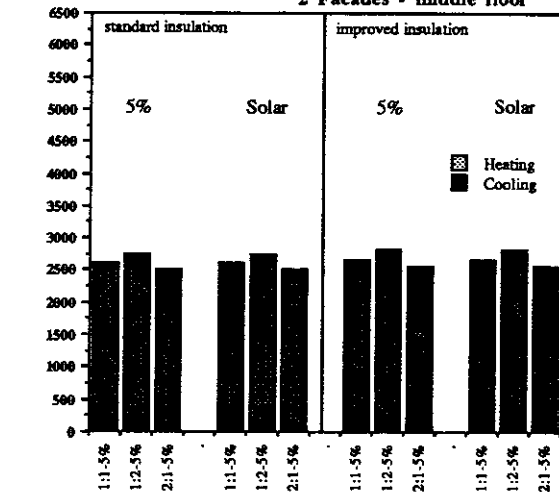
TEL AVIV - PROPORTION  
2 Facades - upper floor



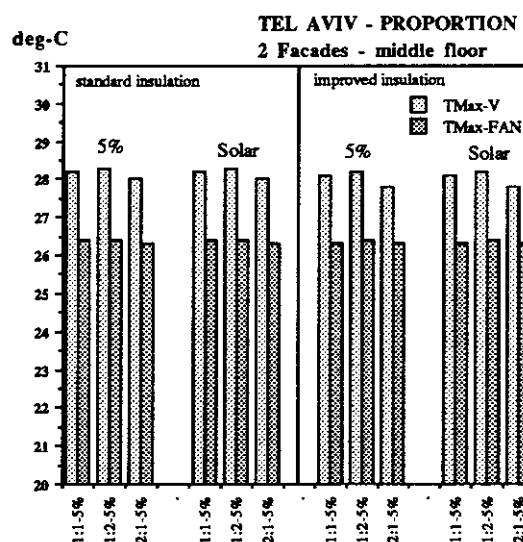
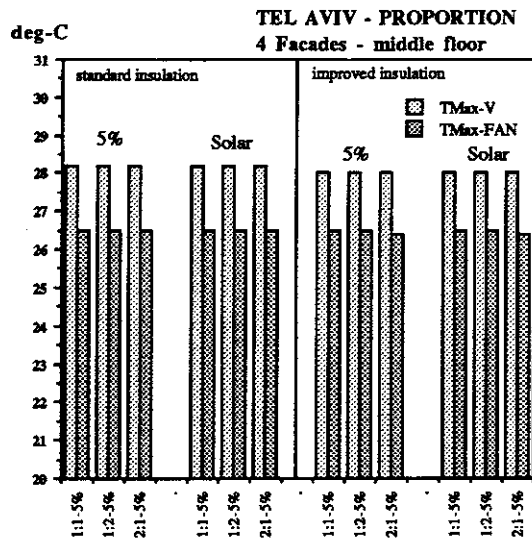
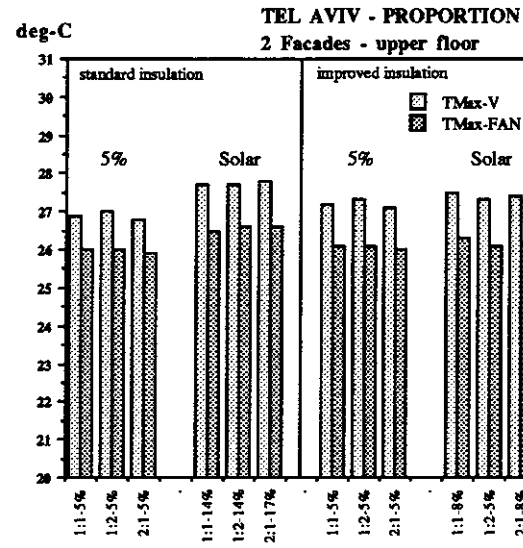
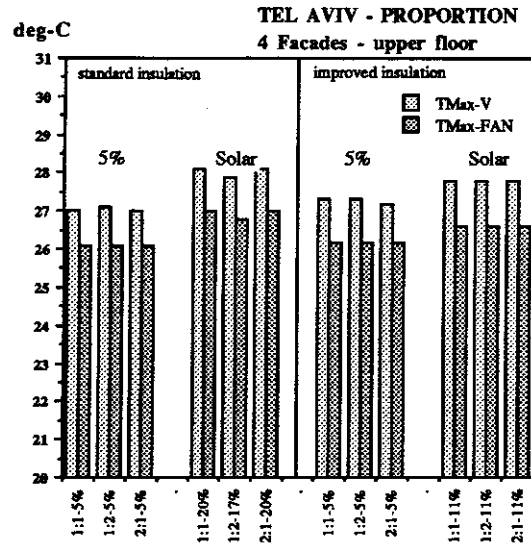
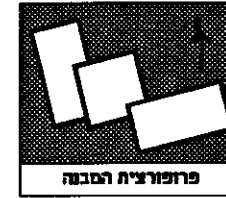
TEL AVIV - PROPORTION  
4 Facades - middle floor



TEL AVIV - PROPORTION  
2 Facades - middle floor

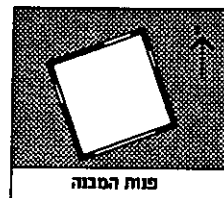


פרופורצית המבנה



**פנות המבנה (אוריינטציה)**

לבדיקת השפעת פנות הבנין על צריכת האנרגיה שלו, נבחן המבנה הסטנדרטי והמשופר עם חלונות גדולים בחזית הראשית (חזית חדר המגורים) המגיעים ל-10% משטח הרצפה, כאשר חזית זו פונה כל פעם לכל אחד משמונה הכיוונים הראשיים. כמו כן נבחן המבנה הסטנדרטי עם חלונות בחזית הראשית, המגיעים ל-5% משטח הרצפה.



**סיכום התוצאות**

1. משיקולי סה"כ צריכת אנרגיה לחימום, אפשר לראות בבירור שעדיפה הפנית הבנין לדרום.
2. משיקולי סה"כ צריכת אנרגיה לקרור או נוחות תרמית בקיץ ללא מיזוג אויר, מתקבל שהשפעת פנות הבנין קטנה. זאת מכיון והנחנו בקיץ הצללה יעילה ביום. כלומר, השפעת פנות הבנין קיימת, רק כשישנם חלונות שאינם מוצללים (כמו בחורף) ולא כתוצאה ממעטפת בנין אטומה שאינה מוצללת.
3. בבדיקה חוזרת שנעשתה ללא הצללת החלונות בקיץ, התקבל הן משיקולי נוחות תרמית בקיץ ללא מיזוג אויר והן משיקולי צריכת אנרגיה לקירור, שעדיפה הפנית הבנין המשופר לצפון ואחר כך לדרום. בבנין הסטנדרטי, לעומת זאת, קיימת עדיפות לדרום על הצפון. כמו כן התקבל שכיוון המזרח עדיף על המערב.
4. קיימת השפעה רבה לפנות דירות קומת הגג והעמודים לדרום היות וקיים הצורך לחמם דירות אלו בחורף.
5. השפעת פנות הבנין גדולה גם כאשר מעטפת הבנין מבודדת טוב יותר או בעלת שטח פנים קטן יותר. כלומר, ההשפעה אינה תלויה בפרמטרי התכנון הקשורים למעטפת האטומה אולם מושפעת מגודל החלונות. ככל שהחלון גדול יותר השפעת השוני בפנות הבנין גדלה.
6. אין השפעה רבה לפנות דירות הקומה האמצעית היות וכמעט אין צורך לחמם דירות אלו בחורף גם כאשר משאירים את החלונות בגודל המינימלי כמומלץ ע"י משרד הבינוי והשיכון. במקרה האחרון, פנות הבנין לדרום עדיפה על הצפון ואילו כשהחלון הדרומי הוגדל ל-10% התקבלה העדפה לצפון. כמו כן בדירות אלה כיוון המזרח עדיף במקצת על המערב.

**המלצות**

- \* בדירות הגג והעמודים קיימת חשיבות להפנית החזית הראשית לדרום (+35 מעלות).
- \* בקומה האמצעית אין כמעט השפעה לפנות הבנין, בתנאי שהחלונות מוצללים בקיץ כמומלץ. כאשר שטח החלונות בחזית הראשית קטן (5%), עדיפה ההפניה לדרום וכאשר הוא גדול (10%), עדיפה ההפניה לצפון.
- \* כאשר אין הצללת חלונות יעילה בקיץ, עדיף כיוון הצפון והדרום על המזרח והמערב, והמזרח עדיף על המערב.
- \* במידה ואין מיזוג אויר, או מפוח לאיורור מאולץ, רצוי להפנות את החזית הראשית של הבנין לכיוון דרום-מזרח (עד 35 מעלות מזרחה לדרום), על מנת שהחזית הנגדית תפנה לכיון הרוח השלטת. פנות זו עונה בצורה טובה על דרישות האיורור והקרינה.

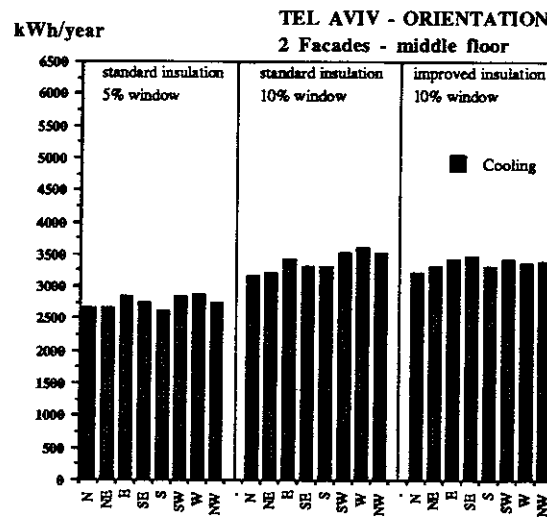
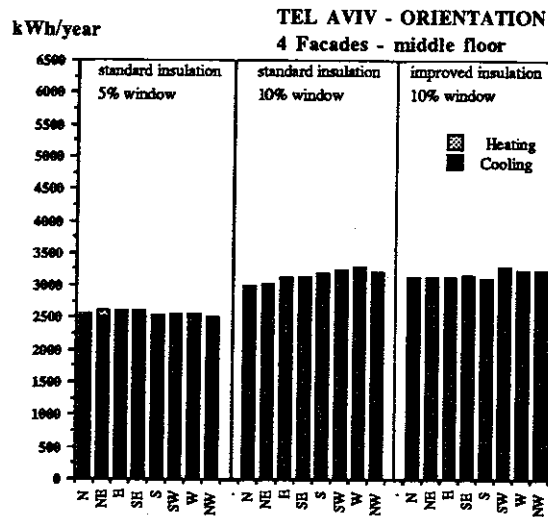
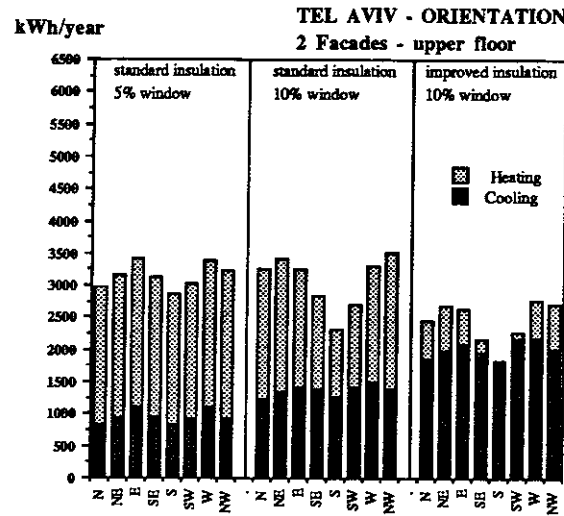
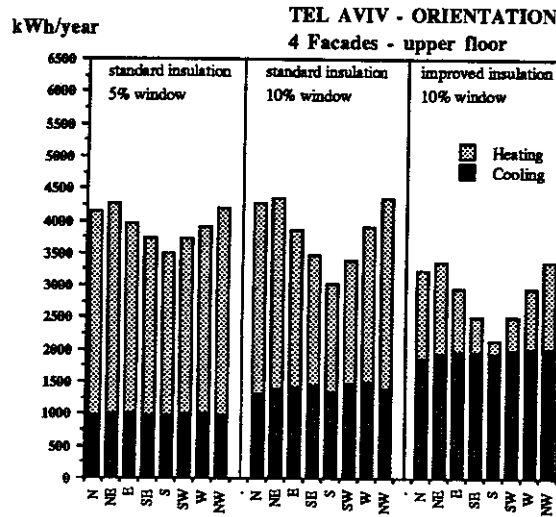
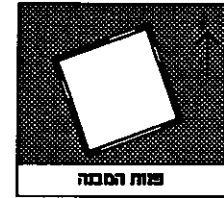
**השינוי בצריכת אנרגיה (קווי"ש לעונה)**

משופר (4u - 2m)	סטנדרטי (4u - 2m)
1200 - 250	1350 - 450
300	300
250	

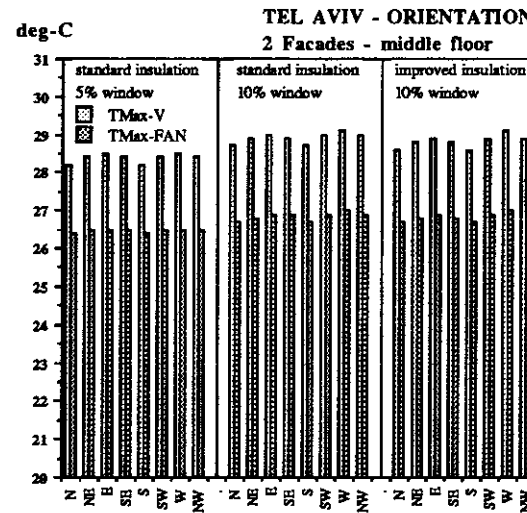
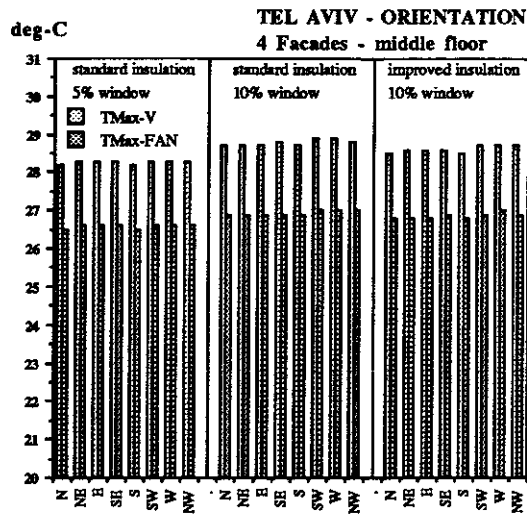
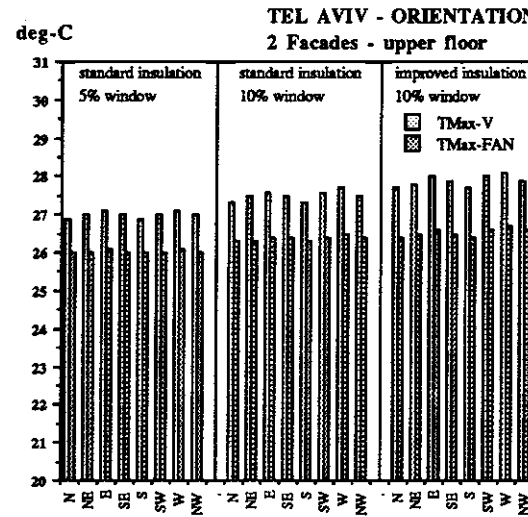
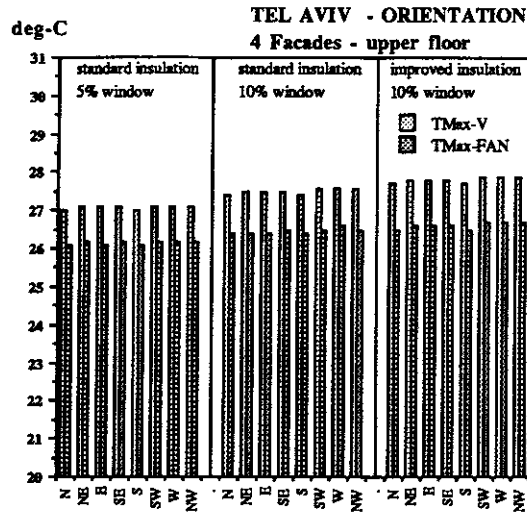
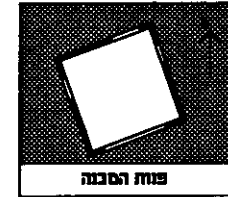
10% =	חלון חזית ראשית
כל הכיוונים	טווח אפשרי
דרום +45-35 מעלות	טווח מומלץ (4u)
דרום +35 מעלות	טווח מומלץ (4u)
דרום ++90 מעלות	טווח מומלץ (2m)
חופשי	טווח מומלץ (2m)

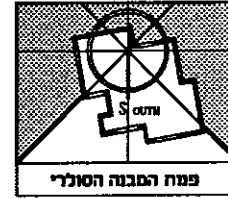
סטנדרטי: -35 דרום +45	משופר: -35 דרום +35
סטנדרטי: -90 דרום +90	חופשי
סטנדרטי: -35 דרום +45	משופר: -35 דרום +35

פנות המבנה (אוריינטציה)



פנות המבנה (אוריינטציה)





### פנות המבנה הסולרי

לבדיקת השפעת פנות המבנה הסולרי על צריכת האנרגיה שלו, נבחנו דירות הגג בעלות חלונות גדולים בחזית הראשית (חזית חדר המגורים) המגיעים ל-20% משטח הרצפה במבנה הסטנדרטי ול-10% משטח הרצפה במבנה המשופר, בהתאם להמלצות שנקבעו עבור חלון דרומי רצוי. בבדיקה זו התבצע סבוב הבנין כל 10 מעלות, החל מ-45° מזרחה מהדרום (135) ועד-45° מערבה מהדרום (225). כמו כן נבחן המבנה הסטנדרטי בעל חלונות גדולים בחזית הראשית המגיעים ל-10% משטח הרצפה בלבד. בדיקה דומה התבצעה עבור דירות בקומה אמצעית, אלא שכאן החלונות בחזית הראשית נקבעו בגודל סטנדרטי של 5%.

### סיכום התוצאות

1. מבדיקת צריכת האנרגיה לחימום וקירור דירות הגג והעמודים, ניתן לראות שקיימת אפשרות לסטיה של עד-30° מהדרום מבלי לשנות בהרבה את סה"כ צריכת אנרגיה. נציין שהדרום המדויק עדיף.
2. מבדיקת צריכת האנרגיה של דירות הקומה האמצעית אפשר לראות שאין כמעט השפעה לפנות הבנין. גם במקרה זה הדרום המדויק עדיף.

### המלצות

- \* בדירות הגג והעמודים קיימת חשיבות רבה להפנית הבנין הסולרי לדרום עם אפשרות לסטיה של עד 30° ממנו.
- \* בקומה האמצעית אין כמעט השפעה לפנות הבנין, בתנאי שהחלונות מוצללים בקיץ כמומלץ.
- \* במידה ואין מיזוג אויר, או מפוח לאיורור מאולץ, רצוי להפנות את החזית הראשית של הבנין הסולרי לכיוון דרום-מזרח (עד 30 מעלות מזרחה לדרום), על מנת שהחזית הנגדית תפנה לכיוון הרוח השלטת. פנות זו עונה בצורה טובה על דרישות האיורור והקרינה.

### השינוי בצריכת אנרגיה (קווי"ש לעונה)

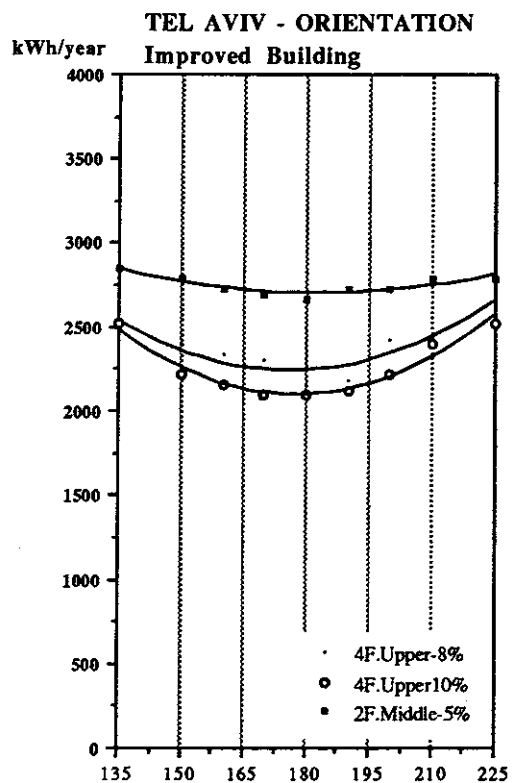
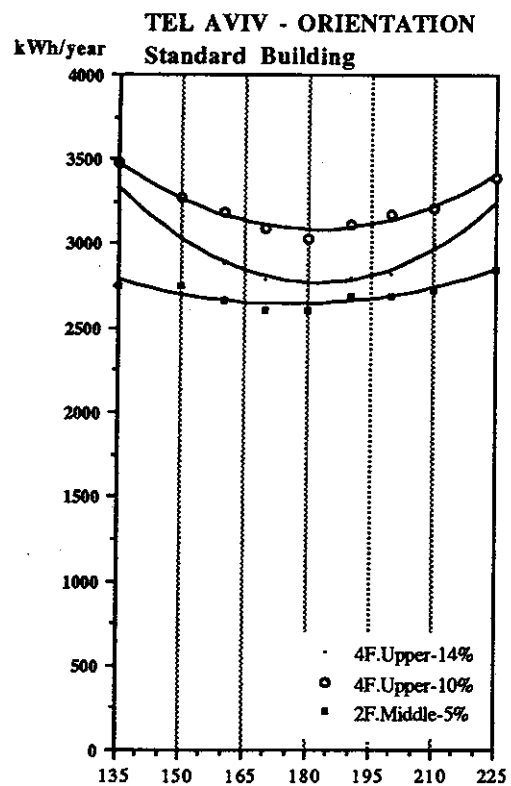
חלון חזית ראשית = בהתאם להמלצות  
 טווח אפשרי דרום +45 מעלות  
 טווח מומלץ (4u) דרום +30 מעלות  
 טווח מומלץ (4u) דרום +35-40 מעלות  
 טווח מומלץ (2m) חופשי

סטנדרטי (2m:5% - 4u:14%)	משופר (2m:5%-4u:8%)
250 - 600	200 - 500
300	300
250	200

סטנדרטי: -30 דרום +30	משופר: -40 דרום +35
חופשי	
סטנדרטי: -30 דרום +30	משופר: -40 דרום +35



פנות המבנה הסולרי



## פרק ג: צריכת האנרגיה בהתאם למיקום היחידה בבנין: סיכום, השוואה והמלצות לפתרונות עדיפים

### הקדמה

בפרק זה מרוכזות, לצורך השוואה, חלק מתוצאות צריכת האנרגיה לחלופות התכנון שנבדקו. רכוז התוצאות בגרפים מאפשר לעמוד על טווח השינוי בצריכת האנרגיה לכל טיפוס דירה, בהתאם לפרמטרי התכנון הגיאומטריים שנבחרו ובהתאם לרמת בידוד הבנין. כמו כן ניתן בנקל להצביע על הדרכים השונות להשגת פתרונות העונים על דרישות צריכת אנרגיה שנתית ברמות מוכתבות מראש. אין כוונה בעבודה זו להציע נוסחה אחידה לתכנון בנינים המודעים לאקלים ואנרגיה, אלא להציג למתכנן את האפשרויות ואת משמעות החלטות התכנון לגבי התנהגות הבנין מבחינה אנרגטית. יש צורך לשקול את אפשרויות התכנון האנרגטי הנכון במסגרת שיקולי ואילוצי התכנון הכולל. הגרפים המוצגים בפרק זה מאפשרים להצביע, כבר בשלבי התכנון הראשוניים, על פתרונות גיאומטריים עדיפים ולהעריך את צריכת האנרגיה של הדירות השונות ובית המגורים כולו, כשם שיודגם בפרק ו.

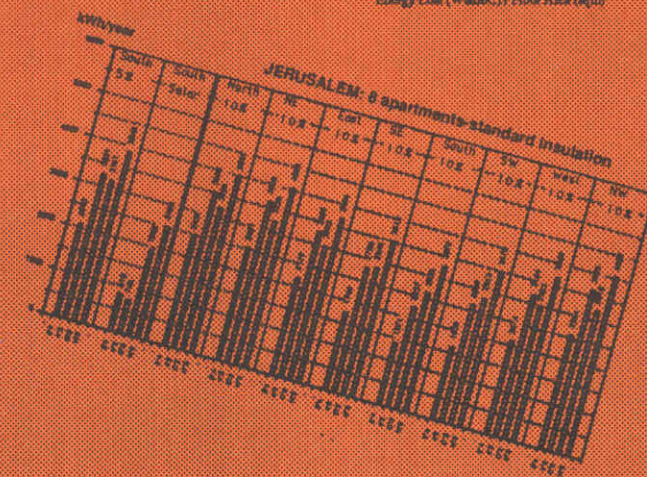
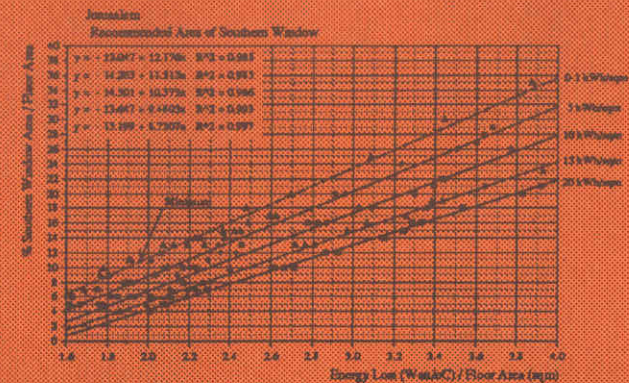
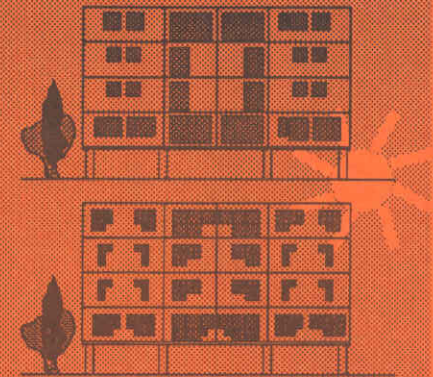
תוצאות צריכת האנרגיה בדירות השונות מרוכזות בפרק זה לפי מיקום היחידה בחתך הבנין (קומת גג, קומת אמצעית וקומת עמודים) ולפי טיפוס היחידה (דירה בת 4 חזיתות, 3 חזיתות\* ו-2 חזיתות). פרמטרים אלה קובעים את שטח מעטפת הדירה. פרמטרים גיאומטריים נוספים שבחרנו להציג כאן הם אלה המשפיעים מאד על צריכת האנרגיה ביחידת המגורים וכוללים: הגדלת שטח חלון דרומי, פרופורציות היחידה ופנותה. פרמטרים גיאומטריים שאינם מוצגים בגרפים אלה הם: הצללת המעטפת האטומה והגדלת שטח החלונות שאינם פונים לדרום. זאת מהסיבה שהם אינם משפיעים בצורה ניכרת על צריכת האנרגיה של היחידה. לעומת זאת פרמטר הצללת חלונות, אינו מוצג כאן למרות חשיבותו, כיון וההנחה היא שאינו פרמטר גיאומטרי היות וההצללה מושגת ע"י תריס הגיתן לפתיחה, כמומלץ ע"י משרד הבינוי והשיכון.

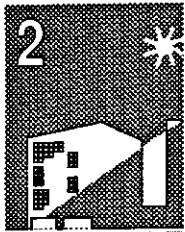
\* מבדיקות שביצענו התברר שניתן להעריך את צריכת האנרגיה בשתי דירות גמלוניות (3 חזיתות) לפי סכום צריכת האנרגיה ביחידה של 4 חזיתות ושל 2 חזיתות, ללא הכנסת שגיאה גסה (ראה נספח ו'). צריכת האנרגיה ביחידה בעלת 3 חזיתות היא, על כן, ממוצע צריכת האנרגיה בשתי הדירות הגמלוניות הממוקמות באותה הקומה בבנין.



## חלק שני

המלצות וקוים מנחים לתכנון אקלימי-אנרגטי של יחידות מגורים ובתי דירות משותפים





## תוכן העניינים

חלק שני: המלצות וקוים מנחים לתכנון אקלימי-אנרגטי של יחידות מגורים ובתי דירות משותפים

תקציר החלק השני

3

### חלק שני א

פרק א: קוים מנחים לתכנון יחידת המגורים: סיכום והשוואת המלצות

- 1-א הקדמה
- 2-א המלצות וקוים מנחים לאקלים ירושלים - הפרמטרים שאינם גיאומטריים
- 3-א המלצות וקוים מנחים לאקלים ירושלים - הפרמטרים הגיאומטריים
- 5-א המלצות וקוים מנחים לאקלים תל אביב - הפרמטרים שאינם גיאומטריים
- 6-א המלצות וקוים מנחים לאקלים תל אביב - הפרמטרים הגיאומטריים
- 8-א השוואה בין ההמלצות לאקלים ירושלים לבין ההמלצות לאקלים תל אביב
- 15-א סיכום ומסקנות

פרק ב: השפעה מירבית על צריכת אנרגיה שנתית: סיכום והשוואת החשיבות של פרמטרי התכנון

### חלק שני ב

- 1-ב הקדמה
- 2-ב ירושלים: דירת גג או עמודים - 4 חזיתות
- 4-ב ירושלים: דירה בקומה אמצעית - 2 חזיתות
- 6-ב תל אביב: דירת גג או עמודים - 4 חזיתות
- 8-ב תל אביב: דירה בקומה אמצעית - 2 חזיתות
- 10-ב סיכום ומסקנות

פרק ג: צריכת האנרגיה בהתאם למיקום היחידה בבנין: סיכום, השוואה והמלצות לפתרונות עדיפים

### חלק שני ג

- 1-ג הקדמה
- 2-ג סיכום הממצאים העיקריים
- 10-ג סיכום ומסקנות

**חלק שני ד**

פרק ד: שיטה לקביעת שטח מומלץ לחלון דרומי: סולרי לעומת שימור

- 1-ד הקדמה
- 1-ד בניית גרף לקביעת שטח מומלץ לחלון דרומי
- 2-ד שיטה לקביעת שטח מומלץ לחלון דרומי
- 3-ד המלצות להערכת אחוז רצוי לשטח חלון דרומי ביחס לשטח רצפה
- 4-ד ירושלים: גרף לקביעת שטח מומלץ לחלון דרומי
- 5-ד תל אביב: גרף לקביעת שטח מומלץ לחלון דרומי
- 6-ד סולרי לעומת שימור
- 6-ד סיכום ומסקנות

פרק ה: הקבצת הדירות לבית המגורים המשותף: המלצות לקביעת גודל,

נפח, צורה ופנות המבנה

**חלק שני ה**

- 1-ה הקדמה
- 2-ה עקרונות המודל MulRes-ENERGY
- 3-ה קביעת נפח, צורה ופנות המבנה בהתאם למספר יחידות נתון
- 4-ה קביעת גודל, נפח, צורה ופנות המבנה
- 5-ה הערכת צריכת האנרגיה של בית מגורים משותף
- 5-ה סיכום ומסקנות

פרק ו: המלצות וקווים מנחים לתכנון היחידה והבנין: הדגמת תהליך

התכנון והערכת צריכת האנרגיה

**חלק שני ו**

- 1-ו הקדמה
- 1-ו תכנון הבית המשותף
- 2-ו הערכה מהירה של צריכת האנרגיה של הבנין המתוכנן
- 3-ו תכנון יחידות המגורים
- 4-ו א. יחידות זהות
- 6-ו ב. יחידות שאינן זהות - שטח חלון דרומי בהתאם למומלץ למבנה סולרי
- 11-ו ג. יחידות שאינן זהות - בידוד ושטח חלון דרומי בהתאם למומלץ למבנה סולרי
- 13-ו סיכום ומסקנות

פרק ז: סיכום ומסקנות

**חלק שני ז**

- 1-ז סיכום ומסקנות בהתאם לפרקי העבודה
- 4-ז סיכום המסקנות

## תקציר החלק השני

החלק השני עוסק בריכוז ההמלצות והקיום המנחים, לתכנון אקלימי-אנרגטי של יחידות המגורים ושל בתי הדירות המשותפים. חלק זה מתבסס על תוצאות האנליזה שבוצעה בחלק הראשון. בניגוד לחלק הראשון שדן בכל פרמטר תכנוני בנפרד, חלק זה עוסק בסיכום, ניתוח והשוואת התוצאות וכולל:

- א. סיכום המלצות התכנון לאזורי האקלים הממוזג-קריר והחם-לח והשוואתן
- ב. סיכום דירוג ההשפעה המירבית של כל פרמטרי התכנון על ההתנהגות התרמית של הדירה
- ג. סיכום תוצאות הסימולציה של צריכת האנרגיה לכל טיפוס דירה והשוואתן.

בנוסף מוצגת שיטה לקביעת השטח הרצוי לחלון דרומי. השיטה מתבססת על תוצאות הסימולציה של המבנה הסטנדרטי והמשופר, ומרחיבה את ההמלצות לקביעת השטח הרצוי לחלון דרומי במבנים המבודדים בצורה שונה מאלה שנבדקו, או שבהם הדירת האויר היא אחרת. שיטה זו מציגה את מרחב הפתרונות האפשרי לחסכון באנרגיה במבנים, המבוסס על שימור אנרגיה לעומת זה המבוסס על אנרגיה סולרית פסיבית.

כמו כן עוסק החלק השני בפיתוח קיום מנחים והמלצות להקבצת יחידות המגורים לבית מגורים משותף ובהערכת צריכת האנרגיה של הבנין כולו. לשם כך פותח מודל מחשב המאפשר לקבוע את גודל, נפח, צורה ופנות מועדפים לבית המגורים בשני אזורי האקלים שנבדקו. מודל זה הורץ עבור מספר רצוי של דירות בכלוק המגורים. התוצאות רוכזו בגרפים המאפשרים הצגת כל חלופות התכנון העונות על דרישות ואילוצי תכנון נתונים. גישה זו מאפשרת למתכנן ראית מרחב כל אפשרויות התכנון הטובות להקבצת הדירות לבית מגורים משותף, ועל כן אינה מגבילה את חופש התכנון. נהפוך הוא, היא מאפשרת למתכנן להצביע על חלופות תכנון טובות, שיתכן ואחרת לא היה בודק אותן.

לבסוף, מודגם תהליך התכנון לקביעת גודל, נפח, צורה ופנות עדיפים לבית המגורים באזור אקלים ירושלים, ותכנון פרטי היחידות השונות בבנין. כמו כן מודגמת הערכת צריכת האנרגיה של הבנין ושל היחידות. התכנון

והאנליזה בהדגמה, מבוססים על ההמלצות ושיטות הקירוב המוצגות בעבודה זו.

החלק השני מתחלק לפרקים הבאים:

- פרק א: קוים מנחים לתכנון יחידת המגורים: סיכום והשוואת המלצות
- פרק ב: השפעה מירבית על צריכת אנרגיה שנתית: סיכום והשוואת החשיבות של פרמטרי התכנון
- פרק ג: צריכת האנרגיה בהתאם למיקום היחידה בבנין: סיכום, השוואה והמלצות לפתרונות עדיפים
- פרק ד: שיטה לקביעת שטח מומלץ לחלון דרומי: סולרי לעומת שימור
- פרק ה: הקבצת הדירות לבית המגורים המשותף: המלצות לקביעת גודל, נפת, צורה ופנות המבנה
- פרק ו: המלצות וקוים מנחים לתכנון היחידה והבנין: הדגמת תהליך התכנון והערכת צריכת האנרגיה
- פרק ז: סיכום ומסקנות.

## פרק א: קוים מנחים לתכנון יחידת המגורים: סיכום והשוואת המלצות

### הקדמה

ההמלצות והקוים המנחים המוצגים בפרק זה, מבוססים על האנליזה הפרמטרית שבוצעה בחלק הראשון של המחקר.

הפרק מתחלק לחלקים הבאים:

המלצות וקוים מנחים לאקלים ירושלים - הפרמטרים שאינם גיאומטריים  
המלצות וקוים מנחים לאקלים ירושלים - הפרמטרים הגיאומטריים  
המלצות וקוים מנחים לאקלים תל אביב - הפרמטרים שאינם גיאומטריים  
המלצות וקוים מנחים לאקלים תל אביב - הפרמטרים הגיאומטריים  
השוואה בין ההמלצות לאקלים ירושלים לבין ההמלצות לאקלים תל אביב  
סיכום ומסקנות.



## המלצות וקוים מנחים לאקלים ירושלים - הפרמטרים שאינם גיאומטריים

### בידוד קירות המבנה

- בדירות הגג והעמודים יש לבדד את קירות החוץ היטב. רצוי  $0.53 < U < 0.65$  ווט/מ"ר/מ"צ.
- בדירות הפנימיות אין צורך לבדד את קירות החוץ מעבר לבידוד סטנדרטי. רצוי  $0.6 < U < 1.0$  ווט/מ"ר/מ"צ.
- ככל שהבנין מבודד טוב יותר ובעל שטח מעטפת קטן יותר יש להקפיד על איורורו בלילות הקיץ.
- קיים שיפור מסוים בהתנהגות התרמית של הבנין כאשר המסה התרמית פונה לחדר ומבודדת כלפי חוץ.

### בידוד גג המבנה

- הגג חייב להיות מבודד היטב. רצוי  $0.43 < U < 0.53$  ווט/מ"ר/מ"צ.
- ככל שהבידוד טוב יותר יש להקפיד על איורור הבנין בלילות הקיץ.

### בידוד רצפת קומת העמודים

- רצפת קומת העמודים חייבת להיות מבודדת היטב. רצוי  $0.55 < U < 0.65$  ווט/מ"ר/מ"צ.

### חדירת אויר (אינפילטרציה)

- יש להקפיד על איטום טוב של הבנין.
- רצוי  $0.85 <$  חדירת אויר  $< 0.65$  החלפות אויר/שעה בדירות בעלות שטח מעטפת גדול, כגון דירות גג ועמודים.
- אפשרי  $1.0 <$  חדירת אויר  $< 0.75$  החלפות אויר/שעה בדירות אמצעיות בעלות שטח מעטפת קטן.

### איורור המבנה בלילות הקיץ

- אין צורך במיזוג אויר בירושלים, אלא יש לאפשר איורור לילה טבעי טוב ובמידה וזה אינו אפשרי רצוי להוסיף מפרח, המספק כ- 20 החלפות אויר בשעה.
- ככל שהבנין מבודד טוב יותר, או בעל שטח מעטפת קטן יותר, יש צורך להקפיד על איורור לילה טוב יותר.

### צבע הקירות

- גוון הקירות הרצוי - חופשי, כאשר רק בקומת העמודים והגג של הבנין המבודד בצורה סטנדרטית, קיימת עדיפות לגוון כהה ( $0.65 <$  מקדם החזרה).

### צבע הגג

- גוון הגג הרצוי - כהות בינונית עד כהה (אך לא בהגזמה). רצוי  $0.65 <$  מקדם החזרה  $< 0.40$ .

## המלצות וקוים מנחים לאקלים ירושלים - הפרמטרים הגיאומטריים

### הצללת חלונות

- בדירות הגג והעמודים יש להקפיד על אי הצללת החלונות בחורף ועל הצללתם היעילה בקיץ. אולם, גם ללא הצללה ומיזוג אויר ניתן בקיץ להשיג טמפרטורת פנים נוחה בתנאי שקיים איורור לילה טוב.
- יש לציין שהתריסים מוסיפים בחורף בידוד לילה לחלונות ואם יוחלט על ביטולם תגדל צריכת האנרגיה לחימום בצורה משמעותית.
- בדירות שבקומה האמצעית, יש להקפיד על הצללת חלונות יעילה בקיץ, אולם ניתן להשתמש בתריס שאינו מאפשר פתיחה מלאה בחורף.
- בקיץ, רצוי בכל הדירות מקדם הצללה לקרינה ישירה ומפוזרת הקטן מ-0.50.
- בחורף, רצוי מקדם הצללה הגדול מ-0.85 בדירות הגג והעמודים ומ-0.50 בדירות שבקומה האמצעית.

### הצללת קירות

- יש חופש בקביעת גיאומטריית הבנין והבינוי, הגורם לצל על הקירות האטומים של הבנין, בתנאי שהקירות מבודדים בצורה משופרת, או בעלי שטח קטן.
- בדירות הגג והעמודים, המבודדות בצורה סטנדרטית, ניכרת עדיפות לחשיפת הבנין לשמש חורפית.

### הצללת הגג

- קיים חופש מוחלט בקביעת גיאומטריית הבנין והבינוי, הגורם לצל על גג הבנין המבודד בצורה משופרת.
- כאשר הגג מבודד בצורה סטנדרטית, עדיף גג בעל גוון בינוני החשוף לשמש החורפית.

### הגדלת שטח קירות החוץ

- בדירות הגג והעמודים, המבודדות בצורה משופרת, קיים חופש חלקי בקביעת גיאומטריית הבנין. זאת כל עוד תוספת השטח אינה עולה על 25% משטח הרצפה.
- כאשר הבנין מבודד בצורה סטנדרטית, רצוי להקטין את שטח המעטפת במידת האפשר.
- בדירות שבקומה האמצעית, המבודדות בצורה משופרת, קיים חופש מוחלט בקביעת שטח המעטפת.
- בדירה הגמלונית, יש צורך לבדד את הגמלון בצורה משופרת.

### הגדלת שטח החלונות בכיוונים השונים

- רצוי מאד להגדיל שטח חלונות דרומיים בהתאם למומלץ בסעיף הבא.
- רצוי להקטין למינימום הנדרש את שטח החלונות שאינם דרומיים. (גודלם יקבע בהתאם לדרישות פונקציונליות ואחרות).
- במידה וישנם תריסים להצללה חיצונית המופעלים כראוי, יש אפשרות להגדיל הפתחים בכל הכיוונים.

## גודל חלון דרומי

## א. בידוד סטנדרטי:

- |                    |                 |                               |
|--------------------|-----------------|-------------------------------|
| קומה אמצעית: 8-12% | קומת גג: 24-32% | 4 חזיתות- קומת עמודים: 30-34% |
| קומה אמצעית: 6-10% | קומת גג: 20-27% | 3 חזיתות- קומת עמודים: 28-32% |
| קומה אמצעית: 4-8%  | קומת גג: 17-23% | 2 חזיתות- קומת עמודים: 26-30% |
- % שטח מומלץ לחלונות דרומיים ביחס לשטח רצפה: בקומת גג ועמודים 20-30% ובקומה אמצעית 5-9%.
  - כאשר שטח החלונות מעל 10% יש להמליץ על תוספת וילון. יש להקפיד על סגירת התריס והוילון להגדלת בידוד החלון, מלבד בשעות זריחת השמש בחורף.

## ב. בידוד משופר:

- |                   |                 |                               |
|-------------------|-----------------|-------------------------------|
| קומה אמצעית: 3-5% | קומת גג: 11-14% | 4 חזיתות- קומת עמודים: 11-14% |
| קומה אמצעית: 3-5% | קומת גג: 9-12%  | 3 חזיתות- קומת עמודים: 9-12%  |
| קומה אמצעית: 3-5% | קומת גג: 8-11%  | 2 חזיתות- קומת עמודים: 8-11%  |
- % שטח מומלץ לחלונות דרומיים ביחס לשטח רצפה: בקומת גג ועמודים 8-12% ובקומה אמצעית בהתאם למינימום הנדרש.

## פרופורצית המבנה

- כאשר הבנין מבודד כמולץ אפשרית כל פרופורציה רצויה.
- באם הקירות אינם מבודדים כדרוש רצויה פרופורציה ריבועית.
- בבנין סטנדרטי-סולרי רצויה פרופורציה מלבנית (2:1), כאשר הצלע הארוכה פונה לדרום. יחס זה מבטיח קיר דרומי בשטח המאפשר מיקום החלון בגודלו המומלץ.

## פנות המבנה (אוריינטציה)

- קיימת חשיבות רבה להפנית החזית הראשית לדרום למעט דירות פנימיות של הקומה האמצעית.
- כאשר אין הצללת חלונות יעילה בקיץ, עדיף כיוון הדרום והצפון על המזרח והמערב, והמזרח עדיף על המערב.
- עקב הצורך באיורור לילה טבעי טוב, רצוי להפנות את החזית הראשית, או הנגדית לה, לכיוון הרוח השלטת בשעות הערב והלילה. כיוון זה הוא צפון-מערב עד מערב. הפנית החזית הראשית לכיוון דרום-מזרח (רצוי עד 20 מעלות מזרחה לדרום) תיתן פיתרון העונה בצורה טובה על דרישות האיורור והקרינה.

## פנות המבנה הסולרי

- בדירות גג ועמודים קיימת חשיבות רבה להפנות את הבנין הסולרי לדרום עם אפשרות לסטייה של עד כ-30° מערבה מהדרום ו-20° מזרחה לו.
- בקומה האמצעית אין כמעט השפעה לפנות הבנין בטווח הגזרה הדרומית. בדירות הגמלוניות קיימת אפשרות לסטייה של עד-45° מהדרום ואילו בפנימיות ההפניה יכולה להיות חופשית.
- עקב הצורך באיורור לילה טבעי טוב, רצוי להפנות את החזית הראשית של הבנין הסולרי לכיוון דרום-מזרח (עד 20 מעלות מזרחה לדרום), על מנת שהחזית הנגדית תפנה לכיוון הרוח השלטת. פנות זו עונה בצורה טובה על דרישות האיורור והקרינה.

## המלצות וקוים מנחים לאקלים תל אביב - הפרמטרים שאינם גיאומטריים

### בידוד קירות המבנה

- בדירות הגג והעמודים רצוי  $0.7 < U < 0.85$  ווט/מ"ר/מ"צ (רמה העולה במקצת על רמת הבידוד הסטנדרטי).
- בדירות הפנימיות רצוי  $0.8 < U < 1.3$  ווט/מ"ר/מ"צ (אין צורך לבדוד מעבר לרמת בידוד סטנדרטי).

### בידוד גג המבנה

- יש לבדוד את הגג אך לא בהגזמה. רצוי  $0.6 < U < 0.8$  ווט/מ"ר/מ"צ.
- ככל שהבידוד טוב יותר יש להקפיד על איורור הבנין בלילות הקיץ.

### בידוד רצפת קומת העמודים

- רצפת קומת העמודים חייבת להיות מבודדת היטב אך לא בהגזמה. רצוי  $0.7 < U < 1.0$  ווט/מ"ר/מ"צ.

### חדירת אויר (אינפילטרציה)

- בדירות בעלות שטח מעטפת גדול יש להקפיד על איטום טוב. רצוי  $0.90 <$  חדירת אויר  $< 0.65$  החלפות אויר/שעה.
- בדירות בעלות שטח מעטפת קטן אין צורך באיטום טוב. רצוי  $1.5 <$  חדירת אויר  $< 0.75$  החלפות אויר/שעה.

### איורור המבנה בלילות הקיץ

- איורור לילה טבעי טוב אינו מספיק להורדת הטמפרטורה בקיץ. יש צורך להפעיל מפוח לקבלת איורור לילה ובנוסף מאוורר לאיורור נוחות בשעות היום, או לחילופין להפעיל מיזוג אויר.
- ככל שהבנין מבודד טוב יותר, או בעל שטח מעטפת קטן יותר, יש צורך להקפיד על איורור לילה טוב יותר, בתנאי שהלחות היחסית בלילה אינה גבוהה.

### צבע הקירות

- גוון הקירות הרצוי - חופשי (קיימת עדיפות לגוון בינוני בקומת העמודים והגג ובהיר עד בינוני באמצעית).
- עדיפות ל-  $0.75 <$  מקדם החזרה  $< 0.55$  - בקומת העמודים והגג.
- עדיפות ל-  $0.85 <$  מקדם החזרה  $< 0.65$  - בקומה אמצעית.

### צבע הגג

- גוון הגג הרצוי - בהיר ככל האפשר. יש צורך לסייד הגג בתחילת כל קיץ על מנת לשמור על מקדם החזרה בערך ממוצע גבוה של  $0.85$ . רצוי  $0.85 <$  מקדם החזרה  $< 0.65$ .

## המלצות וקוים מנחים לאקלים תל אביב - הפרמטרים הגיאומטריים

### הצללת חלונות

- בדירות הגג והעמודים, יש להקפיד בקיץ על הצללת חלונות יעילה ע"י תריס הניתן לפתיחה מלאה, על מנת לאפשר חשיפה מירבית של החלונות לשמש החורפית.
- בדירות שבקומה האמצעית, יש להקפיד על הצללת חלונות יעילה בקיץ, אולם אין חשיבות לחשיפת החלונות לשמש החורפית.
- בכל הדירות רצוי מקדם הצללה לקיץ הקטן מ-0.30 לקרינה ישירה ו-0.50 לקרינה מפוזרת. רק בדירות הגג והעמודים רצוי מקדם הצללה לחורף הגדול מ-0.80.

### הצללת קירות

- קיים חופש מוחלט בקביעת גיאומטריית הבנין והבינוי, הגורם לצל על הקירות האטומים של הבנין, בתנאי שהקירות מבדדים בהתאם למומלץ.

### הצללת הגג

- קיים חופש מוחלט בקביעת גיאומטריית הבנין והבינוי, הגורם לצל על גג הבנין, בתנאי שהגג בהיר.
- כאשר הגג בעל גוון בינוני עד כהה, רצוי להצילו מהשמש הקיצית.

### פרופורצית המבנה

- בד"כ השפעת פרופורצית הבנין קטנה. אפשרי לכן תכנון חופשי בכל פרופורציה רצויה, כל עוד ניתן למקם על החזית הדרומית חלון בהתאם לגודלו המומלץ.

### הגדלת שטח קירות החוץ

- בדירות הגג והעמודים קיים חופש חלקי בקביעת גיאומטריית הבנין, כל עוד תוספת שטח קירות החוץ אינה עולה על 25% משטח הרצפה.
- בדירות האמצעיות רצוי להגדיל את שטח קירות החוץ.

### הגדלת שטח החלונות בכיוונים השונים

- בדירות הגג והעמודים רצוי להגדיל שטח חלונות דרומיים בהתאם למומלץ בסעיף הבא.
- רצוי להקטין למינימום הנדרש את שטח החלונות שאינם דרומיים. (גודלם יקבע בהתאם לדרישות פונקציונליות ואחרות).

## גודל חלון דרומי

## א. בידוד סטנדרטי:

- |                   |                 |                               |
|-------------------|-----------------|-------------------------------|
| קומה אמצעית: 3-5% | קומת גג: 18-21% | 4 חזיתות- קומת עמודים: 12-18% |
| קומה אמצעית: 3-5% | קומת גג: 17-20% | 3 חזיתות- קומת עמודים: 11-17% |
| קומה אמצעית: 3-5% | קומת גג: 14-17% | 2 חזיתות- קומת עמודים: 11-14% |
- % שטח מומלץ לחלונות דרומיים ביחס לשטח רצפה: בקומת גג ועמודים 14-18% ובקומה אמצעית בהתאם למינימום הנדרש.
  - כאשר שטח החלונות מעל 10% יש להמליץ על תוספת וילון. יש להקפיד על סגירת התריס והוילון להגדלת בידוד החלון, מלבד בשעות זריחת השמש בחורף.

## ב. בידוד משופר:

- |                   |                |                              |
|-------------------|----------------|------------------------------|
| קומה אמצעית: 3-5% | קומת גג: 9-12% | 4 חזיתות- קומת עמודים: 9-12% |
| קומה אמצעית: 3-5% | קומת גג: 7-10% | 3 חזיתות- קומת עמודים: 8-11% |
| קומה אמצעית: 3-5% | קומת גג: 5-8%  | 2 חזיתות- קומת עמודים: 8-11% |
- % שטח מומלץ לחלונות דרומיים ביחס לשטח רצפה: בקומת גג ועמודים 8-10% ובקומה אמצעית בהתאם למינימום הנדרש, במקרה זה עדיף בידוד סטנדרטי.

## פנות המבנה (אוריינטציה)

- בדירות הגג והעמודים קיימת חשיבות רבה להפנות את החזית הראשית לדרום (+35 מעלות).
- בקומה האמצעית אין כמעט השפעה לפנות הבנין, בתנאי שהחלונות מוצללים בקיץ כמומלץ. כאשר שטח החלונות בחזית הראשית קטן (5%), עדיפה ההפניה לדרום וכאשר הוא גדול (10%), עדיפה ההפניה לצפון.
- כאשר אין הצללת חלונות יעילה בקיץ, עדיף כיוון הצפון והדרום על המזרח והמערב, והמזרח עדיף על המערב.
- במידה ואין מיזוג אוויר, או מפוח לאיורור מאולץ, רצוי להפנות את הבנין לכיוון הרוח השלטת בערב ובלילה. בערב הרוח השלטת היא מכיוון צפון-מערב ואילו בלילה מכיוון דרום מזרח. הפנית החזית הראשית לכיוון דרום-מזרח (רצוי עד 35 מעלות מזרחה לדרום) תיתן פתרון העונה בצורה טובה על דרישות האיורור והקרינה. נציין, שמכיוון וקשה להשיג תנאי נוחות תרמיים בקיץ, רק עיי איורור לילה טבעי, רצוי להוסיף מפוח לקבלת איורור מאולץ טוב יותר. במקרה זה אין צורך להפנות את חזית הבנין לכיוון הרוח השלטת בשעות הלילה. איורור הלילה מקרר את המסה התרמית בבנין וכתוצאה מתקבלת טמפרטורת פנים נמוכה במשך היום שלמחרת. על מנת לשמור על טמפרטורה נמוכה זו, עדיף במשך היום להשיג איורור נוחות עיי מאורר ולא עיי איורור טבעי. האחרון גורם לקבלת טמפרטורת פנים גבוהה המשתווה כמעט לזו שבתוך. במקרה של שימוש במאורר, אין צורך להפנות את חזית הבנין לכיוון הרוח השלטת ביום.

## פנות המבנה הסולרי

- בדירות הגג והעמודים קיימת חשיבות רבה להפנית המבנה הסולרי לדרום עם אפשרות לסטיה עד 30° ממנו.
- בקומה האמצעית אין כמעט השפעה לפנות הבנין, בתנאי שהחלונות מוצללים בקיץ כמומלץ.

- במידה ואין מיוזג אויר, או מפוח לאיורור מאולץ, רצוי להפנות את החזית הראשית של הבנין הסולרי לכיוון דרום-מזרח (עד 30 מעלות מזרחה לדרום), על מנת שהחזית הנגדית תפנה לכיוון הרוח השלטת. פנות זו עונה בצורה טובה על דרישות האיורור והקרינה.

### השוואה בין ההמלצות לאקלים ירושלים לבין ההמלצות לאקלים תל אביב

בסעיף זה נשווה בין ההמלצות לאזור אקלים ירושלים, הממוזג-קריד לבין ההמלצות לאזור אקלים תל אביב, החם-לח. בחרנו לבצע את השוואה בצורה גרפית, המציגה את טיפוסי הדירות השונות שנבדקו. ההמלצות מובאות בסעיף זה בהתאם להתקדמות תהליך התכנון, מהכללי ביותר ועד לפירוט המבנה.

#### • תכנית כללית:

פרופורצית המבנה

פנות המבנה

פנות המבנה הסולרי

#### • שטח מעטפת:

שטח קירות חוץ

שטח חלונות (למעט חלון דרומי)

שטח חלון דרומי

#### • הצללת מעטפת:

הצללת חלונות

הצללת קירות

הצללת גג

#### • צבע מעטפת:

צבע קירות

צבע גג

#### • בידוד מעטפת:

בידוד קירות

בידוד רצפה

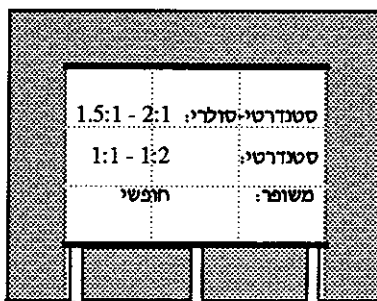
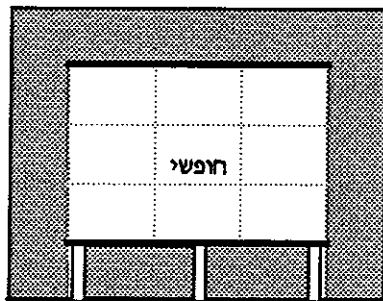
בידוד גג

#### • ערבוב אויר פנים וחוץ:

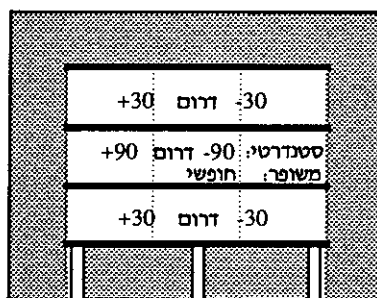
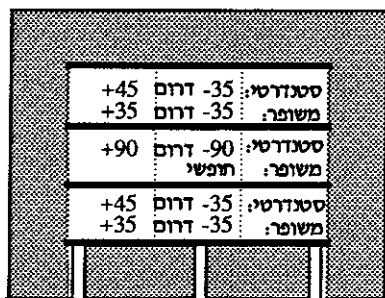
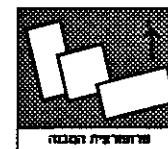
חדירת אויר (אינפילטרציה)

איורור המבנה בלילות הקיץ

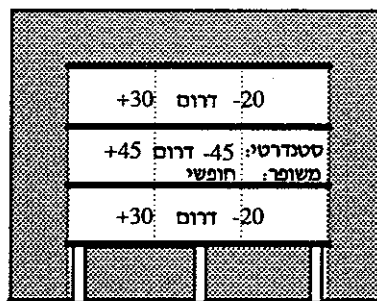
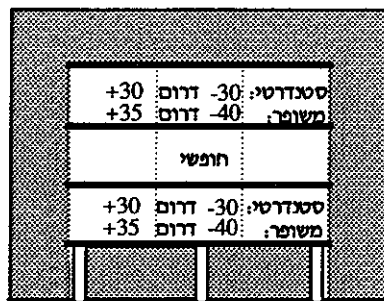
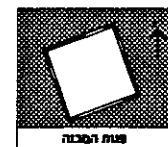
תכנית כללית



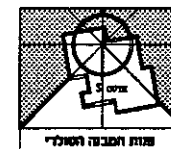
פרופורציות המבנה



פנות המבנה



פנות המבנה הסולרי





שטח מעטפת

יחידות: קירות - W = קיר בשטח של 25 מ"ר  
חלונות - % משטח רצפה

2.5W	עד	2W	סטנדרטי:
3W	עד	2W	משופר:
2.5W	עד	2W	סטנדרטי:
5W	עד	2W	משופר:
2.5W	עד	2W	סטנדרטי:
3W	עד	2W	משופר:

3W	עד	2W
5W	עד	3W
3W	עד	2W

שטח קירות חוץ



2-6%	רצוי:
2-5%	רצוי:
2-6%	רצוי:

הגדלת חלונות דרומיים הקטנת חלונות לא דרומיים שהם ללא תריסים
רצוי: 2-6%

שטח חלונות  
(מלבד חלון דרומי)



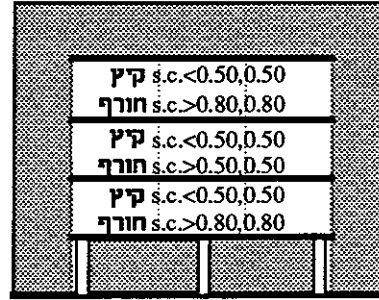
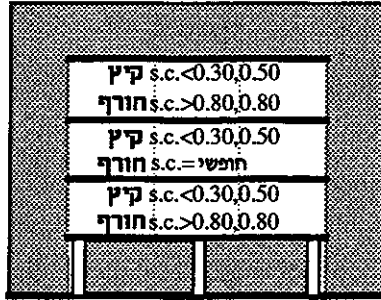
17-20%	14-17%	17-20%	סטנדרטי:
7-10%	5-8%	7-10%	משופר:
3-5%	3-5%	3-5%	סטנדרטי:
3-5%	3-5%	3-5%	משופר:
11-17%	11-14%	11-17%	סטנדרטי:
8-11%	8-11%	8-11%	משופר:

20-27%	17-23%	20-27%	סטנדרטי:
9-12%	8-11%	9-12%	משופר:
6-10%	4-8%	6-10%	סטנדרטי:
3-5%	3-5%	3-5%	משופר:
28-32%	26-30%	28-32%	סטנדרטי:
9-12%	8-11%	9-12%	משופר:

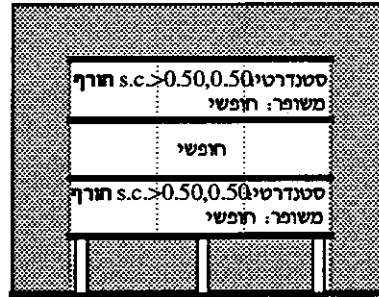
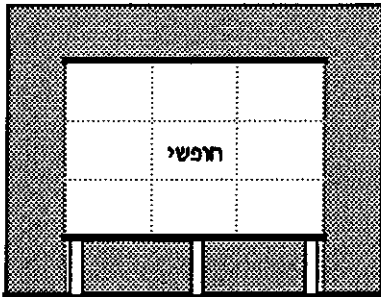
שטח חלון דרומי



**הצללת מעטפת**  
 מקדם הצלחה לקרינה ישירה (משמאל)  
 ומפוזרת (מימין)



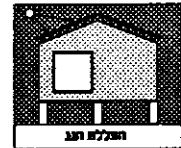
הצללת חלונות



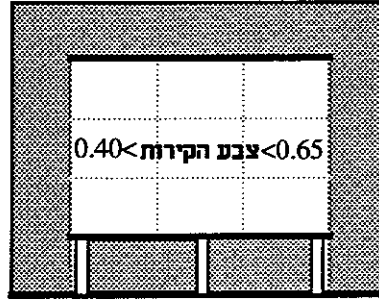
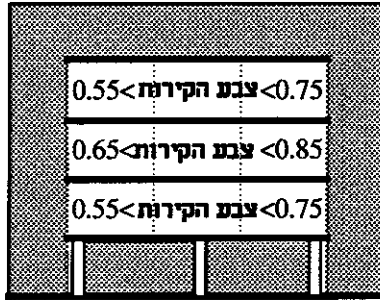
הצללת קירות



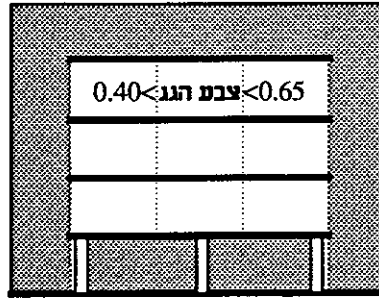
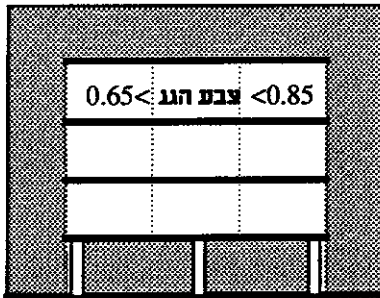
הצללת גג



צבע מעטפת  
מקדם החזרה לקרינת קצרת גל



צבע קירות



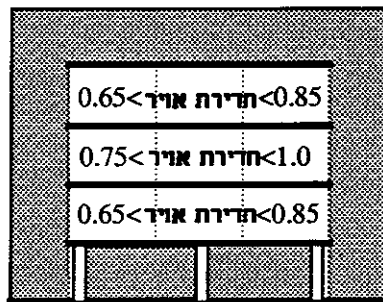
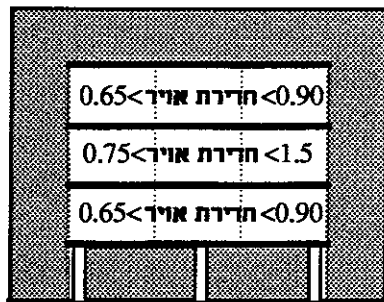
צבע גג





ערבוב אויר פנים וחוץ

יחידות: מסי החלפות אויר בשעה



חזירת אויר  
 (אינפילטרציה)



איורור המבנה  
 בלילות הקיץ



## סיכום ומסקנות

- **ניתן לנסח המלצות תכנון פשוטות.** המלצות אלו מאפשרות לארכיטקט, כבר בשלב התכנון הרעיוני, לתכנן בנינים נוחים מבחינה אקלימית שצורכים אנרגיה מתכלה מינימלית.
- **על מנת להמנע מהמלצות כלליות העלולות לגרום להטעיית המתכנן, יש צורך לפתח את ההמלצות עבור כל טיפוס דירה ומבנה בנפרד.** בשום פנים ואופן אין לגזור המלצות תכנון לדירות הגג והעמדים המסתמכות על בדיקת דירה בקומה אמצעית ולהיפך. כמו כן, **המלצות תכנון שפותחו עבור בנינים פרטיים, להם שטח מעטפת גדול, אינן יכולות להוות בסיס להמלצות לגבי בית מגורים משותף.**
- **המלצות לגבי הגיאומטריה העדיפה לבנין, תלויות במידת בידודו.** יש על כן לקבוע מראש את רמת הבידוד הרצויה, על מנת לעצב את המבנה בצורה נכונה מבחינה תרמית ולהיפך. **בהתאם לעיצוב הרצוי לבנין, יש אפשרות לקבוע מהי רמת הבידוד הדרושה.**
- **מהשוואת המלצות התכנון לירושלים (אזור אקלים ההר) והמלצות התכנון לתל אביב (אזור אקלים שפלת החוף), ניתן ללמוד שאין להתייחס למקומות השונים בארץ כאזור אקלימי אחד.** קיימת חשיבות רבה לפיתוח המלצות תכנון לכל אזורי האקלים השונים שבארץ.

## פרק ב: השפעה מירבית על צריכת אנרגיה שנתית: סיכום והשוואת החשיבות של פרמטרי התכנון

### הקדמה

בפרק זה ריכזנו את תוצאות ההשפעה המירבית של כל פרמטר תכנוני על צריכת האנרגיה והתנהגותו התרמית של המבנה, כפי שנמצא באנליזה שבוצעה בחלק אי של עבודה זו. תחום השינוי בערכי כל פרמטר נקבע לפי השינויים ההגיוניים המקסימליים האפשריים עבורו. לגבי בידוד מעטפת הבנין, הוגבל תחום זה לפי המלצות תקן 1045 לבידוד תרמי. תוצאות ההשפעה המירבית של כל פרמטר תכנוני, רוכזו בגרפים המאפשרים להצביע בקלות על אלה שעבורם התנהגות הבנין מבחינה תרמית משתנה בצורה רבה ביותר. ההשוואה בין ההשפעה התרמית של כל פרמטרי התכנון, מראה את החשיבות היחסית שלהם מהבחינה האנרגטית.

השפעת פרמטרי התכנון השונים על ההתנהגות התרמית של המבנה הסטנדרטי והמשופר, מוצגת בסדר יורד בהתאם למידת חשיבותם. המספרים הרשומים בסוגרים מבטאים את השינוי המקסימלי האפשרי בקווי"ש/שנה, אלא אם צויין אחרת.

נדגיש שעל המתכנן להתייחס ביתר חומרה וחשיבות לקביעת ערכי הפרמטרים התכנוניים, ששינוי בקביעת ערכם משפיע בצורה רבה על צריכת האנרגיה והתנהגותו התרמית של הבנין.

## ירושלים: דירת גג או עמודים - 4 חזיתות

## המבנה הסטנדרטי

- **הפרמטרים בעלי ההשפעה הרבה ביותר הם:** שינוי שטח החלון הדרומי, כלומר רמת הסולריות של הבנין (3550), חדירת אויר (3300), אי הצללת חלונות בחורף (2950), בידוד הגג (2300), שינוי שטח קירות החוץ של הבנין (2100) ובידוד רצפת קומת העמודים (2000).
- **בשלב הבא בחשיבותם נמצאים פרמטרי התכנון הבאים:** בידוד קירות המבנה (1700), פנות הבנין (1600), פרופורציות הבנין הסולרי (1500) ואיורור המבנה בלילות הקיץ (3.5 מ"צ).
- **כמו כן ניכרת השפעתם של הפרמטרים הבאים:** סטית הבנין הסולרי מהדרום הנקי (900), צבע הקירות (850) והגג (700), שינוי שטח החלון המערבי (750) והמזרחי (650) בעלי תריס חיצוני, הצללת הקירות (500) והגג בעל הגוון הבינוני (450), שינוי שטח החלון המערבי (400), המזרחי (300) והצפוני (300) בעלי תריס פנימי והצללת חלונות בקיץ (1.5 מ"צ).
- **השפעת פרמטרי התכנון הבאים זניחה:** שינוי שטח החלון הצפוני, שהוא בעל תריס חיצוני הנותן הצללה טובה בקיץ ובידוד לילה בחורף (150) ופרופורציות הבנין שאינו סולרי (150).

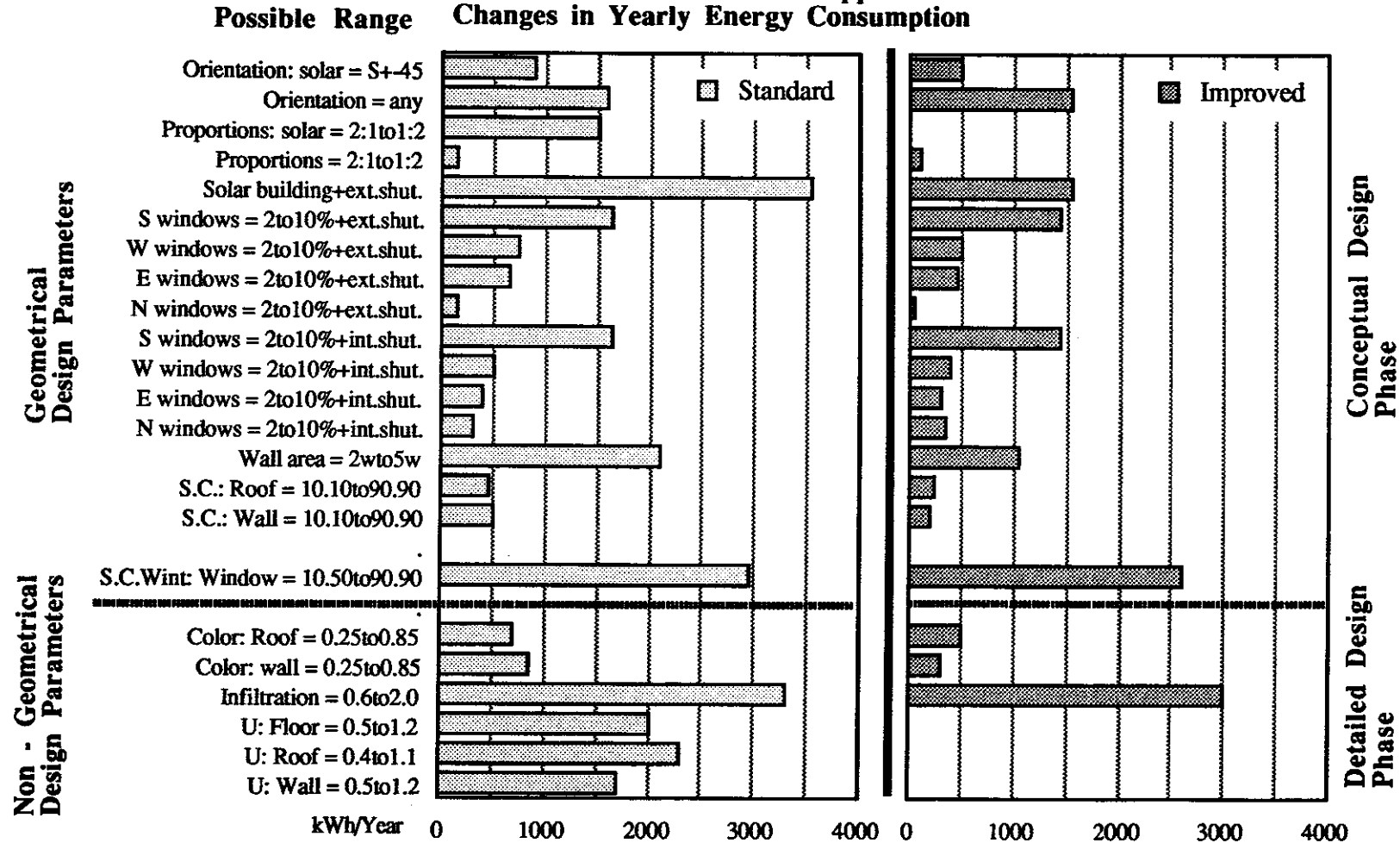
## המבנה המשופר

- **הפרמטרים בעלי ההשפעה הרבה ביותר הם:** חדירת אויר (3000), אי הצללת חלונות בחורף (2600) ואיורור המבנה בלילות הקיץ (4.8 מ"צ).
- **בשלב הבא בחשיבותם נמצאים פרמטרי התכנון הבאים:** הגדלת שטח החלון הדרומי, כלומר רמת הסולריות של הבנין (1550), פנות הבנין (1550) ושינוי שטח קירות החוץ שלו (1050).
- **כמו כן ניכרת השפעתם של הפרמטרים הבאים:** סטית הבנין הסולרי מהדרום המדויק (500), צבע הגג (500), שינוי שטח החלון המערבי (500) והמזרחי (450) בעלי תריס חיצוני, שינוי שטח החלון המערבי (400), הצפוני (350) והמזרחי (300) בעלי תריס פנימי, צבע הקירות (300) והצללת חלונות בקיץ (2 מ"צ).
- **השפעת פרמטרי התכנון הבאים זניחה:** הצללת הגג בעל הגוון הבינוני (250) והקירות (200), פרופורציות הבנין שאינו סולרי (100), שינוי שטח החלון הצפוני הנותן הצללה טובה בקיץ ובידוד לילה בחורף (50) ופרופורציות הבנין הסולרי (0).



ירושלים: דירת גג - 4 חזיתות

JERUSALEM - 4 Facades - Upper Floor  
Changes in Yearly Energy Consumption



## ירושלים: דירה בקומה אמצעית - 2 חזיתות

## המבנה הסטנדרטי

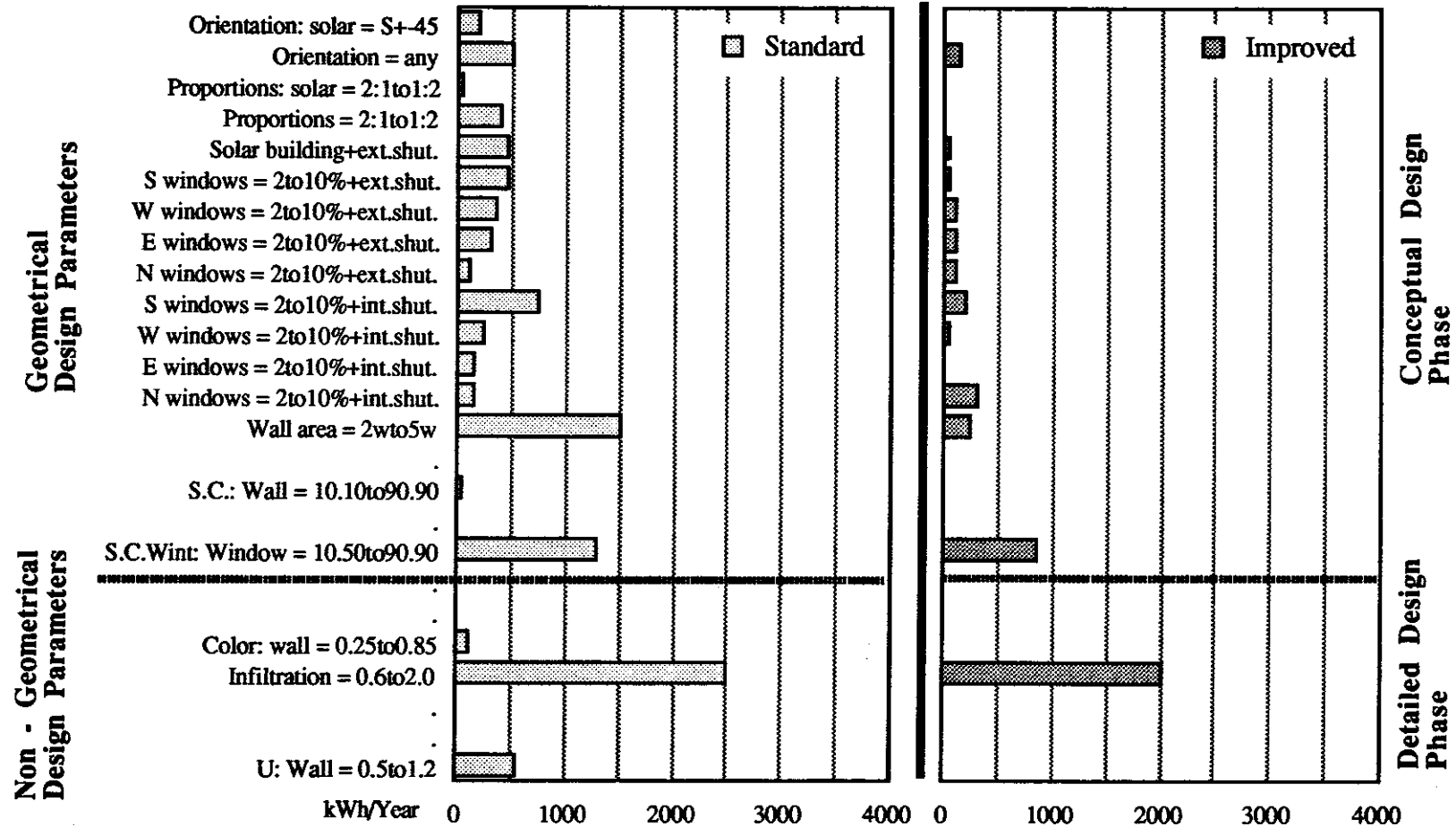
- הפרמטרים בעלי ההשפעה הרבה ביותר הם: חדירת אויר (2500) ואיורור המבנה בלילות הקיץ (6.9 מ"צ).
- בשלב הבא בחשיבותם נמצאים פרמטרי התכנון הבאים: שינוי שטח קירות החוץ של הבנין (1500) ואי הצללת חלונות בחורף (1300).
- כמו כן ניכרת השפעתם של הפרמטרים הבאים: שינוי שטח החלון הדרומי בעל תריס פנימי (750), בידוד קירות המבנה (550), פנות הבנין (500), שינוי שטח החלון הדרומי בעל תריס חיצוני (450), פרופורציות הבנין שאינו סולרי (400), שינוי שטח החלון המערבי (350) והמזרחי (300) בעלי תריס חיצוני והצללת חלונות בקיץ (1.5 מ"צ).
- השפעת פרמטרי התכנון הבאים זניחה: שינוי שטח החלון המערבי בעל תריס פנימי (250), סטית הבנין הסולרי מהדרום הנקי (200), שינוי שטח החלון הצפוני (150) והמזרחי (150) בעלי תריס פנימי, שינוי שטח החלון הצפוני בעל תריס חיצוני (100), צבע הקירות (100) והצללתם (50) ופרופורציות הבנין הסולרי (50).

## המבנה המשופר

- בדומה למבנה הסטנדרטי הפרמטרים בעלי ההשפעה הרבה ביותר בבנין המשופר הם: חדירת אויר (2000) ואיורור המבנה בלילות הקיץ (7.8 מ"צ).
- בשלב הבא נמצא את הפרמטר של אי הצללת חלונות בחורף (850).
- כמו כן ניכרת השפעת הפרמטר של הצללת חלונות בקיץ (1.5 מ"צ).
- השפעת כל פרמטרי התכנון האחרים זניחה.

ירושלים: דירה בקומה אמצעית - 2 חזיתות

JERUSALEM - 2 Facades - Middle Floor  
Changes in Yearly Energy Consumption



## תל אביב: דירת גג או עמודים - 4 חזיתות

## המבנה הסטנדרטי

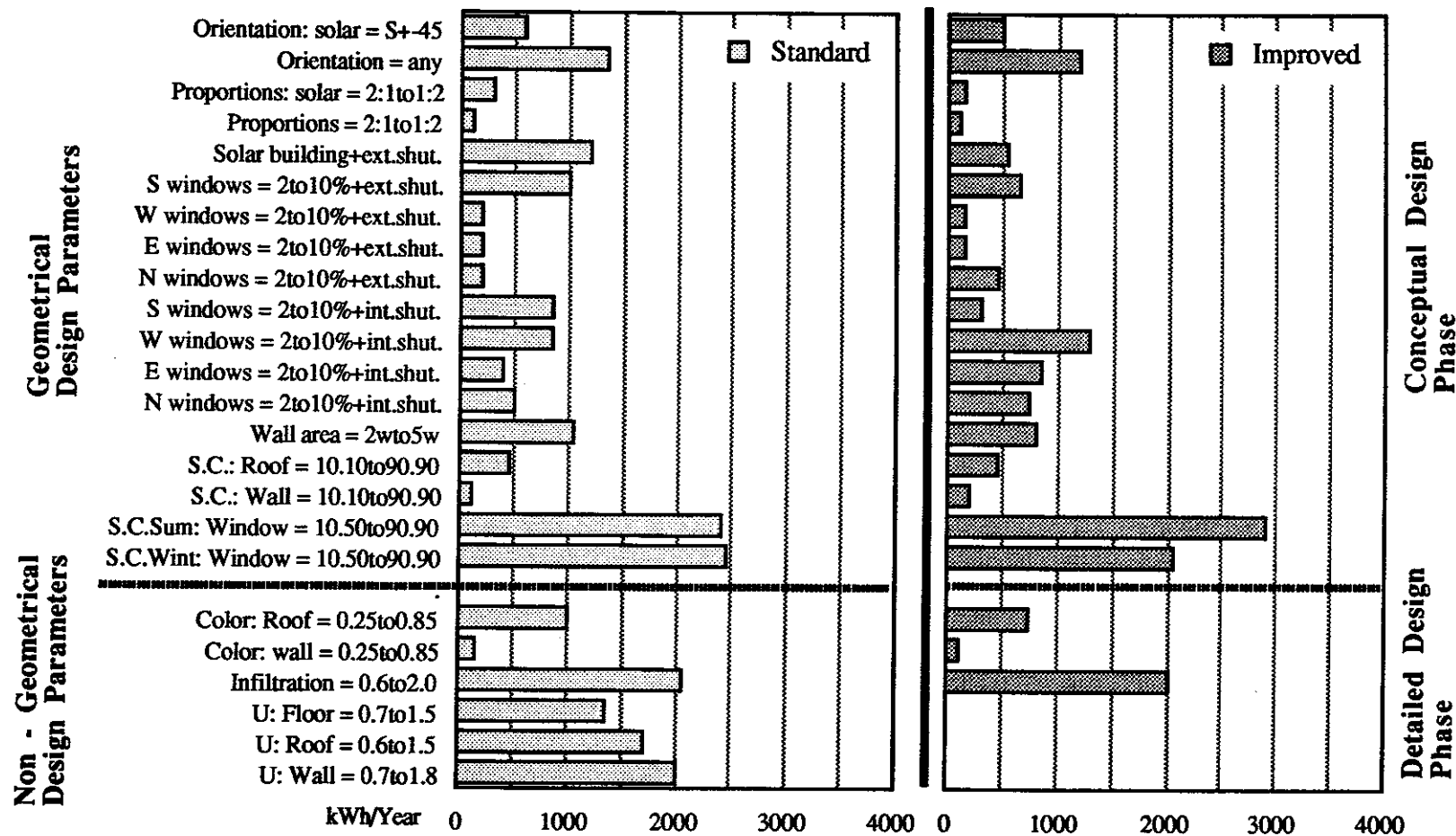
- הפרמטרים בעלי ההשפעה הרבה ביותר הם: אי הצללת חלונות בחורף (2450), הצללת חלונות בקיץ (2400) וחדירת אויר (2050).
- בשלב הבא בחשיבותם נמצאים פרמטרי התכנון הבאים: בידוד קירות המבנה (1950) והגג (1700), בידוד רצפת קומת העמודים (1350), פנות הבנין (1350), שינוי שטח החלון הדרומי, כלומר רמת הסולריות של הבנין (1200), שינוי שטח קירות החוץ של הבנין (1050), צבע הגג (1000) ואיורור המבנה בלילות הקיץ (2.1 מ"צ).
- כמו כן ניכרת השפעתם של הפרמטרים הבאים: שינוי שטח החלון הדרומי והצפוני בעלי תריס פנימי (850), סטית הבנין הסולרי מהדרום הנקי (600), שינוי שטח החלון הצפוני (500) והחלון המזרחי (350) בעלי תריס פנימי, הצללת גג הבנין הצבוע בגוון בינוני (450) ופרופורציות הבנין הסולרי (300).
- השפעת פרמטרי התכנון הבאים זניחה: שינוי שטח החלון הצפוני, המזרחי והמערבי בעלי תריס חיצוני הנותן הצללה טובה בקיץ ובידוד לילה בחורף (200), צבע הקירות (150), פרופורציות הבנין שאינו סולרי (100) והצללת הקירות (100).

## המבנה המשופר

- הפרמטרים בעלי ההשפעה הרבה ביותר הם: הצללת חלונות בקיץ (2900) ואי הצללתם בחורף (2050), חדירת אויר (2000) ואיורור המבנה בלילות הקיץ (2.9 מ"צ).
- בשלב הבא בחשיבותם נמצאים פרמטרי התכנון הבאים: שינוי שטח החלון המערבי בעל תריס פנימי הנותן הצללה חלקית בקיץ (1300) ופנות הבנין (1200).
- כמו כן ניכרת השפעתם של הפרמטרים הבאים: שינוי שטח קירות החוץ (800), שינוי שטח החלון המזרחי (850) והצפוני (750) בעלי תריס פנימי, צבע הגג (750), שינוי שטח החלון הדרומי בעל תריס חיצוני (650), סטית הבנין הסולרי מהדרום הנקי (500), הצללת גג הבנין הצבוע בגוון בינוני (450) ושינוי שטח החלון הצפוני בעל תריס חיצוני (450).
- השפעת פרמטרי התכנון הבאים זניחה: הצללת הקירות (200), גודל החלונות המזרחי והמערבי בתנאי שהם בעלי תריס חיצוני הנותן הצללה טובה בקיץ ובידוד לילה בחורף (150), פרופורציות הבנין הסולרי (150), פרופורציות הבנין שאינו סולרי (100) וצבע הקירות (100).

תל אביב: דירת גג - 4 חזיתות

TEL AVIV - 4 Facades - Upper Floor  
Changes in Yearly Energy Consumption



## תל אביב: דירה בקומה אמצעית - 2 חזיתות

## המבנה הסטנדרטי

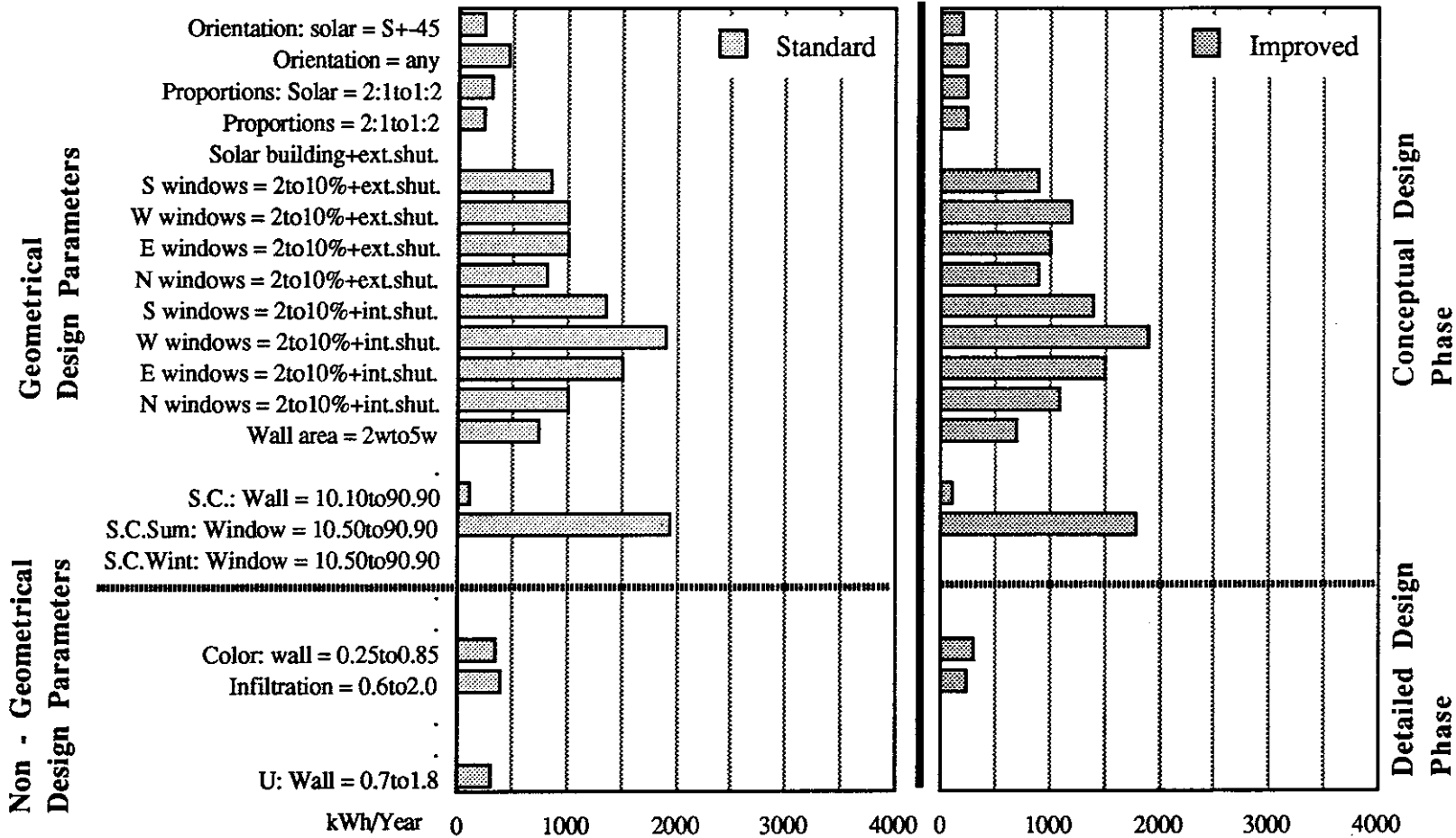
- הפרמטרים בעלי ההשפעה הרבה ביותר הם: הצללת חלונות בקיץ (1950), שינוי שטח החלון המערבי בעל תריס פנימי (1900) ואיורור המבנה בלילות הקיץ (6.3 מ"צ).
- בשלב הבא בחשיבותם נמצאים פרמטרי התכנון הבאים: שינוי שטח החלון המזרחי (1500), הדרומי (1350) והצפוני (1000) בעלי תריס פנימי ושינוי שטח החלון המערבי (1000) והמזרחי (1000) בעלי תריס חיצוני.
- כמו כן ניכרת השפעתם של הפרמטרים הבאים: שינוי שטח החלון הדרומי (850) והצפוני (800) בעלי תריס חיצוני, שינוי שטח קירות החוץ של הבנין (750), פנות הבנין (450), חדירת אויר (400), צבע הקירות (350) ובידודם (300) ופרפורציות הבנין הסולרי (300).
- השפעת פרמטרי התכנון הבאים זניחה: פרפורציות המבנה (250), סטית הבנין הסולרי מהדרום הנקי (250), הצללת קירות (100), הגדלת רמת הסולריות של הבנין (0) ואי הצללת חלונות בחורף (0).

## המבנה המשופר

- בדומה למבנה הסטנדרטי הפרמטרים בעלי ההשפעה הרבה ביותר בבנין המשופר הם: שינוי שטח החלון המערבי בעל תריס פנימי (1900), הצללת חלונות בקיץ (1800) ואיורור המבנה בלילות הקיץ (6.4 מ"צ).
- בשלב הבא בחשיבותם נמצאים פרמטרי התכנון הבאים: שינוי שטח החלון המזרחי (1500), הדרומי (1400) והצפוני (1100) בעלי תריס פנימי ושינוי שטח החלון המערבי (1200) והמזרחי (1000) בעלי תריס חיצוני.
- כמו כן ניכרת השפעתם של הפרמטרים הבאים: שינוי שטח החלון הדרומי (900) והצפוני (900) בעלי תריס חיצוני, שינוי שטח קירות החוץ של הבנין (700) וצבע הקירות (300).
- השפעת פרמטרי התכנון הבאים זניחה: פנות הבנין (250), חדירת אויר (250), פרפורציות המבנה (250), סטית הבנין הסולרי מהדרום הנקי (200), הצללת קירות (100), הגדלת רמת הסולריות של הבנין (0) ואי הצללת חלונות בחורף (0).

תל אביב: דירה בקומה אמצעית - 2 חזיתות

TEL AVIV - 2 Facades - Middle Floor  
Changes in Yearly Energy Consumption



סיכום ומסקנות

- סיכום השפעת פרמטרי התכנון השונים על ההתנהגות התרמית של טיפוסי הדירות שנבדקו מוצג בטבלאות 1 ו-2.
- ניתן לחלק את פרמטרי התכנון לקבוצות הבאות:
  - פרמטרי תכנון שהשפעתם חזקה ללא תלות באזור האקלימי. לדוגמא: חדירת אויר ואיורור המבנה בלילות הקיץ. (משפט זה נכון עבור שני אזורים האקלים שנבדקו. יש לאמתו עבור אזורי אקלים נוספים).
  - פרמטרי תכנון שהשפעתם חזקה רק באזור אקלימי אחד. לדוגמא: הצללת חלונות בקיץ, או שינוי שטח החלונות (בעיקר המערבי) כאשר אלו ללא תריס חיצוני. נראה שהשפעת פרמטרים אלה רבה מאוד באקלים החם-לח של תל אביב ובינונית עד זניחה באקלים המומזג-קריר של ירושלים.
  - פרמטרי תכנון שהשפעתם חזקה ללא תלות בטיפוס הדירה ובפרמטרי התכנון השונים שלה. לדוגמא: הצללת חלונות בקיץ בתל אביב, או חדירת אויר בירושלים.
  - פרמטרי תכנון שהשפעתם חזקה רק על טיפוס דירה מסוים ותלויה בערכי פרמטרי התכנון האחרים. לדוגמא: אי הצללת חלונות בחורף והגדלת רמת הסולריות של הדירה, שהשפעתם עצומה בעיקר על דירות הגג.
  - פרמטרי תכנון שהשפעתם חלשה תמיד ללא תלות באקלים, או בערכי פרמטרי התכנון האחרים. לדוגמא: פרופורציות המבנה שאינן סולרי, הצללת הקירות וצבעם.

טבלה 1. השפעת פרמטרי תכנון שאינם גיאומטריים על התנהגות תרמית של דירות מגורים

תל אביב		ירושלים							
2 חזי אמצע		4 חזי גג/עמודים		2 חזי אמצע		4 חזי גג/עמודים		טיפוס הדירה	
מ	ס	מ	ס	מ	ס	מ	ס	סוג הבידוד	פרמטר תכנוני
	◆		■		◆		■		בידוד קירות המבנה
			■				■		בידוד הגג
			■				■		בידוד רצפת קומת העמודים
◆	◆	○	○	○	○	◆	◆		צבע הקירות
		◆	■			◆	◆		צבע הגג
○	◆	■	■	■	■	■	■		חדירת אויר
■	■	■	■	■	■	■	■		איורור המבנה בלילות הקיץ

מקרא: ■ השפעה עצומה ■ השפעה רבה מאד ◆ השפעה ניכרת ○ השפעה זניחה  
 ס- בידוד סטנדרטי מ- בידוד משופר



טבלה 2. השפעת פרמטרי תכנון גיאומטריים על התנהגות תרמית של דירות מגורים

תל אביב				ירושלים				סיפוס הדירה
2 חזי		4 חזי		2 חזי		4 חזי		
אמצע		ג/עמודים		אמצע		ג/עמודים		
מ	ס	מ	ס	מ	ס	מ	ס	סוג הבידוד
◆	◆	◆	■	○	■	■	■	פרמטר תכנוני
○	◆	■	■	○	◆	■	■	הגדלת שטח קירות חוץ
○	○	◆	◆	○	○	◆	◆	פנות הבנין
○	○	○	○	○	◆	○	○	סטית הבנין הסולרי מהדרום (עד +45)
○	○	○	○	○	○	○	○	פרופורציות המבנה
○	◆	○	◆	○	◆	○	■	פרופורציות הבנין הסולרי
○	○	○	○	○	○	○	◆	הצללת הקירות
		◆	◆			○	◆	הצללת הגג
■	■	■	■	◆	◆	◆	◆	הצללת חלונות בקיץ
○	○	■	■	■	■	■	■	אי הצללת חלונות בחורף
○	○	◆	■	○	◆	■	■	הגדלת רמת הסולריות/תריס חוץ
◆	◆	◆	◆	○	◆	■	■	שינוי שטח חלון דרומי/תריס חוץ
■	■	○	○	○	◆	◆	◆	שינוי שטח חלון מערבי/תריס חוץ
■	■	○	○	○	◆	◆	◆	שינוי שטח חלון מזרחי/תריס חוץ
◆	◆	◆	○	○	○	○	○	שינוי שטח חלון צפוני/תריס חוץ
■	■	◆	◆	○	◆	■	■	שינוי שטח חלון דרומי/תריס פנים
■	■	■	◆	○	○	◆	◆	שינוי שטח חלון מערבי/תריס פנים
■	■	◆	◆	○	○	◆	◆	שינוי שטח חלון מזרחי/תריס פנים
■	■	◆	◆	○	○	◆	◆	שינוי שטח חלון צפוני/תריס פנים

מקרא: ■ השפעה עצומה ■ השפעה רבה מאד ◆ השפעה ניכרת ○ השפעה זניחה  
 ס- בידוד סטנדרטי מ- בידוד משופר

## סיכום הממצאים העיקריים ירושלים

על מנת לשמור על תנאי נוחות תרמית בבנין, יש צורך בירושלים בחימום הדירה בלבד. על כן הדיון בהמלצות לגבי פתרונות עדיפים יערך בהתאם לשתי רמות יעד של צריכת אנרגיה מקסימלית לחימום דירה והן:

- א. 500 קווי"ש/לעונה לחימום דירה בת 100 מ"ר (כשמינית מצריכת אנרגיה של דירה סטנדרטית)
- ב. 1000 קווי"ש/לעונה לחימום דירה בת 100 מ"ר (כרבע מצריכת אנרגיה של דירה סטנדרטית).

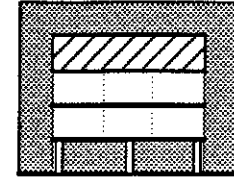
### א. השגת רמת יעד של 500 קווי"ש/לעונה לחימום דירה בת 100 מ"ר

1. בדירות הגג והעמודים, המבודדות בצורה משופרת, כאשר הבנינים מתוכננים כבנינים סולריים ושטח החלון הדרומי בהתאם למומלץ.
2. בדירות הגג והעמודים, המבודדות בצורה סטנדרטית, קשה מאד להשיג רמה זו.
3. בכל הדירות שבקומה האמצעית, בעלות בידוד משופר, מלבד בדירות בנות 4 חזיתות הפונות לגזרה הצפונית.
4. בדירות שבקומה האמצעית, בעלות 4 חזיתות ומבודדות בצורה סטנדרטית, בתנאי שהן בעלות חלון דרומי בשטח של לפחות 10% משטח הרצפה.
5. בדירות שבקומה האמצעית, בעלות 3 חזיתות ומבודדות בצורה סטנדרטית, בתנאי שהן בעלות חלון דרומי בשטח של לפחות 8% משטח הרצפה. כאשר החלון הדרומי הוא כ-10%, יש אפשרות להפנות את הדירה לכל הגזרה הדרומית.
6. בכל הדירות שבקומה האמצעית, בעלות 2 חזיתות, גם כשהן מבודדות בבידוד סטנדרטי, בתנאי שהפרופורציה שלהן אינה עוברת את היחס 1:1 (כלומר חזית צרה).

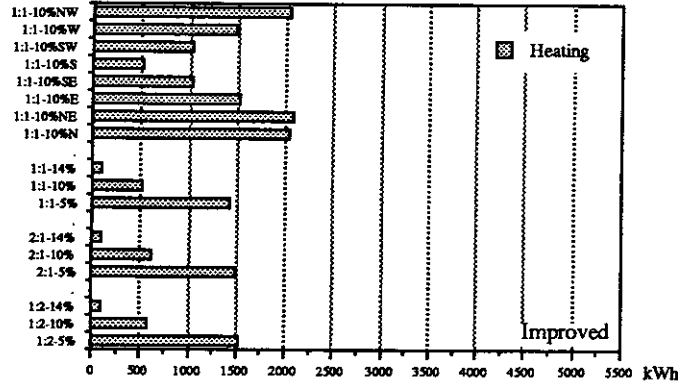
### ב. השגת רמת יעד של 1000 קווי"ש/לעונה לחימום דירה בת 100 מ"ר

1. בכל הדירות שבקומה האמצעית. הבידוד יכול להיות סטנדרטי או משופר.
2. בדירות הגג והעמודים, כאשר הבנינים מתוכננים כבנינים סולריים ושטח חלון דרומי בהתאם למומלץ. הבידוד יכול להיות סטנדרטי או משופר, בתנאי שהפרופורציה של הדירה אינה עוברת את היחס 1:1 ושהחזית הרחבה של הדירה פונה לדרום. (אחרת אין אפשרות לישים את שטח הזיגוג הדרומי המומלץ).

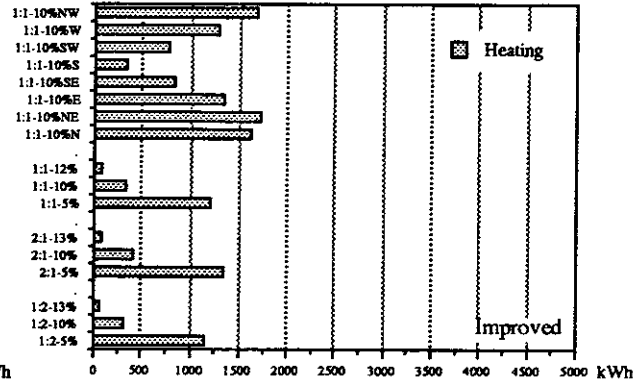
גרף 1. ירושלים: קומה עליונה



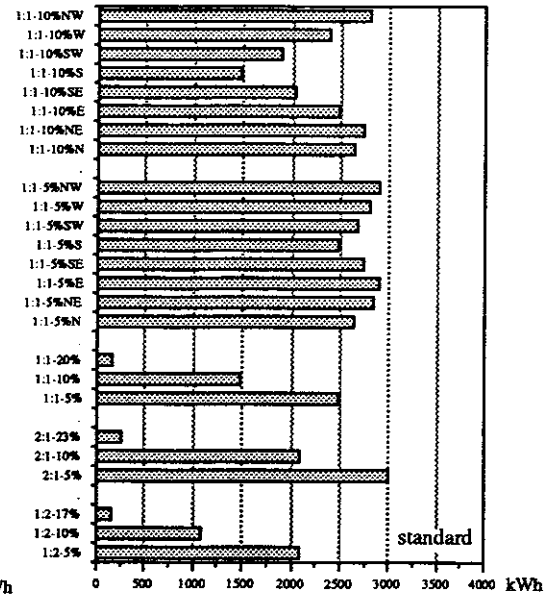
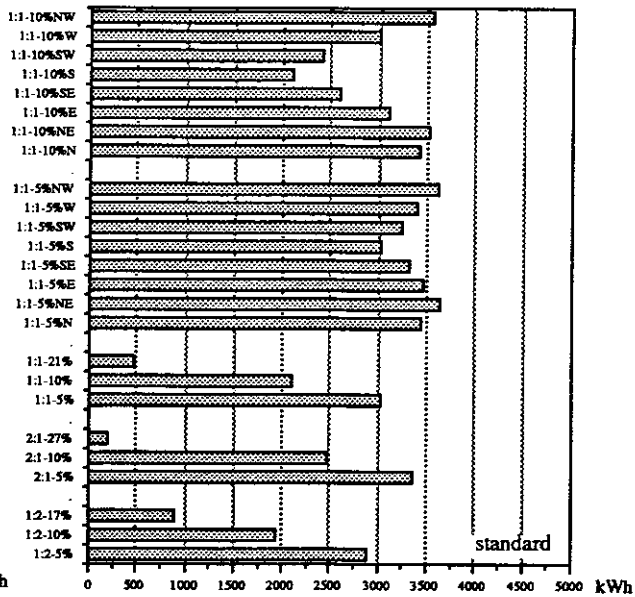
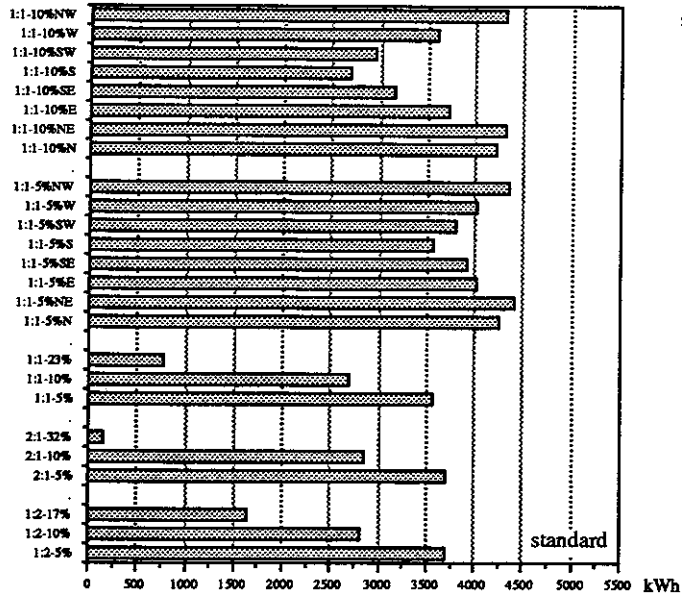
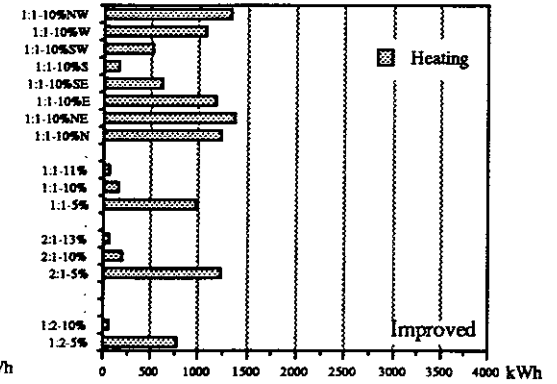
4 חזיתות



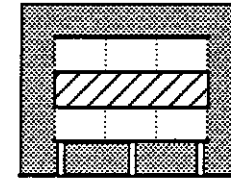
3 חזיתות



2 חזיתות



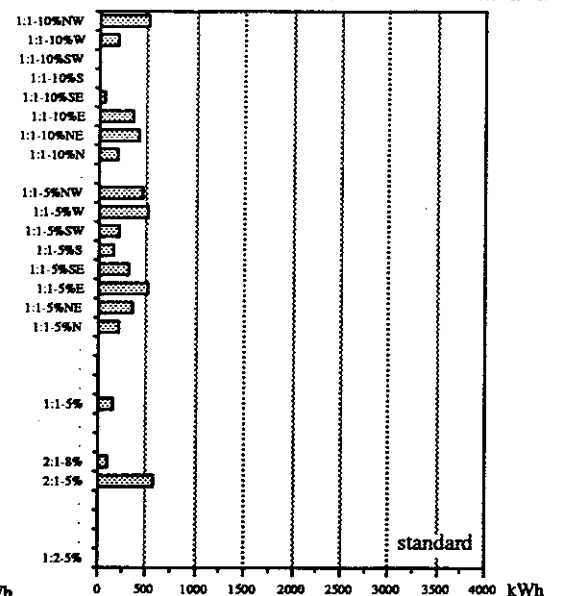
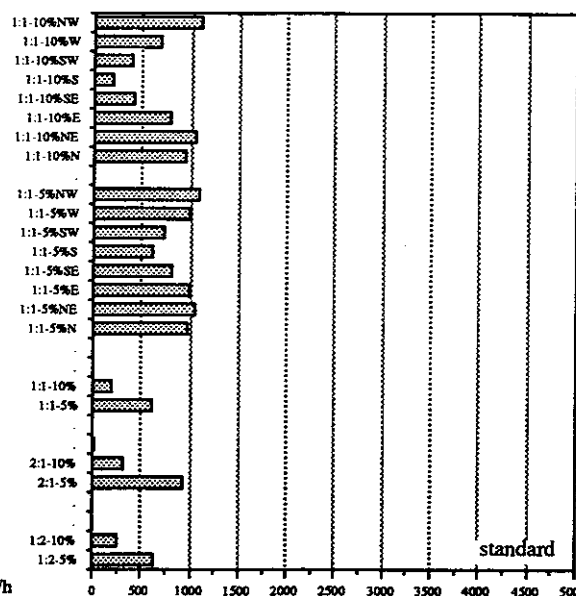
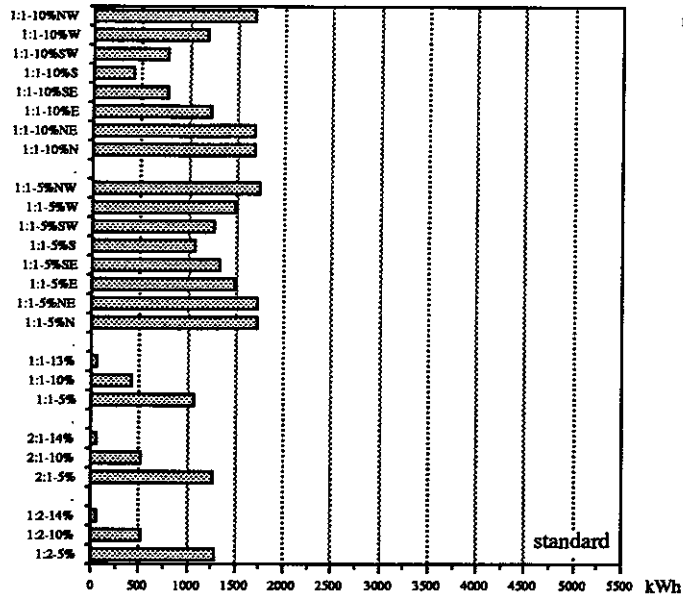
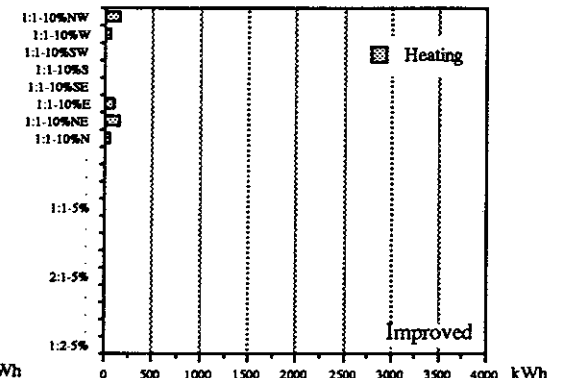
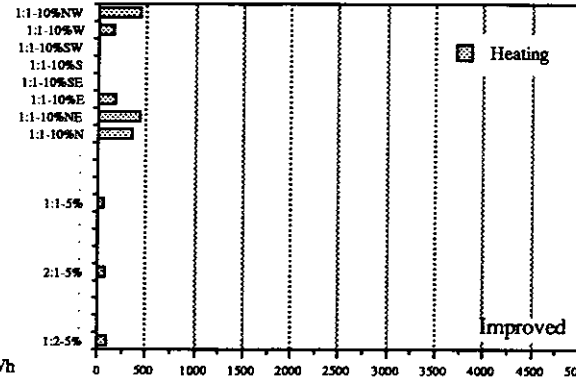
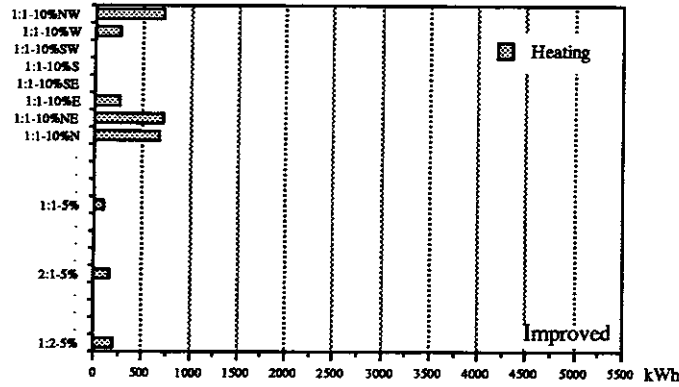
גרף 2. ירושלים: קומה אמצעית



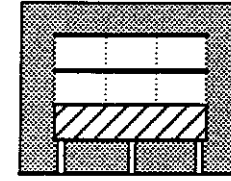
4 חזיתות

3 חזיתות

2 חזיתות



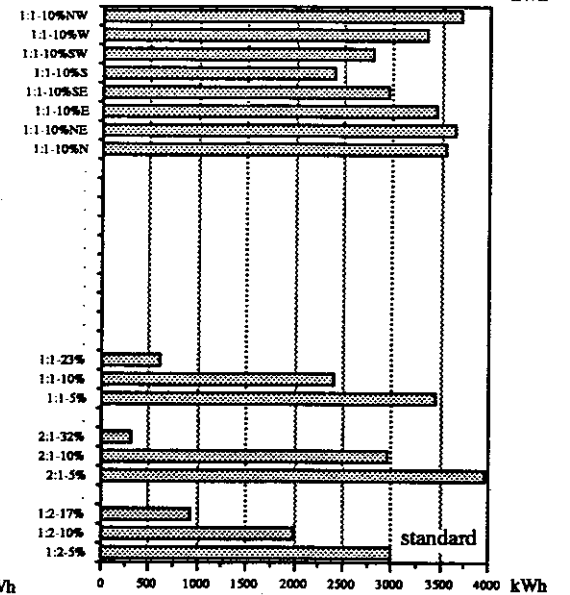
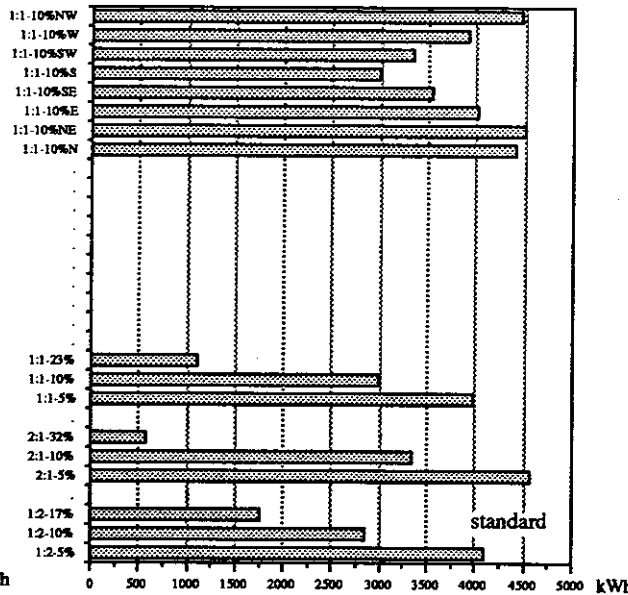
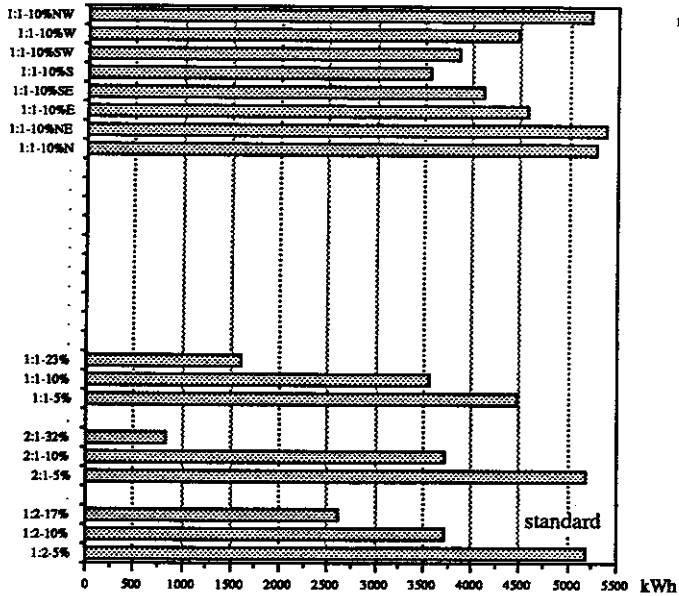
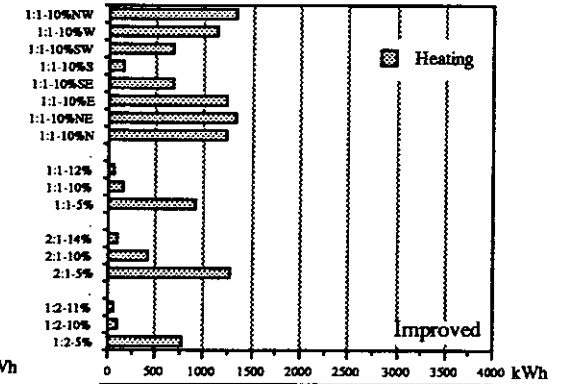
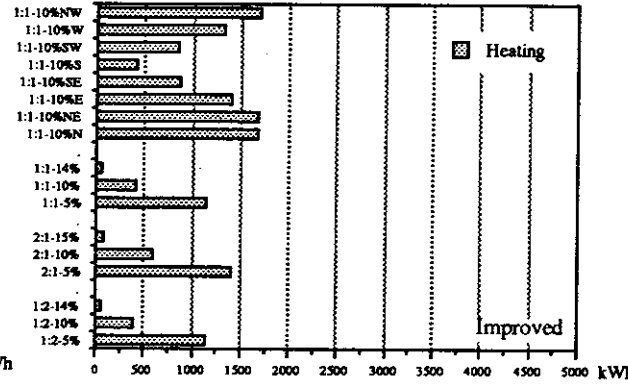
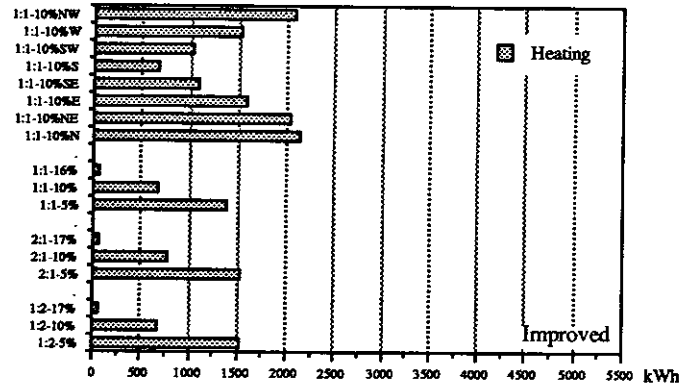
גרף 3. ירושלים: קומת עמודים



חזיתות 2

חזיתות 3

חזיתות 4



## תל אביב

השיקולים האנרגטיים לתכנון יחידת מגורים בתל אביב שונים מאלה שבירושלים. האנרגיה הנדרשת לקבלת תנאי נוחות תרמיים בבנינים בתל אביב, היא לקירור ולחימום. בחלק גדול מהמקרים, שיפור צריכת האנרגיה לחימום גורר אחריו הרעה בצריכת האנרגיה לקירור, אולם בדרך כלל במידה פחותה יותר. ברוב המקרים מתקבל לכן ערך אופטימלי לפרמטר התכנוני. הדיון בהמלצות לגבי הפתרונות הטובים יערך לכן בהתאם לשתיה רמות יעד שונות. הראשונה מתיחסת לצריכת אנרגיה שנתית, והשנייה מתיחסת לחימום הדירה בלבד לפי הפירוט הבא:

- א. 2500 קו"ש/לחימום וקירור דירה בת 100 מ"ר (כשלוש חמישיות מצריכת אנרגיה של דירה סטנדרטית)  
 ב. 1000 קו"ש/לעונה לחימום דירה בת 100 מ"ר (כשליש מצריכת אנרגיה של דירה סטנדרטית).

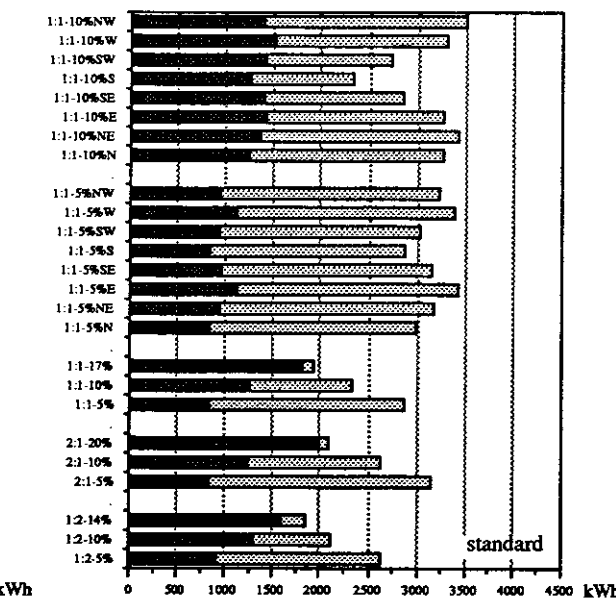
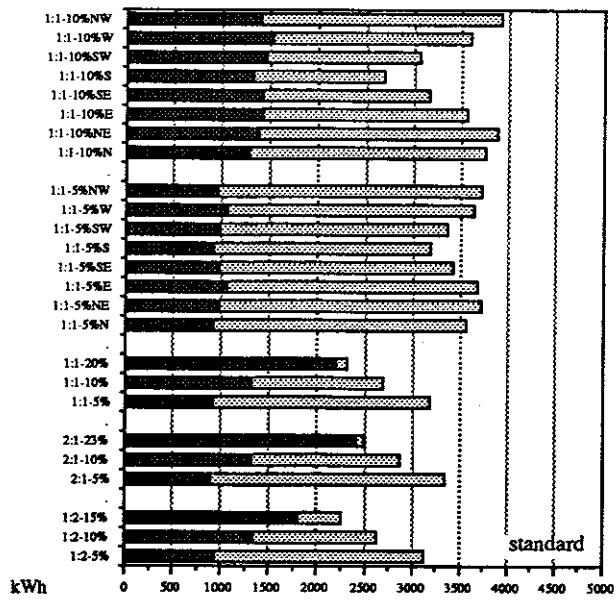
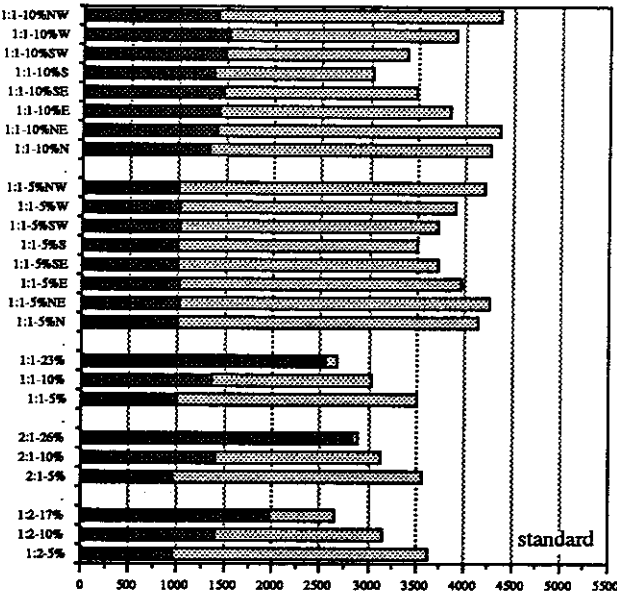
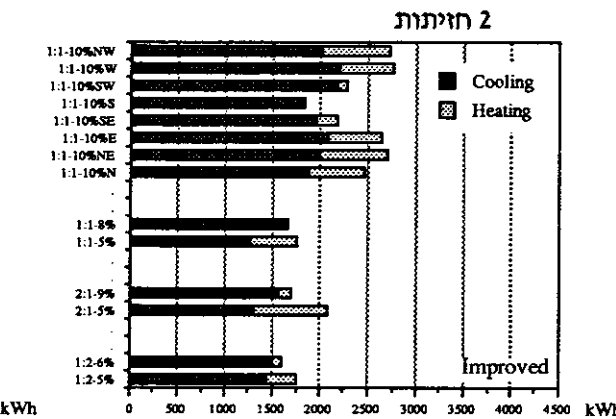
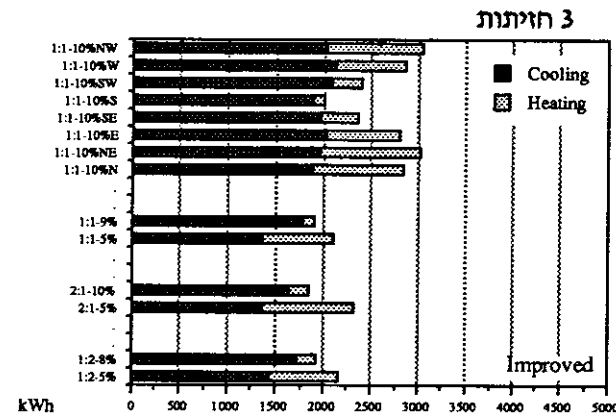
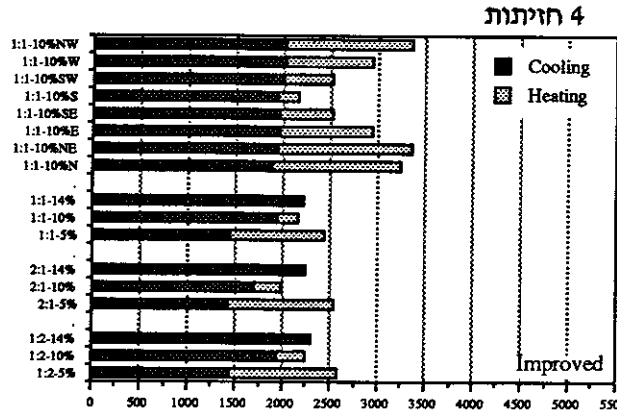
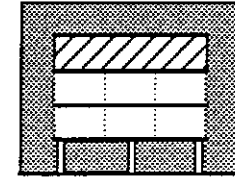
א. השגת רמת יעד של 2500 קו"ש/לחימום וקירור דירה בת 100 מ"ר

1. בדירות הגג המבודדות בצורה משופרת ומתוכננות כבנינים סולריים. במקרה זה יש אפשרות להפנות את הדירה לכל הגזרה הדרומית.
2. בדירות הגג בעלות 2 ו-3 חזיתות, המבודדות בצורה סטנדרטית ומתוכננות כבנינים סולריים.
3. בדירות שבקומה האמצעית, כאשר הבידוד הוא סטנדרטי, שטח המעטפת הוא גדול (מעל פרופורציה ריבועית) ואילו שטח החלונות הדרומיים הוא כ- 5%.
4. בדירות העמודים אין אפשרות להשיג רמה זו. ניתן להתקרב אליה, רק כאשר היחידות הן בעלות בידוד משופר וסולריות.

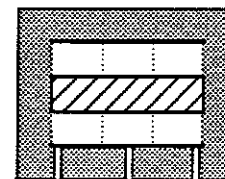
ב. השגת רמת יעד של 1000 קו"ש/לעונה לחימום דירה בת 100 מ"ר

1. בכל הדירות שבקומה האמצעית. הבידוד יכול להיות סטנדרטי או משופר.
2. בכל דירות הגג והעמודים, כאשר הבנינים מתוכננים כבנינים סולריים ושטח חלון דרומי בהתאם למומלץ. הבידוד יכול להיות סטנדרטי או משופר.
3. בכל דירות הגג והעמודים בנות שתי חזיתות ובידוד משופר, גם אם הבנינים אינם פונים לדרום.

גרף 4. תל אביב: קומה עליונה



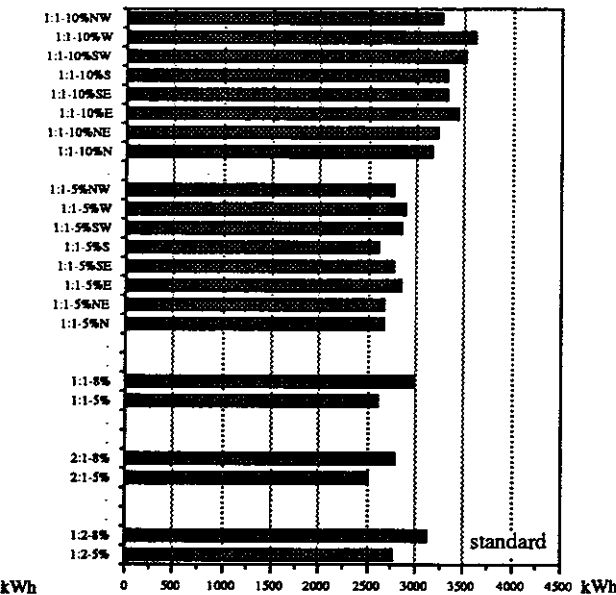
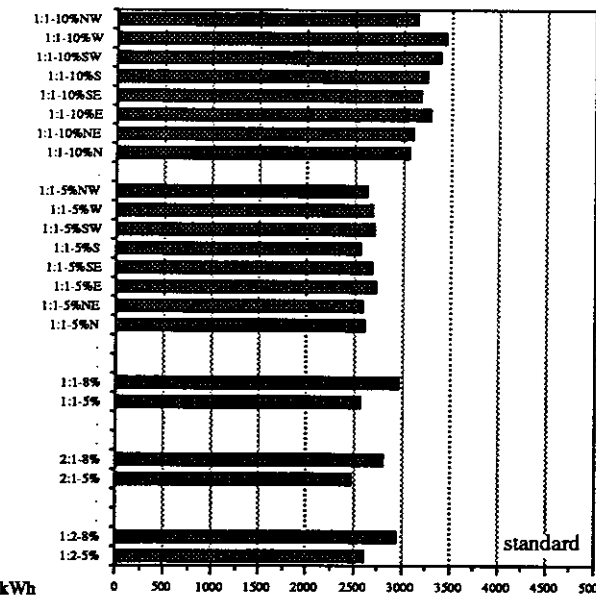
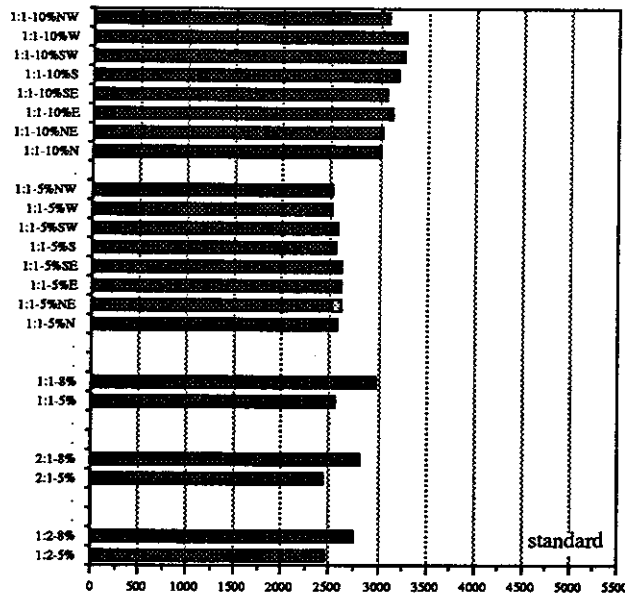
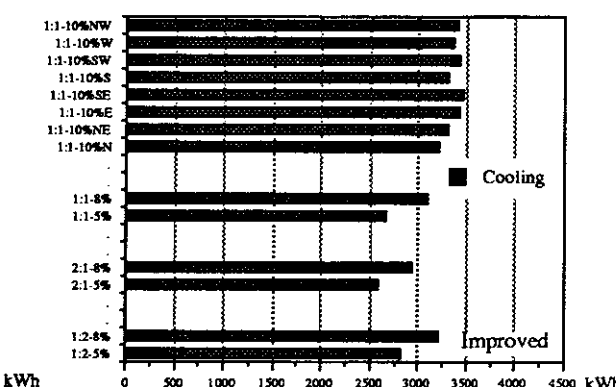
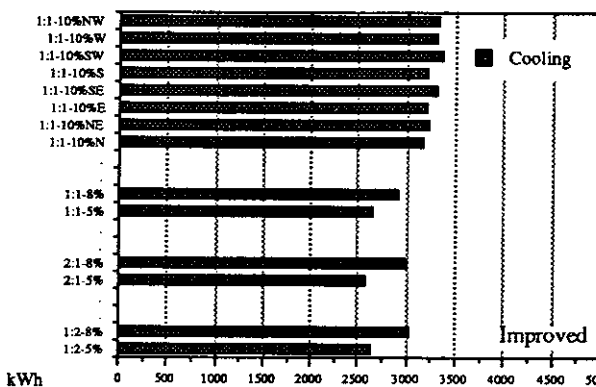
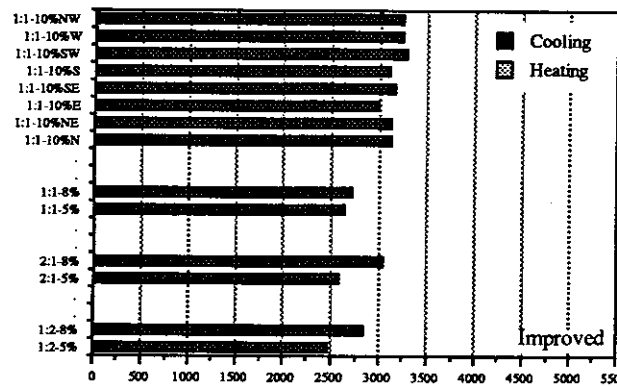
גרף 5. תל אביב: קומה אמצעית



חזיתות 4

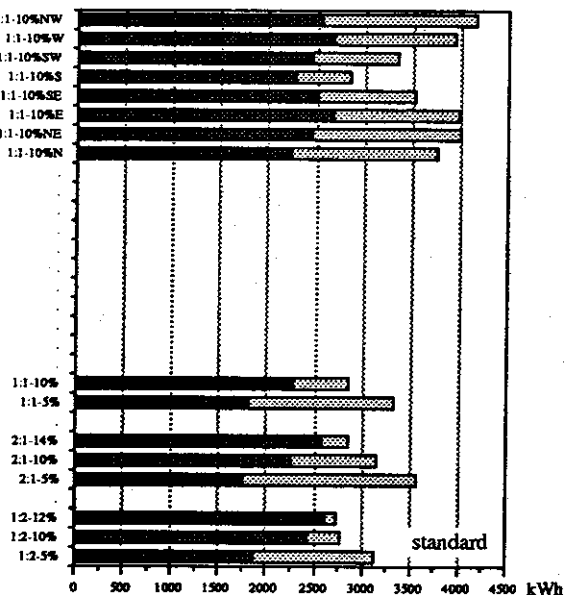
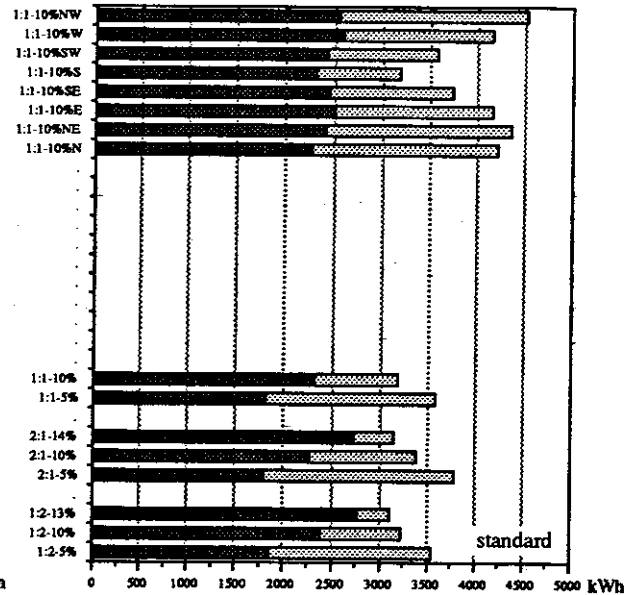
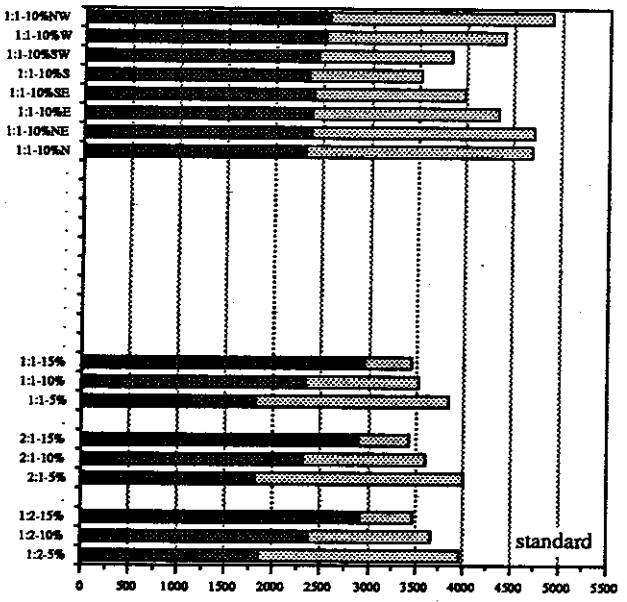
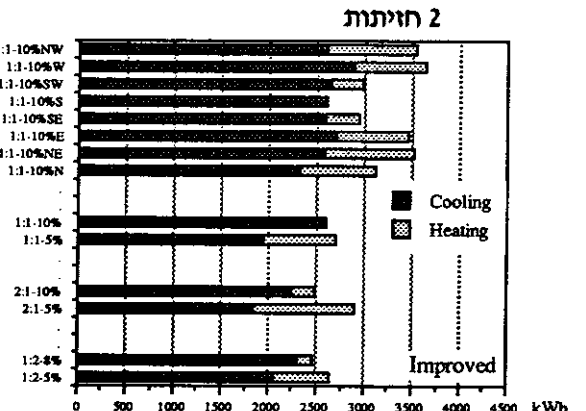
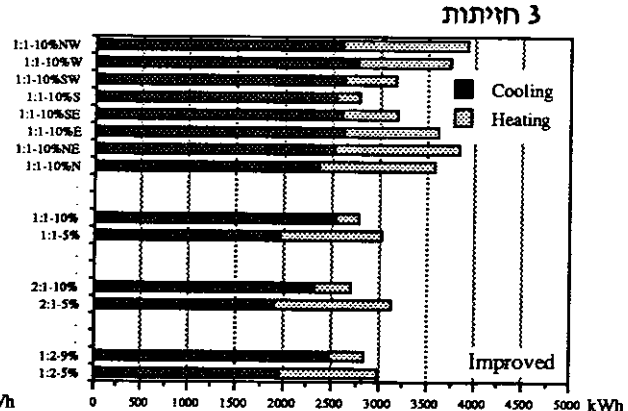
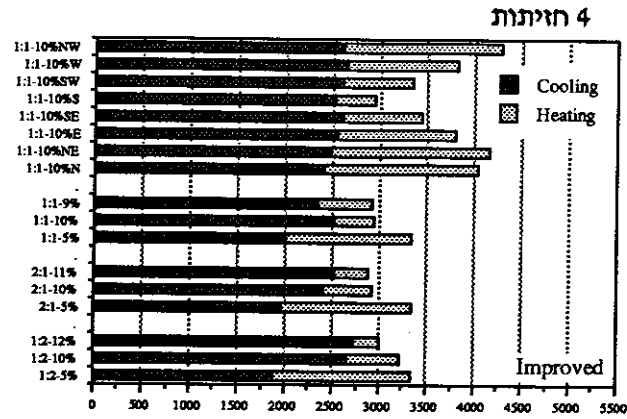
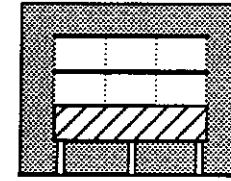
חזיתות 3

חזיתות 2





גרף 6. תל אביב: קומת עמודים



## סיכום ומסקנות

- פתרונות מועדפים להשגת רמת יעד גבוהה לחסכון באנרגיה, הן בירושלים והן בתל אביב, הם בד"כ תכנון הבנין כמבנה סולרי.
- קיימת חשיבות רבה לבידוד המבנה בירושלים, לא כן בתל אביב.
- ההתנהגות התרמית של הקומה האמצעית שונה בצורה בולטת מזו של קומת הגג והעמודים. שוני זה גדול יותר מזה הקיים בין דירה פנימית לבין דירה גמלונית, הממוקמות באותה קומה. ההבדלים בהתנהגות התרמית שבין דירות אלו, בולטים במיוחד באקלים תל אביב. ההמלצות לגבי הדירה הפנימית, באקלים זה, שונות מההמלצות לגבי דירות הגג והעמודים, כיון ובדירות הפנימיות יש צורך בעיקר בקירור, ואילו בקומת הגג והעמודים קיים צורך בקירור וחימום. לכן, יש להמנע מהסקת מסקנות לגבי תכנון דירות הגג והעמודים כאשר אלו נובעות מבדיקת דירה פנימית בקומה אמצעית ולהיפך. כמו כן יש להזהר מלקבל החלטות תכנון המתיחסות לבית מגורים משותף, בהסתמך על הידוע לגבי בית פרטי.

## פרק ד: שיטה לקביעת שטח מומלץ לחלון דרומי: סולרי לעומת שימור

### הקדמה

תוצאות האנליזה הפרמטרית מראות, שאחד הגורמים המשפיעים בצורה ניכרת ביותר על צריכת האנרגיה של המבנה, הוא ללא ספק האלמנט הסולרי, כלומר החלון הדרומי. ניתוח ההתנהגות התרמית של הדירה מראה, שההמלצה לגודל פרמטר זה, תלויה ברמת בידוד הבניין ובמיקום הדירה בתוך המבנה. שני גדלים אלה קובעים למעשה את הפסדי האנרגיה של הדירה\*. כמו כן ההמלצה לגודל האלמנט הסולרי תלויה מאד באזור האקלימי.

### בנית גרף לקביעת שטח מומלץ לחלון דרומי

עיי הגדלה הדרגתית של שטח החלון הדרומי, ניתן לקבוע מהו השטח המביא בכל טיפוס דירה לצריכת אנרגיה מוכתבת מראש. כמו כן חושבו הפסדי האנרגיה בחלופת תכנון זו. התוצאות שהתקבלו רוכזו בגרף עבור ירושלים ועבור תל אביב. המדגם שנבדק כלל מספר רב של מקרים, בהתאם למיקום הדירה בתכנית ובחנתך (9 חלופות), פרופורצית הבנין (3 חלופות) ובידוד המעטפת (2 חלופות). סה"כ מספר המבנים השונים עבורם נקבע השטח המומלץ לחלון דרומי, בהסתמך על סימולציה שעתית, הוא לכן 54 מקרים שונים. חלק ממקרים אלו אינו מופיע בגרף, בעיקר הדירות שבקומה האמצעית של המבנים המשופרים. זאת מהסיבה שבדירות אלו שטח החלון המינימלי הנובע משיקולים פונקציונליים שנקבעו עיי משרד הבינוי והשיכון, גדול מהשטח הנדרש משיקולים אנרגטיים.

נקבעו מספר רמות של צריכת אנרגיה לחימום הניתנות למימוש:  
**בירושלים:**

1. ערך המינימלי: עד 100 קווי"ש/שנה לדירה בת 100 מ"ר (כלומר 0-1 קווי"ש/שנה למ"ר)
2. רמה 2. 500 קווי"ש/שנה לדירה בת 100 מ"ר (כלומר 5 קווי"ש/שנה למ"ר)
3. רמה 3. 1000 קווי"ש/שנה לדירה בת 100 מ"ר (כלומר 10 קווי"ש/שנה למ"ר)
4. רמה 4. 1500 קווי"ש/שנה לדירה בת 100 מ"ר (כלומר 15 קווי"ש/שנה למ"ר)
5. רמה 5. 2000 קווי"ש/שנה לדירה בת 100 מ"ר (כלומר 20 קווי"ש/שנה למ"ר).

\*הערה: בכל חלופות התכנון שנבדקו הפסדים הנובעים מחדירת אויר שווים ל-0.75 החלפות אויר לשעה.

## בתל-אביב:

- רמה 1. ערך המינימלי: לפי שטח חלון הנותן צריכת אנרגיה מינימלית לקירור ולחימום (צריכת אנרגיה לחימום קרובה ל-0 קווי"ש/שנה למ"ר)
- רמה 2. 500 קווי"ש/שנה לדירה בת 100 מ"ר (כלומר 5 קווי"ש/שנה למ"ר)
- רמה 3. 1000 קווי"ש/שנה לדירה בת 100 מ"ר (כלומר 10 קווי"ש/שנה למ"ר).

כל נקודה בגרף מתארת תוצאה המתאימה למקרה בסיסי אחד. עבור כל מקרה שכזה נבדקו תת חלופות תכנון לשטח חלון דרומי המוגדל בהדרגה עד מימדי חלון דרומי שעבורו צריכת האנרגיה של המבנה היא בהתאם לרמת צריכת האנרגיה הנדרשת. התוצאות מראות שהשטח המומלץ לזיגוג דרומי משתנה בקרוב טוב מאוד באופן לינארי ביחס להפסדי האנרגיה של כל דירה. מקדם הקורלציה הינו, ברוב המקרים, מעל 0.9 (ראה גרפים בפרק זה).

## שיטה לקביעת שטח מומלץ לחלון דרומי

את השטח המומלץ לחלון דרומי ניתן לקבל בדיוק רצוי ע"י תהליך של איטרציות. בשלב ראשון יכול שטח זה להקבע בצורה פשוטה וגסה בהתאם להמלצות התכנון. ההמלצות להשגת הרמה הטובה ביותר (רמה 1) מרוכזות בדף הבא עבור בנין סטנדרטי ומשופר. הערכה ראשונית זו של גודל החלון מאפשרת לקבוע את הפסדי האנרגיה בבנין. בשלב שני ניתן לתקן הערכה ראשונית זו על ידי שימוש בגרף (ראה תמונות בעמודים ד-4, ד-5) ולקבל ערך מדויק יותר לגודל רצוי לשטח חלון דרומי, בהתאם לרמת צריכת האנרגיה שנקבעה לחימום. תהליך התיקון ממשיך עד שהערך המתקבל לשטח החלון הדרומי, זהה לערך של הערכה באיטרציה הקודמת, לפיו חושבו הפסדי האנרגיה בבנין. בד"כ אפשר להסתפק בתיקון אחד עד שלושה להערכה הגסה שנקבעה בהתאם להמלצות התכנון. הדגמת תהליך קביעת השטח הרצוי לחלון דרומי מוצגת בפרק ו'. נציין, שבמידה והשטח הדרוש לחלון דרומי הוא מעל 10% משטח הרצפה, יש להמליץ על תוספת בידוד לחלונות, מלבד בעת זריחת השמש בחורף. זאת ניתן להשיג ע"י סגירת התריס ותוספת וילון לחלון, או ע"י תכנון החלונות הגדולים, כחלק ממרפסת דרומית, הניתנת להפרדה מהדירה ע"י דלת נוספת. המרפסת, במקרה זה, משמשת בחורף כחלל שמש, ואילו בקיץ מצלילה על הפתח המפריד בין החדר למרפסת. יש לאפשר בקיץ פתיחת חלונות המרפסת לשם איורורה. כמו כן יש להקפיד בקיץ על הצללת כל החלונות במשך היום, למניעת חדירת קרינת שמש בלתי רצויה לבנין ולתוספת בידוד לחלון. בצורה זו נקבל שהטמפרטורה האפקטיבית\* בבנין כמעט ואינה משתנה, למרות הגדלת שטח החלון.

\*הערה: הטמפרטורה האפקטיבית שווה בקירוב לממוצע טמפרטורת האויר בחדר וטמפרטורת הקרינה הממוצעת של הסביבה. זו האחרונה מושפעת מהגדלת שטח החלונות שאינם מבודדים. רצוי להקטין השפעה זו ע"י תוספת בידוד לחלונות גדולים.

המלצות להערכת אחוז רצוי לשטח חלון דרומי ביחס לשטח רצפה

א. ירושלים:

(א) בידוד סטנדרטי:

קומת גג: 24-32%	קומת עמודים: 30-34%	4 חזיתות- קומת עמודים: 30-34%
קומת גג: 20-27%	קומת עמודים: 28-32%	3 חזיתות- קומת עמודים: 28-32%
קומת גג: 17-23%	קומת עמודים: 26-30%	2 חזיתות- קומת עמודים: 26-30%

(ב) בידוד משופר:

קומת גג: 11-14%	קומת עמודים: 11-14%	4 חזיתות- קומת עמודים: 11-14%
קומת גג: 9-12%	קומת עמודים: 9-12%	3 חזיתות- קומת עמודים: 9-12%
קומת גג: 8-11%	קומת עמודים: 8-11%	2 חזיתות- קומת עמודים: 8-11%

20-27%	17-23%	20-27%	סטנדרט משופר
9-12%	8-11%	9-12%	
6-10%	4-8%	6-10%	סטנדרט משופר
3-5%	3-5%	3-5%	
28-32%	26-30%	28-32%	סטנדרט משופר
9-12%	8-11%	9-12%	

ב. תל אביב:

(א) בידוד סטנדרטי:

קומת גג: 18-21%	קומת עמודים: 12-18%	4 חזיתות- קומת עמודים: 12-18%
קומת גג: 17-20%	קומת עמודים: 11-17%	3 חזיתות- קומת עמודים: 11-17%
קומת גג: 14-17%	קומת עמודים: 11-14%	2 חזיתות- קומת עמודים: 11-14%

(ב) בידוד משופר:

קומת גג: 9-12%	קומת עמודים: 9-12%	4 חזיתות- קומת עמודים: 9-12%
קומת גג: 7-10%	קומת עמודים: 8-11%	3 חזיתות- קומת עמודים: 8-11%
קומת גג: 5-8%	קומת עמודים: 8-11%	2 חזיתות- קומת עמודים: 8-11%

17-20%	14-17%	17-20%	סטנדרט משופר
7-10%	5-8%	7-10%	
3-5%	3-5%	3-5%	סטנדרט משופר
3-5%	3-5%	3-5%	
11-17%	11-14%	11-17%	סטנדרט משופר
8-11%	8-11%	8-11%	

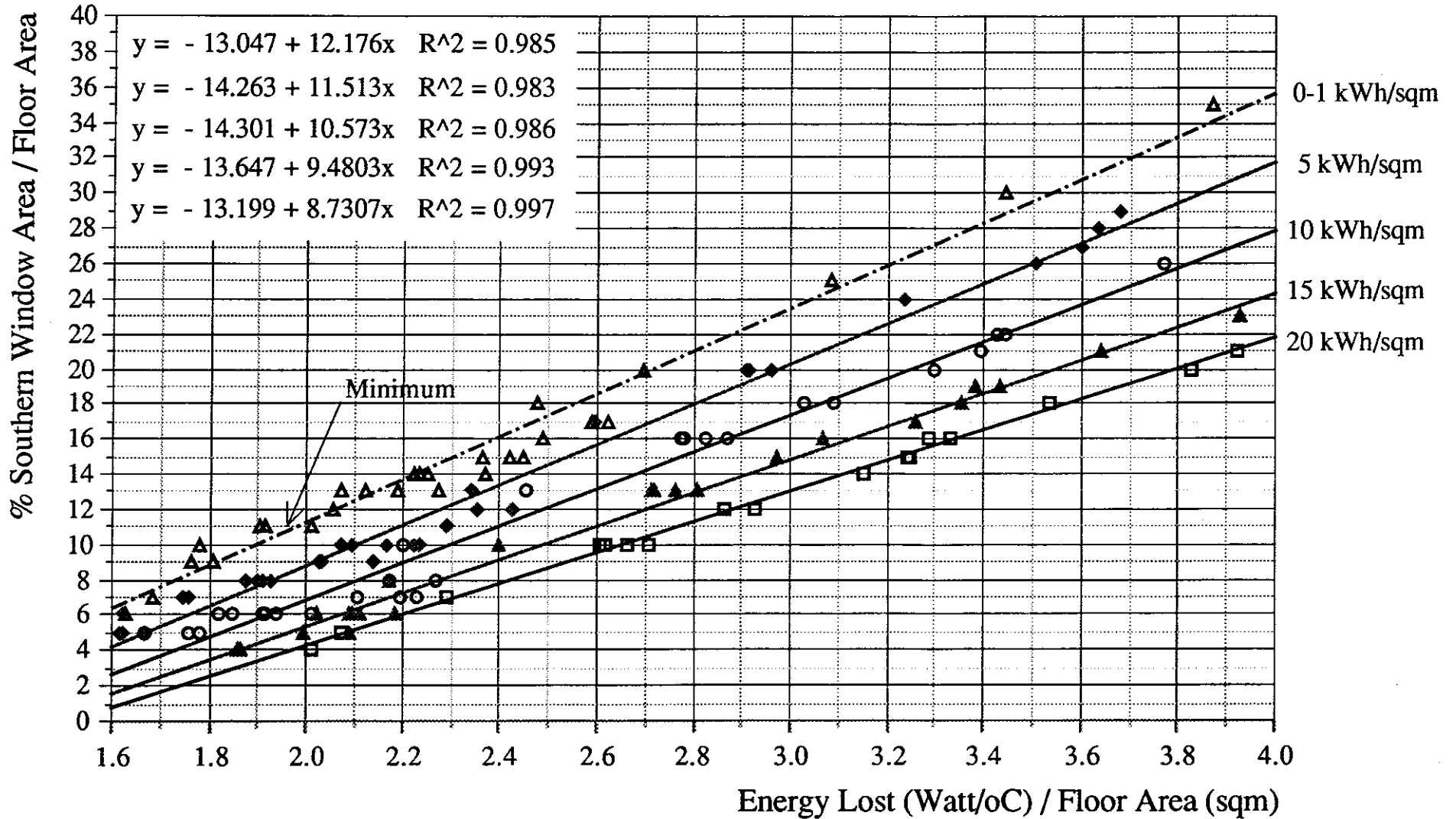
\*קומה אמצעית: 3-5% (בהתאם למינימום הנדרש ע"י משרד הבינוי והשיכון). עדיף בידוד סטנדרטי.

ירושלים

גרף לקביעת שטח מומלץ לחלון דרומי

Jerusalem

Recommended Area of Southern Window

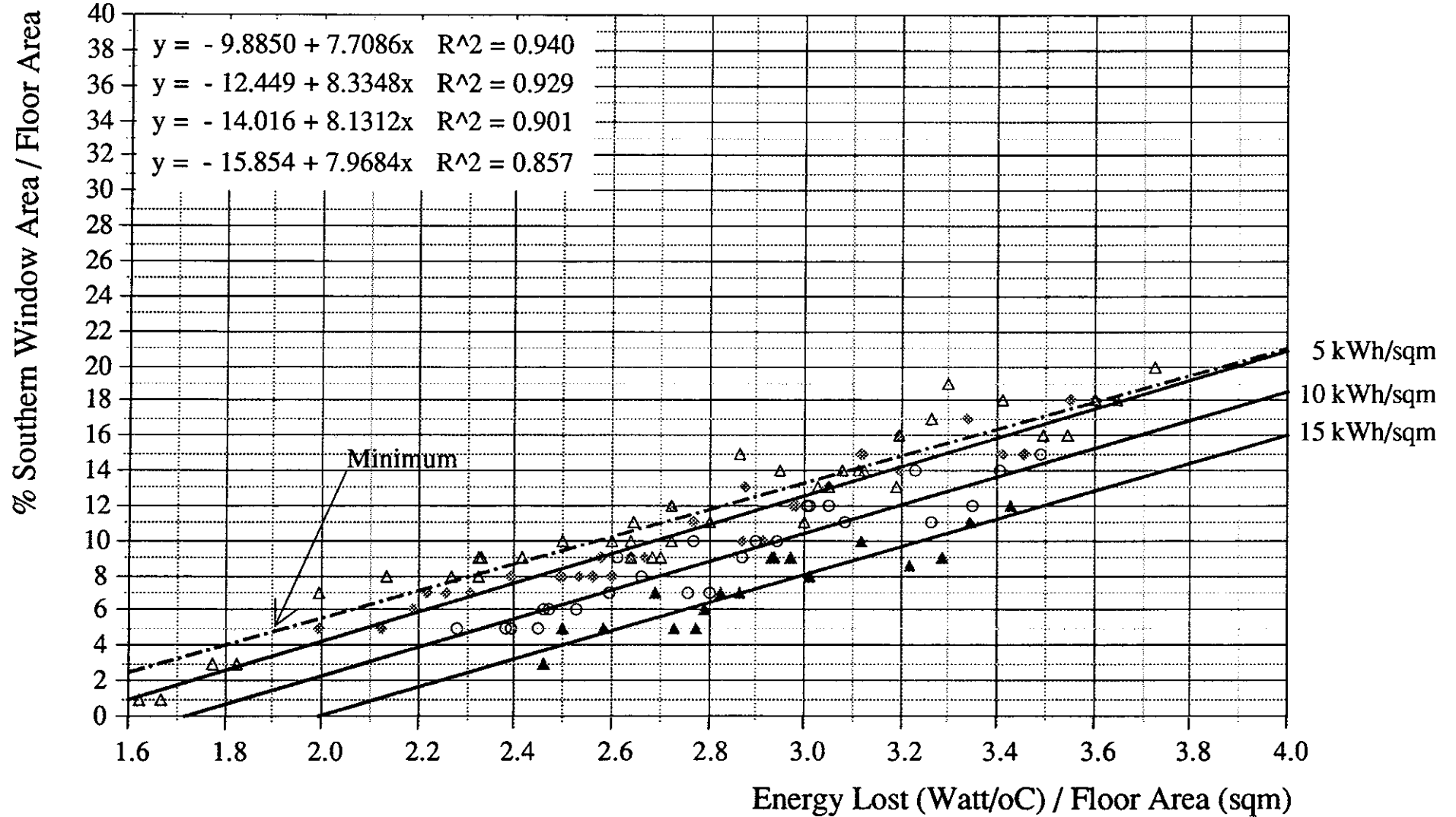


תל אביב

גרף לקביעת שטח מומלץ לחלון דרומי

Tel-Aviv

Recommended Area of Southern Window



## סולרי לעומת שימור

מהגרפים, המציגים את ההמלצות לקביעת שטח דרוש לחלון דרומי, אפשר ללמוד על יחס הגומלין הקיים בין שימור אנרגיה בבנין לבין קליטת אנרגיה סולרית דרך חלון דרומי. הפסדי אנרגיה בדירה נקבעים בעיקר ע"י שטח המעטפת, החומרים ממנו היא בנויה וחדירת אויר לבנין. לעומת זאת קליטת אנרגיה סולרית נקבעת ע"י שטח החלון הדרומי. כל נקודה, על קו שווה צריכת אנרגיה, מציגה בחירה של הפסדי אנרגיה ושטח חלון דרומי, שביחד יביאו את חלופת התכנון לרמת צריכת אנרגיה המיוצגת ע"י קו זה. על כן, הקוים שווי צריכת אנרגיה מציגים למתכנן את אפשרות העדפת פתרון המשמר אנרגיה על פתרון של קליטת אנרגיה סולרית או להיפך, העדפת פתרון סולרי על פתרון של שימור אנרגיה. דרגת ההעדפה של פתרון אחד על השני יכולה להקבע על ידי שיקולים אחרים כגון: שיקולים כלכליים, אסטטיים, פונקציונליים, נוף, הסתרות מהשמש ועוד.

מהגרפים אנו למדים שככל שהבנין משמר אנרגיה טוב יותר, יש צורך בחלון דרומי קטן יותר להשגת אותה רמת צריכת אנרגיה. נדיש גם את המשפט ההפוך, ככל ששטח החלון הדרומי גדול יותר (כלומר הבנין הוא סולרי), ניתן להקטין את הדרישה לבידוד המבנה. זאת בניגוד להמלצות הקיימות בתקן 1045 המתעלמות לחלוטין מהתרומה הסולרית.

יש להמליץ על שינוי תקן 1045 לבידוד תרמי, כך שיכלול בתוכו התיחסות לתרומה הסולרית בהתאם למוצג בגרפים שבפרק זה.

## סיכום ומסקנות

- ניתן לקבוע בצורה פשוטה את השטח הרצוי לחלון דרומי, בהתאם להפסדי אנרגיה בבנין ורמת צריכת אנרגיה מקסימלית מותרת ביחידת המגורים.
- מספר פתרונות התכנון, הנותנים צריכת אנרגיה נמוכה ביחידת המגורים, הוא גדול. חלק מפתרונות אלו מבוסס על שימור אנרגיה, וחלק על קליטת אנרגיה סולרית. כמו כן קיים מרחב פתרונות רציף המשלב שימור אנרגיה עם אנרגיה סולרית.
- יש צורך בשינוי תקן 1045 לבידוד תרמי, כך שיכלול בתוכו התיחסות לתרומה הסולרית.

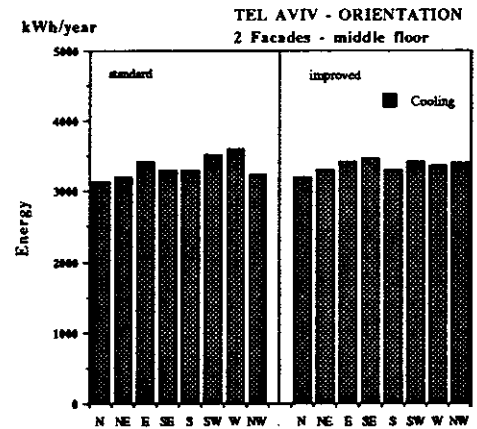
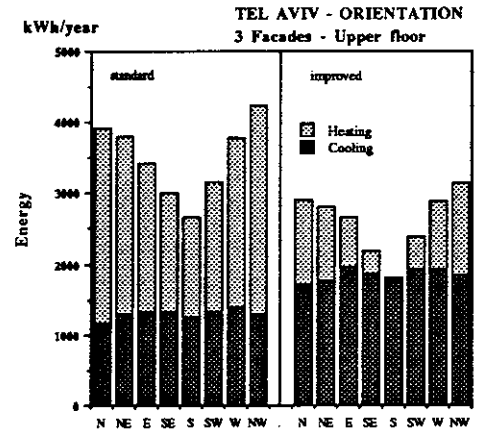


# פרק ה: הקבצת הדירות לבית המגורים המשותף: המלצות לקביעת גודל, נפח, צורה ופנות המבנה

## הקדמה

עד כה דנו בהשפעת הפרמטרים התכנוניים על ההתנהגות התרמית של יחידת מגורים בודדת. אולם קיים פרמטר תכנוני נוסף שנקבע לרוב בשלבי התכנון הראשוניים ומשפיע בצורה משמעותית על תפקודו התרמי של בית מגורים משותף. פרמטר זה הוא צורת אירגון היחידות השונות והקבצתן לבנין שלם. כיום, הקבצת היחידות לבית המגורים המשותף מתבססת בעיקר על דרישות הפרוגרמה, התנאים המיוחדים של המקום והיבטים אסטטיים החשובים למתכנן. לצערנו, אין המתכנן מתיחס בדי"כ בשלב זה לאספקטים התרמיים שמושפעים מצורת הקבצת היחידות לבנין השלם. אחת הסיבות לכך היא העובדה, שבהיעדר המלצות מתאימות, אין למתכנן כל אינפורמציה מהו הארגון הטוב של היחידות מבחינה תרמית ואיזו צורת מבנה, בתנאי אקלים מסוימים, היא אופטימלית מבחינת צריכת אנרגיה. קרוב לדאי שניתן להשיג גם צורה נכונה מבחינה תרמית-אנרגטית וגם כזו שתענה לדרישות פרוגרמטיות ואסטטיות. זאת במידה וניתן יהיה להציג בפני המתכנן מגוון רב של אלטרנטיבות תכנון אפשריות, שיעילותם התרמית ידועה, ולהדגיש את הפתרונות הטובים ביותר מבחינה תרמית-אנרגטית.

בבית מגורים משותף טיפוסי, מושגים בכל יחידה תנאים תרמיים שונים, בהתאם למיקומה במבנה. ככל שמספר אלמנטי החוץ (חזיתות) גדל, כך משתנים התנאים התרמיים המושגים בה. לדוגמא, בבנין טורי, יחידת מגורים הנמצאת בפנינה העליונה של הבנין היא בעלת ארבעה אלמנטי חוץ (שלוש חזיתות + גג). דירה אמצעית, לעומת זאת, היא בעלת שני אלמנטי חוץ בלבד. בפרק ג' ראינו, שהתנהגות תרמית של דירה אמצעית בעלת שתי חזיתות, אינה דומה לזו בעלת שלוש חזיתות וגג. זאת כתוצאה מהעובדה ששטח מעטפת הדירה הנמצא במגע עם החוץ, דרכו יכולה הדירה לקבל או לאבד חום, שונה בצורה משמעותית בשתי יחידות אלו. כדוגמא, נביא את התוצאות המוצגות בתמונה 1. מתמונה זו אפשר לראות, שיש צורך רק לקרר דירה בת שתי חזיתות, הנמצאת בקומה אמצעית בתל אביב, לעומת דירת גג דומה, בת שלוש חזיתות, שיש צורך לחממה בחורף ולקררה בקיץ. תוצאה נוספת הניתנת להבחנה מתמונה זו היא העובדה, שמבחינת צריכת אנרגיה שנתית, פנות דירת הגג לדרום עדיפה בצורה בולטת מכל פנות אחרת, ואילו פנות הדירה האמצעית לצפון עדיפה במקצת על



תמונה 1. צריכת האנרגיה של דירת גג פינתית ושל דירה אמצעית בתל אביב. שטח הלון בחזית הראשית = 10% משטח הרצפה.

פנותה לדרום. אם נסיף לאמור לעיל את ההמלצות השונות לכל דירה, לרמת בידוד ולגודל דרוש לחלונות הפונים לדרום, נעשית בעית ארגון הדירות למבנה השלם מורכבת, וחשיבותה רבה לפחות כמו תכנון נכון של היחידה הבדדית.

לשם קביעת המלצות לנפח, צורה ופנות עדיפים לבית מגורים משותף, מבחינה אנרגטית, פיתחנו מודל מחשב (MulRes-ENERGY: Multifamily Residential-Energy) להערכה אנרגטית של אפשרויות ארגון שונות של הדירות בבית המגורים המשותף. מודל זה מאפשר לבדוק את מגוון הפתרונות האפשריים להקבצת הדירות, כך שעבור אותן דרישות פרוגרמטיות תתקבל צריכת אנרגיה אופטימלית עבור בנין המגורים השלם.

### עקרונות המודל MulRes-ENERGY

ניתן לבדוק מספר רב של צורות ארגון אפשריות של דירות בבית מגורים משותף, המכיל מספר נתון של יחידות במבנה אחד. לדוגמא, לבנין בן כ-16 דירות, אפשר לבדוק את צורות הארגון הבאות:  $2*7, 3*5, 4*4, 5*3, 6*3, 7*2, 8*2$  וכיו. (המספר הראשון מציין מספר דירות בקומה ואילו השני מציין מספר קומות בבנין). בכל צורת ארגון שכזו מספר הדירות מכל טיפוס, בהתאם למיקומן בחתך ובתכנית, ידוע. כמו כן, תוך לימוד ההתנהגות התרמית של טיפוסי יחידות מגורים שונות, חישבנו את צריכת האנרגיה של מספר רב של חלופות תכנון לכל יחידה. ערכי צריכת האנרגיה שחושבו, רוכזו ונשמרו כבסיס נתונים בהתאם לטיפוס היחידה ותכונותיה. על סמך נתונים אלה ניתן לחשב את צריכת האנרגיה הכוללת של צורת ארגון נתונה לבית מגורים, ואת צריכת האנרגיה הממוצעת של יחידת מגורים בבית מגורים זה. על מנת לא לטפל במספרים גדולים וכדי להשוות בין תוצאות של צורות ארגון בעלות מספר שונה של יחידות בבנין, העדפנו להציג את צריכת האנרגיה של דירה ממוצעת במבנה הנבדק, על פני הצגת ערכי צריכת האנרגיה של הבנין השלם.

המודל מניח את ההנחות הבאות:

- צירי התנועה האנכיים משרתים לפחות זוג דירות ולכן מספר דירות בכל קומה הוא זוגי.
- מספר מקסימלי של דירות בכל קומה הוא 10. זאת על מנת לא ליצור בלוק דירות ארוך מדי. ניתן בקלות לשנות פרמטר זה לפי הצורך.
- מספר מקסימלי של קומות בכל בנין הוא 20. ניתן לשנות בקלות גם פרמטר זה.
- לפיכך צורות הארגון לבדיקה הן:  $2*n, 4*n, 6*n, 8*n, 10*n$ , כאשר  $n$  הוא מספר הקומות בבנין ושווה לשהיי מספר הדירות בבית המגורים המשותף מחולק בשהיי הדירות בקומה. בצורה  $4*n$  (4 יחידות בכל קומה), המערכת בודקת 2 וריאציות נוספות לפי הנהוג בארץ לבנייני מגורים, בנין מגדל קומפקטי ("C") ומגדל "H".

המודל שפותח הורץ עבור בנייני מגורים הכוללים: 4, 8, 16, 32, ו-64 יחידות דיור בבלוק המגורים. עבור כל מבנה נבדקו התוצאות שהתקבלו, כאשר פנות הבנין היא בכל אחד משמונה הכיוונים הראשיים, וכאשר החלון הממוקם בחזית הראשית (חזית חדר המגורים) הוא 10% משטח הרצפה. בדיקות אלו נעשו כאשר הדירות מבודדות לפי דרישות משרד השיכון (בידוד סטנדרטי) ולפי בידוד משופר. כמו כן נבדקו דירות אלו עבור תכנון סטנדרטי (בידוד סטנדרטי ושטח חלון בחזית ראשית השווה ל-5% משטח הרצפה) ועבור מבנים סולריים פסיביים (היחידות פונות לדרום וגודל החלון הדרומי שווה בכל יחידה לגודל שהומלץ בפרק א' כמתאים לדירה סולרית פסיבית). התוצאות רוכזו בצורה גרפית על מנת להקל בהשוואת ובחירת פתרונות אפשריים הטובים ביותר (ראה גרפים 1 עד 10).

### קביעת נפח, צורה ופנות המבנה בהתאם למספר יחידות נתון

צריכת האנרגיה של צורות ארגון שונות, למספר נבחר של דירות בבלוק המגורים, מוצגות בגרפים 1-4 עבור ירושלים ובגרפים 6-9 עבור תל אביב. החזית הראשית של הבנין יכולה לפנות ל-8 הכיוונים הראשיים. **בהתאם לגרפים אלה ניתן להצביע על הפנות והקונפיגורציה העדיפים ביותר לבנין, כאשר האילוח היחידי הוא מספר הדירות בבלוק המגורים.**

**דוגמא:** לפי גרפים 1 ו-6 נראה שעבור בית מגורים המונה 8 יחידות דיור ופנות החזית הראשית בו היא לדרום (החלון בחזית זו הוא בשטח של 10% משטח הרצפה), תהיה צורת הארגון העדיפה בירושלים בנין בן ארבע קומות, כאשר בכל קומה שתי דירות (2\*4) ובתל אביב בנין בן שתי קומות, כאשר בכל קומה ארבע דירות (2\*4). אם נפנה את החזית הראשית למזרח, תשאר צורת הארגון הטובה ביותר בירושלים כמקודם ואילו בתל אביב המבנה הטוב יהיה המגדל הקומפקטי בן שתי קומות (2\*C). נציין שבירושלים ובתל אביב צריכת האנרגיה של בניינים הפונים מזרחה גדולה בהרבה מבמקרה בו פנו לדרום.

### קביעת גודל, נפח, צורה ופנות המבנה

כצעד נוסף הכנו גרף המציג, לכל פנות של החזית הראשית, את הפתרון האופטימלי שהתקבל עבור בלוק מגורים המכיל מספר דירות נתון (ראה גרף 5 עבור ירושלים ו-10 עבור תל אביב). גרף 5 עבור ירושלים וגרף 10 עבור תל אביב מאפשרים לקבוע, עבור שני אזורי אקלים אלה, את הפתרון האופטימלי מבחינה אנרגטית לפרמטרי התכנון הבאים:

- מספר הדירות הרצוי בבלוק המגורים
- מספר הדירות העדיף בכל קומה
- מספר הקומות המומלץ בבנין
- פנות הבנין הטובה ביותר.

**דוגמא:** בירושלים, הפתרון האופטימלי עבור בנין מבודד בצורה סטנדרטית או משופרת, הוא בלוק מגורים טורי גדול ככל האפשר (64 דירות) וסולרי (כלומר עם פנות לדרום). לעומת זאת בתל אביב הפתרון האופטימלי הוא בנין סולרי יחסית קטן המכיל 16 יחידות מגורים מאורגנות בשתי קומות, כאשר בכל קומה 8 דירות. מעניין לציין שבירושלים ובתל אביב, שיפור הבידוד לא שינה את מהות הפתרון האופטימלי.

**הגרפים האחרונים (גרפים 5 ו-10) מראים שקיים מספר רב של פתרונות שונים שערכם מבחינה אנרגטית דומה. אין צורך לבחור דוקא בפתרון האופטימלי היחיד. יש אפשרות להשאיר את חופש הבחירה בידי המתכנן ויזמי הפרויקט ולבחור פתרון, הקרוב לאופטימלי, המקיים את הדרישות הפרוגרמטיות הנוספות.**

**דוגמא:** אם נקבע לממוצע חימום דירה בירושלים ערך של 1000 קו"ש לעונה, כרמת צריכת אנרגיה רצויה, נראה שבנייני מגדל קומפקטי גדולים, המכילים 64 יחידות ויותר והפונים לכל האוריינטציות, עונים לדרישה זו. לעומת זאת, אם הדרישה היא לבנין מבודד בצורה סטנדרטית והמכיל רק עד 32 יחידות דיר, יש צורך שהחזית הראשית תפנה בטווח הגזרה מזרח, דרום ועד מערב. כאשר נשפר את הבידוד יש אפשרות להפנות את הבנין לכל שמונת הכיוונים. כמו כן, כאשר הבנין סולרי, הפתרון העדיף הוא בנין טורי. עבור מבנה זה כל צורת ארגון הבנין תענה על דרישת רמת צריכת אנרגיה של 1000 קו"ש לעונה, וניתן לכן לתכנן מבנים קטנים בני 4 יחידות מגורים המאורגנות בשתי קומות. לעומת זאת, כאשר הבנין אינו סולרי, יהיה הפתרון הטוב ביותר בנין מגדל קומפקטי.

כאשר נדרוש רמת צריכת אנרגיה לחימום של 500 קו"ש לעונה בלבד, נקבל שבמדה והבנין מבודד בצורה סטנדרטית, יהיה רק הבנין הסולרי, בעל 32 יחידות מגורים ויותר, עונה לדרישה זו. אנו רואים לכן שחופש התכנון גדל עם שיפור רמת הבידוד. כאשר הבידוד משופר והמבנה סולרי, תהינה כל צורות ארגון הבנין עונות לדרישה זו. כמו כן נציין שכל פנות עונה לדרישה זו, אם הבנין מתוכנן כמגדל קומפקטי בן 8 קומות ויותר. יש להדגיש שהפתרון של בנין סולרי עדיף על פני הפתרון של מגדל קומפקטי, לא רק מפני שהוא מאפשר מגוון גדול יותר של צורות ארגון טובות, אלא מפני שצריכת האנרגיה בכל הדירות דומה וקרובה לממוצע. זאת בניגוד לבנייני מגדל קומפקטי, שבהם הדירות הצפוניות צורכות אנרגיה רבה יותר מהדרומיות.

## הערכת צריכת האנרגיה של בית מגורים משותף

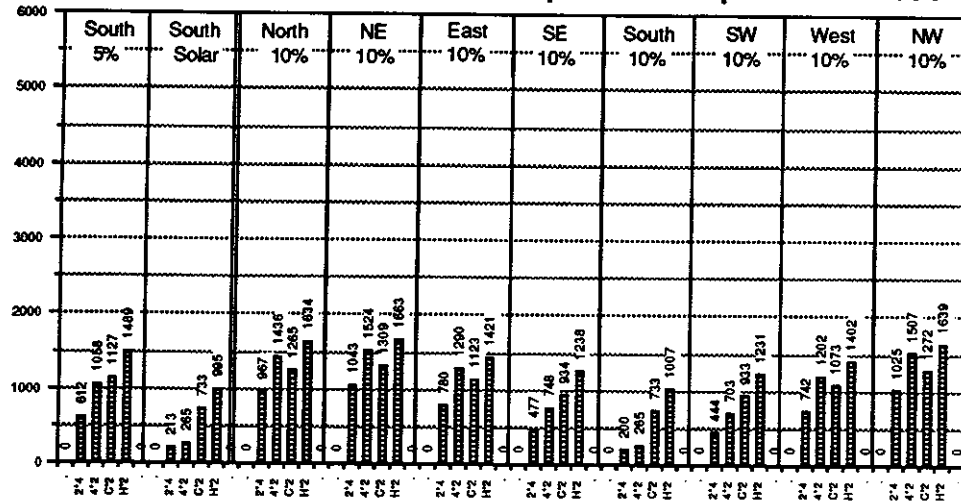
עד כה דנו בקביעת צורת ארגון עדיפה לבית המגורים המשותף. הערכה זו נותנת בנוסף את ערך צריכת האנרגיה הממוצעת ליחידות המגורים בצורת הארגון האמורה. הכפלת ערך זה במספר הדירות בבנין תתן הערכה מהירה של צריכת האנרגיה הכוללת של בלוק המגורים. הערכה מהירה זו מבוססת על המבנים הבסיסיים שנבדקו ושתוכננו בהתאם להמלצות שהוצגו בפרק א'. (כלומר, דירות המבודדות בצורה סטנדרטית, או משופרת ובעלות חלון בכיוון החזית הראשית בשטח של 5%, או 10% משטח הרצפה). במידה והתכנון כולל חלונות בגודל אחר, או בידוד ברמה אחרת, תהיה הערכה שונה. ניתן לקבוע בצורה גסה את צריכת האנרגיה של טיפוס דירות אחרים, ע"י אינטרפולציה בין ערכי הטיפוסים הבסיסיים הידועים. (לעומת זאת יש להמנע מאקסטרפולציה, כלומר קבלת ערך עבור דירה הנמצאת מחוץ לתחום הנבדק). בפרק ו' נדגים שיטת הערכה זו. כמו כן נציין שכל הגרפים מתאימים לדירות בשטח של 100 מ"ר. במידה והדירות המתוכננות הן בשטח שונה, יש צורך לתקן את הערכים המוצגים בגרפים בהתאמה.

## סיכום ומסקנות

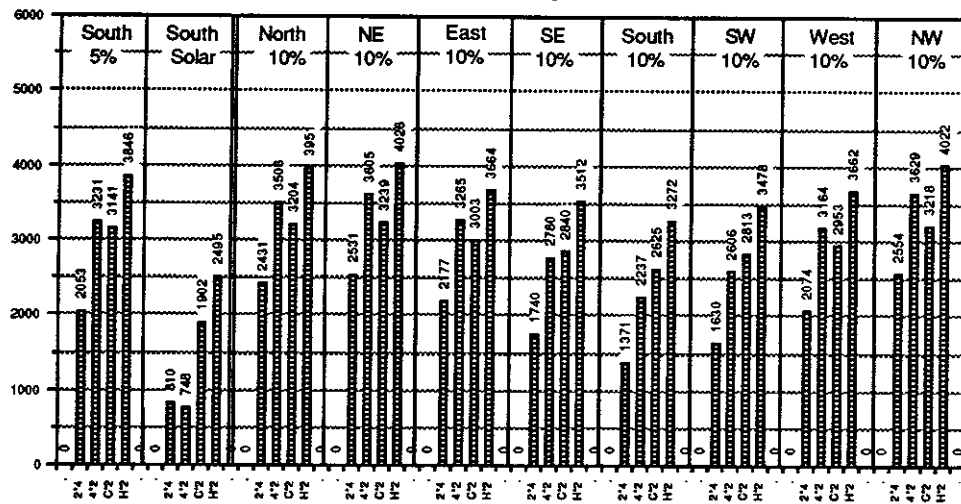
- ניתן להציג למתכנן את מרחב כל הפתרונות האפשריים לתכנון בלוק המגורים.
- על סמך בדיקת והערכת כל הפתרונות האפשריים, יכול המתכנן להצביע על הפתרון הטוב ביותר כבר בשלב התכנון הסכמטי-רעיוני.
- הפתרונות הטובים ביותר להקבצת דירות לבית מגורים משותף, שונים באזורי האקלים הממוזג-קריר והחם-לח.
- השיטה המוצעת אינה מגבילה את חופש התכנון של הארכיטקט. נהפוך הוא, הצגת כל הפתרונות האפשריים יכולה לעזור למתכנן להגיע לפתרון טוב ביותר, שיתכן ואחרת לא היה בודק אותו.
- השוני בירושלים, הנובע מארגון אחר של דירות בבלוק המגורים, רב מאוד. שוני זה גדול במיוחד בדירות המבודדות בצורה סטנדרטית, לא כן בתל אביב.

גרף 1. ירושלים: בנין בן 8 יחידות מגורים

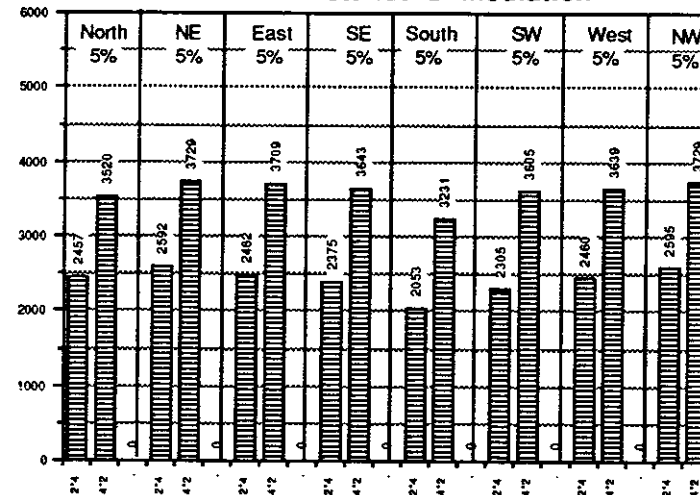
JERUSALEM: 8 apartments-improved insulation



JERUSALEM: 8 apartments-standard insulation

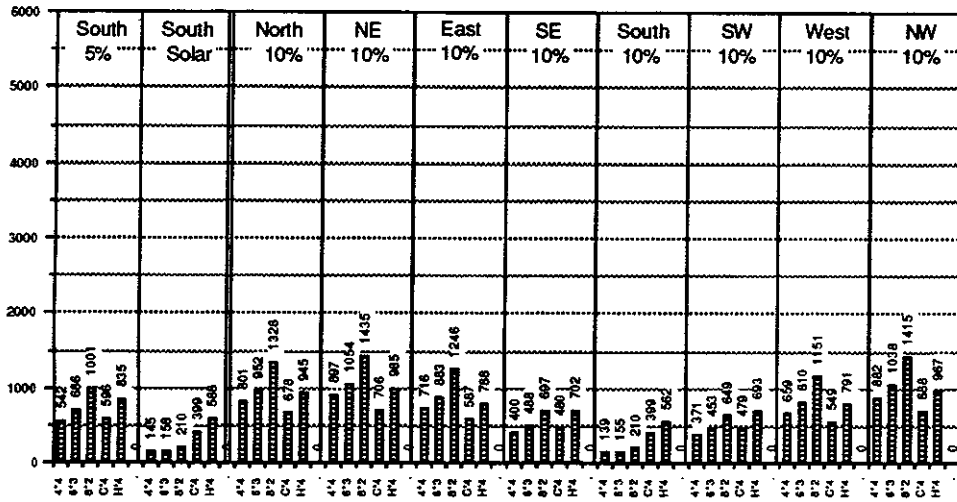


JERUSALEM: 8 apartments standard insulation

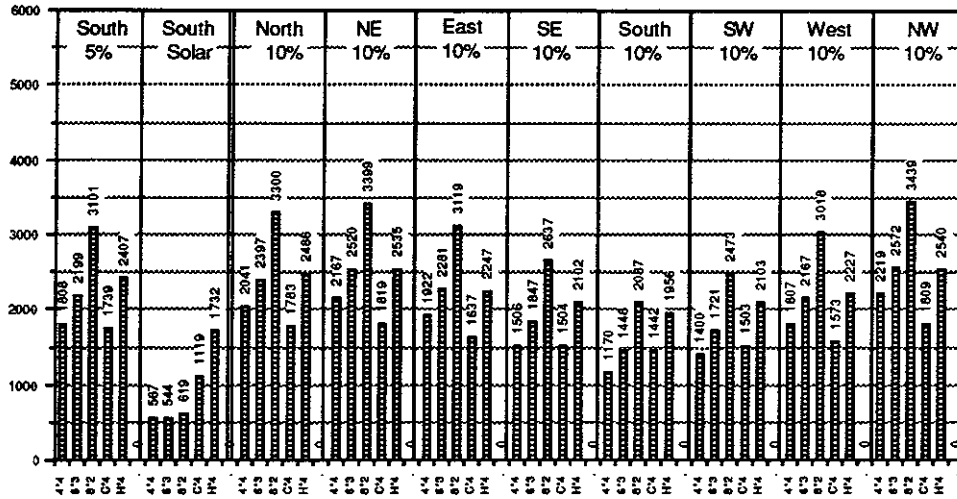


גרף 2. ירושלים: בנין בן 16 יחידות מגורים

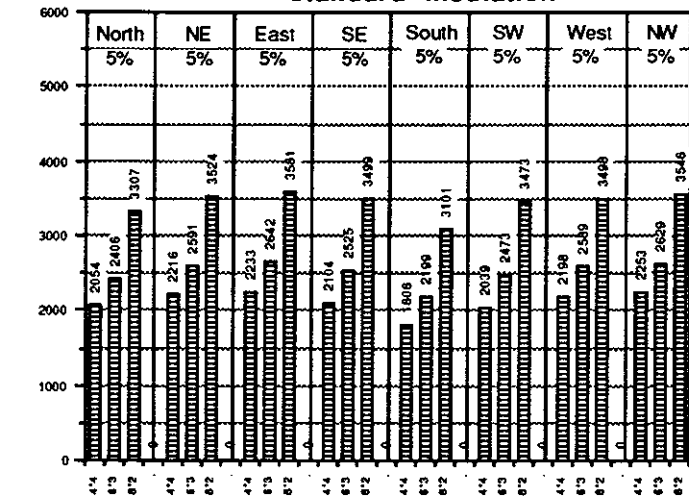
JERUSALEM: 16 apartments-improved insulation



JERUSALEM: 16 apartments-standard insulation

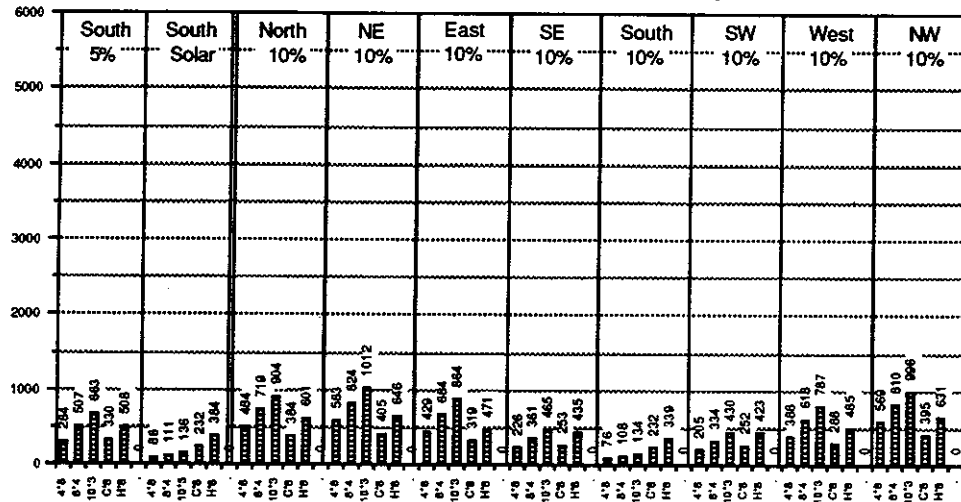


JERUSALEM: 16 apartments standard insulation

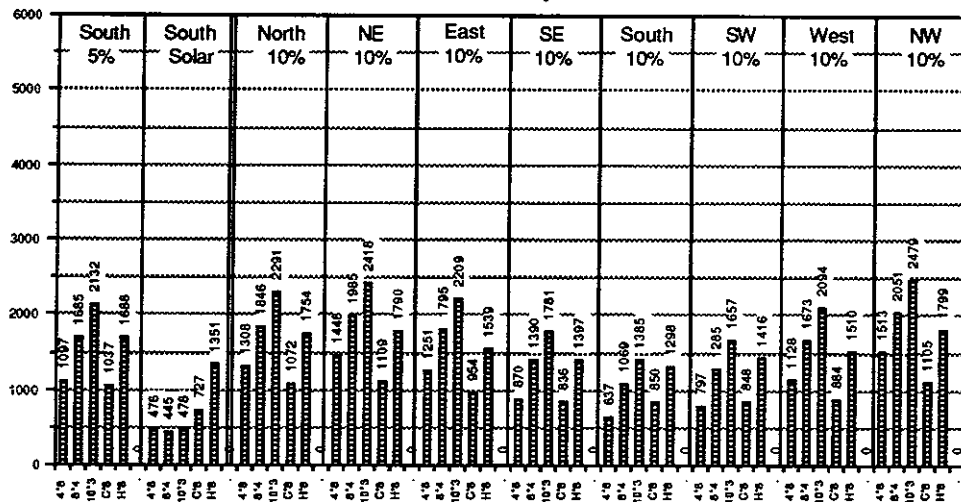


גרף 3. ירושלים: בנין בן 32 יחידות מגורים

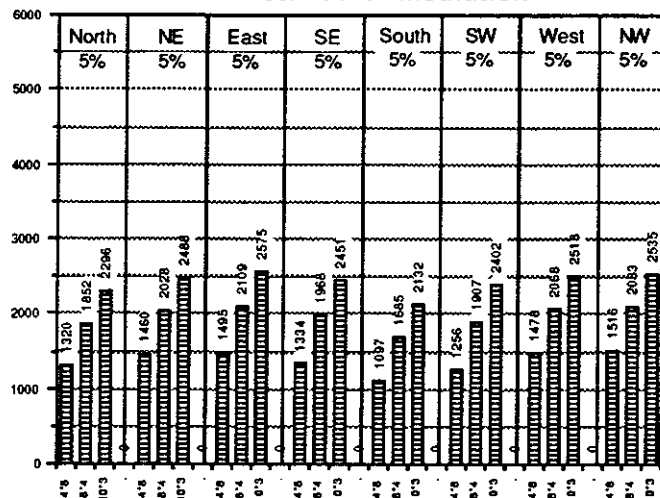
JERUSALEM: 32 apartments-improved insulation



JERUSALEM: 32 apartments-standard insulation



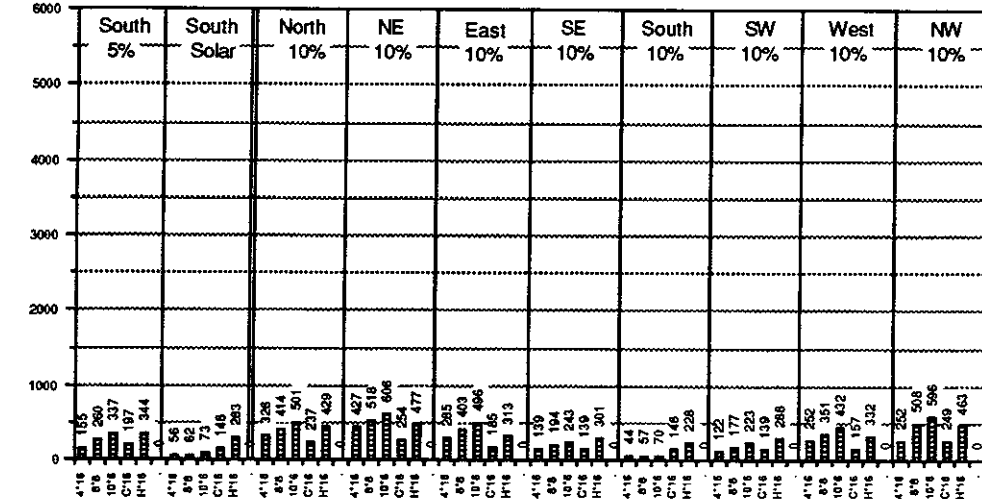
JERUSALEM: 32 apartments standard insulation



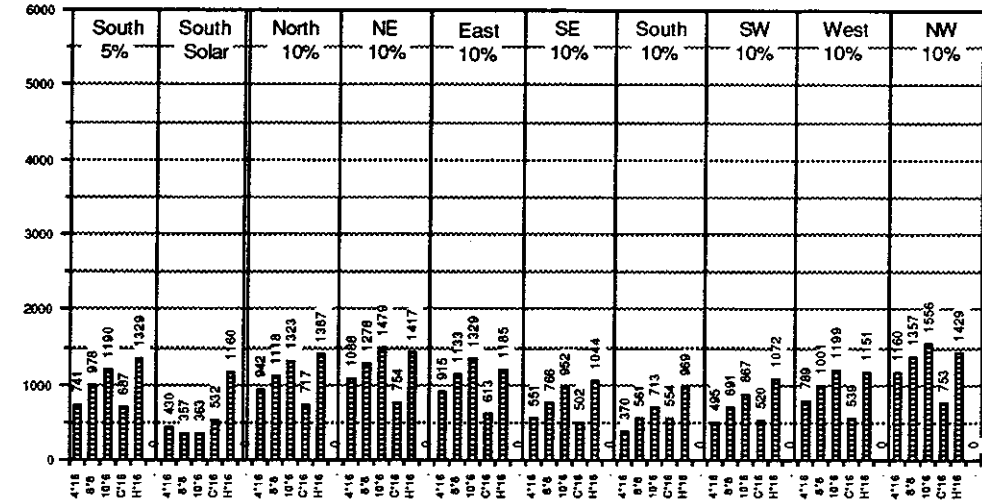


גרף 4. ירושלים: בנין בן 64 יחידות מגורים

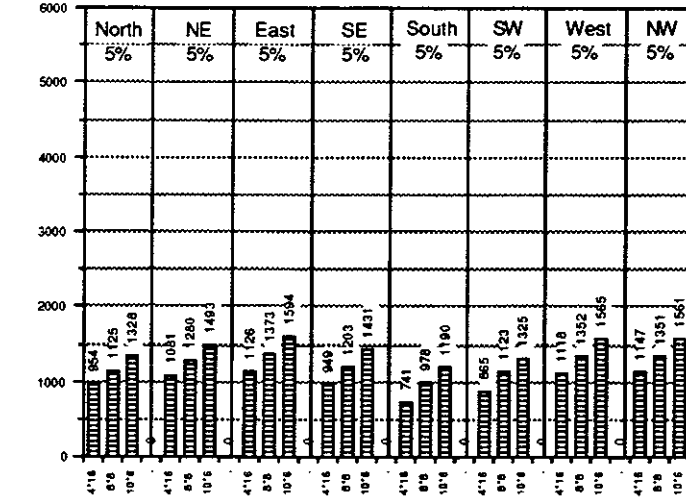
JERUSALEM: 64 apartments-improved insulation



JERUSALEM: 64 apartments-standard insulation

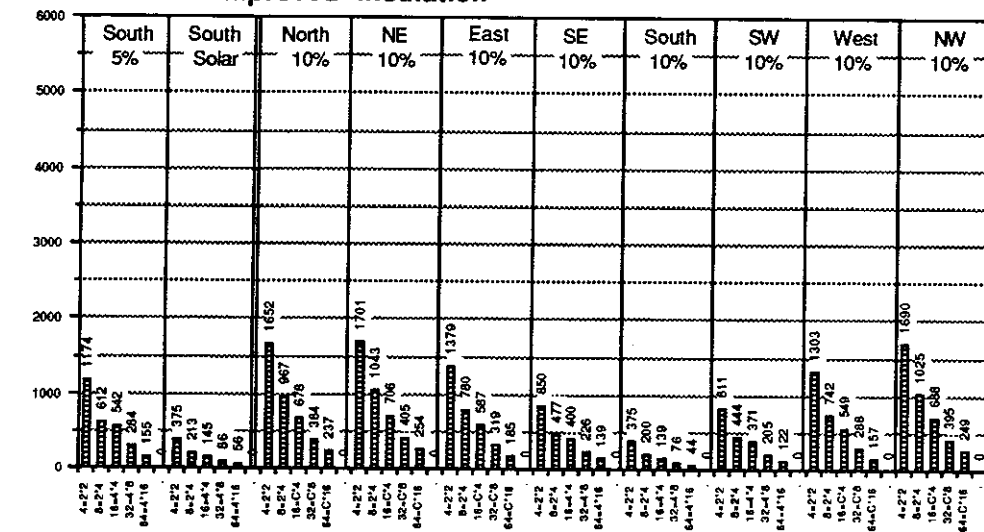


JERUSALEM: 64 apartments standard insulation

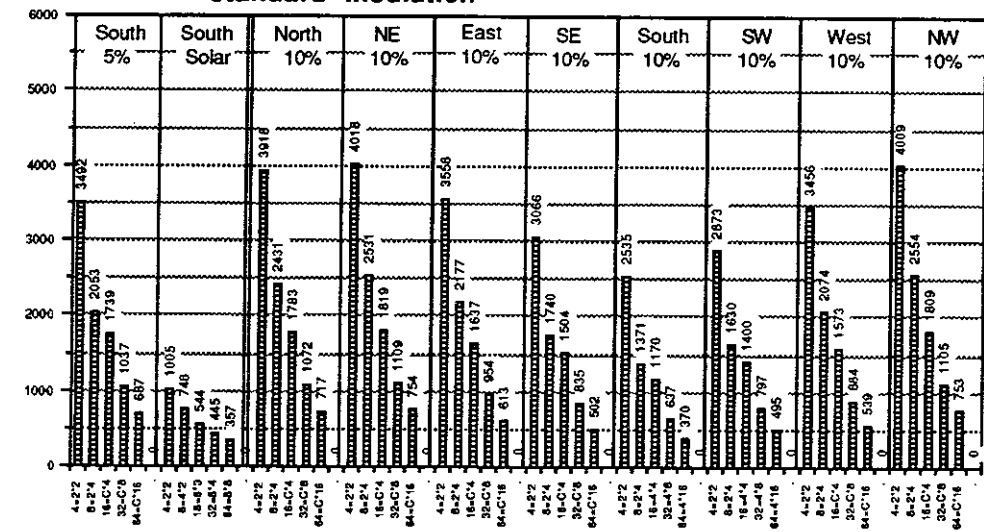


גרף 5. ירושלים: סיכום

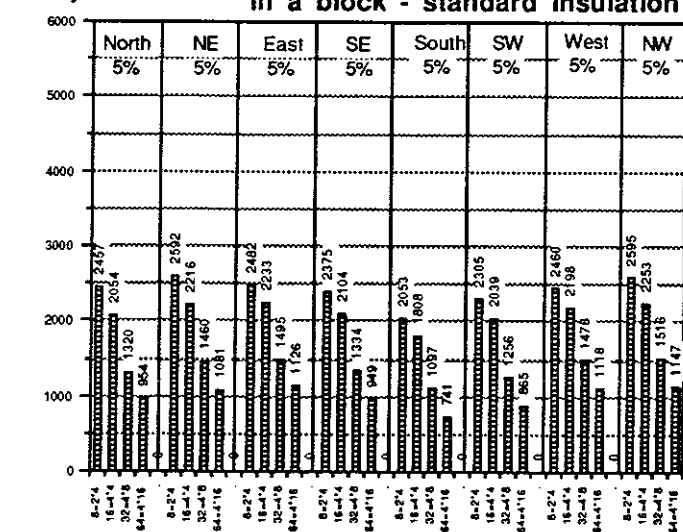
JERUSALEM: various numbers of apartments in a block improved insulation



JERUSALEM: various numbers of apartments in a block standard insulation

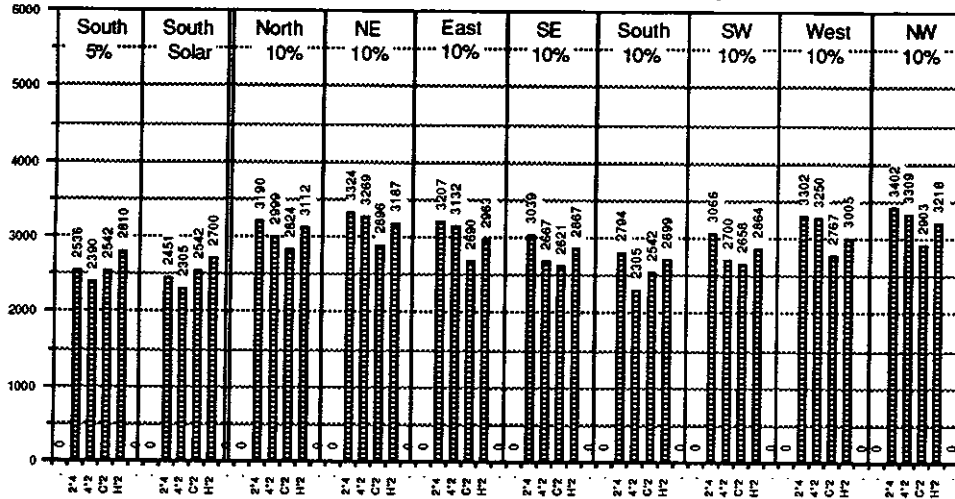


JERUSALEM: various numbers of apartments in a block - standard insulation

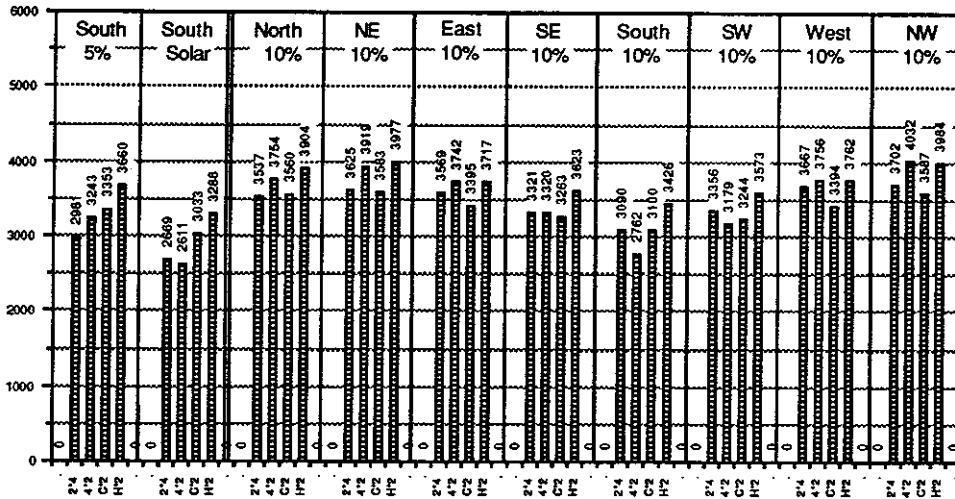


גרף 6. תל אביב: בנין בן 8 יחידות מגורים

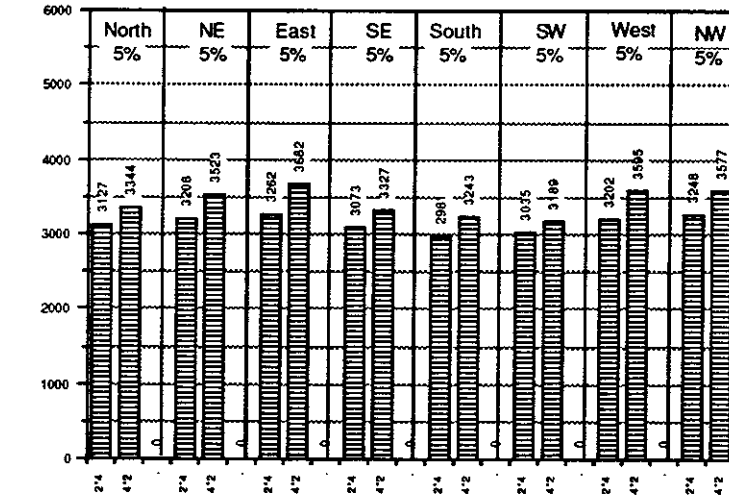
TEL AVIV: 8 apartments-improved insulation



TEL AVIV: 8 apartments-standard insulation

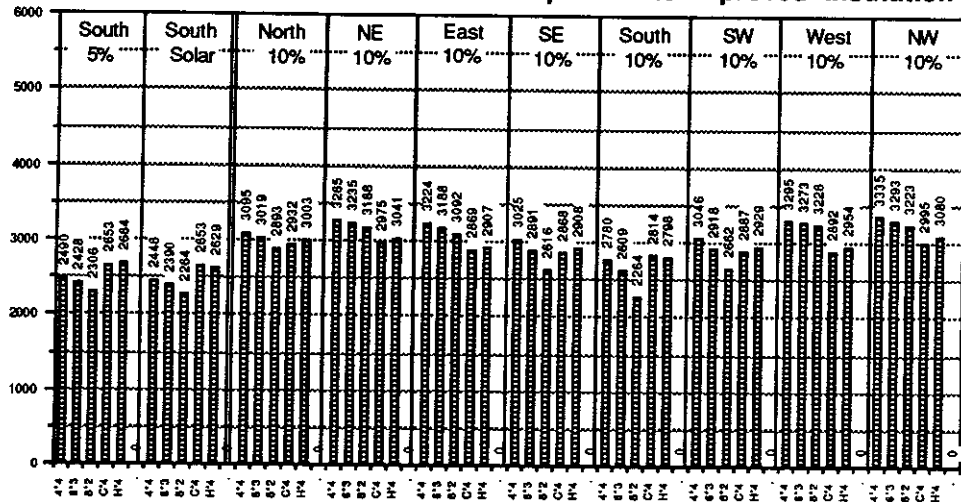


TEL AVIV: 8 apartments standard insulation

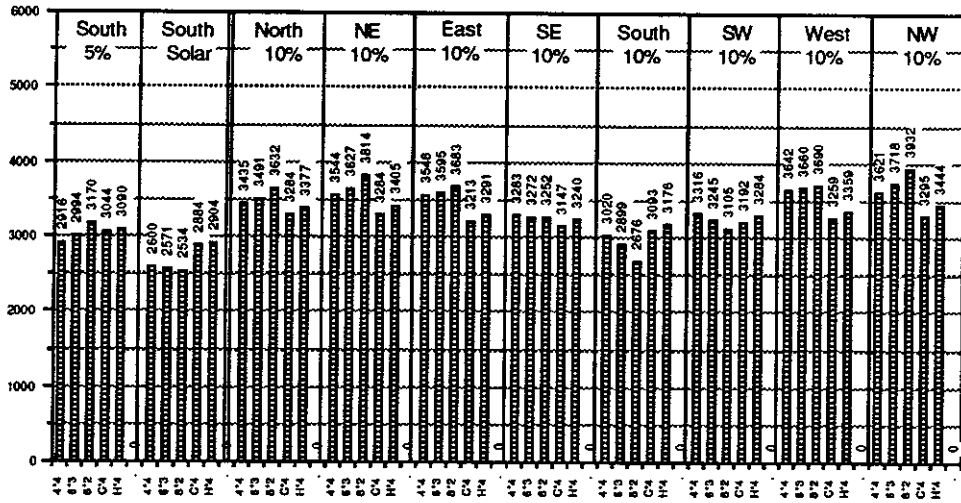


גרף 7. תל אביב: בנין בן 16 יחידות מגורים

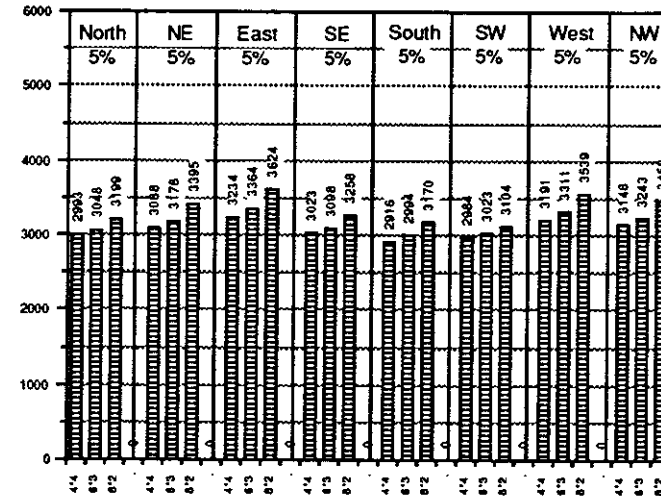
kWh/year TEL AVIV: 16 apartments-improved insulation



kWh/year TEL AVIV: 16 apartments-standard insulation

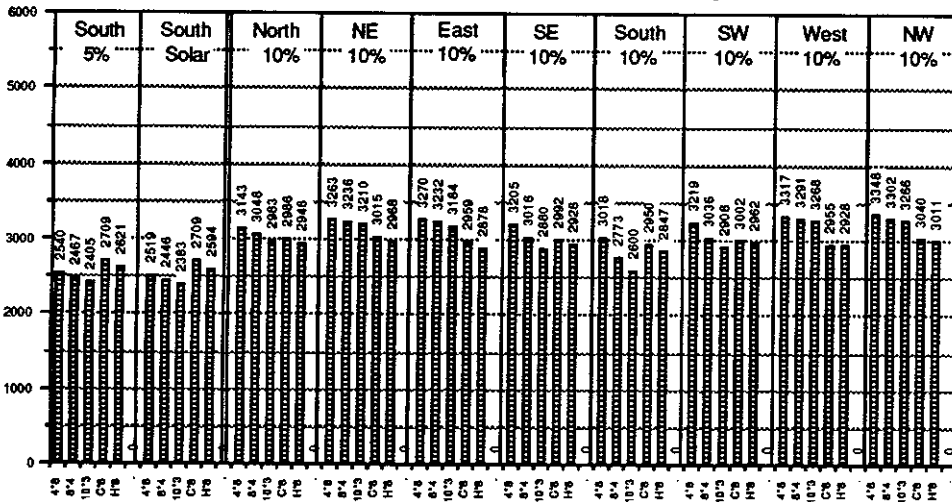


kWh/year TEL AVIV: 16 apartments standard insulation

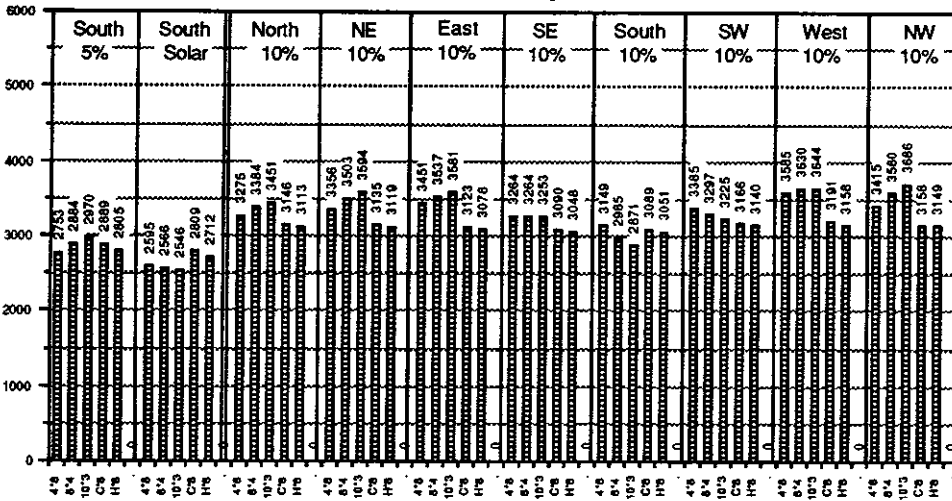


גרף 8. תל אביב: בנין בן 32 יחידות מגורים

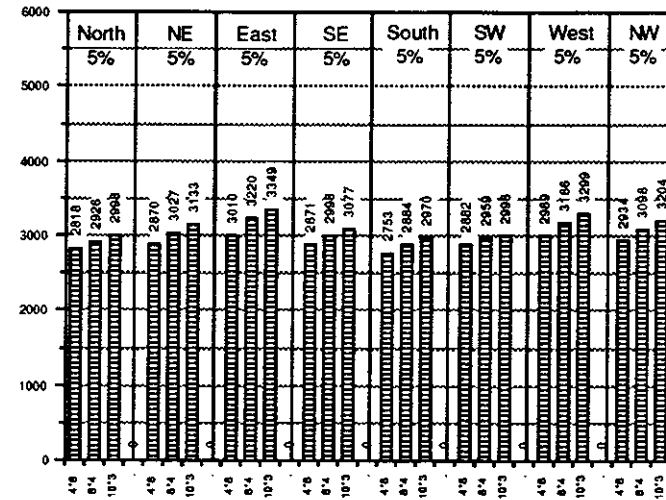
kWh/year TEL AVIV - 32 apartments-improved insulation



kWh/year TEL AVIV: 32 apartments-standard insulation

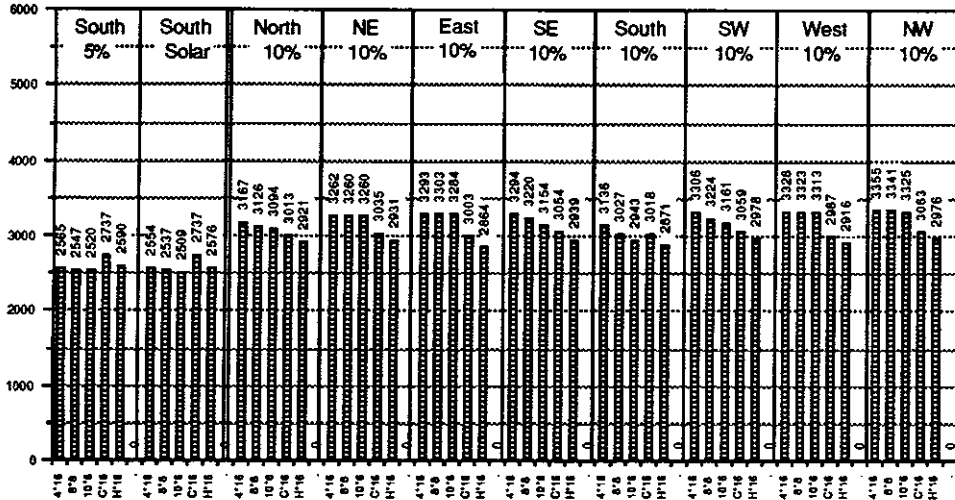


kWh/year TEL AVIV: 32 apartments standard insulation

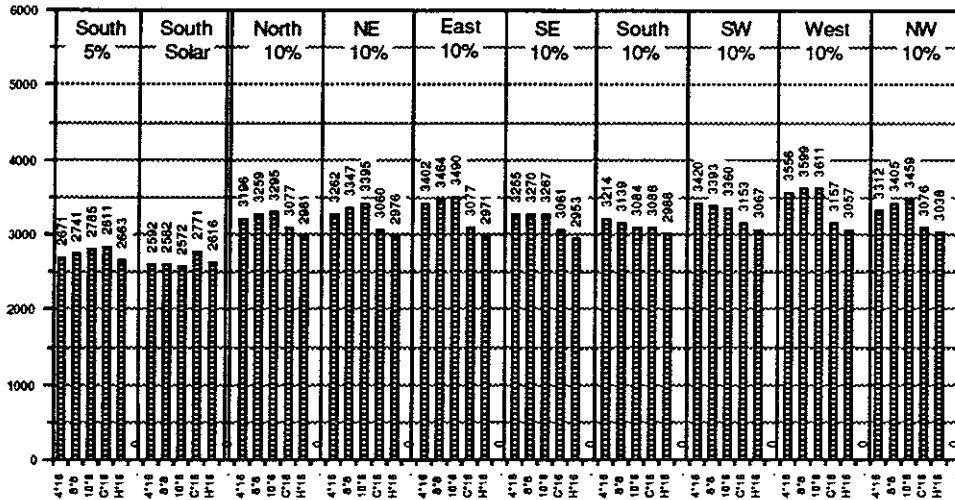


גרף 9. תל אביב: בנין בן 64 יחידות מגורים

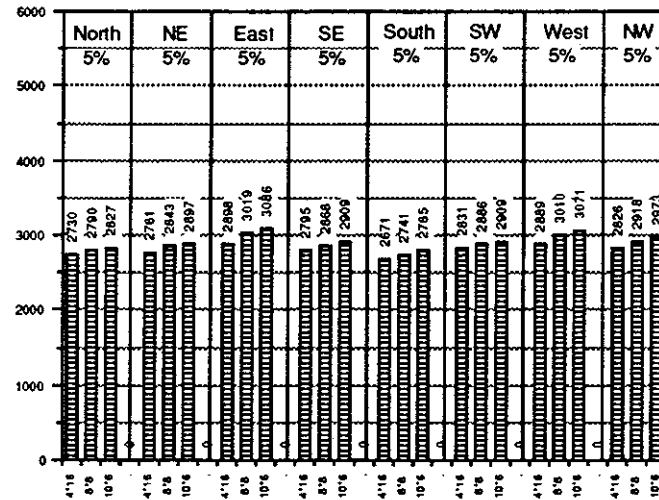
TEL AVIV: 64 apartments-improved insulation



TEL AVIV: 64 apartments-standard insulation

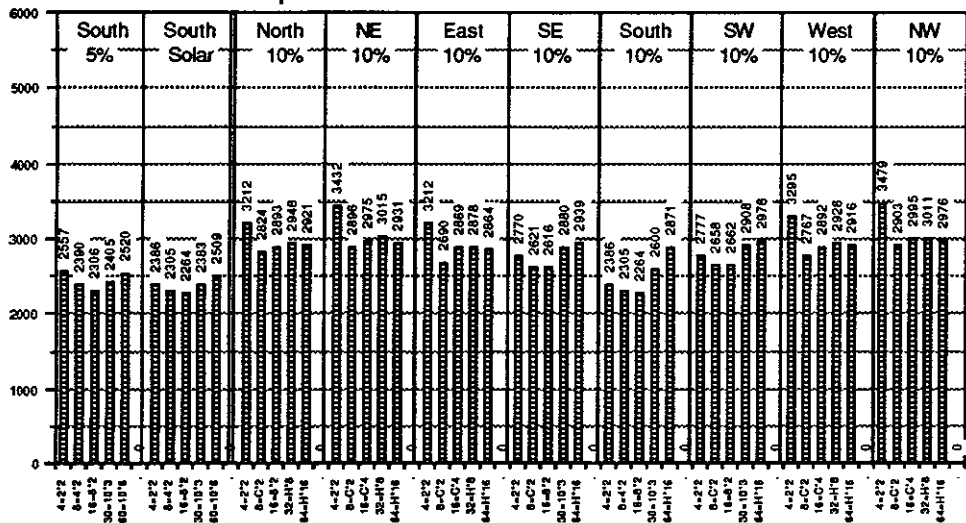


TEL AVIV: 64 apartments standard insulation

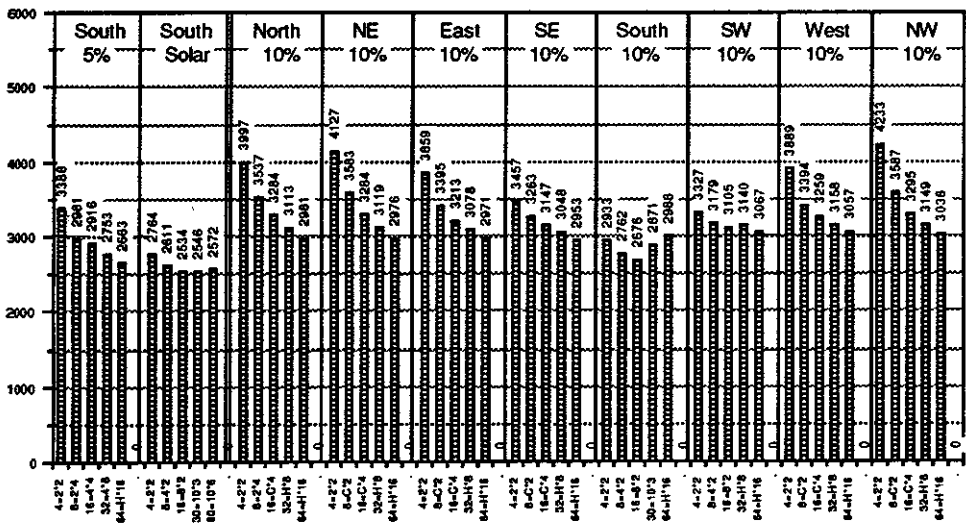


גרף 10. תל אביב: סיכום

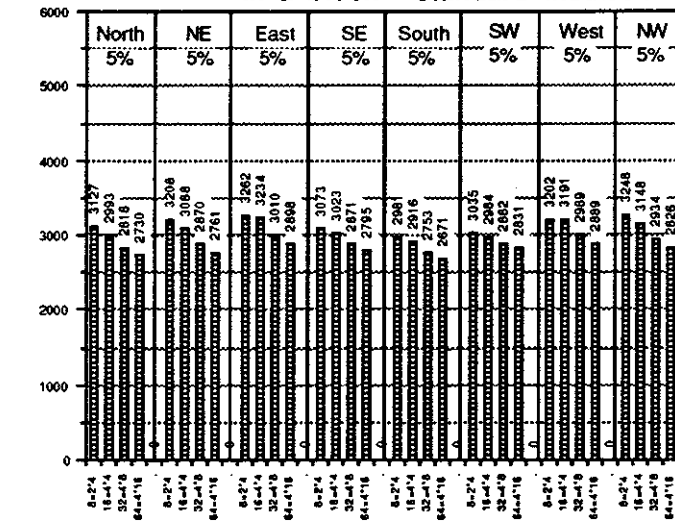
kWh/year TEL AVIV: various numbers of apartments in a block improved insulation



kWh/year TEL AVIV: various numbers of apartments in a block standard insulation



kWh/year TEL AVIV: various numbers of apartments in a block - standard insulation



## פרק 1: המלצות וקווים מנחים לתכנון היחידה והבנין: הדגמת תהליך התכנון והערכת צריכת האנרגיה

### הקדמה

ההמלצות והקווים המנחים לתכנון, מהווים כלי עזר בתהליך קבלת החלטות התכנון הראשוני של יחידת מגורים בודדת או של בית המגורים המשותף כולו. בפרק זה תדגם העבודה הנעזרת במערכת ההמלצות והקווים המנחים כשם שהוצגו במסמך זה. בחרנו לתכנן תחילה את הבנין השלם ורק אח"כ נעסוק בתכנון פרטי יחידות המגורים. האזור האקלימי שנבחר להדגמה הוא ירושלים.

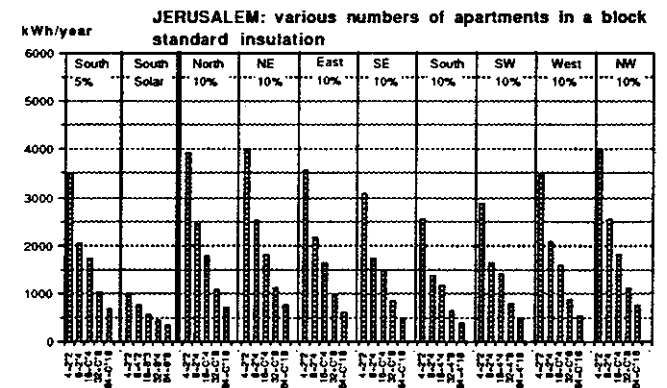
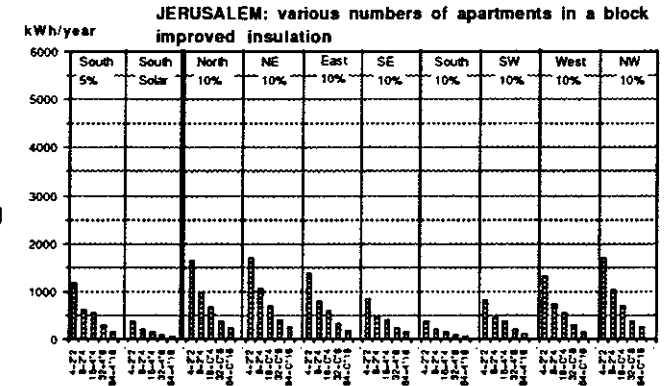
### תכנון הבית המשותף

קביעת רמת צריכת אנרגיה מקסימלית עונתית לחימום דירה ממוצעת בבנין בהנחה שיש לתכנן בנין יעיל מאד מבחינה אנרגטית, נקבע את רמת צריכת האנרגיה המקסימלית לחימום דירה ממוצעת בבלוק המגורים לכ-5 קווי"ש למ"ר לעונה (כלומר 500 קווי"ש לעונה לדירה בת 100 מ"ר). בשלב זה המתכנן יכול לקבוע את ארגון הדירות המועדף בבנין.

### ארגון הדירות בבנין

בהתאם לתמונה 1 נראה כי ללא שיפור הבידוד מעבר לרמה סטנדרטית, ניאלץ לתכנן בנין סולרי טורי בן 32 יחידות דיור לפחות על מנת לא לעבור את רמת צריכת אנרגיה של 5 קווי"ש למ"ר לעונה. בהנחה שאחד מאילוצי התכנון מחייב שמספר הדירות בבנין יהיה לא יותר משמונה, נקבל שהבנין חייב להיות מבודד בצורה משופרת. עבור מבנה משופר נקבל שקיימות מספר חלופות תכנון (ראה תמונה 1 ו-2) והן:

- בנין סולרי בן 2, 3, או 4 קומות המכיל שתי יחידות דיור בכל קומה (2\*2, 2\*3, 2\*4) והפונה בדיוק לדרום.
- בנין סולרי בן 2 קומות המכיל שתי יחידות, או ארבע יחידות דיור בכל קומה (2\*2, 4\*2) והפונה בדיוק לדרום.
- נדגיש שבבנין סולרי כל דירה היא בעלת שטח זיגוג דרומי כזומומלץ בחלק שני פרק ד.
- בנינים דומים ל-א ו-ב עם פנות לדרום, כאשר כל הדירות הן בעלות חלון דרומי בשטח של כ-10% משטח הרצפה. יש לציין שבמקרה זה צריכת האנרגיה בדירות השונות לא תהיה זהה.



תמונה 1. ירושלים: גרף צריכת אנרגיה של בניני מגורים בצורות ארגון שונות (מתוך גרף 5, חלק שני ה-10)



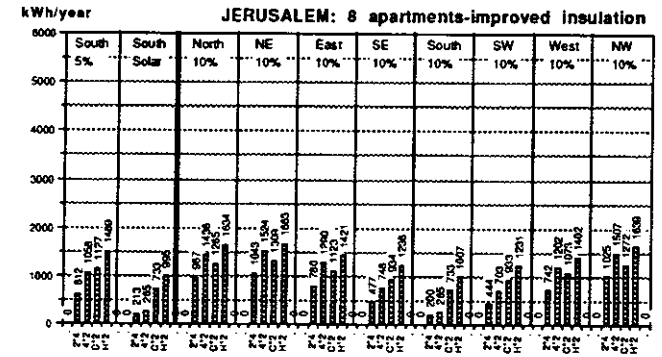
ד. בנין בן 4 קומות המכיל שתי יחידות דיור בכל קומה (2\*4) והפונה דרומית מזרחית, או דרומית מערבית. בנין זה יכול להיות סולרי, או בעל שטח חלון בגזרה הדרומית בשטח של כ-10% משטח הרצפה.

נדגיש שההמלצות, כשם שמוצגות בתמונה 1 ותמונה 2, אינן מכתבות פתרון יחיד. הבחירה נתונה בידי המתכנן. בהתאם לאילוצי תכנון נוספים (שאינם בהכרח אילוצים הקשורים באקלים ואנרגיה) יכול המתכנן להעדיף פתרון שהוא טוב מבחינה תרמית ועומד באילוצי התכנון האחרים (כגון האילוצי להגבלת מספר הדירות בבנין לשמונה).

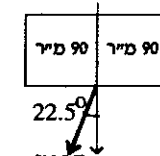
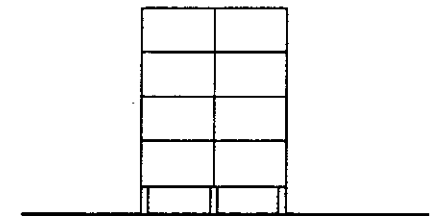
מההמלצות לאיורור לילה בקיץ אנחנו למדים שבירושלים אין צורך במיזוג אויר, אלא יש לאפשר איורור לילה טוב ע"י איורור טבעי או בעזרת מפוח. נשתדל להשיג איורור זה בצורה טבעית. מכיון והרוח השלטת באזור ירושלים בערבי הקיץ ולילותיו היא מכיוון מערב עד צפון מערב (ראה חלק ראשון ב-1) והיות וכיוון צפון מערב והנגדי לו אינם בעייתיים מבחינת רוחות חזקות בחורף, נעדיף הפנית הפתחים בחזית הראשית בכיוון דרום-ד"מז, לקליטת אנרגיה סולרית, על פני ההפניה בדיוק לדרום. בצורה זו הפתחים בכיוון הנגדי, צפון-צ"מע, יקלטו טוב יותר את הרוח הלילית. הפתרון שנבחר לכן, הוא בלוק מגורים בן ארבע קומות המכיל שמונה יחידות דיור, שתיים בכל קומה (2\*4). פנות הבנין לכיוון דרום-ד"מז והבנין מבודד ברמה משופרת (ראה תמונה 3). בנין זה עומד בדרישות צריכת אנרגיה עונתית לחימום שקבענו ויכול להיות סולרי, או בעל שטח חלון בגזרה הדרומית בשטח של כ-10% משטח הרצפה.

הערכה מהירה של צריכת האנרגיה של הבנין המתוכנן

הערכה מהירה של צריכת האנרגיה של הבנין כולו מבוססת על דירות בנות שטח של 100 מ"ר ושהן בעלות חלון דרומי בשטח של כ-10% משטח הרצפה. בהנחה שהדירות במקרה הנידון הן בנות שטח של 90 מ"ר בממוצע, נקבל בהתאם לתמונה 2 שצריכת האנרגיה הממוצעת של היחידה וצריכת האנרגיה של הבנין השלם תהיה לפי הפירוט הבא:



תמונה 2. ירושלים: גרף צריכת אנרגיה של בנין משופר המכיל 8 יחידות דיור מאורגנות בצורות שונות (מתוך גרף 1, חלק שני ה-6)



תמונה 3. הארגון הנבחר לדירות

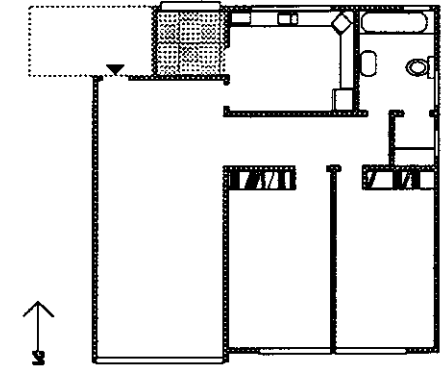
200 קו"ש לעונה	יחידה בשטח של 100 מ"ר הפונה לכיוון דרום
477 קו"ש לעונה	יחידה בשטח של 100 מ"ר הפונה לכיוון ד"מז
$339 = (477 + 200) / 2$ קו"ש לעונה	יחידה בשטח של 100 מ"ר הפונה לכיוון דרום-ד"מז
$305 = 339 * 90 / 100$ קו"ש לעונה	יחידה בשטח של 90 מ"ר הפונה לכיוון דרום-ד"מז
$2441 = 305 * 8$ קו"ש לעונה	סה"כ צריכת אנרגיה לבנין (8 דירות בנות 90 מ"ר)

## תכנון יחידות המגורים

בכל המצבים שנבדוק בהמשך תהינה היחידות מתוכננות בהתאם למכלול ההמלצות שהצגנו בעבודה זו (ראה סיכום בחלק שני פרק א'). כלומר, הבנין אטום היטב; מעטפת הבנין מבודדת בצורה משופרת וצבועה בגוון בינוני; החלונות מוצללים בצורה דינמית ע"י תריסים (בהתאם לסטנדרט משרד הבינוי והשיכון) המספקים בידוד לילה לחלונות. כמו כן איורור הלילה בקיץ הוא טבעי וטוב. בהתאם להמלצות תכנון היחידה הבחידת ראינו, שכאשר הבידוד משופר אין חשיבות לפרופורציה היחידה ואנו חופשיים לקובעה בצורה שרירותית. אולם, על מנת לפשט את המערכות הסולריות הפסיביות בבנין, רצוי שכל חדר יפנה לדרום. במקרה זה, אלמנט סולרי פשוט, כחלון דרומי, יוכל לחמם את הדירה בחורף. בהתאם לעקרון זה נתכנן את הדירה (ראה תמונה 4).

התכנונים האפשריים ליחידות משתרעים בין שני מצבים קיצוניים שהם:

- א. כל היחידות מבודדות בצורה זהה והן בעלות חלון דרומי בשטח של כ- 10% משטח הרצפה.
- ב. היחידות אינן זהות. כל יחידה מתוכננת בהתאם למצב הטוב עבורה כך שרמת צריכת האנרגיה בה תהיה כשם שדרשנו. כלומר, היחידות הן בעלות חלונות דרומיים בשטח שונה בהתאם להמלצות ו/או בעלות רמת בידוד שונה.



תמונה 4. תכנית הדירה

א. יחידות זהות

נבחר תחילה תכנון שבו כל היחידות זהות ובעלות חלון בגזרה הדרומית בשטח השווה ל-10% משטח הרצפה. הבידוד בקירות, בגג ובקומת העמידים הוא בהתאם לרמה המומלצת עבור בנין משופר.

הערכה מהירה של צריכת האנרגיה של הבנין בהתאם לטיפוסי הדירות בהתאם לתמונה 5 תהיה צריכת האנרגיה של כל דירה בבנין בעל בידוד משופר לפי הפירוט הבא:

טיפוס היחידה	צריכת אנרגיה (קו"ש לעונה)	סה"כ יחידות	סה"כ אנרגיה (קו"ש לעונה)
3 חזיתות גג	575 (דר+ד"מו)*	2	1150
3 חזיתות אמצע	0	4	0
3 חזיתות עמודים	675	2	1350
<hr/>			
	סה"כ צריכת אנרגיה לבנין (דירות בנות 100 מ"ר)		2500
	סה"כ צריכת אנרגיה לבנין (דירות בנות 90 מ"ר)		2250
	צריכת אנרגיה ממוצעת ליחידה בשטח של 90 מ"ר (8 דירות בבנין)		281

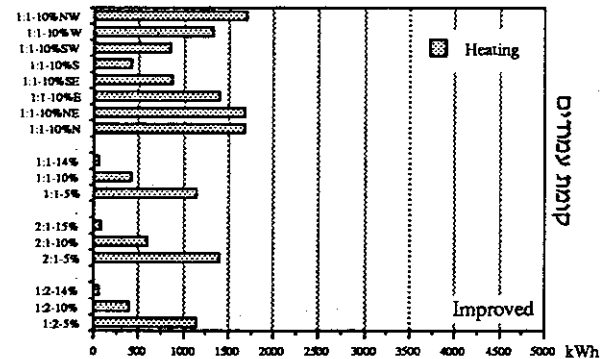
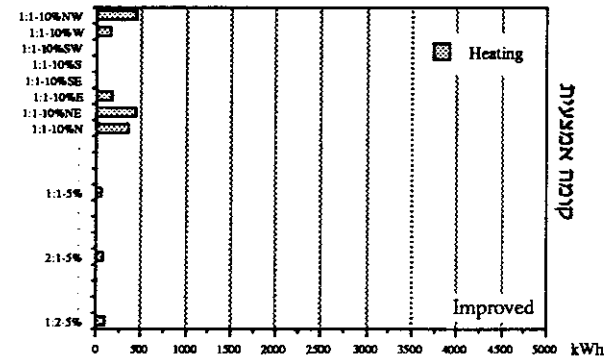
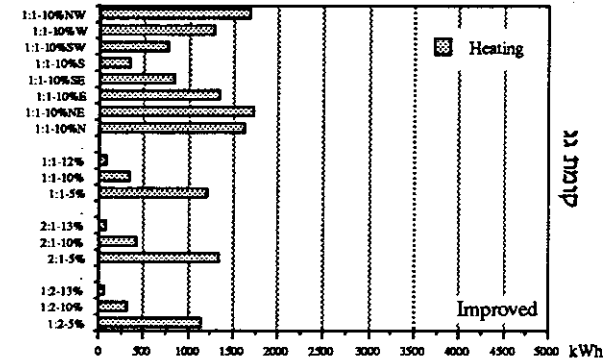
\* הערה מבדיקות שביצענו התברר שניתן להעריך את צריכת האנרגיה בדירה דרום-ד"מו כממוצע שבין צריכות האנרגיה של דירה דרומית ודרום-מזרחית ללא הכנסת שגיאה גסה.

צריכת האנרגיה של יחידת הגג בעלת 3 חזיתות, הפונה לכיוון דרום-ד"מו ומבודדת בצורה משופרת, תהיה מחושבת לפי:

3 חזיתות גג בכיוון דרום: 350

3 חזיתות גג בכיוון ד"מו: 800

ולכן: 3 חזיתות גג בכיוון דרום-ד"מו:  $575 = (350+800) / 2$



תמונה 5. צריכת אנרגיה של דירה בעלת 3 חזיתות בבנין עם בידוד משופר (מתוך גרפים 1 עד 3, חלק שני

סימולציה שעתית מדוייקת של צריכת האנרגיה של הבנין בהתאם לטיפוסי הדירות לביקורת הערכות המבוססות על המלצות וקיום מנחים, הרצנו מודל סימולציה לקביעת צריכת האנרגיה של כל טיפוס דירה בהתאם לתכנון בפועל של יחידות הדיוור שבדוגמא זו. הרצת מודל הסימולציה הציגה צריכת אנרגיה בשיעור של 2417 קווי"ש לעונה לבנין השלם, וצריכת אנרגיה ממוצעת ליחידות מגורים בבנין זה בשיעור של 302 קווי"ש לעונה, בהתאם לפירוט שלהלן:

טיפוס היחידה (90 מ"ר)	צריכת אנרגיה (קווי"ש לעונה)	סה"כ יחידות	סה"כ אנרגיה (קווי"ש לעונה)
מזרח: 3 חזיתות גג	651	1	651
מזרח: 3 חזיתות אמצע	0	2	0
מזרח: 3 חזיתות עמודים	697	1	697
מערב: 3 חזיתות גג	465	1	465
מערב: 3 חזיתות אמצע	0	2	0
מערב: 3 חזיתות עמודים	604	1	604
סה"כ צריכת אנרגיה לבנין			2417
צריכת אנרגיה ממוצעת ליחידה			302

השוואת המספרים שקבלנו בהתאם להערכה הכללית המקורבת (305 קווי"ש לעונה), הערכה המקורבת לפי טיפוסי דירות (281 קווי"ש לעונה) והערכה המבוססת על הרצת מודל סימולציה לטיפוסים הספציפיים (302 קווי"ש לעונה), מצביעה על כך שההערכות המקורבות מספיק מדויקות לקבלת החלטות תכנון נכונות בשלב הסכמטי-רעיוני. נציין, שהדמיון בין התוצאות במקרה זה הוא טוב מעבר למשוער (טעות של 8% בלבד). אין לצפות לדיוק שכזה בכל המקרים. במקרים אחרים שבדקנו, התברר שהשגיאה היא בסדר גודל של 10% עד 20%.

**ב. יחידות שאינן זהות - שטח חלון דרומי בהתאם למומלץ לבנין סולרי**

תוצאות הסימולציה מראות שכאשר היחידות מתוכננות בצורה זוהי, תהיה צריכת האנרגיה גבוהה יותר בקומת הגג והעמודים מאשר בקומות האמצעיות. ננסה לכן תכנון שבו היחידות אינן זהות. כל יחידה מתוכננת בהתאם למצב הטוב עבורה, כך שרמת צריכת האנרגיה בה תהיה כשם שדרשנו.

על מנת להשיג צריכת אנרגיה דומה בכל יחידות המגורים שבבנין, יש אפשרות לבדוד כל דירה בצורה שונה, או לתכנן חלון דרומי בהתאם לגודל המומלץ לבנין סולרי. נבחר תחילה בפתרון של תכנון חלונות דרומיים לכל דירה בהתאם לשטח המומלץ להשגת רמת צריכת האנרגיה של 5 קווי"ש למ"ר לעונה.

**קביעת שטח דרוש לחלונות בגזרה הדרומית**

קביעה זו נעשית בשני שלבים:

**שלב א': קביעת שטח דרוש לחלון דרומי בהתאם להערכה ראשונית**

בהתאם להמלצות יהיה השטח הדרוש לחלון הדרומי לכל טיפוס דירה כדלהלן (ראה תמונה 6):

טיפוס היחידה (90 מ"ר)	% חלון דרומי רצוי משטח הרצפה	שטח חלון (מ"ר)	
		דרום	דרום-ד"מז
3 חזיתות גג	10	9.0	*9.74
3 חזיתות אמצע	5	4.5	**4.50
3 חזיתות עמודים	10	9.0	9.74

סטנדרט משופר	20-27% 9-12%	17-23% 8-11%	20-27% 9-12%
סטנדרט משופר	6-10% 3-5%	4-8% 3-5%	6-10% 3-5%
סטנדרט משופר	28-32% 9-12%	26-30% 8-11%	28-32% 9-12%

תמונה 6. ירושלים: הערכה גסה ראשונית לשטח מומלץ לחלון דרומי (מתוך חלק שני ד-3)

- \* ההמלצה היא עבור הפניה מדויקת לדרום. מכיון והבנין פונה לכיוון דרום-דרום מזרח, יש לתקן את השטח כך שהשלכתו על הדרום תתן את השטח המצויין. לאחר התיקון (יש לחלק ב-  $\cos(22.5)$ ) יתקבל שטח חלון של 9.74 מ"ר.
- \*\* שטח החלון הדרוש בהתאם להמלצות משרד הבינוי והשיכון גדול יותר מהשטח הדרוש בהתאם לשיקולים אנרגטיים.

**שלב ב': שימוש בגרף לקביעת שטח רצוי לחלון דרומי**

תיקון שטח החלון הדרומי שנקבע בהערכה הגסה יעשה לפי הגרף המוצג בתמונה 7 כדלהלן:

**תיקון ראשון**

טיפוס היחידה (שטח: 90 מ"ר)	חלונות (מ"ר) דרי	ד"מזו	הפסדי אנרגיה בבנין (ווט למ"צ למ"ר)	חלון דרומי דרוש (מ"ר) תוספת דרושה	תוספת דרושה
3 חזיתות: גג	*9.00	9.74	**2.10	9.00	0
3 חזיתות: אמצע	4.50	4.50	1.40	4.50	0
3 חזיתות: עמודים	9.00	9.74	2.19	9.90	***1.35

בהתאם לבדיקה הנ"ל יש צורך להוסיף לדירה שבקומת העמודים חלון דרומי בשטח של 1.35 מ"ר. השטח הרצוי לחלון הדרומי בדירה זו יהיה על כן 10.35 מ"ר (9.00+1.35). בשאר הדירות התקבל תיקון בגודל 0. כלומר, ההערכה הראשונית היתה טובה לדירות אלו.

**תיקון שני**

3 חזיתות: עמודים	10.35	11.20	2.25	11.9%	10.71	0.55
------------------	-------	-------	------	-------	-------	------

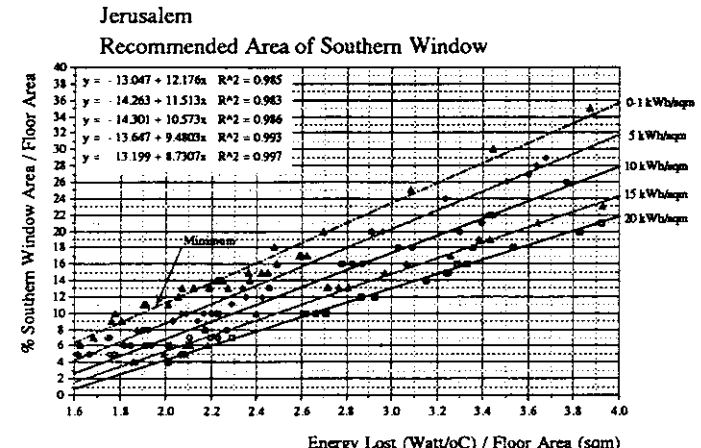
כיים עדין צורך להוסיף לדירה שבקומת העמודים חלון דרומי בשטח של 0.55 מ"ר. השטח הרצוי לחלון דרומי בדירה זו יהיה על כן 10.90 מ"ר.

**תיקון שלישי**

3 חזיתות: עמודים	10.90	11.80	2.27	12%	10.90	0
------------------	-------	-------	------	-----	-------	---

אין תיקון במקרה זה.

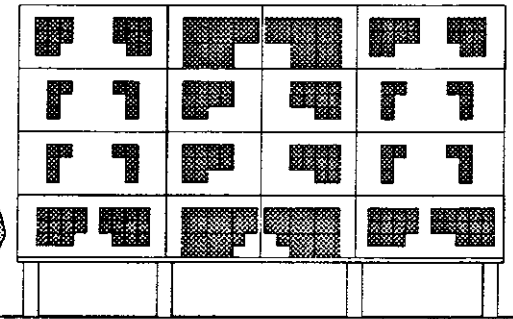
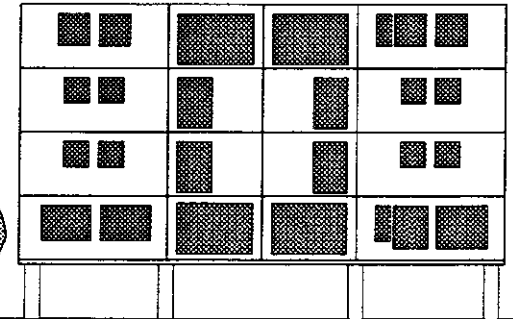
- \* השטח הדרוש לחלון בגזרה דרומית נקבע בהתאם להערכה הגסה שבוצעה בשלב א'.
- \*\* לחישוב הפסדי אנרגיה בבנין ראה נספח ז.
- \*\*\* האחוז נקבע בהתאם לקו שבגרף הנותן רמת צריכת אנרגיה של 5 קו"ש למ"ר לעונה ועבור הפסדים של 2.10 ווט למ"צ למ"ר (ראה תמונה 7).
- \*\*\*\* היות והגדלת החלון כרוכה בהגדלת הפסדי אנרגיה בבנין נקבע בהערכה את התוספת הדרושה לשטח החלון הדרומי לפי:  $1.5 \cdot (\text{חלון דרומי שנקבע בהערכה קודמת} - \text{חלון דרומי דרוש}) = \text{תוספת דרושה}$   
 $1.35 = 1.5 \cdot (9.00 - 9.90) = \text{תוספת דרושה}$  בדוגמא שלנו נקבל:



תמונה 7. גרף לקביעת % מומלץ לחלון דרומי (זהה לגרף המוצג בגדול בחלק שני ה-4)

סיכום השטח הדרוש לחלונות בכיוון דרום-ד"מז בהתאם לטיפוסי הדירות

השטח הדרוש לחלונות בגזרה הדרומית בכל דירה, כשם שהתקבל אחרי התיקון השלישי, מפורט בטבלה שלהלן. מכיון והבנין אינו פונה במדויק לדרום, אלא לכיוון דרום-ד"מז, נקבל שהחלון בגמלון המערבי (ששטחו בדוגמא שלנו הוא 1.8 מ"ר) הוא בעל רכיב לדרום. שטח רכיב זה הוא 0.7 מ"ר ( לפי:  $1.8 * \sin(22.5)$ ). לכן, בדירות בעלות הגמלון המערבי יש אפשרות להקטין את שטח החלון הדרומי הרצוי בשעור זה.



בידוד	שטח חלון דרומי - ד"מז (מ"ר)		טיפוס היחידה (90 מ"ר)
	דירה בגמלון מערבי	דירה בגמלון מזרחי	
משופר	9.0	9.7	3 חזיתות גג
משופר	4.5 (מיני)	4.5 (מיני)	3 חזיתות אמצע
משופר	11.1	11.8	3 חזיתות עמודים

בתמונה 8 מוצגות מספר חלופות תכנון לעיצוב החזית הדרום-ד"מז של הבנין הנידון. בדוגמאות אלו, שטח החלונות תואם את ההמלצות, והבידוד בכל הדירות הוא משופר.

תמונה 8. מספר חלופות תכנון לעיצוב חזית הבנין הדרום-ד"מז

## הערכה מהירה של צריכת האנרגיה של הבנין הסולרי

הפתרון המוצג בתמונה 8 (ללא תלות בחלופת התכנון שתבחר) הוא בלוק מגורים בן ארבע קומות המכיל שמונה יחידות דיור: שתיים בכל קומה (2\*4). הבנין מבודד ברמה משופרת, מתוכנן כבנין סולרי ופנותו לכיוון דרום-ד"מז. בהתאם לתמונה 2 נראה שצריכת האנרגיה הממוצעת לכל דירה בבנין זה תהיה גבוהה במקצת, מזו שהתקבלה עבור הבנין בו כל הדירות מכילות חלונות דרומיים ששטחם הוא כ-10% משטח הרצפה. (הסיבה לכך נובעת מהעובדה שהדירות בקומה האמצעית בבנין הסולרי צורכות אף הן אנרגיה לחימום, כיון ושטח החלונות בגזרה הדרומית הוקטן. אולם, דירות הגג והעמודים צורכות במבנה הסולרי פחות אנרגיה, מכיון ובהן הוגדל שטח החלונות בגזרה הדרומית).

הערכה מהירה של צריכת האנרגיה בבנין הסולרי הפונה לכיוון דרום-ד"מז יכולה להעשות ע"י תיקון הערכה המהירה שבצענו עבור צריכת האנרגיה של הבנין הפונה לכיוון זה ושבו כל הדירות בנוות כ-10% חלונות בגזרה הדרומית לפי הפירוט הבא:

יחידה בעלת 10% ח. דרומי בשטח של 100 מ"ר הפונה לכיוון דרום נקי:	200 קו"ש לעונה*
יחידה בבנין סולרי בשטח של 100 מ"ר הפונה לכיוון דרום נקי:	213 קו"ש לעונה*
יחידה בעלת 10% ח. דרומי בשטח של 90 מ"ר הפונה לכיוון דרום-ד"מז:	305 קו"ש לעונה**

לכן:

יחידה בבנין סולרי בשטח של 90 מ"ר הפונה לכיוון דרום-ד"מז (לפי: $200 / 213 * 305$ )	325 קו"ש לעונה
---	----------------

סה"כ צריכת אנרגיה לבנין (8 דירות בנוות 90 מ"ר)	$325 * 8 = 2600$ קו"ש לעונה
--	-----------------------------

\* בהתאם לגרף המוצג בתמונה 2.

\*\* בהתאם לחישוב המוצג בעמוד 3.



סימולציה שעתית מדוייקת של צריכת האנרגיה של הבנין הסולרי בהתאם לטיפוסי הדירות לביקורת ההערכות המקורבות הרצנו עבור המבנה הסולרי הניל מודל סימולציה. המודל הורץ עבור כל אחת מהדירות, והכיל את נתוני הדירה כפי שתוכננה בפועל. התוצאות שהתקבלו הן:

טיפוס היחידה (90 מ"ר)	צריכת אנרגיה (קו"ש/עונה)	סה"כ יחידות	סה"כ אנרגיה (קו"ש/עונה)
מזרח: 3 חזיתות גג	568	1	568
מזרח: 3 חזיתות אמצע	140	2	280
מזרח: 3 חזיתות עמדים	419	1	419
מערב: 3 חזיתות גג	465	1	465
מערב: 3 חזיתות אמצע	47	2	94
מערב: 3 חזיתות עמדים	419	1	419
סה"כ כמות אנרגיה לבנין			2245
כמות אנרגיה ממוצעת ליחידה			280

השוואת התוצאות שקבלנו בהתאם להערכה המקורבת (325 קו"ש/עונה) והערכה המבוססת על הרצת מודל סימולציה לטיפוסים הספיציפיים (280 קו"ש/עונה), מצביעה על העובדה, שההערכה המקורבת מספיק מדוייקת לקבלת החלטות תכנון נכונות בשלב הסכמטי-רעיוני ולהערכת צריכת האנרגיה של התכנון המומלץ (השגיאה שהתקבלה במקרה זה היא של 16%).

## ג. יחידות שאינן זהות - בידוד ושטח חלון דרומי בהתאם למומלץ לבנין סולרי

התוצאות האחרונות מראות שעבור הדירות האמצעיות המבודדות בצורה משופרת תתקבל צריכת אנרגיה נמוכה מזו שדרשנו. זאת למרות ששטח החלונות בגזרה הדרומית נקבע בהתאם לגודל המינימלי הנדרש ע"י משרד הבינוי והשיכון מתוך שיקולים שאינם אנרגטיים. יש אפשרות לכן להוריד את רמת הבידוד בדירות האמצעיות. בדוגמא הבאה נבדד דירות אלו בצורה סטנדרטית ובמידת הצורך נגדיל את שטח החלונות הדרומיים.

קביעת השטח החדש עבור החלונות הדרומיים שבקומה האמצעית (בידוד סטנדרטי)

שלב א': קביעת שטח דרוש לחלון דרומי בהתאם להערכה ראשונית

בהתאם להמלצות יהיה השטח הדרוש לחלון הדרומי לכל טיפוס דירה כדלהלן (ראה תמונה 6):

שטח חלון (מ"ר)		% חלון דרומי רצוי משטח הרצפה	טיפוס היחידה (90 מ"ר)
דרום-ד"מז	דרום		
6.82	6.30	7	3 חזיתות אמצע

שלב ב': שימוש בגרף לקביעת שטח רצוי לחלון דרומי

תיקון שטח החלון הדרומי שנקבע בהערכה הגסה יעשה לפי הגרף המוצג בתמונה 7 כדלהלן:

תיקון ראשון

חלון דרומי דרוש (מ"ר)		הפסדי אנרגיה בבנין (ווט למ"צ למ"ר)	חלונות (מ"ר)		טיפוס היחידה (שטח: 90 מ"ר)
תוספת דרושה	0		ד"ר	ד"מז	
0	6.30	7%	1.83	6.82	3 חזיתות: אמצע

אין תיקון במקרה זה.

**סיכום השטח הדרוש לחלונות בכיוון דרום-ד"מז והבידוד בהתאם לטיפוסי הדירות**

השטח הדרוש לחלון דרומי, כשם שהתקבל עבור הדירות השונות בבנין, מפורט בטבלה שלהלן. בתמונה 9 מוצגות מספר חלופות תכנון לעיצוב חזית הבנין הדרום-ד"מז, כאשר שטח החלונות בהתאם למומלץ.

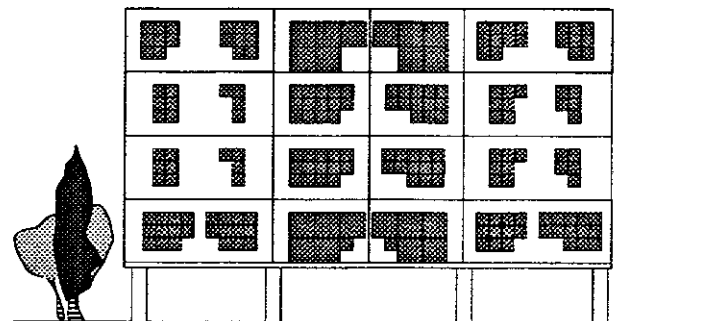
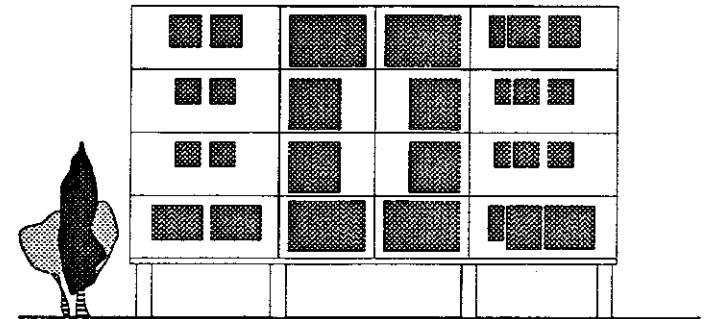
בידוד	שטח חלון דרומי - ד"מז (מ"ר)		טיפוס היחידה (90 מ"ר)
	דירה בגמלון מערבי	דירה בגמלון מזרחי	
משופר	9.0	9.7	3 חזיתות גג
סטנדרטי	6.1	6.8	3 חזיתות אמצע
משופר	11.1	11.8	3 חזיתות עמודים

לבדיקת התכנון המוצע הורץ מודל סימולציה עבור כל טיפוס דירה. התוצאות מוצגות בטבלה הבאה:

טיפוס היחידה (90 מ"ר)	צריכת אנרגיה (קו"ש/עונה)	סה"כ יחידות	סה"כ אנרגיה (קו"ש/עונה)
מזרח: 3 חזיתות גג	568	1	568
מזרח: 3 חזיתות אמצע	512	2	1024
מזרח: 3 חזיתות עמודים	419	1	419
מערב: 3 חזיתות גג	465	1	465
מערב: 3 חזיתות אמצע	465	2	930
מערב: 3 חזיתות עמודים	419	1	419
<b>סה"כ כמות אנרגיה לבנין</b>			
כמות אנרגיה ממוצעת ליחידה	3825	(3825 / 8)	478
כמות אנרגיה דרושה למ"ר רצפה	478	(478 / 90)	53

בהתאם לתוצאות הסימולציה נראה כי ניתן לתכנן את הדירות כך שצריכת האנרגיה בכלן, אף שממוקמות בצורה שונה בבנין, תהיה דומה ושווה לערך מקסימלי שנקבע מראש כרצוי.

נדגיש שהתכנון והערכות צריכת האנרגיה בבנין ובדירה בוצעו בעזרת ההמלצות והקיום המנחים לתכנון כשם שהוצגו בעבודה זו. הרצות הסימולציה המוצגות בפרק זה התבצעו רק על מנת לבדוק את דיוק הערכה.



תמונה 9. מספר חלופות תכנון לעיצוב חזית הבנין הדרום-ד"מז

סיכום ומסקנות

- ניתן לקבל הערכה מהירה של צריכת האנרגיה בדירות השונות ובבנין כולו. דיוק הערכה מהירה זו הוא כ- 5% עד 20%. השגיאה תהיה קטנה יותר ככל שהמקרה הנבדק יהיה דומה יותר לטיפוסים הבסיסיים, עליהם התבססו המלצות התכנון.
- ניתן להצביע על פתרונות עדיפים מבחינה אנרגטית, על סמך ההמלצות, הקיום המנחים לתכנון ורכוז התוצאות בגרפים.
- ניתן לתכנן את הדירות כך שצריכת האנרגיה בכלן, אף שממוקמות בצורה שונה בבנין, תהיה דומה ושווה לערך מקסימלי שנקבע מראש כרצוי.

## פרק ז: סיכום ומסקנות

### סיכום ומסקנות בהתאם לפרקי העבודה

לסיכום נרכז את המסקנות כשם שהוצגו בפרקי העבודה השונים.

#### פרק א: קוים מנחים לתכנון יחידת המגורים: סיכום והשוואת המלצות

- ניתן לנסח המלצות תכנון פשוטות. המלצות אלו מאפשרות לארכיטקט, כבר בשלב התכנון הרעיוני, לתכנן בניינים נוחים מבחינה אקלימית שצורכים אנרגיה מתכלה מינימלית.
- על מנת להמנע מהמלצות כלליות העלולות לגרום להטעית המתכנן, יש צורך לפתח עבור כל טיפוס דירה ומבנה בנפרד. בשום פנים ואופן אין לגזור המלצות תכנון לדירות הגם והעמודים המסתמכות על בדיקת דירה בקומה אמצעית ולהיפך. כמו כן, המלצות תכנון שפותחו עבור בניינים פרטיים, להם שטח מעטפת גדול, אינן יכולות להוות בסיס להמלצות לגבי בית מגורים משותף.
- המלצות לגבי הגיאומטריה העדיפה לבנין, תלויות במידת בידודו. יש על כן לקבוע מראש את רמת הבידוד הרצויה, על מנת לעצב את המבנה בצורה נכונה מבחינה תרמית ולהיפך. בהתאם לעיצוב הרצוי לבנין, יש אפשרות לקבוע מהי רמת הבידוד הדרושה.
- מהשוואת המלצות התכנון לירושלים (אזור אקלים ההר) והמלצות התכנון לתל אביב (אזור אקלים שפלת החוף), ניתן ללמוד שאין להתייחס למקומות השונים בארץ כאזור אקלימי אחד. קיימת חשיבות רבה לפיתוח המלצות תכנון לכל אזורי האקלים השונים שבארץ.

#### פרק ב: השפעה מירבית על צריכת אנרגיה שנתית: סיכום והשוואת החשיבות של פרמטרי

##### התכנון

- ניתן לחלק את פרמטרי התכנון לקבוצות הבאות:
- פרמטרי תכנון שהשפעתם חזקה ללא תלות באזור האקלימי. לדוגמא: חדירת אויר ואיורור המבנה בלילות הקיץ. (משפט זה נכון עבור שני אזורי האקלים שנבדקו. יש לאמתו עבור אזורי אקלים נוספים).

- פרמטרי תכנון שהשפעתם חזקה רק באזור אקלימי אחד. לדוגמא: הצללת חלונות בקיץ, או שינוי שטח החלונות (בעיקר המערבי) כאשר אלו ללא תריס חיצוני. נראה שהשפעת פרמטרים אלה רבה מאוד באקלים החם-לח של תל אביב ובינונית עד זניחה באקלים המומזג-קריר של ירושלים.
- פרמטרי תכנון שהשפעתם חזקה ללא תלות בטיפוס הדירה ובפרמטרי התכנון השונים שלה. לדוגמא: הצללת חלונות בקיץ בתל אביב, או חדירת אויר בירושלים.
- פרמטרי תכנון שהשפעתם חזקה רק על טיפוס דירה מסוים ותלויה בערכי פרמטרי התכנון האחרים. לדוגמא: אי הצללת חלונות בחורף והגדלת רמת הסולריות של הדירה, שהשפעתם עצומה בעיקר על דירות הגג.
- פרמטרי תכנון שהשפעתם חלשה תמיד ללא תלות באקלים, או בערכי פרמטרי התכנון האחרים. לדוגמא: פרופורצית המבנה שאינו סולרי, הצללת הקירות וצבעם.

### פרק ג: צריכת האנרגיה בהתאם למיקום היחידה בבנין: סיכום, השוואה והמלצות לפתרונות עדיפים

- פתרונות מועדפים להשגת רמת יעד גבוהה לחסכון באנרגיה, הן בירושלים והן בתל אביב, הם בד"כ תכנון הבנין כמבנה סולרי.
- קיימת חשיבות רבה לבידוד המבנה בירושלים, לא כן בתל אביב.
- ההתנהגות התרמית של הקומה האמצעית שונה בצורה בולטת מזו של קומת הגג והעמודים. שוני זה גדול יותר מזה הקיים בין דירה פנימית לבין דירה גמלונית, הממוקמות באותה קומה. ההבדלים בהתנהגות התרמית שבין דירות אלו, בולטים במיוחד באקלים תל אביב. ההמלצות לגבי הדירה הפנימית, באקלים זה, שונות מהותית מההמלצות לגבי דירות הגג והעמודים, כיון ובדירות הפנימיות יש צורך בעיקר בקירור, ואילו בקומת הגג והעמודים קיים צורך בקירור וחימום. לכן, יש להמנע מהסקת מסקנות לגבי תכנון דירות הגג והעמודים כאשר אלו נובעות מבדיקת דירה פנימית בקומה אמצעית ולהיפך. כמו כן יש להזהר מלקבל התלטות תכנון המתיחסות לבית מגורים משותף, בהסתמך על הידוע לגבי בית פרטי.

### פרק ד: שיטה לקביעת שטח מומלץ לחלון דרומי: סולרי לעומת שימור

- ניתן לקבוע בצורה פשוטה את השטח הרצוי לחלון דרומי, בהתאם להפסדי אנרגיה בבנין ורמת צריכת אנרגיה מקסימלית מותרת ביחידת המגורים.
- מספר פתרונות התכנון, הנותנים צריכת אנרגיה נמוכה ביחידת המגורים, הוא גדול.

חלק מפתרונות אלו מבוסס על שימור אנרגיה, וחלק על קליטת אנרגיה סולרית. כמו כן קיים מרחב פתרונות רציף המשלב שימור אנרגיה עם אנרגיה סולרית.

- יש צורך בשינוי תקן 1045 לבידוד תרמי, כך שיכלול בתוכו התיחסות לתרומה הסולרית.

פרק ה: הקבצת הדירות לבית המגורים המשותף: המלצות לקביעת גודל, נפת, צורה ופנות המבנה

- ניתן להציג למתכנן את מרחב כל הפתרונות האפשריים לתכנון בלוק המגורים.
- על סמך בדיקת והערכת כל הפתרונות האפשריים, יכול המתכנן להצביע על הפתרון הטוב ביותר כבר בשלב התכנון הסכמטי-רעיוני.
- הפתרונות הטובים ביותר להקבצת דירות לבית מגורים משותף, שונים באזורי האקלים הממוזג-קריר והחם-לח.
- השיטה המוצעת אינה מגבילה את חופש התכנון של הארכיטקט. נהפוך הוא, הצגת כל הפתרונות האפשריים יכולה לעזור למתכנן להגיע לפתרון טוב ביותר, שיתכן ואחרת לא היה בודק אותו.
- השוני בירושלים, הנובע מארגון אחר של דירות בבלוק המגורים, רב מאוד. שוני זה גדול במיוחד בדירות המבודדות בצורה סטנדרטית, לא כן בתל אביב.

פרק ו: המלצות וקווים מנחים לתכנון היחידה והבנין: הדגמת תהליך התכנון והערכת צריכת האנרגיה

- ניתן לקבל הערכה מהירה של צריכת האנרגיה בדירות השונות ובבנין כולו. דיוק הערכה מהירה זו הוא כ- 5% עד 20%. השגיאה תהיה קטנה יותר ככל שהמקרה הנבדק יהיה דומה יותר לטיפוסים הבסיסיים, עליהם התבססו המלצות התכנון.
- ניתן להצביע על פתרונות עדיפים מבחינה אנרגטית, על סמך ההמלצות, הקווים המנחים לתכנון ורכוז התוצאות בגרפים.
- ניתן לתכנן את הדירות כך שצריכת האנרגיה בכלן, אף שממוקמות בצורה שונה בבנין, תהיה דומה ושווה לערך מקסימלי שנקבע מראש כרצוי.

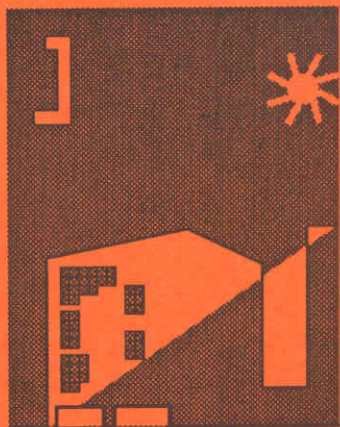
## סיכום המסקנות

לבסוף נביא סיכום המסקנות ונדגיש רק את החשובות ביותר.

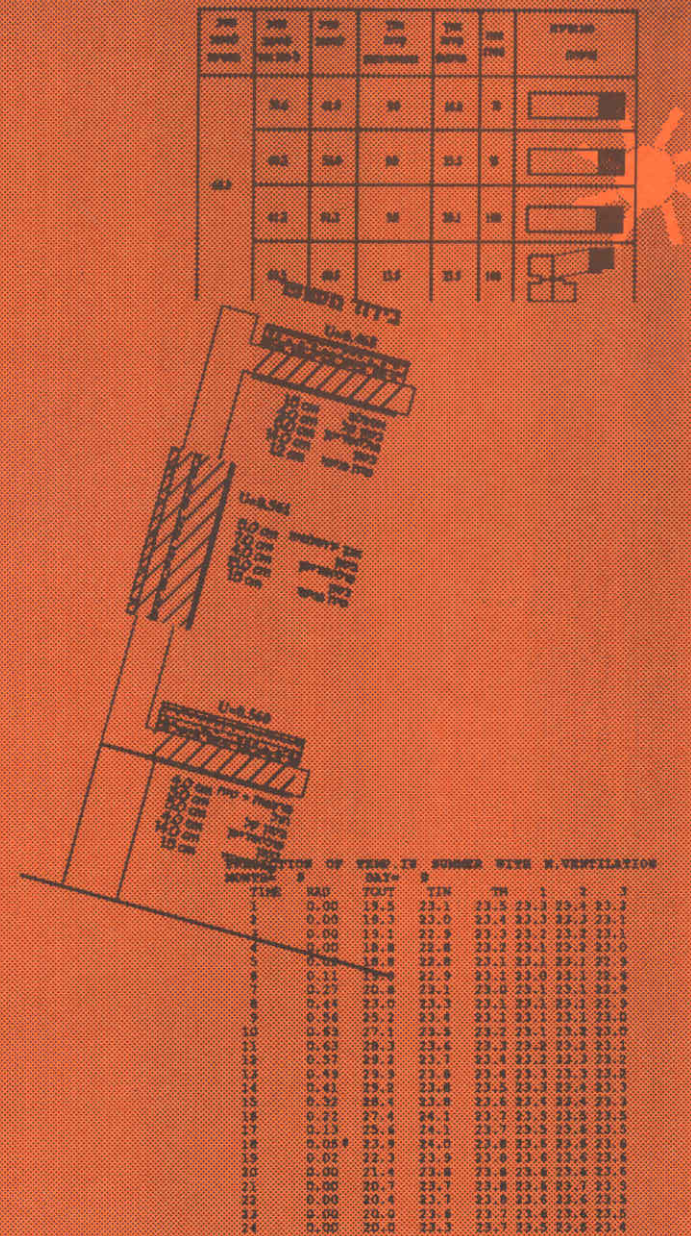
- ניתן לנסח המלצות תכנון פשוטות. אולם, על מנת להמנע מהמלצות כלליות העלולות לגרום להטעית המתכנן, יש צורך לפתח את ההמלצות עבור כל טיפוס דירה ומבנה בנפרד ועבור כל אזורי האקלים השונים שבארץ. המלצות לגבי גיאומטריית הבנין העדיפה, כולל השטח המומלץ לזיגוג דרומי, תלויות במידה רבה ברמת בידוד מעטפת הבנין. ההתנהגות התרמית של הקומה האמצעית שונה בצורה מהותית מזו של קומת הגג והעמודים. לכן, יש להמנע מהסקת מסקנות לגבי תכנון דירות הגג והעמודים, כאשר אלו נובעות מבדיקת דירה פנימית בקומה אמצעית ולהיפך. כמו כן יש להזהר מלקבל החלטות תכנון המתיחסות לבית מגורים משותף, בהסתמך על הידוע לגבי התכנון הרצוי לבית הפרטי. רב המחקר שנעשה בעולם עד כה, מיועד לתכנון בניינים פרטיים ובהרבה מקרים עבור מבנים קלים המבודדים היטב. אין לאמץ המלצות אלו לבנייני המגורים המשותפים בארץ, וכן לבניינים הבנויים כבניה כבדה.
- ניתן לחלק את פרמטרי התכנון לקבוצות הבאות: פרמטרי תכנון שהשפעתם חזקה תמיד. פרמטרי תכנון שהשפעתם החזקה תלויה בערכי פרמטרי התכנון האחרים, או בתנאי האקלים. פרמטרי תכנון שהשפעתם חלשה תמיד.
- פתרונות מועדפים להשגת רמת יעד גבוהה לחסכון באנרגיה, הן בירושלים והן בתל אביב, הם בד"כ תכנון הבנין כמבנה סולרי. יש צורך בשינוי תקן 1045 לבידוד תרמי, כך שיכלול בתוכו התיחסות לתרומה הסולרית.
- עבור מבנים סולריים ניתן לתכנן את הדירות כך שצריכת האנרגיה בכלן, אף שממוקמות בצורה שונה בבנין, תהיה דומה ושווה לערך מקסימלי שנקבע מראש כרצוי.
- באמצעות שיטה שפותחה במסגרת עבודה זו, ניתן לקבוע בצורה פשוטה את השטח הרצוי לחלון דרומי. שיטה זו חושפת מספר רב של פתרונות תכנון הנותנים צריכת אנרגיה נמוכה ביחידת המגורים. חלק מפתרונות אלו מבוסס על שימור אנרגיה, וחלק על קליטת אנרגיה סולרית.



- באמצעות שיטה שפותחה במסגרת עבודה זו, ניתן לקבוע בצורה פשוטה את הצורות המועדפות מבחינה אנרגטית לארגון בלוק המגורים. שיטה זו מציגה למתכנן את מרחב כל הפתרונות האפשריים. על סמך בדיקת והערכת פתרונות אלה, יכול המתכנן להצביע על הפתרון הטוב ביותר, כבר בשלב התכנון הסכמטי-רעיוני.
- באמצעות שיטה שפותחה במסגרת עבודה זו, המבוססת על הצגת מרחב הפתרונות האפשריים לחלופות תכנון שונות לכל טיפוס דירה, ניתן לתכנן יחידות מגורים הצורכות אנרגיה מועטה ככל האפשר, או הצורכות אנרגיה בהתאם לערך מקסימלי שנקבע מראש כרצוי.
- השיטות לתכנון מודע לאקלים ואנרגיה, המוצעות במסגרת עבודה זו, אינן מגבילות את חופש התכנון של הארכיטקט. נהפוך הוא, הצגת מרחב כל הפתרונות האפשריים יכולה לעזור למתכנן להגיע לפתרון טוב ויפה, שיתכן ואחרת לא היה צופה אותו.



## ניספחים



**MONTH= 3 DAY= 9**

AVERAGE TEMP.INSIDE= 18.6 AVERAGE TEMP.OUTSIDE= 12.0  
 MAX. TEMP.INSIDE= 19.0 MAX. TEMP.OUTSIDE= 15.9  
 MIN. TEMP.INSIDE= 18.0 MIN. TEMP.OUTSIDE= 9.4  
 T.AMPLITUDE INSIDE= 1.0 T.AMPLITUDE OUTSIDE= 6.5

**MONTH= 3 BUDGET OF ENERGY USED**

DAY 1	0. KCAL	0.00 KWH
DAY 2	2867. KCAL	3.33 KWH
DAY 3	0. KCAL	0.00 KWH
DAY 4	2867. KCAL	3.33 KWH
DAY 5	0. KCAL	0.00 KWH
DAY 6	2867. KCAL	3.33 KWH
DAY 7	0. KCAL	0.00 KWH
DAY 8	2867. KCAL	3.33 KWH
DAY 9	0. KCAL	0.00 KWH

T.SW.RAD= 12253. KCAL 14.25 KWH

**MONTH= 4 DAY= 9**

AVERAGE TEMP.INSIDE= 21.9 AVERAGE TEMP.OUTSIDE= 16.3  
 MAX. TEMP.INSIDE= 22.3 MAX. TEMP.OUTSIDE= 21.8  
 MIN. TEMP.INSIDE= 21.3 MIN. TEMP.OUTSIDE= 12.5  
 T.AMPLITUDE INSIDE= 1.0 T.AMPLITUDE OUTSIDE= 9.3

**MONTH= 4 BUDGET OF ENERGY USED**

DAY 1	0. KCAL	0.00 KWH
DAY 2	0. KCAL	0.00 KWH
DAY 3	0. KCAL	0.00 KWH
DAY 4	0. KCAL	0.00 KWH
DAY 5	0. KCAL	0.00 KWH
DAY 6	0. KCAL	0.00 KWH
DAY 7	0. KCAL	0.00 KWH
DAY 8	0. KCAL	0.00 KWH
DAY 9	0. KCAL	0.00 KWH

T.SW.RAD= 11956. KCAL 13.90 KWH

**MONTH= 5 DAY= 9**

AVERAGE TEMP.INSIDE= 23.8 AVERAGE TEMP.OUTSIDE= 20.4  
 MAX. TEMP.INSIDE= 24.2 MAX. TEMP.OUTSIDE= 26.3  
 MIN. TEMP.INSIDE= 23.4 MIN. TEMP.OUTSIDE= 16.4  
 T.AMPLITUDE INSIDE= 0.7 T.AMPLITUDE OUTSIDE= 9.9

**MONTH= 5 BUDGET OF ENERGY USED**

DAY 1	0. KCAL	0.00 KWH
DAY 2	0. KCAL	0.00 KWH
DAY 3	0. KCAL	0.00 KWH
DAY 4	0. KCAL	0.00 KWH
DAY 5	0. KCAL	0.00 KWH
DAY 6	0. KCAL	0.00 KWH
DAY 7	0. KCAL	0.00 KWH
DAY 8	0. KCAL	0.00 KWH
DAY 9	0. KCAL	0.00 KWH

T.SW.RAD= 5288. KCAL 6.15 KWH

**MONTH= 6 DAY= 9**

AVERAGE TEMP.INSIDE= 25.3 AVERAGE TEMP.OUTSIDE= 22.2  
 MAX. TEMP.INSIDE= 25.6 MAX. TEMP.OUTSIDE= 28.0  
 MIN. TEMP.INSIDE= 24.9 MIN. TEMP.OUTSIDE= 17.7  
 T.AMPLITUDE INSIDE= 0.8 T.AMPLITUDE OUTSIDE= 10.3

**MONTH= 6 BUDGET OF ENERGY USED**

DAY 1	0. KCAL	0.00 KWH
DAY 2	0. KCAL	0.00 KWH
DAY 3	0. KCAL	0.00 KWH
DAY 4	0. KCAL	0.00 KWH
DAY 5	0. KCAL	0.00 KWH
DAY 6	0. KCAL	0.00 KWH
DAY 7	0. KCAL	0.00 KWH
DAY 8	0. KCAL	0.00 KWH
DAY 9	0. KCAL	0.00 KWH

T.SW.RAD= 5242. KCAL 6.10 KWH

**MONTH= 7 DAY= 9**

AVERAGE TEMP.INSIDE= 26.4 AVERAGE TEMP.OUTSIDE= 23.2  
 MAX. TEMP.INSIDE= 26.7 MAX. TEMP.OUTSIDE= 29.5  
 MIN. TEMP.INSIDE= 26.0 MIN. TEMP.OUTSIDE= 18.6  
 T.AMPLITUDE INSIDE= 0.7 T.AMPLITUDE OUTSIDE= 10.9

**MONTH= 7 BUDGET OF ENERGY USED**

DAY 1	0. KCAL	0.00 KWH
DAY 2	0. KCAL	0.00 KWH
DAY 3	0. KCAL	0.00 KWH
DAY 4	0. KCAL	0.00 KWH
DAY 5	0. KCAL	0.00 KWH
DAY 6	0. KCAL	0.00 KWH
DAY 7	0. KCAL	0.00 KWH
DAY 8	0. KCAL	0.00 KWH
DAY 9	0. KCAL	0.00 KWH

T.SW.RAD= 4687. KCAL 5.45 KWH

**MONTH= 8 DAY= 9**

AVERAGE TEMP.INSIDE= 27.0 AVERAGE TEMP.OUTSIDE= 23.3  
 MAX. TEMP.INSIDE= 27.3 MAX. TEMP.OUTSIDE= 29.9  
 MIN. TEMP.INSIDE= 26.6 MIN. TEMP.OUTSIDE= 18.8  
 T.AMPLITUDE INSIDE= 0.7 T.AMPLITUDE OUTSIDE= 11.1

**MONTH= 8 BUDGET OF ENERGY USED**

DAY 1	0. KCAL	0.00 KWH
DAY 2	0. KCAL	0.00 KWH
DAY 3	0. KCAL	0.00 KWH
DAY 4	0. KCAL	0.00 KWH
DAY 5	0. KCAL	0.00 KWH
DAY 6	0. KCAL	0.00 KWH
DAY 7	0. KCAL	0.00 KWH
DAY 8	0. KCAL	0.00 KWH
DAY 9	0. KCAL	0.00 KWH

T.SW.RAD= 4201. KCAL 4.88 KWH

## נספח א: חשבון שטח קירות פנים בבנייני מגורים טיפוסיים

סוג הדירה (טיפוס)	שטח (מ"ר)	אורך קירות (מ) (פנים)	אורך קירות (מ) (משותפים)	סה"כ לחישוב ל-100 מ"ר	סה"כ לחישוב בהערכה
60.0	70	16.0	9.0	41.0	58.6
	93	23.5	9.0	56.0	60.2
	100	26.1	9.0	61.2	61.2
	100	23.5	13.5	60.5	60.5
70.0	70	16.0	18.5	50.5	72.1
	93	23.5	18.5	65.5	70.4
	100	26.1	19.5	71.7	71.7

## נספח ב: דוגמאות לקבצי נתונים להרצת מודל הסימולציה

## JERUSALEM - STANDARD BUILDING - 2 facades-upper floor

100.00					TOTAL FLOOR AREA	
250.00					VOLUME OF BUILDING	
280.00					AREA OF INTERNAL MASS	
9806.0					HEAT CAPACITY OF INTERNAL MASS	
18.3					INITIAL TEMPERATURE DISTRIBUTION	
250.0					CONSTANT HEAT SOURCE	
1000.0					SCEDULE HEAT SOURCE	
1	10000.	18.0	18.6	16.0	24.0	HEATER;TEMP. SET, CLOCK
1	2000.	25.0	30.0	00.0	24.0	COOLER;TEMP. SET, CLOCK
0	0.75	20.0		00.0	24.0	VENT; DAY,NIGHT , CLOCK
2	5.5	3.5		18.0	6.0	U WINDOW;DAY,NIGHT,CLOCK
3						NO.OF EXTERNAL WALLS
0.0						AZIMUTH OF REFERENCE WALL
	0					<b>WALL NO 1</b>
	6					NUMBER OF LAYERS
650.0	2.3	0.05				(c,λ,d) "TALTISH STONE"
650.0	2.3	0.20				(c,λ,d) "REINFORCED CONCRETE"
1.0	0.25	0.02				(c,λ,d) "AIR"
8.0	0.04	0.02				(c,λ,d) "POLYSTYRENE"
288.0	0.99	0.07				(c,λ,d) "CONCRETE BLOCK 7CM"
450.0	0.87	0.015				(c,λ,d) "INSIDE PLASTER"
0.0	90.0	0.65	00.95			WALL;AZ,INC, ALBEDO,EMISSIVITY
1	25.00					NO OF SOLAR ELEMENTS,AREA OF WALL
90.0	90.0	90.0	90.0			SF SUMMER;DIR,DIF WINTER;DIR DIF
1	4.00					SOLAR ELEMENT;INDEX,AREA
10.0	50.0	90.0	90.0			SF SUMMER;DIR,DIF WINTER;DIR DIF
	0					<b>WALL NO 2</b>
	6					NUMBER OF LAYERS
650.0	2.3	0.05				(c,λ,d) "TALTISH STONE"
650.0	2.3	0.20				(c,λ,d) "REINFORCED CONCRETE"
1.0	0.25	0.02				(c,λ,d) "AIR"
8.0	0.04	0.02				(c,λ,d) "POLYSTYRENE"
288.0	0.99	0.07				(c,λ,d) "CONCRETE BLOCK 7CM"
450.0	0.87	0.015				(c,λ,d) "INSIDE PLASTER"
180.0	90.0	0.65	00.95			WALL;AZ,INC, ALBEDO,EMISSIVITY
1	25.00					NO OF SOLAR ELEMENTS,AREA OF WALL
90.0	90.0	90.0	90.0			SF SUMMER;DIR,DIF WINTER;DIR DIF
1	5.00					SOLAR ELEMENT;INDEX,AREA
10.0	50.0	90.0	90.0			SF SUMMER;DIR,DIF WINTER;DIR DIF
	0					<b>WALL NO 3 (ROOF)</b>
	5					NUMBER OF LAYERS
928.0	0.70	0.015				(c,λ,d) "ASPHALT"
500.0	1.80	0.04				(c,λ,d) "LIGHT CONCRETE"
12.0	0.027	0.05				(c,λ,d) "E.P.U."
650.0	2.3	0.14				(c,λ,d) "REINFORCED CONCRETE"
450.0	0.87	0.012				(c,λ,d) "INSIDE PLASTER"
0.0	00.0	0.85	00.95			ROOF;AZ,INC,ALBEDO,EMISSIVITY
0.0	100.00					NO OF SOLAR ELEMENTS,AREA OF ROOF
100.0	100.0	100.0	100.0			SF SUMMER;DIR,DIF WINTER;DIR DIF

## JERUSALEM - IMPROVED BUILDING - 2 facades-upper floor

100.00					TOTAL FLOOR AREA	
250.00					VOLUME OF BUILDING	
280.00					AREA OF INTERNAL MASS	
9806.0					HEAT CAPACITY OF INTERNAL MASS	
18.3					INITIAL TEMPERATURE DISTRIBUTION	
250.0					CONSTANT HEAT SOURCE	
1000.0					SCEDULE HEAT SOURCE	
1	10000.	18.0	18.6	16.0	24.0	HEATER;TEMP. SET, CLOCK
1	2000.	25.0	30.0	00.0	24.0	COOLER;TEMP. SET, CLOCK
0	0.75	20.0		00.0	24.0	VENT; DAY,NIGHT , CLOCK
2	5.5	3.5		18.0	6.0	U WINDOW;DAY,NIGHT,CLOCK
3						NO.OF EXTERNAL WALLS
0.0						AZIMUTH OF REFERENCE WALL
	0					<b>WALL NO 1</b>
	5					NUMBER OF LAYERS
650.0	2.3	0.05				(c,λ,d) "TALTISH STONE"
650.0	2.3	0.07				(c,λ,d) "REINFORCED CONCRETE"
12.0	0.027	0.04				(c,λ,d) "E.P.U."
650.0	2.3	0.15				(c,λ,d) "REINFORCED CONCRETE"
450.0	0.87	0.015				(c,λ,d) "INSIDE PLASTER"
0.0	90.0	0.65	00.95			WALL;AZ,INC, ALBEDO,EMISSIVITY
1	25.00					NO OF SOLAR ELEMENTS,AREA OF WALL
90.0	90.0	90.0	90.0			SF SUMMER;DIR,DIF WINTER;DIR DIF
1	4.00					SOLAR ELEMENT;INDEX,AREA
10.0	50.0	90.0	90.0			SF SUMMER;DIR,DIF WINTER;DIR DIF
	0					<b>WALL NO 2</b>
	5					NUMBER OF LAYERS
650.0	2.3	0.05				(c,λ,d) "TALTISH STONE"
650.0	2.3	0.07				(c,λ,d) "REINFORCED CONCRETE"
12.0	0.027	0.04				(c,λ,d) "E.P.U."
650.0	2.3	0.15				(c,λ,d) "REINFORCED CONCRETE"
450.0	0.87	0.015				(c,λ,d) "INSIDE PLASTER"
180.0	90.0	0.65	00.95			WALL;AZ,INC, ALBEDO,EMISSIVITY
1	25.00					NO OF SOLAR ELEMENTS,AREA OF WALL
90.0	90.0	90.0	90.0			SF SUMMER;DIR,DIF WINTER;DIR DIF
1	5.00					SOLAR ELEMENT;INDEX,AREA
10.0	50.0	90.0	90.0			SF SUMMER;DIR,DIF WINTER;DIR DIF
	0					<b>WALL NO 3 (ROOF)</b>
	5					NUMBER OF LAYERS
928.0	0.70	0.015				(c,λ,d) "ASPHALT"
500.0	1.80	0.04				(c,λ,d) "LIGHT CONCRETE"
12.0	0.027	0.05				(c,λ,d) "E.P.U."
650.0	2.3	0.14				(c,λ,d) "REINFORCED CONCRETE"
450.0	0.87	0.012				(c,λ,d) "INSIDE PLASTER"
0.0	00.0	0.85	00.95			ROOF;AZ,INC,ALBEDO,EMISSIVITY
0.0	100.00					NO OF SOLAR ELEMENTS,AREA OF ROOF
100.0	100.0	100.0	100.0			SF SUMMER;DIR,DIF WINTER;DIR DIF

## TEL AVIV - STANDARD BUILDING - 2 facades-upper floor

100.000						TOTAL FLOOR AREA
250.00						VOLUME OF BUILDING
280.00						AREA OF INTERNAL MASS
9806.0						HEAT CAPACITY OF INTERNAL MASS
18.3						INITIALTEMPERATURE DISTRIBUTION
250.0						CONSTANT HEAT SOURCE
1000.0			16.0	24.0		SCEDULE HEAT SOURCE
1	6000.	18.0	18.6	00.0	24.0	HEATER;TEMP. SET, CLOCK
1	6000.	24.0	26.0	00.0	24.0	COOLER;TEMP. SET, CLOCK
0	0.75	20.0		00.0	24.0	VENT; DAY,NIGHT , CLOCK
2	5.5	3.5		18.0	6.0	U WINDOW;DAY,NIGHT,CLOCK
3						NO.OF EXTERNAL WALLS
0.0						AZIMUTH OF REFERENCE WALL
0						<b>WALL NO 1</b>
3						NUMBER OF LAYERS
500.0	1.40	0.025				(c,λ,d)"OUTSIDE PLASTER"
175.0	0.20	0.20				(c,λ,d)"YTUNG BLOCK"
450.0	0.87	0.015				(c,λ,d)"INSIDE PLASTER"
0.0	90.0	0.65	00.95			WALL;AZ, INC, ALBEDO,EMISSIVITY
1	25.00					NO OF SOLAR ELEMENTS,AREA OF WALL
90.0	90.0	90.0	90.0			SF SUMMER;DIR,DIF WINTER;DIR DIF
1	4.00					SOLAR ELEMENT;INDEX,AREA
10.0	50.0	90.0	90.0			SF SUMMER;DIR,DIF WINTER;DIR DIF
0						<b>WALL NO 2</b>
3						NUMBER OF LAYERS
500.0	1.40	0.025				(c,λ,d)"OUTSIDE PLASTER"
175.0	0.20	0.20				(c,λ,d)"YTUNG BLOCK"
450.0	0.87	0.015				(c,λ,d)"INSIDE PLASTER"
180.0	90.0	0.65	00.95			WALL;AZ, INC, ALBEDO,EMISSIVITY
1	25.00					NO OF SOLAR ELEMENTS,AREA OF WALL
90.0	90.0	90.0	90.0			SF SUMMER;DIR,DIF WINTER;DIR DIF
1	5.00					SOLAR ELEMENT;INDEX,AREA
10.0	50.0	90.0	90.0			SF SUMMER;DIR,DIF WINTER;DIR DIF
0						<b>WALL NO 3 (ROOF)</b>
5						NUMBER OF LAYERS
928.0	0.70	0.015				(c,λ,d)"ASPHALT"
500.0	1.80	0.04				(c,λ,d)"LIGHT CONCRETE"
8.0	0.04	0.02				(c,λ,d)"POLYSTYRENE"
650.0	2.3	0.14				(c,λ,d)"REINFORCED CONCRETE"
450.0	0.87	0.012				(c,λ,d)"INSIDE PLASTER"
0.0	00.0	0.85	00.95			ROOF;AZ, INC, ALBEDO,EMISSIVITY
0.0	100.00					NO OF SOLAR ELEMENTS,AREA OF ROOF
100.0	100.0	100.0	100.0			SF SUMMER;DIR,DIF WINTER;DIR DIF

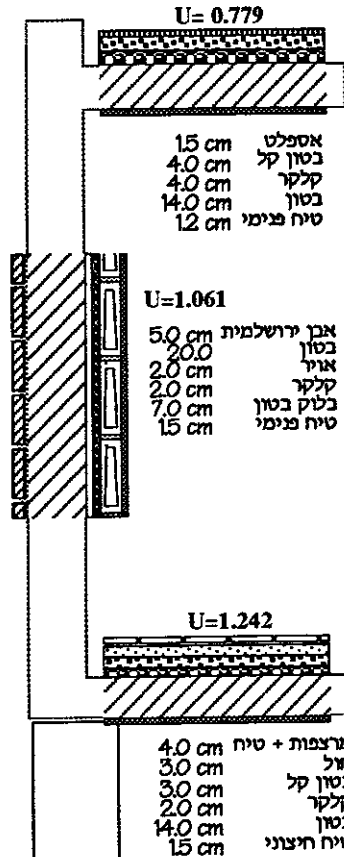
## TEL AVIV - IMPROVED BUILDING- 2 facades-upper floor

100.000						TOTAL FLOOR AREA
250.00						VOLUME OF BUILDING
280.00						AREA OF INTERNAL MASS
9806.0						HEAT CAPACITY OF INTERNAL MASS
18.3						INITIALTEMPERATURE DISTRIBUTION
250.0						CONSTANT HEAT SOURCE
1000.0			16.0	24.0		SCEDULE HEAT SOURCE
1	6000.	18.0	18.6	00.0	24.0	HEATER;TEMP. SET, CLOCK
1	6000.	24.0	26.0	00.0	24.0	COOLER;TEMP. SET, CLOCK
0	0.75	20.0		00.0	24.0	VENT; DAY,NIGHT , CLOCK
2	5.5	3.5		18.0	6.0	U WINDOW;DAY,NIGHT,CLOCK
3						NO.OF EXTERNAL WALLS
0.0						AZIMUTH OF REFERENCE WALL
0						<b>WALL NO 1</b>
4						NUMBER OF LAYERS
500.0	1.40	0.020				(c,λ,d)"OUTSIDE PLASTER"
12.0	0.027	0.025				(c,λ,d)"E.P.U."
288.0	0.99	0.20				(c,λ,d)"CONCRETE BLOCK"
450.0	0.87	0.015				(c,λ,d)"INSIDE PLASTER"
0.0	90.0	0.65	00.95			WALL;AZ, INC, ALBEDO,EMISSIVITY
1	25.00					NO OF SOLAR ELEMENTS,AREA OF WALL
90.0	90.0	90.0	90.0			SF SUMMER;DIR,DIF WINTER;DIR DIF
1	4.00					SOLAR ELEMENT;INDEX,AREA
10.0	50.0	90.0	90.0			SF SUMMER;DIR,DIF WINTER;DIR DIF
0						<b>WALL NO 2</b>
4						NUMBER OF LAYERS
500.0	1.40	0.020				(c,λ,d)"OUTSIDE PLASTER"
12.0	0.027	0.025				(c,λ,d)"E.P.U."
288.0	0.99	0.20				(c,λ,d)"CONCRETE BLOCK"
450.0	0.87	0.015				(c,λ,d)"INSIDE PLASTER"
180.0	90.0	0.65	00.95			WALL;AZ, INC, ALBEDO,EMISSIVITY
1	25.00					NO OF SOLAR ELEMENTS,AREA OF WALL
90.0	90.0	90.0	90.0			SF SUMMER;DIR,DIF WINTER;DIR DIF
1	5.00					SOLAR ELEMENT;INDEX,AREA
10.0	50.0	90.0	90.0			SF SUMMER;DIR,DIF WINTER;DIR DIF
0						<b>WALL NO 3 (ROOF)</b>
5						NUMBER OF LAYERS
928.0	0.70	0.015				(c,λ,d)"ASPHALT"
500.0	1.80	0.04				(c,λ,d)"LIGHT CONCRETE"
8.0	0.04	0.02				(c,λ,d)"E.P.U."
650.0	2.3	0.14				(c,λ,d)"REINFORCED CONCRETE"
450.0	0.87	0.012				(c,λ,d)"INSIDE PLASTER"
0.0	00.0	0.85	00.95			ROOF;AZ, INC, ALBEDO,EMISSIVITY
0.0	100.00					NO OF SOLAR ELEMENTS,AREA OF ROOF
100.0	100.0	100.0	100.0			SF SUMMER;DIR,DIF WINTER;DIR DIF

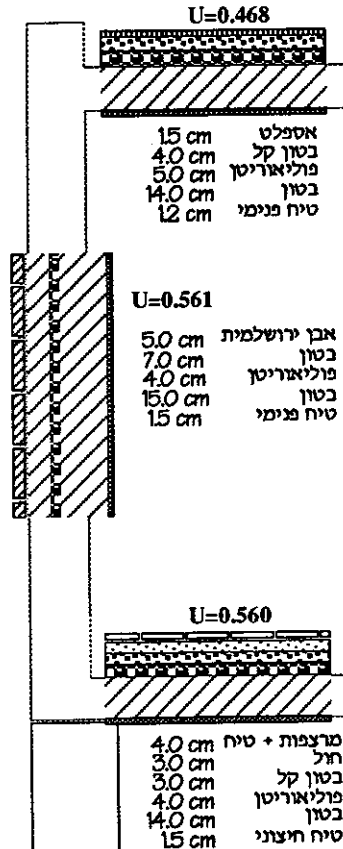
נספח ג: חתך טיפוסי דרך הבנין הסטנדרטי והמשופר

ירושלים

בידוד סטנדרטי



בידוד משופר

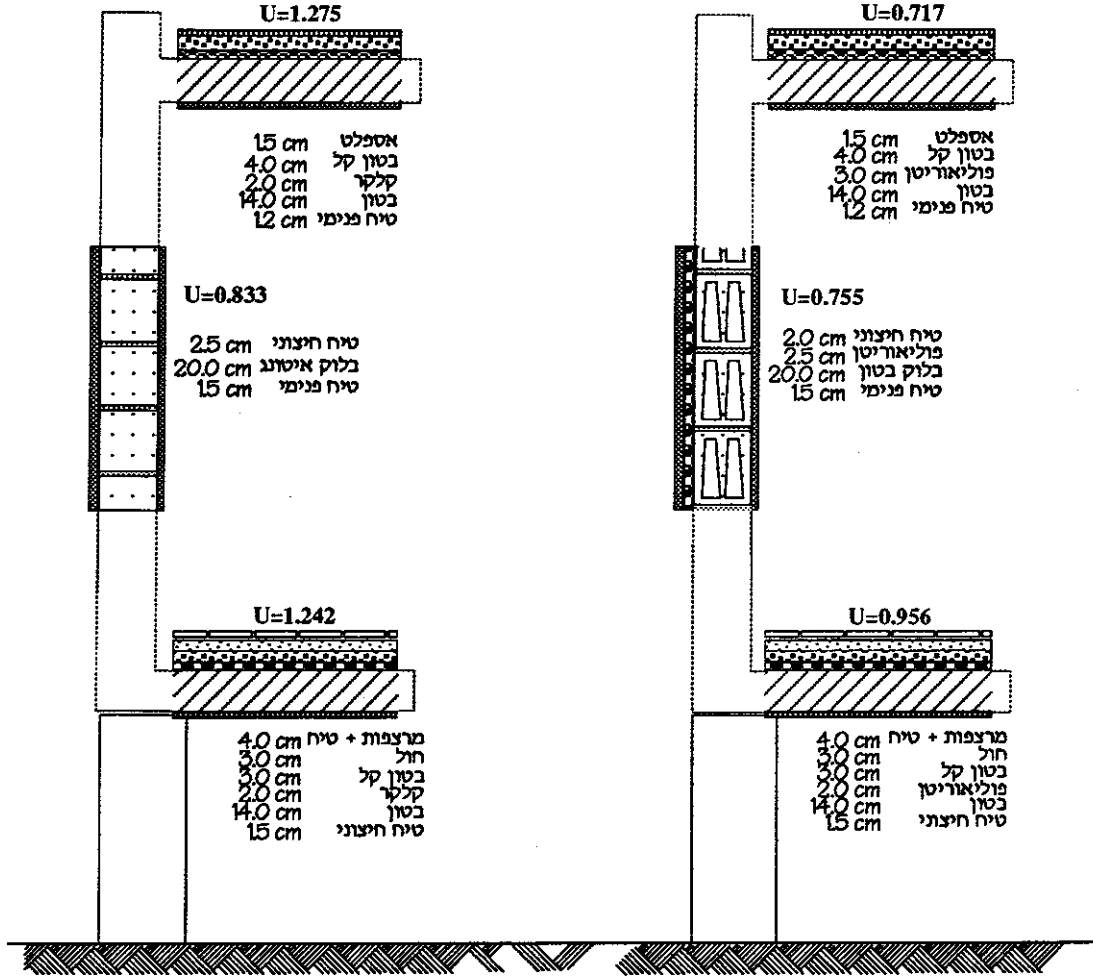


ערך U ניתן ביחידות של ווט/מ"ר/מ"צ

**בידוד סטנדרטי**

**בידוד משופר**

תל אביב



ערך U ניתן ביחידות של ווט/מ"ר/מ"צ



# נספח ד: קובץ report של תוצאות ריצת מודל הסימולציה של המבנה הסטנדרטי שנבדק בירושלים

## JERUSALEM - IMPROVED BUILDING

LATITUDE= 32.0 LONGITUDE= 35.0  
 REFLECTION OF GROUND= 0.20  
 FAREA = 100.0  
 HEIGHT= 2.5  
 AINTM = 280.0  
 CINTM = 9806.0  
 TEMPI = 18.3  
 QCONS = 250.0  
 QCONS1= 1000.0 16.0 24.0

1 QHEAT=10000.0 TMINW=18.0 TMAXW=18.6 TIMINW= 0.0 TIMAXW=24.0  
 1 QCOOL= 2000.0 TMINW=25.0 TMAXS=30.0 TIMINS= 0.0 TIMAXS=24.0  
 0 AIRVEVT= 0.75 AIRFAN=20.00 TIMINF= 0.0 TIMAXF=24.0  
 2 U DAY= 5.5 U NIGHT= 3.5 TIMINU=18.0 TIMAXU= 6.0

NUMBER OF EXTERNAL ELEMENTS= 3  
 AZIMUTH OF REFERENCE WALL= 0.

### THERMOPHYSICAL DATA OF WALL 1

LAYER	HEAT CAP	HEAT COND	WIDTH	NO.D
1	650.000	2.300	0.050	2 TALTISH STONE
2	650.000	2.300	0.070	4 REINFORCED CONCRETE
3	12.000	0.027	0.040	6 E.P.U.
4	650.000	2.300	0.150	10 REINFORCED CONCRETE
5	450.000	0.870	0.015	12 INSIDE PLASTER

WALL AZIMUTH= 0. WALL INCLINATION= 90.

TOTAL AREA OF WALL(M2)= 25.00

ALBEDO OF OUTER SURFACE= 0.65 EMISIVITY OF WALL= 0.95

WALL SHADING COEFFICIENT; SUMMER DIR= 90. DIF= 90.

WALL SHADING COEFFICIENT; WINTER DIR= 90. DIF= 90.

AREA OF SYSTEM NO 1 (OR WINDOW)= 4.00

SHADING COEFFICIENT; SUMMER DIR= 10. DIF= 50.

SHADING COEFFICIENT; WINTER DIR= 90. DIF= 90.

TOTAL AREA OF ALL SOLAR SYSTEMS (OR WINDOWS)= 4.00

NET AREA OF WALL (M2)= 21.00

WALL NUMBER= 1 U-FACTOR = 0.561 HEAT LOSSES W/DEGREE C= 11.785

### THERMOPHYSICAL DATA OF WALL 2

LAYER	HEAT CAP	HEAT COND	WIDTH	NO.D
1	650.000	2.300	0.050	2 TALTISH STONE
2	650.000	2.300	0.070	4 REINFORCED CONCRETE
3	12.000	0.027	0.040	6 E.P.U.
4	650.000	2.300	0.150	10 REINFORCED CONCRETE
5	450.000	0.870	0.015	12 INSIDE PLASTER

WALL AZIMUTH= 180. WALL INCLINATION= 90.

TOTAL AREA OF WALL(M2)= 25.00

ALBEDO OF OUTER SURFACE= 0.65 EMISIVITY OF WALL= 0.95

WALL SHADING COEFFICIENT; SUMMER DIR= 90. DIF= 90.

WALL SHADING COEFFICIENT; WINTER DIR= 90. DIF= 90.

AREA OF SYSTEM NO 1 (OR WINDOW)= 5.00

SHADING COEFFICIENT; SUMMER DIR= 10. DIF= 50.

SHADING COEFFICIENT; WINTER DIR= 90. DIF= 90.

TOTAL AREA OF ALL SOLAR SYSTEMS (OR WINDOWS)= 5.00

NET AREA OF WALL (M2)= 20.00

WALL NUMBER= 2 U-FACTOR = 0.561 HEAT LOSSES W/DEGREE C= 11.224

### THERMOPHYSICAL DATA OF ROOF (3)

LAYER	HEAT CAP	HEAT COND	WIDTH	NO.D
1	928.000	0.700	0.015	2 ASPHALT
2	500.000	1.800	0.040	4 LIGHT CONCRETE
3	12.000	0.027	0.050	6 E.P.U.
4	650.000	2.300	0.140	10 REINFORCED CONCRETE
5	450.000	0.870	0.012	12 INSIDE PLASTER

WALL AZIMUTH= 0. WALL INCLINATION= 0.

TOTAL AREA OF WALL(M2)= 100.00

ALBEDO OF OUTER SURFACE= 0.85 EMISIVITY OF WALL= 0.95

WALL SHADING COEFFICIENT; SUMMER DIR=100. DIF=100.

WALL SHADING COEFFICIENT; WINTER DIR=100. DIF=100.

TOTAL AREA OF ALL SOLAR SYSTEMS (OR WINDOWS)= 0.00

NET AREA OF WALL (M2)= 100.00

WALL NUMBER= 3 U-FACTOR = 0.468 HEAT LOSSES W/DEGREE C= 46.816

TOTAL WALLS AREA(M2)= 141.00

TOTAL WINDOW AREA(M2)= 9.00

TOTAL FLOOR AREA(M2)= 100.00

WINDOW/FLOOR AREA (P)= 9.00

AVERAGE U ENVELOPE = 0.50

### TOTAL HEAT LOSSES (W/DEGREE C) (Stady state)

EX. ELEMENTS = 69.8  
 WINDOWS = 31.5

ENVELOPE = 101.3  
 AIR CHANGES = 68.4

TOTAL LOSSES 169.8

### BUDGET OF ENERGY USED (KWH/MONTH) (Simulation results)

MONTH	DAYS	ENERGY
1	31	413.333
2	28	140.000
3	31	51.667
4	30	0.000
5	31	0.000
6	30	0.000
7	31	0.000
8	31	0.000
9	30	0.000
10	31	0.000
11	30	0.000
12	31	361.667
TOTAL YEARLY ENERGY =		966.667 (KWH)
TOTAL COOLING LOAD =		0.000 (KWH)
TOTAL HEATING LOAD =		966.667 (KWH)

## MONTH= 9 DAY= 9

AVERAGE TEMP.INSIDE= 23.8 AVERAGE TEMP.OUTSIDE= 21.6  
 MAX. TEMP.INSIDE= 24.2 MAX. TEMP.OUTSIDE= 27.9  
 MIN. TEMP.INSIDE= 23.4 MIN. TEMP.OUTSIDE= 18.1  
 T.AMPLITUDE INSIDE= 0.8 T.AMPLITUDE OUTSIDE= 9.8

## MONTH= 9 BUDGET OF ENERGY USED

DAY 1 0. KCAL 0.00 KWH  
 DAY 2 0. KCAL 0.00 KWH  
 DAY 3 0. KCAL 0.00 KWH  
 DAY 4 0. KCAL 0.00 KWH  
 DAY 5 0. KCAL 0.00 KWH  
 DAY 6 0. KCAL 0.00 KWH  
 DAY 7 0. KCAL 0.00 KWH  
 DAY 8 0. KCAL 0.00 KWH  
 DAY 9 0. KCAL 0.00 KWH

T.SW.RAD= 4432. KCAL 5.15 KWH

## MONTH= 10 DAY= 9

AVERAGE TEMP.INSIDE= 23.9 AVERAGE TEMP.OUTSIDE= 20.5  
 MAX. TEMP.INSIDE= 24.2 MAX. TEMP.OUTSIDE= 26.0  
 MIN. TEMP.INSIDE= 23.5 MIN. TEMP.OUTSIDE= 17.2  
 T.AMPLITUDE INSIDE= 0.6 T.AMPLITUDE OUTSIDE= 8.8

## MONTH= 10 BUDGET OF ENERGY USED

DAY 1 0. KCAL 0.00 KWH  
 DAY 2 0. KCAL 0.00 KWH  
 DAY 3 0. KCAL 0.00 KWH  
 DAY 4 0. KCAL 0.00 KWH  
 DAY 5 0. KCAL 0.00 KWH  
 DAY 6 0. KCAL 0.00 KWH  
 DAY 7 0. KCAL 0.00 KWH  
 DAY 8 0. KCAL 0.00 KWH  
 DAY 9 0. KCAL 0.00 KWH

T.SW.RAD= 3940. KCAL 4.58 KWH

## MONTH= 11 DAY= 9

AVERAGE TEMP.INSIDE= 22.7 AVERAGE TEMP.OUTSIDE= 15.3  
 MAX. TEMP.INSIDE= 23.3 MAX. TEMP.OUTSIDE= 19.2  
 MIN. TEMP.INSIDE= 22.0 MIN. TEMP.OUTSIDE= 12.9  
 T.AMPLITUDE INSIDE= 1.3 T.AMPLITUDE OUTSIDE= 6.3

## MONTH= 11 BUDGET OF ENERGY USED

DAY 1 0. KCAL 0.00 KWH  
 DAY 2 0. KCAL 0.00 KWH  
 DAY 3 0. KCAL 0.00 KWH  
 DAY 4 0. KCAL 0.00 KWH  
 DAY 5 0. KCAL 0.00 KWH  
 DAY 6 0. KCAL 0.00 KWH  
 DAY 7 0. KCAL 0.00 KWH  
 DAY 8 0. KCAL 0.00 KWH  
 DAY 9 0. KCAL 0.00 KWH

T.SW.RAD= 16772. KCAL 19.50 KWH

## MONTH= 12 DAY= 9

AVERAGE TEMP.INSIDE= 18.5 AVERAGE TEMP.OUTSIDE= 10.5  
 MAX. TEMP.INSIDE= 20.8 MAX. TEMP.OUTSIDE= 13.4  
 MIN. TEMP.INSIDE= 18.0 MIN. TEMP.OUTSIDE= 8.7  
 T.AMPLITUDE INSIDE= 2.8 T.AMPLITUDE OUTSIDE= 4.7

## MONTH= 12 BUDGET OF ENERGY USED

DAY 1 0. KCAL 0.00 KWH  
 DAY 2 0. KCAL 0.00 KWH  
 DAY 3 0. KCAL 0.00 KWH  
 DAY 4 0. KCAL 0.00 KWH  
 DAY 5 0. KCAL 0.00 KWH  
 DAY 6 2867. KCAL 3.33 KWH  
 DAY 7 5733. KCAL 6.67 KWH  
 DAY 8 11467. KCAL 13.33 KWH  
 DAY 9 8600. KCAL 10.00 KWH

T.SW.RAD= 12613. KCAL 14.67 KWH

## MONTH= 1 DAY= 9

AVERAGE TEMP.INSIDE= 18.6 AVERAGE TEMP.OUTSIDE= 8.6  
 MAX. TEMP.INSIDE= 20.8 MAX. TEMP.OUTSIDE= 11.2  
 MIN. TEMP.INSIDE= 18.0 MIN. TEMP.OUTSIDE= 6.9  
 T.AMPLITUDE INSIDE= 2.8 T.AMPLITUDE OUTSIDE= 4.3

## MONTH= 1 BUDGET OF ENERGY USED

DAY 1 11467. KCAL 13.33 KWH  
 DAY 2 11467. KCAL 13.33 KWH  
 DAY 3 11467. KCAL 13.33 KWH  
 DAY 4 11467. KCAL 13.33 KWH  
 DAY 5 11467. KCAL 13.33 KWH  
 DAY 6 11467. KCAL 13.33 KWH  
 DAY 7 11467. KCAL 13.33 KWH  
 DAY 8 11467. KCAL 13.33 KWH  
 DAY 9 11467. KCAL 13.33 KWH

T.SW.RAD= 16140. KCAL 18.77 KWH

## MONTH= 2 DAY= 9

AVERAGE TEMP.INSIDE= 18.8 AVERAGE TEMP.OUTSIDE= 9.3  
 MAX. TEMP.INSIDE= 20.8 MAX. TEMP.OUTSIDE= 12.6  
 MIN. TEMP.INSIDE= 18.0 MIN. TEMP.OUTSIDE= 3.5  
 T.AMPLITUDE INSIDE= 2.8 T.AMPLITUDE OUTSIDE= 9.1

## MONTH= 2 BUDGET OF ENERGY USED

DAY 1 11467. KCAL 13.33 KWH  
 DAY 2 5733. KCAL 6.67 KWH  
 DAY 3 5733. KCAL 6.67 KWH  
 DAY 4 2867. KCAL 3.33 KWH  
 DAY 5 2867. KCAL 3.33 KWH  
 DAY 6 5733. KCAL 6.67 KWH  
 DAY 7 2867. KCAL 3.33 KWH  
 DAY 8 2867. KCAL 3.33 KWH  
 DAY 9 5733. KCAL 6.67 KWH

T.SW.RAD= 16449. KCAL 19.13 KWH

MONTH= 1		DAY= 9									
HR	D-HOR.	DIF.	LW-A	LW-G	TEMP	R.H.	WIND.V				
		CAL/CM2	HR		C	%	M/SEC				
1	0.	0.	20.	23.	7.5	4.	3.				
2	0.	0.	20.	23.	7.4	75.	3.				
3	0.	0.	20.	23.	7.3	75.	3.				
4	0.	0.	20.	23.	7.1	75.	3.				
5	0.	0.	20.	23.	7.0	75.	3.				
6	0.	1.	21.	23.	6.9	76.	3.				
7	0.	2.	21.	23.	7.0	76.	3.				
8	6.	7.	20.	24.	7.4	75.	3.				
9	17.	12.	21.	27.	8.4	71.	3.				
10	26.	15.	23.	31.	9.4	69.	3.				
11	32.	18.	26.	33.	10.1	66.	4.				
12	32.	19.	29.	35.	10.7	65.	4.				
13	29.	18.	30.	36.	11.2	63.	4.				
14	24.	15.	29.	35.	11.1	62.	4.				
15	15.	12.	27.	32.	10.8	64.	4.				
16	5.	7.	26.	29.	10.2	68.	3.				
17	0.	2.	24.	28.	9.3	71.	3.				
18	0.	0.	23.	26.	8.8	74.	2.				
19	0.	0.	21.	24.	8.4	74.	2.				
20	0.	0.	21.	24.	8.2	74.	2.				
21	0.	0.	21.	24.	8.1	74.	2.				
22	0.	0.	21.	24.	7.9	74.	3.				
23	0.	0.	21.	24.	7.7	74.	3.				
24	0.	0.	21.	24.	7.8	73.	2.				

MONTH= 1 DAY= 9  
WALL NO 2 WALL AZIMUTH = SOUTH. WALL INCLINATION= 90.

ENERGY FLUX (KW)											
HR	A	Z	DIR.	DIF.	LW-A	LW-G	SWT	LWT	Q	RAD	
1	0.00	-19.05	0.00	0.00	0.12	0.13	0.00	0.25	0.00		
2	0.00	-30.97	0.00	0.00	0.11	0.13	0.00	0.24	0.00		
3	0.00	-43.58	0.00	0.00	0.11	0.13	0.00	0.24	0.00		
4	0.00	-56.29	0.00	0.00	0.11	0.13	0.00	0.24	0.00		
5	0.00	-68.84	0.00	0.00	0.11	0.13	0.00	0.24	0.00		
6	0.00	-81.06	0.00	0.01	0.12	0.13	0.01	0.25	0.02		
7	117.27	87.27	0.04	0.02	0.12	0.14	0.05	0.26	0.19		
8	126.21	76.45	0.16	0.06	0.12	0.14	0.20	0.26	0.79		
9	137.00	66.92	0.33	0.11	0.12	0.16	0.39	0.28	1.60		
10	150.19	59.35	0.44	0.14	0.13	0.18	0.52	0.31	2.15		
11	165.87	54.57	0.50	0.15	0.15	0.19	0.59	0.34	2.45		
12	183.10	53.34	0.50	0.15	0.17	0.20	0.59	0.37	2.45		
13	199.98	55.90	0.47	0.13	0.17	0.21	0.54	0.38	2.25		
14	214.82	61.78	0.42	0.10	0.17	0.20	0.47	0.37	1.94		
15	227.10	70.13	0.32	0.07	0.16	0.18	0.35	0.34	1.41		
16	237.16	80.19	0.17	0.03	0.15	0.17	0.19	0.32	0.71		
17	0.00	-88.65	0.00	0.02	0.14	0.16	0.02	0.30	0.07		
18	0.00	-76.75	0.00	0.00	0.13	0.15	0.00	0.28	0.00		
19	0.00	-64.39	0.00	0.00	0.12	0.14	0.00	0.26	0.00		
20	0.00	-51.76	0.00	0.00	0.12	0.14	0.00	0.26	0.00		
21	0.00	-39.06	0.00	0.00	0.12	0.14	0.00	0.26	0.00		
22	0.00	-26.58	0.00	0.00	0.12	0.14	0.00	0.26	0.00		
23	0.00	-15.35	0.00	0.00	0.12	0.14	0.00	0.26	0.00		
24	0.00	-10.99	0.00	0.00	0.12	0.14	0.00	0.26	0.00		
TOTAL SOLAR ENERGY= 16.04											

## AVERAGE WEATHER CONDITIONS

MONTH= 1		DAY= 9									
TIME	RAD	TOUT	TIN	TM	1	2	3				
1	0.00	7.5	18.1	18.5	17.7	17.8	17.7				
2	0.00	7.4	20.8	18.6	18.0	18.2	18.1				
3	0.00	7.3	18.0	18.5	17.6	17.8	17.7				
4	0.00	7.1	20.8	18.6	18.0	18.1	18.0				
5	0.00	7.0	18.0	18.5	17.6	17.7	17.7				
6	0.04	6.9	18.1	18.6	17.7	17.8	17.8				
7	0.25	7.0	18.0	18.5	17.5	17.7	17.6				
8	0.96	7.4	18.2	18.4	17.5	17.6	17.6				
9	1.89	8.4	18.5	18.4	17.6	17.7	17.7				
10	2.52	9.4	18.7	18.5	17.6	17.7	17.7				
11	2.87	10.1	18.9	18.6	17.7	17.8	17.8				
12	2.86	10.7	19.0	18.6	17.7	17.8	17.8				
13	2.60	11.2	19.0	18.7	17.8	17.9	17.9				
14	2.21	11.1	18.9	18.7	17.8	17.9	17.9				
15	1.60	10.8	18.7	18.7	17.7	17.9	17.9				
16	0.81	10.2	18.8	18.7	17.8	17.9	17.9				
17	0.13	9.3	18.5	18.7	17.7	17.9	17.9				
18	0.00	8.8	18.5	18.7	17.7	17.9	17.9				
19	0.00	8.4	18.5	18.6	17.7	17.9	17.9				
20	0.00	8.2	18.4	18.6	17.7	17.9	17.8				
21	0.00	8.1	18.4	18.5	17.7	17.9	17.8				
22	0.00	7.9	18.4	18.5	17.7	17.9	17.8				
23	0.00	7.7	18.3	18.5	17.7	17.8	17.8				
24	0.00	7.8	18.0	18.4	17.6	17.7	17.7				

MONTH= 1 DAY= 9

AVERAGE TEMP. INSIDE= 18.6 AVERAGE TEMP. OUTSIDE= 8.6  
MAX. TEMP. INSIDE= 20.8 MAX. TEMP. OUTSIDE= 11.2  
MIN. TEMP. INSIDE= 18.0 MIN. TEMP. OUTSIDE= 6.9  
T. AMPLITUDE INSIDE= 2.8 T. AMPLITUDE OUTSIDE= 4.3

## MONTH= 1 BUDGET OF ENERGY USED

DAY 1	11467. KCAL	13.33 KWH
DAY 2	11467. KCAL	13.33 KWH
DAY 3	11467. KCAL	13.33 KWH
DAY 4	11467. KCAL	13.33 KWH
DAY 5	11467. KCAL	13.33 KWH
DAY 6	11467. KCAL	13.33 KWH
DAY 7	11467. KCAL	13.33 KWH
DAY 8	11467. KCAL	13.33 KWH
DAY 9	11467. KCAL	13.33 KWH
T. SW. RAD=	16140. KCAL	18.77 KWH

MONTH=	8	DAY=	9															
HR	D-HOR.	DIF.	LW-A	LW-G	TEMP	R.H.	WIND.V											
			CAL/CM2	HR	C	%	M/SEC											
1	0.	0.	27.	30.	19.5	73.	1.											
2	0.	0.	27.	30.	19.3	74.	2.											
3	0.	0.	27.	29.	19.1	73.	2.											
4	0.	0.	27.	29.	18.8	76.	2.											
5	0.	1.	27.	29.	18.8	77.	2.											
6	2.	3.	30.	32.	19.8	73.	2.											
7	11.	7.	32.	36.	20.8	67.	2.											
8	24.	11.	33.	42.	23.0	56.	2.											
9	37.	13.	34.	47.	25.2	46.	2.											
10	51.	13.	34.	51.	27.1	41.	3.											
11	59.	13.	35.	54.	28.3	36.	3.											
12	62.	12.	36.	55.	29.2	36.	4.											
13	60.	11.	36.	55.	29.9	35.	4.											
14	53.	10.	35.	53.	29.2	40.	4.											
15	41.	10.	33.	50.	28.4	44.	4.											
16	26.	8.	32.	46.	27.4	49.	4.											
17	11.	6.	31.	42.	25.6	56.	4.											
18	1.	3.	31.	38.	23.9	68.	3.											
19	0.	1.	29.	35.	22.3	79.	3.											
20	0.	0.	27.	32.	21.4	83.	2.											
21	0.	0.	27.	31.	20.7	83.	1.											
22	0.	0.	27.	31.	20.4	80.	1.											
23	0.	0.	27.	30.	20.0	73.	1.											
24	0.	0.	27.	30.	20.0	73.	1.											

MONTH= 8 DAY= 9  
WALL NO 2 WALL AZIMUTH = SOUTH. WALL INCLINATION= 90.

HR	A	Z	DIR.	DIF.	LW-A	LW-G	SWT	LWT	Q RAD
1	0.00	-49.72	0.00	0.00	0.15	0.17	0.00	0.32	0.00
2	0.00	-56.54	0.00	0.00	0.15	0.17	0.00	0.32	0.00
3	0.00	-65.82	0.00	0.00	0.15	0.17	0.00	0.32	0.00
4	0.00	-76.65	0.00	0.00	0.15	0.17	0.00	0.32	0.00
5	0.00	-88.41	0.00	0.01	0.16	0.17	0.01	0.32	0.01
6	79.73	79.26	0.00	0.03	0.17	0.18	0.03	0.36	0.06
7	87.27	66.63	0.00	0.08	0.19	0.21	0.07	0.40	0.15
8	95.42	53.92	0.04	0.13	0.19	0.24	0.15	0.44	0.24
9	105.52	41.42	0.10	0.16	0.20	0.27	0.24	0.47	0.32
10	120.48	29.69	0.17	0.17	0.19	0.29	0.31	0.49	0.37
11	147.52	20.40	0.21	0.17	0.20	0.31	0.34	0.52	0.37
12	192.17	18.03	0.23	0.15	0.21	0.32	0.34	0.53	0.34
13	228.60	24.68	0.21	0.13	0.21	0.32	0.31	0.53	0.30
14	248.14	35.57	0.16	0.11	0.20	0.31	0.25	0.51	0.24
15	260.05	47.81	0.09	0.09	0.19	0.29	0.17	0.48	0.18
16	268.92	60.46	0.01	0.07	0.19	0.27	0.07	0.45	0.12
17	276.63	73.16	0.00	0.04	0.18	0.24	0.03	0.42	0.07
18	284.18	85.66	0.00	0.01	0.18	0.22	0.01	0.40	0.03
19	0.00	-82.27	0.00	0.01	0.17	0.20	0.01	0.37	0.01
20	0.00	-70.93	0.00	0.00	0.16	0.19	0.00	0.34	0.00
21	0.00	-60.81	0.00	0.00	0.15	0.18	0.00	0.33	0.00
22	0.00	-52.65	0.00	0.00	0.15	0.18	0.00	0.33	0.00
23	0.00	-47.53	0.00	0.00	0.15	0.17	0.00	0.33	0.00
24	0.00	-46.46	0.00	0.00	0.15	0.17	0.00	0.32	0.00

TOTAL SOLAR ENERGY= 2.82

#### AVERAGE WEATHER CONDITIONS

MONTH=	8	DAY=	9							
TIME	RAD	TOUT	TIN	TM	1	2	3			
1	0.00	19.5	23.1	23.5	23.3	23.4	23.2			
2	0.00	19.3	23.0	23.4	23.3	23.3	23.1			
3	0.00	19.1	22.9	23.3	23.2	23.2	23.1			
4	0.00	18.8	22.8	23.2	23.1	23.2	23.0			
5	0.02	18.8	22.8	23.1	23.1	23.1	22.9			
6	0.11	19.8	22.9	23.1	23.0	23.1	22.9			
7	0.27	20.8	23.1	23.0	23.1	23.1	22.9			
8	0.44	23.0	23.3	23.1	23.1	23.1	22.9			
9	0.56	25.2	23.4	23.1	23.1	23.1	23.0			
10	0.63	27.1	23.5	23.2	23.1	23.2	23.0			
11	0.63	28.3	23.6	23.3	23.2	23.2	23.1			
12	0.57	29.2	23.7	23.4	23.2	23.3	23.2			
13	0.49	29.9	23.8	23.4	23.3	23.3	23.2			
14	0.41	29.2	23.8	23.5	23.3	23.4	23.3			
15	0.32	28.4	23.8	23.6	23.4	23.4	23.3			
16	0.22	27.4	24.1	23.7	23.5	23.5	23.5			
17	0.13	25.6	24.1	23.7	23.5	23.6	23.5			
18	0.05	23.9	24.0	23.8	23.6	23.6	23.6			
19	0.02	22.3	23.9	23.8	23.6	23.6	23.6			
20	0.00	21.4	23.8	23.8	23.6	23.6	23.6			
21	0.00	20.7	23.7	23.8	23.6	23.7	23.5			
22	0.00	20.4	23.7	23.8	23.6	23.6	23.5			
23	0.00	20.0	23.6	23.7	23.6	23.6	23.5			
24	0.00	20.0	23.3	23.7	23.5	23.6	23.4			

MONTH= 8 DAY= 9  
AVERAGE TEMP. INSIDE= 27.0 AVERAGE TEMP. OUTSIDE= 23.3  
MAX. TEMP. INSIDE= 27.3 MAX. TEMP. OUTSIDE= 29.9  
MIN. TEMP. INSIDE= 26.6 MIN. TEMP. OUTSIDE= 18.8  
T. AMPLITUDE INSIDE= 0.7 T. AMPLITUDE OUTSIDE= 11.1

#### MONTH= 8 BUDGET OF ENERGY USED

DAY 1	0. KCAL	0.00 KWH
DAY 2	0. KCAL	0.00 KWH
DAY 3	0. KCAL	0.00 KWH
DAY 4	0. KCAL	0.00 KWH
DAY 5	0. KCAL	0.00 KWH
DAY 6	0. KCAL	0.00 KWH
DAY 7	0. KCAL	0.00 KWH
DAY 8	0. KCAL	0.00 KWH
DAY 9	0. KCAL	0.00 KWH
T. SW. RAD=	4201. KCAL	4.88 KWH

## PREDICTION OF TEMP. IN SUMMER WITH N. VENTILATION

MONTH=	8	DAY= 9			TM	1	2	3
TIME	RAD	TOUT	TIN					
1	0.00	19.5	23.1	23.5	23.3	23.4	23.2	
2	0.00	19.3	23.0	23.4	23.3	23.3	23.1	
3	0.00	19.1	22.9	23.3	23.2	23.2	23.1	
4	0.00	18.8	22.8	23.2	23.1	23.2	23.0	
5	0.02	18.8	22.8	23.1	23.1	23.1	22.9	
6	0.11	19.8	22.9	23.1	23.0	23.1	22.9	
7	0.27	20.8	23.1	23.0	23.1	23.1	22.9	
8	0.44	23.0	23.3	23.1	23.1	23.1	22.9	
9	0.56	25.2	23.4	23.1	23.1	23.1	23.0	
10	0.63	27.1	23.5	23.2	23.1	23.2	23.0	
11	0.63	28.3	23.6	23.3	23.2	23.2	23.1	
12	0.57	29.2	23.7	23.4	23.2	23.3	23.2	
13	0.49	29.9	23.8	23.4	23.3	23.3	23.2	
14	0.41	29.2	23.8	23.5	23.3	23.4	23.3	
15	0.32	28.4	23.8	23.6	23.4	23.4	23.3	
16	0.22	27.4	24.1	23.7	23.5	23.5	23.5	
17	0.13	25.6	24.1	23.7	23.5	23.6	23.5	
18	0.05	23.9	24.0	23.8	23.6	23.6	23.6	
19	0.02	22.3	23.9	23.8	23.6	23.6	23.6	
20	0.00	21.4	23.8	23.8	23.6	23.6	23.6	
21	0.00	20.7	23.7	23.8	23.6	23.7	23.5	
22	0.00	20.4	23.7	23.8	23.6	23.6	23.5	
23	0.00	20.0	23.6	23.7	23.6	23.6	23.5	
24	0.00	20.0	23.3	23.7	23.5	23.6	23.4	

MONTH= 8 DAY= 9

AVERAGE TEMP. INSIDE= 23.5 AVERAGE TEMP. OUTSIDE= 23.3  
 MAX. TEMP. INSIDE= 24.1 MAX. TEMP. OUTSIDE= 29.9  
 MIN. TEMP. INSIDE= 22.8 MIN. TEMP. OUTSIDE= 18.8  
 T. AMPLITUDE INSIDE= 1.3 T. AMPLITUDE OUTSIDE= 11.1  
 TIME LAG MIN. TEMP.= 0.0 TIME LAG MAX. TEMP.= 3.0

## PREDICTION OF TEMP. IN SUMMER WITH A FAN

MONTH=	8	DAY= 9			TM	1	2	3
TIME	RAD	TOUT	TIN					
1	0.00	19.5	20.8	21.5	21.5	21.6	21.4	
2	0.00	19.3	20.7	21.3	21.4	21.5	21.3	
3	0.00	19.1	20.5	21.2	21.3	21.4	21.2	
4	0.00	18.8	20.4	21.0	21.2	21.3	21.1	
5	0.02	18.8	20.5	20.9	21.2	21.2	21.0	
6	0.11	19.8	20.9	20.9	21.2	21.2	21.0	
7	0.27	20.8	21.2	20.9	21.2	21.3	21.1	
8	0.44	23.0	21.3	21.0	21.3	21.3	21.1	
9	0.56	25.2	21.5	21.1	21.3	21.3	21.1	
10	0.63	27.1	21.6	21.2	21.3	21.4	21.2	
11	0.63	28.3	21.8	21.3	21.4	21.4	21.3	
12	0.57	29.2	21.9	21.4	21.4	21.5	21.3	
13	0.49	29.9	21.9	21.5	21.5	21.5	21.4	
14	0.41	29.2	21.9	21.6	21.5	21.6	21.5	
15	0.32	28.4	22.0	21.7	21.6	21.6	21.5	
16	0.22	27.4	22.3	21.8	21.7	21.8	21.7	
17	0.13	25.6	22.3	21.9	21.8	21.8	21.7	
18	0.05	23.9	22.3	22.0	21.9	21.9	21.8	
19	0.02	22.3	22.1	22.0	21.9	21.9	21.8	
20	0.00	21.4	21.8	22.0	21.8	21.9	21.8	
21	0.00	20.7	21.7	21.9	21.8	21.9	21.7	
22	0.00	20.4	21.5	21.9	21.8	21.8	21.7	
23	0.00	20.0	21.4	21.8	21.7	21.8	21.6	
24	0.00	20.0	21.0	21.7	21.6	21.7	21.5	

MONTH= 8 DAY= 9

AVERAGE TEMP. INSIDE= 21.5 AVERAGE TEMP. OUTSIDE= 23.3  
 MAX. TEMP. INSIDE= 22.3 MAX. TEMP. OUTSIDE= 29.9  
 MIN. TEMP. INSIDE= 20.4 MIN. TEMP. OUTSIDE= 18.8  
 T. AMPLITUDE INSIDE= 1.9 T. AMPLITUDE OUTSIDE= 11.1  
 TIME LAG MIN. TEMP.= 0.0 TIME LAG MAX. TEMP.= 4.0

## נספח ה: קבצי results של תוצאות ריצת מודל הסימולציה

## JERUSALEM - STANDARD BUILDING

INSIDE			OUTSIDE			T.L	Max	ENERGY	RADIATION	
Tave	Tmax	Tmin	Tave	Tmax	Tmin					
1	18.5	20.8	17.7	8.6	11.2	6.9	0.	30.00	18.77	
8	25.8	26.1	25.3	23.3	29.9	18.8	0.	0.00	4.88	
8	23.4	24.0	22.7	23.3	29.9	18.8	4.	0.00	4.88	
8	21.4	22.3	20.4	23.3	29.9	18.8	5.	0.00	4.88	
TOTAL								2486.667	COOLING 0.000	HEATING 2486.667

## JERUSALEM - IMPROVED BUILDING

INSIDE			OUTSIDE			T.L	Max	ENERGY	RADIATION	
Tave	Tmax	Tmin	Tave	Tmax	Tmin					
1	18.6	20.8	18.0	8.6	11.2	6.9	0.	13.33	18.77	
8	27.0	27.3	26.6	23.3	29.9	18.8	0.	0.00	4.88	
8	23.5	24.1	22.8	23.3	29.9	18.8	3.	0.00	4.88	
8	21.5	22.3	20.4	23.3	29.9	18.8	4.	0.00	4.88	
TOTAL								966.667	COOLING 0.000	HEATING 966.667

## TEL AVIV - STANDARD BUILDING

INSIDE			OUTSIDE			T.L	Max	ENERGY	RADIATION	
Tave	Tmax	Tmin	Tave	Tmax	Tmin					
1	18.4	19.6	17.8	13.6	17.4	10.9	0.	20.00	15.77	
8	25.6	26.0	24.1	27.0	31.2	23.0	0.	-14.00	4.79	
8	26.3	26.9	25.7	27.0	31.2	23.0	6.	0.00	4.79	
8	25.2	26.0	24.2	27.0	31.2	23.0	7.	0.00	4.79	
TOTAL								2865.000	COOLING 833.000	HEATING 2032.000

## TEL AVIV - IMPROVED BUILDING

INSIDE			OUTSIDE			T.L	Max	ENERGY	RADIATION	
Tave	Tmax	Tmin	Tave	Tmax	Tmin					
1	18.6	19.6	18.0	13.6	17.4	10.9	0.	6.00	15.77	
8	25.4	26.0	24.0	27.0	31.2	23.0	0.	-18.00	4.79	
8	26.7	27.2	26.0	27.0	31.2	23.0	6.	0.00	4.79	
8	25.3	26.1	24.3	27.0	31.2	23.0	7.	0.00	4.79	
TOTAL								1752.000	COOLING 1262.000	HEATING 490.000

## נספח ו: השוואת צריכת האנרגיה בשתי דירות גמלוניות לעומת סכום צריכת האנרגיה בדירה של 4 חזיתות ושל 2 חזיתות

מבדיקות שביצענו התברר שניתן להעריך את צריכת האנרגיה בשתי דירות גמלוניות (3 חזיתות) לפי סכום צריכת האנרגיה ביחידה אחת של 4 חזיתות ואחת של 2 חזיתות, ללא הכנסת שגיאה גסה להערכת צריכת האנרגיה. בנספח זה נביא כדוגמא חישוב שנעשה עבור הדירות שחלק בי פרק ו' בו נבדק בנין בן ארבע קומות הכוללות שתי יחידות בכל אחת.

סימולציה שעתית - חישוב לפי שתי דירות גמלוניות (3 חזיתות)

ממוצע לטיפוס	סה"כ אנרגיה לטיפוס	סה"כ יחידות	צריכת אנרגיה (קווי"ש/עונה)	טיפוס היחידה (90 מ"ר)
	651	1	651	מזרח: 3 חזיתות גג
	465	1	465	מערב: 3 חזיתות גג
<b>558</b>		<b>2</b>		<b>ממוצע לדירת גג</b>
	0	2	0	מזרח: 3 חזיתות אמצע
	0	2	0	מערב: 3 חזיתות אמצע
<b>0</b>		<b>4</b>		<b>ממוצע לדירה אמצעית</b>
	697	1	697	מזרח: 3 חזיתות עמודים
	604	1	604	מערב: 3 חזיתות עמודים
<b>650</b>		<b>2</b>		<b>ממוצע לדירת עמודים</b>
<b>2417</b>	<b>8</b>			<b>סה"כ צריכת אנרגיה לבנין (8 יחידות בבנין)</b>
<b>302</b>				<b>צריכת אנרגיה ממוצעת ליחידה (דירות בנות 90 מ"ר)</b>

במקביל הורץ מודל סימולציה עבור יחידה בעלת ארבע חזיתות, ועבור יחידה בעלת שתי חזיתות. השוואת התוצאות שהתקבלו בצורה המדויקת והמקורבת מצביעה על כך שלצרכי חישוב מהיר יש אפשרות להתבסס על התוצאות המוצגות בגרפים של ארבע ושתי חזיתות (בשתי דירות גמלוניות מתקבל 302 קו"ש/עונה ליחידה ממוצעת לעומת 301 בחישוב לפי יחידה אחת בעלת ארבע חזיתות ונוספת בעלת שתי חזיתות). יש לציין שתוצאות אלה הן טובות בהרבה מהמצופה. אם נבצע את ההשוואה לחדר עבור דירות הגג ולחדר עבור דירות קומת הקרקע נקבל 532 קו"ש/עונה ליחידת גג ממוצעת, לפי חישוב המבוסס על 4 + 2 חזיתות, לעומת 558 קו"ש/עונה ליחידה ממוצעת בהתאם למקרה האמיתי של שתי דירות גמלוניות. כלומר, טעות של 5%. בצורה דומה נקבל טעות של 3% בחישוב דירות קומת העמודים (671 לעומת 650 קו"ש/עונה לדירת עמודים ממוצעת).

### סימולציה שעתית - חישוב לפי דירה בעלת 4 חזיתות ודירה בעלת 2 חזיתות

ממוצע לטיפוס	סה"כ אנרגיה לטיפוס	סה"כ יחידות	צריכת אנרגיה (קו"ש/עונה)	סיפוס היחידה (90 מ"ר)
	832	1	832	4 חזיתות: גג
	232	1	232	2 חזיתות: גג
<b>532</b>		<b>2</b>		<b>ממוצע לדירת גג</b>
	0	2	0	4 חזיתות: אמצע
	0	2	0	2 חזיתות: אמצע
<b>0</b>		<b>4</b>		<b>ממוצע לדירה אמצעית</b>
	925	1	925	4 חזיתות: עמודים
	418	1	418	2 חזיתות: עמודים
<b>671</b>		<b>2</b>		<b>ממוצע לדירת עמודים</b>
<b>2407</b>	<b>8</b>			<b>סה"כ צריכת אנרגיה לבנין (8 יחידות בבנין)</b>
<b>301</b>				<b>צריכת אנרגיה ממוצעת ליחידה (דירות בנות 90 מ"ר)</b>



## נספח ז: חישוב הפסדי אנרגיה

בנספח זה מוצג חישוב הפסדי אנרגיה בדירת גג גמלונית (3 חזיתות) בת 90 מ"ר המבודדת ברמה משופרת לפי המומלץ לירושלים. ההפסדים מחושבים להפרש של 1 מ"צ בין טמפרטורת אויר פנים לחוץ.

### הפסדי אנרגיה ע"י הולכה

אלמנט	חלונות (מ"ר)	קירות (מ"ר)	גג (מ"ר)
דרום	דר"מז	לא לדרי	סה"כ
שטח (מ"ר)	9.0	9.74	4.5
עד U (ווט/מ"ר/מ"צ)	*4.5	0.56	0.47
הפסדי הולכה (ווט/מ"צ)	(שטח * עד U)		
	64.08	31.93	42.3
			138.31

### הפסדי אנרגיה ע"י חדירת אויר (אינפילטרציה)

הפסדי אינפילטרציה ** (ווט/מ"צ)	נפח הבנין * מסי החלפות אויר בשעה * 0.3 * (90.0 * 2.50) * 0.75 * 0.3	50.63
--------------------------------	--	-------

### סה"כ הפסדי אנרגיה להפרש של 1 מ"צ

סה"כ הפסדי אנרגיה (ווט/מ"צ)	הפסדי הולכה + הפסדי אינפילטרציה	188.94
-----------------------------	---------------------------------	--------

### סה"כ הפסדי אנרגיה להפרש של 1 מ"צ למ"ר רצפה (שטח הדירה = 90 מ"ר)

סה"כ הפסדי אנרגיה / מ"ר רצפה (ווט/מ"צ/מ"ר)	188.94 / 90.00	2.10
--	----------------	------

- \* עד U נקבע כערך ממוצע בין חלון ללא תריס ומערכת חלון ותריס התורם לבידודו בשעות בהן השמש אינה זורחת.
- \*\* לפי תקן 1045 לבידוד תרמי.

## מקורות

ביתן א., ש. רובין, 1991. "אטלס אקלימי לתכנון פיסי וסביבתי בישראל". אונ. תל אביב-החוג לגיאוגרפיה, משרד התחבורה, משרד האנרגיה והתשתית.

דבוסקין ד., נ. גרנות (עורכים), 1989. "מדריך לשימור אנרגיה במבני מגורים". משרד האנרגיה והתשתית, הוצאת חשב, תל אביב.

דבוסקין ד., א. יקיר, ע. ליניק, י. אלבינצר, 1989. "היבטים כלכליים של בידוד מעטפת הבנין". פרק י' מתוך "מדריך לשימור אנרגיה במבני מגורים". ד. דבוסקין, נ. גרנות (עורכים), משרד האנרגיה והתשתית, הוצאת חשב, תל אביב.

הופמן מ. א., 1976. "הנחיות תכנון הבנייה מבחינה אקלימית בעידן של חסכון באנרגיה". התחנה לחקר הבנייה, הטכניון - מכון טכנולוגי לישראל, חיפה.

מאיר י., י. עציון, ד. פיימן, "היבטים אנרגטיים בתכנון באזורים מדבריים". המכון לחקר המדבר ע"ש יעקב בלאושוטיין-און. בן-גוריון בנגב, משרד האנרגיה והתשתית.

מכון התקנים הישראלי, 1984. "בידוד תרמי של בנייני מגורים". תקן ישראלי 1045, א' 12-84-200.

פורה מ., ש. חסיד, ד. אבן-אור, ד. וגנר, ס. ביכיו, 1989. "עקרונות וכללי תכנון לבניה סולרית פסיבית של בנייני מגורים בישראל". המכון הלאומי לחקר הבנייה, הטכניון - מכון טכנולוגי לישראל, חיפה, מוסד הטכניון למחקר ופיתוח בע"מ, משרד האנרגיה והתשתית.

שביב ע., י. ג. קפלוטו, 1990. "השפעת פרמטרים גיאומטריים על צריכת האנרגיה ותנאי הנוחות התרמיים בבניינים, חלק א' (דו"ח ביניים)", דו"ח מחקר 022-474, הפקולטה לארכיטקטורה ובנוי ערים, הטכניון - מכון טכנולוגי לישראל, חיפה.

שביב ע., 1989. "איורור". פרק ו' מתוך "מדריך לשימור אנרגיה במבני מגורים". ד. דבוסקין, נ. גרנות (עורכים), משרד האנרגיה והתשתית, הוצאת חשב, תל אביב.

שפירא י., 1989. "נוחות תרמית". פרק ד' מתוך "מדריך לשימור אנרגיה במבני מגורים". ד. דבוסקין, נ. גרנות (עורכים), משרד האנרגיה והתשתית, הוצאת חשב, תל אביב.

- ASHRAE, Fundamentals Handbook, 1989. Atlanta, GA.
- Achard P., R. Gicquel (eds.), 1986, "European Passive Solar Handbook." Commission of the European Communities.
- Ashbel, D., 1972. "BIO-Climatic Atlas of Israel." Meteorological Department of the Hebrew University, Jerusalem.
- Balcomb J.D., R.W.Jones, R.D.McFarland, W.O.Wray, 1984. "Passive Solar Heating Analysis - A Design Manual." LANL, ASHRAE ISBN 0-910110-38-7, Atlanta, GA.
- Evans, M., 1980. "Housing Climate and Comfort." The Architectural Press, London.
- Givoni, B., 1976. "Man, Climate and Architecture." Second ed. Applied Science Pub.
- Manes, A., Teitelman A., I. Fruehling, 1970. "Solar Radiation and Radiation Balance." Series A, No. 25, Ministry of Transport, Israel Meteorological Service Research Division, Bet Dagan.
- Manes, A. and A. Ianetz, 1982. "Solar Irradiance on Non-Horizontal Surfaces and Optimum Exposure of Solar Collectors." Research Papers D38, Ministry of Transport, Israel Meteorological Service Research and Development Division, Bet Dagan.
- Olgay, V., 1963. "Design with Climate - Bioclimatic approach to Architectural Regionalism." Princeton University Press. Princeton, New Jersey.
- Santamouris M. et al., 1989. "Passive Cooling - State of the Art." In T.C. Steemers and W. Palz, Eds. "Science & Technology at the Service of Architecture", Kluwer Academic Publishers.
- Shaviv, E., G. Shaviv, 1977. "A Model for Predicting Thermal Performance of Buildings." WP ASDM-8, Faculty of Architecture & TP, Technion. Haifa. (41 pages).
- Shaviv, E., G. Shaviv, 1978a. "Modelling the Thermal Performance of Buildings". Building & Environment, Vol. 13, Pergamon Press Ltd., England, (pp. 95-108).
- Shaviv, E., G. Shaviv, 1978b. "Designing of Buildings for Minimal Energy Consumption". CAD Journal, July, Vol. 10, No. 4, IPC Business Press, England, (pp. 239-247).
- Watson, D., FAIA, and K. Labs, 1983. "Climatic Design." McGraw-Hill Book Company, NY.