

# 9. אקולוגיה עירונית

## נספח ג. תכנון אקלימי<sup>1</sup>

### תוכן

1	ז. אקלים
3	7.א. על תופעת האקלים העירוני
4	7.ב. דוגמאות מן העולם לתכנון עירוני אקלימי
7	7.ג. אפיון התנאים האקלימיים בתל אביב-יפו
11	7.ד. כלים בתכנון אקלימי
17	7.ה. הרעיון התכנוני: מטבוליזם עירוני
18	7.ו. מושגים ומשתנים בתכנון אקלימי עירוני

### ז.1. על תופעת האקלים העירוני

התופעה של אקלים עירוני מתועדת בערים רבות בעולם. ריכוז של מאות-אלפי אנשים באזור מצומצם, תנועה בין אזורי פעילות בעיר על פני שעות היממה ופני-שטח המעוצבים מחדש על ידי מעשי האדם, כל אלה משפיעים על התחושה של האדם במרחב העירוני.

"תחושת הנוחות" של האדם רגישה לשינויים במאפייני מיקרו-אקלים, למשל – ההבדלים האקלימיים הנוצרים בין אזור מוצל בצידו האחד של הרחוב, לאזור החשוף לאור השמש בצידו השני. כל עוד המרחב הציבורי מייצר תחושת-נוחות, הוא נעים ומזמין פעילות, ומהווה במה להתרחשותם של חיי-עיר תוססים.

<sup>1</sup> הנספח שלהלן מציג עבודה בתהליך ואין לראות בו תוצר תכנוני העומד בפני עצמו. העבודה המוצגת התבצעה על ידי יועצי תוכנית המתאר לנושא אקולוגיה עירונית, העבודה כוללת רעיונות רבים שלא נבדקו לעומקם ובמיוחד לא נבחנו התאמתם והשלכותיהם על התכנון בתל-אביב - יפו. כמו כן, העבודה טרם עברה עיבוד וניתוח של כלל צוות העבודה ולכן אין לראות בה כמייצגת את עמדת עיריית ת"א-יפו או אף את עמדתו של צוות התכנון כולו. עבודת הניתוח מוצגת לציבור כחלק מתפיסה הרואה חשיבות בחשיפת תוצרי הביניים של תהליך התכנון לעיון בעלי העניין השונים. הנספח שלהלן מציג את הידע שנרכש על ידי יועצי התוכנית ומובא בהמשך לדוח על מנת לאפשר לכל בעל עניין ללמוד מהידע הרב שנאסף.

לעומת זאת, מרחב ציבורי שבו יחוש האדם תעוקה בשל התנאים הסביבתיים, לא יוכל לתפקד כמקום של פעילות, מפגש ואינטראקציה – ויתרוקן לבסוף מאנשים.

המאפיין הבולט של האקלים העירוני הוא "אי החום העירוני" (UHI – Urban Heat Island). ביטויו של אי החום העירוני הוא בטמפרטורות גבוהות יותר בעיר ביחס למרחב הסובב אותה (העיר היא "אי" של חום ביחס לסביבתה). במשך היום, הופך מרכז העיר למוקד מפל הטמפרטורות – ובו הטמפרטורות מגיעות לשיאן.

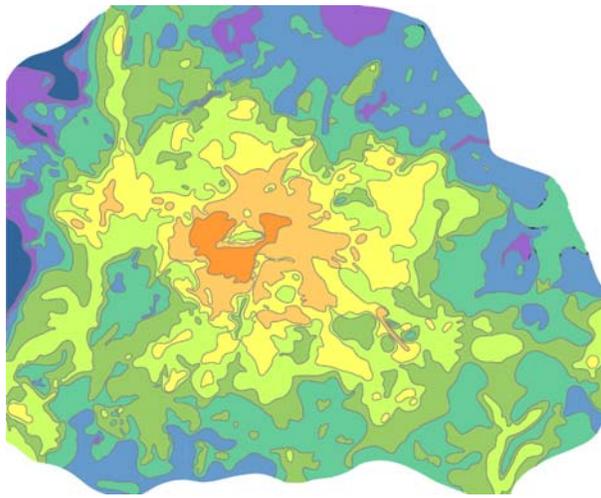
מיפוי אי החום העירוני היווה נקודת מוצא לתכנון אקלימי בערים שונות בעולם – ביניהן ברלין, טוקיו, גטסבורג ופראג. יותר ויותר ערים מאמצות עקרונות של תכנון אקלימי, נושא הנקשר באירופה לשיח אודות "בריאות החיים העירוניים" (בעיקר בעקבות ריבוי מקרי-המוות בערים, עקב גלי חום בשנים האחרונות).

נביא כאן סקירה קצרה של התכנון האקלימי בברלין ובטוקיו, שפיתחו עקרונות לתכנון אקלימי ב-2004 וב-2005, בהתאמה. לאחר מכן, נבחן את אי החום העירוני של תל אביב – יפו, כבסיס להתווית אסטרטגיה של תכנון אקלימי. לבסוף, נציע את מנגנון "המטבוליזם העירוני" – חילוף חומרים ופירוק של תעוקות סביבתיות – הנוצרות מעצם החיים העירוניים, באמצעות היחסים בין מערך השטחים הפתוחים לרקמה העירונית הבנויה.

## 2.2. דוגמאות מן העולם לתכנון עירוני אקלימי

### ברלין

בחסות המחלקה לתכנון עירוני בסנאט הגרמני, נערך בשנת 2004 תכנון אקלימי לעיר ברלין. תכנון זה התבסס על אטלס אקלימי – סדרה של מפות המפרטות את התנאים האקלימיים בברלין: מטמפרטורות אוויר ממוצעות, מהירות הרוח בקרבת הקרקע, תנאי הלחות וטמפרטורת השטח. על יסוד מפות אלו, הוכנה מפה ביו-אקלימית, המפרטת את דרגת העומס (burden) האקלימי בחלקי העיר השונים.



### Urban Climate Zones

#### Urban Climate Zones in Comparison to Open Land Conditions

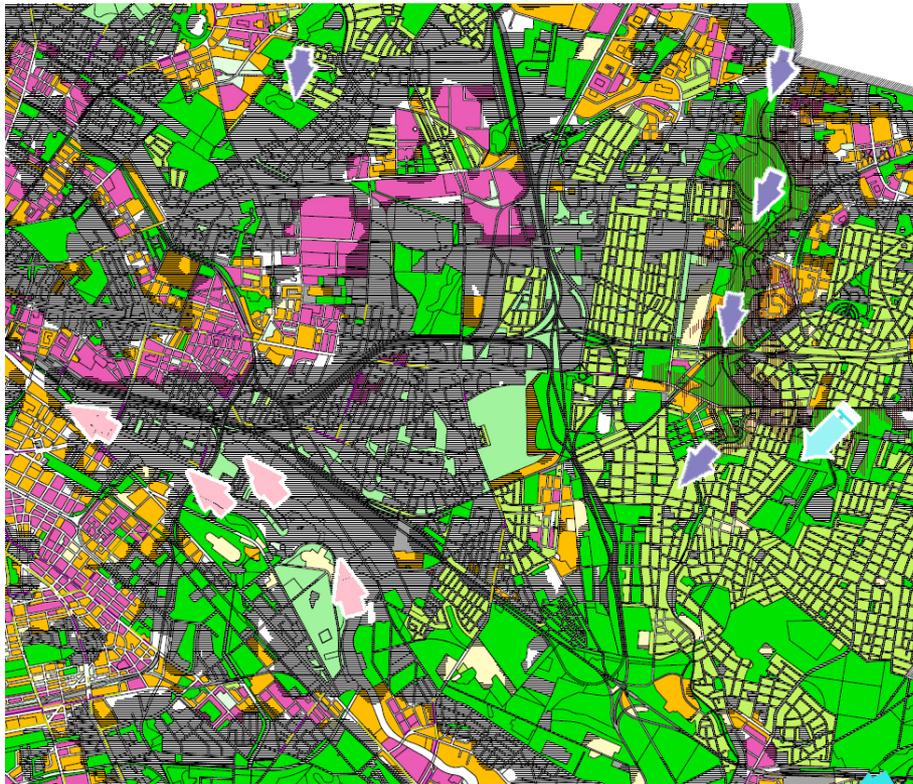
Urban Climate change	Zone	Air Temperature (°C)			Long term Mean (1981-2010)	No. of Frostdays September - November
		Values of 1990 based on Mean 1999	Average Minimum 1999	Sept. - Nov. Average Daily Amplitude 1999		
high	4	> 11.3	> 8.0	< 0.8	> 10.1	< 11
moderate	3	10.8 - 11.3	7.0 - 8.0	6.8 - 7.8	9.2 - 10.1	11 - 16
low	2	10.4 - 10.8	6.0 - 7.0	7.8 - 8.8	8.6 - 9.2	16 - 21
very low	1	9.8 - 10.4	5.0 - 6.0	8.8 - 9.8	7.6 - 8.6	21 - 26
none	0	9.0 - 9.8	4.0 - 5.0	9.8 - 10.4	6.9 - 7.6	26 - 31
none (extreme terrain climatic conditions)	0*	< 9.0	< 4.0	> 10.4	< 6.9	> 31

מפת האזורים האקלימיים של ברלין מבטאת את "אי החום העירוני": הטמפרטורות הולכות ועולות ככל שמתקרבים אל מרכז העיר. מקור: <http://www.stadtentwicklung.berlin.de/umwelt/umweltatlas/eia405.htm>

במקביל למפות האקלימיות הוכנה מפה של מצאי השטחים הפתוחים בברלין. השטחים הפתוחים סווגו על פי "תפקידים אקלימיים" שהם יכולים למלא, ביחס לעומסים ברקמה העירונית שבסביבתם. הקשר בין השטחים הפתוחים לבין אזורי העיר ייווצר באמצעות זרמי אוויר, באופן הבא:



על מנת לאפשר קשר טוב ותפקוד מערכתי של השטחים הפתוחים כמפחיתי עומסים ברקמה הבנויה, הוכנו הנחיות תכנוניות לנתיבי זרימת-אוויר בעיר. נתיבים אלה נחלקים לשני סוגים עיקריים: נתיבי אוויר תרמיים (Thermally Induced), בהם תנועת האוויר נוצרת בשל הפרשי טמפרטורה בין השטח הפתוח לאזור הבנוי המועמס; ונתיבי אוויר אורוגרפיים (Orographically Induced), בהם תנועת האוויר נוצרת בשל הפרשי גבהים בין השטח הפתוח לבין האזור הבנוי המועמס. ההנחיות מתייחסות לשטחים הפתוחים מחד, ולרקמה הבנויה מאידך. הן מגדירות היכן יש להמנע מחסימת נתיבי מעבר אוויר, אילו אזורים רגישים לציפוף ואילו אזורים יכולים להמשיך ולהצטופף בלא שיפגעו התנאים האקלימיים.

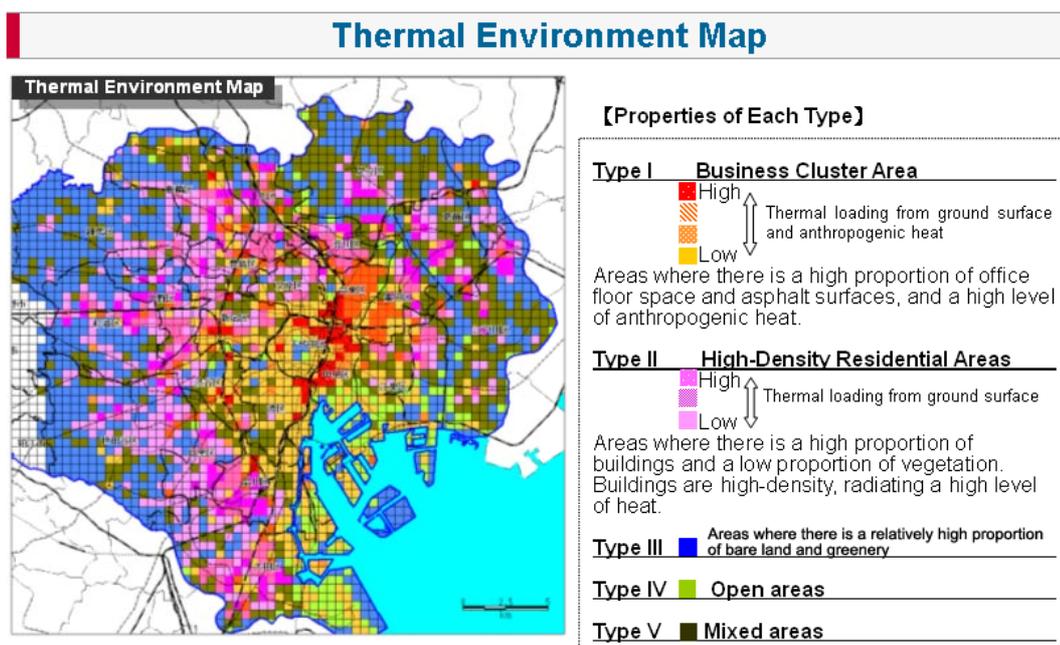


פרט ממפת ההנחיות-התכנוניות, בו נראית חדירתם של נתיבי אוויר משטחים פתוחים אל לב הרקמה הבנויה.  
מקור: <http://www.stadtentwicklung.berlin.de/umwelt/umweltatlas/ei411.htm>

## טוקיו

ביפן מנהיגה הממשלה מדיניות של "רובעים עירוניים לדוגמא", הנוקטים באמצעים נגד ההתחממות הגלובאלית ואיי החום. על רקע המדיניות המרכזית, פעל הממשל המטרופוליני בטוקיו (TMG – Tokyo Metropolitan Government) לאיתור רובעים המתאימים ליישום אמצעים כנגד איי החום.

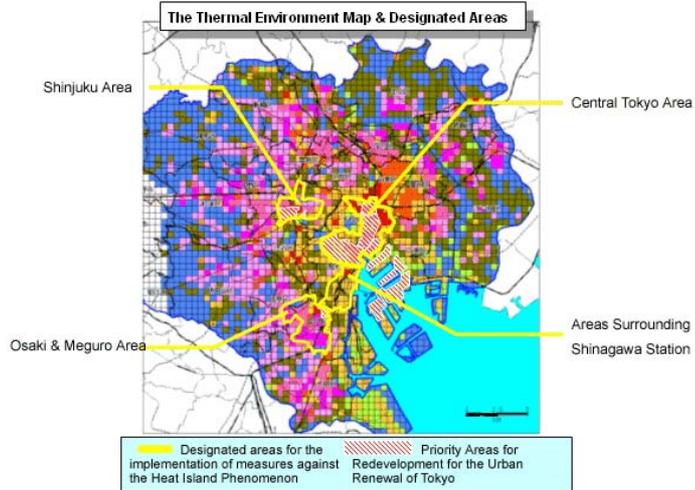
המפה התרמית של טוקיו הוכנה, תוך כדי אבחנה בין אזורי מגורים לאזורי תעסוקה. עומסי החום מופו ביחידות של 500X500 מ'.



המפה התרמית של טוקיו, מציגה אבחנה בין שטחי תעסוקה, שטחי מגורים ושטחים פתוחים.  
מקור: <http://www.metro.tokyo.jp/ENGLISH/TOPICS/2005/ftf56101.htm>

האזורים בעיר שנבחרו לבסוף ליישום אמצעים נגד איי-החום, הם אלה שהראו תנאים של עומס אקלימי גבוה. במסגרתם – הוגדרו תחומים של התחדשות עירונית, שבהם יידרשו יזמים פרטיים להקים פרויקטים חדשים בהתאם להנחיות אקלימיות, כגון – סלילת תשתיות בחומרים אוגרי-מים, "קירות ירוקים", וגינון במגרשים שבבתי הספר.

## Designation of Areas for the Implementation of Measures Against the Heat Island Phenomenon



האזורים המיועדים ליישום  
אמצעים נגד תופעת אי החום,  
כוללים שטחים להתחדשות  
עירונית.  
מקור:

<http://www.metro.tokyo.jp/ENGLISH/TOPICS/2005/fff56100.htm>

### 3.2. אפיון התנאים האקלימיים בתל אביב – יפו

אי החום העירוני משתנה על פני זמן ומרחב. על פני הזמן – חלים שינויים באי החום בהתאם לתחלופה בין מוקדי פעילות במשך שעות היממה ועל פי עונות השנה. על פני המרחב – מבחינים בשלוש רמות של אי החום העירוני: רמת פני השטח (Surface Layer), רמת החופה העירונית (Urban Canopy Layer) ורמת הגגות (Urban Boundary Layer). שלוש הרמות המרחביות של אי החום העירוני מייצרות השפעות הדדיות, והתכנון האקלימי יידרש על כן להתייחס הן לחומרים המרכיבים את פני השטח של העיר, והן לרקמה העירונית, הקובעת את כמות החום הנאגרת ברחובות.

#### אי החום העירוני בתל אביב – יפו, רמת הגגות

במדידות שנערכו על ידי סערוני, בן-דור, ביתן ופוצ'טר במשך יממה חורפית בשנת 1999, נתקבלו התוצאות הבאות – המעידות על אי החום העירוני ברמת הגגות:

Table 1  
Minimum and maximum temperatures and  $\Delta T$  at fixed stations in Tel-Aviv City and at the rural stations

	$T_{min}$	$T_{max}$	$\Delta T=T_{(max-min)}$
Seashore (1)	12.3	17.1	4.8
City center (2)	11.0	17.9	6.9
City center (3)	11.3	18.0	6.7
Northern margins (4)	9.7	17.9	8.2
Northern margins (5)	9.9	18.3	8.4
Southern margins (6)	9.8	17.7	7.9
Bet Dagan	7.2	19.8	12.6
Ben Gurion airport	6.7	21.7	15.0
Sde Dov airport	9.6	18.0	8.4

מתוך: Saaroni et al., 2000

ברמת הגגות ניכרת השפעתו הממתנת של הים (בקרבת הים מנעד הטמפרטורות הוא הנמוך ביותר). כמו כן, ניתן ללמוד מן הממצאים כי אי החום העירוני ברמת הגגות, מתבטא בעיקר בלילה. לעיתים הדבר נובע מבידוד לא מספק, הגורם לבריחת חום מן החללים שבתוכם שוהים בני האדם.

#### אי החום העירוני בתל אביב – יפו, רמת החופה העירונית

ברמת החופה העירונית מתגלים השינויים הרבים ביותר במשך היממה. שינויים אלה נגרמים, בין השאר, מדפוסי הפעילות המשתנים על פני היממה. ברמת החופה העירונית מתגלים במשך היום מוקדים של חום – בעיקר במרכז העיר. לעת ערב, נעשה אי החום יותר הומוגני, והפרשי הטמפרטורות בין חלקי העיר השונים – פוחתים.

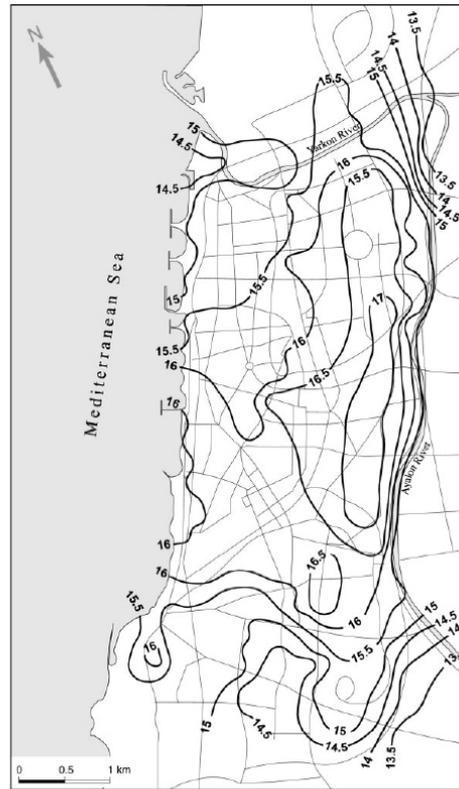
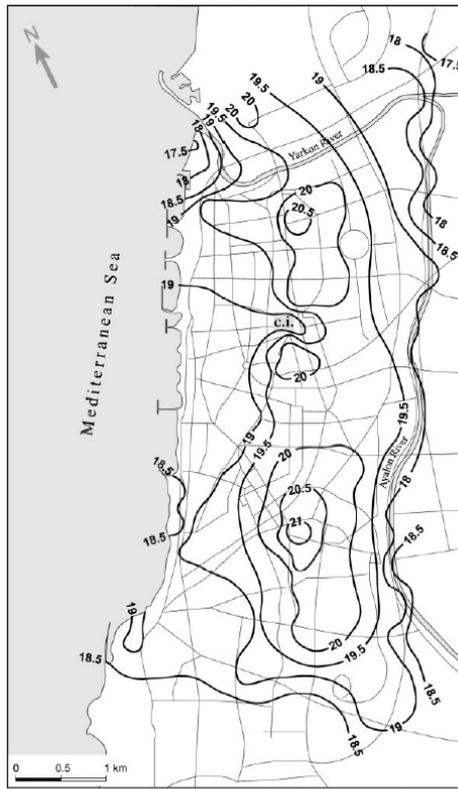
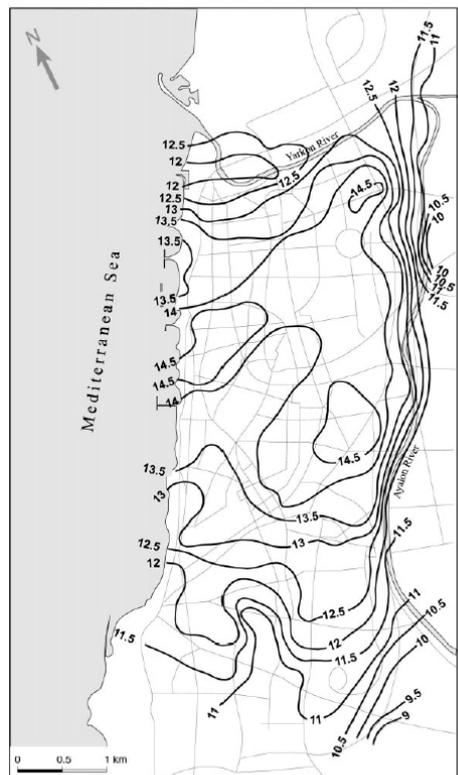
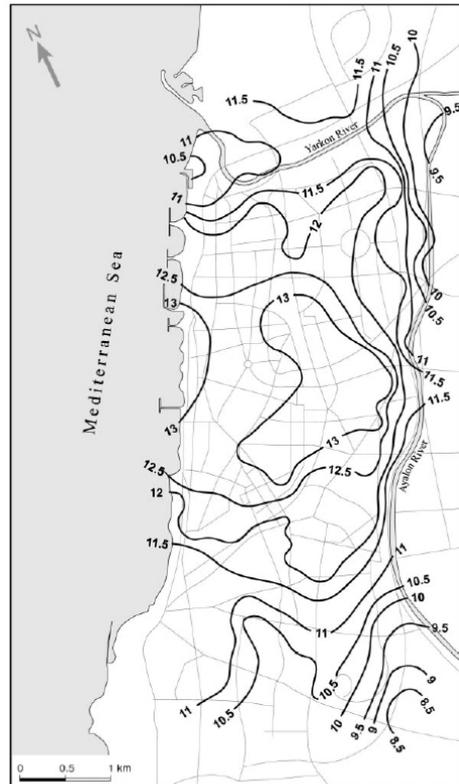


Fig. 5. An isotherm map of air temperatures ( $^{\circ}\text{C}$ ) for different times: (a) 14:00 hours local time; (b) 21:00 hours local time; (c) 01:00 hours local time; and (d) 03:00 hours local time.

(c)



(d)

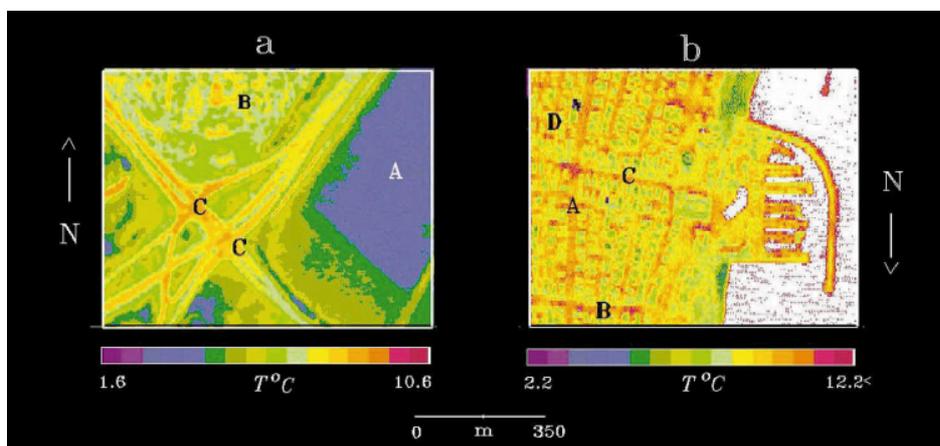


מתוך: Saaroni et al., 2000

## אי החום העירוני בתל אביב – יפו, רמת פני השטח

### משטחים אופקיים

ברמת המיקרו, ניתן להבחין בהבדלי החום שמייצרים משטחים הנבדלים בחומרים שמהם הם עשויים. לכל סוג משטח, ניתן לאפיין משפחה של חומרים (לדוגמא – חומרים לסלילה), ולסווגם בהתאם לתכונותיהם התרמיות.



טמפרטורות משטח בתל אביב.  
המשטחים הסלולים הם בעלי טמפרטורה גבוהה ביחס למשטחים אחרים.

מתוך: Saaroni et al., 2000

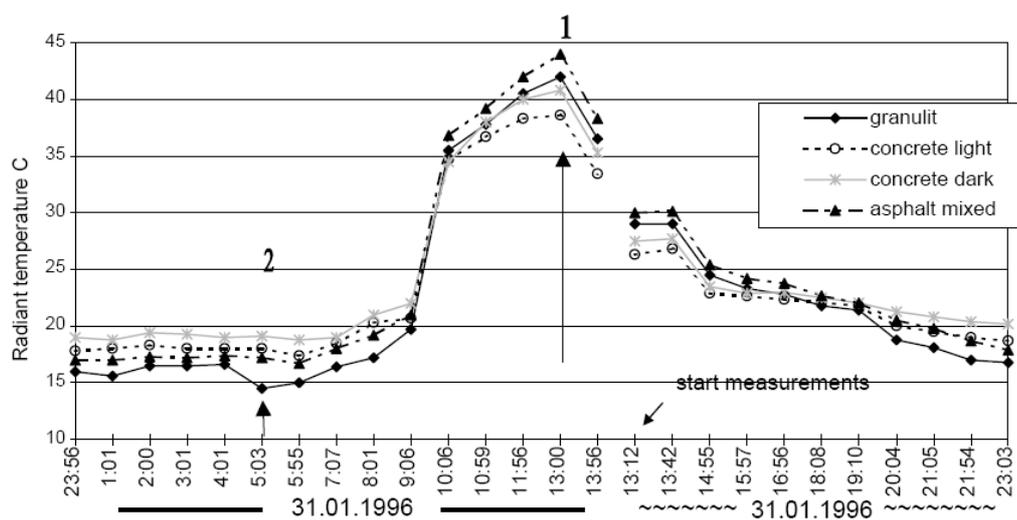
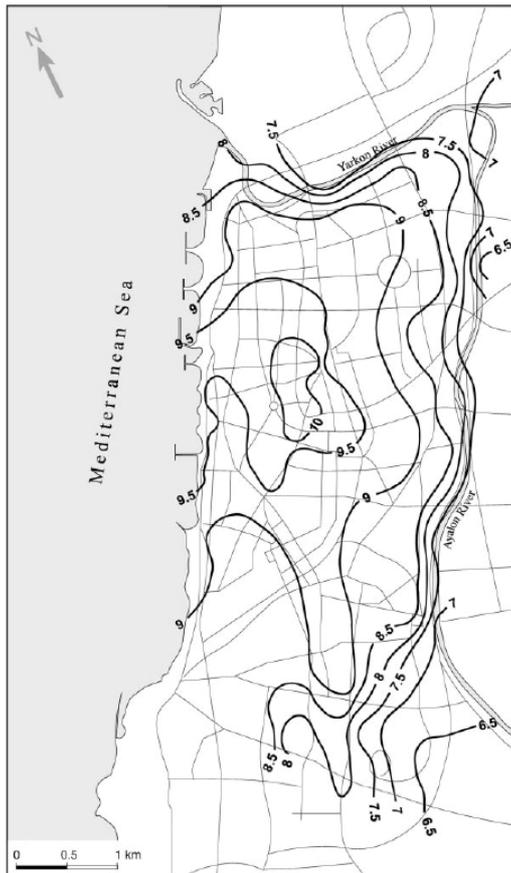


Fig. 4. The mean surface temperature of selected paved surfaces. "1" indicates the best noon hour for thermal observation and "2" the best night hour.

השוואה בין חומרים המשמשים למשטחים סלולים

מתוך: Chudnovsky et al., 2004



מתוך: Saaroni et al., 2000

Fig. 8. An isotherm map of surface radiometric temperatures (°C) for 03:00 hours local time.

ברמה הכלל-עירונית, נמצאה ברמת פני השטח התנהגות המצביעה על אי חום ששיאו באזור מרכז העיר. אחת הסיבות לכך, היא הקשר שבין אי החום ברמת החופה העירונית, לאי החום ברמת פני השטח.

### משטחים אנכיים

בעיר משטחים אנכיים בעלי שטח רב. ההתנהגות התרמית של המשטחים קשורה בתכונות החומרים שמהם הם עשויים, בדומה למשטחים אופקיים. אך בשונה ממשטחים אופקיים, ההתנהגות התרמית של משטחים אנכיים תלויה גם בפנות המשטח, ובגיאומטריית הרחוב – הקובעת את שבירת האור ואת החזרי האור.

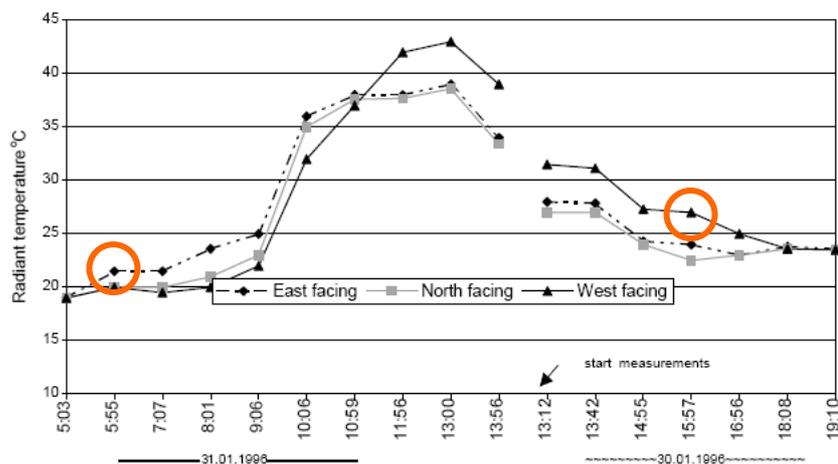


Fig. 6. Mean surface temperature of differently oriented outer walls.

השוואה בין טמפרטורות של משטחים אנכיים, הפונים לכיוונים מזרח, צפון ומערב. העיגולים האדומים מצביעים על השיא המשני בטמפרטורות (Secondary Peak), בעקבות קבלת קרינה ישירה מהשמש.

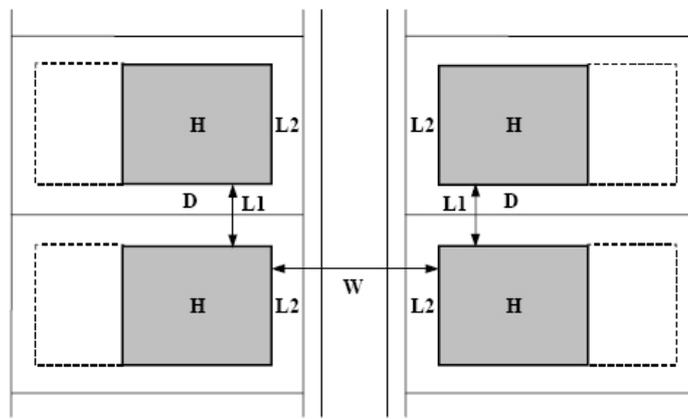
מתוך: Chudnovsky et al., 2004

## 4.ז. כלים בתכנון אקלימי

### בינוי

#### מרקמים עירוניים

בתכנון אקלימי של מרקמים עירוניים, יש להתייחס אל המאפיינים החומריים והגיאומטריים של הרקמה העירונית. ההיבטים החומריים באו לביטוי בבחינת אי החום העירוני ברמת המשטח, הממפה את תוספת החום הנוצרת כתוצאה משימוש בחומרי-ציפוי שונים. כעת, נפנה לבחון את ההיבטים הגיאומטריים המשפיעים על ההתנהגות האקלימית של הרקמה העירונית. כאן נדרש להתייחס אל המבנה המרחבי בכללותו – בחתך ובתכנית.



H, D, L2, מייצגים את הגובה, העומק ואורך חזית של כל יחידת בינוי ברחוב, L1 מייצג את המרחק בין הבניינים לאורך הרחוב, W מייצג את רחב הרחוב בין חזיתות הבניינים מתוך: ביתן, פוצ'טר ושעשוע-בר, 2005

שלושה יחסי גיאומטריה יאפיינו את התכונות הגיאומטריות של הרחוב, המשפיעות על האקלים: יחס גובה הבניינים לרוחב הרחוב ( $H/W$ ); יחס עומק הבניינים ביחס לאורך החזית על הרחוב ( $D/L2$ ); ויחס המרחק בין הבניינים לאורך החזית ( $L1/L2$ ). היחס הראשון מבטא את תכונות חתך הרחוב. שני היחסים האחרים מבטאים את תכונות התכנית, ויחד מאפשרים את חישוב השטח הפתוח לשמיים –  $SVF$  (Sky Value Factor). ככל ששטח הרחוב הפתוח לשמיים הוא גדול – כן הרחוב מאוורר.

הדוגמא הבאה מציגה את הערכים היחסיים בשלושה טיפוסים רחובות.

$H/W = 28/27 \sim 1.0$ $D/L2 = 1.25$ $L1/L2 = 0.5$	$H/W = 22/27 \sim 0.8$ $D/L2 = 1.25$ $L1/L2 = 0.5$	$H/W = 16/27 \sim 0.6$ $D/L2 = 1.25$ $L1/L2 = 0.5$

$H = 28, 22, 16$  מ',  $D = 25$  מ',  $L2 = 20$  מ',  $L1 = 10$  מ',  $W = 27$  מ'

מתוך: ביתן, פוצ'טר ושעשוע-בר, 2005

יחד עם הזנת נתונים לגבי התכונות התרמיות של המשטחים, ניתן להגיע להערכה של תפקודו האקלימי של הרחוב:

פרמטרים גיאומטריים					
יחס גובה מבנים לרחוב H/W	מקדם פתיחות המרחב לשמיים SVF	גובה המבנים התוחמים [מ. קומות]	רוחב המרחב ברחוב [מטר]	טיפוס הרחוב	
0.673	0.596	4	27	H/W = 0.6	
0.828	0.517	6	27	H/W = 0.8	
0.973	0.457	8	27	H/W = 1.0	
תכונות תרמופיזיקליות, ממוצע יומי					
מעבר חום כולל [W/m <sup>2</sup> · K] h(t)	מקדם בליעת קרינה סולרית		קבוע זמן תרמי של משטח [hour]		טיפוס הרחוב
	קירות m <sub>vi</sub>	קרקע m <sub>g</sub>	קירות CTTC <sub>vi</sub>	קרקע CTTC <sub>g</sub>	
13.85	0.50	0.60	6	8	H/W = 0.6
13.28	0.50	0.60	6	8	H/W = 0.8
12.30	0.50	0.60	6	8	H/W = 1.0

מתוך: ביתן, פוצ'טר ושעשוע-בר, 2005

פרמטרים אלה יכולים להעיד על מידת התאמתו של הרחוב לשמש כנתיב למעבר אוויר, ולהגדיר דרישות תכנוניות כגון תוספת הצמחייה הרצויה ברחוב (על כך בסעיף העוסק בתכנון צמחייה).

מונח חשוב בהקשר זה הוא "גיאומטריה קניונית" (Canyon Geometry/ Urban Canyon) – המתאר את המשמעות האקלימית של הרחוב העירוני כמעין קניון בין דפנות של בניו, דרכו נוצר נתיב של אוויר. מידת הקניוניות של הרחוב מבוטאת במשתנה החתך – היחס שבין גובה המבנים לרחוב הרחוב, והיא משפיעה על מהירות הרוח ועל הטמפרטורה במפלס הרחוב.

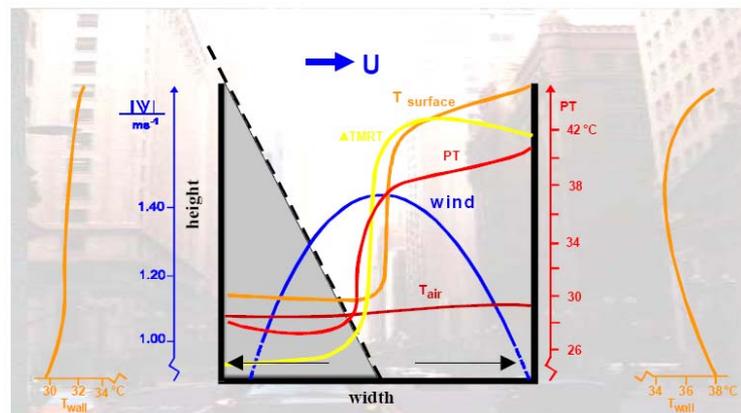


Fig. 3: Cross section of street canyon. PT and micro-scale input variables.

מתוך: Jendritzky et al., 2002

## מתחמי בנייה לגובה

בשונה מן הרחוב העירוני, המתנהג כקניון ומייצר נתיב למעבר אוויר, מתחמי בנייה לגובה מייצרים סביבה אקלימית מורכבת, שאם לא תתוכנן נכון - עלולה להיות בלתי נעימה. רוח מן הגובה "נשטפת" מטה לאורך חזיתות המגדלים (Downwash Wind), ומגיעה למפלס הרחוב. בסביבה שבה אין זרימה טובה של אוויר, יכול עיצוב אוירודינמי של מגדל לתרום לשיפור האיוורור במפלס הרחוב. אולם בסביבה שבה קיימת תנועת אוויר קבועה, ייצור המגדל מערבולות אוויר, ויפגע בנוחות האקלימית שלמרגלותיו.

יחד עם זאת, מתחמים של בנייה גבוהה עלולים להוות מחסום, המונע ממשבי אוויר להגיע לחלקים אחרים בעיר. תכנון של 'הטופוגרפיה העירונית' יכול להבטיח שבנייה לגובה לא תפריע למרקמים אחרים בעיר.

תכנון מוצלח של מתחמי בנייה לגובה יבחן את העמדת המבנים, ואת המגע שלהם עם הרחוב, על מנת להבטיח מעבר אוויר דרך המתחם, ובמפלס הרחוב (במידה ומתוכנן "פודיום" כבסיס למספר מגדלים, יש לייצר בו פתחים, המאפשרים דופן חדירה לאוויר).



Figure 5: A typical building morphology in Hong Kong: tower blocks sitting on a podium that occupies the entire site. When podiums are very close together, they significantly reduce the air space at pedestrian levels.

חסימת הרוח במתחמי בנייה לגובה: "פודיומים" עלולים לחסום את הרוח במפלס הרחוב, אם הם בנויים ללא פתחים; העמדה צפופה של מגדלים עלולה ליצור חסימה של הרוח מחלקי עיר אחרים.

מתוך: Ng, 2006

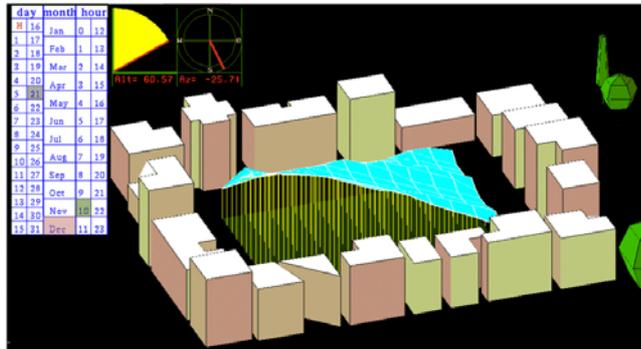


Figure 6: Tall buildings too closely pack together creating an 'effective' wind block to the city behind.

בערים שונות בעולם מקובל לדרוש שפרויקטים של מתחמי בנייה לגובה, יעברו בשלבי התכנון בדיקות במנהרת רוח. בהונג קונג, למשל, פותחו שני מדדים לבחינת ההשפעה של מתחמי בנייה לגובה על "סביבת הרוח" (Pedestrian Wind Environment): הראשון בוחן את השפעת הפיתוח על סביבתו הקרובה, והשני בוחן את הסביבה הנוצרת בתוך הפרויקט המוצע.

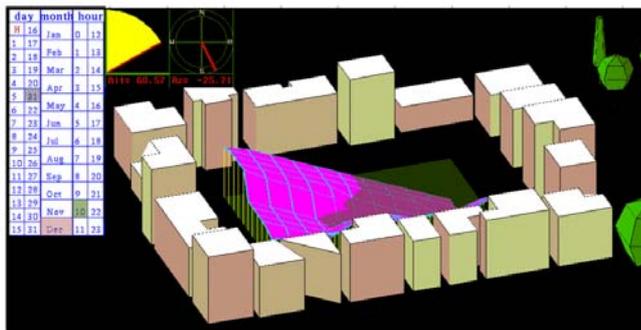
היבט נוסף של בנייה לגובה הוא ההשפעה על זכויות השמש של מבנים קיימים. בנושא זה פותח מודל בשם SustArc, על ידי גדי קפלוטו, אברהם יזאורו ועדנה שביב. מודל זה יושם בתכנון מתחם

ביצרון בשנת 2000. מודל זה מבוסס על בניית מעטפת סולארית, המגדירה את גבהי הבינוי, באופן שאינו פוגע בזכויות השמש של בניינים שכנים. כמו כן, מוגדרת מעטפת קליטת שמש, המבטיחה שהמבנים המתוכננים אף הם לא יוצללו על ידי הבינוי הקיים. הנפח שבין שתי המעטפות – הוא הנפח הסולארי, המגדיר את התחום הרצוי לגבהים של הבינוי המתוכנן.

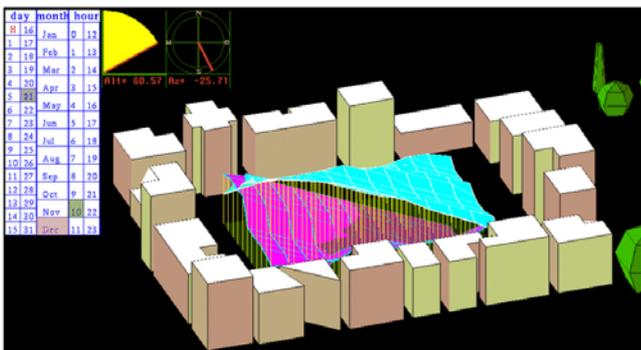


תמונה 1: המעטפת לזכויות שמש (SRE) המגדירה את הנפח המוקסימולי הניתן לבנייה ללא פגיעה בזכויות שמש של הבניינים השכנים

כל ההדמיות  
מתוך: קפלוטו  
2000, 'חוב'



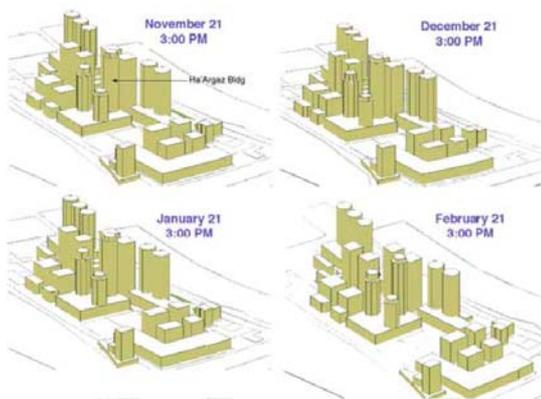
תמונה 2: המעטפת לקליטת שמש (SCE)



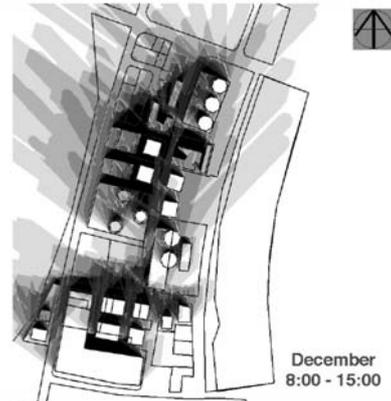
תמונה 3: הנפח הסולארי (SV)

דרישות פרוגרמטיות לאופי המתחם, יגדירו באילו אזורים יובטח אור השמש, ובאילו שעות. כך, למשל, בתכנון המתחם בביצרון, הוגדרה הדרישה לאור שמש בשעות הבוקר ברחובות המוליכים אל המתחם, ובשעות הצהריים נדרש אור שמש לאורך הרחוב המרכזי במתחם, בו תוכננו המסעדות.

על מנת לבחון את ההצללה במתחם מתוכנן, יש להגדיר את השימושים בו, וכן את תקופת השנה שאותה רוצים לבחון (בהתאם לחומרת הפגיעה בזכויות השמש). התכנון של מתחם ביצרון נבדק לפי השפעת ההצללה בתקופת החורף, אז הצללים הם ארוכים במיוחד.



תמונה 7: בדיקת הצללת התכנון המוצע. אקסונומטריות נובמבר השמש. חודשים נובמבר עד פברואר, שעה 15.00.



תמונה 5: בדיקת הצללת התכנון המוצע. נגיפת הצל. דצמבר שעות 8.00 עד 15.00.

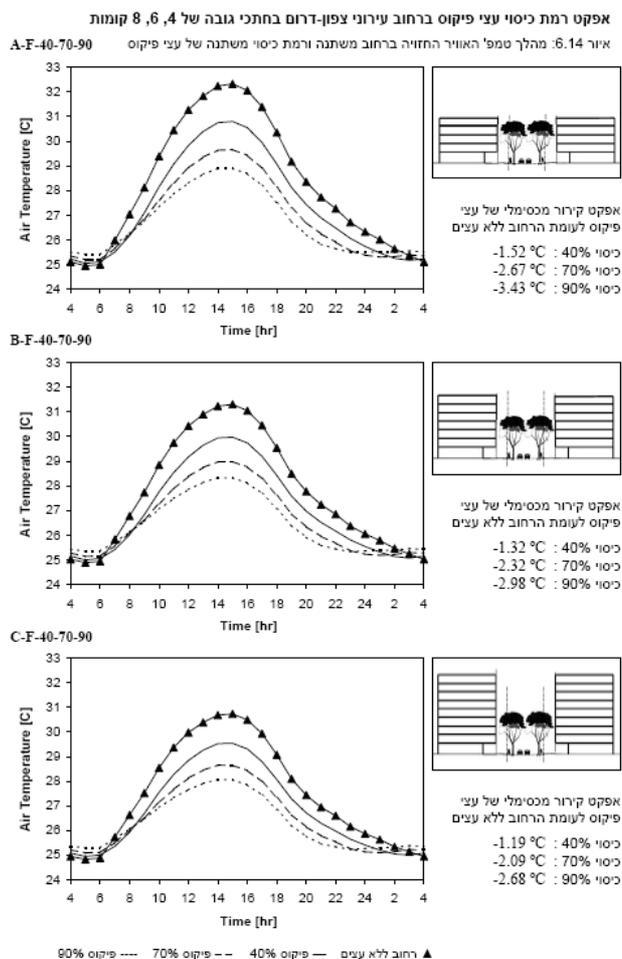
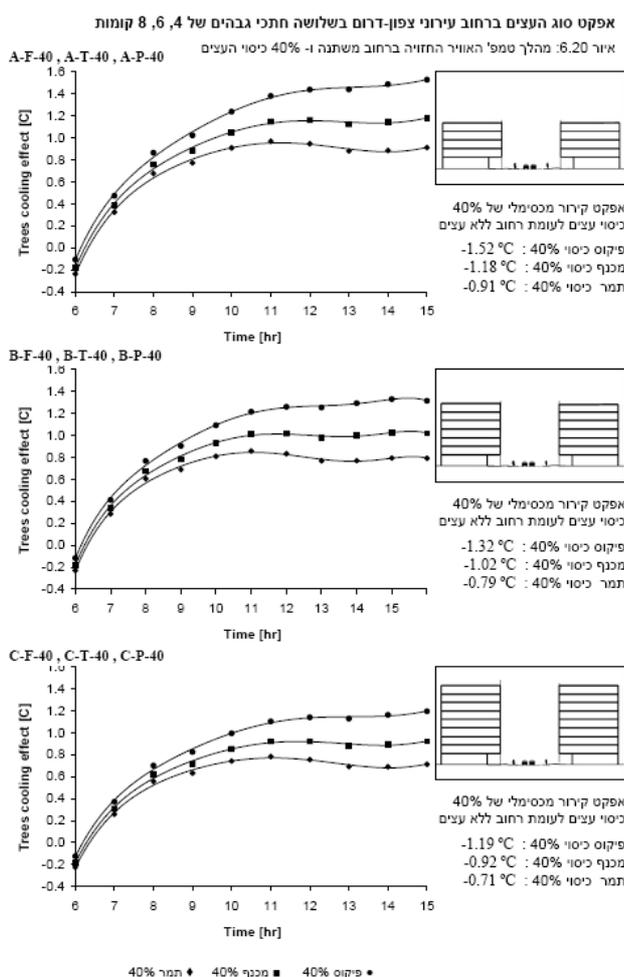
הדמיות לבחינת ההצללה בתקופת החורף  
(מלמעלה, ומ"מבט השמש")

מתוך: קפלוטו וחוב', 2000

## צמחיה

הבינוי מגדיר את הבסיס לתנאים האקלימיים בסביבת הולך הרגל, ובתוספת של כיסוי צמחי, ניתן אף לשפר את איכותו של המרחב הציבורי. יש לעשות זאת בזהירות, מפני שהשימוש בצמחיה אינו בהכרח בעל השפעה מיטיבה. מיני צמחים שונים, גובה העלווה וצפיפות הנטיעה עלולים להגביר את הלחות באוויר, ולהוות מחסום בפני זרימת אוויר. על תכנון הצמחיה להתחשב בפרמטרים הנ"ל, תוך כדי יצירת "פרוגרמה אקלימית צמחית". כך, למשל, מדשאות נחשבות למעמיסות על תחושת הנוחות (וממילא הן צורכות השקיה מרובה שאינה תואמת את תנאי הארץ).

מחקר הנערך בתקופה זו עבור המשרד לאיכות הסביבה יהווה בסיס לפיתוח של הנחיות לתכנון אקלימי באמצעות צמחיה. במחקר זה מודגמות ההשפעות השונות, בתלות בסוג הצמחיה וברמת הכיסוי. בהתאם לרמת ההצללה/ החשיפה לשמש המבוקשת, יהיה ניתן לתכנן את סוג הצמחיה ואת צפיפות הנטיעה, להשגת נוחות אקלימית מירבית.



השוואה בין רמות כיסוי שונות, ובין סוגי צמחייה שונים, מבחינת הטמפרטורה ואפקט הקירור שהם מייצרים. מתוך: ביתן, פולטר ושעשוע-בר, 2005

בנוסף להשפעתה המצלילה, תורמת הצמחיה לניקוי האוויר ממזהמים ומאבק. בתכנון נכון, ניתן להשתמש בה ככלי לשיפור איכות האוויר. מזהמים שהם תוצרי פליטה יטופלו במקור, אך זיהום אוויר בחלקיקי אבק הוא זיהום טבעי, המתפרס בשטח העיר בהתאם למבנה הרקמה הבנויה.

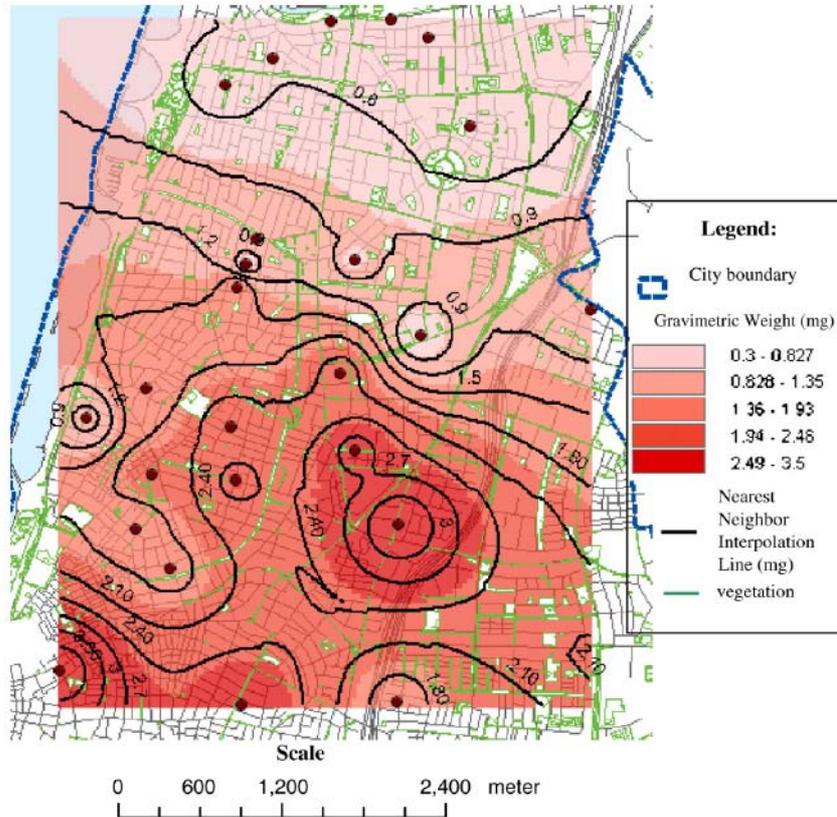


Fig. 15 – General spatial pattern of settled dust based on the indoor environment measurements obtained in Experiment 1: central part of Tel-Aviv.

פריסת חלקיקי אבק בתל אביב מגלה מוקדים של הצטברות הזיהום  
מתוך: Chudnovsky et al., 2007

## 5.2. הרעיון התכנוני: מטבוליזם עירוני –

### Urban Environmental Metabolism

כלי התכנון האקלימי מתייחסים הן לפיתוח חדש, והן לשיפור אזורי העיר הקיימים. באמצעות הכלים האקלימיים ניתן יהיה להבטיח שהפיתוח החדש יעיק על סביבתו במידה פחותה ככל הניתן (בגרמניה אין מאשרים תכניות לפיתוח חדש, אם הן מרעות את התנאים האקלימיים בסביבתן), ולאפשר שיקום אקלימי במוקדים פגועים – מוקדי אי החום העירוני, ומוקדי הצטברות האבק.

פיתוח חדש יבחן לאור השפעותיו האקלימיות, וישמש במידת האפשר לשיפור התנאים האקלימיים בסביבתו (הזרמת אוויר למפלס הרחוב, התחשבות בזכויות שמש). תשריט של "טופוגרפיה עירונית" יבטיח את מעבר האויר לכל חלקי הרקמה העירונית.

השטחים הפתוחים בעיר – הכוללים את מצאי השטחים הפתוחים כמייצרי איי-קור, ואת תוואי הרחובות המייצרים נתיבים למעבר אוויר – יתוכננו כמערכת של ניקוי ושיפור איכות הסביבה. באמצעות תכנון מגוון מצבים של מיקרו-אקלים (micro-climatic diversity), יוצר מפל תרמי שיתרום להסעת אוויר טרי ונקי מן האזורים הקרים לאזורים החמים והמזוהמים בעיר.



אי הקור הנוצר בגן מאיר, בעל טווח השפעה של מאות מטרים.  
מתוך: Potchter et al., 1999

הבינוי והחללים שבינותיו יתפקדו כמערכת אחת, כמנגנון של חילוף חומרים עירוני. הצלחתו של המנגנון תלויה בניטור מתמיד של אי החום העירוני, ובשימוש בכלי התכנון האקלימי המתאימים.

## 6.2 מושגים ומשתנים בתכנון אקלימי עירוני

### פרמטרים לניטור אקלימי

משתנה	מושג	
(amplification of) Temperature Values; (lower) Relative Humidity; (moderation in) Wind Speed	UHI – Urban Heat Island	1
Space (Surface Layer/ Urban-Canopy Layer/ Urban-Boundary Layer); Time (Hour, Season)	Spatial & Diurnal Distribution of UHI	2
מאפייני אי החום ברמת המשטח Buildings Orientation; (Materials Properties): Emissivities; Thermal Conductivity (Albedo); Thermal Capacity	Surface UHI	3
מאפייני אי החום במפלס הרחוב (טמפ', לחות יחסית, מהירות רוח)	Urban-Canopy UHI	4
מאפייני אי החום במפלס הגגות (טמפ', לחות יחסית, מהירות רוח)	Urban-Boundary UHI	5
נוצר עקב מאפייני "הגיאומטריה הקניונית" (גובה המבנים ביחס לרוחב הרחוב)	Negative UHI	6
SVF – Sky View Factor	PCI – Park Cool Island	7
Coverage Type; Land Use; Building Material; Activity Patterns	Micro-Climatic Conditions	8
Heat Load; Ventilation	Bio-Climatic Map (Burdens)	9

## פרמטרים בתכנון אקלימי של בינוי עירוני – מרקמים עירוניים

תשריט/ הנחיות	משתנה	מושג	
תשריט ↑	Affected Space  Air Stream  Compensation Space	Climate-Ecology	10
תשריט	Proximity to Burdened Location	Climatic Function (of city spaces)	11
תשריט	Temperature (thermally induced air exchange); Topography (orographically induced air exchange);	Air Exchange	12
תשריט	Cold Air Productivity; Impediment Properties of Surrounding Development	Range of Cold Air Flow	13
תשריט	Hour; Season	Prevailing Wind	14
הנחיות	חתך הרחוב (Height/ Width) גובה המבנים מחולק ברוחב הרחוב	The Urban Canyon/ Canyon Geometry	15
הנחיות	מקדם השטח הפתוח לשמיים מכלל שטח הרקמה הבנויה	SVF – Sky View Factor	16
הנחיות	Land Use	Anthropogenic Heat Sources	17

## פרמטרים בתכנון אקלימי של בינוי עירוני – מתחמי בנייה לגובה

תשריט/ הנחיות	משתנה	מושג	
תשריט (טופוגרפיה עירונית)	Site Coverage; Building Bulk; Building Alignment; Deposition	פרמטרים של תכנון אקלימי במתחמי בנייה לגובה	18
הנחיות	Site-Spatial Average Wind Velocity Ratio (השפעת הפיתוח על הסביבה המיידיית); Local-Spatial Average Wind Velocity Ratio (השפעת הפיתוח על הנעשה בתוכו)	(pedestrian) Wind Environment	19
הנחיות	“Wing Walls” (עיצוב אווירודינמי של מגדלים)	Downwash Wind	20
הנחיות	חשיפה; הצללה; תקופה ביום ובשנה (נבחרת בהתאם לחומרה של הפגיעה, ולשימושים)	זכויות-שמש	21
הנחיות	גובה מקסימלי לבינוי שאינו פוגע בזכויות השמש של בניינים קיימים	מעטפת לזכויות שמש Solar Rights Envelope	22
הנחיות	גובה מינימאלי למיקום מערכות סולאריות בלא להפגע מהצללת מבנים קיימים	מעטפת לקליטת שמש Solar Collection Envelope	23
הנחיות	הנפח הכלוא בין המעטפת לזכויות שמש, לבין המעטפת לקליטת שמש	נפח סולארי Solar Volume	24

## פרמטרים בתכנון אקלימי של צמחיה

תשריט/ הנחיות	משתנה	מושג	
הנחיות – "פרוגרמה אקלימית צמחית"	Foliage Density; Water Content of Vegetation; Soil Moisture; Rate of Shadow; Energy (mixed, from vegetation & ground)	Vegetation	25
הנחיות	מיקום הגן ביחס לבריזה הימית; שיטת גיזום וטיפול בעצים ותיקים; בחירה נכונה של עצים; מיקום העצים בגן	(Vegetation) Cooling Effect	26
הנחיות	גובה חופת הצמחייה; צפיפות נטיעה; מיקום ביחס למרחב	האספקט האקלימי של צמחייה ברחוב העירוני	27

## מקורות

ייעוץ

ד"ר עודד פוצ'טר, החוג לגיאוגרפיה וסביבת האדם, אוניברסיטת תל אביב

## מאמרים

קפלוטו ג., יזיאורו א. ושבִּיב ע., שמירה על זכויות שמש כאסטרטגיה לפיתוח אורבני: מתחם התעסוקה ביצרון, ת"א, מעבדת אקלים ואנרגיה בארכיטקטורה, הפקולטה לארכיטקטורה ובינוי ערים, הטכניון, 2000

Chudnovsky A., Ben-Dor E. and Saaroni H., *Diurnal Thermal Behavior of Selected Urban Objects Using Remote Sensing Measurements*, in Elsevier – Energy and Building vol. 36, 2004, p. 1063-1074

Chudnovsky A. and Ben-Dor E., *Application of Visible, Near-Infrared, and Short-Wave Infrared Reflectance Spectroscopy in Quantitatively Assessing Settled Dust in the Indoor Environment. Case Study in Dwellings and Office Environments*, in [www.elsevier.com/locate/scitotenv](http://www.elsevier.com/locate/scitotenv), 2007

Jendritzky G., Gratz A., Koppe C., Laschewski G., Wetterdienst D., *Urban Development, Urban Climate and Human Health – A Contribution to Methodology*, Human-Biometeorology, Freiburg, Germany, 2002

Ng E., *Air Ventilation Assessment System for High Density Planning and Design*, PLEA2006 – The 23<sup>rd</sup> Conference on Passive and Low Energy Architecture, Geneva, Switzerland, 2006

Potchter O., Yaakov Y. and Bitan A., *Daily and Seasonal Climatic Behavior of a Small Urban Park in a Mediterranean Climate: A Case Study of Gan-Meir Park, Tel-Aviv, Israel*, Department of Geography and the Human Environment – Unit for Applied Climatology and Environmental Aspects, Tel-Aviv University, Israel, 1999

Saaroni H., Ben-Dor E., Bitan A. and Potchter O., *Spatial Distribution and Microscale Characteristics of the Urban Heat Island in Tel-Aviv, Israel*, in Elsevier – Landscape and Urban Planning vol. 48, 2000, p. 1-18

## אתרי אינטרנט

<http://www.stadtentwicklung.berlin.de/umwelt/umweltatlas>  
[www.stadtentwicklung.berlin.de/umwelt/umweltatlas/ei411.htm](http://www.stadtentwicklung.berlin.de/umwelt/umweltatlas/ei411.htm)  
<http://www.metro.tokyo.jp/ENGLISH/TOPICS/2005/ff56101.htm>