

כנס ערים רגישות מים בישראל, אוניברסיטת תל אביב, יולי 2019

סדנת מידול הידרולוגי ואקלימי

חלק שני: מיקרו-אקלים עירוני

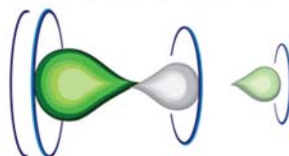
פרופ' אביתר אראל¹ וד"ר אביבה פיטרס²

¹ אוניברסיטת בן-גוריון בנגב

² TerraVision Lab



The Center for Water
Sensitive Cities in Israel
המרכז לערים רגישות
מים בישראל





חלק שני: מיקרו-אקלים עירוני וצמחייה

1. אי החום העירוני
2. תוכנות סימולציה: ENVI-met, WRF, CAT
3. נוחות תרמית של בני אדם
4. השפעת הצמחייה



"Mean Temperature of the Climate, ... is strictly about 48.5F: but in the denser parts of the metropolis, the heat is raised, by the effect of the population and fires, to 50.50, and it must be proportionately affected in the suburban parts. The excess of the Temperature in the city varies through the year, being least in spring, and greatest in winter; and it belongs, in strictness, to the nights; which average three degrees and seven tenths warmer than in the country; while the heat of the day, owing without a doubt to the interception of a portion of the solar rays by a veil of smoke, falls, on a mean of the years, by about a third of a degree short of that in the open plain."

(Howard, 1820)

השערות

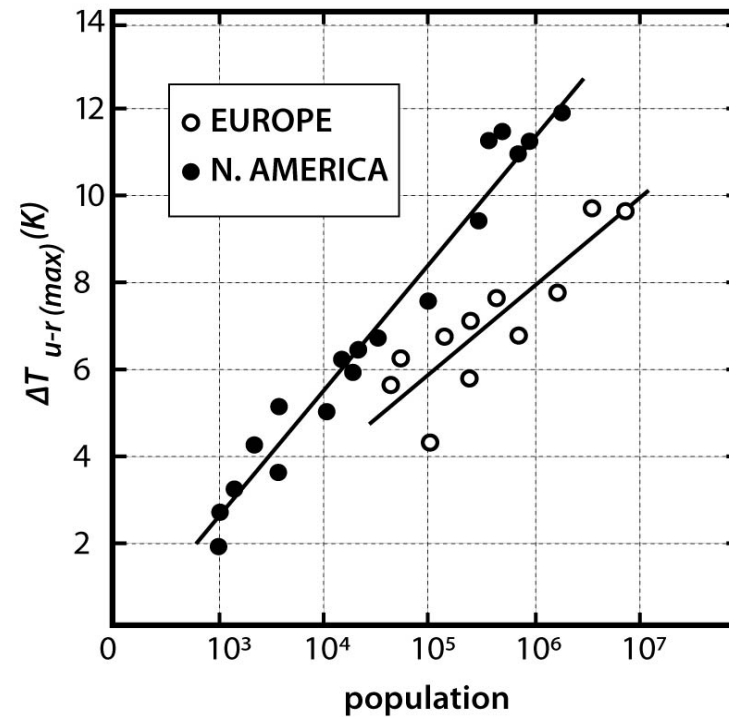
- השפעת הצפיפות
- חום אנתרופוגני (פעילות בני האדם)
- בליעה של קרינת שמש ביום

תופעות

- הבדל בין העיר לכפר
- הבדלים עונתיים
- דפוסים יומיים

העוצמה המרבית של אי החום העירוני (1)

(Oke, 1973)



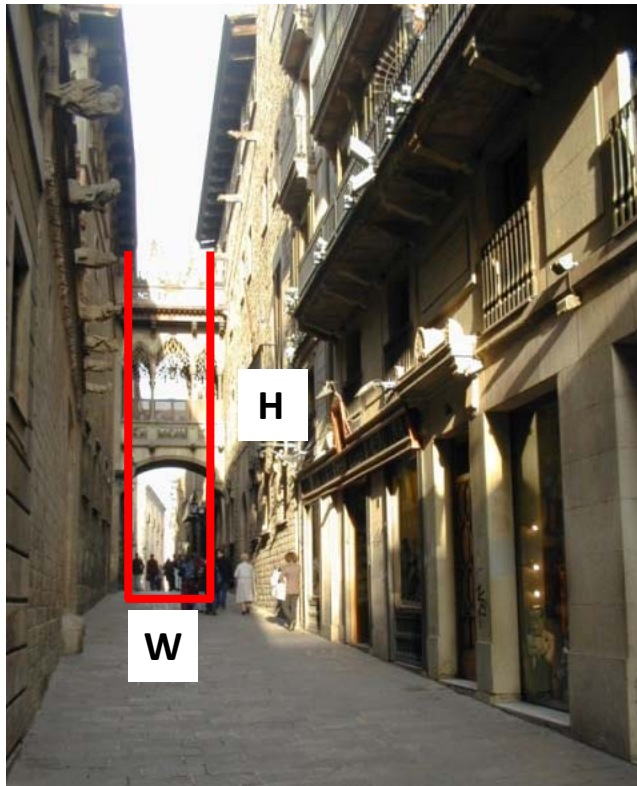
היחס בין העוצמה המרבית של אי החום העירוני
ומספר התושבים בערים באירופה וצפון אמריקה

(Redrawn from Oke, 1973)

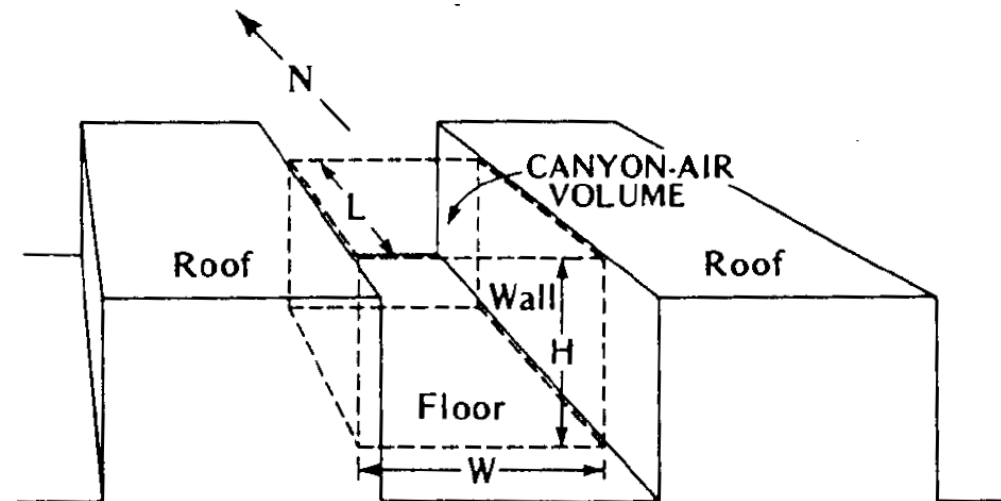
הקניון העירוני (the urban street canyon)



(Nunez & Oke, 1977)

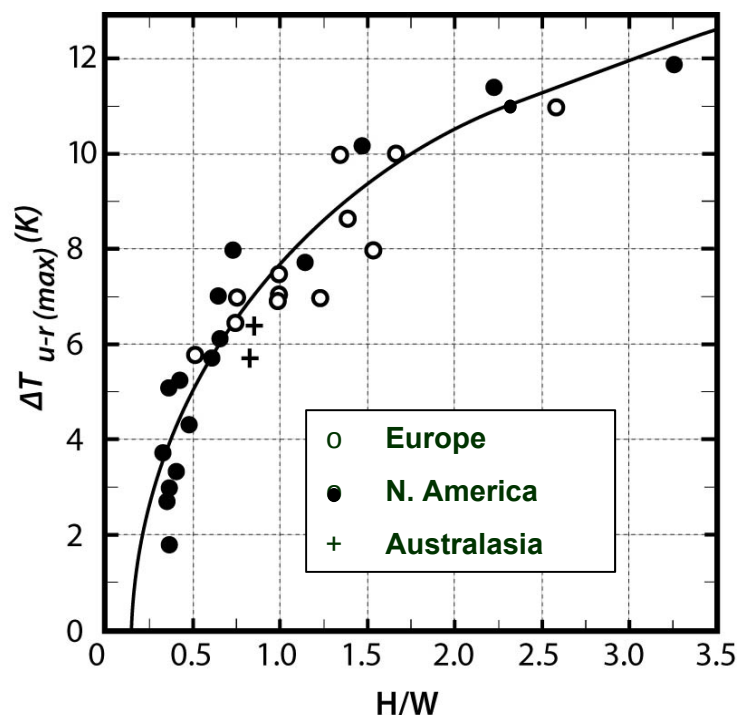


$$H/W = \sim 3.5$$



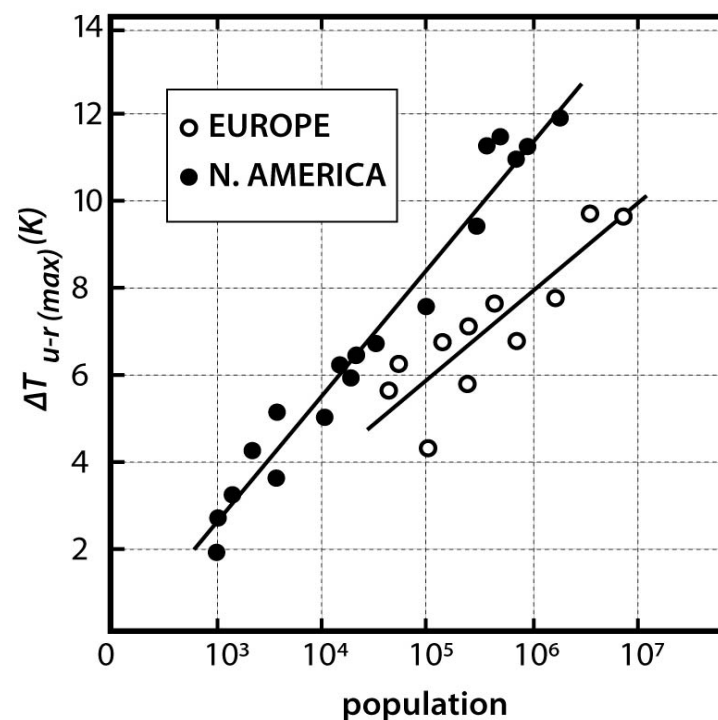
העוצמה המרבית של אי החום העירוני (2)

(Oke, 1987)



היחס בין העוצמה המרבית של אי החום העירוני
והיחס בין גובה הבניינים לרוחב הרחוב במרכזן של
31 ערים בעולם

(Redrawn from Oke, 1987)



היחס בין העוצמה המרבית של אי החום העירוני
ומספר התושבים בערים באירופה וצפון אמריקה

(Redrawn from Oke, 1973)

מה גורם לאי החום העירוני?



(Oke, 1982)

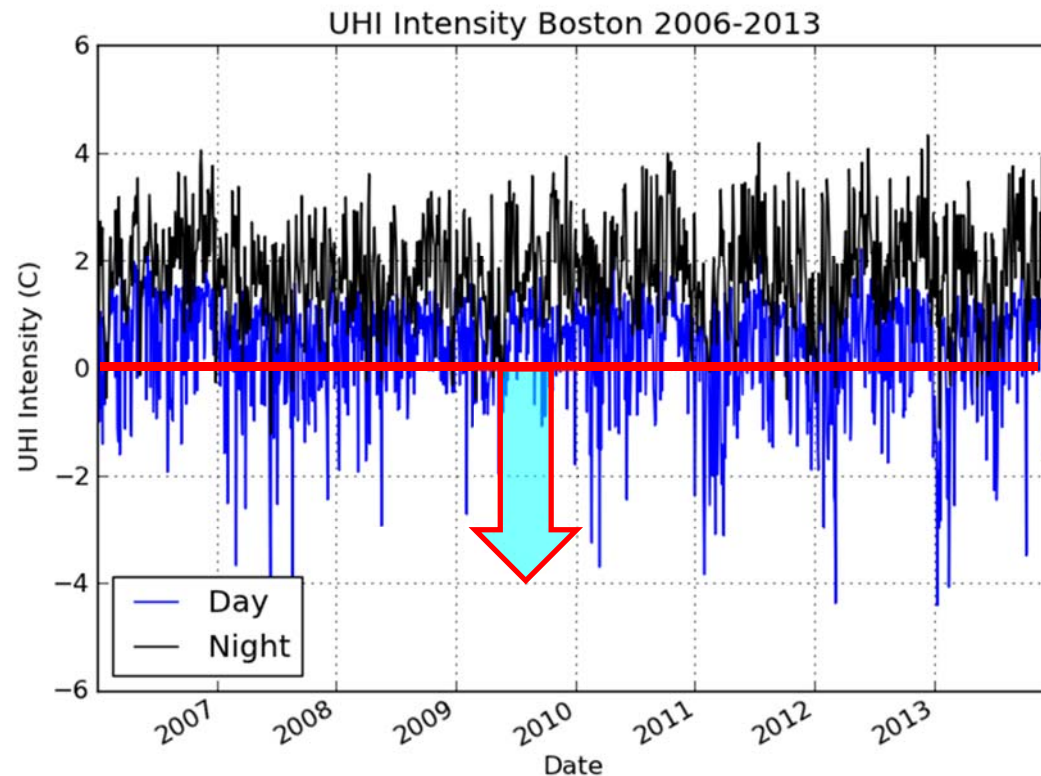
TABLE 2. SUGGESTED 'CAUSES' OF THE URBAN HEAT ISLAND (Not rank ordered)

Altered energy balance terms leading to positive thermal anomaly	Features of urbanization underlying energy balance changes
<i>A. Canopy layer</i>	
1. Increased absorption of short-wave radiation	Canyon geometry – increased surface area and multiple reflection
2. Increased long-wave radiation from the sky	Air pollution – greater absorption and re-emission
3. Decreased long-wave radiation loss	Canyon geometry – reduction of sky view factor
4. Anthropogenic heat source	Building and traffic heat losses
5. Increased sensible heat storage	Construction materials – increased thermal admittance
6. Decreased evapotranspiration	Construction materials – increased 'water-proofing'
7. Decreased total turbulent heat transport	Canyon geometry – reduction of wind speed

Note: Part B of the table (not shown) deals with the urban boundary layer

“On the basis of observation, (as summarized in Section 3) or as a result of the constrained conditions, we may effectively eliminate ‘causes’ A1, A2, A4, A6 and A7 in Table 2 from further consideration. Thus urban/rural energy balance and cooling rate differences will depend simply upon the relative strengths of the net long-wave radiative sink and the sub-surface heat store in each environment (i.e. ‘causes A3 and A5). Ceteris paribus the relevant and therefore critical properties governing these differences are the **radiation geometry** (ψ_s) and the **surface thermal properties** (given by the thermal admittance μ).”

מתי מתרחש אי החום העירוני



Hardin & Vanos, 2014

$$UHI = T_{avg_urb} - T_{avg_rur}$$

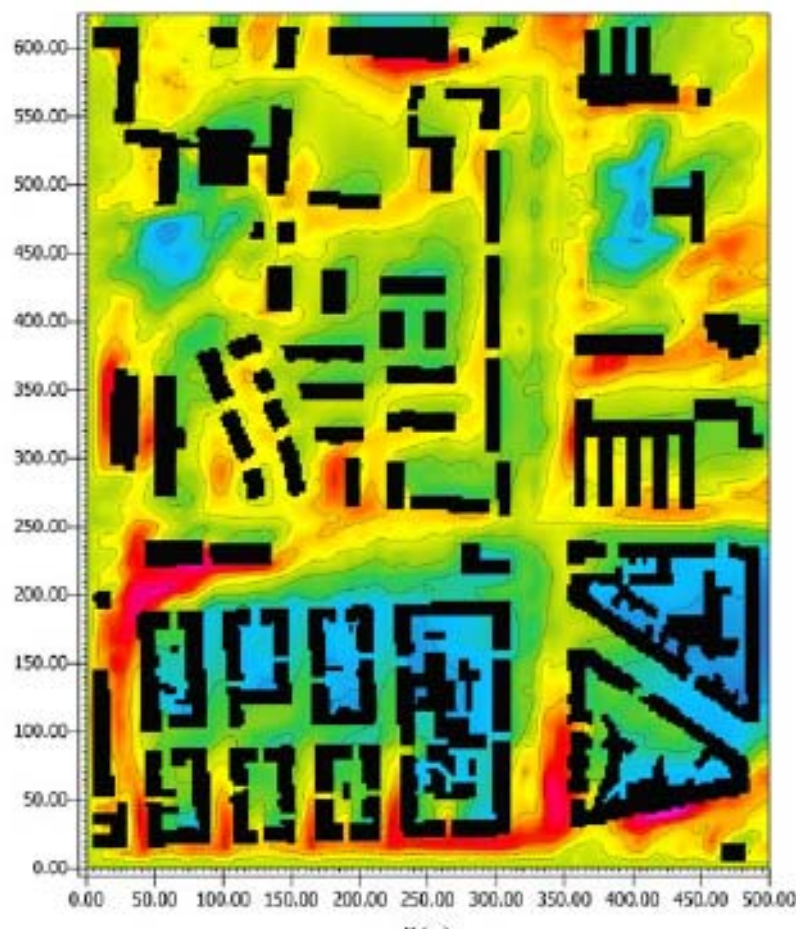
18 תחנות 'עירוניות' ו-18 תחנות 'כפריות' מייצגות נבחרו מתוך רשת של 103 תחנות באזור בוסטון רבתי

יום: השעות בין הזריחה לשקיעה (מתעדכן לפי עונות השנה)

- אי החום העירוני מתרחש בעיקר בלילות, בימים יתכן אפילו 'אי קור' עירוני מתון
- שונות גדולה (מושפעת מתנאים סינופטיים)

כלי סימולציה (1): ENVI-met

<https://www.envi-met.com/>



Distribution of air temperature at neighborhood level at 14:00

סימולציות נומריות של המרחב הבנוי
ברזולוציה גבוהה. משלבת חישובים
תרמו-דינמיים, תנועת זורמים
ופיזיולוגיה של צמחיה.

מאפשרת הדמיה לפרקי זמן קצרים
בלבד (24-48 שעות)

כלי סימולציה (2): Weather Research and Forecasting (WRF)

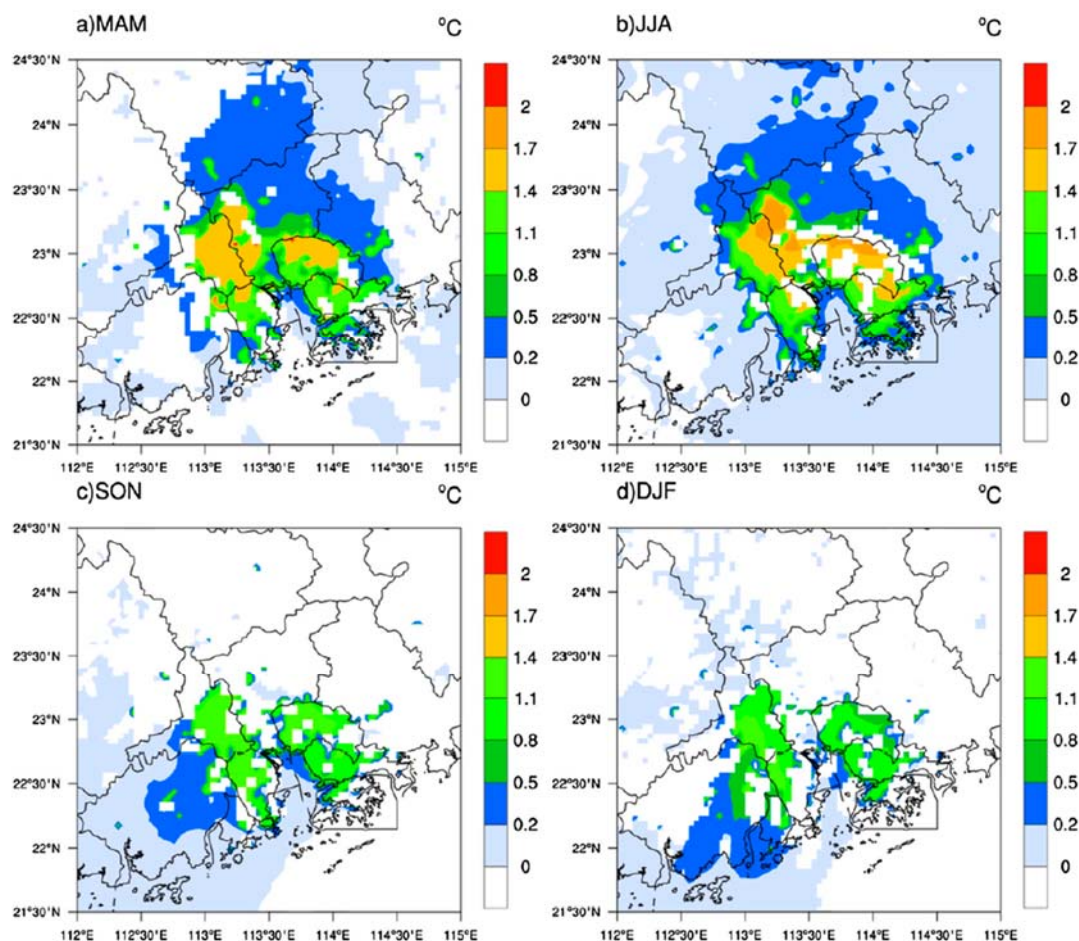


FIG. 5. Difference in the seasonal-average T_2 between the URB and NOURB cases for (a) MAM, (b) JJA, (c) SON, and (d) DJF. Differences that were not significant at the 95% confidence level (Student's t test) have been masked out.

מודל נומרי בקנה מידה
אזורי המשמש למחקר
וחיזוי.

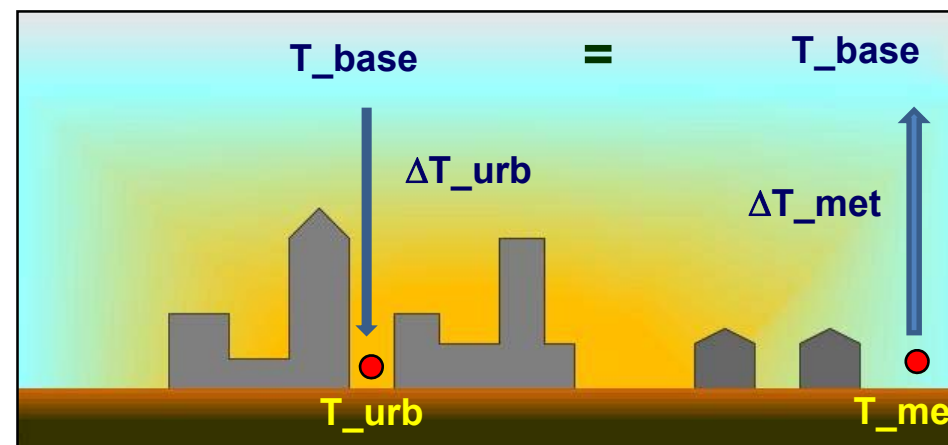


כלי סימולציה (3): Canyon Air Temperature (CAT)

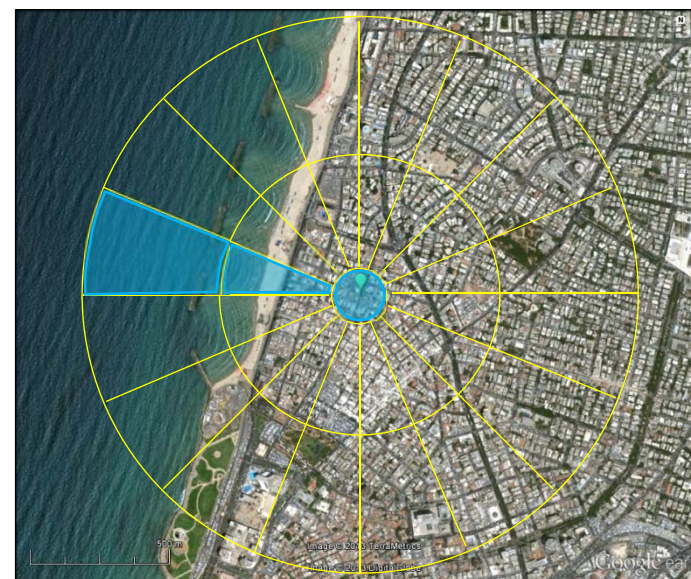
(Erell & Williamson, 2006; Erell et al, 2010)

סימולציה של השפעות העיר על טמפרטורה, לחות, רוח וכו', בהתחשב במאפיינים

- גיאומטריית הבניינים
- חום אנתרופוגני
- הסעת לחות



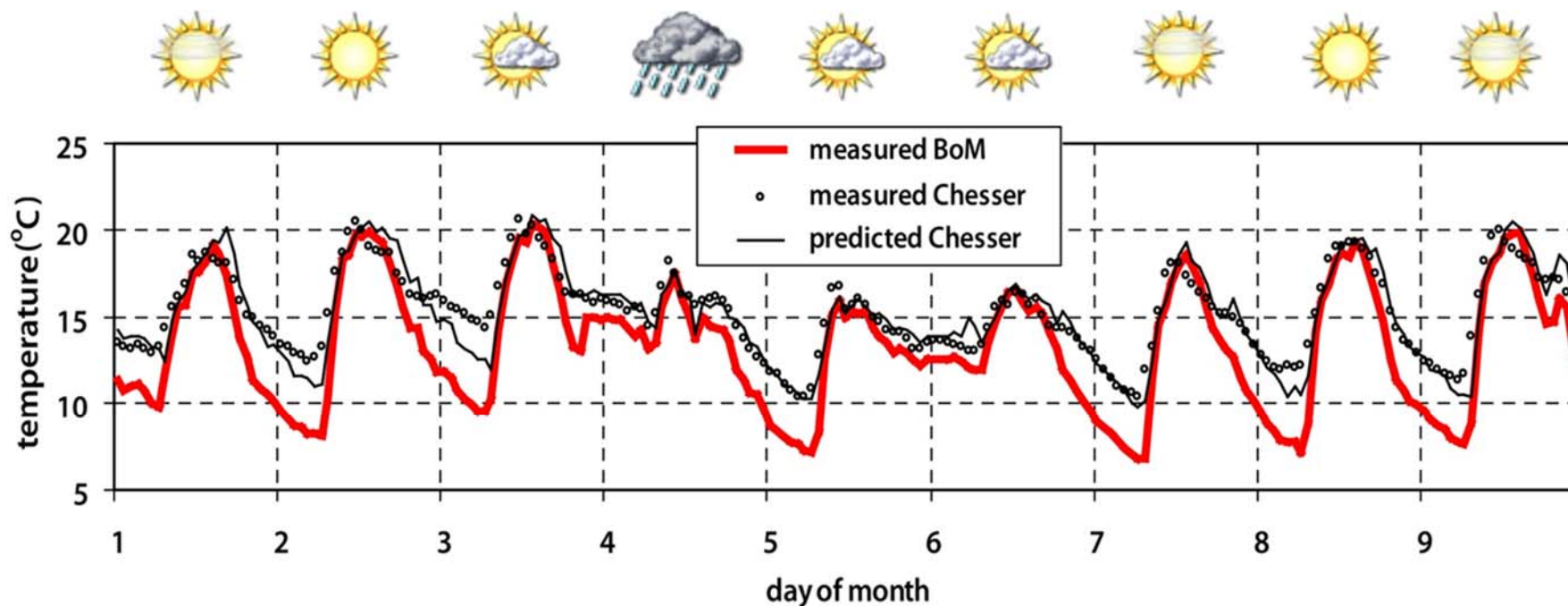
הפקת 'שנה מטאורולוגית אופיינית' (TMY) בכל נקודה בעיר על בסיס נתונים מטאורולוגיים הנמדדים בתחנת ייחוס, בדרך כלל מחוץ לעיר (שדה תעופה)



אימות מודל CAT: מדידות בעיר אדלייד (אוסטרליה)



Erell & Williamson, 2006

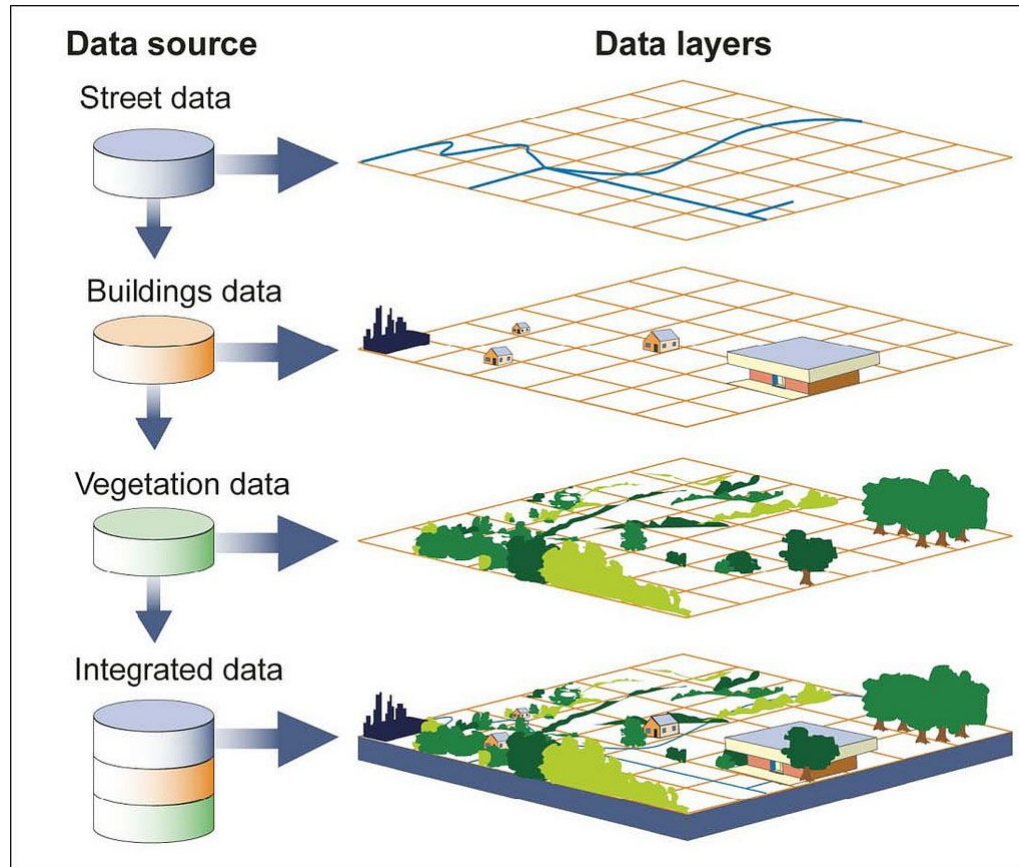


The Canyon Air Temperature (CAT) model - comparison of observations and predictions.
Adelaide, Australia, May 2000

התאמת מודל CAT למודל מרחבי והוספת צמחייה



Kaplan et al, 2016



קלט נדרש:

✓ מנת הממדים של הרחוב (H/W)

✓ כיוון הרחוב (אזימוט)

✓ כיסוי צמחייה

✓ גופי מים תכונות תרמיות של הקרקע



גורמים המשפיעים על טמפרטורת הגוף והנוחות התרמית

גורמי סביבה

- ☐ טמפרטורת אוויר [deg C]
- ☐ מאזן קרינה [deg C]
- ☐ לחות [%]
- ☐ תנועת אוויר [m/s]

גורמים אישיים

- ☐ לבוש [clo]
- ☐ קצב מטבולי [met]





מדד משולב לנוחות תרמית: הטמפרטורה הפיזיולוגית השקולה

הטמפרטורה הפיזיולוגית השקולה (בבניינים או מחוץ להם) היא הטמפרטורה אשר תביא לכך שהמאזן התרמי של אדם החשוף לתנאים בסביבה יהיה זהה לזה של אדם השוהה בחדר אופייני בתנאי ייחוס נתונים *.

* תנאי הייחוס:

✓ לחות (VP) 12 הקטופסקל

✓ מהירות רוח (v) 0.1 מ'
לשנייה

✓ טמפרטורה קורנת ממוצעת
(T_{mrt}) שווה לטמפרטורת
האוויר

✓ קצב מטבולי 80 וואט, נוסף
על פעילות מטבולית חיונית

✓ ביגוד שווה ערך ל-0.9
יחידות לבוש (clo).

PET (°C)	T _a (°C)	T _{mrt} (°C)	v (m/s)	VP (hPa)	
21	21	21	0.1	12	חדר ייחוס
10	-5	40	0.5	2	חורף בשמש
-13	-5	-5	5.0	2	חורף בצל
43	30	60	1.0	21	קיץ בשמש
29	30	30	1.0	21	קיץ בצל



שילוב צמחייה בעיר (1): פארקים וגינות ציבוריות

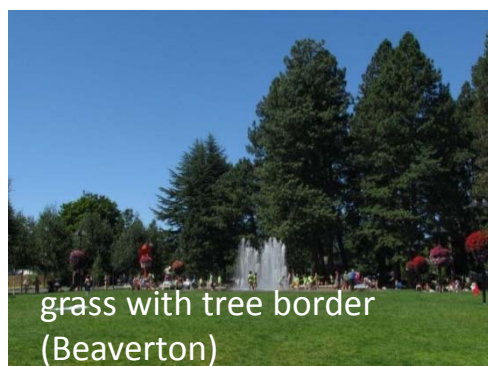
(Spronken-Smith & Oke, 1998)



grass (Arlington)



garden
(San Francisco)



grass with tree border
(Beaverton)



forest (Tokyo)



savanna
(San Francisco)



multi-use
(Beaverton)

אי קור ביום	אי קור בלילה	
פארקים מושקים היטב עם הרבה עצים	פארקים יבשים עם מיעוט עצים	סוג הפארק
קירור באידוי והצללה: עצים מצלים על הקרקע; דשא (מושקה) קריר יותר ממשטחים מרוצפים	קירור קרינתי: חשיפה כמעט מלאה לשמים	מנגנונים פעילים
עוצמת אי קור מרבית אחר הצהרים או לפנות ערב	עוצמת אי קור מרבית מספר שעות אחרי השקיעה	דפוס עיתי

שילוב צמחייה בעיר (2): רחובות



(Grimmond et al, 1996)



ההשפעה של חופת עצים
צפופה עלולה להיות הפוכה
לאינטואיציה:

- אלבדו נמוך, לכן העצים בולעים יותר קרינת שמש
- הצללה על הקרקע, כך שטמפרטורת הריצוף נמוכה יותר ונפלטת פחות קרינה אינפורה-אדומה
- קירור באידוי-דיות מהעלווה (אך ההשפעה תורגש בעיקר מעל העצים!)



שילוב צמחייה בעיר (3): על גבי הבניינים



גגות ירוקים

- צימוד תרמי לרחוב חלש מאוד
- התרומה לתפקוד התרמי של הבניין דומה לגג לבן עם בידוד תרמי דומה
- התועלת (בקיץ) תלויה בזמינות מים לצינון באידוי – גשם או השקיה
- מפחיתים את כמות הנגר העילי ואת ספיקות השיא



קירות ירוקים

- ההשפעה על הרחוב תלויה בגובה החזית
- דורשים השקיה
- התועלת (בקיץ) תלויה בזמינות מים לצינון באידוי – גשם או השקיה

שילוב צמחייה בעיר (4): בחצרות הבניינים



Shashua-Bar, Erell and Pearlmutter (2009)

ניסוי מבוקר בוצע בשתי חצרות סמוכות במדרשת בן-גוריון. החצרות היו כמעט זהות במידותיהן ובהרכב החומרים, אך באחת היו 3 עצים, ובשנייה לא.

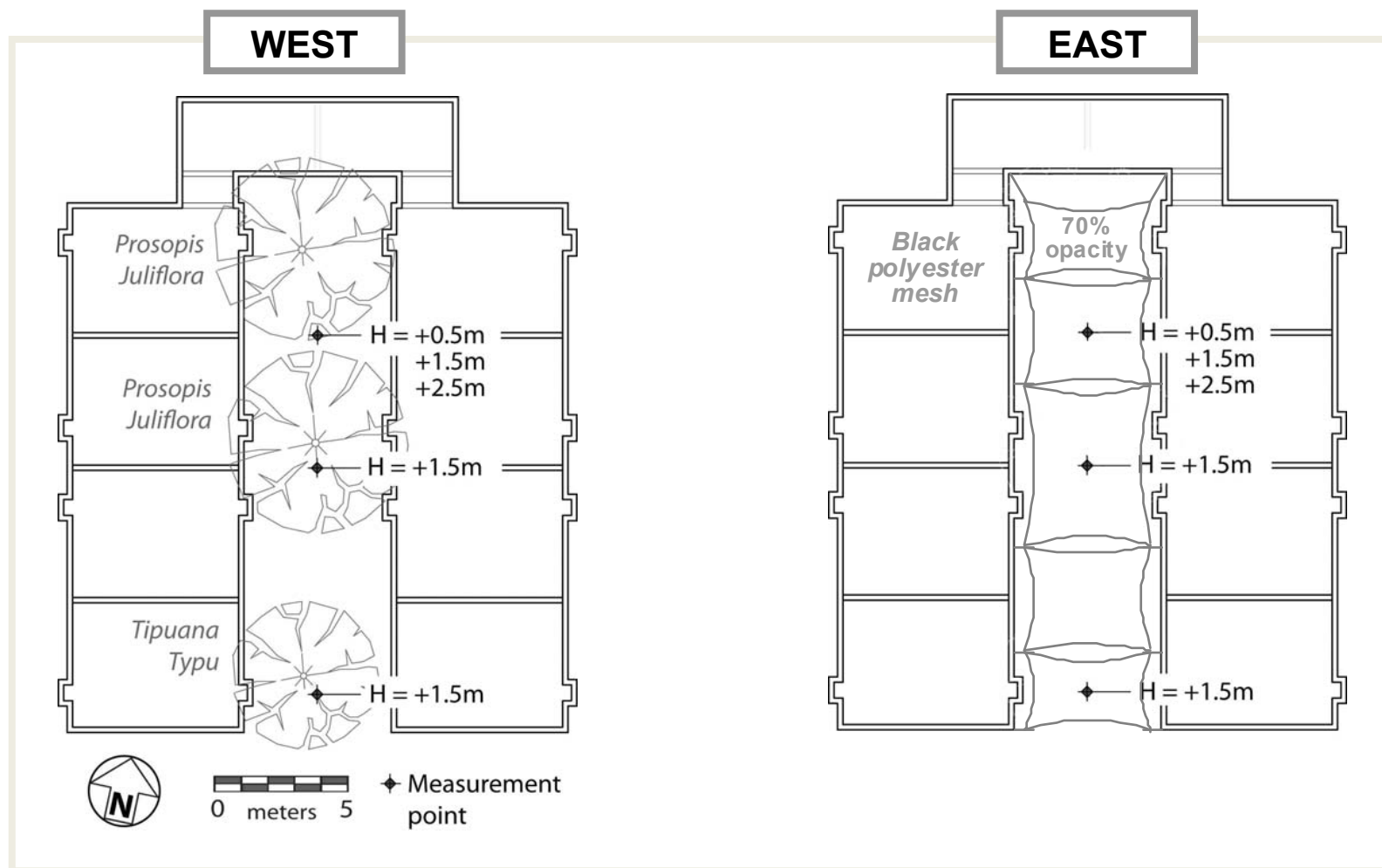
WEST



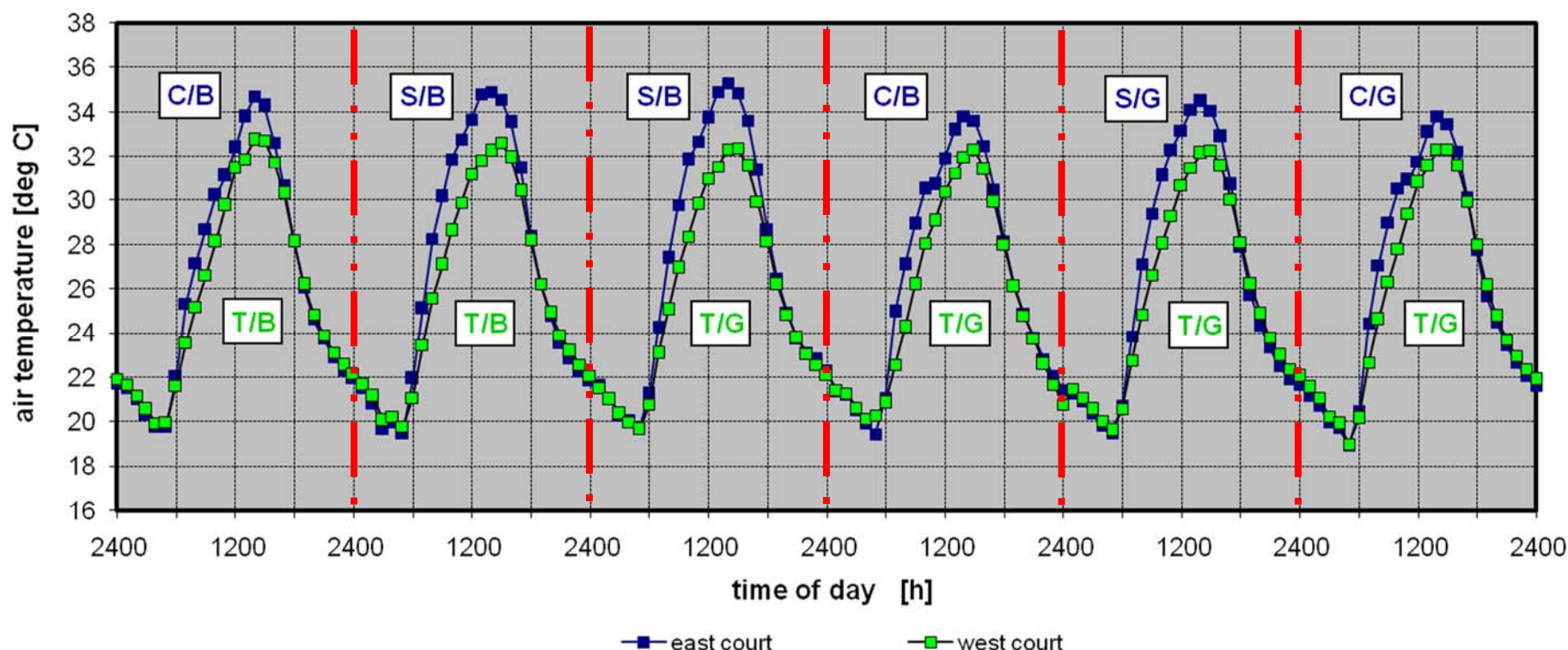
EAST



תכנית החצרות ומיקום נק' המדידה



טמפרטורת אוויר (מנורמלת*)



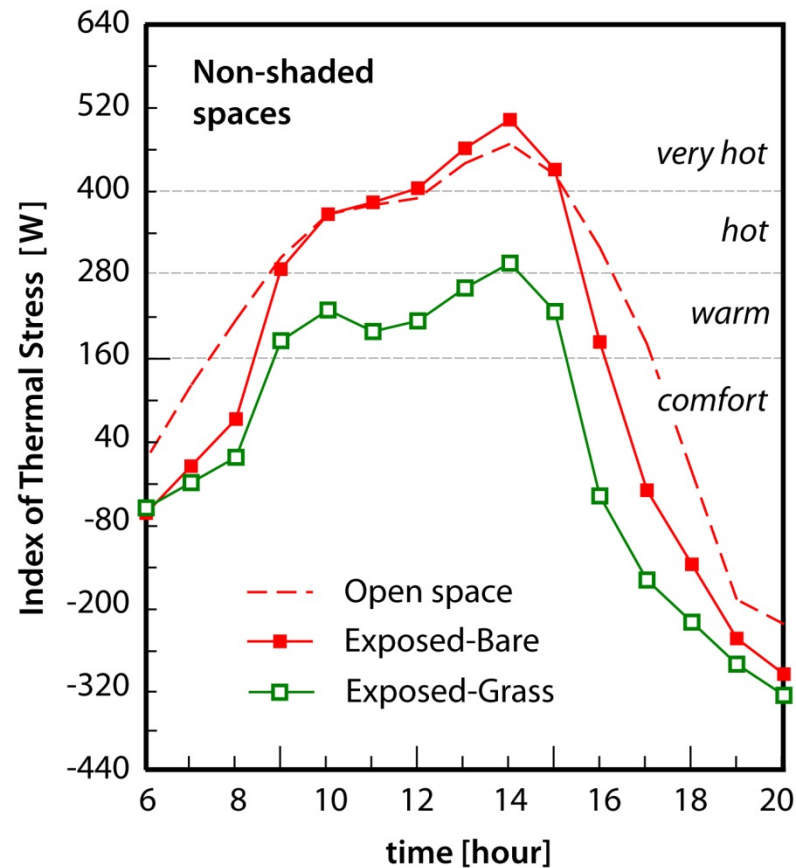
Clear / Bare	Clear / Grass
Trees / Bare	Trees / Grass
Shade / Bare	Shade / Grass

* טמפרטורת האוויר בחצר בכל שעה נתונה 'תוקנה' לפי היחס בין הטמפרטורה אשר נמדדה באותו זמן בתחנה המטאורולוגית בקמפוס והטמפרטורה הממוצעת לאותה בכל תקופת הניסוי.

Thermal stress and thermal sensation (i)



(Shashua-Bar, Erell and Pearlmutter, 2011; Pearlmutter et al, 2007)



Exposed-Bare

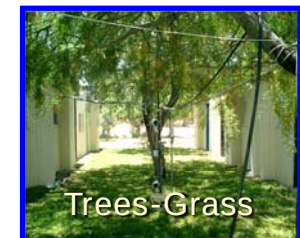
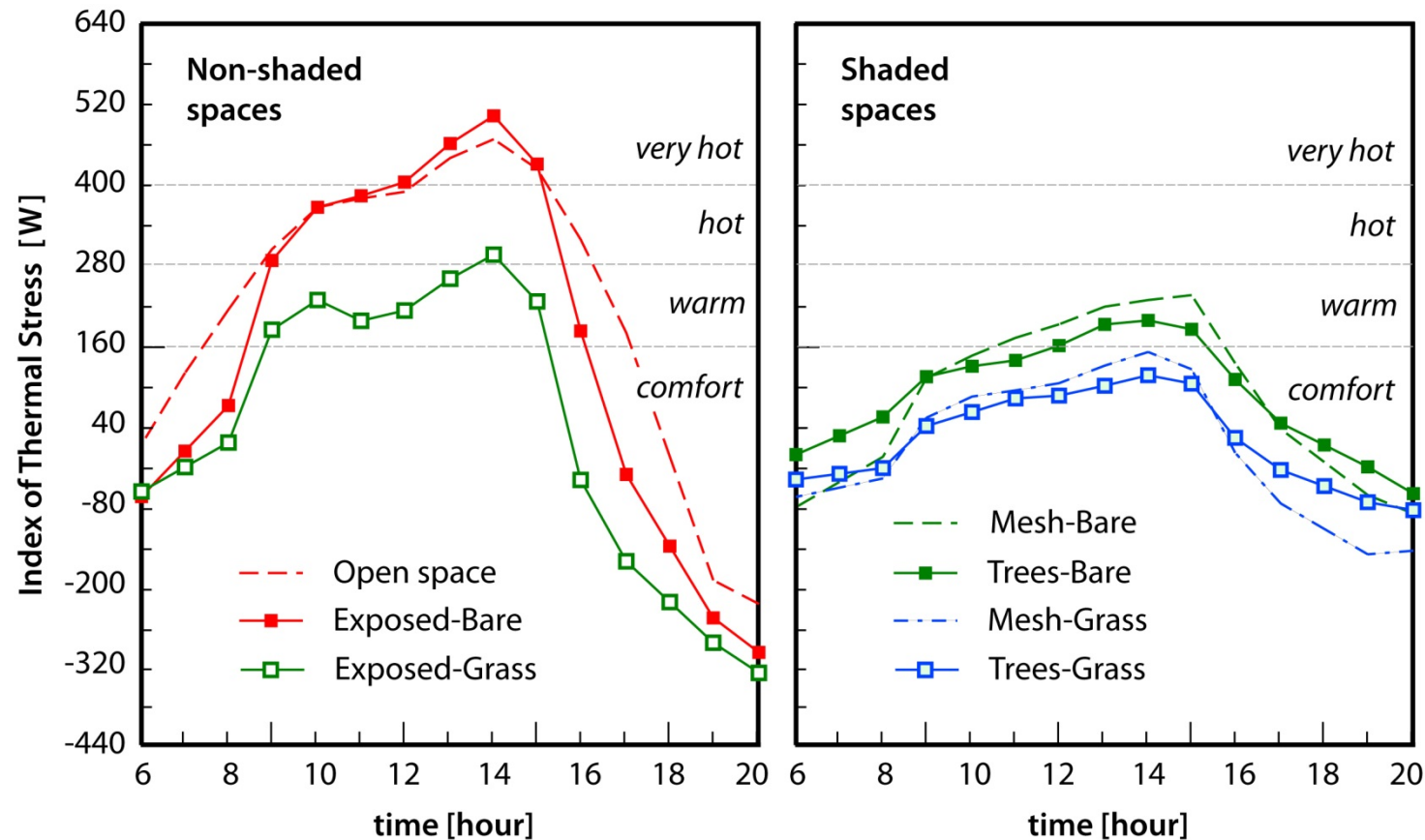


Exposed-Grass

עומס תרמי ותחושת הנוחות

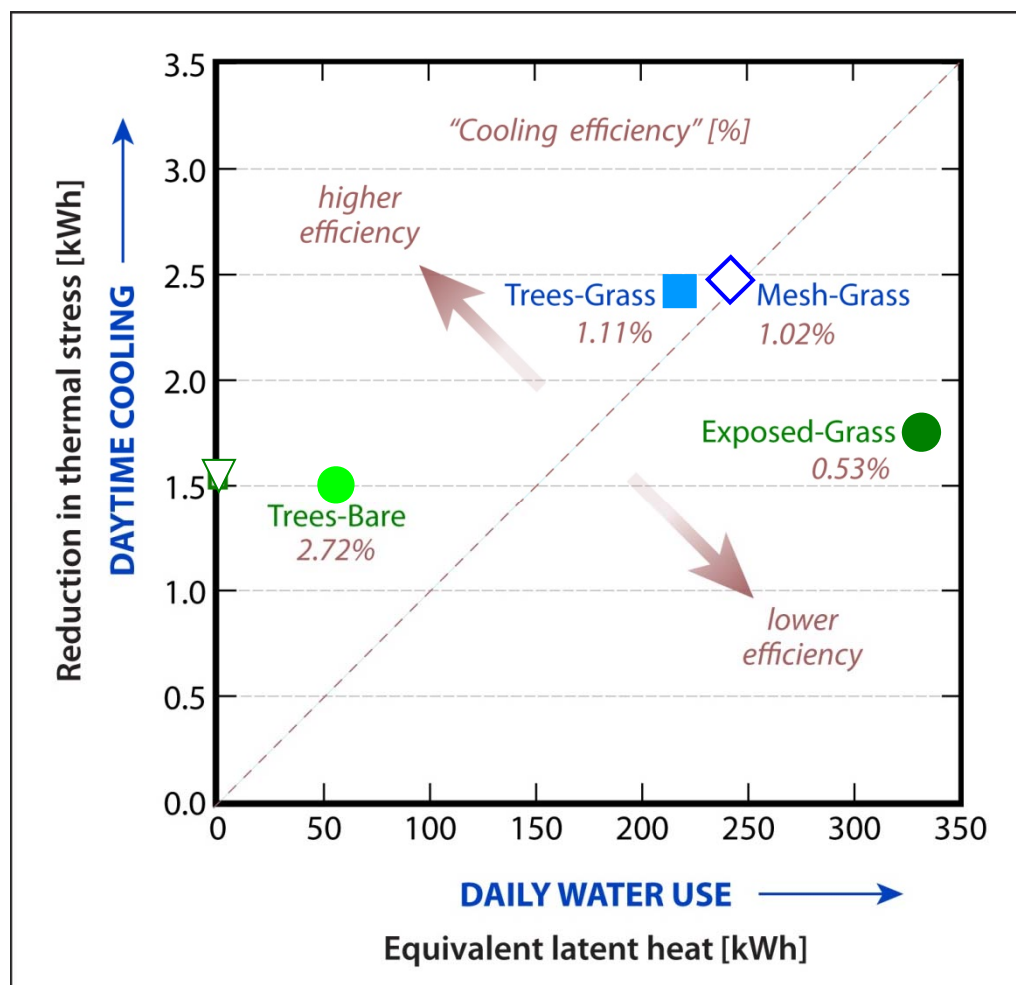


(Shashua-Bar, Erell and Pearlmutter, 2011)





יעילות הצינון: קירור לעומת צריכת מים



יעילות הצינון:

היחס בין הצינון שהושג (בשעות היום בלבד) וצריכת המים במהלך היממה, באחוזים.

צינון - כמות האנרגיה השקולה להורדת טמפרטורת האוויר אשר נמדדה (קוט"ש)

צריכת המים – שטף חום כמוס שווה ערך לאידוי כמות המים הכוללת אשר נמדדה (קוט"ש)



השפעת הצמחייה - סיכום



➤ בכל החלופות היה שיפור גדול בנוחות התרמית, אבל ההפחתה הגדולה ביותר בעומס החום הושגה על ידי **שילוב של עצים ודשא**.



➤ **יעילות הצינון הגבוהה ביותר**, בהתחשב בצריכת המים, הושגה על ידי עצים בלבד (ללא דשא!)



➤ תרומת הדשא לנוחות התרמית מושגת על חשבון צריכת מים גבוהה, במיוחד כאשר הוא חשוף לשמים ואינו מוצל על ידי עצים או אמצעי הצללה אחר (כגון רשת צל).



➤ לצמחייה עשויה להיות תרומה גדולה לנוחות התרמית גם אם תרומתה להפחתת הטמפרטורה היא זניחה!



פרופ' אביתר אראל

המחלקה לגאוגרפיה ופיתוח סביבתי והמכונים לחקר המדבר ע"ש יעקב בלאושטיין
אוניברסיטת בן-גוריון בנגב

erell@bgu.ac.il

08-6596878

www.bgu.ac.il/~erell



- ❖ Erell, E. and Williamson, T., 2006. Simulating air temperature in an urban street canyon in all weather conditions using measured data at a reference meteorological station, International Journal of Climatology, 26, 1671-1694.
- ❖ Erell E., Eliasson E., Grimmond S., Offerle B. and Williamson T. (2010) "The effect of stability on estimated variations of advected moisture in the Canyon Air Temperature (CAT) model". The 9th AMS Symposium on the Urban Environment, Keystone, Co., Aug. 2-6 2010.
- ❖ Hoppe, P. (1999) "The physiological equivalent temperature – a universal index for the biometeorological assessment of the thermal environment". International Journal of Biometeorology, 43:71-75.
- ❖ Kaplan S., Peeters A. and Erell E. (2016). Predicting air temperature simultaneously for multiple locations in an urban environment: a bottom up approach. Applied Geography, 76:62-74.
- ❖ Nunez, M. and Oke, T. (1976). The energy balance of an urban canyon. Journal of Applied Meteorology 16:11-19.



- ❖ Oke, T.R. (1973). "City size and the urban heat island", Atmospheric Environment, 7(8):769-779.
- ❖ Oke, T.R. (1981). "Canyon geometry and the nocturnal urban heat island: comparison of scale model and field observations", Journal of Climatology, 1(3):237-254.
- ❖ Oke, T. R. (1987). Boundary Layer Climates. London & New York, Methuen.
- ❖ Shashua-Bar L., Pearlmutter D. and Erell E. (2009). "The cooling efficiency of urban landscape strategies in a hot dry climate". Landscape and Urban Planning, 92(3-4):179-186.
- ❖ Shashua-Bar L., Pearlmutter D. and Erell E. (2011). "The influence of trees and grass on outdoor thermal comfort in a hot-arid environment". International Journal of Climatology, 31(10): 1498–1506.
- ❖ Spronken-Smith R. and Oke T. (1998) "The thermal regime of urban parks in two cities with different summer climates", International Journal of Remote Sensing 19(11):2085-2104.