

המשרד להגנת הסביבה



الوزارة لحماية البيئة
Israel Ministry of Environmental Protection
לשכת המדענית הראשית



שינויי אקלים תכנון עירוני ובנייה ירוקה

2015

המשרד להגנת הסביבה



الوزارة لحماية البيئة
Israel Ministry of Environmental Protection

שינויי אקלים תכנון עירוני ובנייה ירוקה

2015

במסמך זה רוכז מידע בנושא תכנון עירוני ובניה ירוקה בעידן של שינוי אקלים. המידע בנושא שינויי אקלים וההשלכות על התכנון והבניה הירוקה לקוח מתוך דוחות שהגיש מרכז הידע להיערכות לשינוי אקלים בישראל למשרד להגנת הסביבה (2012, 2013). נתוני האקלים נלקחו מדוחות השירות המטאורולוגי במשרד התחבורה (2011, 2014, 2015).

הדוח בנושא השינויים האקלימיים בעבר ותחזיות עתידיות הוכן על ידי ראש צוות אקלים פרופ' חיים קותיאל מאוניברסיטת חיפה בסיוע סיגל קלדרון. חברי צוות האקלים במרכז הידע היו: ד"ר יעקב אביעד (אונ' חיפה), פרופ' פנחס אלפרט (אונ' תל-אביב), פרופ' אורי דיין (אונ' העברית), ד"ר נח וולפסון (חב' מטאוטק), ד"ר ברוך זיו (אונ' הפתוחה), פרופ' אברהם זנגביל (אונ' בן-גוריון), ד"ר יואב לוי (שירותים מטאורולוגים), ד"ר מיכל לייכטר (אונ' העברית), ד"ר אפרת מורין (אונ' העברית), ד"ר ארנה מצנר (המשרד להגנת הסביבה), פרופ' הדס סערוני (אונ' תל-אביב), ד"ר עודד פוצ'טר (מכללת בית ברל), מר אבנר פורשפן (שירותים מטאורולוגים), ד"ר שלומית פז (אונ' חיפה), פרופ' נתן פלדור (אונ' העברית), ד"ר דב צביאלי (אונ' חיפה) ופרופ' שמעון קריצ'ק (אונ' תל-אביב).

דוחות בנושא שינויי אקלים, תכנון עירוני ובנייה ירוקה הוכנו על ידי פרופ' גדי קפלוטו (טכניון) ועל ידי ד"ר תמר טרופ (אונ' חיפה) בשיתוף חברי ועדת ההיגוי של צוות בנייה ירוקה שכללו את אדר' ויקטוריה בלמן, אדר' תמר בן-יצחק, אדר' גנית קאופמן, אדר' טניה קוגן מהפקולטה לארכיטקטורה ובינוי ערים בטכניון. תודות לאנשי המשרד להגנת הסביבה גב' גלית כהן, גב' גלית פלצור ואדר' יונתן אלעזר. המתווה להיערכות הרשויות המקומיות בתחום הוכן על ידי ד"ר תמר טרופ (אונ' חיפה) והיבטים הכלכליים על ידי ד"ר ציפי עשת (אונ' חיפה).

חומר בנושא היערכות לשינויי אקלים ודוחות מרכז הידע לשינויי אקלים מפורסמים בשלמותם לרבות רשימת מקורות המידע והקרדיט לתמונות באתר המשרד להגנת הסביבה: www.sviva.gov.il וכן באתר האינטרנט של מרכז הידע לשינויי אקלים www.iccic.org.il.

יצוין כי דוחות מרכז הידע, הערכותיו והמלצותיו אינם מחייבים את המשרד להגנת הסביבה והם משקפים את עמדות כותבי הדוחות.

המסמך נערך על ידי ד"ר ארנה מצנר וד"ר סיני נתניהו - לשכת המדענית הראשית, המשרד להגנת הסביבה.

שינויי האקלים משפיעים על משק האנרגיה, משק המים, המגוון הביולוגי והכלכלה וכך משפיעים על איכות חיינו ויוקר המחיה. מענה חשוב להשפעות שינויי האקלים טמון בתכנון סביבתי ובבניה ירוקה אשר מהווים הכרח במציאות בה קיים גידול דמוגרפי, מחסור בקרקע, באנרגיה ובמים ורצון להיטיב את איכות חיינו וליצור סביבה תומכת לחיים בריאים וטובים יותר.

דו"ח ההערכה החמישי של הפאנל הבין ממשלתי לשינויי אקלים (IPCC) מציין את הסיכונים באזורים עירוניים הכוללים בין היתר סיכונים פגיעה קשה באוכלוסיות עירוניות גדולות כתוצאה משיטפונות בתוך המדינה. רוב מדינות העולם מכינות תכניות להיערכות לשינויי אקלים. באזורים שונים הדגשים שונים וניתן למצוא התייחסות לפעולות הסתגלות והערכות בתחומים הבאים: ניהול סיכונים אסונות, אימוץ טכנולוגיות ותשתיות, גישות המשלבות מערכות אקולוגיות, שימור וחקלאות, ניהול חופים ומשאבי מים, תכנון רגיש לעליית מפלס הים, היערכות ברמה עירונית בהשקעות ארוכות טווח בתחום האנרגיה התשתיות הציבוריות והתכנון.

מעל ל-90% מהאוכלוסייה בישראל חיה בישובים עירוניים. לערים יש תפקיד חשוב בהתמודדות עם משבר האקלים הן בתחום הפחתת פליטות גזי חממה (סקטור המבנים אחראי לכ-40% מצריכת האנרגיה בעולם וכשליש מפליטות גזי החממה) והן בתחום ההיערכות וההסתגלות. העלייה בטמפרטורות לרבות תופעת איי החום, אירועי הקיצון והשלכות כלל שינויי האקלים מחייבים את המתכננים בערים להטמיע שיקולים של היערכות לשינויי האקלים ואת הרגולטורים ברמה הלאומית והמקומית לקדם את נושא הבניה הירוקה. כיוון שכל עיר בעלת מאפיינים ייחודיים, לרשות המקומית תפקיד מפתח בהובלת התכנון המקיים והבניה הירוקה.

על פי החלטות הממשלה 474 ו-1504 מגבש המשרד להגנת הסביבה המלצות להיערכות מדינת ישראל לשינויי האקלים הצפויים באזורנו באמצעות ועדת מנכ"לים שבראשה עומד מנכ"ל המשרד להגנת הסביבה. לצורך איסוף הידע המדעי וגיבוש המלצות, הקים המשרד את מרכז הידע לשינויי אקלים באוניברסיטת חיפה.

חוברת זו מרכזת את המידע וההמלצות מדוחות מרכז הידע בתחום התכנון העירוני והבניה הירוקה לצורך קידום הנושא לטובת החברה בישראל.

ד"ר סיניה נתניהו
המדענית הראשית
המשרד להגנת הסביבה

תוכן עניינים

8	תקציר מנהלים
9	מבוא
10	פרק 1 שינויים אקלימיים באזורנו
	משטר הגשם
	משטר הטמפרטורות
	אקלים העיר
	הסביבה החופית
12	פרק 2 תכנון ובניה ירוקה בעידן של שינויי אקלים
	הפחתה - MITIGATION
	צמצום צריכת אנרגיה: תכנון ביו אקלימי
	צמצום צריכת האנרגיה: מערכות יעילות אנרגטית
	מקורות אנרגיה חלופיים: מערכות אנרגיה מתחדשת המשולבות בבניין
	הפחתת אנרגיה גלומה ופליטות נוספות
	הפחתה: עיצוב עירוני
	תכנון ביו-אקלימי
	התייעלות אנרגטית
	התאמה ADAPTATION
26	פרק 3 כלים לקידום בניה ירוקה ברמה הלאומית
	חוקים, תקנים ותכנון
	כלים כלכליים
	הכשרה, מחקר ופיתוח
	הסברה
	סיכום המלצות למדיניות בישראל
36	פרק 4 היערכות השלטון המקומי לשינויי אקלים בתחום התכנון והבינוי העירוני
44	פרק 5 כלכליות בניה ירוקה בישראל
46	פרק 6 פערי ידע בתחום שינויי אקלים ובניה ירוקה

רשימת טבלאות

- טבלה 4.1 - פעולות הפחתה והסתגלות במערך התשתיות העירוניות 42
- טבלה 6.1 - זיהוי פערי ידע ועדיפות מחקרית בתחום האקלים והבניה הירוקה 46

רשימת איורים

- איור 2.1 - אופן ההתייחסות להפחתה והתאמה בתחום בניה ירוקה 14
- איור 2.2 - גרדיאנט טמפרטורה בין שולי העיר למרכזה 19
- איור 2.3 - היווצרות 'אפקט' הקניון בעיר 20
- איור 4.1 - הגדלת מקדם ראיית השמים (SVF) באמצעות תכנון נכון 37
- איור 4.2 - כיסוי רציף של עצי צל לאורך רחובות ובאזורי 'תנועה רכה' ברח' פרט בבולטימור 38
- איור 4.3 - אמצעים לקציר מי גשמים ותפיסת מי נגר ברמת המבנה והמגרש 40

רשימת תמונות

- תמונה 2.1 - מגדלים גבוהים יוצרים 'קניונים' עמוקים בהונג קונג 21
- תמונה 4.1 - דרך גישה מבטון בהיר בעל מקדם החזר גבוה וקיבולת חום נמוכה במיוחד 37
- תמונה 4.2 - אמצעי הצללה מלאכותיים המותקנים לאורך רחוב צר בסינגפור 39
- תמונה 4.3 - גוף מים לאורך רחוב בסינגפור 39
- תמונה 4.4 - גג ירוק בשטח של 2,000 מ"ר של מבנה בית ספר בעיר שפילד, אנגליה. זהו הגג הראשון באנגליה שזכה לתואר 'שמורת טבע מקומית', בשל המגוון הביולוגי יוצא הדופן שלו 40
- תמונה 4.5 - גן ציבורי ייחודי מעל מרכז קניות ובידור רחב ידיים בלב סנטה פה במקסיקו, מרכז הקניות נהנה מחדירה של אור טבעי 41
- תמונה 4.6 - ניצול המרחב התת-קרקעי בשילוב גגות ירוקים 41

תקציר

מנהלים

בעת גיבוש מדיניות בתחום התכנון העירוני והבניה הירוקה להתמודדות עם שינויי אקלים, יש להתייחס לשני היבטים שיש ביניהם יחסי גומלין: הפחתת צריכת האנרגיה בבניינים ופליטות גזי החממה (Mitigation) והסתגלות לשינויי האקלים הצפויים (Adaptation). הפחתת צריכת אנרגיה ופליטות גזי החממה במבנים כרוכה בין היתר בשינוי התכנון, הבניה, הניהול והשימוש בבניינים. שינוי זה צריך להתייחס לא רק להיבט של צמצום הפליטות, אלא גם לנושא הקיימות כולו, הכולל את הנושאים סביבה, רווחה וכלכלה. פעולת ההסתגלות, בנוסף להתאמה להתחממות הצפויה, כוללת גם מניעה או הקטנת הנזק מאסונות עתידיים, כאשר המרכיבים החשובים בתחום זה הם חיזוק היכולת המקומית, תכנון וניהול של שימושי קרקע, תקנות בניה ותכנון מבנים עמידים בפני אסונות, הגנה על תשתיות ושירותים קריטיים, אזהרה מוקדמת, וכבסיס לכל אלו - מימון. האסטרטגיות הנבחרות הן ברובן אסטרטגיות התאמה של "ללא חרטה", ומיעוטן הן של "חרטה מועטה". אסטרטגיות "ללא חרטה" כוללות שיפורים בניהול ההתמודדות עם שינויי אקלים או הפחתה בחשיפה לאיומים ידועים באמצעים כדוגמת מערכות חיזוי והתראה מתקדמות או הכללת היבטי האקלים המשתנה בפרויקטים הנדסיים.

האמצעים הנדרשים לקידום הבניה הירוקה, כך שתוכל להוות גורם משפיע להפחתה ולהתאמה לשינויי אקלים, מתחלקים לארבע קטגוריות: תחיקה, כלכלה, הכשרה והסברה. ארבעת ה"גלגלים" האלו חיוניים להנעת התהליך, ונדרשת תנועה משולבת ומתואמת שלהם כדי ליצור מדיניות יעילה. עיקרי ההמלצות בתחום הבניה הירוקה כוללים הקמת גוף ממשלתי שיהווה בית לקידום הרעיון של בניה בת-קיימא בארץ, לתאום פעולות ולשיתוף מידע במסגרת משרד הבינוי והשיכון. במסגרת זו יפותחו מאגרי מידע עבור המתכננים והמשתמשים. קביעת יעד ארוך טווח להשגת הפחתה של צריכת אנרגיה ופליטות גזי חממה בתחום המבנים והתוויית יעדים קצרי טווח שיאפשרו את השגתו, תוך מתן תמריצים כלכליים לעידוד בנייה ירוקה ויישום תקנות מחייבות לדרוג אנרגטי ותיוג של מבנים חדשים ומשופצים ועדכון על בסיס קבוע. קיימת חשיבות רבה להעלאת המודעות הציבורית בנושא קיימות ושינויי אקלים בכלל, ושימור אנרגיה במבנים בפרט. ככלל, מוסדות חינוך ומבני ציבור יוקמו כמבנים ירוקים על מנת להוות דוגמה לכלל המגזרים. בנושא ההכשרה יש צורך בשילוב קורסים בתכניות הלימודים לתואר ראשון, להשתלמויות, סמינרים, קורסים, סדנאות וכד' לעובדי מדינה ועיריות ומקצוענים פרטיים המועסקים בתחום ולתארים גבוהים בנושא בנייה חוסכת אנרגיה, תכנון בר קיימא והתמודדות עם שינויי האקלים.

בהתייחס לפעולות הרשות המקומית ההמלצות העיקריות להפחתה ולהסתגלות בתחום התכנון והבינוי העירוני כוללות: הערכת סיכונים וקביעת סדרי עדיפות לטיפול; הפחתת פליטות חום ומזהמי אוויר; תכנון פריסת וגובה הבינוי באופן הממתן את אפקט הקניון ומשפר אוורור ופיזור חום ומזהמים; הגדלת שיעור השטחים הפתוחים וכמות הצמחייה (לרבות גינות); שימוש בחומרים ובחיפויים בעלי מקדם החזר גבוה וקיבולת חום נמוכה; הצללת אזורי תנועה והמתנה; תכנון רגיש למים; ניצול המרחב התת-קרקעי; שמירת אזורי חיץ להגנה מפני שריפות; התאמת מערכות תשתית קיימות ועתידיות; וקידום בניה בת-קיימא.

דוח ההערכה החמישי של הפאנל הבין-ממשלתי לשינוי אקלים (IPCC - Intergovernmental Panel of Climate Change) שפורסם בתקופה שבין ספטמבר 2013 ואוקטובר 2014 קובע כי התחממות של המערכות האקלימיות היא חד משמעית, האטמוספירה והאוקיאנוסים התחממו, כמויות השלג פחתו, גובה פני הים עלה וריכוזי גזי החממה עלו. נמצא כי כל אחד משלושת העשורים האחרונים היה חם יותר על פני כדור הארץ מאשר עשורים קודמים מאז שנת 1850. ההשפעות של שינוי האקלים לא צפויות להיות אחידות על פני הגלובוס. ניכרים הבדלים חדים בממטרים בין אזורים לחים ליבשים ובין עונות רטובות ליבשות.

שינויי האקלים צפויים להשפיע על משק המים של מדינת ישראל, על בריאות התושבים, על קיום המגוון הביולוגי והספקת שירותים אקולוגיים באקוסיסטמות השונות, על האקלים העירוני שלנו ועל צריכת האנרגיה בבתים וביישובים בהם אנו חיים. כבר כיום אנו נאלצים להתמודד עם שינויים אלה, ריכוזי האוכלוסייה הגבוהים במרכזים אורבניים, מצריך יישובים עירוניים להסתגל במהרה לשינויים אלו ולתכנן ולנהל משאבים ותשתיות במסגרת זמן חדשה ובראי שינויי האקלים. נקיטה צעדי הסתגלות, בד בבד עם צעדי הפחתה, הנה חיונית בהתמודדות עם שינויי האקלים הגלובליים. אמצעי ההסתגלות יכולים להקטין את רמת הפגיעות לסכנות משינויי האקלים, בעוד שההפחתה מסייעת בהאטת קצב השינויים והיקפם, ובכך תורמת לדחיית מועד ההשפעות ולצמצומן. רוב התועלת של ההפחתה לא מורגשת מיידית אלא לאחר כמה עשורים, ולכן הסתגלות נדרשת כדי להתמודד עם השפעות בהווה ובעתיד הקרוב. לכן, ללא הפחתה, ההשפעות של שינויי האקלים יצמצמו באופן משמעותי את האפקטיביות של ההסתגלות. יש לציין, כי במקרה הפרטני של מדינת ישראל, הפחתה מוחלטת של פליטות גזי חממה לא תתרום באופן מהותי להאטת שינויי האקלים הגלובליים, עקב חלקה המזערי יחסית של ישראל בכמות הפליטות העולמית. בפעולות רבות הננקטות בערים בעולם עדיין אין התייחסות לשינויי האקלים ברמה הכוללת את הקשר שבין הפחתה והסתגלות לבין פיתוח, או שההתייחסות היא להיבט מצומצם בלבד. המדיניות בנושאי הפחתה והסתגלות כיום היא בדרך כלל בהקשרים וברבדים שונים, וחשוב לגשר על הפער ולהסתכל על שני הנושאים כשני צדדים של אותו מטבע. תחום הבניה הירוקה נתפס לרוב כתחום בו ניתן למנף הפחתה (mitigation) של פליטות גזי חממה, שכן, סקטור המבנים אחראי לכ-40% מצריכת האנרגיה העולמית וכעליש מפליטות גזי החממה. אולם, שינויי האקלים הצפויים מחייבים גם שינוי תפיסתי מבחינת התאמת הערים והמבנים (הצללה, חשיפה לרוח, נוחות תרמית בניינים, התאמה לאירועי קיצון כמו הצפות או עליית מפלס המים ועוד). סקטור זה הוא גם בעל הפוטנציאל הגדול ביותר להפחתות משמעותיות וכדאיות בצריכה ובפליטות. אורך החיים של מבנים הוא ארוך יחסית ולכן פעולות שנעשות כיום הן בעלות השפעה על כמות הפליטות לטווח הזמן הבינוני והארוך. המערך העירוני הוא בעל השפעה רבה על יצירת מיקרו-אקלים בעיר - מורפולוגיה העיר ואוריינטציית הרשת האורבנית משפיעות על הצללה וחשיפת הרחובות והשטחים הפתוחים לשמש ולרוח, אך יחד עם זאת על אגירת החום. ערים יכולות להפחית את כמות הפליטות של גזי חממה תוך התמודדות עם בעיות סביבתיות נוספות כגון זיהום אוויר, פסולת ותחבורה, ופיתוח כלכלי מקומי ע"י קידום שימוש במקורות אנרגיה אלטרנטיביים מחד גיסא, וקידום עיר מתוכננת טוב יותר המצמצמת זחילה עירונית ופרבור, מעודדת עירוב שימושים, בניינים ירוקים ותחבורה ציבורית טובה יותר, מאידך גיסא. בעשורים האחרונים יש עליה בפעולות הננקטות בערים בעולם כתגובה לאתגרי האקלים, אולם מקרי בוחן מדגימים שההפחתה וההסתגלות זכו לעדיפות רק כאשר הייתה הבנה של ההשפעה המקומית של שינויי האקלים, או כאשר הפעולות היו קשורות לנושאים שעלו כבר על סדר היום המקומי, כגון אנרגיה או איכות האוויר. המסמך בוחן את היבטי התכנון והבניה הירוקה בעידן של שינויי אקלים והוא כולל המלצות ברמה הלאומית והמקומית והתייחסות להיבטים כלכליים.

שינויים אקלימיים באזורנו

מגמות שינויי האקלים שנצפו בישראל בעשרות השנים האחרונות נסקרו בדוחות שהוגשו למשרד להגנת הסביבה בשנת 2012. ברוב הפרמטרים שנסקרו (משטר טמפרטורות, משטר הגשם אירועי מזג אוויר קיצוניים - גלי חום וריכוזי מזהמים) קיימים תרחישים להחמרה (עליה בטמפרטורות, ירידה בכמות המשקעים, עליה בשכיחות ובעוצמה של סוגים מסוימים של מזג אוויר קיצוני). חשוב להדגיש שלא כל המגמות נמצאו מובהקות סטטיסטית. לתרחישים אלו (במידה ואכן יתרחשו) עלולה להיות השפעה על תחומים שונים ורבים במשק כמו משק המים, החקלאות, בריאות הציבור, וכן על המגוון הביולוגי.

משטר הגשם

הערכות הן שהמרכיב הקריטי ביותר באקלימה של ישראל הינו משטר הגשם, שלו השלכות נרחבות בתחומים רבים. מאחר וישראל נשענת על מי גשם (בשנים האחרונות גם על התפלה) למילוי צרכים ביתיים, חקלאיים ותעשייתיים, מכאן, שכל שינוי במשטר הגשם, קרי כמויות הגשם השנתיות, חלוקת הגשם התוך עונתית, עוצמות גשם רגעיות, עיתוי עונת הגשם, פרקי היובש במהלכה, מספר פרקי הגשם ויבול הגשם לכל פרק גשם, הינם קריטיים למשק המים במדינת ישראל.

תצפיות - דו"ח שהתפרסם לאחרונה ע"י השירות המטאורולוגי (שינויים אקלימיים בישראל, 2011, 2014) מצביע על כך שלא אובחנה כל ירידה בכמויות הגשם השנתיות בישראל במהלך 90 השנים האחרונות. בדו"ח מוצגת השוואה של כמויות הגשם השנתיות הממוצעות בשנים 1950-1921, 1980-1951 ו-1981-2010. יחד עם זאת, ניתן להבחין בעליה ברורה בטווח כמויות הגשם השנתיות שלוש התקופות הנ"ל, דבר המצביע על עליה באי הוודאות של משטר הגשם.

במחקר של זיו וחוב' ב- 2011 נותחו כמויות הגשם השנתיות בתקופה 1952/53-2009/10, המחברים מצביעים על ירידה בשיעור של 0.036 מ"מ לשנה כאשר $R^2 = 0.0003$, דהיינו תוצאה בלתי מובהקת לחלוטין.

שני מחקרים אלו מצטרפים לשורה של מחקרים רבים נוספים בהם נותחו מרכיבים שונים של משטר הגשם, ולא נמצאה בהם שום מגמת שינוי מובהקת למעט ירידה בכמויות הגשם השנתיות באזורים הצחיחים ביותר במדינת ישראל (בדרום הערבה). אזור שהינו בעייתי ביותר מבחינת יכולת הניתוח הסטטיסטי ובכל מקרה כמויות הגשם בו אינן משמעותיות למאזן המים של ישראל.

תרחישים - במסמך של השירותים המטאורולוגיים "מסקנות הדו"ח החמישי של ה-IPCC" (2015) מסוכמות התחזיות לישראל לפי תרחיש הביניים המתון RCP4.5. התרחיש בהנחה כי פליטות גזי החממה העולמיות תגענה למקסימום בין 2030 ל-2040 ולאחר מכן תפחתנה. לפי תרחיש זה סביר (likely) שעד סוף המאה ה-21, המשקעים יפחתו בין 10% ל-20%.

משטר הטמפרטורות

תצפיות - בנייתו מגמות שינויי הטמפרטורה היומית הממוצעת בישראל בעשורים האחרונים מצביע דו"ח השירות המטאורולוגי (שינויים אקלימיים בישראל, דצמבר 2011, 2014) על ירידה ממוצעת גבוהה יחסית בשנות ה-50 לממוצע נמוך יותר בשנות ה-70 וה-80 ועלייה משמעותית מאמצע שנות ה-90 לממוצע גבוה בשנות ה-2000.

טמפרטורות מינימום - עיקר השינוי בטמפרטורות המינימום החל בשנות ה-90 אז התרחשה עלייה משמעותית בטמפרטורות עד לרמה הגבוהה בשנות ה-2000.

טמפרטורת מקסימום - טמפרטורות המקסימום לקראת סוף שנות ה-50 ועד סביבות אמצע שנות ה-60 היו חמות במידה דומה לאלו של שנות ה-2000 וגבוהות משמעותית מאלו של שנות ה-70 וה-80.

בבחינה של השירות המטאורולוגי נמצא כי בעוד שבשנות ה-50 היו בצד השנים החמות מאד גם שנים קרות, משנת 1993 ועד 2011, לא הייתה אף שנה קרה מהממוצע הרב שנתי של התקופה 1961 - 1990 למעט שנת 1997.

גלי חום - מחקרים שונים (אלפרט 2006, פז 2006, פז וחוב' 2006, פז וקידר 2007, זיו וחוב' 2011) מצביעים על עלייה בשכיחות של אירועי גלי חום הן באורכם והן בעוצמתם.

גלי קור - זיו וחוב' 2011 בדקו את תופעת גלי הקור והראו כי למרות מגמת ההתחממות, תופעת הקרה עדיין מהווה מרכיב חשוב במשטר האקלימי באזור עובדה המחייבת המשך מעקב גם בעידן של התחממות.

תרחישים - לפי תרחיש הביניים המתון RCP 4.5 של ה-IPCC (מתוך "מסקנות הדו"ח החמישי של ה-IPCC", 2015, שירותים מטאורולוגים, משרד התחבורה) בסבירות גבוהה (very likely) עד סוף המאה ה-21, צפויה הטמפרטורה הממוצעת בחוף לעלות ב-1.5°C עד 3°C והטמפרטורה הממוצעת בקיץ צפויה לעלות ב-1.5°C עד 4°C. בממוצע שנתי צפויה עלייה של 2°C עד 3°C. בנוסף, ההתאדות צפויה להתגבר, בעיקר מעל לים. ביבשה סך המים המתוקים הזמינים צפוי לפחות.

אקלים העיר

אחוז האוכלוסייה העירונית במדינת ישראל הלך וגדל במשך השנים ועומד היום מעל ל-90%. יש להניח שמגמה זו תמשך. גם צריכת האנרגיה בעיר נמצאת בעליה, מעבר למשתמע מגידול האוכלוסייה לבדו. אי לכך, אקלים העיר הינו פרמטר משמעותי מאד שלו השלכות על הרוב המכריע של אוכלוסיית ישראל. לאקלים העירוני שני מאפיינים עיקריים בהשוואה לאזורים פתוחים סמוכים: אי חום עירוני ורמת מזהמים גבוהה יותר. מחקרים הראו שבמהלך המאה ה-20 הטמפרטורות במרכזי הערים עלו בשיעור גבוה יותר מאשר הטמפרטורות בשטחים פתוחים סמוכים. עוצמת אי החום העירוני תלויה במספר גורמים כמו גודל העיר, מבנה העיר, צריכת האנרגיה בתוכה, גובה הבינונים, אחוז שטחי הגנים והשטחים הפתוחים בתוך העיר, הטופוגרפיה המקומית ומשטר הרוחות באזור. ריכוז המזהמים בעיר תלוי בנוסף לגורמים הנ"ל גם במערך התחבורה וצפיפותה והמצאות (אי המצאות) של תעשיות מזהמות בשטח העירוני. שילוב אי החום העירוני עם עליה בריכוז המזהמים עלול לגרום לשכיחות גבוהה יותר של ימים בעלי עומסי חום גבוהים ו/או ימים עם ריכוזי מזהמים העלולים להיות מסוכנים לבריאות הציבור בכלל ולאוכלוסיות פגיעות בפרט.

הסביבה החופית

טמפרטורות פני הים התיכון (SST - Sea Surface Temperature) מראות מגמה של עליה בארבעת העשורים האחרונים בשיעור ממוצע של 0.5°C לעשור. בשנים האחרונות טמפרטורות פני הים לאורך חופי ישראל עולות בכל קיץ על 30°C ואינן יורדות מתחת ל-17°C בחורף (למעט בחורף 2011), בעוד שבעבר הטמפרטורות לא עלו על 30°C בקיץ וירדו עד ל-16°C בחורף. להתחממות טמפרטורות פני הים השלכות בתחומים רבים, בין היתר הן משפיעות על תכולת הלחות של האוויר בימי גשם ועל מידת אי היציבות שלו, שני גורמים המגבירים את הפוטנציאל לעליה בעוצמת הגשמים.

על פי נתוני המכון לחקר ימים ואגמים בין השנים 1992-2010, במשך 18 שנה, גובה הים התיכון לחופי ישראל עלה ב-10.5 ס"מ. המשמעות ההידרולוגית של תופעה זו היא חדירה מוגברת של מי הים לאקוות החוף והמלחתה וכן התרחבות היקף ההצפה של שיטפונות במישור החוף (אלפרט וזן צבי, 2001). תרחישים על המגמות הגלובליות בהקשר של השתנות מפלס האוקיינוסים בעולם נעים בין הקצב הנוכחי של כ-1 ס"מ לעשור לבין 10 ס"מ לעשור (קיימים גם תרחישים קיצוניים הרבה יותר אך כנראה שהם אינם ריאליים). כמו-כן נצפתה עליה במספר סערות גלים שגובה הגלים שלהן מעל ל-3.5 מ' וסערות חריגות שגובה הגלים מעל ל-6 מ'. לסערות אלו השלכות רבות לנזקים למתקני חוף ולהרס המצוק החופי.

תכנון ובניה ירוקה בעידן של שינויי אקלים

לשינויי האקלים בכלל, ולתופעת 'אי החום העירוני' (תופעה בה טמפרטורת האוויר גבוהה בעיר יחסית לסביבה הבלתי-בנויה) בפרט, יש שורה ארוכה של השפעות סביבתיות, כלכליות וחברתיות, חלקן שליליות וחלקן חיוביות. בין ההשפעות השליליות ניתן למנות את הבאות:

- 1. הכבדת עומס החום באזורים קרובים לים ובעלי לחות יחסית גבוהה או באזורים בעלי אקלים חם** - אמנם עם העלייה בטמפרטורה, פוחתת הלחות היחסית הממוצעת בעיר, אולם עומס החום לא פוחת בהרבה. המשמעות הנה הגדלת אי הנוחות האקלימית בכל ערי החוף של ישראל, בהן מרוכזת מרבית האוכלוסייה.
- 2. הגדלת צריכת האנרגיה** - הגברת עומס החום בערים מגדילה באופן ישיר את צריכת האנרגיה. מחקרים מראים שצריכת האנרגיה בערים יכולה לעלות ב-5% עד 10% מהמוצא הארצי, ובשעות שיא, צריכת האנרגיה יכולה אף לעלות על ההספק שמסוגלת חברת החשמל לספק.
- 3. עליה בהיקף פליטות מזהמים לאוויר** - הגדלת צריכת האנרגיה, במיוחד בישראל, בה מרבית החשמל מופק בתחנות כוח המוזנות בדלק מאובנים, תורמת להגדלת פליטת גזי החממה וחומרים מסוכנים אחרים (SOx, NOx). עומס החום מביא גם לצמצום התנועה הרגלית לטובת שימוש מוגבר בכלי רכב בתוך הערים, גורם התורם להתחממות והעלאת אחוז פליטת המזהמים בעיר.
- 4. פגיעה באיכות החיים ובבריאות** - הגברת עומס החום מקשה על החיים בעיר, פוגעת באיכות החיים, מגבירה את הסיכון הבריאותי הגלום בגלי חום, זיהום אוויר ואירועי אקלים קיצוניים אחרים, וכן מגדילה את ההסתברות להתפרצות של מחלות ומזיקים, את היקף תפוצתן ואת חומרתן.
- 5. שינויים בתפוצה של מינים פולשים / מזיקים** - הן כתוצאה ישירה של השינויים האקלימיים והן כתוצאה עקיפה של פגיעה במגוון הביולוגי ושריופות.
- 6. הגדלת כמות המשקעים (יותר אירועי ברד וסופות רעמים מעננות ערמיתית) במורד הרוח היוצאת משטח עירוני** - העיר תורמת חום (אנרגיה), קונבקציה, גרעיני התעבות (אירוסולים) שמסייעים ליצירת טיפות גשם גדולות בענן, ותורמת גם להגדלת אי היציבות של גוש האוויר העובר מעליה. עם זאת, יש לציין, שקיימת גם סברה שדווקא ריבוי אירוסולים מעל לעיר עשוי לתרום להיווצרות עננות שכבתית בעלת טיפונות קטנות, שמשמעותן היא דווקא הפחתת כמות הגשם.
- 7. עליה של מפלס פני הים** - תרחישים של עליית מפלס האוקיינוסים בעולם נעים בין הקצב הנוכחי של 1 ס"מ לעשור לבין 10 ס"מ לעשור (קיימים גם תרחישים קיצוניים הרבה יותר). כמו כן, נצפתה עליה בתדירות סערות גלים שגובה גליהן מעל ל-3.5 מ' וסערות חריגות שגובה גליהן היה מעל ל-6 מ'. סערות אלו גורמות לנזקים כבדים למתקני חוף, למרינות, לנמלים ולשוברי גלים, וגורמות גם להצרה של רצועת החוף ולהרס של המצוק החופי. העלייה של מפלס הים לא מתבטאת רק בפעילות ישירה של גריעת החוף, כי אם גם ביצירת תנאי נגישות לגלי הים להגיע לקטעי חוף רדודים כבר בזמן סערות חלשות יחסית, ולגרוע בתחתית המצוק החופי - מצב שהתרחש קודם לכן רק בזמן סערות חזקות מאד ובעת אירועי נחשוילי סער (storm surge). על פי רוזן (2003, 2011), אם לא יינקטו אמצעי הגנה בחוף הישראלי, עליית מפלס הים צפויה לגרום להגברת קצב הנסיגה של קו המים מזרחה ולפחות זמנית להצרה של החופים לרגלי המצוק החופי, להמשך ההרס במצוק החופי ולהשתנות צדודית החוף המקומית. הצפי הנו שהחוף החולי יאבד מרוחבו 10-2 מ' עבור כל עליה של 10 סנטימטרים בגובה פני הים. עליית מפלס הים צפויה גם לגרום לעלייה במשכי זמן ההצפה של אזורי חוף רדודים ולחדירת מי ים אל תוך מוצאי נחלים. עוד השפעה של עליית מפלס הים הינה המלחה נוספת של האקוויפר החופי. במצב הנוכחי של גירעון במי התהום עקב שאיבת יתר של עשרות שנים, האקוויפר החופי כבר נפגע עקב חדירת הפן הביני מזרחה, וכל תוספת בהתקדמות מזרחה רק תרע את המצב. כהשפעה נוספת של עליית מפלס הים ניתן לציין את ההשפעה הכלכלית, היות ונסיגה של קו החוף תפגע בתיירות ופעילות הנופש והקיט, תגדיל את עלויות התחזוקה השוטפת ותחייב הסטת פעילויות ומבנים מזרחה לקו החוף הנוכחי. השקעת משאבים תידרש גם בהגבהת מבנים חופיים וחיוקם, בהגבהת רציפים בנמלים, בבריכות השקטה ובמעגנות. כמו כן, עליית מפלס הים תגרום להקטנת גרדיאנט הזרימה של מוצאים ימיים ולהגברת שיקוע סדימנטים בפתחי נחלים, תופעות שיחייבו השקעת משאבים ניכרים לתיקון המצב.
- 8. פגיעה במערכות תשתית** - השלכות שינויי האקלים על תשתיות אינה ברורה כל צרכה. עם זאת, ניתן לצפות שעליה באי הודאות במזג האוויר, עלייה בתדירות התרחשותם של אירועי קיצון, עליית פני הים ושינויים במפלס מי התהום יפגעו בתפקוד ובקיבולת של מערכות הניקוז, מערכות השאיבה והטיפול בשפכים ותחנות כוח חופיות, וכן יגבירו את הסיכון לזיהום והמלחה של מקורות מים.

9. **בליה ושחיקה מואצת של חומרי בניה והגדלת הליקויים בדרכים ומדרכות** - העמידות של משטחים מרוצפים ושל מדרכות פוחתת ככל שהטמפרטורה ורמת הקרינה עולות, בשל הגדלת הדחיסות של החומרים בחום גבוה. כמו כן, עליית פני הים, מגבירה את סכנת ההצפה של מנהרות.

10. **הגדלת השכיחות של זהום אוויר/ערפיח בקיץ** - מחקר שנערך בלום אנג'לס מצא שעד לטמפרטורה 21 מעלות צלזיוס ריכוז הערפיח נמוך מסף התקן הלאומי, אולם על כל עליה של 1 מעלת פרנהייט ההסתברות לערפיח עולה ב-3% (לדוגמא, עליה מ-89 ל-90 מעלות פרנהייט, קרי, מ-31.6 ל-32.2 מעלות צלזיוס, ההסתברות עולה ב-3%).

11. **יותר אירוועי ערפל בחורף** - וגם משך הערפל בעיר הנו ארוך יותר בשל ריבוי האירוסולים.

12. התגברות סכנת שריפות - עליה בטמפרטורות ושינויים במשטר המשקעים והרוחות עלולים להגביר את סכנת השריפות ונזקיהן הפוטנציאליים ולהגדיל את עלויות אספקת שירותי החירום.

13. **התגברות סיכונים מאירוועי רוח קיצוניים** - התגברות אירוועים של רוחות בעוצמות גבוהות מגדילה את הסיכונים לנפש ולרכוש.

14. **בלאי מואץ** - העלייה בטמפרטורה ובתדירות ועוצמת אירוועי הקיצון מובילה לבלאי מואץ של מבנים ותשתיות ולהגדלת עלויות התחזוקה.

15. **הגדלת אי הוודאות התכנונית** - שינויי האקלים עשויים להוביל לצורך לבחון מחדש פריסה מתוכננת של שימושי קרקע, להגדיל את ממד אי הוודאות בתכנון ארוך טווח של מבנים ותשתיות, ולהכביד על תקציב הרשות עקב צורך להתאים מבנים ומערכות ולתגבר שירותי חירום.

16. **עלויות נוספות לרשות המקומית** - שינויי האקלים מטיילים נטל כלכלי נוסף על הרשויות עקב פגיעה ברכוש פרטי וקהילתי והגדלת פרמיות הביטוח.

אל מול שורת ההשפעות השליליות שנמנו לעיל, ניתן לייחס לתופעת 'אי החום העירוני' מספר השפעות חיוביות, ביניהן:

1. **ירידה בשכיחות אירוועי קיפאון בחורף** - כך לדוגמא, בטוקיו ובלונדון, הצטמצמה תקופת הקיפאון ב-2-3 שבועות ביחס לשטח הכפרי. יש לכך היבט חיובי באזורים קרים בקווי רוחב גבוהים (פחות צורך בהסקה בחורף, פחות שיבושים בשגרת החיים, פחות תאונות, פחות פגיעה בקולטי שמש ובצנרת מים ועוד).

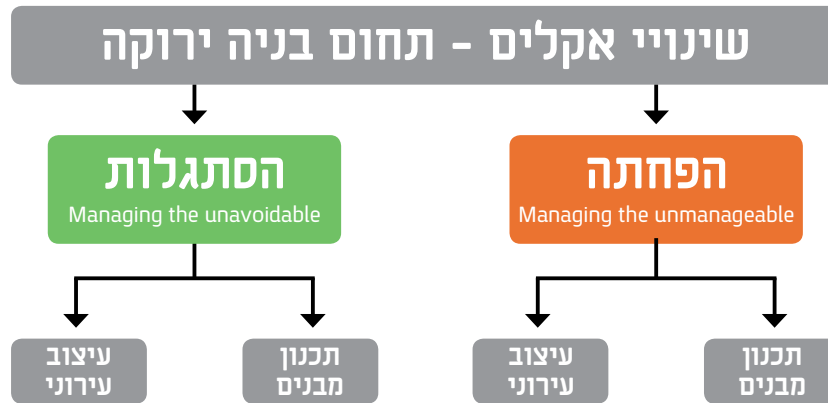
2. **סיכוי קטן ביותר להיווצרות אינברסיה קרינתית קרקעית מעל לעיר** - בניגוד לשטח הכפרי הפתוח, ששם בלילות חורף בהירים ויציבים יכולה להתפתח אינברסיה קרקעית, הרי שהעיר חמה יותר בשל 'אי החום העירוני', ולכן בסיס האינברסיה הקרקעית של השטח הפתוח מועתק בעיר כלפי מעלה. בשכבה התחתונה בעיר (בניגוד לשטח כפרי פתוח) יש בליה מפל טמפרטורה חיובי ולא אינברסיה, ויש לכך אפקט חיובי, שמעודד עירבוליות תרמלית ומיהול ופיזור מזהמים בנפח גדול יותר.

3. **פריחה מוקדמת של עצים ופרחים** בעיר ועונת גידול ארוכה יותר.

ההתמודדות בעולם עם שינויי האקלים ועם הסיכונים הנובעים מהם מתבטאת בשני אמצעים: הפחתה והתאמה. לפי דו"ח ה-IPCC (2007) הפחתה משמעותית צמצום ההשפעה האנושית על שינויי האקלים ע"י אסטרטגיות הכוללות הפחתת פליטות גזי החממה מחד, והגדלת המאגרים לתפיסת פחמן מנגד. התאמה משמעותית התאמה של המערכות האנושיות והטבעיות בתגובה לשינויי אקלים ממשיים או צפויים ולהשפעותיהם, אשר גורמת למיתון הנזק או הפקת תועלת מהזדמנויות. ההפחתה היא למעשה מניעה של הבלתי-ניתן-לניהול, וההתאמה היא ניהול של הבלתי-נמנע.

האסטרטגיות של הפחתה והתאמה קשורות זו לזו, הן מגבירות את ההשפעה על צמצום הסיכונים האחת של השנייה, ולכן רצוי שלא להתייחס לכל אחת מהן בנפרד. ככל שהצלחת הפחתה תגדל, כך יקטן הצורך בהתאמה, ולכן יש להימנע מכך שפעולות ההתאמה יחלישו את המאמצים להפחתה שנועדו לייצב את רמת הפליטות, וכן יש להיזהר מפעולות הפחתה העלולות להוות פשרה מבחינת התאמה. פרק 18 בדו"ח ה-IPCC מפרט את הקשר והסינרגיה של שתי האסטרטגיות.

לשינויי האקלים ולתחום הבניה הירוקה יש השפעה הדדית, ולכן תחום הבניה הירוקה יבחן בהתאם לאסטרטגיות שהוצגו לעיל: הפחתה של ההשפעה של תחום הבניה על הגברת שינויי האקלים מחד, והתאמה של תחום הבניה לשינויי האקלים הצפויים לפי תרחישים שונים מאידך. בעבודה זו, ההתייחסות להפחתה ולהתאמה בתחום הבניה נעשתה בשני קני מידה: האחד ברמה של תכנון מבנים, והשני ברמה של עיצוב עירוני (ראה אזור 2.1)



איור 2.1 : אופן ההתייחסות להפחתה והתאמה בתחום בניה ירוקה

MITIGATION - הפחתה

המושג הפחתה בהקשר של תחום הבניה הירוקה מכונן בעיקר להפחתת צריכת האנרגיה ופליטות גזי חממה על מנת למזער את זיהום האוויר וההתחממות הגלובלית. מעבר לחשיבותה בהקשר של שינויי האקלים, להפחתת הצריכה והפליטות יש יתרונות נוספים לחברה ולכלכלה, ובמדינת ישראל גם יתרונות אסטרטגיים.

ההפחתה בתחום הבניה היא בעלת חשיבות רבה - סקטור המבנים אחראי על כ-40% מצריכת האנרגיה העולמית וכשליש מפליטות גזי החממה. סקטור זה הוא גם בעל הפוטנציאל הגדול ביותר להפחתות משמעותיות וכדאיות בצריכה ובפליטות. כמו כן, זמן החיים של מבנים הוא ארוך יחסית ולכן פעולות שנעשות כיום הן בעלות השפעה על כמות הפליטות לטווח הזמן הבינוני.

תכנון מבנים

האמצעים להשגת הפחתה של פליטות גזי חממה במבנים חולקו ל-3 קטגוריות: צמצום צריכת האנרגיה, מקורות אנרגיה חלופיים וצמצום פליטות אחרות ואנרגיה גלומה. צמצום צריכת האנרגיה הוא האמצעי המרכזי והחשוב ביותר בהפחתה והוא מתחלק לשתי תת-קטגוריות: התייעלות אנרגטית ע"י תכנון מודע לאקלים ולאנרגיה בשילוב של מערכות פסיביות בבניין (תכנון ביו-אקלימי) והתייעלות אנרגטית של המערכות האקטיביות של הבניין. לאחר פעולת צמצום הצריכה ע"י תכנון יעיל, ניתן להביא להפחתה נוספת ע"י שימוש במקורות אנרגיה חלופיים שעשויים לספק את האנרגיה הנותרת שצורך הבניין, מאנרגיה המבוססת על דלקים פוסיליים לאנרגיות חלופיות ממקורות מתחדשים. הקטגוריה האחרונה אינה קשורה לצריכת האנרגיה הישירה של הבניין, אלא לצמצום פליטות נוספות הקשורות בעקיפין לתחום הבניה כמו פליטות מהתעשיות התומכות של ענף הבניה (אנרגיה גלומה) ופליטות של גזי חממה שאינם CO₂.

פרק 6 בדו"ח IPCC (2007) בנושא הפחתה (קבוצת עבודה III) מוקדש לתחום המבנים, ובו מפורטים האמצעים השונים להפחתה במבני מסחר ומגורים. המסקנה החשובה היא שבשנים הקרובות ניתן להשיג הפחתה ניכרת של פליטות CO₂ מהקטנת צריכת האנרגיה במבנים ע"י שימוש בטכנולוגיות קיימות של התייעלות אנרגטית שיעילותן כבר מוכחת. כמו כן קיים צורך ליישם שיטות לדירוג יעילות אנרגטית במבנים קיימים וחיוב עמידה בתקן בנייה ירוקה לבנייה חדשה.

בישראל, ת"י 5281 בנייה בת-קיימה (בנייה ירוקה) אשר התעדכן לאחרונה, מהווה את המסגרת לבנייה הירוקה בארץ. מכלול הפרקים בתקן מציגים באופן מפורט הנחיות תכנון לבניה בת קיימה, כאשר הסעיפים והנספחים, רובם ככולם, מהווים אמצעים להפחתה התואמים את הקטגוריות שהוצגו. הנושא העיקרי בתקן מבחינת משקלו הוא סעיף האנרגיה המבוסס על ת"י 5282 דירוג בניינים לפי צריכת אנרגיה.

פוטנציאל ההפחתה של פליטות גזי חממה בישראל בתחום המבנים הינו 10 MtCO_{2e} שהם 24% מהפליטות הצפויות במבנים ב-2030 בתרחיש עסקים כרגיל, כאשר הרוב המכריע של מנופי ההפחתה בתחום המבנים מאופיינים בעלות שלילית למשק. אולם בישראל, כמו במדינות אחרות, יש חסמים משמעותיים המעכבים את מימוש הפוטנציאל הזה כמו: מחסור בתמריצים אשר יחפו על תקופות החזר ההשקעה, העדר זהות בין המשקיע למוטב, חוסר מודעות, הפיצול של ענף הבניה על פני תעשיות רבות וצרכנים רבים ועוד. על מנת להתגבר על החסמים האלו יש לייצר כלים של מדיניות (חוקים ותקנות, למבנים חדשים ולשיפוץ מבנים קיימים), הכשרה, תכנון אינטגרטיבי (IDP), והעלאת המודעות.

בהקשר זה, קיימות עבודות רבות העוסקות בחסמים המעכבים את ההפחתה ובהצעות למדיניות תומכת וצעדים נוספים אשר יאפשרו להתגבר עליהם.

בניתוח אמצעי ההפחתה, נדרשת התייחסות שונה לסקטורים השונים של המבנים: מבני מגורים, מסחר, ציבור וכו'. לכל סוג יש את המאפיינים הייחודיים מבחינת צריכת האנרגיה, אופן ושעות השימוש, פוטנציאל ההפחתה, הכדאיות הכלכלית, החסמים ודרכי הפעולה האפשריות מבחינת מדיניות תומכת. בניתוח הדרכים להפחתה באוסטרליה, נבדק מהן הטכנולוגיות שנמצאות על "הנתיב הקריטי" לתפקוד אנרגטי גבוה, כלומר מהם הצעדים שלהם תרומה משמעותית להפחתה בעלות כדאית. נמצא שהנתיב הקריטי למבני מגורים הוא צמצום צריכת אנרגיה ע"י תכנון (בידוד משופר, שיעור זיגוג מתאים וברמה גבוהה, הצללה ושימוש במסה תרמית), לעומת הנתיב הקריטי למבני מסחר שהוא שיפור היעילות האנרגטית של מערכות HVAC ותאורה.

צמצום צריכת האנרגיה

בארץ, התכנית הלאומית להתייעלות אנרגטית מציגה תמונה מפורטת של היקפי התייעלות האנרגטית הניתנים להשגה במגזרים השונים, תוך הצגת הכדאיות של הפעולות השונות והדרך להתגבר על החסמים.

צמצום צריכת אנרגיה: תכנון ביו אקלימי

הפוטנציאל הגדול ביותר להקטנת צריכת האנרגיה במבנה טמון בתכנון הבניין עצמו, ע"י החלטות הנוגעות למיקום, אוריינטציה, ארגון פנימי והתכונות של מעטפת הבניין. כמו כן ניתן לשלב במבנה מערכות פסיביות להשגת נוחות תרמית ותאורה טבעית ללא השקעת אנרגיה. עבודות רבות בישראל ובעולם עוסקות בנושא הבניה הביו-אקלימית. בארץ הנושא נחקר בעיקר בטכניון ובמכון לחקר המדבר של אוניברסיטת בן-גוריון.

מעטפת המבנה

מעטפת המבנה נועדה בין השאר להגן על הבניין מפני חדירת חום מבחוץ פנימה והפוך, הפסדי חום מבפנים החוצה. על מנת להגיע לרמת הגנה גבוהה יש להתייחס לדרגת בידוד מתאימה בגגות, קירות חוץ, ורצפות תוך התייחסות למניעת עיבוי ומניעת גשרים תרמיים. בנוסף מעטפת המבנה צריכה לכלול מערכת פתחים (דלתות וחלונות כאחד) בעלי תכונות תרמיות טובות. פרמטר נוסף שדורש התייחסות הוא דרגת מעבר אויר מבחוץ פנימה בחורף (אינפילטריציה) או בקיץ לאוורור איכות, אוורור נוחות או אוורור לילה, שתלוי בכוחות ההנעה כגון, רוח, הבדלי טמפרטורות והבדלי לחץ האויר. כמו כן, מעטפת המבנה צריכה להתחשב בשטחה, באלמנטים של מסה תרמית, הצללה וחומרים.

כיום, מעטפות בניין אקטיביות (חזית אקטיבית) באות לפתור את נושא ההצללה, התאורה והאוורור בבניין, אך על מנת שתכנון המעטפת יהיה יעיל מבחינה אנרגטית יש לדאוג להפניה נכונה של החזית (הפתחים) ולתכנון אמצעי החדרה של תאורה טבעית, הצללה (בעונת הקיץ) על מנת למנוע חדירת קרינה ישירה פנימה וסנוור, ולשפר את תנאי העבודה והפרייון.

במדינת ישראל ת"י 1045 (בידוד תרמי של בניינים) קובע את רמת הבידוד המינימלית הדרושה, ות"י 5282 (דירוג בניינים לפי צריכת אנרגיה) נותן את מלוא התיאור והכוונה לתכנון של מעטפת המבנה. מעטפת המבנה על כל מרכיביה נדונה בעבודות רבות.

בידוד

מערכת בידוד תרמי נועדה למנוע מעבר אנרגיה של חום וקור דרך מעטפת הבניין. על מנת לייעל צריכת האנרגיה של המבנה יש לדאוג לבידוד חללים הממוקמים מתחת לאגות המבנה, מרפסות, קומת מסד ומעטפת החיצונית. חייבים לדאוג שהמעטפת של הקיר הפנימי לא תהיה נמוכה בהרבה מטמפרטורת האויר בתוך המבנה ובכך למנוע את אפקט העיבוי. בנוסף צריך לוודא ביצוע משלים בקירות המעטפת ע"י כיסוי גשרי קור באמצעים תרמיים, ולדאוג לאוורור מתאים. השפעת הבידוד על צריכת האנרגיה בבניין משתנה בהתאם לאזור האקלימי ולערכים של המשתנים התכנוניים האחרים בבניין.

פתחים

לתכנון הפתחים יש השפעה מכרעת על החזות ועל התפקוד האנרגטי של הבניין, גם כאשר הם מהווים אלמנטים קטנים ביחס לחזית הבניין וגם כאשר מדובר בחזית מזוגגת בשלמותה. למרות ההכרה שניתן לספק תאורה נאותה ואוורור באמצעים אחרים, היתרונות של חלונות בבניין הם רבים וכוללים נושאים כגון שביעות רצון, בריאות ופרייון של משתמשי הבניין. חלונות אחראים ליותר מ-12% מסה"כ האנרגיה הנצרכת בבניינים מסחריים בארה"ב, ואם נכללים מבני מגורים הם אחראים ליותר מ-5% מכלל צריכת האנרגיה הלאומית. לכן מאוד חשוב בתכנון המבנים להתייחס למיקום וגודל החלונות, הפניה, אמצעי פתיחה ואיטום, תכנון הצללות על מנת להגביל מעבר חום ואור בעונת הקיץ ולמנוע סנוור ולתכונות השונות של מערכת הזיגוג (הכוללות את יחידת הזיגוג, הפרופילים ואמצעי ההצללה האינטגרליים).

רוב החלונות ומערכות זיגוג מורכבות מזכוכית ואלמנטי מסגרת. מערכת זיגוג יכול לכלול שכבה בודדת של זכוכית (או פלסטיק), או לכלול מספר שכבות של זכוכית עם רווחי אוויר (או גזים אחרים) ביניהן. מערכות זיגוג אלו מוכרות כזכוכית מבודדת (insulating glazing). כמו כן, שכבות ציפוי או גוונים שונים משנות את תפקוד מערכת הזיגוג, ויש צורך לבחור מערכת מתאימה בהתאם למטרה התכנונית.

התכונות החשובות ביותר שיש לקחת בחשבון בעת בחירת מערכת זיגוג לבניין הן:

- מוליכות (העברות) תרמית - U, להקטנת מעבר חום דרך הזכוכית כאשר קיים הפרש טמפרטורות בין חוץ ופנים.
- מקדם רווח חום סולרי - SHGC, הקובע את כמות החום העובר דרך הזכוכית ע"י קרינה
- מקדם העברת אור יום - VT, הקובע את כמות אור היום העוברת דרך הזכוכית
- מידת אטימות - למניעת הפסדי או רווחי חום ע"י חדירת אוויר.

בסיס הנתונים הבינלאומי לזיגוג IGDB - International Glazing Database מהווה מקור פתוח הכולל נתונים של מספר רב של מוצרי זיגוג מיצרנים מכל רחבי העולם. הפרטים המופיעים במסד הנתונים כוללים נתונים אופטיים ותרמיים, מבניים ופרטים נוספים. נתונים אלה מספקים בסיס אחיד ואמין לביצוע חישובי אנרגיה מדויקים ע"י שימוש במודלים של סימולציה אנרגטית.

מסה תרמית

מבנה כבד (בעל מסה תרמית כבדה) המתוכנן כראוי, מאפשר בחורף לאגור את הקרינה הסולרית שחדרה לבניין בשעות היום בהן זרחה השמש, לשעות הלילה בהן הטמפרטורה החיצונית נמוכה. בקיץ לעומת זאת, ניתן לקרר את האלמנטים הכבדים שבבניין במשך הלילה ע"י הזרמת אוויר קר. כתוצאה, בניין כבד שקורר טוב במשך שעות הלילה ישמור על טמפרטורת איור נמוכה (ביחס לטמפרטורת חוץ) במשך שעות היום. כל זאת כמובן, בתנאי שהבניין מבודד כראוי מבחינה תרמית. למעשה מהווים הקירות ושאר האלמנטים הכבדים בבניין, מסה תרמית הבולמת את שינויי הטמפרטורה הקיצוניים בבניין.

המסה התרמית בבניין קיימת בעיקר בקירות הבית (פנימיים או חיצוניים), ברצפת וגג הבית ולשם כך משתמשים בקירות בטון ובלוקי בטון עבים שיכולים לקלוט ולאגור חום. מסה תרמית ניתן לנצל בעיקר באזורי אקלים חמים ויבשים בהם קיימים הפרשי טמפרטורה ניכרים בין היום ללילה (לפחות 6 מעלות צלסיוס). מחקרים מראים שגם באזור אקלים חם ולח בו קיים הפרש טמפרטורות בין יום ולילה, כגון ברצועת החוף של ישראל בו הפרשי הטמפרטורה הם בין 7 עד 10 מ"צ, ניתן להשיג הפחתה בטמפרטורה בתוך הבניין בין 3 ל-6 מעלות ע"י שימוש במסה תרמית ואוורור לילה. הדבר תלוי בכמות המסה התרמית, במידת אוורור הלילה וכן בהפרש הטמפרטורה בין יום ולילה הקיים במקום.

הצללה

המטרה העיקרית של ההצללה היא למנוע חדירת קרינת שמש לתוך המבנה בעונות החמות. במקרים בהם נעשה שימוש באנרגית השמש לחימום הבניין בחורף יש למנוע מצב של הצללת החלון בעונה זו, או להיעזר בפתרונות דינמיים המאפשרים התאמה לתנאים משתנים. ההצללה יכולה להינתן על הפתחים, כדי למנוע חדירת הקרינה דרכם, או על מעטפת הבניין כדי למנוע התחממות ולהפחית בזה את הולכת החום דרכה. כשההצללה מתוכננת מבחץ לפתחים היא חוסמת את החדירה הישירה של הקרינה. מצד שני כשההצללה היא פנימית הקרינה מוחזרת ממשטחי פנים ובחלקה (קרינה ארוכת גל) לא יכולה לעבור דרך הזכוכית ולכן הצללה פנימית פחות יעילה. בתכנון ההצללה יש להתחשב במכלול הגורמים המשפיעים על צריכת האנרגיה בבניין, כגון קירור, חימום ותאורה. יש לקחת בחשבון שלא כל סוגי ההצללות מסוגלים לספק נוחות תרמית וויזואלית ויש להתאים את התכנון למטרה התכנונית.

גגות ירוקים

בשנים האחרונות השימוש בגגות ירוקים הולך ותופס תאוצה בקרב מתכננים ובעלי מבנים. על ידי תכנון גגות ירוקים נוכל להיענות לאתגרים שונים המתייחסים לחיים אורבאניים. עלות מחזור החיים של גג ירוק לא שונה מזו של גג קונבנציונאלי ובכך מהווה התכנון של גגות ירוקים יתרון מבחינה חברתית, סביבתית וכלכלית. השימוש בגגות ירוקים עשוי לתרום ליעילות אנרגטית של הבניין (קירור בקיץ והוספת בידוד בחורף), אורך חיים ממושך יותר, בידוד אקוסטי, אפשרות להפוך את המקום שאין לו שימוש ממשי לאזור המנוצל ע"י משתמשי הבניין, הגג הירוק מהווה תחלופה לשטח הבנוי, תורם לאסתטיקה של הבניין, מאפשר טיפול במי גשם ע"י אגירה ושימוש במים אפורים או העברתם לשטחי גינון ולעידוד מי נגר. בנוסף, גגות מסוג זה יכולים לתרום לוויסות איי החום העירוניים ותורמים לשליטה אקלימית בבניין.

חימום סולרי פסיבי וקירור פסיבי

הצורה הפשוטה והיעילה ביותר לחימום בניינים בחורף היא לאפשר לקרינת השמש הישירה לחדור לתוך הבניין דרך הפתחים או מערכות סולריות אחרות. קרינה זו משמעותית ביותר בחורף על משטחים הפונים לגזרה הדרומית. המערכת לחימום פסיבי היעילה והזולה ביותר היא מערכת קרינה ישירה. לעיתים, מתעורר הצורך ליישם מערכות סולריות פסיביות אחרות, שאינן קרינה ישירה. מערכות אלה נבחרות, כאשר אין אפשרות לתכנן את כל פונקציות הבניין עם אוריינטציה לגזרה הדרומית, או כאשר הגזרה הדרומית של הבניין מוצללת על ידי בניינים ועצמים שכנים (לדוגמא, בשיפוץ אנרגטי של בניין קיים). ביצוע המערכות שאינן קרינה ישירה הוא מורכב, מחייב תכנון מתוחכם ועלותן גבוהה יותר מתכנון של מערכת קרינה ישירה. לכן, במידת האפשר, רצוי ליישם מערכות של קרינה ישירה, תוך פתרון הבעיות שצוינו לעיל.

הגורמים המשפיעים על יעילות המערכות לחימום סולרי פסיבי: (i) הפניית הבניין, (ii) שטח הזיגוג הפונה לגזרה הדרומית, (iii) חשיפת הזיגוג הדרומית לשמש בחורף, (iv) מסה תרמית לאגירה.

קיימות סוגים שונים של מערכות סולאריות: מערכות קרינה ישירה כגון חלון דרומי או מערכת חממה, ומערכת קרינה בלתי ישירה כגון קיר קולט עם או ללא אגירה.

מצד שני, בעזרת תכנון נכון של אורור הבניין ומערכת קירור פאסיבית ניתן לשפר משמעותית את נוחות השהיה בתוך המבנה בעונות החמות ולצמצם את השימוש באמצעים מכאניים לקירור המבנה ובכך לחסוך עלויות החשמל ולצמצם פליטות גזי החממה.

תאורה טבעית

ניצול של תאורה טבעית נקבע במידה רבה ע"י האדריכל בשלבים המוקדמים של התכנון בבחירת צורת המבנה, עומק, תכנון אטריום, צורות ומיקום הפתחים והצללתם. תכנון נכון מאפשר שימוש בתאורה הטבעית בשטחי היקף הבניין, ושילוב תאורה חשמלית יעילה באזורים בהם לא קיימת תאורה טבעית מספקת ע"י שימוש בגלאי אור ומפעילים לשליטה ובקרה באור. לפי מחקרים ניתן לראות כי ניתן לחסוך כ-80%-40% מצריכת האנרגיה המיועדת לתאורה במבני משרדים.

הנחיות תכנון מפורטות לתאורה טבעית קימות בארץ.

צמצום צריכת האנרגיה: מערכות יעילות אנרגטית

א. מערכות חימום, אורור וקירור (HVAC)

מערכות HVAC משמשות לסינון האוויר, ויסות הלחות, חימום ו/או קירור של הבניין. המערכות הפשוטות ביותר מבצעות סירקולציה של נפח אוויר קבוע בטמפרטורה מסוימת כדי לשמור על טמפרטורה הרצויה במבנה. חשוב להבטיח נצילות אנרגיה גבוהה בפעולתן של מערכות מיזוג אוויר מרכזיות.

ב. תאורה מלאכותית

תאורה נחשבת לכ-17.5% מצריכת החשמל העולמית, כשהחלק הארי משמש למבני מסחר וציבור, ואחריהם למבני מגורים. תאורה יעילה יכולה לחסוך במשרדים ומגורים בישראל עד כמחצית מצריכה זו. בישראל פוטנציאל ההפחתה של הפליטות כתוצאה מהתייעלות בתאורה מהווה כמעט רבע מהפחתה האפשרית במבנים בכלל. בנוסף, התייעלות בתאורה, כולל תאורה טבעית, תביא גם להפחתת עומס החום על מערכות HVAC.

ניתן להפחית את הביקוש בצריכת האנרגיה לתאורה ע"י התייעלות של אמצעי התאורה המלאכותית הכוללת: הקטנת בזבז האנרגיה הנגרם כתוצאה משימוש בטכנולוגיות לא יעילות (בנורות ובגופי התאורה), אספקת אמצעי שליטה ובקרה מתאימים ושילוב עם תאורה טבעית, ואופטימיזציה של הרמות המומלצות של תאורה ופיזור האור. אפשרות גדולה לחיסכון נמצאת בתכנון נכון של תאורה טבעית אשר יכולה לספק את מרבית דרישות התאורה של המבנה.

התנהגות המשתמש היא גורם משמעותי בהפעלת תאורה מלאכותית, ללא קשר לתאורה טבעית מספקת, מחקרים מצביעים על חשיבות של מערכות בקרה וניהול לתאורה כגורם משמעותי בצמצום הצריכה.

טכנולוגיית ה-LED היא טכנולוגיית תאורה עם פוטנציאל גדול לחסכון באנרגיה. התקדמות בפיתוח טכנולוגיית ה-LED ב-25 שנים האחרונות מובילה להפיכתה לטכנולוגיה רלוונטית ליישומים נרחבים בתחום הארת מבנים, ואם מגמה זו תימשך הוא יחליף יותר ויותר את הטכנולוגיות המקובלות.

שימוש בטכנולוגיות להתייעלות אנרגטית בתאורה הוא בד"כ אפקטיבי מבחינת עלות ובעל החזר השקעה קצר טווח אולם יש חסמים המגבילים את התפתחותו. בשנים האחרונות מדיניות ממשלתית בעולם מצליחה להתגבר על חלקם ע"י התייחסות לתאורה כמערכת כוללת וע"י תכניות לאומיות לשינויי שוק כמו שנעשו בארה"ב, אוסטרליה ועוד.

בישראל התקנים הקיימים בנושא הם של יעילות גופי תאורה תקני תאורה למקומות עבודה, וחסרה התייחסות מספקת לתאורה טבעית.

ג. מערכות חימום מים

ד. מערכות ניהול אנרגיה במבנים - BEMS - building energy management systems

BEMS הינן מערכות בקרה עבור מבנה בודד או עבור קבוצת מבנים, המשתמשות במחשב לעיבוד, שליטה, אגירת מידע ותקשורת ע"י חיישנים המפוזרים ברחבי הבניין או הבניינים. מערכות אלו עוזרות למצוא ולחסום איבוד אנרגיה ובכך מאפשרות חיסכון בצריכת החשמל. חיבור בקרת האקלים של הבניין למחשב מאפשר שליטה דרך האינטרנט על הנעשה.

מקורות אנרגיה חלופיים: מערכות אנרגיה מתחדשת המשולבות בבניין

לפי דוחות קיימים מקורות אנרגיה חלופיים מהווים כיום 13.4% של סה"כ מקורות האנרגיה ברמה עולמית. על מנת לצמצם את הפליטות של גזי החממה בבניינים, ולעודד שימוש בטכנולוגיות חדישות ע"י מתכננים, יש צורך בבחינת אופציות לשילוב מערכות כחלק אינטגרלי ממערכת המבנה. יישום מערכות מתחדשות בבניינים מוגבל מבחינת המיקום באתר והשילוב שלהם במערכת המבנית. לכן חשוב ביותר להתייחס לנושא זה בתכנון עירוני. הגבלה נוספת ליישום מערכות אנרגיה מתחדשות הוא העלות הגבוהה של המערכות בתנאים הנוכחיים. חשוב מאוד לצמצם את צריכה האנרגיה של הבניין עוד לפני תכנון והתקנה של מערכות חדישות. קיימים מספר מקורות אנרגיה מתחדשים הניתנים לשימוש:

אנרגיה סולארית

לפי דוח "התחזית בידיים שלנו" של אדם טבע ודין ישראל נמצאת בשלב מאוד מתקדם מבחינת ניצול אנרגית השמש לחימום המים. כיום ב-75% מהבתים בארץ מותקנים דודי שמש לחימום מים מה שגורם לחסכון של 3% מסך ייצור החשמל בישראל. לפי אותו דו"ח עולה כי גם בנושא הקמת תחנות סולאריות ישראל מובילה אך הקמתן של התחנות לא מיושמת בארץ כלל וזה כנראה בגלל צריכת משאבי קרקע יקרים ועלות ההקמה של התחנות הגבוהה.

BIPV - תאים פוטו-וולטאים משולבים בבניין - תאים פוטו-וולטאים מצויים כיום במגוון רחב של אפשרויות שימוש וניתן ליישם אותם כמעט על כל משטח בבניין, בהתאם לרמת החשיפה לשמש. בנוסף להפקת אנרגיה מערכות אלו מהוות חלק ממעטפת הבניין ותורמות לתפוקה: הגנה מפני מזג האוויר, שליטה סולארית (הצללה), תאורה טבעית ופרטיות.

ניצול נוסף של אנרגיית השמש הוא לקירור סולארי. משתמשים באנרגיה סולארית לייצור חום עבור מעגל תרמו-דינמי שמייצר מים קרים בטמפרטורות שונות. ניתן לנצל את הטכנולוגיה עבור הקפאה בתעשייה ומיזוג אוויר במבנים וכך להגיע לחסכון של 95% מצריכת האנרגיה.

אנרגית רוח

ניתן לנצל את הרוח בתור מקור אנרגיה נקי וללא צורך בהשקעה כלכלית גבוהה. בקנה מידה של בניינים קיימות טורבינות רוח בעלות הספקים שונים המותאמים לצריכה של הבניין. אחד החסרונות הבולטים בשימוש באנרגית הרוח הוא התדירות הלא קבועה של הרוחות. בעיה נוספת הינה הממדים הגדולים של הטורבינות הנדרשות לתכנון. כמו כן, צריך גם להתחשב ברעש הנוצר עקב פעולת הטורבינות. מקרים בהם שולבו טורבינות רוח בבניינים נמצאו לרוב כמייצרים כמות אנרגיה קטנה ולא כלכליים.

הפחתת אנרגיה גלומה ופליטות נוספות

הולכת וגוברת הדאגה להשפעות הסביבתיות שנגרמות מבניינים ו/או חומרי בניין במשך תקופת הבניה השימוש לאורך חיי הבניין, והריסתו. ההשפעות הן בקני מידה שונים: פנימיות, מקומיות וגלובאליות. חשוב לציין כי ההשפעה הסביבתית הגדולה ביותר במהלך החיים של החומר/בניין מתחילה דווקא בשלב התעשייה והיצור של חומרי הבניה/חומרי הגלם והטיפול הראשוני בצמצום ההשפעות הסביבתיות צריך להתחיל בשלב זה.

ההערכה מחזור החיים (LCA - Life cycle assessment) הוא כלי חשוב לחישוב ההשפעה על הסביבה של החומר, תהליך ופעילות מתחילת הדרך ועד הסוף. המידע יכול להיות מתורגם לכמות החומר הנפלט או להפך לתרומה לבעיה הקיימת ועל ידי זה לעודד שימוש בחומרים בעלי נזק סביבתי מועט.

הפחתה: עיצוב עירוני

בהתאם לנתונים של האו"ם נכון ל-2010, יותר מ-50% מאוכלוסיית העולם גרה ביישובים עירוניים (בישראל יותר מ-90%), כאשר בעשורים הבאים נהיה עדים להמשך גידול חסר תקדים בעיקר במדינות מתפתחות. אין ספק שעובדה זו תוביל לבעיות סביבתיות וקלימטולוגיות רציניות, אם רשויות, מתכננים וארכיטקטים לא יפתחו אסטרטגיה תכנונית ושיטות תכנון חדשות שתאפשרנה חיזוק והמשך גידול השטחים האורבניים, תוך הבטחת חיים ועבודה בסביבה אקלימית טובה. יחד עם הסיכונים קיימות הזדמנויות ולערים תפקיד מרכזי בהתמודדות מוצלחת עם בעיות אלו כפי שבא לידי ביטוי בכנס שנערך בעיר בון בגרמניה "הקונגרס העולמי השני לערים ולהערכות לשינויי האקלים", ביוזמת ארגון ICLEI, ובשיתוף גופים נוספים כגון HABITAT, הבנק העולמי, סוכנויות או"ם נוספות, שרי ממשלה ועוד.

יותר ממחצית מפליטות גזי חממה היא תוצאה מפעילות אזורים עירוניים, זאת למרות שהשטח העירוני מהווה רק 0.4% משטח כדור הארץ. על כן, לעיצוב העירוני תפקיד חשוב בהפחתה ולהתאמה לתופעות המתרחשות כתוצאה משינויי האקלים. ערים יכולות להפחית את כמות הפליטות של גזי חממה תוך התמודדות עם בעיות סביבתיות נוספות כגון זיהום אוויר, פסולת ותחבורה, ופיתוח כלכלי מקומי. מצד ההיצע, קידום שימוש במקורות אנרגיה אלטרנטיביים והפיכתם לאטרקטיביים יותר מבחינת הצרכן. מצד הביקוש, עיר מתוכננת טוב יותר המצמצמת זחילה עירונית ופרוור, מעודדת עירוב שימושים, בניינים ירוקים ותחבורה ציבורית טובה יותר, עשויה להקטין את טביעת-הרגל האקולוגית של העיר ובו בזמן לספק איכות חיים וסביבה טובים יותר לתושביה.

על כן, יש להתייחס יחד עם תכנון בניינים, להקשר העירוני של הסביבה הבנויה והשפעתה בהפחתת בעיות הנגרמות ע"י שינויי האקלים. ברמת עיצוב עירוני ביו-אקלימי - תכנון צורת עיר (מורפולוגיה) יכול לסייע בהפחתת תופעות הנובעות משינויי אקלים, ולאפשר ניצול אנרגיית השמש והרוח בבניינים ובשטחים פתוחים. כמו כן, למיקום ולאופי הישוב או השכונה השלכות מרכזיות על עלויות הקמתו ותחזוקתו, על צריכת האנרגיה בבנייתו ובמהלך החיים בו, על איכות הסביבה והחיים שבתוכו, והשפעתו החיצונית על סביבתו.

תכנון ביו-אקלימי

כדי לקדם פיתוח בר-קיימא ניתנת עדיפות למחזור קרקע מפותחת, אשר לא נעשה בה שימוש אופטימלי. קרקע כזו יכולה להימצא באזור תעשייה שנטש או שיש מקום לשנות את יעוד כדי להגדיל את מגוון הפעילויות באזור, ע"י ציפוף של אזור מגורים קיים, או ע"י בנייה מחדש אם לא ניתן לשדרג את הבניינים הקיימים. שיקולים נוספים המשפיעים על בחירת האתר הם: קירבה לאזור עירוני קיים ולמערכות תשתית ותחבורה, וטופוגרפיית האתר, שיפועי הקרקע והפנות, משטר הרוחות, וסוג הקרקע ותת-הקרקע.

בנוסף לכך, מיקום המבנה בסביבה עירונית, במיוחד במקומות נגישים לתחבורה ציבורית יעילה, מאפשרים למשתמשים בו לנהל את חייהם ללא תלות ברכב פרטי, ועל ידי כך לתרום לסביבה הן בהפחתת צריכת האנרגיה, והן בהפחתת פליטת מזהמים ורעש. התקנת אמצעים לחיסכון במים, מיחזור מים אפורים, ועיכוב והחדרת מי הנגר הנוצרים בסביבת הבניין, מאפשרים חיסכון במים וחסכון באמצעים הנדסיים ואנרגיה הדרושים כדי לטפל בהם. לבסוף, בנייה בצפיפות גבוהה, תוך תרומה ליצירת סביבה עירונית מרובת שימושים ומגוונת.

עצם קיומו של יישוב עירוני משנה באופן משמעותי את תנאי האקלים - הן בתוך השטח הבנוי והן מעבר לגבולותיו. ההשפעות האקלימיות של המרקם העירוני תלויות במאפיינים רבים, וניתן להעריך אותן ברמות שונות של קנה המידה המרחבי.

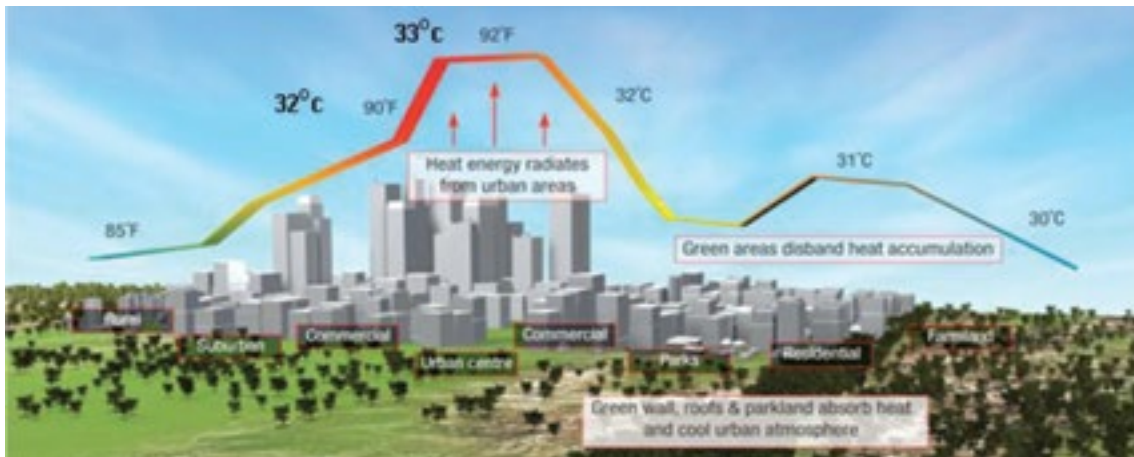
המערך העירוני הוא בעל השפעה רבה על יצירת מיקרו-אקלים בעיר. מורפולוגיית העיר ואוריינטציית הרשת האורבנית משפיעות על הצללה וחשיפת הרחובות והשטחים הפתוחים לשמש ולרוח, אך יחד עם זאת על אגירת החום. כמו כן, בעת שילוב מערכות סולריות להפקת אנרגיה בבניינים (חימום מים, תאים פוטו-וולטאיים), למערך העירוני השפעה מכרעת על יעילות מערכות אלה.

צפיפות הבנייה

לצפיפות הבנייה השפעות רבות על התפקוד האנרגטי של יישובים ובניינים. צפיפות גבוהה יותר ברמת היישוב מגדילה את האפשרות להסתמך על הליכה ברגל ורכיבה באופניים כאמצעי תנועה מרכזיים, היא מאפשרת הגנה של בניינים זה על זה מרוחות, והקטנת המעטפת שלהם ועל כן הקטנת איבוד האנרגיה. מנגד יש לה השפעה על החשיפה האפשרית של המבנה הבודד והשטחים הפתוחים לקרינת שמש ולאוויר. צורת הקבצת היחידות לבניין השלם משפיעה באופן משמעותי ביותר על צריכת האנרגיה של הבניין השלם.

איי חום

בניית ערים גורמת לשינוי קיצוני בתכסית פני השטח. לכך נוספת הפעילות האנושית הגורמת לפליטה מוגברת של גזי חממה. שינויים אלו גורמים להיווצרות 'איי חום עירוני', שבו שוררים תנאים מיקרו-אקלימיים השונים מאלו שבשטחים הפתוחים הסובבים את העיר. 'איי החום העירוני' הנו תופעה שמתבטאת בגרדיאנט טמפרטורה שהולך וגדל במעבר משולי העיר אל האזורים המבוינים בצפיפות (ראה איור 2.2). התופעה מתבטאת בדרך כלל בעלייה בטמפרטורה קרוב לפני השטח וביצירת אזור חם מעליה, והיא מורגשת במיוחד בשכבת האוויר הכלואה בין פני הקרקע לקו גגות הבתים¹. מלבד הגברת החום, תופעת 'איי החום' גם מאריכה את שעות עומם החום, כך שהגברת העקה האקלימית מורגשת לאורך פרק זמן ארוך יותר ביממה. מחקרים הראו, שבמהלך המאה ה-20, תופעת 'איי החום העירוני' הוחמרה והטמפרטורות במרכזי הערים עלו בשיעור גבוה יותר מאשר בשטחים הפתוחים הסמוכים.



איור 2.2 גרדיאנט טמפרטורה בין שולי העיר למרכז

¹ בתוך המרקם הבנוי (כלומר החופה העירונית), עוצמת ההתחממות אינה אחידה ומשתנה בהתאם לתכונות הסביבה המידית.

פגיעותה של האוכלוסייה לתופעת 'אי החום' נמצאת ביחס ישר לשיעור האוכלוסייה המתגוררת באזורים העירוניים. בישראל, שיעורה של האוכלוסייה העירונית עומד כיום על למעלה מ-90%, שהוא בין הגבוהים ביותר בעולם ואף נמצא במגמת עלייה. אי לכך, לתופעות של עקה אקלימית במרחבים האורבאניים יש השלכות על רובה המכריע של אוכלוסיית המדינה.

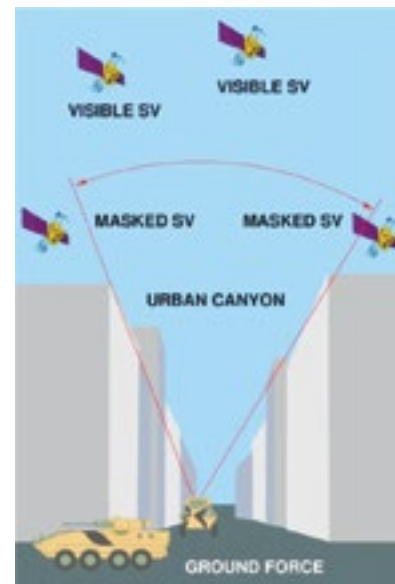
עוצמתן של תופעות עקה אקלימית במרחבים העירוניים תלויה בגורמים רבים, ביניהם:

1. **פליטת חום אנתרופוגני** - הפעילות העירונית כוללת פעילות תעשייתית, תנועת כלי רכב, צריכת אנרגיה למיזוג ולהסקה ביתית, הפעלת מכשירים, תאורת רחובות וכיו"ב. כל הפעולות הללו כרוכות בייצור ובפליטת חום, אשר נאגר ומאוחסן בשעות היום בתוך מסת הבטון והאספלט בעיר, ומשתחרר בשעות הלילה בהיעדר אילוף סינופטי (כלומר, כשאין רוח חזקה). מרכיב החום האנתרופוגני תלוי בגודל האוכלוסייה ומשקף את אופי חיי החברה והכלכלה, את רמת החיים ואת הפעילות המסחרית והאנושית בעיר.

2. **גודל ומסת השטח הבנוי** - עוצמתו של אי החום העירוני מושפעת גם מגודל וצפיפות השטח האורבני. מרקם עירוני צפוף עם רחובות צרים ועמוקים עשוי ליצור שטחים מוצלים רבים בימי הקיץ. מצד שני, הגדלת הצפיפות גורמת ל"לכידה" של חום ועלולה לפגוע באוורור החלל, ואף למנוע חשיפה לשמש רצויה בחורף. ניתן באמצעים תכנוניים להשיג מערכת רחובות שעונות לדרישות מוגדרות אלה ומביאות לשיפור הנוחות של הולכי הרגל ברחוב. באופן כללי, ככל ש"מצטופף" חתך הרחוב כך נחלשת זרימת הרוח בסמוך לגוף האדם. לכן, גם מבחינתנו של אוורור הרחוב, הציפוף העירוני גורם להתחממות. עם זאת, חשוב לציין שהאטת הרוח תלויה גם בכיוון ציר הרחוב יחסית לכיוון הרוח.

מרקם עירוני צפוף עם רחובות צרים ועמוקים מקטינים את ערכו של 'מקדם/גזרת חשיפת השמיים' (SVF - sky view factor) בהשוואה למרחב הכפרי הסובב². בצפיפות בינוי גבוהה נוצר "אפקט הקניון" (ראה איור 2.3 ותמונה 2.1) המהווה 'מלכודת קרינה'. בעוד שבשטח הפתוח רוב קרינת השמש מוחזרת או נפלטת לאטמוספירה, בעיר היא מוחזרת או נפלטת למבנים אחרים, וחלק ממנה נבלע והופך לחום שנכלא ונאגר. המבנה המורפולוגי המגוון של העיר גורם גם להגדלת שטח הפנים של העיר, ולכן כמות גדולה יותר של קרינה קצרת גל פוגעת בעיר מאשר בשטח הפתוח.

מספר מחקרים בדקו את השפעת המרקם העירוני על כמות ועוצמת הקרינה המגיעה ל"קניון העירוני" והיווצרות תופעת אי החום וכן על האמצעים שעשויים לתרום לשיפור המצב: צפיפות, חתך רחוב, חומרים בעלי אלבדו גבוה, שימוש בצמחיה, הצללה, גגות ירוקים, חשיפה לכיפת הרקיע, ועוד.



איור 2.3 היווצרות 'אפקט' הקניון בעיר

² מקדם/גזרת חשיפת השמיים נמדד כחלק היחסי של כיפת השמיים הנראה מנקודה נתונה בתוך החלל. בעיר, ערך ה-SVF מחושב יחסית לנקודה בציר המרכזי של הרחוב, במפלס הרחוב.



תמונה 2.1 מגדלים גבוהים יוצרים 'קניונים' עמוקים בהונג קונג

3. **זיהום אוויר** - החלקיקים והגזים שנפלטים מהפעילות האנושית משנים את הרכב שכבות האוויר שמעל העיר. בשכבות אלו נוצר ריכוז גבוה של פחמן דו-חמצני, תחמוצות חנקן, גופרית דו-חמצנית ואירוסולים, אשר בולעים קרינה ארוכת גל שמוחזרת מפני הקרקע. העלייה בריכוז המזהמים גורמת, אמנם, להפחתת הקרינה הישירה שמגיעה לפני השטח, אך מנגד היא מגבירה את הפיזור בעיר של הקרינה החוזרת ושל הקרינה הנפלטת. לפיכך, שילוב 'אי החום העירוני' עם עליה בריכוז המזהמים עלול לגרום לשכיחות גבוהה יותר של ימים בהם שוררים תנאים המסוכנים לבריאות הציבור בכלל ולאוכלוסיות פגיעות בפרט.
4. **חומרי בניה אוגרי חום** - העיר מתאפיינת בריבוי משטחי אספלט ומבני בטון וברזל, שהנם בעלי קיבולת חום גבוהה יחסית. חומרים אלו אוגרים חום בשעות היום ופולטים אותו בשעות הלילה, וע"י כך ממתנים את קצב ושיעור ההתקררות הקרינתית של העיר בלילה, בהשוואה לשטח כפרי פתוח.
5. **אטימות השטח** - כיסוי צמחיה, שקיים בשטחים פתוחים, גורם לקירור האוויר באמצעות אידוי מים מהקרקע ודיות מעלי הצמחים (evapo-transpiration). באזורים העירוניים, לרוב הפוטנציאל לקירור באידוי קטן בשל החלפת תכסית הצמחייה בחומרים אטומים. ככל שניקוט מי הגשם יעיל יותר, כך קטן האידוי מפני השטח.
6. **אלבדו (שיעור החזר הקרינה) נמוך של התכסית** - המרחב העירוני מתאפיין גם בריבוי של משטחים וחיפויים כהים, כגון אספלט, ששיעור החזר הקרינה שלהם נמוך.
7. **הפחתת מהירות הרוח** - עקב הבינוי, מופחתת מהירות הרוח באזורים אורבניים בממוצע שנתי של כ-20% עד 30%, וגדלה שכיחות מקרי העשקט (רוח חלשה מאוד של פחות מ-5 קשר) ב-5% עד 20%. העלייה בשכיחות מקרי העשקט מאוד משמעותית - יותר זיהום אוויר, פחות אוורור, פחות פיזור והסעה של חום מוחשי, הצטברות חום באזורים מסוימים בעיר והגברת תופעת 'אי החום העירוני'.
8. **מצב סינופטי** - יציבות סינופטית מחמירה את עוצמת אי החום העירוני. אזורים בעלי מעט רוח טבעית ושמים בהירים רוב ימות השנה יהיו חשופים יותר להשפעת איי החום והיווצרות עומסי חום כבדים. תנאי יציבות אלו שוררים במרבית ערי החוף והמדבר בישראל - חיפה תל אביב, באר שבע ועוד. שינויי האקלים, הבאים לידי ביטוי גם בעליה בשכיחות ובעוצמה של אירועי מזג אוויר קיצוני בהם שוררים עומסי חום כבדים, מגבירים את ההשפעה של תופעת אי החום העירוני.
9. **מיעוט צמחיה ומקורות מים לאידי** - מחקרים שבחנו את הקשר בין הצמחייה בעיר והסביבה התרמית מראים כי לעצים אפשרות ליצירת מיקרו אקלים בסביבתם, אשר הטמפרטורה בו יכולה להיות נמוכה ב 2-4 מעלות מהסביבה, תלוי בסוג העץ. אחד ממאפייני הסביבה העירונית הנו מיעוט צמחיה ביחס למרחבים הפתוחים הסובבים אותה. מאפיין נוסף הנו מיעוט מקורות מים לאידי, כתוצאה מקיומן של מערכות לניקוז ופינוי מהיר של המשקעים. לפיכך, שטחים בנויים מתייבשים מהר יותר משטחים פתוחים, אנרגיית שמש מועטה יחסית מושקעת בייבוש ובאידי, ורוב האנרגיה מושקעת בייצור חום. כתוצאה מהנ"ל, היקף המרת קרינת השמש בעיר לחום כמות הנו מצומצם יחסית, ורוב קרינת השמש תורמת לחום מוחשי ולטמפרטורות גבוהות יותר. היחס בין חום מוחשי לבין חום כמות מכונה 'יחס בוח' - ויחס זה בעיר גדול יותר מאשר במרחב הכפרי הפתוח והוא תמיד בעל ערך חיובי. באקלים חם ולח גאות ירוקים וחזיתות המשלבות צמחייה מועילים לא רק בהפחתת צריכת האנרגיה, אלא גם מספקים יתרונות סביבתיים אחרים כגון שיפור איכות האוויר ומקומות ירוקים נגישים. חשוב להתייחס כמו כן לצורך בשימוש במים. ריבוי צמחיה עוזר למתן את טמפרטורת השטח על ידי הצללה וכיסוי הקרקע, ואילו מיעוט הצמחייה תורם גם לכך שבאוויר שמעל העיר יש ריכוז גבוה של פחמן דו-חמצני.

זכויות שמש ורוח

כדי לנצל את אנרגיית השמש לתאורה ולחימום פסיבי של בניינים, על המתכנן להבטיח את חשיפתם של המערכות הסולריות במידה מספקת לשמש. אסור שהשגת גישה לשמש (Solar Access) תהיה תוצאה מקרית התלויה במציאות המשתנה מסביבנו. גישה לשמש צריכה להיות מובנת כזכות לשמש (Solar Rights). יש להבטיח כמות מינימלית של קרינה או מספר מינימלי של שעות חשיפה לקרינת השמש בעונה הקרה של מערכות סולריות ושטחים פתוחים. כמו כן, מבנים משפיעים על זכויות הרוח של המבנים השכנים ושל שטחים פתוחים ויכולים לפגוע ביכולת זרימת הרוח החיונית להשגת תנאי נוחות ע"י אוורור טבעי או למערכות לייצור חשמל ע"י רוח. לכן חשוב ביותר להתייחס לנושאים אלה כבר בשלב של קביעת הקונפיגורציה העירונית.

התייעלות אנרגטית

ייצור אנרגיה בכלל וייצור חשמל בפרט מהווים את הגורם המכריע ביותר לפליטה של מזהמים. בישראל עבור ייצור חשמל נפלטם בשנת 2006 נפלטו 38,660 אלפי טון פחמן דו-חמצני שהם כ-63% מסה"כ פליטות ה- CO_2 כתוצאה משריפת דלקים. כמות זו נפלטת מתחנות הכוח של חברת החשמל ולהן השפעה רבה על הסביבה בכלל ועל הסביבה הקרובה בפרט.

תשתיות

תכנון תשתיות ותכנון השטח הבנוי מהווים גורם משמעותי ביותר בניהול צריכת האנרגיה של מדינת ישראל - ולכן בפליטות של גזי חממה לאטמוספירה. לפיתוח בערים קיימות או בצמוד אליהן השלכות חשובות גם מבחינת ההזולה והקטנת הפגיעה של מערכות תשתית ראשיות, וניצולן היעיל יותר. יש בו גם כדי לעזור בשיקום הכלכלי של אזורים קיימים, הזקוקים להשקעות ושידרוג. חיבור למערכות מים דורש השקעה בצנרת, משאבות ואנרגיה. ההשקעות בניקוז יכולות להיות גבוהות מאוד ולהפריע למערך הניקוז הטבעי. כיום כמעט ולא ניתן להקים ישוב חדש ללא חיבורו למערכת טיהור ביוב. חיבור כזה דורש גם הוא השקעות בצנרת ובתחנות סניקה ואנרגיה בהפעלתו. לעיתים במערכת טיהור קיימת אין מספיק קיבולת ליישובים חדשים, ועל כן יש צורך בהשקעה נוספת בהגדלת ההספק של מערכות הטיהור. מכל הסיבות הללו עדיף למקם ישוב חדש בסמוך לקווי תשתית קיימים או בצמוד לישוב קיים, אשר ייתכן שאיננו מנצל בצורה מלאה את קיבולת מערכות התשתית הקיימות שלו, ואשר כבר גורם ממילא הפרעה למערכות הטבעיות.

תחבורה

הפליטות העירוניות של גזי החממה נובעות גם מסקטור התחבורה. נסיעות ברכב הפרטי למשל, מהוות היום חלק משמעותי (בין 30% ל-40%) מסך צריכת האנרגיה בארצות מפותחות. השלכותיהן מבחינת רעש, זיהום אוויר, גזי חממה, ופיצול שטחים פתוחים על ידי דרכים מהוות פגיעה משמעותית במידת הקיימות הארצית או האזורית. עובדות אלה עמדו בפני מתכנני תכנית המתאר הארצית 35 לפיתוח ושימור כאשר המליצו על כך שלא יוקמו ישובים חדשים ברוב אזורי הארץ, ושעיקר הפיתוח יהיה בערים קיימות, או צמוד אליהן. ניתוח יוזמות שונות בניו יורק, קוריטיבה בברזיל, הנובר בגרמניה ועוד ערים רבות בעולם, מעיד על כך שתכנון העיר קריטי להקטנת טביעת הפחמן ולתחבורה השפעה מכרעת. עיריית ניו יורק למשל אחראית רק ל-1% מסך טביעת הפחמן של ארה"ב, וטביעת הפחמן שלה קטנה בשליש ממוצע ערי ארה"ב. הדבר נובע מצפיפות העיר ועירוב שימושים יחד עם מערכת תחבורה ציבורית יעילה, המאפשרת להתיידי בעיר ללא שימוש ברכב הפרטי.

קיים קשר בין צפיפות גבוהה ונגישות גבוהה. ריכוז פעילויות באזור מסוים בעיר מאפשר פיתוח נמרץ של מערך הסעות המונים בעוד פיזור רב יוצר תלות ברכב הפרטי. יצירת ערוב שימושים של מגורים, מוסדות ציבור ואזורי מסחר ותעסוקה מאפשר הגעה קלה, נוחה ובטיחותית ממקום למקום ללא צורך ברכב הפרטי. הריכוז האינטנסיבי, המתאפשר בבנייה לגובה, מאפשר יצירת מרחב פעיל ונוח להולכי רגל. בארץ תכנון מסוג זה אינו קיים כמעט בעשורים האחרונים, אך בארצות אחרות ישנה חזרה לתכנון אזורים רב-תכליתיים, כחלק מהמגמה של תכנון ירוק והחזרה אל הערים והעירוניות.

תאורה מלאכותית

השימוש באנרגיה ברשות הרבים, כגון במבני ציבור וממשל וכן במרחב הפתוח, הוא משמעותי ביותר, הן באנרגיה לחימום וקירור והן לתאורה. שימוש בתאורת רחוב חסכונית באנרגיה או בתאורה המבוססת על אנרגיה מתחדשת יכול להביא לחסכון ניכר בעלויות של הרשויות המקומיות, כך גם מעבר לתאורה חסכונית במבני הציבור והממשל. התאמת עוצמות ההארה לצרכים, שימוש באמצעי בקרה, שימוש במקורות אור יעילים וצמצום זיהום אורי הם חלק מהגורמים שיש להתייחס אליהם במסגרת תכנון עירוני.

התאמה ADAPTATION

בשנים האחרונות, גוברת המודעות לגבי חשיבותם של תכנון בניינים חוסכי אנרגיה. אולם כמעט לא קיימת חשיבה רחבה בנושא התאמת תהליכי התכנון והבנייה של בניינים לקראת מצב של שינוי אקלים עתידי ועל תפקוד בניינים במצב חדש זה. יש מקום לחשיבה מחודשת על האופן בו אנו מתכננים ובונים את הבניינים בערים שלנו. על מנת להיערך בתחום הבניה יש לפתח אסטרטגיות

התאמה הוליסטיות תוך שימוש בנתונים וכלים אשר יוכלו לייצג את הקשרים שבין המבנים לאקלים העתידי. יחסי גומלין בין מקצועות הסביבה הבנויה יכולים וצריכים להוות בסיס איתן ליצירת פתרונות משולבים, לדוגמה איסוף מי גשם ממבנים יוריד את הלחץ על מערכות הניקוז בעת שיטפונות או יכול להיות משולב בפיתוח נופי אשר יהווה הפחתה לאי החום.

התאמה - תכנון מבנים

תכנון מבנים גמיש מאפשר התאמה לתנאי האקלים המשתנים. התכנון חייב לכלול אסטרטגיות שיהוו יתרון גם אם לא ייווצרו שינויים אקלימיים כל שהם, למשל, חיזוק אלמנטים בבניין באופן בטיחותי על מנת למנוע נזק שעלול להיגרם על ידי הרוח, יישור וליטוש ריצוף של קומת הקרקע על מנת לאפשר חזרה לשגרה בהקדם במקרה של הצפה. בנוסף, על המתכננים לחקור את הסיכונים הנובעים משינויי אקלים ולהכין את המבנים לאסונות הצפויים שיכולים לכלול: עליה בטמפרטורות, הצפות, שיטפונות, הגברת גשמים וברד.

התאמה לעליה בטמפרטורה

עליית הטמפרטורה הצפויה תשפיע על התגברות חוסר הנוחות התרמית במבנים, וכתוצאה מכך תביא גם לעליית הביקוש לאנרגיה לקירור בעת עומסי חום. לכן, לתכנון ביו-אקלימי וליישום טכנולוגיות יעילות אנרגטית כפי שפורטו בפרק ההפחתה, יש למעשה רווח כפול גם למאמצי ההפחתה וגם למאמצי ההתאמה. עבודות העוסקות בהשגת נוחות תרמית גם בטמפרטורות גבוהות יותר, מתמקדות בשיטות פסיביות ומעוטות אנרגיה, כאשר האמצעים האפקטיביים המומלצים הם: הצללה חיצונית, אוורור מפולש, מסה תרמית ובידוד.

ההתייחסות לנוחות תרמית היא לא רק ברמת המשתמש במבנה אלא גם בהקשר של התאמת ענף הבניה לעבודה בתנאי חוץ בטמפרטורות גבוהות. דוגמאות להתמודדות עם נושא זה הן הפחתת הבניה באתר לטובת בניה מתועשת או ניהול מותאם של האתר בתנאי חום.

התמודדות עם אירועי קיצון

העלייה בתדירות אירועי גשם בעלי עוצמה גבוהה, בשילוב עם ירידה בסך כל המשקעים צפויה להוביל אירועים קיצוניים ולשיטפונות תכופים יותר ובעלי עוצמה גבוהה יותר. מישור החוף המיושב בצפיפות צפוי לסבול במיוחד מבעיה זו. בסך פרנסיםקו נעשתה עבודה הבוחנת מספר אלטרנטיבות אפשריות להתמודדות עם נושא עליית מפלס המים באזור המפרץ, דרך היתרונות והחסרונות של כל אחת מהן: בניית חומה או סדרת חומות מרוחקות מהחוף, שריון חופי ע"י בניית הגנה לינארית מוגבהה, העלאת מפלס הפיתוח, פיתוח צף, פיתוח מוצף, ונסיגה מבוקרת.

בעקבות אירועי ההצפות בשנים 2010-2011 באוסטרליה עלה הצורך בתכנון ובניה ברמה גבוהה יותר של בנינים ותשתיות על מנת שיוכלו לעמוד בפני אירועי אקלים דומים גם בעתיד. יש להרחיק את התעשייה ואזורי פיתוח מרצועת החוף ואזורים בעלי סכנת הצפה. האדריכלים והמתכננים צריכים להעריך האם החוקים והתקנות הללו מהווים הגנה מספקת במשך כל חייו של הבניין אותו מתכננים. המשתמש מודע לעלות הגבוהה יותר של הבניין בגלל הדרישות התכנוניות לעמידות בפני סכנות אקלימיות.

אירועים של שיטפונות דוגמת אלו שפקדו את מערב אוסטרליה, בנגלדש וניו אורלינס מדגישים את הצורך של תכנון מותאם לצורך הפחתת הרגישות לסכנת שיטפונות. ברמת המבנה, מדובר בספרות על מספר דרכים להערכות לשיטפונות בעקבות אירועי גשם חריגים: צמצום בניית קומות קרקע למינימום, בינוי רב קומות, שימוש בחומרים עמידים במים וקונסטרוקציות עמידות, תכנון המבטיח שמים יוכלו להתנקז בקלות אם נכנסו (במיוחד במרתפים ויסודות), התקנת ציוד חיוני ורגיש גבוה במידת האפשר ושיפור המודעות והערנות בקרב המשתמשים (דרכי מילוט וכו'). בנוסף, הגנה על מערכת תשתיות ובנינים מסופות באזורי החוף על ידי תכנון ובניה של מבנים מאסיביים דוגמת חומות ים. הבניה באזורי החוף צריכה להיות עמידה להצפות לכן יש לתכנן מבנים על עמודים על מנת לאפשר למים לזרום ולא לגרום לפגיעה בקומות המאוכלסות. יש לדאוג ליסודות המסוגלים לעמוד בפני ההצפות.

מבני ציבור, לעומת זאת, נמצאים ברמת סיכון יותר גבוהה בפני ההצפות בגלל המיקום העירוני ובגלל סכנת הניקוזים. לרוב מבנים ציבוריים נבנים מחומרים בעלי עמידות גבוהה בפני מים וזה מאפשר עמידות של 72 שעות בתוך המים ללא נזק ממשי לבניין.

התאמה - עיצוב עירוני

התאמה בנושא תכנון עירוני צריכה להבטיח יצירה של סביבה אורבנית חסינה ובריאה יותר. אל מול הבעיות שיש להתמודד איתן עקב שינויי האקלים, קיימות הזדמנויות להפוך ערים לאטרקטיביות יותר ולשפר את איכות החיים על ידי תכנון המאפשר התאמה למצבים שונים. לשם כך יש צורך במדיניות איתנה ומגוון תמריצים בכדי להבטיח ביצוע של התהליך. על אדריכלים ומתכננים לחשוב באופן יצירתי בכדי להבטיח שהסביבה הבנויה מותאמת לשינויים הצפויים. המתכנן מתמודד עם עליית טמפרטורה, שיטפונות והשפעת בצורת התאמה נדרשת עכשיו בעיקר משום שהאקלים כבר משתנה. רב התחזיות לשינויי אקלים ב-40-30 שנים הקרובות, הן תוצר של פליטות גזי החממה בעבר. גם אם עכשיו נצליח להוריד חלק מהפליטות, חלק משינויי האקלים הוא בלתי נמנע. במציאות הנוכחית שטחים ירוקים פרטיים או ציבוריים מוקרבים לרב על ידי הפיתוח העירוני. כאשר העיר מתוכננת לא נכון לשינויי האקלים עליה להתמודד עם מזג אוויר, חם יותר, קיצים חמים יותר שידרשו שימוש מוגבר במיזוג אוויר ובאמצעים מלאכותיים אחרים להשגת תנאי נוחות.

התמודדות עם שינויי טמפרטורה

המשמעות של שינויי אקלים והשפעתם על העיר כוללת את המארג העירוני, הסביבה הפנימית, התשתית העירונית (מים, אשפה, אנרגיה, תחבורה, תקשורת), שטחים פתוחים, נוחות תרמית, ושימוש בחללי חוץ ופנים.

מדבור

שינויים בירידת מים ובכמותם ישפיעו על מקורות המים ואיכותם. לאזורים אורבניים יש יכולת שמירה נמוכה של מי שתייה והם יפגעו ממחסור במיוחד בתקופות של יובש. ישנו קשר ישיר בין שימוש מוגבר במים לבין פליטות גז החממה, שימוש נמוך בהם יכול לעזור להפחתת הפליטות. על אף הקושי לאגור מים בשל המבנה העירוני, קידום מדיניות דרך חקיקה מקומית יכולה להגביר אגירה (כדוגמה אלבווקרקי, ניו מקסיקו).

נוחות תרמית

נוחות תרמית היא אחד הגורמים המשפיעים על איכות הסביבה בה אנו חיים, יחד עם איכות האוויר, תנאי התאורה ורמת הרעש. מחקרים מראים שכאשר הסביבה בה אנו עובדים אינה נוחה, עלולה התפוקה לרדת במידה ניכרת.

לאזורים ירוקים חשיבות רבה מאד בהשפעה על תנאי הנוחות בעיר, ועל הורדת הטמפרטורה. ככל שהטמפרטורה עולה, עולה הצורך בשטחים ירוקים וכחולים כמו גם בהצללות.

בנייה עירונית גורמת לטמפ' אוויר גבוהה בעיר יחסית לזו שבסביבה בלתי בנויה. אחת מהדרכים לטפל בתופעה ברמה התכנונית היא פיתוח תכנית מתאר שתקדם תכנון לפני מעשה ותכלול אינטגרציה של נושאים כמו מים, שטחים פתוחים ירוקים וכחולים ובנויים. המטרה היא להפחית שימוש במערכות על ידי תכנון עם הסביבה ויצירת איזון אתה. אזור טבעי יכול להתגבר ע"י פתיחת רחובות והקפדה על אוריינטציה מקומית.

במקומות שונים בעולם נוקטים בגישה זו לשיפור הנוחות התרמית בעיר. הפחתת טמפרטורה על ידי גגות ירוקים (טוקיו), תוספת שטחים ירוקים בטבעת החיצונית של העיר (שיקגו), או תכנון צירים עירוניים שלאורכם גנים וצמחיה (פרנקפורט).

עליית מפלס המים והשפעתה על קו החוף

פני העיר עלולים להשתנות בעקבות עליית מפלס המים. במחקר בנושא נבדק הקשר בין חללים אורבניים לחללים ימיים חדשים ואת החיבור ביניהם עד להפיכתם לחלק אורגני בעיר במטרה להשתמש בתאוריות חדשות כבסיס לתכנון. נושא נוסף המתייחס לפני העיר הוא בגמישות התכנונית, כאשר חלק מהפתרונות המוצעים הם מבנים על קביים, ואפילו מבנים צפים.

התמודדות עם אירועי קיצון

משמעות התרחשות של אירועי קיצון יכולה להיות פגיעה בהגנה החופית מפני שיטפונות, פגיעה במערכות הניקוז העירוניות במהלך אירועי קיצון וכן פגיעה באוכלוסיות לאורך קו החוף. עליה באירועי מזג אוויר קיצוני (בייחוד שנים חמות ולחות) עלולה לבטל מחסומים אקלימיים ולהעלות תפוצת מחלות כמו מלריה, בעיקר בשל המבנה העירוני הצפוף, שאינו בנוי לאירועי הצפות גדולים ולספיגתם. אוכלוסיות חלשות כמו ילדים וקשישים וכן אנשים הסובלים ממחלות כרוניות עלולים להיפגע מגלי החום ועליית סופות חול ואבק. תופעות שמוגברות בעיקר בשל הציפוף המבני העירוני.

הצפות ושיטפונות

עלייה במפלס הים, עליה בכמות המשקעים ותדירותם, ההמשכיות והאינטנסיביות שבירידת גשמים מגבירים את הסכנה מפני הצפות. המבנה העירוני מונע ממי הים לחדור אל הקרקע. נושאים נוספים שמשפיעים על גובה המפלס, הם תהליכים עירוניים מואצים כמו גם התוויה מוכוונת של תנועות המים וכן אזורים בהם מערכות הביוב לא יכולות לספוג את כמות המשקעים שזורמים באירוע נקודתי אחד. היסטורית השיטה שפעלה להגנת חופים הייתה בניית קירות נוקשים מחסומים, עד לאחרונה כמעט לא עלתה השאלה האם קו החוף של מדינה מוגן בצורה אפקטיבית. בשנים האחרונות עם שינויי האקלים ירדה האפקטיביות שבפתרון הנוקשה ועלתה הדרישה ליצירת תשתית גמישה.

הדרך היעילה ביותר להתכונן להצפות עתידיות היא להקטין את החשיפה על ידי נסיגה מקו המים כך שישאר מרחב פעולה למחסומים. קיימות מספר אסטרטגיות להתמודדות עם הצפות: התעלמות או התרחקות מאזורים מוצפים. עמידות - אזורים שאינם חשופים להצפות היום אך בעתיד כן יפגעו. המניעה תתבצע על ידי זלתות שהופכות לסכרים ושסתומי על חזור. יכולת התאוששות או גמישות בפעולה - כאשר ישנם אירועי הצפה נקודתיים מתוך מטרה להחזיר את החיים למסלולם.

ברמה המחוזית ואף עירונית ההתייחסות להצפות כוללת פינוי מקום למים על ידי שימוש באזורים ירוקים, ובאזורי ביצות (קיוטו). ברמת אגד ערים ההתמודדות היא סביב נושא הגאות והשפל, המטרה תהיה לשלב אזורים פנויים וירוקים עם אסטרטגיית ניהול ההצפות, שכוללת התווית אזורים למעבר מים, הזזת יישובים והכנת אזורי הכלה להצפה כמו מגרשי חניה וספורט (כדוגמת הולנד שבה ישנם 13 מובלים למים).

שריפות

גלי חום נקודתיים ואקלים יבש וחם מובילים לחשיפה של הערים וסביבתן לשרפות. על התכנון העירוני להתייחס לנושא פינוי ממבנים. על אף הדרישה להגביר את הציפוף העירוני על ידי בנייה לגובה נוצר כאן קונפליקט בין ציפוף למקרים בהם פינוי המבנה נדרש. בהקשר זה קיימת חשיבות מיוחדת לתכנון השטחים הירוקים הפתוחים בתוך וסביב ישובים עירוניים. תכנון אזורי חיץ סביב שכונות וישובים ולאורך דרכים עשוי להביא למניעת פגיעה בחיי אדם בעת שריפה. כמו כן, חלוקת אזורים אורבניים גדולים ע"י אזורים ירוקים (גינות ציבוריות, פארקים וכו') עשויה לתת דרך אפקטיבית בעת שריפה לגישה לכוחות כיבוי אש וחילוץ ולהכנסת ציוד, וכן אזורי מילוט ופינוי זמניים עבור תושבים המפנים את האזור.



כלים לקידום בניה ירוקה ברמה הלאומית

מדיניות שמקדמת באופן פעיל פתרונות משולבים גם להפחתה וגם להסתגלות חשובה במיוחד בענף הבניה, ויש אפשרויות רבות להשקעות סינרגטיות אשר יכולות להפחית את העלות הכוללת של שינויי אקלים. לדוגמה, שימוש בטכנולוגיות בידוד מתקדמות ותכנון סולרי פסיבי יועילו גם כאמצעי הפחתה וגם כאמצעי הסתגלות, לצמצום הגידול הצפוי בעומסי מיזוג אוויר עקב ההתחממות. מעבר לשיפור איכות החיים, התפוקה ובריאות אנשים בבניינים, הקטנת צריכת האנרגיה ע"י תכנון אדריכלי נכון, עשויה לעזור כמו כן להתמודדות עם מצבים של עוני אנרגטי (energy poverty) ע"י הקטנת ההוצאות של משפחות עבור אנרגיה לאקלים, תוך הבטחת תנאי נוחות תרמיים ראויים. האתגרים הנובעים מהקצב המהיר של תהליכי העיור, מקשים מצד אחד על התגובות לשינויי האקלים, אולם מאפשרים מצד שני הזדמנויות רבות לפתח תגובות מגובשות של אסטרטגיות כוללות של הסתגלות והפחתה. האוכלוסייה, החברות והרשויות של מרכזים עירוניים יהוו גורם מרכזי בפיתוח אסטרטגיות אלו. בדרך זו שינויי האקלים עצמם יפתחו הזדמנויות לשפר את השלטון הגלובלי, הלאומי והמקומי ולעודד את המימוש של צדק חברתי וכלכלי כמו גם של פיתוח בר-קיימא.

מדיניות יעילה למימוש פוטנציאל ההפחתה בתחום המבנים צריכה להיקבע מתוך זיהוי והבנה של מכלול החסמים המגבילים אותו. קיימים **חסמים כלכליים** קלאסיים, שעיקרם הוא חוסר מימון מספיק לצורך התייעלות אנרגטית ושימוש באנרגיה חלופית. יש מחסור בתמריצים אשר יחפו על תקופות החזר ההשקעה, אשר מגיעות לעיתים למספר שנים. כמו כן אין זהות בין המשקיע (היוזם, הקבלן) לבין המוטב העיקרי מההתייעלות האנרגטית (המשתמש), עובדה המצריכה מערכת מורכבת של תמריצים מפוצלים. רק לעיתים רחוקות יהיה גורם אחד אשר ישתתף בכל האספקטים של הבניה, התפעול והמימון. לרוב מקבלי החלטות אין את הידע או היכולת לחשב את עלות המבנה למחזור חיים שלו ולהעריך את ההשלכות של החלטות מוקדמות בתכנון. ולכן בעת הפיתוח של מרבית המבנים ניתנת יותר תשומת לב לעלויות הידועות של הבניה, מאשר לעלויות העתידיות הלא-ידועות של התפעול. גם בעת הערכת מבנה לצורך מתן מימון, המיקוד הוא על עלויות הבניה ולא על עלויות התפעול, ולכן לעיתים לגורמים פיננסיים, כמו הבנקים, אין עניין במימון השקעות בשיפורים אנרגטיים. במדינות רבות, בעיקר מדינות מתפתחות, סיבסוד היסטורי של מחירי החשמל לחלק מהאוכלוסייה מהווה גורם מעכב להתייעלות אנרגטית (למרות שגם לביטול פתאומי של ההטבות יש השפעה שלילית כיוון שאז נוצרת בעיה של חוסר תשלום וצבירת חובות).

בנוסף לחסמים הכלכליים, ישנם חסמים הקשורים ב**חוסר ידע** ובדעה הרווחת לגבי תכנון ובניה. בעת תכנון בניין חדש, היעילות האנרגטית היא רק שיקול אחד מני רבים, ולעיתים נמצאת במקום נמוך בסולם העדיפויות של הדרישות מהמבנה. מרבית המתכננים, המהנדסים והעוסקים בענף הבניה יודעים מעט מאד על יעילות אנרגטית ואיך להשיגה וחלקם לא מוכנים להשקיע בלימוד הנושא. עובדה זו עלולה לגרום לעיכובים ועלויות נלוות אשר יקטינו את העניין של הבונים בהשקעה בהתייעלות, וכפועל יוצא גם את העניין של השוק בהחדרת מוצרים וטכנולוגיות יעילות.

בנוסף, כוח ההתמדה בענף הבניה מסית את ההעדפה של הבונה כנגד בחירות יעילות בגלל היבטים של **סגנון חיים**, מעמד ומנהגים חברתיים. צריכת האנרגיה כיום גבוהה בהרבה מזו שבאמת נדרשת לצורך נוחות, ויש המחשיבים ירידה בצריכת האנרגיה ועליה ביעילות כירידה בנחות או כפגיעה במעמד וביוקריות. ביחס לעובדות אלו ערכן של הטבות כלכליות נמוך יותר בעיני הצרכן. המוטיבציה של צרכנים בנושא יעילות אנרגטית אינה גבוהה גם בגלל שהשקעה בחיסכון באנרגיה היא בלתי נראית בהשוואה להשקעות אחרות שניתן לשווק, ובגלל שהוצאות האנרגיה העתידיות של בנין חדש אינן נתפסות כאמיתיות. לעיתים קרובות צרכנים חושבים בטעות שמבנה הוא יעיל אנרגטית גם אם הוא אינו כזה, כמו הנטייה לחשוב שכל בניין חדש הוא אוטומטית יעיל במידה מספקת. למרות שחוקי הבניה מציינים את הדרישות המינימליות ולא האופטימליות, יש נטייה לחשוב שהדרישות המופיעות בהם מספקות, והם הופכים להיות הסטנדרט המקובל בבניינים חדשים כיוון שאין תמריץ לבונים ולרוכשים להשקיע בסטנדרט גבוה יותר.

בחלק מהמדינות יש חסמים הקשורים בתקנות הקיימות, לדוגמה דרישות מיוחדות בהיתרים למתקני אנרגיה חלופית המהוות מעמסה ניכרת על היזם.

החסמים בתחום המבנים רבים, מגוונים וחזקים והם שלובים זה בזה ומגבילים האחד את השני. לכן לא ניתן למצות את פוטנציאל ההפחתה ע"י כלי מדיניות יחיד, אלא נדרשת מדיניות מורכבת ומקיפה, הבנויה משילוב של חוקים ותקנות, כלים כלכליים ותכניות מידע, תוך ניצול האפקט הסינרגטי שבין הכלים להגברת יעילותם והשגת הפחתה משמעותית. נדרשת מעורבות פעילה, תקיפה ומשולבת של כל בעלי העניין בענף הבניה - אדריכלים, מהנדסים, קבלנים ובעלי נכסים, בתמיכה של הבנקים, מקבלי החלטות, הממשלה והציבור כולו. רק בשיתוף פעולה ניתן להתמודד ביעילות עם התייעלות אנרגטית ושינויי האקלים.

בסקירה של 'אדם, טבע ודין' לקראת גיבוש מדיניות להפחתת פליטות בישראל צוין כי מרכיב מכריע בהתמודדות עם המשבר האקלימי הינו הצבה של יעדים ארוכי טווח, במקביל למדיניות דומה בעולם, וכי רק קביעת יעדים שאפתיים, וגיבוש תכניות אסטרטגיות לאורם, תניע את המשק כולו לכיוון של מציאת פתרונות ממשיים. גם בהסתכלות ממוקדת על סקטור המבנים, ראוי לאמץ עקרון זה. מדינות בעולם כבר קבעו אסטרטגיות ארוכות טווח ויעדים להשגת סטנדרטים מופחתי אנרגיה לבניינים חדשים. לדוגמה, בהולנד יש הסכם וולונטרי עם התעשייה להפחית את צריכת האנרגיה בהשוואה לקוד הבניה הקיים ב-50% עד 2015 ולהגיע למבנים ניטרליים אנרגטית עד 2020. בבריטניה השאיפה היא להגיע לבתים מסוג ZEB (Zero Energy Buildings) עד 2016. בצרפת כל הבניינים החדשים צריכים לייצר אנרגיה עד 2020 ולהיות במאזן אנרגיה חיובי. קליפורניה הציבה יעד של ZEB לשנת 2020 למבני מגורים, ולשנת 2030 למבני מסחר.

חשוב שקביעת היעד תהיה מלווה בהתוויות נתיב מדורג של מטרות שיאפשרו את השגתו. במחקר נמצא שלעיתים מטרות ההפחתה לטווח קצר אינן מספיקות לצורך השגת היעד שנקבע לטווח ארוך. ערים בארה"ב לדוגמה, אימצו יעדים ארוכי טווח המתקרבים להפחתת 80% מהפליטות עד לשנת 2050, אולם הפעולות שהן ממשות בטווח הקצר חלשות מידי ואינן מייצרות נתיב מעשי לקראת היעד הזה (כמו אמצעים וולונטריים שעדיין לא יושמו).

על מנת להביא להתייעלות אנרגטית בעלת ערך משמעותי בטווח זמן קצר נדרשת מדיניות המתייחסת לא רק לבניינים חדשים, אלא גם כזו שתקדם התאמה של בניינים קיימים (retrofit), המהווים אחוז המכריע של מלאי המבנים.

דו"ח IPCC (2007) בנושא הפחתה מציג ניתוח מפורט של 20 כלי המדיניות החשובים להפחתת גזי חממה במגזר המבנים, כולל ניתוח היעילות שלהם, עלות-תועלת, ופרוט המקומות בעולם בהם הם נוסו. כל הכלים יכולים להשיג הפחתות משמעותיות של אנרגיה ופליטות אולם הכדאיות הכלכלית שלהם שונה, לדוגמה דרישות חובה ליעילות אנרגטית ולתיגו נמצאו בין הכלים הכדאיים ביותר, עם חיסכון אנרגיה משמעותי בעלות שלילית. מאגר מידע נוסף באתר ה-IEA מרכז אמצעי מדיניות ממדינות שונות בעולם בנושאים של הפחתת גזי חממה, התייעלות אנרגטית ותמיכה בפיתוח אנרגיות מתחדשות, כולל התייחסות פרטנית למגזר המבנים (דוגמאות יובאו בהמשך).

האמצעים הנדרשים לקידום הבניה הירוקה, כך שתוכל להוות גורם משפיע להפחתה והסתגלות לשינויי אקלים, מתחלקים לארבע קטגוריות: תחיקה, כלכלה, הכשרה והסברה. ארבעת ה"גלגלים" האלו חיוניים להנעת התהליך, ונדרשת תנועה משולבת ומתואמת שלהם כדי ליצור מדיניות יעילה.

חוקים, תקנים ותכנון

משבר האקלים עוסק בבסיסו בצורך בהפחתת פליטות של גז החממה. מדיניות להפחתת פליטות גזי החממה צריכה להתבסס בין היתר על קביעת מחיר אמיתי של פליטות הפחמן הדו-חמצני. המחיר נקבע ע"י מיסוי או תחיקה ועליו להתייחס לכל ההשלכות הנובעות מהשימוש בפחמן.

מדיניות ארצית לא יכולה להתפתח בבידוד והיא תוצר של מספר יוזמות בינלאומיות המהוות את הבסיס הרעיוני לחקיקה. מקורן של אסטרטגיות בינלאומיות בהסבר של מדיניות סביבתית ואסטרטגית אנרגיה, אשר משמשת כמסגרת עבור מדיניות לבנייה בת קיימא. מדיניות אנרגיה מתואמת במנחים של מקורות אנרגיה ראשוניים וכמות האנרגיה המתחדשת.

ליצירת פעילות משמעותית בתחום זה, יש צורך בהבנה בינלאומית ומסגרת פעולה יציבה הכוללת כמו כן התייחסות לנושא הסתגלות לשינויי אקלים, במטרה לגבש מדיניות עולמית בנושא בעיקר סביב בעיות של אירועי קיצון והשפעתם על הכלכלה.

מדיניות בינלאומית

בפועל לא קיימת מחלוקת לגבי המטרות הכלל עולמיות שיש להציב בפני האנושות לצורך התמודדות עם משבר האקלים כמו לא לגבי האמצעים שיש ברשותנו כחברה בכדי להוביל שינוי בריכוזי גזי החממה באטמוספירה וצמצום הפליטות. בטווח המיידי כשבפתח עומד החשש מפני שינויי אקלים קיצוניים, שימוש במסגרת בינלאומית נועד לגבש מדיניות מונעת בנושא ולהניע את השינוי הנדרש.

סידרה של יוזמות כלל עולמיות הגדירו סדר יום עולמי סביב נושא זה:

אג'נדה 21 (1992 ריו דה ג'נרו) סדר יום למאה ה-21, או מסגרת העבודה הבין-ממשלתית (1994) ה-UNFCCC (United Nations Framework Convention on Climate Change), מהוות תכנית הפעולה של מדינות העולם לקידום פיתוח בר קיימא, המבטאת הסכמה בין לאומית ומחויבות פוליטית ברמה הגבוהה ביותר לעקרון לפיו פיתוח וסביבה הם נושאים לדיון משותף. במהלך הוועידה אושרה הצהרת ריו. ההצהרה מבוססת על ההנחה שעל נתיב הפעילות העולמי של מדינות להשתנות, מפעילות כלל עולמית הרסנית ומכלה לפעילות שבה ממזערים את הפגיעה בטבע, משפרים את תנאי המחיה לכל בני האדם ומגנים על מערכות אקולוגיות. בכנס זה עלה לראשונה נושא בנייה בת קיימא, השפעתה של עיר הפועלת לפי עקרונות בני קיימא והשפעתם של מקורות הצריכה של מוצרים. ישראל חתמה על אג'נדה 21 בשנת 1996. הנושא מקודם מתחילת שנות ה-2000 ע"י המשרד להגנת הסביבה וגורמים נוספים, דרך פעילות של קיימות מקומית שנערכת ברמת הקהילה השכונה או הרשות.

אמנת קיוטו (1997 קיוטו) - הסכם נוסף של האו"ם המאשר וממשיך את אמנת היסוד של האומות המאוחדות לשינויי אקלים UNFCCC ופועל תחת אותה מגמה העוסקת בהתחממות כדור הארץ. מטרת האמנה אם כן להביא לייצוב פליטות גזי החממה באטמוספירה. על האמנה חתמו 193 מדינות והאיחוד האירופי והיא נכנסה לתוקף בשנת 2005. כדי להפוך אותה ליישמה לכל מדינה מפותחת נקבעה מכסת הפחתה יחסית לפליטות שנמדדו בשנת 1990, בפועל ארה"ב התנגדה למהלך בטענה שמדינות מתפתחות ובהן סין אינן מחויבות להסכם, כמו כן מדינות רבות ובהן ספרד, פורטוגל ואירלנד נמצאות הרחק מייעדי הפחתה שנקבעו, ולאנגליה ואיטליה מחלוקות שונות עם האו"ם ביחס לחלקים שונים באמנה. למרות שבאמנה ישראל מוגדרת כמדינה מתפתחת ולכן רשמית לא חלות עליה הגבלות פליטת גזים רעילים, היא חתמה על האמנה בשנת 1998.

EPBD מדיניות האיחוד האירופי בנושא אנרגיה בניינים

(European Union Directive on the Energy Performance of Buildings, 2003)

מהווה כתב הנחיות, דרישות ותקנות מקיפות העוסק בשיפור היעילות האנרגטית של מבנים באירופה. התקנות מתפרסמות כמעט כל חמש שנים בכדי ליצור מדרג "על" של תהליכים סביבתיים הקשור בבנייה, והן עוסקות בחישוב אנרגטי של מבנים, החלת תקנות, הוכחות ביצוע והסדרת פיקוח קבוע. בפועל רב מדינות האיחוד דחו את ההטמעה של ההסכם עד לשנת 2009 בעיקר בשל העדר בודקים מוסמכים בתחום.

מדיניות האיחוד האירופי ה-EPBD היא דוגמה ייחודית לגיבוש מדיניות בסיס שבה גבולות טכניים אינם מהווים גבולות פעולה, מתוך הבנה שבסופו של דבר רב הבעיות הן גלובליות משותפות ואינן ניתנות לטיפול ברמה המקומית.

לסיכום, ניתן לראות קו המשכי שנמתח מאג'נדה 21 העוסקת בפיתוח בר קיימא, דרך אמנת קיוטו שבה נקבע קו פעולה מוגדר ויעדי הפחתה ברורים, ועד כתב הנחיות של האיחוד האירופי ה-EPBD המתבססת על דרישות הפחתה שבאמנת קיוטו וקובעת קו מדיניות פנים יבשתי בתחום הבניה.

אסטרטגיות לאומיות לתכנון בר קיימא

הסתגלות לשינויי אקלים והורדה של צריכת האנרגיה ופליטות גזי החממה צריכות להיות מעוגנות בחוק ובתוך תהליכי התכנון. מדיניות לפיתוח בר-קיימא מוטמעת באופנים שונים: כלכליים, חברתיים חינוכיים ומעל לכל באמצעות חקיקה, תהליכים פרוצדורליים ותכניות פעולה.

תקינה בנושא הפחתת פליטות גזי חממה נחלקת לשלושה טווחי פעילות: קביעה של הנחיות מחייבות בנושא יעילות אנרגטית במבנים, אכיפה, ועדכון חוזר בהתאם לתנאים המשתנים. חלק ניכר מההנחיות לבנייה ירוקה עוסקות בבנייה חדשה, אולם בשנים האחרונות יש עיסוק גובר בהנחיות תכנון גם לשיפוץ אנרגטי (energy retrofit) של מבנים קיימים. ה- EU כלל בהנחיות מ-2002 דרישות מינימום של יעילות אנרגטית למבנים קיימים בשטח של מעל 1000 מ"ר, באוסטרליה הוחלט לגבש מדיניות שיפוץ בה יממן הממשל בידוד עבור 2 מיליון בתים קיימים, ובארץ ת"י 5282 עודכן וכלל גם בניה קיימת. באנגליה עודכנו התקנים גם ביחס למבנים קיימים, כשיעד הפליטות באנגליה יצומצם לאפס עד שנת 2050.

מלבד הנושא של התמודדות וצמצום פליטות גזי חממה, נושא חשוב לא פחות שעלה בשנים האחרונות הוא הסתגלות לשינויי אקלים ואירועי קיצון. אין עדיין בעולם חקיקה או מדיניות ספציפית שמכסה את ההשתנות המהירה בתחום של הסתגלות לשינויי אקלים, אולם מספר מדינות מנסות להדביק את הפער בנושא על ידי שימוש בדרכים מעשיות. למרות העדר מדיניות או חקיקה מכוונת בנושא ישנה מודעות גדולה להשפעתו על החברה והכלכלה וכבר ב-2006 דו"ח Stern "כלכלת שינויי האקלים" של ממשלת בריטניה קורא

להתערבות מהירה בנושא. הדו"ח קובע שהיתרונות של פעולה מקדימה להסתגלות לשינויי האקלים גוברים בהרבה על העלויות של לא לפעול כלל. בהנחיות SEA - Strategic Environmental Assessment Directive, של האיחוד האירופאי ישנה דרישה מהמתכננים כבר בשלב פיתוח התכנון להתייחס לנושא שינויי אקלים וכן לפליטות עתידיות של גזי חממה. בארה"ב רב החלטות הנוגעות לשימושי קרקע נתונות בידי הרשויות המקומיות, חוק 375 (SB_375) שמבוסס על חוק שינוי האקלים של קליפורניה מ-2006 נועד להגדיל את השפעת הסנאט בנושא זה. החוק עוסק אומנם בתחבורה אך דרך נושאים של צמצום פליטות פחמן, פיתוח קו החוף במקרה של הצפות, צפיפות מגורים ואינטנסיביות הבנייה. ההבנה שלתכנון ישנו תפקיד מכריע בשיפור יכולת ההסתגלות קיימת גם באנגליה. בתכנית הארצית ישנה כבר התייחסות לשינויי אקלים דרך הדרישה למתכננים ויזמים לספק פיתוח ללא פליטות ולתכנן קהילות עמידות בפני שינויי אקלים.

תקנים והנחיות התכנון

התחומים בהנחיות ליעילות אנרגטית של בניינים כוללים נושאים רבים ביניהם דרישות לגבי מעטפת הבניין בהתאם לאזורי האקלים השונים, כולל המעטפת האטומה והאלמנטים העקופים, יעילות של מערכות אקלים HVAC (Heating, Ventilation, and Air Conditioning) ומערכות אחרות, מתקנים לאנרגיה חלופית, ודרישות לציוד מותקן (תקנים לדרוג אנרגטי של מכשירים מקדמים את השימוש בציוד יעיל אנרגטית). כמו כן ישנה התייחסות לתהליכי תכנון אינטגרטיביים המכוונים כבר מתחילת תהליך התכנון לנושא היעילות האנרגטית.

רב התקנים מעגנים את נושא היעילות האנרגטית בחוק המפרט דרישות מינימום. הדרישות מופיעות כחלק מחוקי בנייה כלליים (ישראל, תקן 1045 לבידוד מעטפת הבניין) או כסט נפרד של חוקים ייחודיים בנושא (ישראל, תקן 5282 לדירוג אנרגטי, 5281 לבנייה ירוקה).

תקני בנייה שכוללים דרישות אנרגטיות, צריכים להתחשב בעיקר בתנאים האקלימיים השונים כוון שהם משפיעים בצורה ישירה על הגורמים לצריכת האנרגיה. מדינות עם אזורי אקלים שונים מסווגות באופן זה את הדרישות לפרטי המעטפת של הבניין ולצריכת אנרגיה (כמו מדינת ישראל). יש מקרים בהם מוחל תקן אחיד לכל המדינה, לא תמיד לפי אזורי אקלים או אחרים בהם אימוץ תקן ממדינה אחרת מביא לחוסר התאמה בין דרישות התקן לתנאי האקלים המקומיים. כך במקרה של התקן הניו-זילנדי שאימץ את התקן האוסטרלי וגם התקן הקנדי שפועל על פי תקן האנרגיה ASHRAE האמריקאי (American Society of Heating Refrigerating and Air Conditioning Engineering).

המעמד של הדרישות ליעילות אנרגטית

לפי הדו"ח של UNEP (United Nations Environment Programme), מעמד התקן שונה ממדינה למדינה. חשוב לציין שמעמד לא פורמלי אינו מעיד בהכרח על אי הצלחתו של התקן ולראיה באוסטרליה התקן לדרוג אנרגטי הצליח לקדם את תחום הבנייה מעבר לטווחי דרישות המינימום הקיימות. ביפן מתקיים מצב ביניים שבו התקן ליעילות אנרגטית מחייב רק מבנים בשטח גדול מ-2000 מ"ר ולא מבנים קטנים יותר. המטרה היום ביפן היא להרחיב את טווח הפעילות גם למבנים קטנים יותר תוך הסתמכות על חוק הביטוח, תקן ה-CASBEE והתכנית ליעילות אנרגטית גבוהה של מוצרים. כמו כן, מדיניות לפיתוח בר-קיימא יכולה להופיע ללא תקן ספציפי אלא על ידי שימוש בחוקים ונורמות (גרמניה).

הדרישות יכולות להיות חלק מהסטנדרטים בקוד עצמו או להופיע כתקן נפרד ליעילות אנרגטית. כמו כן קיימות גישות שונות לרגולציה מבחינת אופן הגדרת הדרישות, רמת המורכבות של החישובים הנדרשים לשקלול משתני התכנון השונים ומידת הגמישות הניתנת למתכנן:

הגישה המירשמית כוללת דרישות חובה פרטניות עבור כל חלק מהבניין והציוד, והגישה התפקודית, מבוססת על הצריכה הכוללת של אנרגיה בבניין ומאפשרת גמישות רבה למתכנן, אך מחייבת שימוש בסימולציות מחשב להוכחת עמידה בדרישות. בגישה זו משווים את צריכת האנרגיה של הבניין המתוכנן עם תקציב אנרגטי נתון או עם בניין רפרנס (ייחוס) המהווה מקור להתייחסות. בארה"ב התקנים של ה-ASHRAE וה-IECC בנויים לפי דרישות מרשמיות לכל חלק בבניין ובמערכות ועל מודלים של המרה בהם הבניין מתייחס לבניין ייחוס. ת"י 5282 לדירוג אנרגטי של בניינים כולל גם הוא שיטה מרשמית-תיאורית ושיטה תפקודית מבוססת על בניין ייחוס לקביעת הדירוג האנרגטי של הבניין המתוכנן.

ישנם תקנים בעולם שבהם מיוחסת חשיבות מרעמת למערכות טכניות ומכניות בבניין בעת קביעת דרגתו האנרגטית ופחות לתכנון האדריכלי ולשימוש בשיטות בנייה פסיביות. לדוגמה, תקן ה-LEED מתבסס ברובו על מערכות מכניות יעילות ואינו מתייחס כמעט לשיטות בנייה פסיביות שביכולתן להקטין את התלות במערכות מכניות לאקלים ותאורה. לעומת זו ת"י 5281 ו-5282 שמים דגש מיוחד על תכנון אדריכלי נכון ברמת הבניין והשכונה, ומיחס חשיבות לאמצעי תכנון פסיביים.

שיטות הדירוג

בתקינה לבנייה ירוקה הקיימת בעולם ניתן לכל סעיף ניקוד נפרד, ולכל פרק יש חלק יחסי שונה, בהתאם לחשיבות הנושא במקום. למעשה התקן מיצג מערכת ערכים בהתאם לחשיבות כל נושא בחברה נתונה. לדוגמה פרק האנרגיה במרבית התקנים מקבל ניקוד גבוה ביחס לפרקים העוסקים בתחומים אחרים. בישראל, פרק המים מקבל חשיבות גבוהה יחסית בהשוואה לתקן LEED עקב החשיבות הלאומית שיש לנושא. כל פרויקט נבדק על פי הפרמטרים שהתקן דורש, הציון הסופי של המבנה הוא תוצר צבירת נקודות בהתאם למילוי דרישות התקן. באוסטרליה קיימת שיטת דירוג לפי כוכבים שכוללת 9 דרגות, בארה"ב בתקן ה-LEED שיטת הדירוג לפי מדרגות של מורשה, כסף, זהב פלטינה, המצביעים על כמות הנקודות שנצברה, בישראל ת"י 5282 מעניק דירוג לפי אותיות מ-F עד A+ רמת הדירוג הגבוהה ביותר.

אכיפה

שיטת האכיפה תלויה בסוג תקנת אנרגיה בשימוש. כאשר שיקולים של יעילות אנרגטית הם חלק אינטגרלי של תקנות הבניה, האכיפה תיעשה בדומה לדרישות האחרות של התקנות. במקרה של תקנות מיוחדות ליעילות אנרגטית, האכיפה תעשה בד"כ ע"י מערכת מיוחדת לנושא זה. אכיפה יכולה להתבצע לפי ה-IPCC ע"י פקידי עירייה ומפקחים כמו גם על ידי מומחים עצמאיים (לדוגמה בפורטוגל ובדנמרק), או על ידי שימוש באישורים ותעודות המעידות על עמידה בדרישות האנרגיה (לדוגמה באוסטרליה).

עדכון

הגדרת תקן היא רק תחילתו של התהליך, ה-EU מעדכן את התקן כל חמש שנים בהתאם להתפתחות הטכנולוגית. תקנים מעודכנים בעקבות הצלחתם להטמיע מדיניות, כמו בדנמרק שבה פורסם אחד מתקני הבנייה הראשונים שהסדירו את צריכת האנרגיה כבר בשנת 1961. התקן בדנמרק עודכן מספר פעמים כשכל עדכון מחמיר את הדרישות לתפקוד האנרגטי של המבנים במדינה. עדכון התקנים נערך גם כאשר יש צורך לציין שינוי מגמה (שיטת ניקוד חדשה, חלוקה נושאת שונה, וחלוקה לסוגי מבנים נוספים).

כלים כלכליים

בעיית שינויי האקלים והקשרה לנושא בנייה ירוקה, מציבה אתגר מורכב על תחום הכלכלה. חשוב לציין כי, ככל שתינקט פעולה חזקה ומהירה יותר בנושא התמודדות עם שינויי האקלים מחירה יהיה נמוך יותר. מדו"ח "אדם טבע ודין" עולה כי עלות מניעת ההתחממות בישראל כחלק מהמאמץ העולמי להפחתת פליטות גזי חממה, קטנה בהרבה מעלות הנוזקים שייגרמו כתוצאה מהתנהלות "עסקים כרגיל". ניתן לחלק את הכלים הכלכליים לשני סוגים: בסוג הראשון נכללים כלים שיכולים לתת מענה כלכלי במקרה של אירועי קיצון הנובעים משינוי האקלים ותומכים בפעולות ההסתגלות. מדובר בעיקר בקרנות בינלאומיות שונות, למשל קרנות של האו"ם. יש לציין, כי ישנו קושי בהערכת העלות הכוללת של אמצעי ההסתגלות, מכיוון שהדבר תלוי בפגיעות המקום על כל מאפייניו ובכך שהפגיעות משתנה לאורך זמן. הסוג השני כולל כלים שיכולים להוות תמריץ להפחתת פליטות גזי החממה ובכך להפחית את בעיית שינויי האקלים, דבר הנובע מההבנה כי רווח הוא המניע החזק ביותר לשינויי סביבתי. פרק זה יתמקד בעיקר בכלים מתחום הבניה המעודדים פעולות המסייעות בהפחתת פליטות גזי החממה.

בקביעת המדיניות הכלכלית בנושא ובהערכת הכדאיות של הכלים השונים יש להבין שלמשאבים הנחוצים לפעילות כלכלית ולהטמעת הפסולת וטיפול בזיהום הנוצרים בעקבותיה יש מחיר. על כן, ראייה כוללת מאפשרת שימוש מושכל יותר במשאבי הטבע, וניתוח נכון יותר של התועלות הנלוות לפיתוח מוטה צרכים מידיים מול המחיר האמיתי שהוא גובה. ארגון ה-IEA ממליץ להסיר חסמים כלכליים המגבילים התייעלות אנרגטית במבנים תוך הסתגלות על כדאיות כלכלית לתקופה של 30 שנה. מסגרת זמן זו מתאימה לתקופת משכנתא מקסימלית ברוב המקומות וכן לפרק זמן סביר שיחלוף עד לשיפוץ משמעותי ראשון. בחינת הכדאיות הכלכלית של התייעלות אנרגטית צריכה להיעשות לפי עלות מינימלית של עלות המבנה למחזור החיים שלו (LCA), תוך השוואה של מחיר ההשקעה לגובה החיסכון שיושג ע"י הבעלים/המשתמש.

דו"ח IPCC בנושא הפחתה ומאגר מידע נוסף באתר ה-IEA, מרכזים בין היתר, כלים כלכליים המיושמים במדינות שונות בעולם במטרה לעודד סקטורים שונים להפחתה בשימוש במקורות אנרגיה מזהמים ולהתייעלות אנרגטית במבנים. מדובר במתן תמריצים, מענקים, סבסוד הון, הפחתה ופטור ממס, הלוואות בריבית מופחתת, מס CO₂ והטבות לצרכנים חסכניים. בנוסף קיימים שני כלים, שבין היתר, מטרתם לתת מענה כלכלי בעת אירועי קיצון ולתמוך בפעולות ההסתגלות: ביטוחים וקרנות לתמיכה בשינויי אקלים. כלים אלה משחקים תפקיד נוסף בשינוי מצב השוק, בכך שהם הופכים מבנים שהם יעילים אנרגטית למושכים יותר מאשר מבנים "רגילים". חשוב לציין כי, כל הכלים יכולים להשיג הפחתות משמעותיות בצריכת האנרגיה ובכמות הפליטות, אולם הכדאיות הכלכלית שלהם שונה.

הפחתה בשיעור הארנונה, מענקים לפרויקטים מחנכים, תחרויות ופרסים למבנים העומדים בקריטריונים סביבתיים נוקשים, מס CO₂, תעריפי חשמל גמישים, public benefit charges, תמיכה כלכלית בפרויקטים המקדמים פיתוח בר-קיימא ברמה מקומית ואזורית, משכנתאות ירוקות, ומענקים מיוחדים לעידוד מחקר. התכנית הלאומית להתייעלות אנרגטית מצביעה על כך שהשיטה שמוכחת כיעילה לשם השגת יעדי התייעלות האנרגטית במגזרים שונים, במשק, הינה מתן תמריצים לחברות ולמוסדות לשם ביצוע תכניות התייעלות. תכניות אלו כוללות שדרוג והחלפת מערכות והתקנת מערכות ניהול וחיסכון באנרגיה, ובחלק מהענפים אף ביצוע פעולות שיפוץ אנרגטי (retrofit) בגגות המבנים. על מנת לבסס הן ביקושים והן היצע של בנייה חדשה מודעת אנרגיה יש לגבש הטבות פיננסיות לקבלנים ולרוכשים עבור בנייה ורכישה של יחידות בדירוג אנרגטי גבוה, כולל בין השאר, הטבות מיסוי והעלאת אחוז המשכנתא המאושרת.

בנוסף, חשובה ההתייחסות לענף הביטוח כאמצעי הסתגלות, כך שגם הענף וגם הציבור יכולים להרוויח מכך ולכסות את הנוזקים במקרה של אירועי קיצון. כמו כן, הביטוח יכול להוות תמריץ ליישום אסטרטגיות להפחתת נזקים בעת אירועי קיצון. בצורה זו, למשל ניתן לעודד יישום תקני בנייה טובים יותר ותכניות למניעת שיטפונות ביצירת דרישה ליישום תנאים מתוך התקן בעת רכישת הביטוח, או הסדר פרמיות נמוכות יותר לאלה שמראש נוקטים בפעולות להפחתת סיכונים.

כלים כלכליים, כגון מיסוי ותמריצים, יכולים לעודד התנהגות רצויה ולרסן התנהגות שאינה רצויה, לטובת צמצום צריכת האנרגיה ופליטות גזי חממה וזיהום. אלה צריכים להיות מותווים ולהיאכף על-ידי הרשויות (ממשלה, רשויות מקומיות וכו'), ולהיקבע בשיתוף רחב ככל האפשר כחלק ממאמץ גלובלי, באמצעות מסגרות עבודה והסכמים בינלאומיים.

באוסטרליה, הממשלה מסייעת לרשויות המקומיות לחקור ולהגדיר כיצד לנהל את ההתמודדות עם שינויי אקלים, תוך דגש על התייעלות אנרגטית. אחת הקרנות שייסדה הממשלה האוסטרלית לשם כך היא - Climate Change Action Fund (CCAF) שתוקצבה בסכום כולל של 2.15 מיליארד דולר אוסטרלי, לתקופה של 5 שנים (2008-2013). מקור מימון אחר של הרשויות המקומיות הנו ה- Local Adaptation Pathways Program (LAPP) המכוונת תקציבים פדרליים לכ-90 רשויות מקומיות לצורך זיהוי והערכת איומים משינויי אקלים. מימון נוסף הוא Integrated Assessment Settlements Sub-Program. תכנית זו מסייעת ביצירת שותפויות בין רשויות מקומיות לבין התעשייה ומומחים מהאקדמיה. בנוסף להכנת תכניות הסיוע הללו, הקימה הממשלה האוסטרלית אתר אינטרנט המסייע ליחידים, לעסקים ולקהילות למצוא מקורות מימון להיערכות לשינויי אקלים.

מתן תמריצים בתהליך התכנון

שיטת התכנון המשולב בה אדריכלים, מהנדסים, יועצים ולקוחות יושבים ביחד מתחילת תהליך התכנון ולכל אורכו, מאפשרת לתכנן מבנים בעלי צריכת אנרגיה פחותה משמעותית בהשוואה למבנים המתוכננים בשיטה הקונבנציונלית בה היועצים הם מעטים ונכנסים רק בשלבים הסופיים של התהליך, כאשר היכולת להכניס שינויים מהותיים היא מעטה. תהליך תכנון כזה, כמעט ולא משפיע על עלות הבנייה אך יחד עם זאת, עלול לגרום לעלייה בעלויות בתהליך התכנון עצמו. לכן, מדינות רבות כמו קנדה, קליפורניה וגרמניה החלו ליישם גישה של מתן תמריצים הנוגעים לשלבים המוקדמים של תהליך התכנון במקום מתן תמריצים כלכליים המתייחסים להשקעה בעלות ההון. אמצעים נוספים, מעבר לאלה המתייחסים לתהליך תכנון משולב מצריכים תוספת הון משמעותית בעיקר כשמדובר בשילוב של אנרגיה מתחדשת. מדינות רבות ביניהן אוסטרליה, הונגריה ופולין מציעות תמריצים לסוג כזה של השקעה, הכלולים: סבסוד הון, מענקים, הלוואות מסובסדות והפחתת מס או קבלת פטור.

עידוד שימוש במבנים קיימים

מלאי המבנים הקיים היום מהווה אתגר כשמדובר באמצעים להפחתה של פליטות גזי החממה. חשוב לפתח אמצעים להסתגלות המבנים הקיימים לשינויים הצפויים, אך יחד עם זאת, חשוב לזהות את השלב בו הפן המעשי והעלויות של אמצעי זה הם כאלה שהקמת מבנה חדש היא אפשרות בת-קיימא היחידה. יש צורך בהתייחסות לחלקי המבנה השונים בעלי אורך חיים שונה: יסודות ושולד המבנה יש לתכנן לטווח ארוך יותר מאשר מערכות מכניות, זיגוג וחיפוי שניתן להחליפם כל 20-30 שנה. בצורה זו ניתן לנצל את המבנה לשימושים שונים ולטווח ארוך יותר בעלויות נמוכות יותר. מדובר בכלים כמו: הלוואות מסובסדות, מענקים ותמריצים למבנים חוסכי אנרגיה הפונים הן לתחום המגורים והן כאלה המכוונים לשוק העסקי במטרה לעודד שדרוג אנרגטי במבנים קיימים (מבני משרדים, בתי מלון ומרכזי קניות) ובכך להפחית את היקף הפליטות.

במספר מדינות כמו אוסטריה, אירלנד וגרמניה ניתנים מענקים והלוואות למבני מגורים ודירות לשיפור מצבם: תמריצים להתייעלות תרמית של מעטפת המבנה (קירות חוץ, חלונות, דלתות, רצפה וגג). תכניות סבסוד הון ופטור ממס למבנים חדשים ולמבנים קיימים מקובלות בתשע מדינות מתוך 20 מדינות OECD שנבדקו. חלק מהמדינות משלבות בין תכנית המתייחסת למלאי המבנים הקיימים לבין תכנית חברתית, במטרה לעזור למשקי בית בעלי הכנסות נמוכות.

הכשרה, מחקר ופיתוח

מכשול עיקרי בתכנון ובניה של מבנים ירוקים הוא חוסר הידע, מיומנות, כלים, טכנולוגיות ומידע זמין עבור אנשי המקצוע בכל התחומים של הבניה (סטודנטים, אדריכלים, מעצבים, יזמים, יועצים ואנשי ביצוע). ידע ומיומנות הם המפתח לקידום ופיתוח של בניה בת קיימא. במקביל להכשרה של אנשי המקצוע חשוב מאוד לתת את מלוא תשומת הלב לחינוך הדורות הצעירים שנכנסים לתחום הבניה, אדריכלות והנדסה כאחד. מערכת הלימודים צריכה להתעדכן ולהתקדם גם כן, על מנת שבעלי מקצוע הצעירים שיוצאים לשוק ישתלבו בתחום המקצועי של הבניה הירוקה ואף יתרמו לקידומו.

בעלי מקצוע

1. קורסים והשתלמויות:

ארגונים וחברות שונות מציעים לאנשי המקצוע מתחום הבניה והאדריכלות להעשיר את הידע בתחום האנרגטי בעזרת קורסים והשתלמויות בנושאים השונים של התייעלות אנרגטית. על מנת ליצור עניין אצל המהנדסים והאדריכלים מציעים המארגנים תגמולים כגון רישיונות ותעודות, רישום באתרים שמהווה בעצם פרסום וכד'. לדוגמה, פרויקט CEHP - Certified European Passive House Designer, היא תכנית פיילוט לקידום תקן Passive House לבניינים עם מינימום צריכת אנרגיה, המיועד עבור מעצבים מוסמכים שמועבר בתשע מדינות באיחוד האירופאי. תכניות כמו LEED FOR HOMES, LEED ותכניות אחרות מעודדות את אנשי המקצוע ללמוד ולהרחיב את הידע בבניה ירוקה. ההפצה של תכניות אלו צריכה להיות הרבה יותר מורחבת. המפתח לכך הוא עידוד לימודי

המשך ברמה גבוהה אצל המתכננים על מנת לוודא שהידע המעודכן והמיומנות בבניה ירוקה מהווים חלק מהתעשייה. בישראל למשל, נפתחה בטכניון לפני כשנתיים תכנית לתואר מאגיסטר עם התמחות בבנייה ירוקה עבור אדריכלים. בהקשר לת"י 5281, קורס מלווה בניה ירוקה מטעם מכון התקנים וקורסים מקצועיים נוספים מהווים צעד נוסף בכיוון הנכון להפצת הידע לקהל המקצועי.

2. הרצאות וכנסים:

בנוסף לקורסים והשתלמויות, ארגונים וחברות מתחום הבניה מארגנים כנסים והרצאות בנושא הבניה הירוקה עבור אדריכלים ומנהלים. בשנת 2002, אדר' אדווארד מזריע יזם ארגון ARCHITECTURE 2030 שעוסק בנושא שינוי האקלים. המטרה של הארגון היא להפוך באופן הדרגתי את ארה"ב וסקטור הבניינים ממקור לפליטות גזי חממה לפתרון המרכזי של שינויי האקלים, יעילות אנרגטית והמשבר הכלכלי. השגת מטרת אלו אפשרית על ידי שינויי תכנוניים, עיצוביים וקונסטרוקטיביים של המבנים. בכנס 2010 Imperative Global Emergency Teach-In הודגשה החשיבות של החינוך וההכשרה של האדריכלים ומתכנני ערים לקידום הנושא.

סטודנטים

כבר בתחילת הדרך חשוב להסב את תשומת ליבם של סטודנטים בתחום הבניה לתפקידו החשוב של סקטור זה להשגת חיסכון בצריכת אנרגיה ולשר עם שינויי האקלים. הסילבוס חייב לכלול קורסים וסמינרים בנושאים אנרגיה, התייעלות אנרגטית, בניה ירוקה וכד'. בעולם קיימים ארגונים שמפתחים מערכות לימוד שכוללות מקצועות בנושא חיסכון באנרגיה: AASHE, SBSE, Second Nature. השינוי במערכת הלימודית חייב לכלול גם לימודים לתארים מתקדמים בנושא. חשוב מאוד שאנשי מקצוע בעלי וותק יעדכנו וירחיבו את הידע שלהם בנושא בנייה ידידותית לסביבה.

מאגרי מידע

על מנת לייעל את תהליך ההכשרה והפצת הידע בין אנשי המקצוע בתחום הבניה רצוי להקים ולפתח מאגרי מידע נרחבים בנושא הבניה הירוקה ובשיתוף עם קידום נושא התקינה הירוקה ע"י משרד הבינוי והשיכון, משרד הפנים, משרד התשתיות הלאומיות, המשרד להגנת הסביבה ובמסגרת ועדות בינמשרדיות. אחד המחקרים אף מדגיג, כי הפרסום חייב להיעשות בשפה המקומית. מאגרים אלו צריכים לכלול מידע בנושאים שונים של תחום הבניה הירוקה, כגון: אנרגיה, סביבה, תכנון, כלכלה וכו'. בנוסף לכך, המאגר צריך לספק מידע לגבי חומרים, טכנולוגיות, שיטות בניה, תקנים וחוקים, דוגמאות למבנים ירוקים קיימים וכד'. ספריות חומרים יכולות לספק מקור מידע חשוב למתכננים לבחירת חומרים בהתאם לתכונות שלהם. בארץ קיימת ספריית החומרים במדיטק חולון המשרתת את הצורך ההולך וגובר של העוסקים בתחומי העיצוב והאדריכלות, ההנדסה, התעשייה והאקדמיה במידע זמין ועדכני על המתחדש בעולם החומרים, וכן מאפשרת מגע בלתי אמצעי עם החומר. אומנם המאגר לא שם דגש על חומרים יעילים אנרגטית אך הוא יכול להוות בסיס להקמת מאגר לחומרים ירוקים.

שיטות תכנון

כיום מחקרים רבים מדגישים את החשיבות של תהליך תכנון נכון מתחילת הדרך של הפרויקט ועד סיומו. אחת המגבלות העומדות בפני תכנון אנרגטי נכון כיום הוא חוסר האינטראקציה בין מתכננים, חברות, ארגונים אוניברסיטאות, התעשייה והממשלה לאורך כל תהליך התכנון. למשל, IDP - Integrated Design Process (תהליך תכנון משולב) היא גישה הוליסטית לתכנון מבנים, המהווה את אחד הכלים הטובים ביותר על מנת להגדיר ביעילות את נתיב התכנון, ולאפשר יישום של אסטרטגיות תכנון וקידום החברה לעבר קיימות. תהליך זה מכיל השתתפות אקטיבית ומתמשכת של אדריכלים, מתכנני ערים, יזמים, כלכלנים, מהנדסי בניין, מהנדסי חשמל ומכונות, מומחים ויועצים מתחומים שונים ומשרדי ממשלה. היתרונות של תכנון משולב באים לידי ביטוי בכל התחומים של הבניין: יעילות אנרגטית, כלכלית, סביבתית וכו'.

מחקר ופיתוח

מחקרים רבים מצביעים על הצורך בקידום מחקר ופיתוח בכל הנושאים הקשורים ליעילות אנרגטית בבניינים, ולהסתגלות של בנייה לשינויי האקלים. חשוב מאוד לעודד תמיכה כלכלית וטכנית עבור מו"פ פרטיים על מנת לעודד פיתוח טכנולוגיות חדשות מצד חברות פרטיות. בנוסף, התעשייה היא המקור לפיתוח של טכנולוגיות, עיצובים ומוצרים חדשים. דו"ח שפורסם על ידי "אדם טבע ודין" מדגיג את הצורך במינוף החדירה של הטכנולוגיות החדשות והפצתן. על מנת להשיג מטרה זו מציע הדוח: א. לסייע להחדרת טכנולוגיות על ידי הדגמות של ישימות, מימון פיילוט, פרסום ושידוק, מענקים ושיטותי פעולה עם גופים עסקיים בינלאומיים המכוונים בעיקר לקהל של גופים צרכניים גדולים. ב. לבסס תכנית כלכלית למתן הטבות, מענקים, ניכוי מס, הלוואות, פחת מואץ ותמריצים כלכליים נוספים. ג. הגדלה משמעותית של השקעה בתחום המחקר והפיתוח בנושאים של טכנולוגיות מועטות פחמן.

הסברה

בנוסף לתמריצים כלכליים, תחיקה והכשרה מקצועית, מדיניות מוצלחת להשגת יעדי הפחתה צריכה לכלול גם חינוך והסברה שמטרתם לעורר מודעות בקרב משתמשי הקצה ולעודד שינויים במאפייני הביקוש ובאורח החיים. מתן ידע והסברים חיוני כדי ליצר תמיכה של הציבור ובעלי העניין במדיניות הממשלה. פיתוח המודעות הציבורית חשוב לצורך יצירת שינוי תפיסתי והתנהגותי בקרב

עסקים, קהילות ויחידים, באופן שיגביל את הפליטות ויקדם הסתגלות. נראה למשל, שבתגובה לאקלים מתחמם בוחרים המשתמשים במבנים בד"כ באפשרויות המגדילות את צריכת האנרגיה לקירור (כמו הוספת מזגנים), על פני פתרונות אפשריים אחרים שצורכים פחות אנרגיה (כמו הצללה, אורור ובידוד). זוהי מגמה שתלך ותגבר ככל שמזג האוויר יתחמם, ותגדיל מאד את כמות הפליטות. הסברה היא אחת מהכלים שיכולים לסייע להביא לשינוי מגמות מסוג זה.

הסברה יכולה להיעשות באמצעים שונים, כפי שמפורט להלן:

דרוג אנרגטי של מבנים

יעילות אנרגטית צריכה להיראות בשוק על מנת לתת לצרכנים אפשרות בחירה, וזאת ע"י שיטת תיוג, התעדה או הצהרה אחרת על תפקודם האנרגטי של מבנים וע"י תיוג של בעלי מקצוע. באירלנד הונהגה שיטה לדרוג אנרגטי של מבנים (BER-Building Energy Rating), בדומה לזו הקיימת בארץ במסגרת ת" 5282. באירלנד השיטה הוטמעה בשלבים, וכיום תווית האנרגיה נדרשת לא רק בסיום בניה של בניין חדש אלא גם בכל מעמד של מכירה או השכרה של בניינים. התווית כוללת גם מידע על כמות פליטות הפחמן מהבניין ובכך תורמת להעלאת המודעות לגבי העפעת בניינים על שינויי האקלים והזיהום.

דרוג אנרגטי של אלמנטים וציוד במבנים

בדומה לתווית אנרגיה של מוצרי חשמל ניתן לעודד יצרנים וספקים להציג תווית המרכזת את הנתונים התרמיים של אלמנטים בנייניים שונים באופן ברור, שיאפשר בחירה מושכלת לצרכנים ויצירת שינוי שוק. דוגמאות לכך ניתן לראות בשיטה לדרוג אנרגטי של חלונות שפותחה ע"י LBNL בארה"ב, בהנחיות שיצאו ביפן ועוד. חלונות בעלי ביצועים גבוהים, שאינם נפוצים בארץ, נחשבים היום כמגמה רווחת בשווקים בארה"ב ובאירופה, כך שניתן להפיק תועלת משינוי שוק בתחום של תפקוד החלונות בארץ, ללא צורך במחקר בסיסי. באופן כללי, תיוג חובה יעיל יותר מתיוג וולונטרי כיוון שהוא מונע נוכחות של מוצרים לא יעילים ולא מתווגים בשוק, נוכחות המחלישה מוצרים יעילים שהם לעיתים יקרים יותר.

הובלת יוזמה במגזר הממשלתי וקידום יוזמות ברשויות המקומיות

התפקיד של המגזר הציבורי כראשון להיענות לאתגר ההתייעלות האנרגטית הוא קריטי. לפי המלצות ה-IEA מוסדות השלטון צריכים להוות דוגמה ליתר המגזרים ע"י בניית כל המבנים הממשלתיים החדשים כיעילים אנרגטית בעלות אופטימלית ל-30 שנה או לזמן חיי המבנה. יש לחדש גם את כל המבנים הציבוריים הקיימים ולהביאם לרמה גבוהה של יעילות אנרגטית והפחתת פליטות משמעותית. גם דו"ח 'אדם טבע ודין' שם דגש על חשיבות נטילת אחריות במגזר הציבורי והממשלתי, מאחר שהממשלה מהווה את צרכן החשמל הגדול במדינה ופעולותיה יתנו את הכיוון לשוק הפרטי והעסקי בתחום. ברוח זו ניתן לראות גם את ההמלצות למגזר הציבורי בתכנית הלאומית להתייעלות אנרגטית (כולל ההמלצה למערכת הביטחון לשקלל עקרונות בנייה מודעת אנרגיה בהקמת בסיסים חדשים) כבעלות רווח כפול, הן בחיסכון הממשי שיושג והן ברמה של קידום המודעות ומתן דוגמה ללקיחת מחויבות.

הפצת מידע לגבי מבנים חוסכי אנרגיה

באמצעות קידום של פרויקטים חלוציים ניתן להדגים היתכנות טכנית וכלכלית כך שהשוק יוכל להתרחב ולהתפתח, וסטנדרטים חדשים יוכלו לגדול. לדוגמה PASS-NET הוא פרויקט הממומן ע"י הנציבות האירופית ומטרתו להפיץ את הידע על סטנדרטים של Passive House ברחבי אירופה. הדבר נעשה ע"י יצירת רשת של ארגונים מומחים, יצירת מאגר מידע גדול בנושא וארגון ימים בינלאומיים של "בתים פסיביים פתוחים", בהם ניתן לבקר בבתים פסיביים ולשמוע מניסיונם של הדיירים. פרויקט נוסף הוא אתר האינטרנט PEP - Promotion of European Passive Houses, שמטרתו גם היא לקדם את המבנים חוסכי אנרגיה באירופה.

חשבונות מפורטים והערכה תקופתית

חשבונות מפורטים והערכה תקופתית, תוך השוואה למשקי בית אחרים, נמצאו גם הם כמעודדים צרכני אנרגיה להקטנת הצריכה שלהם. במחקרים נמצא שהצגת צריכת האנרגיה על מכשירים יעילה יותר מהצגת נתוני הצריכה בחשבונות, וזו אחת הסיבות שבכמה מדינות ממשלות מעודדות את הסקטור הפרטי להתקין מדי אנרגיה למכשירים בבניינים חדשים.

מדרך הפעלה ידידותי למשתמש

להתנהגות המשתמשים ישנה השפעה גדולה על תפקוד האנרגטי של בניינים. מדרך הפעלה ידידותי למשתמש הוא לעיתים קרובות תנאי לשימוש נכון בחלקי מבנה יעילים אנרגטית. מאחר שהפעלה אופטימלית ותחזוקה על בסיס קבוע לרוב חשובים כמו יעילות טכנולוגית בקביעת צריכת האנרגיה הכללית, מידע נגיש והעלאת המודעות לשימוש נכון לאחר רכישה הם לעיתים הכרחיים.

גוף ממשלתי לקידום הקיימות

LivingGreener באוסטרליה הוא אתר אינטרנט ממשלתי שמטרתו לקשר את הציבור לכל תכניות הקיימות הממשלתיות באמצעות אתר מרכזי אחד, ידידותי למשתמש. הפורטל המקוון מהווה מרכז למציאת מידע, השראה ופעילות, ומתוכנן לתת לציבור כלים ועידוד במהלך המסע לקראת אורח חיים מקיים. Lo-House. ביפן (נגזר מהקונספט LOHAS: Lifestyles of Health and Sustainability) היא

תכנית של ועדה ממשלתית בין משרדית הכוללת מומחים ובעלי מקצוע מנוסים מהתעשיות הרלוונטיות. המטרה היא למסד ולקדם את הקונספט ע"י הדגמה של האפשרויות לקיימות במבנים לבעלי המקצוע ולצרכנים, יצירת תשתית שתאפשר שיתוף מידע ועוד כלים נוספים.

חינוך בבתי ספר

חינוך סביבתי מהווה דרך יעילה ביותר כדי לפתור בעיות סביבתיות בטווח הארוך. למרות שאנשים רבים מודעים להתחממות הגלובלית, יש קושי רב להפנות את המודעות לפעולה, כאשר לרוב המוסכמות והמנהגים הם המכשולים העיקריים. תכניות בבתי ספר יכולות לשנות מנהגים שמונעים פעולה סביבתית. פעילויות של שימור אנרגיה וחינוך סביבתי לא רק חוסכות אנרגיה לבתי הספר עצמם אלא גם מציבות את הילדים בעמדה להפצת המידע למשפחותיהם ולקהילה המקומית. הצורך בחינוך רחב משתקף בתכניות הלימודים בכמה מדינות, כמו בבתי ספר ביפן וגרמניה, המלמדים באופן הולך ומתרחב את החשיבות שבחיסכון באנרגיה. תכנית אנרגיה לבתי ספר בארה"ב The EnergySmart Schools program נועדה לזרז שיפורים משמעותיים ביעילות האנרגטית בבתי ספר ע"י מידע ומקורות מימון, כלים למקבלי החלטות ולמתכננים, מידע לגבי תחזוקה ותפעול של מערכות בעלות תפקוד גבוה ומקורות למורים לפיתוח תכנית לימודים עם זיקה לחיסכון באנרגיה.

מסע פרסום לעידוד שינויים באורח החיים

אסטרטגיות לשימור אנרגיה במבנים משלבות לא רק כלים טכניים, כגון שיפור מעטפת או מערכות הבניין, אלא גם שינויים התנהגותיים באורח החיים, כגון מיתון טמפרטורת המיזוג, הצללת חלונות ועוד. מספר מחקרים שנעשו ביפן מדגימים ששינויים באורח החיים ואימוץ התנהגות משמרת אנרגיה יעילים ביותר לחיסכון באנרגיה במבנים. כחלק מהמדיניות להתייעלות אנרגטית במבנים ביפן קידם משרד הסביבה היפני (MOE) בשנת 2005 מסע פרסום למיזוג משרדים בקיץ ל-28 מ"צ, ובמקביל אף הפיץ את הקונספט של Cool Biz לשינוי קוד הלבוש, על מנת לעודד אנשי עסקים ללבוש בגדים קלים ונוחים לעבודה בקיץ. לפי סקר שנעשה בסוף אותו קיץ לבדיקת ההיענות לנושא, הוערך שהפחתת פליטות הפחמן הדו-חמצני שהושגה בעקבות מדיניות זו שוות ערך לכמות הפליטות של כמיליון משקי בית במשך חודש. מסעי פרסום ציבוריים להפצת מידע בנושא שימור אנרגיה מקובלים במדינות רבות, כולל תכניות המספקות טיפים אנרגטיים ויעוץ, הערכה ומשוב על צריכת אנרגיה, וקמפיינים מעוררי מוטיבציה בתקשורת. בד"כ מסעי פרסום כאלו אפקטיביים יותר במגזר המגורים מאשר במסחרי. בברזיל היעילות הכלכלית של תכניות מידע עלתה על זו של מרבית הכלים האחרים. תקשורת המונים יכולה לתרום תרומה גדולה להעלאת המודעות הציבורית לצורך בחיסכון באנרגיה, לשינוי אקלים ולתכניות ממשלתיות בנושא.

סיכום המלצות למדיניות בישראל

1. הקמת גוף ממשלתי שיהווה בית לקידום הרעיון של בניה בת-קיימא בארץ, לתאום פעולות ולשיתוף מידע. במסגרת זו יפותחו מאגרי מידע עבור המתכננים והמשתמשים.
2. קביעת יעד ארוך טווח להשגת הפחתה של צריכת אנרגיה ופליטות גזי חממה בתחום המבנים והתוויית יעדים קצרי טווח שיאפשרו את השגתו.
3. מתן תמריצים כלכליים המעודדים בנייה ירוקה.
4. העלאת המודעות הציבורית בנושא קיימות ושינוי אקלים בכלל, ושימור אנרגיה במבנים בפרט.
5. שילוב קורסים בתכניות הלימודים לתואר ראשון ולתארים גבוהים ולאנשי מקצוע העוסקים בתחום בנושא התמודדות עם שינוי האקלים.
6. מוסדות חינוך ומבני ציבור יוקמו כמבנים ירוקים על מנת להוות דוגמה לכלל המגזרים.
7. עידוד אימוץ תהליך תכנון משולב (IP) כשיטת תכנון מקובלת תוך שתוף כל הגורמים המעורבים בפרויקט והתייחסות לאינטרסים שלהם במטרה לעודד שימוש בתקנים ירוקים בכל שלבי הפרויקט (משלב הייזום ועד שלב סיום מחזור החיים של המבנה) כדוגמת תהליך התכנון לתכניות שמקודמות ע"י משרדי הממשלה.
8. תקנות מחייבות לדרוג אנרגטי ותיוג של מבנים חדשים ועדכון על בסיס קבוע.
9. שימת דגש לא רק על בנייה חדשה אלא גם על תחזוקה וחינוך מבנים קיימים ובלי לפגוע בזכות לדיור בר השגה - ותוך ניצול הזדמנות זו להציע דיור בר השגה גם במחיר קניית הבית וגם במחיר תפעולו לצמצום תופעת העוני האנרגטי.
10. תקנות מחייבות (ובמסגרת קוד הבנייה שמקודם ע"י משרד הבינוי והשיכון ויוטמע בחוק התכנון והבנייה עם מנגנון עידכונים תקופתי) ליעילות אנרגטית של מערכות שונות במבנה, כגון: דרוג אנרגטי ותיוג של חלונות.
11. גיוס ענף הביטוח לעידוד יישום תקנים ירוקים על ידי דרישה למילוי תנאים מתוך התקנים בעת רכישת פוליסה.



היערכות השלטון המקומי לשינויי אקלים בתחום התכנון והבינוי העירוני

שינויי האקלים מציבים בפני הרשויות המקומיות אתגרים ניהוליים מורכבים בהיערכות למצבי עקה, ביניהם עליה בעומס החום, עליה בשכיחות ובעוצמה של אירועי מזג אוויר קיצוני, עליה בריכוזי מזהמים, החרפת השפעות אי החום העירוני, החמרה בנוזקי שיטפונות, עליה בתדירות הקריסה של תשתיות ביוב, ניקוז, מים וחשמל, עליה בתדירות של שריפות ועליה בתחלואה. המשמעות של שינויי אקלים והשפעתם על העיר כוללת את המארג העירוני, הסביבה הפנימית, התשתית העירונית, השטחים הפתוחים, הנוחות התרמית והשימוש בחללי חוץ ופנים.

לעיצוב העירוני תפקיד חשוב בהפחתה ובהתאמה לתופעות המתרחשות כתוצאה משינויי אקלים. ערים יכולות להפחית את כמות הפליטות של גזי חממה תוך התמודדות עם בעיות סביבתיות נוספות, כגון זיהום אוויר, פסולת ותחבורה, ופיתוח כלכלי מקומי. מצד ההיצע, ערים יכולות לקדם שימוש במקורות אנרגיה חלופיים והפיכתם לאטרקטיביים יותר עבור הצרכן, ואילו מצד הביקוש, עיר מתוכננת טוב יותר, המצמצמת זחילה עירונית ופרוור, מעודדת עירוב שימושים, מבנים בני-קיימא ותחבורה ציבורית אטרקטיבית, עשויה להקטין את טביעת הרגל האקולוגית של העיר ובו בזמן לספק איכות חיים וסביבה טובים יותר לתושביה.

כבר היום ניתן ללמוד מניסיוןן של לא מעט ערים חלוצות ברחבי העולם שהחלו ליישם פרקטיקות "ירוקות" לבניית החוסן של קהילותיהן למצבי עקה אקלימית. בניית **חוסן קהילתי** משמעותה להכשיר קהילות לשאת, להתמודד, לנהל ולהתאושש במהירות ממגוון מצבי משבר אקלימיים. הדגש בבניית חוסן קהילתי הנו על שיפור **כושר הנשיאה האדפטיבי** של קהילות באמצעות הפחתת פגיעותן לשינויי אקלים.

שינויי האקלים הצפויים מחייבים שינוי תפיסתי מבחינת התאמת הערים והמבנים (הצללה, חשיפה לרוח, נוחות תרמית בבניינים, הסתגלות לאירועי קיצון, כמו הצפות או עליית מפלס המים, ועוד). בנוסף, מיקום העיר או השכונה, וכן המערך העירוני הנם בעלי השפעה רבה על יצירת מיקרו-אקלים בעיר - מורפולוגית העיר ואוריינטציות הרשת האורבנית משפיעות על הצללה וחשיפת הרחובות והשטחים הפתוחים לשמש ולרוח, אך יחד עם זאת גם על אגירת החום. כמו כן, תכנון עירוני כדוגמת תכנון רגיש מים (תר"מ), יכול לעזור בהתמודדות עם עליית הטמפרטורות וההתייבשות הצפויה.

האתגרים הנובעים מהקצב המהיר של תהליכי העיור, מקשים מצד אחד על התגובות לשינויי האקלים, אולם מאפשרים, מצד שני, הזדמנויות רבות לגבש אסטרטגיות כוללות של הסתגלות והפחתה. לרשויות המקומיות ולגורמי תכנון, כמו משרד הפנים ומשרד הבינוי והשיכון, יש תפקיד מרכזי בפיתוח אסטרטגיות אלו. בדרך זו, שינויי האקלים עצמם יפתחו הזדמנויות לשפר את השלטון המקומי ולעודד את המימוש של צדק חברתי וכלכלי במרחבים האורבניים, העומד בבסיס הרעיון של פיתוח בר-קיימא.

הערכת סיכונים (הסתגלות)

רשויות מקומיות צריכות לבצע בהקדם בחינה והערכה של הסיכונים הגלומים בשינויי אקלים לכל יישוב עירוני ולסביבתו הקרובה. על הרשויות לבחון תרחישים שונים של שינויי אקלים, לזהות את האיומים העיקריים לגורמים שונים, להעריך את הסתברותם וחומרתם של איומים אלו, לקבוע סדר עדיפות להיערכות לקראתם, ולבחון אסטרטגיות לניהולם. כמו כן, על רשויות לזהות ולמפות אזורי סיכון להמשך פיתוח ובינוי, כגון פשטי הצפה של נחלים, מצוק חופי וכיו"ב. במקביל, על הרשויות להתחיל ולהטמיע צעדי הפחתה והסתגלות לתוך תהליכי התכנון האסטרטגי שלהן. לדוגמה, ב-2008 נערך מחקר רחב היקף באזור Western Port Region בויקטוריה, אוסטרליה, שבמסגרתו זוהו והוערכו סיכונים עתידיים מהצפה ושריפה כתוצאה משינויי אקלים. מתוך כ-200 סיכונים שזוהו והוערכו על פי שורה של תבחינים, נקבע סדר עדיפות לטיפול ב-10 סיכונים. שעבורם נקבעו 30 צעדי היערכות קונקרטיים.

צמצום מקורות החום האנתרופוגני (הפחתה)

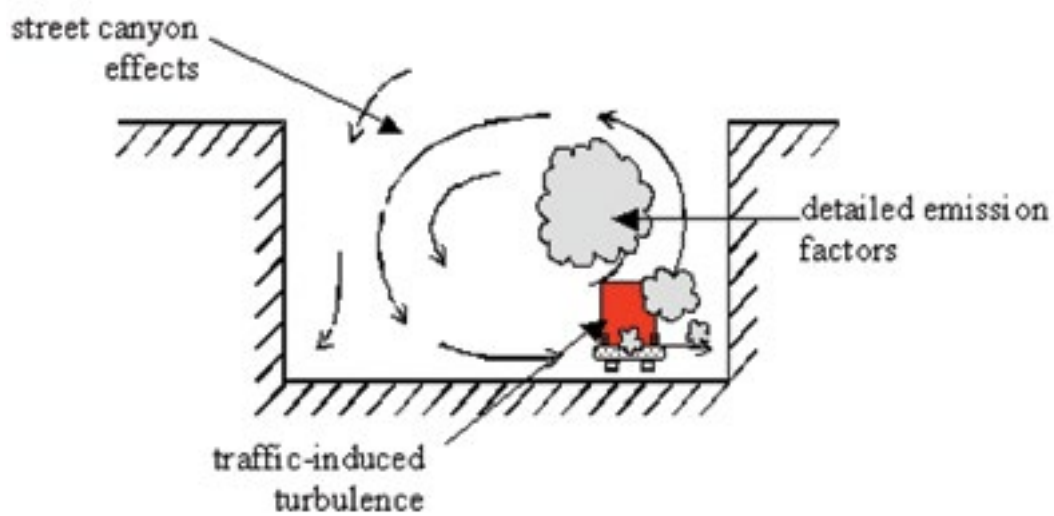
אחת מאסטרטגיות הפעולה המהותיות ביותר הנה הפחתת החום הנפלט מפעילויות המתרחשות בסביבה העירונית. לשם כך, ניתן לנקוט בשורה ארוכה של צעדים לשיפור היעילות האנרגטית במבנים, רחובות ותשתיות, להקטנת השימוש ברכב, להגברת השימוש בתחבורה ציבורית ועוד (ראה הרחבה במסגרת הדיון בבניה בת-קיימא).

צמצום ממדי השטח המפותח (הפחתה)

התכנון העירוני צריך להדגיש צמצום של תופעת הזחילה העירונית והפרוור, באמצעות ציפוף עירוני מושכל ויצירת ערים אטרקטיביות המעודדות עירוב שימושים ותחבורה ציבורית יעילה.

הגדלת מרווחים בין מבנים גבוהים ומיתון 'אפקט הקניון' (הפחתה)

צפיפות בנייה גבוהה, השומרת על מרווחים נאותים בהתאמה לאקלים ושטחים פתוחים בין המבנים, מאפשרת להגדיל את ערכו של מקדם ראיית השמים (SVF), למתן את 'אפקט הקניון' ולהפחית את הפרש הטמפרטורה שבין המרחב הכפרי הפתוח לבין העיר. תכנון נכון של חתך הרחוב יתרום גם להגדלת פוטנציאל האוורור בעיר ולפיזור מזהמים וחום מוחשי (ראה איור 4.1).



איור 4.1 - הגדלת מקדם ראיית השמים (SVF) באמצעות תכנון נכון

הגדלת האלבדו ושימוש בחומרים בעלי קיבולת חום נמוכה (הפחתה)

בשימוש בחומרים ובחיפויים בעלי מקדם החזר גבוה וקיבולת חום נמוכה (כדוגמת דרך הגישה לבית בתמונה 4.1) גלומה תרומה כפולה למיתון תופעת אי החום העירוני. מצד אחד, משטחים אלו יכולים להוריד את הטמפרטורה הסביבתית ולהפחית את הסיכוי לערפיח, ומצד שני הם מתאפיינים בעמידות גבוהה יותר (פחות שחיקה ופחות ליקויים).



תמונה 4.1 - דרך גישה מבטון בהיר בעל מקדם החזר גבוה וקיבולת חום נמוכה במיוחד

שיפור האזור (הפחתה)

באמצעות תכנון עירוני ניתן לנצל את 'אי החום העירוני' לצורכי אזור - בלילות יציבים ללא אילוף סינופטי נוצר הפרש לחצים (תרמי) בין מרכז העיר החם, שבו לחץ נמוך יותר, לבין שולי העיר הקרים יותר שבהם לחץ גבוה יותר. במצב זה, יכולה להתפתח זרימת אוויר משולי העיר אל מרכזה - מנגנון שמכונה 'בריזה עירונית'. תכנון פרודורי זרימה חופשיים של אוויר משולי העיר אל מרכזה, יאפשרו לנצל את 'הבריזה העירונית' לצורך אזור ולצורך פיזור חום מוחשי ומזהמים. בתכנון זה יש להביא בחשבון את כיוון ציר הרחוב יחסית לכיוון הרוח.

ריבוי שטחים פתוחים וצמחיה (הפחתה + הסתגלות)

לשטחים פתוחים לסוגיהם, וגם לעצי רחוב, יש תפקיד חשוב בהגדלת פוטנציאל הקירור באידי מהקרע ומעלי הצמחים (דיות). אמצעי נוסף בתחום זה הנו 'האג הירוק' (ראה הרחבה בהמשך), אשר כולל שכבת אדמה רטובה וכיסוי צמחיה על גגותיהם של מבנים. עם זאת, חשוב לציין, שקצב האידי-דיות מקרע רטובה וצמחיה מושפע מהיחס בין שטח 'ירוק' לבין סה"כ פני השטח שגובל בחלל הרחוב, כולל קירות (שבדרך כלל 'יבשים').

הצללה (הסתגלות)

הצללה היא אחת האסטרטגיות לצמצום עומס החום בערים והגברת אפקט האוואזים. אחת משיטות ההצללה הבולטות ביותר היא שתילת עצי צל לאורך רחובות, על פי רוב ברצועת העזר או בשולי המדרכה (ראה איור 4.2). המטרה המרכזית הנה להגדיל את כמות ההצללה הכוללת בעיר, להשיג כיסוי רציף של צל באזורי תנועה רכה (הולכי רגל ורכבי אופניים) ואזורי המתנה (תחנות אוטובוס, מעברי רחובות), ולהגדיל את ההצללה על בניינים וסביבתם בתי עסק הדורשים תנועת בני אדם לצורך מסחר.



איור 4.2 - כיסוי רציף של עצי צל לאורך רחובות ובאזורי 'תנועה רכה' ברח' פרט בבולטימור

לשימוש בעצים לצורך הצללה יתרונות רבים: עצים מקטינים את עומס החום ואת 'יחס בוהן' (עצים מורידים את הטמפרטורה בשיעור גבוה יותר מזה שבו הם מעלים את הלחות היחסית, ובאופן זה חלק גדול יותר מקרינת השמש מתורגם לחום כמוס ופחות לחום מוחשי); עצים פולטים חמצן ובולעים פחמן דו-חמצני מהאוויר; עצים מטילים צל על מבנים ומקטינים את כמות הקרינה הנקלטת בקירותיהם (עדיפות לעצים נשירים); הצללה מעצים מעודדת תנועה רגלית ורכיבה על אופניים; נוף העצים בולע רעש ומאפשר יצירת הפרדה בין אזורי שימוש שונים; עצים משפרים החדרת מי גשמים לקרקע; עצים מאפשרים התפתחות בעלי חיים בעיר; עצים תורמים לריכוך המראה החד והקשה של הרחוב העירוני ויוצרים תחושה רגועה יותר של המרחב הפתוח. עוד חשוב להדגיש, שריבוי עצים בתא שטח אחד מגדיל את סיכויי ההצלחה של עצים לשרוד בצעירותם, תורם לחיסכון במים בשל ההצללה ההדדית שיוצרים העצים ומשפר את אגירת המים בקרקע.

חרף היתרונות הגלומים בשתילת עצי צל, יש להביא בחשבון שאסטרטגיה זו כרוכה בעלויות גבוהות ובקושי לוגיסטי בלתי מבטל. במשך השנים הראשונות לשתילת עץ יש לספק לו הגנה פיזית (תמיכה) והשקיה (ברוב האזורים). עצים דורשים גם רוחב מינימאלי של מדרכות, שכן הם זקוקים לשטח של לפחות 1 מ"ר של קרקע בלתי מחופה סביב הגזע על מנת לאפשר צימוח טבעי של הגזע ובסיס השורש. כמו כן, יש צורך בגיזום לאחר שהעץ מגיע לבגרות.

על מנת להגדיל את כיסוי הצל העירוני ואת מספר העצים בעיר, על הרשויות המקומיות להקדיש מאמץ מיוחד באיתור שטחים פתוחים המאפשרים שתילה. במקרים מסוימים ראוי לקבוע חוקי עזר עירוניים שיחייבו בעלי חלקות שאינן מאוכלסות לשתול עצים במימון העירייה. פרויקט כזה לדוגמא, הוא פרויקט 'עץ נולד' של החברה להגנת הטבע באזור תל אביב. ניתן גם לקבוע חוקי עזר שיעודדו שתילת עצי צל בתחומי מגרשים לבינוי לאורך הפאות הגובלות ברחובות בעלי מדרכות צרות. עוד ראוי לשקול שילוב הצללה מלאכותית באמצעות חומרים טבעיים לצד העצים הצעירים, שתוסר עם הגיע העצים לבגרות (ראה דוגמה בתמונה 4.2).

שילוב הנחיות הצללה ברורות ונקודות 'זכות' למבנה 'רוק'³ יקדמו מאוד את השימוש בצל במבנים קיימים וחדשים. בהיבט רחב יותר, יש להשתמש בעקרונות התכנון התרמי בתכנון שכונות וערים. על ידי תכנון אזורי מגורים שלמים בראייה אנרגטית, ניתן יהיה להגיע לרמת יעילות אנרגטית מרבית על ידי ארגון תאי שטח שלמים ביחס לקרינת השמש ושימוש הדדי בצל המבנים לצורך הצללת דרכי גישה, אזורי פעילות וכדומה.



תמונה 4.2 - אמצעי הצללה מלאכותיים המותקנים לאורך רחוב צר בסינגפור

ריבוי גופי מים (הסתגלות)

ריבוי במזרקות ובגופי מים יתרמו אף הם לשיפור 'יחס בוהן' (ראה דוגמה בתמונה 4.3). עם זאת, תנאי בסיסי לקיומם ויעילותם של גופי מים הוא אקלים חם ויבש. עלייה בלחות באוויר מנטרלת את מערכות הקירור באידוי ואף מחריפה את עומס החום בשל השילוב של טמפרטורה ולחות גבוהות.



תמונה 4.3 - גוף מים לאורך רחוב בסינגפור

תכנון רגיש למים (תר"מ) (הפחתה + הסתגלות)

ניהול נגר עילי באזורים עירוניים נועד להקטין שכיחות, עוצמה ונזקים של הצפות, לשמר את הקרקע, להעשיר את מי התהום, להקטין ריכוזי מזהמים במים, ולהגדיל את היצע המים להעשרת הצמחייה בעיר וליצירת גופי מים למטרות נוי ונופש.

³ לפי ת"י 2250 התקן לבנייה ירוקה: - <http://www.sii.org.il/135-2470-he/SII.aspx>

השיטות והאסטרטגיות לניהול נגר עילי כוללות: (1) איסוף או קציר מי גשמים מגגות ומפני שטח (ראה איור 4.3); (2) תפיסת מי נגר עילי ושיטפונות, אגירתם במאגרים קטנים והחדרתם למי התהום; (3) תכנון שימושי קרקע, החל ממיקום של שכונות ותשתיות, וכלה במיקום שטחים פתוחים, מבנים וחצרות, המתחשבים במערכת הגיאואידרולוגית של המקומית והאזורית, ובאפשרויות להשייט הנגר, טיובו והחדרתו לקרקע.



איור 4.3 - אמצעים לקציר מי גשמים ותפיסת מי נגר ברמת המבנה והמגרש

גגות 'ירוקים' (הפחתה + הסתגלות)

גג ירוק או גג מגונן הוא גג נושא צמחייה (ראה תמונה 4.4). הוא מיושם על ידי הנחת תשתית המאפשרות אחיזה של חומרי הזנה ומים לצמחייה והגנה למבנה מפני חדירת שורשים. בנוסף ליתרונות קיום צומח שצוינו בפרק הקודם, לגגות ירוקים יש גם תרומה אסתטית למבנה ולמרחב העירוני וגם תרומה להגברת הבידוד של המבנה ולחיסכון בצריכת אנרגיה. גג ירוק תורם גם להשייט נגר עילי, העשרת המגוון הביולוגי ולסינון רעלים ומזהמים מהאוויר וממי גשם.



תמונה 4.4 - גג ירוק בשטח של 2,000 מ"ר של מבנה בית ספר בעיר שפילד, אנגליה. זהו הגג הראשון באנגליה שזכה לתואר 'שמורת טבע מקומית', בשל המגוון הביולוגי יוצא הדופן שלו

ניצול המרחב התת-קרקעי (הפחתה + הסתגלות)

הפעילות בתחום הבניה בתת הקרקע בעולם הולכת וגוברת, ומונעת על-ידי המחסור בקרקע זמינה לבניה בעיקר באזורי ביקוש, עליית מחירי הקרקע, מחסור בשטחים פתוחים, חוסר נוחות אקלימית, ודרישה גוברת לקידומו של פיתוח בר-קיימא. בישראל, מצטרף לכך הצורך לנצל את תת הקרקע למטרות הגנה לאזרחים ולמתקנים אסטרטגיים.

השימוש בתת-הקרקע אפשרי לתכליות רבות (ראה לדוגמה תמונות 4.5 ו-4.6), ביניהן: מיגון; שירותי ציבור; תעשייה; מסחר; תשתיות תחבורה, מים, ביוב, ניקוז, תקשורת, ואנרגיה; קווי דלק וגז; תחנות כוח ומתקני חשמל; מרכזי תחבורה; כריית חומרי גלם; איגום מים; חניה; אחסון פסולת ביתית, רעילה ומסוכנת; אחסון מסחרי; תרבות ובידור; נופש ופנאי, ובמגבלות מסוימות - גם מגורים. המגמות בתחום מלמדות כי השימוש בתת הקרקע צפוי להמשך התפתחות מהירה, ונראה כי בטווח הארוך, יהפוך מרחב האפשרויות לניצול תת הקרקע לכמעט בלתי מוגבל.

הבינוי בתת הקרקע מגלם בתוכו מגוון תועלות סביבתיות, שרבות מהן קשורות בהפחתת/מניעת השפעתם של גורמי עקה סביבתית הקשורים בשינויי אקלים ובתופעת אי החום העירוני. הבינוי בתת הקרקע מאפשר לצמצם את נפח וצפיפות הבינוי מעל הקרקע, מאט את זחילת הפיתוח אל המרחבים הפתוחים ומאפשר להקצות יותר שטחים פתוחים במרחב האורבאני. צמצום היקף השטחים הסלוליים והמבונים בעיר מחד, והגדלת היקף השטחים הפתוחים מאידך, משפרים את הנוחות האקלימית ומקטינים את תופעת 'אי החום העירוני'. תרומה פוטנציאלית נוספת למיתון העקה של אי החום העירוני טמונה במנהור נתיבי תנועה באזורים אורבאניים המסייע בהפחתת פליטות של מזהמים לאוויר בסמיכות לריכוזי אוכלוסייה. שימוש נוסף שניתן לעשות במרחב התת-קרקעי לנוכח העלייה בתדירות של אירועי גשם קיצוניים, הנו ניקוז ותפיסת זרם עילי ואגירתו בתת-הקרקע למניעת הצפות באזורים מבונים בצפיפות.

תכליות הממוקמות בתת הקרקע נהנות גם ממגוון יתרונות שמספקת סביבה אקלימית יציבה זו, ביניהן בידוד מתנדודות אקלימיות, מתנאי אקלים קיצוניים, מאסונות טבע ומזיהום אוויר, שבא לידי ביטוי בצמצום צריכת האנרגיה לשמירת נוחות אקלימית ולאחסון. התנאים היציבים והמבודדים מקטינים גם את הבלאי של מבנים ומתקנים, מאריכים את 'חיי המדף' של מוצרים ומביאים לחיסכון בחומרי גלם.



תמונה 4.5 - גן ציבורי ייחודי מעל מרכז קניות ובידור רחב ידיים בלב סנטה פה במקסיקו, מרכז הקניות נהנה מחדירה של אור טבעי



תמונה 4.6 - ניצול המרחב התת-קרקעי בשילוב גגות ירוקים

בשנת 2009 הוחל בהכנתה של תכנית מתאר ארצית למיגון ולניצול המרחב התת-קרקעי (תמ"א 40) ביוזמת מינהל התכנון. תהליך קידומה של התכנית, שהכנתה למעשה הושלמה, הוקפא בשנת 2012. לנוכח החשיבות הגלומה בניצול המרחב התת-קרקעי, הן להפחתתה של עוצמת התופעה של אי החום העירוני והן להסתגלות אליה, זאת בנוסף למטרות הרבות הנוספות שאסטרטגיה זו משרתת, ראוי להמשיך בקידומה של התכנית ולהביאה לידי אישור.

הקמת אזורי חיץ להגנת ישובים משריפות (הסתגלות)

שינויי האקלים מלווים גם בעליה בהסתברות לשריפות. פעולת מניעה חשובה בכיוון זה הנה שמירת אזורי חיץ דליל-צומח סביב אזורי יישוב, אשר יטופלו באופן שוטף באמצעות רעיה וטיפולים יעריניים אחרים. שמירת רצועות חיץ אלו תקל גם על נגישות כוחות הכיבוי וההצלה.

יש לציין כי המלצות לביצוע אזורי חיץ קיימות לפחות מ-1990 (הוכנו בעקבות השריפה בכרמל ב-1989), והם עודכנו במהלך השנים שוב ושוב, לרבות לאחר השריפה הגדולה בכרמל בדצמבר 2010. יש לפעול מיידית לתקצוב ויישום הקמת אזורי חיץ מסביב לכל היישובים הזקוקים לכך. קק"ל ורט"ג הכינו זה מכבר תכניות מתאימות לביצוע.

התאמת תשתיות (הפחתה + הסתגלות)

ההתאמות הנדרשות בתחום התשתיות צריכות להביא בחשבון שממילא יש לשדרג את מרבית התשתיות מידי תקופה של 25-30 שנים. הטמעת שיקולים של שינויי אקלים בשלב תכנון ההקמה/השדרוג של תשתיות יכולה להפחית את העלויות בצורה משמעותית. התכנון צריך לשמש דגש על אותם מאפייני תשתית שהנם קשים ו/או יקרים מאוד לשינוי במהלך חיי התשתית, כגון מיקום וחומרי הבניה. טבלה 4.1 מציגה כמה מצעדי ההסתגלות האפשריים בתחום התשתיות.

השפעה	פעולות הסתגלות
כלל ההשפעות של שינויי אקלים	<ul style="list-style-type: none"> תשתיות המתוכננות לטווח של 50 שנים ויותר יש לתכנן באופן גמיש המאפשר לבצע שיפורים בהתאם לשינויי אקלים. תכנון תשתיות חופיות בהתחשב בצפי לעלית מפלס פני הים. קידום תשתיות של אנרגיה חלופית (סולארית, רוח, גיאותרמית, הידרואלקטרית וכו') ברמה העירונית.
שינויים עונתיים ברטיבות הקרקע	<ul style="list-style-type: none"> הטמעת שיקולי שקיעה והתרוממות של קרקע בעת תכנון של יסודות.
התגברות סיכוני הצפה	<ul style="list-style-type: none"> הקמת תשתיות חסינות שיטפון ופיתוח נתיבי תחבורה באופן המקטין הסתברות להיפגעות מהצפה. הגברת פעולות ניטור ותחזוקה של סוללות, גשרים, תעלות, צנרת ניקוז וביוב וכיו"ב.
התגברות סכנת שריפות	<ul style="list-style-type: none"> זיהוי אתרים/אזורים מועדים לשריפה. שמירת אזורי חיץ דלילי צומח סביב מקומות יישוב. תשתיות שמיקומן איננו גמיש, יש להקים על-פי תקני בניה מחמירים שיגבירו את עמידותם לשריפות
עליה בסיכוני זיהום מאתרי הטמנת פסולת	<ul style="list-style-type: none"> חינוך האוכלוסייה להפחתת פסולת במקור. שיפור מערך הטיפול בפסולת. עידוד משקי בית להפרדת פסולת במקור וקידום קומפוסטציה. טיפול באתרי פסולת.

טבלה 4.1 - פעולות הפחתה והסתגלות במערך התשתיות העירוניות

בניה בת קיימא (הפחתה + הסתגלות)

מדיניות שמקדמת באופן פעיל פתרונות משולבים גם להפחתה וגם להסתגלות חשובה במיוחד בענף הבניה, ויש אפשרויות רבות להשקעות סינרגיות אשר יכולות להפחית את העלות הכוללת של שינויי אקלים. לדוגמה, שימוש בטכנולוגיות בידוד מתקדמות ותכנון סולארי פסיבי יועילו גם כאמצעי הפחתה וגם כאמצעי הסתגלות המצמצם את הגידול הצפוי בעומסי מיזוג אוויר עקב ההתחממות.

תחום הבניה הירוקה נתפס לרוב כתחום בו ניתן למנף הפחתה של פליטות גזי חממה, שכן, סקטור המבנים אחראי לכ-40% מצריכת האנרגיה בעולם ולכשליש מפליטות גזי החממה. מעבר לשיפור איכות החיים, התפוקה ובריאות האנשים בבניינים, הקטנת צריכת האנרגיה על ידי תכנון אדריכלי נכון, עשויה לעזור בהתמודדות עם מצבים של עוני אנרגטי באמצעות הקטנת ההוצאות של משפחות עבור אנרגיה לאקלים, תוך הבטחת תנאי נוחות תרמיים ראויים.

אמנת האקלים של פורום ה-15

הערים שהצטרפו בישראל לפורום ה-15, בחתימתן על אמנת האקלים, מהוות קרקע פורייה להיערכות לפעולה בנושא, במיוחד בהינתן להן 'רוח גבית' ממשלתית, קרי, הבטחת מקורות תקציביים וגיבוי במדיניות תומכת ברמה הארצית. מוצע לשלב כוחות ולקדם שיתוף פעולה בין הממשלה לבין הערים החתומות על אמנת האקלים בתחומים הבאים:

1. **קידום מחקרים משותפים** - כמקובל בעולם, לצורך מעקב אחרי השפעות משבר האקלים בערים. מומלץ לשלב בכך גם את מוסדות המחקר המצויים בערים.

2. **תכנון עירוני לצמצום אי החום העירוני** - הצפי להיווצרותם של תנאי מזג אוויר קשים מעלה את הצורך לייצר לאדם סביבת מגורים שתאפשר התמודדות עם תנאי קיצון. אנו מציעים ליישם זאת הן ברמה התכנונית, באקלומה של העיר, באמצעים כגון אוורור העיר, יצירת הצללות ברחוב, נטיעות, ניצול המרחב התת-קרקעי וכדומה, והן ברמת המבנה.
3. **קידום בנייה בת-קיימא** - בהמשך לסעיף 2 לעיל, עיריות פורום ה-15 מקדמות באמצעות 'הפורום העירוני לבנייה ירוקה' שילוב של מדיניות בנייה בת-קיימא בהליכי התכנון העירוניים ואף שוקלות לאמץ את התקן הישראלי לבנייה בת-קיימא כדרישה מחייבת. יש להדגיש, כי על מנת להטמיע עקרונות אלה, קיימת חשיבות רבה לגבש מדיניות ממשלתית התומכת בהפיכת התקן הישראלי לבנייה בת-קיימא לתקן מחייב.
4. **קידום התייעלות אנרגטית** - נושא זה הוא, כאמור, בעל משמעות מיוחדת לאור הצפי לעלייה גבוהה בביקוש לחשמל. במישור זה העיריות יכולות לפעול גם לחיסכון אנרגטי בתאורת רחובות ורמזורים וגם לשינוי הרגלי הציבור בשימוש בחשמל.
5. **מירוב השימוש בקרקע** - שימוש בתת הקרקע הן כמענה לצפיפות הגוברת, הן בכדי ליהנות לאפשר שימוש באנרגיות פאסיביות לחימום וקירור גיאותרמי.
6. **שדרוג תשתיות עירוניות** - מאחר שהיערכות לשינויי האקלים מתייחסת גם להתמודדות עם מצבי קיצון, יש להיערך לשדרוג מערכות התשתיות העירוניות השונות ושיפור קיבולתן ועמידותן. דגש מיוחד יש לייחד למערכות הניקוז הן לשם מניעת הצפות במקרי שיטפון והן לצורך העשרת מי התהום (ראה גם סעיף 7 להלן).
7. **היערכות למחסור מים אזורי** - מתקני ההתפלה העתידיים לקום הנם כשלעצמם צרכני אנרגיה גדולים מאוד, כשבנוסף, תהליך ההתפלה מייצר תמלחות שעלולות להשפיע על אקולוגיית הים. בנוסף, קיימת הערכה שתתקיים התייבשות בארות ומי תהום בכלל. המסגרות העירוניות יכולות לסייע בהעלאת המודעות והגברת השימוש באיזורים חוסכי מים, אך בעיקר יכולות להוות פלטפורמה לקידום של פרויקטים גדולים להחדרת מי נגר לקרקע ופרויקטים של השקיה ציבורית ממים מושבים.
8. **מרכזי מידע לתושבים** - הסתגלות למשבר האקלים מחייב הנגשת מידע לתושבים, הן בהיבטים של שימוש באמצעים להפחתת פליטות והן כבסיס לקשר ולמידע שיוזרום לתושבים בהקשרים של היערכות למצב האקלים ברמת הפרט. מרכזים אלה יסייעו להעלאת המודעות של התושבים לנושא באופן ישיר. במרכזים אלו הציבור יוכל להתנסות בטכנולוגיות שונות לבנייה ירוקה ולהתייעלות אנרגטית ולקבל הסברים והדרכות בנושאים השונים. המרכזים יוכלו אף להוות בסיס לקידום של פרויקטים וטכנולוגיות נוספות בתחום. יודגש, כי הצורך במרכזי המידע העירוניים הועלה במרבית התכניות שהוכנו על ידי הערים החתומות על אמנת האקלים ככלי מרכזי לקשר עם הציבור הרחב ורתימתו למאמצי ההפחתה.
9. **שימוש באנרגיה מתחדשת** - מרוח, מים ושמש. בהקשר זה יאמר שעיריות פורום ה-15 מבקשות לקדם תכניות נוספות להצבת פאנלים סולאריים על גגות מבני חינוך וציבור, אך המכסות שיעדה המדינה לכך אינן מספיקות למכלול הפרויקטים שהעיריות יזמו.
10. **היערכות למשבר חברתי** - למשבר האקלים עלולות להיות השלכות קשות גם מבחינה חברתית. הגעתם של מהגרים רבים כתוצאה ממשברים סביבתיים בארצות המוצא, פגיעות קשות ברכוש (הן של פרטים והן של העיריות) בשל תנאי מזג האוויר הקשים, עליית מחירי המזון, המים והחשמל הצפויים ועוד. על העיריות ורשויות המדינה להיות ערוכות לכך.
11. **היערכות בשירותי בריאות ותברואה** - לשינויי האקלים יש השלכות משמעותיות בנושא אספקת שירותי בריאות ותברואה. כך למשל, רשויות מקומיות צריכות לתגבר את היצע שירותי הבריאות לסוגיהם ולשפר את זמינותם לכלל הציבור. להפעיל מעקב ובקרה מוגברים בטיפול באתרי קינון ודגירה של יתושים ועוד. ביישום צעדי הסתגלות, רשויות מקומיות צריכות לאון בין סיכונים תחלואה אל מול הטרדה והתשה מיותרות של התושבים שעלולות להביא לכך שיפתחו אדישות ושאננות כלפי סיכונים תחלואה עוד בטרם סיכונים כאלה יתממשו.
12. **היערכות למצבי חירום** - תידרש פעילות מוגברת לשם היערכות למצבי קיצון, כגון הצפות, שריפות, גלי חום וסופות ותפוצה של מחלות (חלקן חדשות) העלולים לפגוע באדם או ברכוש. בהקשר זה מוצעת פעילות מנע, כמו היערכות לסופות (גיזום עצים שעלולים להתמוטט, סיוע מבחינת הנחיות להיערכות ותושבים: פינוי גגות מאנטנות לא מחוזקות וכדומה).
13. **הגנה על קו החוף ומי הים** - חופי הרחצה, הטיילות, השירותים והתיירות לאורך הים, כמו גם המרינות והנמלים מהווים מקור פרנסה של רבים מתושבי הערים ואזור הנופש והפנאי של רבים נוספים. על הרשויות המקומיות והממשלה לבחון במשותף את הדרכים לשמירתן של התשתיות החופיות וזאת לאור הצפי העולמי לעליית הימים, המשולב עם הצפי הקיים בישראל להרס הדרגתי של מצוק החוף המערבי. כמו כן, יש להיערך להתמודדות עם האיכות המתדרדרת של מי הים. נוסף ונציין שיש חשיבות לפעול במשותף למניעת פגיעה גם בתשתיות כגון מתקני התפלה ותחנות כוח לאורך הים, שפגיעה בהן מסכנת הן את האזור בו הן שוכנות, אך גם מהוות פגיעה מהותית בצרכים הלאומיים.
14. **שימור מגוון ביולוגי** - לאור החשש שתפוצת בעלי חיים ומזיקים צפויה להשתנות וחשש שמינים קיימים וחייתיים יוכחדו, הרי שקיימת חשיבות לנושאים כמו שימור ואף השבת טבע עירוני, נטיעת עצים, שמירה על מעברי בעלי החיים והקמת נקודות הטלה, וכן הבטחת שמירה על המרקם הבנוי מבלי לנסות 'להתפשט' לשטחים פתוחים וחקלאיים, מתוך ההבנה של חשיבות עורף של שטחים אלו לעיר עצמה. כמו-כן, פעילות לשימור המגוון הביולוגי בערים יכולה להשתלב בצורה טובה עם תכניות חינוכיות (טבע, מדע וכו') בקרב תלמידי העיר בכל הגילאים.

כלכליות בניה

ירוקה בישראל

ניתוח כלכלי של בנייה ירוקה של **בנייני משרדים** שבוצע בישראל הסיק כי בנייה ירוקה מצדיקה את עצמה לאורך זמן הן עבור סטנדרט בנייה בינוני והן עבור סטנדרט בנייה גבוה. תוספת העלות לבנייה נאמדת בין 3% ל-5%, כאשר רוב ההבדל נובע מהיבט האנרגיה (גבאי, 2011). ההחזר המהיר על ההשקעה נובע בעיקר מחיסכון בחשמל (כ-40% מהתועלת ליוזם) ומעלייה בפרודוקטיביות העובדים (כ-60% מהתועלת ליוזם), אך יש לציין כי גם בהסתכלות על נתונים פיזיים של הבניין בלבד (ללא התייחסות לעלייה בפרודוקטיביות העובדים), בניה ירוקה היא כלכלית בראיית עלות-תועלת.

ניתוח כלכלי של בנייה ירוקה של **בנייני מגורים** נערך עבור המועצה הישראלית לבנייה ירוקה (קוט וכץ, 2013). המחקר משווה את העלויות הכלכליות של בנייה ירוקה לעלויות של בנייה קונבנציונלית, בהתבסס על שני מקרי מבחן של בנייני מגורים אשר קיבלו תו ירוק בדרגת מצטיין לפי תקן 5281 (לפי התקן בגרסת 2005). הבניין הראשון הוא "בניין 304" שנבנה על ידי קבוצת חנן מור בנס ציונה. הבניין השני הוא "בניין 1" שנבנה ע"י קבוצת שייכון ובינוי נדל"ן בנתניה. נבחנו העלויות בפועל לפי הצהרות היוזמים של רכיבים ירוקים אשר הוטמעו במקרי המבחן ושונים בעלותם מרכיבים בבנייה קונבנציונלית. מהמחקר עולה שסך ההשקעה הנוספת בגין רכיבים ירוקים בבניין 304 ובבניין 1 הינה 685,991 ₪ ו-918,366 ₪ בהתאמה, ושיעורה ביחס לעלות הבניינים 4.1%-1.1% בהתאמה. שיעור זה תואם את משרע הממצאים ממחקרים דומים בחו"ל, הנע בין 0%-3% עבור תוספת עלות ממוצעת, ובין 1%-11% עבור תוספת עלות לתקן ירוק ברמות הסמכה גבוהות. ההשקעה הנוספת בממוצע לדירה הינה 26,384 ₪ בבניין 304 ו-12,084 ₪ בבניין 1 (כל המחירים הינם ללא מע"מ). מהשוואת הממצאים של שני הבניינים עולה כי ניכרת שונות בגובה ההשקעה בסעיפים שונים בין הבניינים. הדבר משקף את הגמישות הקיימת בתקן 5281 אשר מאפשר לכל יזם לבחור את הרכיבים הירוקים השונים אותם הוא מעוניין ויכול ליישם בבניין, בכדי לצבור מספיק נקודות המאפשרות לו לקבל את התקן. עם זאת, בשני הבניינים נמצא כי ההשקעה בהרכב חתך קירות חיצוניים נמנית מבין ההשקעות המשמעותיות ביותר. ההשקעה ברכיבים המספקים חיסכון אנרגטי (לפי תקן 5281) הינה הגבוהה ביותר ביחס לשאר פרקי התקן. ההשקעה ברכיבים פאסיביים (בידוד קירות חיצוניים, זיגוג מבודד וכו') גבוהה באופן משמעותי מההשקעה במערכות.

פורום 15 הערים הגדולות בישראל קבע ביוני 2013 כי מ-2014 תקן בנייה ירוקה יהפוך לחובה בכל הערים החברות בפורום. התקן הירוק יאומץ בהדרגה כך שבתחילה הוא יחייב בנייה ירוקה ברמה בסיסית בבנייני משרדים מעל 5,000 מ"ר, מבני מגורים מעל 15 קומות ומוסדות ציבור. מ-2015 יחול התקן על כלל הבנייה, כולל על בנייה למגורים מארבע קומות ומעלה. כמו כן, העיריות יוכלו לקבוע מתווה אחר לאימוץ התקן הישראלי לבנייה ירוקה כל עוד אינו מפחית מן הדרישות, וערים שכבר מאמצות את התקן יוכלו להמשיך בכך.

ההחלטה עוררה מחאה מצד גופים שונים, ובראשם התאחדות בוני הארץ (לשעבר התאחדות הקבלנים), המתנגדים לחובת בנייה ירוקה. לטענתם, החלטת הפורום תייקר את עלויות הבנייה ואת מחירי הדיור בישראל בצורה משמעותית ומידית, ואילו החיסכון העתידי לצרכן ולסביבה יהיה זניח. לפי בדיקה שבוצעה על ידי הקבלנים, עלות החלת תקן בנייה ירוקה בסיסי (כוכב 1) תתבטא בתוספת של כ-61 אלף שקל למחירה של דירה חדשה סטנדרטית. לטענתם, רכיב מרכזי בעלויות הוא תקן תרמי חדש, שיוסיף לעלות דירה כ-30 אלף שקל, אולם החיסכון בחשבון החשמל השנתי של משק בית ממוצע והחיסכון הכולל למשק ולציבור כתוצאה מהפחתת הפליטות באנרגיה בגין יישום התקן יסתכמו ב-65 שקל בלבד לדירה בשנה. הקבלנים טוענים גם כי העלות של התחלות הבנייה החדשות לפי תקן הבנייה הירוקה תגיע לכ-25 מיליארד שקל בעשור, כשהתועלת הסביבתית תסתכם בכ-220 מיליון שקל בלבד. לעומת זאת, טוען המשרד להגנת הסביבה שטענות הקבלנים מופרכות, ושכדי לממש את תקן בנייה ירוקה בסיסי, תהיה התוספת לעלויות הבנייה 4%-2% למחיר דירה שתתבטא בהתייקרות של כ-20 אלף שקל בלבד לדירה.

בבדיקות שערכו בעיריית תל אביב, שכבר היום מחייבת בנייה לפי תקן ירוק במבני ציבור, משרדים ומבני מגורים גבוהים לפי תקן שקיים מאז אפריל 2011 בעשרות תב"ע, מצאו שהתקן מוביל לחיסכון של 24 מיליון שקל בחשבונות החשמל וכ-40 אלף מ"ק מים בשנה, כאשר שימוש חוזר במי המזגנים חוסך עוד כ-200 אלף מ"ק מים. לעומת זאת התוספת היא של 2%-1% בלבד למחיר הדירה.

פורום ה-15 מודע לבעיה שכיום כמעט אין שוק למוצרי בנייה ירוקה. התקווה היא שבתוך שנתיים השוק ייבנה, ואותו ייקור לא יתרחש כלל בגלל התחרות בשוק. ברגע שתעלה דרישה ומסה גדולה של קבלנים יזמים וחברות שמייבאות חומרי בניין ייכנסו, השוק יפעל ויתעורר ותהיה צמיחה בשוק זה

(דותן לוי 24.06.13, כלכליסט, http://www.calcalist.co.il/real_estate/articles/0,7340,L-3605912,00.html)



פערי ידע בתחום שינויי אקלים ובניה ירוקה

בתחום המחקר המשמש בסיס לתכנון ומדיניות עירונית אין כמעט מודלים של תרחישים המתייחסים לאתגר של הסתגלות והפחתה של אירועי קיצון. יתרה מזאת, קיים מעט מחקר העוסק בבחינת ההשלכות התכנוניות של שינויי אקלים בתכנון ערים. יש לכן צורך במחקר מדעי בנושאים כמו עליית טמפרטורה, איי חום, וכן תכנון למצבי קיצון כגון סופות ושרפות

בטבלה מספר 6.1 מופיעים פערי המידע לפי נושאים והקדימות להשלמתם. עדיפות 1 ניתנה לתחומים שקיימת עדיפות גבוהה לביצועם, עדיפות 2 ניתנה לתחומים בהם העדיפות בינונית ודרגת עדיפות 3 מצביעה על עדיפות נמוכה יחסית לבצוע.

רמת עדיפות	פער ידע מחקרי	נושא
1	ניתוח ולימוד מקרי בוחן	יישום בנייה ירוקה
1	ניתוח עלות/תועלת בהשוואה לבנייה רגילה	
2	ניתוח רגישות של תפקוד בניין ביחס להתנהגות משתמשים	
1	זיהוי חסמים	
1	ניטור בניינים ירוקים - השוואה לסימולציה	
1	פיתוח הנחיות תכנון לסוגי מבנים נוספים	חיסכון באנרגיה
3	טכנולוגיות תאורה חדישות: הביטים כמותיים ואיכותיים	
1	בחינת השפעה על צריכת אנרגיה בבניין	גגות ירוקים
2	בחינת השפעה על אקלים הרחוב והעיר	
2	אפשרויות יישום	
2	שילוב מערכות כחלק אינטגרלי של מעטפת הבניין	מערכות
3	מערכות בקרה	
1	אסטרטגיות לשיפוץ אנרגטי	שיפוץ אנרגטי של בניינים
2	הערכת פוטנציאל חיסכון במבנים קיימים	
2	נוחות תרמית בתנאים משתנים	התמודדות עם מצבי קיצון
1	תכנון אדריכלי למצבי קיצון	
3	פיתוח מודלים לאקלים אורבני בקנה מידה בנייני	
1	תכנון עירוני למצבי קיצון	

טבלה מספר 6.1 : זיהוי פערי ידע ועדיפות מחקרית בתחום האקלים והבניה הירוקה

