



בונים עתיד

תוכנית לאומית
לחדשנות, חוסן והתייעלות
בסקטור הבנייה

מפגש מס 3 - מודל חישובי ונתונים - מקרה מבחן ישראלי

עומר לביא - המועצה הישראלית לבנייה ירוקה



קרן פאי
סמל חסד
المنشأ للبيئة



המועצה הישראלית
לבנייה ירוקה



אסטרטגיות להשפעה חברתית



JEWISH CLIMATE TRUST
קרן האקלים صندوق المناخ

הצגת מקרה מבחן

שאלות המחקר:

1. מהי טביעת הרגל הפחמנית של מבנה מגורים טיפוסי כיום בישראל? בהיבטים של פחמן גלום, פחמן תפעולי וייצור אנרגיה מתחדשת באתר.
2. עד כמה ניתן להפחית את טביעת הרגל הפחמנית באמצעות צעדי הפחתה של שלושת ההיבטים.

הצגת מקרה מבחן



- דיור להשכרה ארוכת טווח בשטח בנוי של 6,000 מ"ר בעיר מודיעין. 11 קומות.
- דירוג אנרגטי A+ על פי ת"י 5282. דירוג גבוה ביחס לפרקטיקה הממוצעת בישראל.
- חומרי בנייה עיקריים: בטון, ברזל, אלומיניום, זכוכית, גבס (שלד הבניין מיציקת בטון והדירות עם קירות גבס ובידוד מצמר סלעים).
- חומרים נוספים: כבלים, צינורות, תעלות מיזוג, צבע, אסלות.

הצגת מקרה מבחן שלבי עבודה:



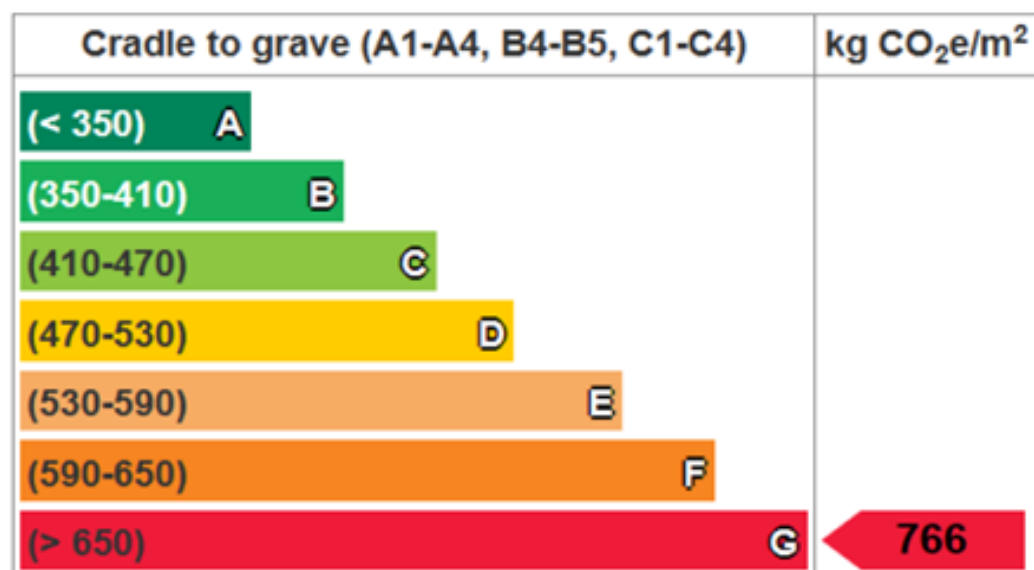
שלב 1 - ניתוח מחזור חיים לפרויקט וזיהוי היקף הפליטות
הגלומות והתפעוליות אל מול פוטנציאל ייצור מאנרגיות
מתחדשות.

שלב 2 - הערכה של היקף הפליטות בשלושה תרחישים
עתידיים, בהתבסס על שיטות קיימות ומתפתחות ומקרי מבחן
מהעולם.

שלב 3 - השוואה בין התרחישים והסקת מסקנות.

פליטות פחמן גלום (Embodied Carbon)

Whole building LCA

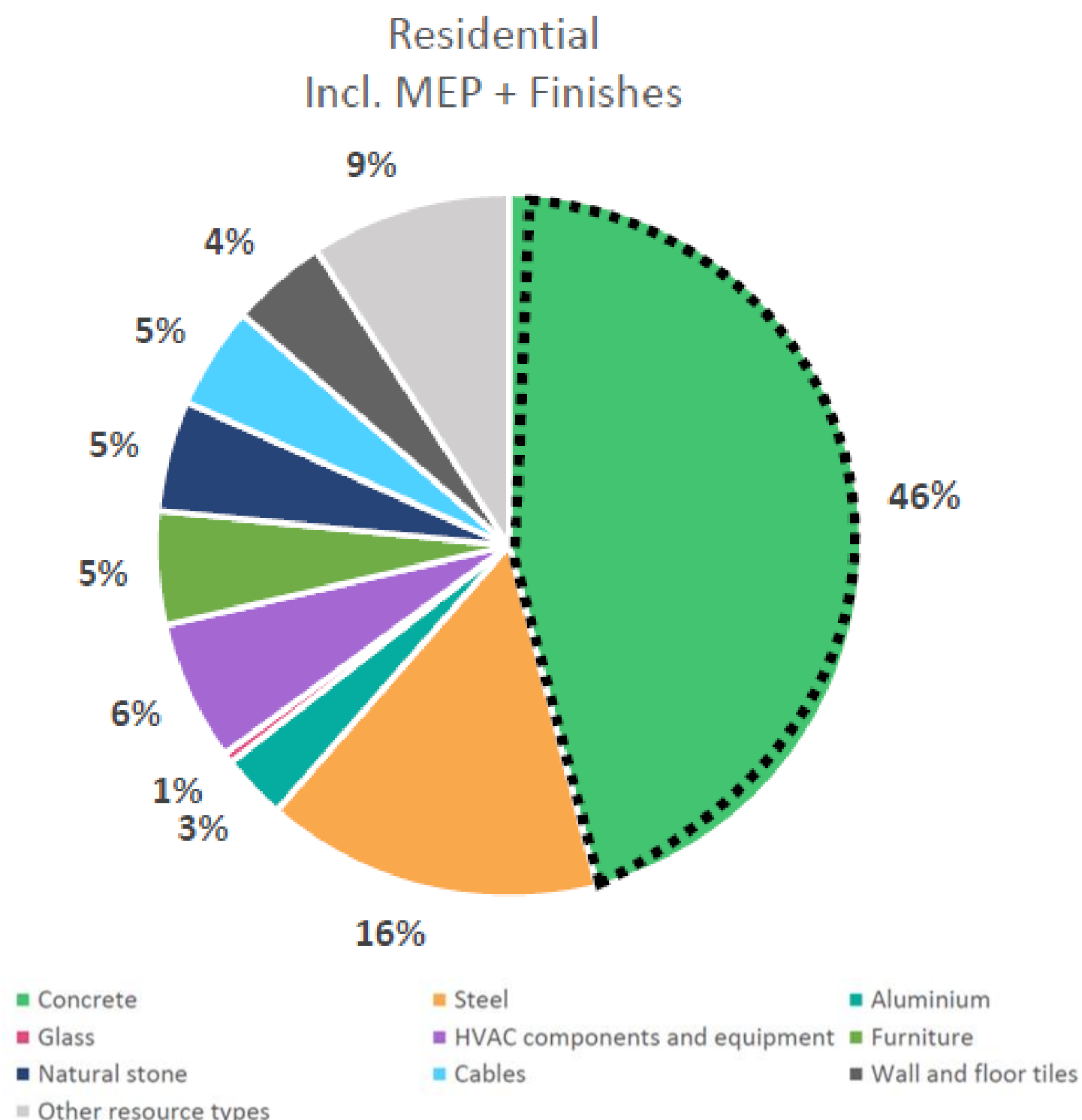


שלב חיים	פליטות מחומרים עיקריים למ"ר (kg CO ₂ e / m ²)						סה"כ	% מסה"כ
	בטון עם 10% אפר פחם ממוחזר	ברזל 97% ממוחזר	אלומיניום 30% ממוחזר	זכוכית ללא תכולה ממוחזרת	מערכות וחומרי גמר			
A1-A3 (חציבה, שינוע למפעל, ייצור)	320.37	116.36	32.04	8.93	138.26		613.70	80%
A4 (שינוע המוצר לאתר הבנייה)	20.28	0.62	0.03	0.07	0.78		21.77	3%
B4-B5 (החלפה, שיפוץ)	0.00	2.49	6.78	0.00	99.65		108.92	14%
C2 (שינוע למתקני קצה)	7.59	6.01	0.08	0.02	0.60		14.29	2%
C3 (עיבוד החומר)	0.00	0.34	0.00	0.00	0.02		0.36	0%
C4 (היפטרות מהחומר)	6.74	0.00	0.00	0.01	0.38		7.14	1%
סה"כ	354.98	125.82	38.94	9.03	239.69		766.18	
% מסה"כ	46%	16%	5%	1%	31%			

פליטות פחמן גלום (Embodied Carbon)

מסקנות עיקריות:

- שלבים A1-A3 (חציבה, שינוע למפעל, ייצור) אחראים ל-80% מפליטות הפחמן הגלומות.
- בטון אחראי ל-46% מכלל הפליטות הגלומות.
- ברזל אחראי ל-16% מכלל הפליטות הגלומות וזאת על אף תכולה של 97% ברזל ממוחזר.
- ציוד ורכיבים של מערכות המיזוג אחראיות ל-6% מפליטות הפחמן הגלומות.
- כבלים ואבן טבעית (לחיפוי המעטפת) אחראים כל אחד ל-5% מפליטות הפחמן הגלומות.



פליטות פחמן תפעוליות:

פליטות פחמן למ"ר/שנה (kgCO ₂ e/m ² /yr)	פליטות פחמן (kgCO ₂ e)	צריכת אנרגיה (kWh/yr)	
18.4	110,255	180,745	קירור
3.3	19,750	32,377	חימום
3.5	21,071	34,543	תאורה
14.8	88,668	145,357	חימום מים
40	239,744	393,022	סה"כ

נתוני פליטות פחמן : על פי מקדם של 610 גרם לקוט"ש נטו (נכון לשנת 2023)



ייצור אנרגיה בבניין

- בפרויקט לא הותקנו אמצעים לייצור אנרגיה ממקורות מתחדשים כלל. לטובת המחקר בוצע ניתוח של יכולת ייצור האנרגיה התאורטית של הבניין.
- נלקחו בחשבון מחצית משטחי הגג ומשטחי החזית הדרומית.
- קיים פוטנציאל ייצור של כ-169 אלף קילוואט שעה בשנה, שמשמעותו קיצוז של כ-35% מהפליטות התפעוליות (כלל צריכת האנרגיה בבניין).

ייצור חשמל מוערך בשנה (kWh/year)	גודל מערכת (kw)	סה"כ שטח (מ"ר)	
61,600	39	275	PV על הגג
107,500	119	850	BIPV בחזית הדרומית
169,100			סה"כ

סיכום פליטות מצב קיים

מציב קיים (תאורטי)	מציב קיים (בפועל)	
766	766	פליטות פחמן גלום (ק"ג למ"ר)
40	40	פליטות פחמן תפעוליות (ק"ג למ"ר/שנה)
2,400	2,400	פליטות פחמן תפעוליות במשך חיי הבניין (60 שנה, ק"ג למ"ר)
169,100	-	ייצור אנרגיה (קוט"ש לשנה)
17.2	-	פליטות נחסכות מייצור אנרגיה (ק"ג למ"ר/שנה)
1,032		פליטות נחסכות במשך חיי הבניין (60 שנה, ק"ג למ"ר)
2,134	3,166	סה"כ פליטות במשך חיי הבניין (60 שנה, ק"ג למ"ר)
		תוצאה

פירוט תרחישים

- תרחיש א' – המשך עסקים כרגיל:
 - הפחתה של 22% בפליטות פחמן גלום (600 ק"ג/מ"ר פליטות)
 - הפחתה של 20% בפליטות תפעוליות (32 ק"ג/מ"ר/שנה פליטות)
 - עלייה של 50% ביכולת ייצור האנרגיה באתר.
- תרחיש ב' - 'פעילות התייעלות ושיפור מתונה':
 - הפחתה של 48% בפליטות פחמן גלום (400 ק"ג למ"ר)
 - הפחתה של 40% בפליטות תפעוליות (24 ק"ג/מ"ר/שנה פליטות)
 - עלייה של 100% ביכולת ייצור האנרגיה באתר.
- תרחיש ג' - 'פעילות התייעלות ושיפור משמעותיות':
 - הפחתה של 74% בפליטות פחמן גלום (200 ק"ג למ"ר)
 - הפחתה של 60% בפליטות תפעוליות (16 ק"ג/מ"ר/שנה פליטות)
 - עלייה של 150% ביכולת ייצור האנרגיה באתר.



Embodied Carbon
Manufacture, transport and
installation of construction materials

<https://www.architects.org/news/the-new-net-zero>

דרכים להפחתה פליטות פחמן גלום (Embodied Carbon):

- שימוש בחומרים דלי-פחמן שאינם רווחים כיום כגון עץ מהונדס.
- שיפור מוצרים קיימים כגון בטון מופחת פחמן.
- פרקטיקות בנייה חדשניות כגון אופטימיזציה בחומרים, בנייה מתועשת, בנייה מודולרית, בנייה קלה, בנייה מעץ, הדפסה בתלת-ממד.
- שימוש בחומרי בנייה שניתנים במלואם לשימוש חוזר או למחזור כגון פלדה.
- ניצול חומרי בנייה שנותרים ללא שימוש.
- שימוש באנרגיה מתחדשת בתהליכי ייצור החומרים.

דרכים להפחתה

פליטות פחמן תפעוליות:

- תכנון ובנייה פאסיביים ומודעי אקלים.
- התייעלות של המערכות.
- סינרגיה בין מערכות: כדוגמת שימוש בחום שיורי ממערכת המיזוג לטובת חימום מים.
- מערכות בקרה חכמות לניהול צריכת אנרגיה ביתית.
- העלאת מודעות ושינוי התנהגות הצרכנים.
- התייעלות של משק האנרגיה הארצי ושילוב הולך וגדל של אנרגיות מתחדשות.



דרכים להפחתה

ייצור אנרגיה בבניין:

- עלייה ביעילות מערכות לייצור אנרגיה סולארית. במהלך השנים עלתה יכולת הנצילות של המערכות מ-6% לכ-23% והצפי הוא הגעה לנצילות של למעלה מ-30% בעתיד.
- הרחבת השטח לייצור אנרגיה בבניין לכל חלקי המעטפת כולל קירות מסך. הטכנולוגיות קיימות כבר כיום אך יעילותן עוד נמוכה וההחזר על ההשקעה אינו אטרקטיבי.
- המשך פיתוח הטכנולוגיה לאגירת אנרגיה. סביר כי בעתיד יהיה שיפור משמעותי במערכות המבוססות על סוללות ו/או הטמעה של טכנולוגיות חדשות.



<https://www.architects.org/news/the-new-net-zero>

סיכום פוטנציאל הפחתת הפליטות בבניין

פליטות פחמן גלום (ק"ג למ"ר)	מצב קיים (בפועל)	מצב קיים (תאורטי)	תרחיש א'	תרחיש ב'	תרחיש ג'
766	766	766	600	400	200
40	40	40	32	24	16
2,400	2,400	2,400	1,920	1,440	960
-	-	169,100	253,650	338,200	422,750
-	-	17.2	16.9	22.5	28.2
		1,032	1,014	1,350	1,692
סה"כ פליטות במשך חיי הבניין (60 שנה, ק"ג למ"ר)	3,166	2,134	1,506	490	-532
תוצאה			בניין מופחת פליטות	בניין כמעט מאופס פחמן	בניין חיובי פחמנית