

הערכת מחזור חיים של מבנים WBLCA

תמונת מצב של הניסיון בעולם
ומשמעויות לישראל

מרץ | 2024



מטרות ומבנה העבודה

הצגת 'תמונת מצב' עדכנית של הניסיון בעולם בהטמעת גישת ה-WBLCA והשימוש בה וגזירת משמעויות עבור ישראל

- הצגה והסבר של המתודולוגיה
- הצגת התקינה הבינ"ל
- בחינת המדיניות הרגולטיבית במדינות בולטות
- בחינת אופן ההטמעה בכלי הערכה לבנייה ירוקה
- סקירת תוכנות לביצוע WBLCA
- בחינה ראשונית של הפרקטיקה בישראל
- מיפוי סוגיות ואתגרים שעולים בשיח המקצועי
- אמצעי מדיניות לקידום בישראל

צוות המחקר

מחקר וכתביבה

אביאל ילינק

צוות היגוי

רן אברהם, מנהל אגף בנייה ירוקה תקינה ותיווי, המשרד להגנת הסביבה

יקיר למדן, מנהל תחום בנייה ירוקה, המשרד להגנת הסביבה

צפריר גדרון, מנהל תחום תקינה ותיווי, המשרד להגנת הסביבה

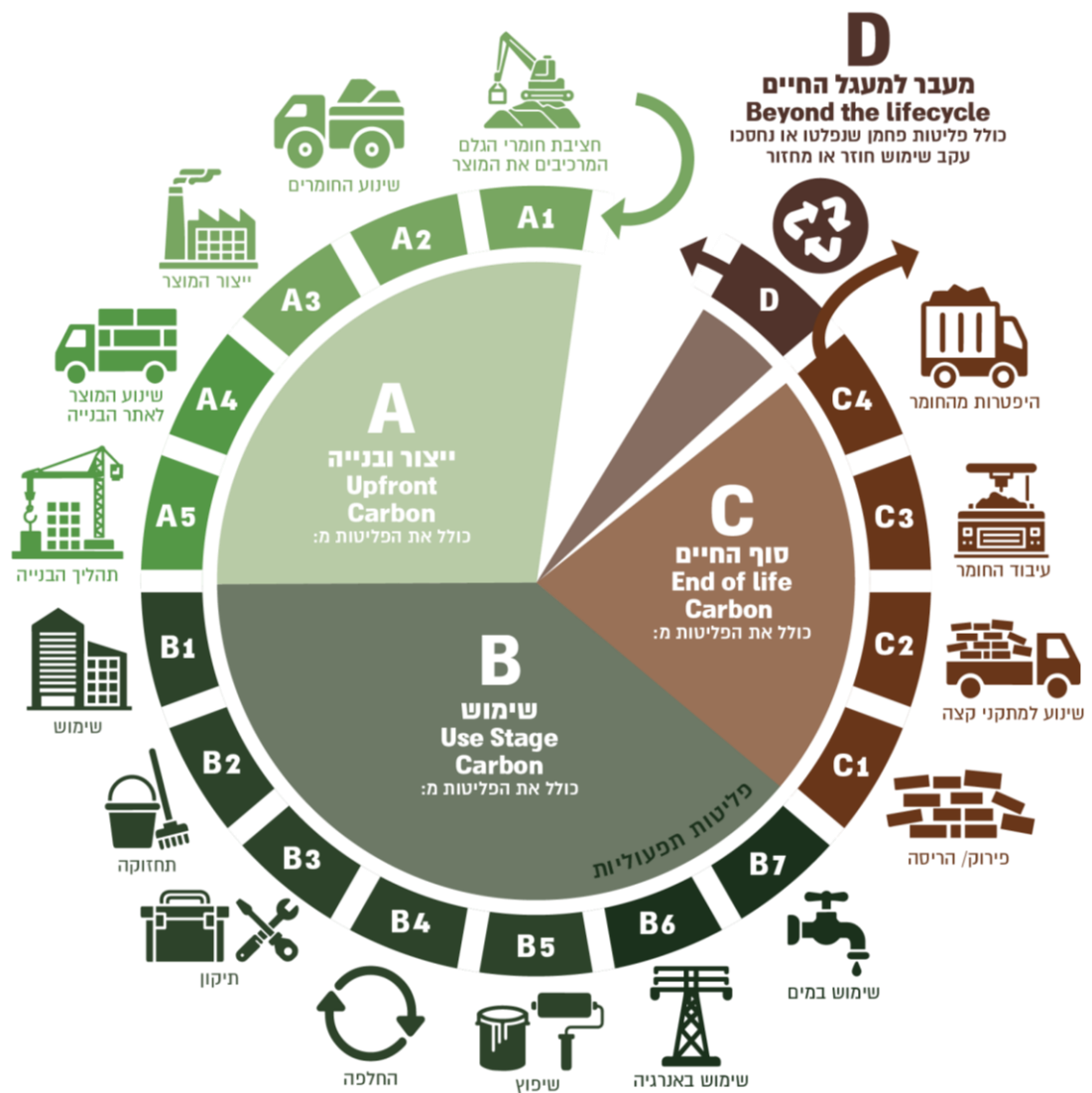
עומר לביא, מחלקת בנייה ירוקה, המועצה הישראלית לבנייה ירוקה

איריס גבעולי, מחלקת בנייה ירוקה, המועצה הישראלית לבנייה ירוקה

נחי ברוט, שותף ומנכ"ל, KVS

דן שאיוב, מנהל פרויקטי קיימות, המרכז להתייעלות במשאבים

שלבי מחזור החיים של מבנים



שלבים A1-A3 תהליך ייצור החומרים והמוצרים: מתייחס לפעולות החציבה והכרייה, השינוע ותהליכי ייצור החומרים והמוצרים.

שלבים A4-A5 תהליך הבנייה: מתייחס לשינוע החומרים והמוצרים לאתר הבנייה ולכל שלבי הבנייה עצמה.

שלב B השימוש/התפעול: מתייחס לפעולות התפעול, התחזוקה והשיפוץ וכן לצריכת האנרגיה והמים לאורך שנות השימוש בבניין.

שלב C סוף החיים: מתייחס לפעולות הריסה/פירוק, שינוע החומרים או פסולת הבניין, עיבוד החומרים או פסולת הבניין וסילוקם הסופי.

שלב D: מתייחס למגוון ההשפעות משימוש חוזר, מחזור ו/או שחזור חומרים, השבת אנרגיה או מים וכד'.

קטגוריות לכימות ההשפעה הסביבתית



פוטנציאל התחממות
גלובלית- GWP



פוטנציאל החמצון של
משאבי קרקע ומים



פוטנציאל הצטברות חומרים
אורגניים במקווי מים



פוטנציאל
היווצרות ערפיח



דלדול משאבים
שאינם מתחדשים



פוטנציאל דלדול
שכבת האוזון

תקנים בינלאומיים בולטים

ISO 14040: קובע את העקרונות והמסגרת להערכת מחזור החיים (LCA) ומגדיר את שלבי הניתוח

ISO 14044: משלים את תקן ISO 14040 באמצעות הגדרת דרישות וקווים מנחים לביצוע שלבי הניתוח שהוגדרו בו

ISO 14025: קובע עקרונות ומפרט תהליכים לצורך פיתוח תוכניות להצהרות סביבתיות EPD

ISO 21930: מגדיר עקרונות ודרישות להכנת הצהרות סביבתיות עבור חומרים, מוצרים ושירותים בענף הבנייה

EN 15978: מגדיר מתודולוגיה להערכת הביצועים הסביבתיים של מבנה ומספק קווים מנחים לדיווח ולתקשור של תוצאת ההערכה. מהווה, הלכה למעשה, מתודולוגיית WBLCA מלאה



שלבי ההערכה

01



הגדרת מטרת ותחום הניתוח

- הגדרת הסיבות לביצוע הניתוח
- הגדרת קהל היעד (מזמין הפרויקט, גורמים רגולטוריים, מנגנוני הסמכה)
- הגדרת רכיבי המבנה שיכללו בניתוח
- הגדרת שלבי מחזור החיים לניתוח

02



ניתוח מצאי

- איסוף מכלול המידע הנדרש לביצוע ניתוח ההשפעות הסביבתיות של המבנה
- בכלל זה מצאי החומרים וכל המידע הסביבתי שניתן להשיג לגביהם
- שימוש בניתוחי LCA ו-EPD

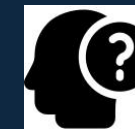
03



הערכת ההשפעה

- איסוף ועיבוד של המידע הגולמי
- חישוב כמויות החומרים
- התאמה של החומרים בכתב הכמויות לחומרים במאגר המידע של כלי התוכנה
- לבסוף - כימות ההשפעות הסביבתיות

04

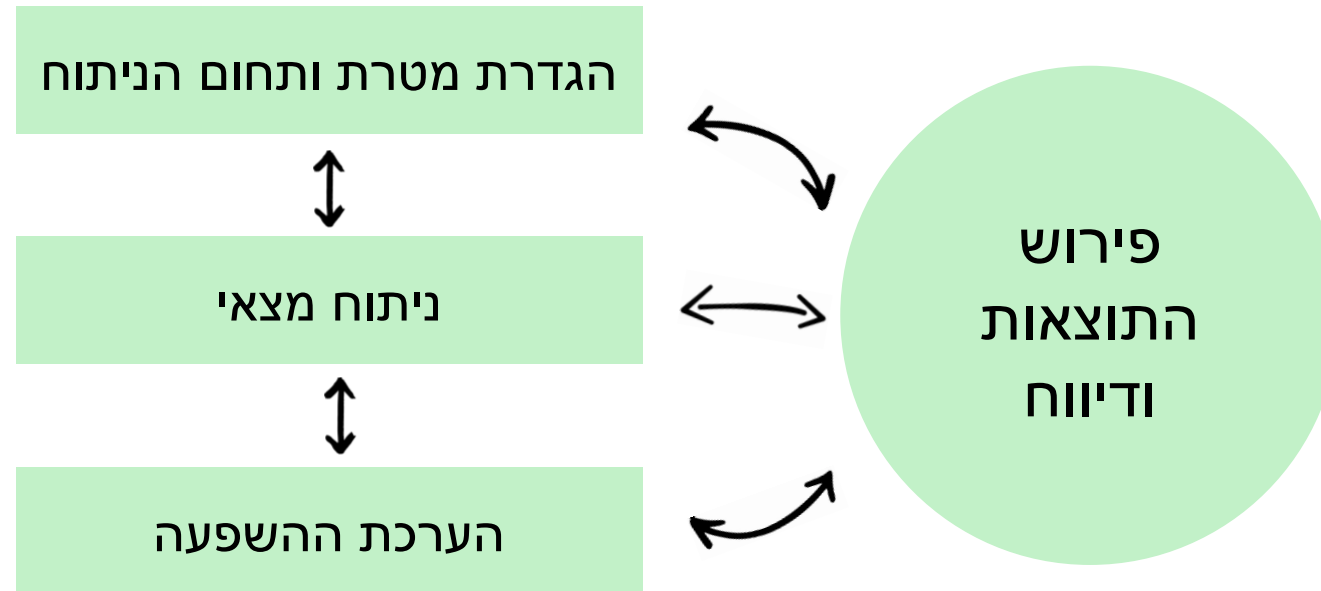


פירוש התוצאות ודיווח

- תהליך פירוש התוצאות וגיבוש התוצר הסופי שישמש גם לדיווח
- התוצר יכולול הסבר של התהליך, מסקנות, התייחסות למגבלות הניתוח וגיבוש המלצות

שלבי הניתוח על פי EN 15978

- כל שינוי תכנוני מצריך ביצוע חוזר של הערכת מחזור חיים עבור החלופה החדשה.
- אף על פי שהמתודולוגיה בנויה משלבים מובנים בתהליך טורי, היישום שלה בפועל יתבצע תוך בחינה חוזרת ונשנית של חלופות משתנות.



אמצעי מדיניות מרכזיים במדינות מובילות



תמריצים: תוספת זכויות בנייה, רכש ממשלתי 'ירוק'



פרסום מסמכי הנחיות ומדריכים



גיבוש מתודולוגיה מקומית לביצוע הערכת מחזור חיים של מבנים



יצירת מקור מידע לאומי רשמי אודות ההשפעה הסביבתית של חומרי בנייה בהתאמה לתעשייה המקומית

מאגר מידע אודות ההשפעות הסביבתיות של חומרים, מוצרים ותהליכי בנייה
גיבוש ערכים גנריים/ בנצ'מרקים עבור חומרים בולטים בתעשייה המקומית



החלת חובת עמידה ביעדים סביבתיים:

דרישות המגבילות את היקף פליטות גזי החממה המקסימלי של הפרויקט
השוואה של המבנה המתוכנן למבנה ייחוס או לנתוני ייחוס גנריים והוכחת הפחתה



החלת חובת ביצוע WBLCA בפרויקטי בנייה באמצעות עדכון קוד הבנייה הלאומי/ חקיקה

המדינות שנבחנו במסגרת המחקר: קנדה, צרפת, נורבגיה, שוודיה, בריטניה, הולנד, דנמרק, ניו זילנד



התייחסות בכלי מדידה לבנייה ירוקה

נסקרו ארבעה כלי מדידה בולטים:



- ההתייחסות לנושא נכללת לרוב בפרקים שעוסקים בחומרים.
- ההתייחסות נדרשת לרוב כבר בשלב התכנון המוקדם ואת הניתוח יש להשלים לפני קבלת היתר הבנייה.
- הדרישות בכלי המדידה אינן מהוות תנאי סף אך הן מעניקות ניקוד שנע בין 4-8 נקודות.
- הניקוד מוענק על הוכחת הפחתה של ההשפעות הסביבתיות ביחס למבנה ייחוס או לערכי ייחוס. היקף ההפחתה הנדרש נע בין 10%-40%.
- שלבי מחזור החיים אליהם יש להתייחס משתנים בין כלי המדידה אך כולם מחייבים התייחסות לשלבי הייצור A1-A3.

התייחסות בכלי מדידה לבנייה ירוקה

שלבי מחזור חיים	ניקוד מקס'	שם הדרישה	פרק	כלי מדידה
<ul style="list-style-type: none"> לכל הפחות יש לכלול את הבאים: ייצור A1-A3 שינוע לאתר הבנייה A4 תפעול: אחד משלבי B1-B5 סוף החיים: אחד משלבי C1-C4 	4-5 נקודות	Building Life-Cycle Impact Reduction	Materials & Resources	LEED BD+C
<ul style="list-style-type: none"> ייצור ובנייה A1-A5 שימוש ותחזוקה B1-B2 שיפוץ/חידוש B5 סוף החיים C1-C4 	6 נקודות	Env. impacts from construction products - Building life cycle assessment	Materials	BREEAM UK
<ul style="list-style-type: none"> ייצור A1-A3 תחלופה B4 פחמן אופרטיבי B6 מחזור וסילוק פסולת C3-C4 	8 נקודות	Building life cycle assessment	Env. Quality	DGNB International
<ul style="list-style-type: none"> A1-A5 – Upfront Carbon Emissions A-D שלבים - Life Cycle Impacts 	<ul style="list-style-type: none"> 6 נקודות 2 נקודות 	<ul style="list-style-type: none"> Upfront Carbon Emissions Life Cycle Impacts 	Positive	Green Star Buildings

התייחסות בכלי מדידה לבנייה ירוקה מתודולוגיה ומסגרת פעולה Level(s) של האיחוד האירופי







- מסגרת וולונטארית המאפשרת הערכה, דיווח ושיתוף הביצועים הסביבתיים של המבנה בכל מחזור חייו.
- מיועדת להערכת מבני מגורים ומבני משרדים.
- ההערכה יכולה להתבצע בשלוש נקודות זמן: תכנון רעיוני, שלב הבנייה ושלב התפעול.
- בניגוד לכלי מדידה היא לא מגדירה אמות מידה ואינה מעניקה ניקוד.
- שיטת ההערכה מבוססת על 6 נושאים אסטרטגיים ועל 16 אינדיקטורים בששת הנושאים הללו.
- מהווה רכיב מרכזי ביוזמה של האיחוד לפתח כלכלה מעגלית תוך התייחסות להפחתת פליטות גזי חממה בכל מחזור החיים של המבנים.
- נועדה לסייע ביצירת סטנדרטיזציה של אופן הערכת ההשפעה הסביבתית של מבנים בכלל היבשת באמצעות כלי ציבורי שאינו מסחרי.



התייחסות בכלי מדידה לבנייה ירוקה

מתודולוגיה ומסגרת פעולה Level(s) של האיחוד האירופי

Level(s) Key indicators

	1 Green house gas emissions along a building's life cycle	1.1 Use stage energy performance	kilowatt hours per square metre per year [kWh/m ² /yr]	1.2 Life cycle Global Warming Potential	kgCO ₂ equivalents per square metre per year				
	2 Resource efficient + circular material	2.1 Bill of quantities	Unit quantities mass + years	2.2 Construction + demolition waste + materials	kg of waste + materials per m ²	2.3 Design for adaptability use	Adaptability score	2.4 Design for deconstruction, reuse + recycling	Deconstruction score
	3 Efficient use of water resources	3.1 Use stage water consumption	m ³ /yr water per occupant						
	4 Healthy + comfortable spaces	4.1 Indoor air quality	Parameters for ventilation, CO ₂ + humidity <small>Target list of pollutants: TVOC, formaldehyde, CMR, VOC, LCI ratio, mold, benzene, particulates, radon</small>	4.2 Time outside of thermal comfort range	% of the time out of range during the heating and cooling seasons	4.3 Lighting + visual comfort use	Level 1 check list	4.4 Acoustics + protection against noise	Level 1 checklist
	5 Adaptation + Resilience	5.1 Protection of occupier health + thermal comfort	Projected % time out of range in the years 2030 and 2050 [see also 4.2]	5.2 Increased risk of extreme weather events	Level 1 checklist [under development]	5.3 Increased risk of flood events	Level 1 checklist [under development]		
	6 Optimised life cycle cost and value	6.1 Life cycle costs	Euro per square metre [€/m ² /yr]	6.2 Value creation + risk exposure Indoor air quality	Level 1 checklist				

כלי תוכנה לביצוע הערכת מחזור חיים של מבנים

- ישנם מספר כלי תוכנה בהם ניתן לעשות שימוש כדי לבצע הערכת מחזור חיים של מבנים.
- הכלים האיצי את המהירות שבה ניתן לבצע את הניתוחים והקלו מאוד על היכולת של צוותי תכנון ובנייה לעמוד בדרישות רגולטוריות בנושא.
- נכון להיום, ניתוח WBLCA מלא (שלבים A-D) ניתן לבצע רק באמצעות מספר כלים מצומצם, אך כלים חדשים יוצאים לשוק בתדירות גבוהה.



כלי תוכנה לביצוע הערכת מחזור חיים של מבנים

- עיקרון הפעולה מבוסס על עיבוד נתוני התכנון וכתב הכמויות של חומרי הבנייה, כדי להעריך את סך החומרים בהם יעשה שימוש, ואת ההשפעה הסביבתית הכוללת מכלל החומרים במהלך מחזור החיים.
- מידע אודות ההשפעות הסביבתיות של חומרים ומוצרים, מקורו במאגרי מידע אליהם מקושרות התוכנות, ומבוסס על הנחות שונות המוטמעות במודל החישובי של כל תוכנה.

מודל התכנון



EPD + LCA

ENVIRONMENTAL IMPACTS	
Declared Product: Mix S63C650S1 - Vernon Plant Description: 1 4000PSI PU PL Compressive strength: 4000 PSI at 28 days	
Declared Unit: 1 m ³ of concrete	
Global Warming Potential (kg CO ₂ -eq)	247
Ozone Depletion Potential (kg CFC-11-eq)	8.67E-6
Acidification Potential (kg SO ₂ -eq)	1.12
Eutrophication Potential (kg N-eq)	0.31
Photochemical Ozone Creation Potential (kg O ₃ -eq)	20.7
Abiotic Depletion, non-fossil (kg Sb-eq)	2.64E-6
Abiotic Depletion, fossil (kg U)	397
Total Waste Disposed (kg)	1.85
Consumption of freshwater (m ³)	3.06
Product Components: natural aggregate (ASTM C33), slag cement (ASTM C95), Portland cement (ASTM C150), admixture (ASTM C494), batch water (ASTM C1602)	

מלאי חומרים



תוצאות



כלי תוכנה לביצוע הערכת מחזור חיים של מבנים

- כל כלי תוכנה עושה שימוש בטכניקות מידול, מאגרי מידע והנחות בסיס משלו. חלקם מותאמים למקומות פרטניים וחלקם יכול לשמש לביצוע ניתוחים במקומות שונים בעולם.
- חשוב להבין את המאפיינים של כל אחד מהכלים, השוני ביניהם והמגבלות של כל אחד. כמו כן חשוב להבין מהם מאגרי המידע שעליהם הם מתבססים.
- מחקרים שבוצעו בשנים האחרונות ובחנו מבנים זהים באמצעות כלי תוכנה שונים, גילו כי קיימים פערים משמעותיים בתוצאות.

זמינות	תוכנה	תאימות גאוגרפית	שלבי מחזור חיים	כלי
ללא עלות	חבילת תוכנה עצמאית	ארה"ב וקנדה	C1 ,B6 ,B4 ,A1-A5 D ,C2, C4	Athena Impact Estimator
בתשלום	רכיב תוכנה ל- Revit	ארה"ב	,B2-B5 ,A1-A5 D ,C2-C4 ,B6	Tally
בתשלום	התאמה לתוכנות שונות כגון Revit ו- Tekla	כל העולם	A-D	OneClick

סוגיות בהערכת מחזור חיים של מבנים

- המתודולוגיה להערכת מחזור חיים נמצאת בשלבי צמיחה והתפתחות ועוד לא הגיע לרמת 'בשלות' מלאה
- המתודולוגיה נתונה לפרשנות ולהתאמות מקומיות דבר היוצר קושי לבצע השוואה בין תוצאות של ניתוחים שונים

להלן כמה מהסוגיות שעולות בשיח המקצועי:



- שונות בין מאגרי מידע
- שוני בהגדרת משך חיי השירות של המבנה (Reference Study Period)
- שוני בהגדרת גבולות המערכת (System boundary)
- שוני במרכיבי המבנה הנכללים בניתוח (Building Elements)
- שוני בשיטה להשוואת הביצועים הסביבתיים
- שוני באופן ההגדרה של השטח לניתוח
- פערים בתוצאות של כלי תוכנה בניתוח של מבנים זהים
- קשיים מתודולוגיים בניתוח שלב D

שיטות למדידת הביצועים הסביבתיים

הוכחת העמידה של המבנה מושא ההערכה ביעדים סביבתיים מתבצעת בדרך כלל באמצעות השוואה לנתוני ייחוס. קיימות שלוש שיטות עיקריות בהן מקובל לבצע את ההשוואה:

דוגמאות	הסבר	שיטה
LEED, DGNB, Green Star	השוואת הביצועים הסביבתיים של המבנה מושא ההערכה למבנה ייחוס תאורטי בעל מאפיינים אדריכליים זהים בנוגע לשטח, גודל, צורה, הפניות וכיו"ב המגובש באופן עצמאי על ידי צוות התכנון	השוואה לנתוני מבנה ייחוס המגובש באופן פנימי על ידי צוות התכנון
BREEAM	השוואת הביצועים הסביבתיים של המבנה מושא ההערכה לערכי ייחוס תאורטיים/גנריים שגובשו על ידי צד ג' רלוונטי כגון מערך הסמכה של כלי מדידה	השוואה לנתוני מבנה ייחוס שגובשו על ידי גורם חיצוני
צרפת, הולנד, לונדון	השוואת הביצועים הסביבתיים של המבנה מושא ההערכה לערכים מקסימליים שנקבעו על ידי רגולציה רלוונטית	השוואה לערכי ייחוס מקסימליים

הפרקטיקה בישראל

- הערכת מחזור חיים למבנים בישראל היא פרקטיקה חדשה שיישומה החל רק בשנים האחרונות.
- היא מתבצעת משתי סיבות עיקריות:
 - ✓ במסגרת תהליכי התעדה של מבנים לדרישות ה-LEED.
 - ✓ מתוך עניין של חברות להבין את ההשפעה הסביבתית של פרויקט ולפעול לצמצומה.

צמצום ההשפעה הסביבתית



- הניתוח מתבצע באמצעות תוכנות שונות היות ולא תמיד נבחרים כל שלבי החיים
- נערך לרוב יותר מפעם אחת במהלך התכנון
- קיים חופש יחסי להתאים את מסגרת הניתוח למטרות משתנות
- לרוב קיימת השפעה על בחירת חומרי הבנייה ובחירת חלופת התכנון

עמידה בדרישות ה-LEED



- הניתוח מתבצע לרוב באמצעות תוכנת One Click
- נערך בדרך כלל פעם אחת בשלב הסופי של התכנון או לאחר תחילת הבנייה
- עוקב אחר המתודולוגיה והנחיות ה-LEED
- אינו מהווה לרוב שיקול בבחינת חלופות התכנון משום שקל יחסית לקבל את הניקוד

אמצעי מדיניות לבחינה בישראל

בהתבסס על הניסיון בעולם וניצני הפרקטיקה בישראל מוצע לבחון קידומם של כמה מהלכים:

- שילוב דרישה בתקן הישראלי לבנייה ירוקה (ת"י 5281)
- בחינת החלת חובה הדרגתית לדיווח ולהפחתת פליטות
- גיבוש מתודולוגיה והנחיות להערכת מחזור חיים של מבנים בישראל
- בניית מאגר מידע לאומי לחומרי ומוצרי בנייה
- בחינת התאמתם של כלי תוכנה בינ"ל ובחינת הצורך והאפשרות לפתח כלי מתאים לישראל
- פיתוח חומרי עזר והסברה עבור הקהל המקצועי

תובנות אחרונות

- מוצע לראות במתודולוגיה להערכת מחזור חיים של מבנה כשיטת ניתוח סדורה המאפשרת לחשוף, להבין ולפעול לצמצום ההשפעה הסביבתית של המבנה בשלבים שונים של מחזור חייו ולזהות 'נקודות חמות'.
- המתודולוגיה מהווה גם אמצעי יעיל להשוות בין ההשפעות הסביבתיות של חלופות תכנון שונות.
- יחד עם זאת, היא אינה מהווה כרגע תחליף לרגולציה הסביבתית הקיימת או לבחינה של המבנה בזוויות סביבתיות מגוונות, כפי שנעשה על ידי כלי מדידה לבנייה ירוקה.
- תהליך ההערכה כולל שימוש בכמות גדולה של נתונים ממקורות שונים, ובמסגרתו מונחות שלל הנחות לגבי מצבים או שיקולים עתידיים המשפיעות על תוצאות הניתוח.
- ניתן להניח כי הפופולריות הגוברת של המתודולוגיה תביא להמשך ההתפתחות שלה בעתיד, להגעתה לרמת בשלות גבוהה יותר ולצמצום אי ודאויות הקשורות לתוצאות.

