

סיכום מפגש שולחנות עגולים מחקר לקידום כלכלה מעגלית בשוק הבנייה בישראל
המשרד להגנת הסביבה,
המועצה הישראלית לבנייה ירוקה
אדר' איריס גבעולי
ינואר, 2026

א. מטרת האירוע

1. גיבוש תמונת מצב עדכנית של שוק הבנייה הישראלי בהקשר של כלכלה מעגלית - ניתוח מצב קיים של מגמות, רגולציות, תהליכי תכנון וביצוע, ומידת האימוץ של עקרונות מעגליות בשלבי מחזור החיים של מבנים וחומרי בנייה. זיהוי מקרי מבחן וכשלנות ובחינת הסיבות שהובילו להצלחתם או לכישלונם.
2. זיהוי פערים מערכתיים ותהליכיים - איתור חסמים הגורמים לבזבוז משאבים, להיווצרות עודפי פסולת ולצריכה מוגברת של חומרי גלם בתעשיית הבנייה
3. מיפוי בעלי עניין וערוצי פעולה - בחינת תפקידיהם של שחקנים שונים בשוק בזיהוי מנועי שינוי וקידום יישום פתרונות מעגליים בענף הבנייה.
4. פיתוח הצעה לפיילוט יישומי - גיבוש רעיון לפיילוט שיבחן יישום עקרונות כלכלה מעגלית בענף הבנייה הישראלי, במטרה לייצר למידה, מדדים והמלצות למדיניות עתידית.

ב. מבנה היום

1. הרצאות רקע ומבוא:

- **מעגליות בענף הבניה: כלים ומדיניות בישראל (הסיבה והתכלית לקידום המעבר לכלכלה מעגלית בשוק הבניה).**
צפירי גדרון, מנהל תחום תקינה ותיווי במשרד להגנת הסביבה.
- **עקרונות ומושגים ביישום הכלכלה המעגלית בענף הבניה.**
אדר' איריס גבעולי, המועצה הישראלית לבנייה ירוקה.
- **תמונת מצב של המחקר האקדמי בתחום הכלכלה המעגלית בענף הבניה.**
ד"ר מתן מאייר, בבית הספר לאדריכלות ולעיצוב (IE University).
- **כלכלה מעגלית הלכה למעשה - הדגמת יישום עקרונות הכלכלה בפרויקטים בשטח.**
אדר' דן זוהר, משרד Haugen/Zohar Arkitekter , אוסלו
- **קידום כלכלה מעגלית בענף הבניה באירופה: סקירת כלי מדידה ומסגרות רגולטוריות**
אביאל ילינק, המועצה הישראלית לבנייה ירוקה

2. שולחנות עגולים

ג. נושאי השולחנות

חלוקת השולחנות לנושאים מתייחסת למרכיבים הנחוצים למעבר לכלכלה מעגלית בבנייה - מהמידע והתיעוד, דרך השווקים והמודלים העסקיים, ועד לאופן התכנון והטכנולוגיות המאפשרות יישום בפועל. כל שולחן מתמקד בזווית אחרת של אותה מערכת, כדי לאפשר דיון ממוקד ושלם:

1. אמצעי תיעוד וניהול מידע (אדר' רן אברהם, המשרד להגנת הסביבה, מנהל אגף בנייה ירוקה, תקינה ותיווי)
דיון בכלים, סטנדרטים ותהליכים לתיעוד חומרים ומבנים לאורך מחזור החיים (כגון דרכונים חומריים ומאגרי מידע), שיאפשרו קבלת החלטות מעגלית מבוססת נתונים.
2. שווקים לשיתוף מידע (צפריר גדרון, המשרד להגנת הסביבה, מנהל תחום תקינה ותיווי)
בחינה של פלטפורמות, מסגרות שיתוף ורגולציה שיאפשרו זרימת מידע בין בעלי העניין, לטובת שימוש חוזר במרכיבים, התאמת היצע וביקוש ויצירת שרשראות ערך חדשות.
3. מודלים עסקיים מבוססי עיצוב (יאיר אנגל - מעצב תעשייתי ויועץ מומחה לאסטרטגיה וחדשנות מקיימת)
חיפוש מודלים כלכליים ותמריצים המתאימים לכלכלה מעגלית בבנייה - כולל אחריות יצרן מורחבת, ושירותים שיתופיים
4. גישות תכנון (אדר' איריס גבעולי, המועצה הישראלית לבנייה ירוקה)
דיון בדרכים לשילוב עקרונות מעגליות כבר בשלבי התכנון: תכנון לפירוק ולהרכבה מחדש, מודולריות, גמישות שימושים והארכת חיי מבנים ומערכות.
5. טכנולוגיה (נגה הרץ, המועצה הישראלית לבנייה ירוקה)
בחינת פתרונות טכנולוגיים התומכים בכלכלה מעגלית - דיגיטציה, טכנולוגיות מיון ופירוק, טכנולוגיות חומריות המאפשרות עמידות, שימוש חוזר ומיחזור איכותי

ד. שאלות הדיון

שאלה 1 - תמונת מצב

איך הייתם מתארים את תמונת המצב הנוכחית של שוק הבנייה הישראלי בהיבטי כלכלה מעגלית?

אילו מגמות ורגולציות קיימות היום התומכות או מעכבות מעגליות?
עד כמה עקרונות מעגליים מוטמעים בפועל בשלבי התכנון, הביצוע, התחזוקה והפירוק?

שאלה 2 - פערים וחסמים

אילו פערים ותהליכיים מערכתיים אתם מזהים שמובילים לבזבז משאבים, ליצירת עודפי פסולת ולצריכה מוגברת של חומרי גלם?

באילו שלבים בשרשרת הערך (תכנון, ביצוע, אספקת חומרים, תפעול, פירוק) נוצר עיקר הבזבז?

מה מקורות החסם - רגולטוריים, מקצועיים, טכנולוגיים, תרבותיים או כלכליים?

שאלה 3 - פתרונות וערך

אילו פתרונות מעשיים יכולים לתת מענה לפערים שהועלו?
אילו שינויים בתהליכים, בכלים, ברגולציה או בשיתופי הפעולה נדרשים?
מה יהיה הערך הסביבתי, הכלכלי והחברתי של כל פתרון מוצע?

שאלה 4 - עיצוב פיילוט

כיצד יכולה להיראות הצעת פיילוט שתבחן את אחד הפתרונות שהוצעו?
מה החסם המרכזי שהפיילוט יתמודד איתו ומהו המנוף שיכול לאפשר התגברותו?
מי הם בעלי העניין המעורבים (מתכננים, יועצים, קבלנים, ספקים, רשות מקומית/משרדי ממשלה) ומה תפקידו של כל אחד?
מי נהנה מהערך המוסף? מי אחראי למדוד ולהצהיר על התוצאות? מי אחראי על אכיפה ויישום?
אילו מדדי הצלחה רלוונטיים (לדוגמה: צמצום פסולת וזיהום, חיסכון בזמן או בכסף, שיפור בשיתוף מידע)?

ה. סיכום הדיונים בשולחנות

סיכום זה מציג אמירות שהושמעו בדיוני חמשת השולחנות העגולים, כפי שתועדו, ביחס לתמונת המצב, לחסמים ולפתרונות המעשיים

ה.1. אמצעי תיעוד וניהול מידע - מנחה: רן אברהם

תמונת מצב, פערים וחסמים:

1. חסם כלכלי ורגולטורי

הכלכלה המעגלית אינה נתפשת כרווחית בתחילת הדרך עבור הקבלן משום שהעלויות והסיכונים מרוכזים אצלו כבר בשלב התכנון והביצוע, בעוד שהתועלות הכלכליות מתממשות לרוב מאוחר יותר ולעיתים אצל גורמים אחרים. נדרשות השקעות מוקדמות בתכנון מפורט ותיאומים, בלוגיסטיקה למיון ואחסון, בהכשרת צוותים ובבקרת איכות לחומרים משומשים, לצד אי ודאות לגבי זמינות חומרים, אחריות וביטוח ועמידה בלוחות זמנים. במקביל, מודלים של מכרזים ותמחור שמתגמלים בעיקר מחיר נמוך ומהירות ביצוע מצמצמים תמריץ לקבלן להכניס פתרונות שמוסיפים מורכבות גם אם הם מפחיתים פסולת וחומרי גלם. בנוסף, היזם והקבלן פועלים תחת אופק קצר של תקציב וסיכון, בעוד שבעלי הנכס ומנהלי הנכסים נהנים בהמשך מתחזוקה נמוכה יותר, גמישות ושימור ערך. בהיעדר תקינה, שוק מסודר ומנגנוני אחריות לחומרים משוקמים, קשה לממש ערך כלכלי מפירוק ושימוש חוזר ולכן נדרשת מדיניות מחייבת ומתגמלת שמיישרת תמריצים.

2. העדר מדיניות ייעודית בפרויקטים ממשלתיים

הממשלה כלקוח מרכזי בענף הבנייה באמצעות החשב הכללי נוטה לתעדף במכרזים ובחוזים קריטריונים של עלות מיידית, עמידה בלוחות זמנים וסיכון תקציבי קצר טווח. שיקולים כגון צמצום פסולת, שימוש חוזר בחומרים, תכן לפירוק, או עלות מחזור חיים אינם מתורגמים לדרישות סף, למדדי ביצוע ולתגמול כספי וכתוצאה מכך, ההזדמנות של המדינה להוביל שינוי מערכתי באמצעות כוח הקנייה שלה אינה ממומשת.

3. פערי ידע

קיימים פערי ידע ומודעות בקרב כלל בעלי העניין לאורך שרשרת הערך בענף הבנייה. ללא הבנה משותפת של דרישות, אחריות ויתרונות, קשה לייצר שפה מקצועית אחידה, להגדיר יעדים מדידים ולתכנן מראש פירוק, שימוש חוזר ומיחזור איכותי.

4. אמינות ושקיפות

אמינות הנתונים היא תנאי בסיס לכלכלה מעגלית משום שהיא מאפשרת תכנון, מדידה ואכיפה. כדוגמה, כיום קיים פער בין הצהרות על כמויות פסולת צפויות לבין נתוני שקילה בפועל ושקילה לפי סוגי פסולת. בהעדר נתונים מדויקים, לא ניתן לנהל מלאי חומרים, להעריך היתכנות כלכלית, לבנות מנגנוני תמרוץ, או להפיק לקחים לשיפור תכן וביצוע.

5. טכנולוגיה

מחסור בטכנולוגיות תומכות כגון מערכות דיגיטליות לניהול חומרי גלם ופסולת, זיהוי וסיווג חומרים באתר, תיעוד עקיבות, ותשתיות לוגיסטיות למיון ואחסון מקשה ליישם פתרונות מעגליים באופן עקבי ובקנה מידה. ללא כלים אלו, תהליכים נשאר ידניים ואיטיים, עם עלויות עסקה גבוהות וסיכון תפעולי שמרחיק יזמים וקבלנים מאימוץ שיטתי.

פתרונות והצעות לפיילוט:

1. רגולציה ותמריצים

צריכים לעגן דרכון חומרים דיגיטלי כתנאי סף בתהליכי רישוי, עם תקופת היערכות של מספר שנים ותמיכות ממשלתיות שיסייעו לתעשייה להטמיע תהליכי תיעוד, סטנדרטים ודיווח. כך הדרישה הופכת לנורמה ענפית ולא לעוד יוזמה נקודתית, ונוצר בסיס לאכיפה, להשוואת ביצועים ולפיתוח שוק.

2. פיתוח בסיס מידע "טכני" מבוסס נתונים

יצירת מפת חומרים וכללים חישוביים שיאפשרו להעריך מראש כמה טון מכל חומר צפויים להתקבל מפירוק מבנים לפי טיפוס בניין ושיטות ביצוע. מידע כזה מאפשר לתכנן תשתיות מיון ועיבוד, לצפות היצע לשוק, לקבוע תקנים לאיכות חומר משוקם ולכוון השקעות בהתאם.

3. פיתוח בסיס מידע "כלכלי" מבוסס נתונים

תרגום מעגליות למודל רווח ברור, למשל באמצעות הצגת תרחישי עלות תועלת ועלות מחזור חיים, הפחתת עלויות פסולת והטמנה, שיפור יעילות תפעולית באמצעות מערכות ניהול דיגיטליות, ושימוש אוטומציה ורובוטיקה למיון ופירוק.

פיילוט 1: התחדשות עירונית כמבחן שדה לחילוץ ושימוש חוזר

פיילוט במתחם הריסה ובנייה חדשה שבמסגרתו מבצעים מראש סקר חומרים ורכיבים, מגדירים רשימת יעדים לשימוש חוזר ולמיחזור איכותי, ומיישמים פרוטוקול מלא לחילוץ, מיון, בדיקת איכות, אחסון ושינוע. התוצרים הם נתונים מדודים לפי סוג וכמות, בחינת טכנולוגיות עיבוד, ותיעוד עלויות וחסמים שמתרגמים להמלצות מעשיות להרחבה.

פיילוט 2: פלטפורמת שוק תקנית לעודפי חומרים בענף הבנייה

פיילוט להקמת מערכת מידע לאומית מאומתת שמצליבה בזמן אמת בין היצע לביקוש לעודפי חומרים ורכיבים מצד קבלנים וגורמים נוספים. המערכת כוללת סיווג אחיד, תיעוד עקיבות, אחריות ובקרת איכות, ומאפשרת מעבר מהעברות לא פורמליות לשוק סדור שמפחית אי ודאות ועלויות עסקה ומגדיל היקפי שימוש חוזר.

ה.2. שווקים לשיתוף חומרים "יד שנייה" - מנחה: צפיר גדרון

תמונת מצב, פערים וחסמים

1. נתוני מחזור כלליים לצד ספק באיכות

נתוני 2024 מצביעים על כך שכ 93% מהפסולת הגיעה לאתרי קצה, כ 91% עברה תהליכי מחזור, וכ 73% שווקה וחזרה לתעשיית הבנייה. עם זאת, עולות שאלות לגבי איכות החומרים הממוחזרים ששווקו והאם הם עומדים באופן עקבי בדרישות ביצוע ותקינה.

2. פינוי בינוי כמנוע פוטנציאלי לסגירת מעגל

פרויקטי פינוי בינוי יכולים לשמש עוגן ביקוש לחומרים שמקורם בהריסה, ובכך לצמצם רכישה של חומרי מחצבה ולהפחית שינוע של חומרים לטיפול חיצוני. בפועל, מימוש הפוטנציאל תלוי בתזמון, באיכות החומר וביכולת לוגיסטית לנהל זרימה רציפה.

3. כשל לוגיסטי ואיכותי בבורסת עודפי עפר

ניסיון להקים בורסת עודפי עפר נכשל בשל איכות חומר נמוכה ומזוהמת, ובשל היעדר אתר ביניים לאחסון ולתיווך בין זמני יצירת העודפים לבין חלון הזמן שבו ניתן לקלוט אותם באתר אחר. המשמעות היא שקיימת בעיית "תזמון ואיכות" שמונעת התאמה בין היצע לביקוש גם כאשר שניהם קיימים.

4. כשל מערכתי במחזור לוחות גבס

פיילוט למחזור גבס נכשל בעיקר משום שאין בישראל גוף מתכלל שמנהל את השרשרת מקצה לקצה. אף שיש יצרנים שקולטים חזרה לוחות שהם ייצרו, בפועל באתרי פירוק

מתערבבים לוחות מיצרנים שונים, ההפרדה מורכבת או יקרה, ולכן החומר מגיע לעיתים להטמנה במקום למחזור.

5. חסם אחריות יצרן

היעדר מסגרת של אחריות יצרן מורחבת לפסולת בניין מצמצם תמריץ למערכות איסוף, מיון והשבה, ומקשה לייצר מנגנון אחריות, עקיבות ואיכות שמאפשר שימוש חוזר בקנה מידה.

6. חסם כלכלי ותפעולי לקבלן באתר

הפרדה באתר דורשת זמן וכוח אדם ייעודיים ולכן נתפשת כלא כדאית כלכלית לקבלן, במיוחד כאשר אתרי הבנייה צפופים ואינם מאפשרים שטחי הפרדה ואחסון. ללא פתרון תפעולי ותמרוץ ברור, ההפרדה נדחקת לטובת פינוי מהיר.

7. היעדר שוק ממוחשב ושקיפות עסקית

בהיעדר מאגר רשמי שמצליב בין מי שמייצר עודפים לבין מי שזקוק להם, רוב החומר מאבד ערך ונגרר למסלול פסולת. העברות לא פורמליות בין מנהלי עבודה עשויות לפתור נקודתית, אך אינן שקופות, אינן מתועדות, אינן מאפשרות בקרת איכות ואחריות, ואינן מייצרות למידה מצטברת או יכולת התרחבות.

פתרונות והצעות לפיילוט

1. הקמת גוף מרכזי לאיסוף ועיבוד לפי מפרט

נדרש גוף מתכלל, בדומה למודלים אירופיים, שיאסוף חומרים מאתרי בנייה ופירוק, יעבד אותם וימסור מוצר מוגמר לפי מפרט, תוך אחריות על איכות, תקינה ותיעוד.

2. השבחת חומרים במוקד קליטה מרכזי

אתר קליטה מרכזי צריך לכלול יכולות השבחה כגון סינון, הפרדה, שטיפה, ולעיתים ערבוב עם חומרים משלימים, כדי להפוך חומר מזוהם או משתנה לחומר עקבי שמתאים לשיווק ולשימוש הנדסי.

3. רגולציה ותמריצים ליישור תמריצים

יש לקדם רגולציה מחייבת לכלל השחקנים, לצד תמריצים מעשיים כגון הטבות מס ועדיפות במכרזים ממשלתיים, כדי להפוך שימוש בחומרים משוקמים לאפשרות תחרותית ולא לחריגה תפעולית.

4. יצירת שוק עירוני באמצעות עירייה

הרשות המקומית יכולה לייצר שוק יציב באמצעות רגולציה מקומית שמצמצמת שיווק פיראטי, מגדירה נתיבי פינוי וקליטה, ומבטיחה יעד סופי לחומרים, כך שהשוק נשען על דאות תפעולית ולא על פתרונות אד הוק.

פיילוט 1: התחדשות עירונית כמבחן שדה

בחירת פרויקט פינוי בינוי כאתר הדגמה, ליווי בתהליך בנייה ירוקה ומדידה שיטתית של זמן, עלויות ותפוקות, כולל היקפי הפרדה, איכות החומר, עלויות לוגיסטיקה והחסמים בשטח. מטרת הפיילוט היא לכמת את הפערים ולבחון אילו תמריצים וכלים רגולטוריים אכן משנים התנהגות ומאפשרים סגירת מעגל. יש חשיבות לקדם בפרויקט מעורבות מקצועית של יועצי בניה ירוקה ומתכננים.

ה.3. מודלים עסקיים מבוססי עיצוב - מנחה: יאיר אנגל

תמונת מצב, פערים וחסמים:

1. תמריץ כלכלי שלילי

העלות הנמוכה של הטמנת פסולת ושל רכישת חומרי גלם ראשוניים יוצרת תמריץ כלכלי שלילי, שבמסגרתו חומר גלם בתולי זול יותר מחומר ממוחזר. בהיעדר מנגנוני תגמול לשימוש חוזר ולמיחזור איכותי, אין כדאיות כלכלית ממשית לאימוץ פרקטיקות מעגליות בענף הבנייה.

2. רגולציה קיימת אך אינה מיושמת

קיימות הנחיות המחייבות שילוב אחוז מסוים של חומר ממוחזר בתשתיות ובמכרזים ממשלתיים, אך בהיעדר אכיפה, בקרה ודרישות דיווח אמינות, ההוראות אינן מתורגמות לביצוע בפועל ולכן אינן משנות את השוק.

3. בעיית עודפי עפר ופסולת הניתנת למחזור

אין מסגרת רגולטורית ותשתית תפעולית מספקת לטיפול בעודפי עפר ובזרמים נוספים שניתנים למחזור, ובמקביל חסרים אתרי קליטה ושפיכה חוקיים בהיקפים נדרשים. התוצאה היא לחץ תפעולי על הקבלנים שמוביל לא פעם לפתרונות לא חוקיים ולפגיעה ביכולת לנהל חומר כמשאב.

4. שמרנות ממשלתית ואיטיות באימוץ חדשנות

הממשלה מתקשה לאמץ תקנים חדשים ומודלים עסקיים מעגליים, בין היתר בשל נטייה להפחתת סיכון, נהלים קשיחים ופערי מומחיות פנימיים. כך נוצר עיכוב בהכנסת דרישות מעגליות מחייבות ובהכרה בחומרים משוקמים במפרטים ובהתקשרויות.

5. עלויות שינוע, פירוק וטיפול

פירוק סלקטיבי, מיון ושינוע של חומרים משוקמים מוסיפים עלויות וזמן, ובמבנה ההתקשרויות הקיים קשה "לגלגל" עלויות אלו על הקבלן או לתמחר אותן מראש. ללא

פתרונות לוגיסטיים סמוכים, תעריפים ברורים ומנגנוני תמרוץ, העלויות הופכות לחסם מרכזי.

פתרונות והצעות לפיילוט:

1. **התערבות ממשלתית ותימרוץ**
 המדינה תשמש קטר באמצעות פרויקטי בנייה ציבורית ותשלב דרישות מעגליות כתנאי סף במכרזים, כך שיווצר ביקוש יציב וסטנדרט ענפי ברור.
2. **גישור פערים כלכליים**
 הקמת מנגנון תמיכה ציבורי שיגשר על פער המחירים בין חומר בתולי לממוחזר ויכיר בעלויות המעבר, כדי לאפשר כדאיות כבר בשלבי היישום הראשונים.
3. **שימוש במנופי קרקע של המדינה באמצעות רמ"י**
 מתן הטבות בפרויקטים שיעמדו ביעדים מעגליים, למשל הפחתת מיסוי או תנאים מועדפים בקרקעות מדינה, באופן שמייצר תמריץ ישיר ליזמים.
4. **אכיפה ותקינה עם מנגנון ניקוד**
 גיבוש רגולציה ותקינה שמחייבות עקרונות מעגליים בשלבי התכנון והעיבוד, לצד דרישות מדידה ודיווח, ומודל נקודות זיכוי שמתגמל עמידה ביעדים.
5. **תכנון הפיך ותכן לפירוק**
 הטמעת דרישות תכנון שמאפשרות פירוק ושימוש חוזר בעתיד באמצעות חיבורים הפיכים, סטנדרטיזציה ותיעוד רכיבים, כדי לצמצם פסולת ולהעלות ערך לאורך זמן.
6. **סימביוזה תעשייתית ומרכזים אזוריים**
 הקמת מרכזים אזוריים שבהם תוצרי לוואי וחומרים משניים של מפעלים ופרויקטים משמשים חומרי גלם לגורמים סמוכים, עם תמריצים לרשויות ולעסקים כגון הנחה בארנונה ותמיכה תשתיתית.

פיילוט 1: מכרז דגל בבנייה ציבורית מעגלית

בחירת פרויקט ציבורי אחד והפעלת דרישות מעגליות מחייבות במכרז, כולל תכן לפירוק ברכיבים נבחרים, יעד שימוש בחומרים משוקמים, ומדידה לפי סוג פסולת בשלב המיון, לצד פרוטוקול בדיקות ומודל אחריות.

פיילוט 2: מרכז אזורי ללוגיסטיקה ולשוק חומרים משניים

הקמת מוקד אזורי לקליטה, מיון, בדיקות ואחסון זמני של חומרים משניים, בשילוב פלטפורמה להצלבת היצע וביקוש, כדי להפחית עלויות שינוע ולהגדיל היקפי שימוש חוזר. הדיון בקבוצה העמיק בעיקר במודלים סביב כלכלת המיחזור ולכן דורש העמקה וחשיבה מחדשת לגבי מודלים עסקיים מבוססי עיצוב נוספים.

ה.4. גישות תכנון – מנחה: איריס גבעולי

תמונת מצב, פערים וחסמים:

1. **חסם תכנוני ותרבותי במקצועות התכנון**
עיקר הפער מצוי אצל מתכננים, אדריכלים ומהנדסים, שעדיין אינם מתייחסים באופן שיטתי לעתיד הבניין, לגמישות תכנונית, להחלפת מערכות וליכולת שדרוג לאורך זמן. בהיעדר חשיבה מוקדמת על שכבות המבנה, נוצרות מערכות תלויות וקשות לפירוק, והעלות העתידית של התאמות, תחזוקה ושיפוץ עולה.
2. **רגולציה חסרה והיעדר מסגרת לסוף חיים**
החקיקה נתפסת כחסם המרכזי משום שאי אפשר לקדם כלכלה מעגלית ללא כללים ברורים לגבי סוף חיי מוצר ומבנה, מה מותר למחזר, מה נדרש לשימוש חוזר, ואילו בדיקות ואחריות חלות על חומרים משניים. כאשר המסגרת אינה מוגדרת, השוק נשאר באזור אפור שמייצר אי ודאות מקצועית ומשפטית.
3. **הסתכלות קצרת טווח ותכנון לינארי**
תהליכי תכנון וקבלת החלטות עדיין נשענים בעיקר על עלות מיידית ועל עמידה בלוחות זמנים, במקום על עלות מחזור חיים, גמישות ושימור ערך. התוצאה היא תכן שאינו מתגמל הסתגלות עתידית, ומגדיל את הנטייה לשיפוצים הרסניים ולהחלפת רכיבים במקום שדרוג הדרגתי.
4. **אתגר ההריסה בהתחדשות עירונית**
בהתחדשות עירונית הפתרון הדומיננטי הוא הריסה ובנייה מחדש, גם כאשר קיימים מבנים יציבים שניתן לשדרג. ההריסה נתפסת כדרך הקלה לתכנון מחדש, אך היא מייצרת פסולת מסיבית ומפספסת פוטנציאל לשימור נכסים, הארכת חיים והפחתת פליטות וחומרי גלם.
5. **מגבלות פיזיות באתרי בנייה צפופים**
במגרשים קטנים וצפופים קשה לבצע פירוק סלקטיבי, להקצות שטחים להפרדה ולאחסון, ולנהל לוגיסטיקה של חומרים לשימוש חוזר. מגבלות המקום הופכות פתרונות מעגליים לתלויי תכנון מקדים ותיאום מוקדם, ולא לפעולה שניתן "להוסיף" בשלב הביצוע.
6. **שמרנות ענפית וחולשת שיתופי פעולה**
הענף נתפס כשמרני ומבודד יחסית, עם מעט שיתוף ידע וסטנדרטים מוסכמים, ולעיתים ללא מנגנון שמחייב יועצים לעבוד יחד על בסיס נתונים משותף. היעדר אינטגרציה בין דיסציפלינות מקשה לייצר פתרונות מערכתיים כמו תכן לפירוק, תיעוד רכיבים וניהול מחזור חיים.

פתרונות והצעות לפיילוט

1. **הכוונה רגולטורית למתכנן והטמעה בשלבי הרישוי**

קידום דרישות מחייבות שמחברות מעגליות לתהליכי תכנון ורישוי, כך שמתכננים יידרשו להציג פתרונות לשדרוג, החלפה ופירוק, לצד הנחיות תכן שמפחיתות תלות בין מערכות, מקדמות חיבורים הפיכים ותיעוד רכיבים.
 2. **הארכת חיי מבנים ומנגנון החלטה לפני הריסה**

גיבוש פרוטוקול מוסדר שמקדים החלטה על הריסה, הכולל בחינה הנדסית ותפעולית, השוואת חלופות שדרוג מול הריסה, ושקלול עלות מחזור חיים. כך ניתן להפחית הריסה של מבנים יציבים, להאריך חיים של מערכות וקונסטרוקציה, ולכוון התחדשות לפתרונות שימור ושדרוג כשאפשר.
 3. **תכנון גנרי וגמיש לדירות ולמערכות**

עידוד תכנון דירות ותשתיות שהן גנריות יותר, עם יכולת התאמה עתידית ללא פירוקים הרסניים, באמצעות מודולריות, סטנדרטיזציה, מרווחים לשדרוג מערכות, וחלוקה שמאפשרת שינוי תפקודי לאורך זמן. גישה זו מפחיתה התאמות יקרות ומגדילה שימוש חוזר ברכיבים.
 4. **אחריות יצרן מורחבת ומחלים של שירות במקום מוצר**

קידום אחריות יצרן מורחבת לפסולת בניין ורכיבי בניין, לצד מודלים כמו השכרה או ליסינג של רכיבים ומערכות. כאשר היצרן נשאר מחויב לאורך זמן, הוא מתמרץ תכנון עמיד, בר תיקון ובר שדרוג, ושומר על ערך החומר והחלקים לאורך מחזור החיים.
 5. **שימוש בטכנולוגיה לניהול מחזור חיים והפחתת אי ודאות**

יישום BIM ובינה מלאכותית ככלים תומכי החלטה שיכולים לשפר תיעוד רכיבים, ניתוח חלופות, בקרת איכות ומהירות תיאום בין יועצים. טכנולוגיה יכולה לאפשר נתונים עקביים על חומרים, תכנון לתרחישי שינוי, וזיהוי מוקדם של נקודות כשל שמונעות פירוק ושימוש חוזר.
- **פיילוט מוצע במבני מגורים מנוהלים להשכרה**

פיילוט מוצע יכול להתמקד במבני מגורים מנוהלים להשכרה, הנמצאים בבעלות ובניהול של גוף אחד לאורך זמן, למשל במודל הדומה לפרויקטים של אשטרם. היתרון בסוג נכס זה הוא היכולת ללוות את הבניין לאורך מחזור החיים, למדוד ביצועים באופן עקבי ולהטמיע עקרונות מעגליים כבר משלב התכנון ולא רק כתגובה לבעיות בשלב התפעול. במסגרת הפיילוט ייבחנו פתרונות תכן לשדרוג ולפירוק עתידי, תיעוד שיטתי של רכיבים וחומרים, והגדרת מדדים לתחזוקה, להחלפה ולשימור ערך לאורך זמן, לצד הערכת עלויות מחזור חיים והיתכנות תפעולית של ניהול נתונים רציף. כחלק אינטגרלי מהפיילוט ניתן לשלב מנגנון תמרוץ באמצעות רמ"י, באמצעות תמחור קרקע מתועדף או הטבות

ייעודיות בפרויקטים שמתחייבים לעקרונות מעגליים מדידים, כגון תכנון גמיש, תיעוד רכיבים ושילוב חומרים משניים במפרטים. תמריץ מסוג זה משפיע כבר בשלב ההיתכנות הכלכלית, מצמצם את פער הכדאיות הראשוני ומייצר יתרון תחרותי לפרויקטים שמיישמים מעגליות מראש, באופן שמאפשר לבחון בפועל כיצד כלי מדיניות וכלי תכנון ותפעול עובדים יחד כמנגנון אחד.

ה.5. טכנולוגיה - מנחה: נגה הרץ

תמונת מצב, פערים וחסמים:

1. **פערי יישום באתר הבנייה והיעדר דיגיטציה תפעולית**
 באתר עצמו חסרים כלים פשוטים וישימים למדידה בזמן אמת, לסימון רכיבים, לתיעוד תהליכים ולניהול זרימת חומרים. בהיעדר מערכות שטח כגון אפליקציות עבודה, טפסים דיגיטליים, זיהוי באמצעות וחיבור לשקילה, התהליך נשאר ידני ותלוי באנשים ולכן מתקשה להתקיים לאורך זמן ובקנה מידה.
2. **חסר אינטגרציה בין מערכות תכנון, רכש וביצוע**
 הנתונים אינם "זורמים" בין BIM, כתבי כמויות, מפרטים, רכש, ניהול אתר, פסולת ומיחזור. כתוצאה מכך אין רציפות מידע לאורך מחזור החיים, קשה להפיק כמויות מדויקות לחילוץ ושימוש חוזר, וקשה לעקוב אחרי חומרים מרגע פירוקם ועד קליטתם מחדש. ללא סטנדרטים וחיבורים בין מערכות, כל פרויקט מייצר פתרון מקומי שאינו ניתן לשכפול.
3. **חסר בסטנדרטים טכניים לסיווג ותיעוד רכיבים לצורך שימוש חוזר**
 חסרים סטנדרטים טכניים אחידים לסימון רכיבים, תיוג מצבים, הגדרת רמות איכות, ותיעוד מינימלי הנדרש למסירה לשוק. בהיעדר שפה טכנית משותפת, גם פלטפורמות דיגיטליות מתקשות להצליב נתונים ולהפוך עודפים למוצר בעל ערך מסחרי.
4. **מחסור בתשתיות עיבוד ולוגיסטיקה**
 חסרים מוקדים אזוריים לחילוץ, מיון, בדיקות ואחסון זמני, וכן פתרונות שינוע שמונעים פגיעה בחומר ומאפשרים עבודה בקצב האתר.
5. **פער ביכולת תיעוש וייצור מחדש של חומרים ממוחזרים לשימוש חוזר איכותי**
 חסר פיתוח ויישום של קווי עיבוד וייצור כגון רכיבים מתועשים, מודולריות, ושיטות המאפשרות שימוש בפסולת כחומר גלם תוך בקרת איכות. ללא יכולת "לייצר מוצר" ולא רק "לטפל בפסולת", קשה לבנות שוק יציב לחומרים משוקמים.

פתרונות והצעות לפיילוט:

1. רגולציה ורכש ציבורי

קביעת דרישות סף מעגליות מדידות עם חובת דיווח ואכיפה, לצד תקופת היערכות ותמיכות. שילוב דרישות אלו במכרזים ציבוריים כדי לייצר ביקוש יציב ולהכניס את היזמים והקבלנים כבר בשלב התכנון.

2. תקינה, אחריות ובקרת איכות

הגדרת מסגרת תקינה לחומרים משוקמים וממוחזרים הכוללת בדיקות, תיעוד ביצועים וספי קבלה, יחד עם חלוקת אחריות ברורה

3. תשתית נתונים ושוק דיגיטלי

הטמעת דרכון חומרים דיגיטלי ומדידה עקבית של חומרים ופסולת, וחיבור הנתונים לתכנון ולרכש. הקמת פלטפורמה תקנית להצלבת היצע וביקוש לעודפי חומרים עם סיווג אחיד, זמינות ותיעוד בדיקות, במסגרת ממשל נתונים שמאפשר שיתוף בטוח.

4. תשתית תפעולית, טכנולוגיות והון אנושי

הקמת מרכזים אזוריים לחילוץ, מיון, בדיקות ואחסון זמני ונהלי שינוע תומכים, לצד קידום תיעוש, מודולריות ועיבוד פסולת כחומר גלם. שילוב הכשרות יישומיות לצוותי שטח ומנגנוני תמרוץ מבוססי ביצועים לפי איכות המיון ושיעורי שימוש חוזר.

▪ פיילוט פלטפורמה לשוק עודפי חומרים ורכיבים

הקמת מערכת דיגיטלית מאומתת שמצליבה בזמן אמת בין היצע לביקוש לעודפי חומרים בענף, עם סיווג אחיד, נתוני איכות ותקינה, זמינות ומיקום, ותיעוד עקיבות. הפיילוט יתמקד תחילה במספר קטגוריות חומרים בעלות סיכון נמוך, ויבחן הפחתת עלויות עסקה, קיצור זמני תיאום והגדלת היקפי שימוש חוזר.

ו. סיכום תמציתי

1.1. חסמים מרכזיים שעלו

1. מודל כלכלי מובנה חסר

בהעדר תמרוץ ייעודי לנושא, עלויות העבודה והסיכונים של פירוק סלקטיבי, מיון ושינוע ביחס לתרחישי שימוש עתידיים מעורפלים אינם מעודדים קבלנים וחברות ביצוע להטמיע עקרונות מעגליים בעבודתם.

2. אכיפה חסרה

בהיעדר אכיפה, בקרה ודרישות דיווח אמינות, ההנחיות לשילוב חומר ממוחזר במכרזים ותשתיות אינן באות לידי ביטוי ממש.

3. פערי ביצוע דיגיטציה באתר

חסרים כלים ישימים למדידה בזמן אמת, סימון רכיבים, תיעוד תהליכים וניהול זרימת חומרים, ולכן התהליך נשאר ידני ותלוי באנשים ואינו בא לידי ביטוח בקנה מידה משמעותי.

4. חוסר אינטגרציה בין מערכות תכנון, רכש וביצוע

היעדר זרימת נתונים בין BIM מפרטים, כתבי כמויות, ניהול אתר ופסולת מונע רציפות מידע לאורך מחזור החיים, מקשה על חילוץ כמויות לשימוש חוזר ומייצר פתרונות מקומיים שאינם ניתנים לשכפול.

5. בעיית איכות ותזמון בשוק העודפים

ניסיון להקים בורסת חומרים שניוניים ועודפי עפר נכשל בשל חומר מזוהם והיעדר אתר ביניים שמגשר על פערי זמן בין יצירת עודפים לבין יכולת קליטה, כלומר בעיית "תזמון ואיכות" גם כשיש היצע וביקוש.

6. כשלי שרשרת ערך

חסר גוף מתכלל שמנהל את השרשרת מקצה לקצה (ראה דוגמה של מיחזור גבס)

7. חסמי תכנון ותרבות מקצועית

מתכננים אינם מתייחסים באופן שיטתי לעתיד הבניין, לגמישות, לשדרוג ולהחלפת מערכות; ובהיעדר מסגרת ברורה לסוף חיים, השוק נשאר באזור אפור שמייצר אי ודאות מקצועית ומשפטית.

2. פתרונות מרכזיים שעלו

1. **רגולציה מחייבת עם אכיפה ומדידה**
עיגון דרכון חומרים דיגיטלי כתנאי סף ברישוי, עם תקופת היערכות ותמיכות, כדי להפוך תיעוד ודיווח לנורמה ענפית שמאפשרת אכיפה והשוואת ביצועים.
2. **תשתית מידע "טכנית" לצפי חומרי פירוק**
יצירת מפת חומרים וכללי חישוב שמעריכים מראש כמויות לפי טיפוס מבנים ושיטות ביצוע, כדי לתכנן תשתיות מיון ועיבוד ולכוון השקעות ותקינה.
3. **תשתית שוק דיגיטלית מאומתת**
פלטפורמה תקנית להצלבת היצע וביקוש לעודפים עם סיווג אחיד, זמינות, תיעוד בדיקות, עקיבות וממשל נתונים שמאפשר שיתוף בטוח.
4. **תשתית תפעולית קרובה לשטח**
מרכזים אזוריים לחילוץ, מיון, בדיקות ואחסון זמני, נהלי שינוע תומכים, ושילוב הכשרות ותמריצים מבוססי ביצועים לפי איכות מיון ושיעורי שימוש חוזר.
5. **מודל גוף מתכלל להשבחה ואחריות**
גוף מרכזי שיאסוף חומרים, יעבד וימסור מוצר לפי מפרט, תוך אחריות על איכות, תקינה ותיעוד, ובמוקד הקליטה יכולות השבחה כגון סינון, הפרדה ושטיפה.
6. **הכוונה רגולטורית למתכנן ומנגנון החלטה לפני הריסה**
דרישות תכן לשדרוג ופירוק כחלק מהרישוי, לצד פרוטוקול שמקדים החלטה על הריסה ובוחן חלופות שדרוג מול הריסה ועלות מחזור חיים.
איסוף נתונים רלוונטיים מהשטח הנוגעים להריסה סלקטיבית שישמשו כבסיס לקבלת החלטות אסטרטגיות (גובה מבנה, טכנולוגיה, אילוצי שטח, סיכוני זיהום וכו').
7. **סימביוזה תעשייתית ומרכזים אזוריים**
קידום שימוש בתוצרי לוואי וחומרים משניים כקלט לגורמים סמוכים, עם תמריצים לרשויות ולעסקים כגון הנחה בארנונה ותמיכה תשתיתית.
8. **הכשרות מקצועיות למתכננים, מבצעים וקובעי מדיניות בתחום**

3. פיילוטים מוצעים

1. פיילוט מוצע יכול להתמקד בפרויקט התחדשות עירונית מסוג פינוי בינוי ולשמש מבחן שדה לחילוץ ושימוש חוזר. כבר בתחילת הדרך יבוצע סקר חומרים מקדים, יוגדרו יעדים לשימוש חוזר ולמיחזור איכותי, ויישם פרוטוקול סדור לחילוץ, מיון, בדיקות איכות, אחסון ושינוע. במקביל, הפרויקט ילווה במסגרת בנייה ירוקה ויכלול מדידה שיטתית של זמן, עלויות ותפוקות, לרבות איכות החומרים ועלויות לוגיסטיקה, כדי לבחון אילו

- תמריצים וכלים רגולטוריים אכן משנים התנהגות באתר ומאפשרים סגירת מעגל בקנה מידה יישומי.
2. פלטפורמת שוק לאומית תקנית לעודפי חומרים: מערכת מידע מאומתת שמצליבה בזמן אמת היצע וביקוש, עם סיווג אחיד, עקיבות, אחריות ובקרת איכות, לבדיקת הפחתת אי דאות ועלויות עסקה והגדלת היקפים.
3. הרחבת הניטור, הטיפול והחקיקה המתייחסת לחומרי גלם נוספים מעבר לחומרים הצמנטים: אלומיניום, גבס, ופלסטיק
4. מרכז דגל בבנייה ציבורית מעגלית: פרויקט ציבורי אחד עם דרישות מעגליות מחייבות במכרז, כולל תכן לפירוק ברכיבים נבחרים, יעד שימוש בחומרים משוקמים, מדידה לפי סוג פסולת ופרוטוקול בדיקות ומודל אחריות.
5. מרכז אזורי ללוגיסטיקה ולשוק חומרים משניים: מוקד קליטה, מיון, בדיקות ואחסון זמני בשילוב פלטפורמה להצלבת היצע וביקוש, להפחתת עלויות שינוע והגדלת שימוש חוזר.
6. מבני מגורים מנוהלים להשכרה: נכסים בבעלות וניהול של גוף אחד לאורך זמן, לבחינת תכן לשדרוג ולפירוק עתידי, תיעוד רכיבים וחומרים, מדדי תחזוקה והחלפה ועלות מחזור חיים, תוך ניהול נתונים רציף.

ז. סיכום הרצאות בנושא קידום כלכלה מחזורית בענף הבנייה

1. מעגליות בענף הבנייה: כלים ומדיניות בישראל - צפריר גדרון

הרצאה זו סקרה את המאמצים המתקיימים בישראל לקידום מעגליות בענף הבנייה. ענף הבנייה הוא מן הצרכנים הגדולים של משאבי טבע. בין ארבעים לחמישים אחוזים מהמשאבים המופקים מהטבע מוקדשים לו, וכארבעים אחוזים מן הפסולת הכללית בישראל היא פסולת בנייה. הענף מתאפיין בדפוסי פעולה שאינם מקיימים עקרונות של יעילות וחסכון, ובהם התחדשות המבוססת על הריסה, שיפוצים תכופים, תיקונים בזבזניים ומבנים העומדים נטושים לפרקי זמן ארוכים. התנהלות זו מייצרת השלכות סביבתיות כבדות משקל, ובהן רעש, אבק, פגיעה בנוף, ניתוק בתי גידול ופגיעות הקשורות לאנרגיה ולאקלים. בישראל קיימות מספר תשתיות מדיניות המשיקות לנושא המעגליות. בהן תוכנית המתאר הארצית העוסקת בתכנון היקפי חציבה תוך התחשבות במחזור פסולת בנייה, תקן העוסק בתהליכי איכות למחזור, ותקנות תכנון ובנייה המחייבות עמידה בדרישות של בנייה מקיימת. לצד אלה קיימים כלי אכיפה ורגולציה המשפיעים ישירות על ענף הבנייה, ובהם המפרט הכללי לעבודות בנייה, מדריך להריסה סלקטיבית וחוק הניקיון, כמו גם תקנות תכנון ובנייה העוסקות באכיפת פינוי מוסדר של פסולת.

ההרצאה מצביעה על יתרונות ייחודיים שעשויים לאפשר שינוי משמעותי בישראל. הבנייה מתבצעת ברובה בשטח גאוגרפי מצומצם המקצר מרחקים ומפשט את הלוגיסטיקה. אתרי ההטמנה מרוחקים ממוקדי הבנייה, עובדה המייקרת את פינוי הפסולת ויוצרת תמריץ להפחתתה. תנופת ההתחדשות העירונית, המתבטאת בבינוי, פינוי, עיבוי וחיזוק מבנים, לצד היקף פעילות גדול של שיפוצים, מייצרים הזדמנות לקידום פתרונות מעגליים המתאימים למרקם המקומי.

תמונת העתיד הרצויה לענף הבנייה בישראל מצטיירת כענף הנשען במידה מזערית על חומרי גלם ראשוניים ומפיק כמות נמוכה מאוד של פסולת בבנייה חדשה. חזון זה רואה חשיבות בצמצום הריסה של מבנים, ובתכנון מבנים הניתנים לפירוק, לשינוי ולהארכת חיים. שאיפת היסוד היא שבסיום מחזור חייהם, המבנים יפורקו למרכיביהם באופן המאפשר שימוש חוזר רחב ככל האפשר. במערכת כזו, מרכיבים שאינם מתאימים לשימוש חוזר יעברו מחזור במטרה לשלבם כחומרי גלם שניוניים בבנייה חדשה. רק חלק מזערי של פסולת שאינה ניתנת להשבה או לשימוש חוזר יישלח להטמנה.

2. עקרונות ומושגים בתחום הכלכלה המעגלית בבנייה - אדר' איריס גבעולי

הרצאה זו הציגה את הכלכלה המעגלית כמודל המבקש לפרוץ את הדפוס הליניארי של לקיחה, ייצור והשלכה. מודל זה מבקש לבנות מערכת המפחיתה את תופעת ההתיישנות באמצעות יצירת תנאים לשימוש מתמשך במוצרים והחזרת חומרים למעגל הייצור והשימוש. על פי התפיסה שהוצגה, אין בעלות אמיתית על חומרים, אלא החומרים מושאלים מאתנו לדורות הבאים. בענף הבנייה, שהוא אחד הצרכנים הגדולים של חומרי גלם, משמעותה של גישה זו עמוקה במיוחד, והיא מזמינה התבוננות במבנה כיישורת חיה, מתפתחת ומתחדשת לאורך כל מחזור חייה.

תכנון למעגליות ממקם במרכזו את היכולת לפרק, להרכיב ולמחזר, ומטרתו לאפשר שימוש חוזר ברכיבים ובחומרים תוך מזעור הפסולת ושימור ערך החומר לאורך זמן. כדי להבטיח שסיום חייו של המבנה לא יהפוך לסיום ערכו, התכנון נשען על עקרונות כגון תיעוד זהות החומרים, יצירת אחידות והקפדה על תחזוקה לאורך זמן. לצד זאת, תכנון גמיש או אדפטיבי מתמקד ביכולתו של המבנה לעבור שינויים תפקודיים, לגדול או להצטמצם ולהסתגל לצרכים חברתיים, טכנולוגיים וסביבתיים משתנים. שתי הגישות הללו פועלות יחד להארכת חיי המבנה ולטיפוח סביבה בנויה הניתנת לתיקון, לשדרוג ולהתחדשות כחלק ממחזור חיים דינמי וארוך טווח.

הניהול המחזורי של משאבים נשען על שלושה עקרונות משלימים המודגמים בשרשרת הערך של הכלכלה המעגלית. הצרת המעגל מתמקדת בצמצום צריכת המשאבים באמצעות סירוב, חשיבה מחדש והפחתה. האטת המעגל עוסקת בהארכת חיי המוצרים באמצעים כמו שימוש חוזר, תיקון, שיקום, ייצור מחדש וייעוד מחדש. סגירת המעגל מתמקדת בהחזרת חומרים למערכת באמצעות השבה ומחזור. דוגמאות מהעולם ממחישות את היישום המעשי של עקרונות אלה. מגדל קוורטר קוואי בסידני מדגים את עיקרון האטת המעגל, שכן הוא נבנה על בסיס מגדל משנות השבעים תוך שימור של חלק ניכר משלד המבנה המקורי. ביתן העם, שנבנה כולו מחומרים מושאלים והוחזר לשימוש המקורי לאחר פירוקו, ממחיש את הצרת המעגל. בית המשפט הזמני באמסטרדם מדגים תכנון לשימוש חוזר: המבנה נבנה בשלד פלדה מחובר בברגים יבשים, תועד ברמת רכיב, פורק כעבור מספר שנים והורכב מחדש כחלל עבודה ולמידה.

הרצאה זו הדגישה כי אימוץ גישה מחזורית בבנייה מאפשר לייצר סביבה בנויה גמישה, מתחדשת ועמידה, המבוססת על ניצול מושכל של משאבים ומאפשרת רציפות תפקודית ארוכת שנים.

3. עקרונות מעגליים ופרויקטים - אדר' דן זוהר

הרצאתו של דן זוהר הציגה את הצורך הדחוף במעבר למודל מחזורי בענף הבנייה, על רקע נתונים החושפים את עומק האתגר. משאבי הטבע נצרכים כיום בקצב כפול מן הקצב שבו ניתן לחדש אותם. בשנים הקרובות צפויה עלייה של ארבעים אחוזים בהיקף הבנייה החדשה בעולם, וענף הבנייה אחראי לשליש מהחומרים החדשים המיוצרים ולכמעט מחצית מפסולת הבניין שנוצרת בנוורבגיה. לנוכח מציאות זו, אסטרטגיית ההגעה ליעדי אפס פליטות מחייבת פעולה בשני מסלולים משלימים: הפחתת פליטות הנגרמות מהפקת אנרגיה וצריכת אנרגיה תפעולית, והארכת חיי החומרים באמצעות תכנון מחזורי המאפשר גמישות, שימוש חוזר והסתמכות על שילוב מושכל של חומרים קיימים וחדשים.

המסגרת התכנונית שהוצגה בהרצאה נשענת על עשרת העקרונות המחזוריים של FutureBuilt. עקרונות אלו מדגישים בראש ובראשונה את איכותם של החומרים ונוגעים לבריאותם, לעמידותם ולתרומתם להפחתת פליטות. הם כוללים חשיבות רבה לתיעוד ולזיהוי החומרים באמצעות כלים דיגיטליים, ובהם פלטפורמות המאפשרות יצירת דרכון חומרים התומך בניהול המלאי ובאפשרויות שימוש חוזר בעתיד. העקרונות קוראים לגיבוש סדר עדיפויות ברור בבחירת החומרים. במדרג זה ניתנת עדיפות ראשונה לחומרים משומשים שיכולים לשמש מחדש כפי שהם. במקום השני ניצבים חומרים ממוחזרים הניתנים לשימוש חוזר, ורק לאחריהם חומרים חדשים שנבחרים לפי יכולת מחזור עתידית.

עקרונות נוספים עוסקים במבנה ובמערכות המרכיבות אותו. הפרדה בין שכבות המבנה לפי תוחלת החיים של כל שכבה מאפשרת פירוק יעיל, תחזוקה נוחה והחלפה פשוטה בעת הצורך. רעיון הכלליות והמודולריות מבוסס על שימוש במידות תקניות ומספר מצומצם של רכיבים, באופן המייעל את הפירוק ואת השימוש החוזר במחזוריים הבאים. עקרון ההתאמה מדגיש את חשיבותה של גמישות תכנונית המאפשרת למבנה להשתנות בהתאם לצרכים עתידיים, בין אם מדובר בשינוי חזות המבנה ובין אם ביעוד מחדש של רכיבים. התייחסות מיוחדת ניתנת לאופן החיבור בין הרכיבים. חיבורים גמישים או קשיחים שתוכננו להתפרק מאפשרים להעביר רכיבים שלמים למחזור שימוש חדש מבלי לפגוע בערכם.

לצד העקרונות התכנוניים, ההרצאה הציגה מודלים עסקיים התומכים בכלכלה המחזורית. בין אלה מודלים המבוססים על אחריות יצרן למחזוריים חוזרים של תחזוקה ושימוש חוזר ברכיבים, שילוב המייצר תמריץ ישיר לחיזוק עמידותם של החומרים ולשימורם לאורך זמן. דוגמה לכך היא המודל של הבית המודולרי המחזורי הראשון בנוורבגיה, המבוסס על שילוב בין מערכת תחזוקה מתמשכת להסכם החזרה של הרכיבים ליצרן בתום השימוש. מודל זה מדגים כיצד חיבור בין תכנון, רגולציה ומנגנוני שוק יכול להניע את ענף הבנייה לעבר פעילות מחזורית יציבה ויעילה.

4. מעגליות יישומית תמונת מצב באקדמיה - ד"ר מתן מאייר

הרצאתו של דוקטור מתן מאייר הציגה תמונת מצב עדכנית של המחקר האקדמי העוסק ביישום מעגליות בענף הבנייה, המחולק לחמישה תחומי ליבה: תכנון, נתונים, מודלים עסקיים, טכנולוגיה והכשרה. בתחום התכנון נבחנת האפשרות לשימוש ברכיבים מבוקעים, ובהם גם רכיבי בטון מזוין. בעוד שהפתרונות המקובלים כיום מתמקדים במיצוי פלדה וגריסה של הבטון, המחקר שואף לבחון שימוש חוזר בבטון חתוך ובשברי בטון בתור חומר בנייה לקירות נושאי עומס. בתחום הנתונים נידונות שיטות לניהול מידע עבור שימוש חוזר בחומרים שאינם סטנדרטיים, ובהם עץ שמקורו בפסולת גיזום עירונית.

בתחומי המודלים העסקיים והטכנולוגיה מוצגת אפשרות של שימוש זמני ברכיבים לפני החזרתם למעגל, יחד עם בחינת השילוב בין תכנון לפירוק ושימוש חוזר לבין טכנולוגיות ייצור תלת ממדיות. מאחר שטכנולוגיות אלו נוטות להפיק מבנים אחידים שאינם ניתנים לפירוק בקלות, האתגר המחקרי הוא לפתח דרכים שיאפשרו פירוק ושימוש חוזר גם במבנים מסוג זה. בתחום ההכשרה מובא כדוגמה סמינר לתואר שני המתמקד בחקירת מדדים כמותיים לתכנון המאפשר עמידה ביעדי שנת אלפיים וחמישים. יעדים אלה כוללים אפס פסולת הריסה, אפס פליטות פחמן הנובעות מחומרים, אפס פליטות פחמן תפעוליות ואפס פסולת בתום מחזור החיים.

כמקרה מבחן הוצג פרויקט מחקרי שהתבסס על תכנון בעזרת רכיבים שנלקחו מבניין תורם, הוא מוזיאון טראחה במדריד. צוות המחקר בחן רכיבים הניתנים לשימוש חוזר ובהם לבנים, לוחות זכוכית, חלקי גג וחומרי בידוד. נערכה השוואה כמותית בין רכיבים משומשים לרכיבים חדשים כדי להעריך את כמות הפחמן הגלום שנחסך או נוצר בכל אחד מהם. בנוסף הוצג רצף פירוק מפורט לרכיבים שונים, ובהם לוחות קיר. הרצף מפרט את שלבי הפירוק מן החיבור העליון ועד להסרת קורת הבסיס כשלב אחרון, במטרה לאפשר שימוש חוזר או מחזור מיטבי של כל רכיב.

5. קידום כלכלה מעגלית בענף הבנייה באירופה - אביאל ילינק

הרצאה זו עסקה בניסיון שנצבר באירופה בקידום כלכלה מעגלית בענף הבנייה. הבחירה להתמקד באירופה נובעת מהידע הרב שנצבר בה בתחום הרגולציה והמדיניות המכוונות לצמצום פסולת, להפחתת פליטות פחמן ולשימוש יעיל במשאבים. ניסיון זה כולל פיתוח של כלים שונים וכן יישום הלכה למעשה בפרויקטים, והוא מציע פוטנציאל משמעותי ללמידה עבור ישראל באמצעות קשרים מוסדיים, הסכמים ושיתופי פעולה, וכן באמצעות מסגרות ופורומים משותפים. מסגרת הפעולה של האיחוד האירופי למעבר לכלכלה מעגלית מציבה

את ענף הבנייה כמוקד אסטרטגי. כלי החקיקה המרכזיים כוללים תוכניות פעולה המשמשות מסמכי מדיניות להצבת יעדים וסדרי עדיפויות, הוראות מחייבות המגדירות יעדים שעל המדינות לעמוד בהם, ותקנות המשמשות מנגנון אכיפה ישיר.

מסגרת הפעולה האירופית כוללת מספר כלי רגולציה משמעותיים. בין אלה נכללת הוראה שתיכנס לתוקף בשנת 2028 בתחום ביצועי האנרגיה של מבנים, המחייבת דיווח מפורט על פליטות וקביעת מפת דרכים לשיפור הביצועים בכל מדינה. תקנה נוספת, הצפויה להיכנס לתוקף בשנת 2026, עוסקת בקידום מוצרים בני קיימא ומחייבת יצרנים לעמידה בדרישות חדשות. לצידן קיימת רגולציה הנוגעת למוצרי בנייה, המיישמת החל משנת 2026 "דרכון דיגיטלי" למוצרים. הוראה מחייבת לניהול פסולת קובעת יעד של שבעים אחוזים למחזור ולשימוש חוזר בפסולת בנייה, ומדיניות הרכש הציבורי הירוק משלבת קריטריונים סביבתיים בהליכי רכש.

היישום המדינתי של החקיקה מוצג במגוון יוזמות. הולנד הציבה יעד לצמצום של חמישים אחוזים בשימוש בחומרי גלם עד שנת 2030, ומיישמת כלים כמו מדדים לביצועים סביבתיים ו"דרכון חומרים" דיגיטלי. דנמרק דורשת ביצוע הערכת מחזור חיים וקביעת ערכי סף לפליטות במסגרת תקנות הבנייה, ומקדמת הריסה סלקטיבית של מבנים לצד מיפוי ותיעוד חומרים באמצעות דרכונים דיגיטליים. צרפת חוקקה חוק המטיל אחריות יצרן מורחבת לניהול פסולת בנייה ומקדמת רכש ציבורי המעודד שימוש בחומרים טבעיים ועמידה בתקנים סביבתיים. מנגנון זה מבוסס על תשלום אגרות על פסולת בנייה, כאשר גובה האגרה נקבע לפי מודולציה אקולוגית המביאה בחשבון את יכולת המיחזור, המשקל, העיצוב הסביבתי ותכולת החומר הממוחזר.

השפעות החקיקה על שוק הבנייה כוללות השקעה בתשתיות מחזור, קידום דיגיטציה באמצעות דרכוני חומרים, פיתוח שווקים לחומרים משניים באמצעות פלטפורמות סחר וחדשנות טכנולוגית כפי שבאה לידי ביטוי בבנייה מודולרית. לצד זאת מתפתחים פרקטיקות וכלים חדשים, בהם תכנון הפיך המאפשר פירוק, שינוי והתאמה של מבנים לאורך זמן, ושימוש בדרכון דיגיטלי למוצרים המכיל מידע מפורט על הרכבם ועל ביצועים סביבתיים.