

מהי הדרך הטובה ביותר לטפל בבניינים?

Jamie Filer*, Steven Schuldt, Andrew Hoisington

בית ספר לתארים מתקדמים בהנדסה וניהול, המכון הטכנולוגי של חיל האוויר, בסיס חיל אוויר רייט-פטרסון, אוהיו, ארצות הברית

סוקר צעיר

KALVIN

גיל: 8



אנחנו מבלים את מרבית זמננו בתוך בניינים, אולם האם ידעתם שבעלות על בניין יכולה להיות יקרה מאוד? ישנן הרבה מטלות שאנו צריכים לבצע על בסיס קבוע כדי לשמור על הבניינים שלנו במצב טוב. המטלות האלה נקראות תחזוקה, והן דורשות חומרים ומאמץ אנושי, שעולים כסף. לכן, בעלי בניינים מנסים לשמור על הבניינים שלהם במצב טוב לאורך כמה שיותר זמן. בניינים גם יכולים לגרום להשפעות שליליות על הסביבה, שמהן אנו מבקשים להימנע. על ידי ניתוח האופן שבו מצב הבניין משתנה לאורך חייו, אנו יכולים לחזות מתי נזדקק לתחזוקה. זה מאפשר לנו לתקן בעיות לפני שהן נעשות יקרות ומזיקות יותר לסביבה. כדי לעשות זאת, מהנדסים משתמשים בתהליך שנקרא ניתוח מחזור חיים, במטרה לקבל החלטות בנוגע להיכן ומתי להשקיע כסף וזמן בתחזוקה של בניין. במאמר הזה, נסביר על ניתוח מחזור החיים, ונשתמש בדוגמה של בית כדי לתאר את הרעיון הזה.

מה אנו צריכים לדעת כדי לשמור על בניינים בריאים?

בניינים, כמו למשל הבית שלכם, מכילים הרבה חלקים. החלקים האלה נקראים **רכיבים**, וכל אחד משרת מטרה מסוימת. רכיבי הבית כוללים את היסודות, הגג, המרזבים, החלונות, המסילות, מערכת החשמל, הביוב, הקירות ועוד. כל הרכיבים האלה צריכים לעבוד יחד כדי

רכיב

(Component)

חלק שמרכיב את השלם יחד עם חלקים אחרים.

איור 1

רכיבים של בית שצריך לתקן כוללים נג, מזגן, תעלות ועוד. כל אחד מהחלקים האלה עשוי להתקלקל אחרי כמות שונה של זמן.



איור 1

למלא את ייעודו של הבניין [1]. אם אחד הרכיבים נכשל, כל הבניין עשוי שלא להיות שימושי. דמיינו סופה שלפתע מעיפה עץ, ומחוררת את גג הבית שלכם. שאר רכיבי הבית, כמו הביוב, עשויים לעבוד באופן תקין. אולם משמעותו של קַשָּׁל הגג היא שהבניין לא ממלא את ייעודו, שהוא לשמור עליכם חמים ויבשים.

בניינים, כמו הבית שלכם, עולים כסף הן בבנייה הן בקנייה, אולם על גבי המחיר ההתחלתי הזה ישנן הוצאות **תחזוקה** ותיקון שוטפות. הוצאות התחזוקה והתיקון כוללות הרבה מטלות שדורשות גם זמן וגם כסף. לדוגמה, כפי שמוצג באיור 1, בית זקוק לגג חדש מדי 20 שנים; את המרזבים צריך לנקות כל סתיו; את חלקי מיזוג האוויר צריכים לנקות כל כמה חודשים; חורים בתעלות צריכים לתקן באופן תדיר; את השירותים צריך לשפץ כל 20 שנים; צריך לצבוע את חדרה של אחותכם כשהצבע האהוב עליה משתנה ועוד. מספר המטלות שביתכם דורש במהלך החיים שלו, שנקרא מחזור החיים, מצטבר לכמויות גדולות. זה מה שהופך את שלב התחזוק ליקר כל כך. אולם אנו משקיעים זמן וכסף בבתים שלנו מאחר שתחזוקה מסייעת להאריך את מחזור החיים שלהם.

נוסף על העלות הכלכלית, לכל בניין יש השפעה על האזור שסביבו. ההשפעות האלה לעיתים קרובות שליליות [2]. לדוגמה, האדמה שהבית שלכם בנוי עליה נוקתה מצמחים ומעצים. הֶסְרַת צמחים מכריחה חיות שגרו שם לזוז, מה שלא טוב לסביבה. העץ ששימש לבנות את הקירות הובא באמצעות ציוד שפועל על דלקי פחם, ומזהם את האוויר. כאשר הגג מוחלף, החומר הקודם נלקח לִמְטָמָה, ואם איננו מטפלים במערכת המיזוג באופן תקין, הנוזלים שנדרשים עבודה כדי לפעול יכולים להזיק לאוויר שאנו נושמים.

בואו נחשוב בצורה רחבה אפילו יותר מאשר רכיב בודד. כפי שאתם יכולים לדמיין, בניינים גדולים יותר, כמו מפעלים, דורשים תחזוקה רבה יותר מאשר הבית שלכם, מאחר שיש להם רכיבים רבים יותר. אם למפעל יש חמש יחידות מיזוג אוויר במקום אחת, כיצד הבעלים יכולים לְאָתֵר את המועד שבו כל אחת מיחידות מיזוג האוויר צריכה להיות מוחלפת? הרכיבים שמרכיבים את הבניין לא יכולים להחזיק מעמד לְנֶצַח. כל הציוד והחומרים מתפרקים במהלך

תחזוקה (Maintenance)

המטלות שצריכות להתבצע כדי לשמור על ציוד במצב טוב.

הזמן. בסופו של דבר, חלק מהרכיבים יהיו במצב עד כדי כך גרוע שנצטרך לתקנם או להחליפם. אולם לכל רכיב יש את מחזור החיים הייחודי שלו. חלקי מערכת המיווג עשויים להחזיק מעמד 6 או 7 שנים, אולם גג הבניין עשוי להחזיק מעמד 20 שנים. בעלי בנינים אוספים נתונים על כל רכיב כדי לראות כמה זמן הוא בדרך כלל מחזיק. איסוף מידע הוא הצעד הראשון בעריכת **ניתוח מחזור חיים**, אשר מסייע לארגן מטלות תחזוקה ותיקון.

מדוע לתחזק בנינים באמצעות ניתוח מחזור חיים?

ניתוח מחזור חיים הוא כלי **מתודי** ומדעי שמשמש לנתח בניין לאורך מחזור החיים שלו, כדי לקבל החלטות שנוגעות לתחזוקה ולתיקון [3, 4]. ההגדרה הזו נשמעת מורכבת, אולם אנו נפרק אותה לגורמים. "מתודי" אומר שניתוח מחזור חיים עוקב אחרי סט צעדים שאנו יכולים לחזור עליהם שוב ושוב. התנהלות מתודית היא חשובה ביותר עבור בנינים גדולים עם רכיבים רבים. "מדעי" אומר שהתהליך מְגֵבָה על ידי נתונים ומחקר. מהנדסים פיתחו דרכים רבות שונות לחזות כמה זמן בניין יחזיק מעמד, וכמה השפעה סביבתית תהיה לו. משוואות מתמטיות הן שמאפשרות את התחזיות האלה. המושג "לאורך החיים שלו" משמעו שאנו אוספים נתונים על המצב של הבניין בנקודות זמן שונות. אנו רוצים ללמוד על המצב של הבניין בתחילת חייו, בסוף חייו, ובנקודות שונות באמצע. איננו יכולים לחזות בדיוק את הזמן שבניין יצטרך תחזוקה מאחר שזה תלוי בגורמים רבים. הגורמים האלה כוללים מזג אוויר; כמה הבניין היה בשימוש וכמה תחזוקה אנו מבצעים [1]. אולם על ידי ניתוח נתונים רבים אנו יכולים לבצע הערכות סבירות. לבסוף, "קבלת החלטות" מתייחסת לסיבה שבגללה אנו בוחרים לערוך ניתוח מחזור-חיים. באופן טיפוס, אנו משתמשים בנתונים כדי לקבל החלטות על האופן שבו נשקיע את הכסף שלנו. אנו רוצים לדעת מתי לתקן כל רכיב. שוב, תיקונים יכולים לסייע לבנינים להחזיק מעמד זמן רב יותר, ולהפחית את השפעתם השלילית על הסביבה. אולם תיקונים הם יקרים, ובעלי בנינים רוצים למזער את העלויות שלהם.

איור 2A מראה מתי רכיב של בניין, כמו למשל הגג, בדרך כלל יתקלקל אם לא תיעשה עבודת תיקון או החלפה. הגג עובר עם הזמן ממצב טוב למצב ממוצע למצב רע. אולם דרך ניתוח מחזור-חיים, מהנדסים יכולים להעריך מתי רכיבים צפויים להיכשל. באיור 2A אנו מראים גג שנכשל אחרי כמה שנים. ערכנו את התחזית הזו על בסיס ניסיון עם הרבה בנינים, ומרבית הגגות האלה נכשלו בסביבות אותו הזמן. עם הידע הזה, אנו יכולים לתכנן פרויקטי תחזוקה ותיקון לפני שהגג נכשל לגמרי. הזמן היעיל ביותר להשקיע בתיקונים הוא לפני הִכְשָׁל [1]. מאחר שאנו יודעים מתי סביר שהגג ייכשל, איור 2B מראה תיקון שמושלם לפני זמן הכשל. התיקון משפר את מצב הבניין באופן מיידי. אחרי התיקון, הגג עדיין עובר ממצב טוב למצב ממוצע למצב רע. אולם זה קורה בזמן מאוחר יותר מאשר באיור 2A. כל מטלת תחזוקה או תיקון יכולה להגדיל את מחזור- החיים של הבניין בכמה חודשים ואפילו שנים. בסוף, מחזור-החיים של הגג התארך. נוסף על כך מטלות תחזוקה מסוימות יכולות להפחית את ההשפעה הסביבתית של הבניין. לדוגמה, אנו יכולים להחליף נורות להט ישנות בְּדִיּוּדוֹת פולטות אור יעילות וידידותיות לכדור הארץ (נורות לד). המטלה הזו תפחית את כמות האנרגיה שנדרשת להאיר את הבניין. זה גם חסכוני יותר, וגם טוב יותר לסביבה.

בואו נחשוב שוב על הבית שלכם. ההורים שלכם עשויים לנקות את התעלות בכל סתיו, ולהסיר את העלים והענפים שהם אוספים. הם יכולים לנקות את התעלות כל שבוע, אולם זה יגזול

ניתוח מחזור-חיים (Life-cycle Analysis)

דרך להסתכל על המחירים וההשפעות הסביבתיות של תיקון בניין במהלך מחזור-חיים שלם.

ניתוח (Analysis)

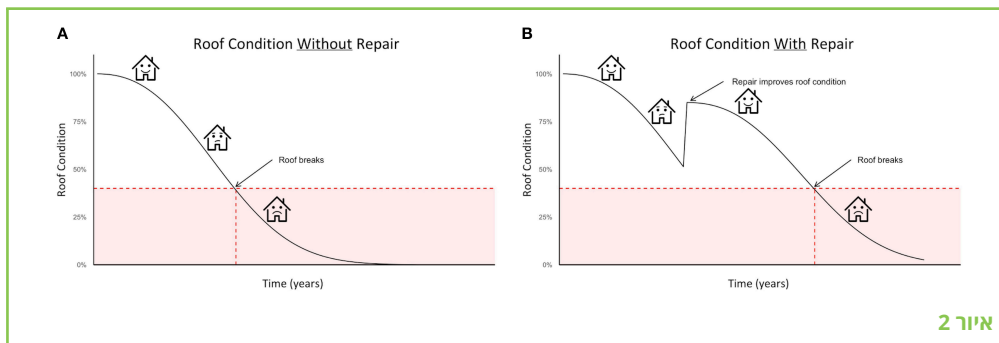
מחקר מפורט של משהו מורכב, כדי להבין כיצד הוא פועל.

מתודי (Methodical)

שעוקב אחרי סט ברור של צעדים שאפשר לחזור עליהם שוב ושוב.

איור 2

(A) אם לא מושלמים תיקונים, הבית בסופו של דבר יתקלקל. (B) אולם אם תיקונים מתבצעים לפני הַנְשָׁל, הבית יחזיק מעמד זמן רב יותר. תחזוקה ותיקונים יכולים להאריך את חיי הבית, וחלק מהתיקונים יכולים להקטין את עלויות הבית ולהפחית את ההשפעות הסביבתיות שלו.



איור 2

זמן רב. מה אם ההורים שלכם היו מחכים ומנקים את התעלות רק פעם בחמש שנים? אז התעלות היו נסתמות והגג שלכם עשוי היה לדלוף. גג דולף הרבה יותר יקר לתקן מאשר לבצע ניקוי תעלות. כמו כן, תיקון הגג ידרוש מכם להשליך רעפים, עץ ומסמרים, שזה לא טוב עבור הסביבה. הדוגמה הזו מראה שישנו זמן אופטימלי להשקיע בפרויקט תחזוקה ותיקון. ביצוע מטלות מוקדם מדי הוא בזבזני. אולם ביצוע מטלות מאוחר מדי יכול לאפשר לכמות קטנה של בעיות לגדול לבעיות גדולות ויקרות יותר. ניתוח נתונים מבניין יכול לסייע לנו להעריך מתי הרכיבים ייכשלו. אנו גם יודעים שהזמן הטוב ביותר להשלים תיקון הוא ממש לפני נקודת הכשל. זה מאפשר לנו לעשות אופטימיזציה של ביצועי הבניין וההשפעה הסביבתית שלו במחיר הנמוך ביותר שאפשרי.

מסקנות

ניתוח מחזור-חיים של בניין הוא מושג שאנו משתמשים בו כדי לדאוג לבניינים שלנו. אנו מנתחים את המצב של בניינים מחזור-חיים של במהלך מחזור-החיים שלו כדי לבחור את הזמנים הטובים ביותר להשקיע במטלות תחזוקה ותיקון. השקעה בזמן הנכון מסייעת לבניין להחזיק מעמד זמן רב יותר, ולמזער את ההשפעה הסביבתית שלו. זה פשוט עבור רכיב אחד, אולם זה יכול להסתבך במהירות. לבניינים יש מאות רכיבים, ולכל אחד יש תוחלת חיים משוערת שונה. תהליך ניתוח מחזור-חיים מספק צעדים ברורים שאפשר לעקוב אחריהם. על ידי מעקב אחרי הצעדים האלה, הבעלים יכולים להחליט מתי הזמן שהכי כדאי להשקיע בבניין שלהם.

תרומת הכותבים

JF, SS ו-AH תרמו לרעיון ולעיצוב המאמר. JF כתבה את הטייטה הראשונה של כתב היד. SS ו-AH סקרו את החלקים של כתב היד. AH סיפק את מומחיות התוכן. כל המחברים תרמו לסקירה, לקריאה ולאישור של הגרסה המוגשת.

מקורות

1. Grussing, M. N., and Marrano, L. R. 2007. "Building component lifecycle repair/replacement model for institutional facility management," in *Proceedings of the 2007 International Workshop on Computing in Civil Engineering*, eds L. Soibelman

- and B. Akinci (Pittsburgh, PA: American Society of Civil Engineers). p. 550-57. doi: 10.1061/40937(261)65
2. Medineckiene, M., Turskis, Z., and Zavadskas, E. K. 2010. Sustainable construction taking into account the building impact on the environment. *J. Environ. Eng. Landsc. Manag.* 18:118–27. doi: 10.3846/jeelm.2010.14
 3. ISO 14040. 2006. *Environmental Management–Life Cycle Assessment–Principles and Framework*. ISO 14040. International Organization for Standardization. Available online at: <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:14040:ed-2:v1:en>
 4. Bayer, C., Gamble, M., Gentry, R., and Joshi, S. 2010. *AIA Guide to Building Life Cycle Assessment in Practice*. Washington, DC: The American Institute of Architects

פורסם אונליין: 07 במרץ 2022

נערך על ידי: Anna Regoutz

מנחה מדעי: Carol Glover

ציטוט: Filer J, Schuldt S and Hoisington A (2022) מהי הדרך הטובה ביותר לטפל בבניינים? *Front. Young Minds*. doi: 10.3389/frym.2020.00028-he

Filer J, Schuldt S and Hoisington A (2020) What Is the Best Way to Take Care of Buildings? *Front. Young Minds* 8:28. doi: 10.3389/frym.2020.00028

הצהרת ניגוד אינטרסים: המחברים מצהירים כי המחקר נערך בהעדר כל קשר מסחרי או פיננסי שיכול להתפרש כניגוד אינטרסים פוטנציאלי.

COPYRIGHT © 2020 © Filer, Schuldt and Hoisington 2022. זהו מאמר בגישה פתוחה שמופץ תחת תנאי רישיון Creative Commons Attribution License (CC BY). השימוש, ההפצה או ההעתקה מותרים לשימוש בפורומים אחרים ובלבד שיינתן קרדיט למחברים (ים) המקוריים ולבעל זכויות היוצרים, ושהפרסום המקורי בעיתון זה מצוטט בהתאם למקובל באקדמיה. השימוש, ההפצה או ההעתקה אינם מותרים אם הם אינם עומדים בתנאים אלה.

סוקר צעיר

KALVIN, גיל: 8

Kalvin אוהב חיות, דרמה וריקוד. הוא נהנה ממשחקי בייסבול עם קבוצת בית הספר שלו.



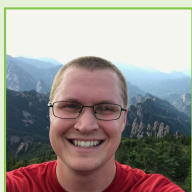
הכותבים

JAMIE FILER

Jamie Filer היא קפטנית בחיל האוויר האמריקאי, ומועמדת לתואר שני במכון הטכנולוגי של חיל האוויר. בשנתה החמישית לשירות, קפטן Filer ביצעה כמה תפקידים כמהנדסת אזרחית בבסיסים בדלאוויר,



אפגניסטן ואוהיו. המחקר שלה משתמש בניתוח מחזור-חיים כדי להעריך את ההשפעות שיש לבניינים בבסיסים צבאיים מרוחקים על הסביבה. *jamie.filer@afit.edu



STEVEN SCHULDt

Steven Schuldt הוא מייג'ור בחיל האוויר האמריקאי, וכיום הוא מלמד במכון הטכנולוגי של חיל האוויר בבסיס חיל אוויר רייט-פטרסון, אוהיו. ב-12 שנות השירות שלו, מייג'ור Schuldt ביצע כמה תפקידים כמהנדס אזרחי של חיל האוויר. הוא עבד בבסיסים צבאיים בכל רחבי העולם כולל דרום קרוליינה, אוהיו, אילינוי, אפגניסטן, טג'יקיסטן, קירגיסטן, פינלנד, שוודיה, ירדן וקוריאה. מייג'ור Schuldt מלמד ועורך מחקר בניהול בנייה, אשר כולל שימוש בניתוח מחזור-חיים כדי לקבל החלטות טובות יותר.



ANDREW HOISINGTON

Andrew Hoisington הוא סגן אלוף בחיל האוויר האמריקאי. הוא היה מהנדס אזרחי במשך 19 שנים, ונהנה מהזמן שלו בשטח ובכיתה. יש לו ניסיון בבנייה ובתחזוקה של בסיסי חיל אוויר בהוואי, בקולורדו, באוהיו, בדרום קוריאה, בפורטוגל, באוזבקיסטן, בקטאר ובאומאן. הוא לימד הנדסה באקדמיה של חיל האוויר האמריקאי ובמכון הטכנולוגי של חיל האוויר. כיום הוא הפרופסור המוביל את הלימודים של ניהול נכסי חיל האוויר, אשר כוללים כיצד לתחזק בניינים.

מוזיאון המדע ע"ש בלומפילד ירושלים
متحف العلوم على اسم بلومفيلد القدس
Bloomfield Science Museum Jerusalem



הוצאת פרונטירז מדע לצעירים ישראל
Hebrew version provided by



THE SAGOL NETWORK