

בארה"ב עשו היסטוריה: הושלם הבית הראשון שהודפס במדפסת תלת-ממד

12 שעות. זה הזמן שנדרש להקמת הבית הראשון בארה"ב שנבנה ללא פועלים, באמצעות מדפסת. זה איננו קוריוז. זו ראשיתה של מהפכה

צחי יוקב 19.01.2022 18:36

ארבעה ימים לפני חג המולד קיבלה אפריל ספרינגפילד את המפתחות. 110 מ"ר, שלושה חדרי שינה, סלון מרווח, שני חדרי שירותים וחדר ארונות. גם המראה של הבית מבחוץ טיפוסי למדי: חזית בצבע שמנת, גג תכול-אפור וארבע קורות בהירות שמפרידות בין המדשאה למבואה החיצונית. כביכול, בית כמו כל בית, אלא שכאן לא עמלו פועלים על תהליך הבנייה. במקומם עשתה זאת מדפסת תלת-ממד.

ביתם של ספרינגפילד ובנה בוורג'יניה הפך בחודש שעבר לבית המודפס הראשון שמאוכלס בארה"ב. מחקרים שונים ומשונים אמנם היו, וכך גם הדפסות ניסיוניות, אולם לראשונה משפחה אמריקאית זוכה להיכנס לבית קבע שנבנה באופן ממוחשב לחלוטין.

כשמדמיינים מדפסות תלת-ממד, עולה בדרך כלל בראש מדפסת קטנה, כזו שמסוגלת להדפיס למשרד אדריכלים דגם של התוכנית שלהם, לא את התוכנית עצמה. אלא שבשנים האחרונות המדפסות הולכות וגדלות, וכיום ישנן מדפסות-ענק שגודלן עולה על גודלם של בתים.

ישנן שתי טכניקות נפוצות להדפסת בתים: האחת מזכירה הדפסת דיו על נייר — המדפסת הענקית היא למעשה פייה שנעה על שתי מסילות, לאורך ולרוחב, ציר x וציר y. הפייה מחוברת למכל שמזין אותה בחומר בנייה — בטון, או חומרים אחרים. הפייה נעה לאורך ולרוחב הצירים על פי קובץ שהוזן למדפסת, ושופכת את הבטון שכבה על שכבה, עד שמתקבלת צורה תלת-ממדית.

בטכניקה השנייה המדפסת דומה יותר למנוף גמיש, או לזרוע רובוטית, ששופכת את הבטון בלי שהיא כבולה למסילות וצירים. הזרוע נעה באופן חופשי במרחב על פי הנחיית המחשב, בדומה לזרועות שנפוצות במפעלים בתעשיית הרכב.

הבית בוורג'יניה נבנה בטכניקה הראשונה. המדפסת נזקקה ל-12 שעות בלבד כדי לצקת את השלד כולו, שנבנה מבטון. את השאר — טיח, חלונות, חשמל, אינסטלציה וכדומה — כבר עשו פועלים בשר ודם. אולם ייתכן שגם זה רק עניין של זמן: שורה של חברות סטארט-אפ עובדות כיום על שיטות שיאפשרו למדפסת להשלים את תהליך הבנייה כולו.

בניית הבית של משפחת ספרינגפילד היא תוצר של שיתוף פעולה בין ארגון סיוע חברתי לחברת טכנולוגיה שמתמקדת בנדל"ן. השלמת הפרויקט מבשרת חיסכון מרובע — בעבודת כפיים, בעלויות, בחומר ובאנרגיה. אך נדמה כי מלבד החיסכון, בנייה ממחושבת ללא מגע יד אדם פותחת פתח לאדריכלות שהיום קשה להעלות על הדעת.

"כשהמכוניות הראשונות הומצאו הן הזכירו במידה רבה עגלות סוסים", אומר פרופ' ג'וזף פינטו דוארטה, ראש המכון לעיצוב ממוחשב באוניברסיטת פן סטייט. "האנשים שבנו אותן חיקו את מה שהם הכירו באותו זמן, ועם השנים עיצוב המכוניות התפתח. באותו אופן, אני חושב שגם הבתים המודפסים ייראו בעתיד שונה מכל מה שאנחנו מכירים עכשיו".

כדי לקבל מושג לגבי עתיד הבנייה אפשר לדמיין את הבניין החדש של מוזיאון תל אביב. הקירות מורכבים ממרובעים ומשולשים שמתחברים זה לזה בזוויות שונות. בפנים נוצרים חללים בצורות שאינן שגרתיות, עם קירות מעוקלים ומעוגלים. כדי להקים את המבנה הזה נדרשה עבודה קפדנית של בני אנוש, כמו גם הון עתק. אלא שהדפסת תלת-ממד עשויה להעניק חופש יצירתי דומה לכלל האדריכלים.

"הטכנולוגיה החדשה מספקת לנו אפשרויות בלתי-מוגבלות לעיצוב", אומר דוארטה. "אנחנו בכלל לא יכולים לדמיין אילו אפשרויות ייפתחו בפנינו. לתוכנת מחשב זה לא משנה אם אתה בונה קיר ישר או מעוקל, או אם הגג שטוח או לא. מבחינת המדפסת זו אותה עבודה, הרי היא לא חווה את הקושי שחווה קבלן שנדרש לתוכנית מורכבת. זה אומר שנהיה חופשיים מבחינת הצורות והזוויות, וזה יכול לבוא לידי ביטוי בגגות שונים, בכיפות, או בכל דרך אחרת".

"כבר היום אנחנו רואים רהיטים מדהימים שיוצרו על ידי מדפסות תלת-ממד", אומר פרופ' ג'רמי בילוטי, מרצה לטכנולוגיה ולעיצוב ב-MIT. "אלה רהיטים בצורות ובצבעים שלא ראינו קודם. אין שום סיבה שאותו תהליך לא יקרה גם עם הבתים".

לדברי בילוטי, "הדפסת בתים מאפשרת עיצוב בהתאמה אישית. אתה יכול לקבוע את רמת הבידוד בהתאם לאקלים המקומי, ולעצב את הקירות והפתחים בזוויות שיאפשרו לאור השמש להאיר את החללים הפנימיים בדרכים שונות. אם היום בתים נראים פחות או יותר אותו דבר, עם קירות ישרים, חלונות מרובעים וגג שטוח, מדפסות יאפשרו לנו לבנות חללים שאנחנו בכלל לא יכולים לחשוב עליהם".

ב-2014 הדהימה חברה סינית את ענף הבנייה בתצוגת ראווה שערכה בשנחאי. בתוך זמן קצר השלימה החברה הדפסה של עשרה בתים בגודל 200 מ"ר כל אחד. עלות הבנייה, שבוצעה על ידי מדפסות בגובה שבעה מטרים, הסתכמה ב-5,000 דולר לבית. כעבור עשרה חודשים כבר הדפיסה החברה בניין מגורים בגובה חמש קומות.

ההבדל בין ההישג הסיני לפריצת הדרך בארה"ב הוא שבווירג'יניה הבית כולו הודפס בשטח, כיחידה אחת, בעוד שבסין המבנים הודפסו בחלקים במפעל, ואז הורכבו באתר. נראה שפריצת הדרך הזאת איננה חד-פעמית: הסטארט-אפ הנדל"ני ICON מטקסס כבר מכר שני בתים מודפסים באוסטין, שטרם אוכלסו. במקביל החברה מתכננת פרויקט מגורים באוסטין שיכלול לא פחות ממאה בתים מודפסים. גם במונטנה מתכננים בימים אלה שכונה של עשרות יחידות דיור מודפסות, ושכונה קטנה יותר עומדת לקום גם בדרום קליפורניה.

אולם נראה כי הפרויקט המרשים ביותר שקם בימים אלה הוא זה שבונה ICON במקסיקו, בשיתוף פעולה עם ארגון סיוע חברתי. הפרויקט, שבנייתו הולכת ונשלמת, כולל 500 בתים מודפסים בעיר

נקאג'וקה. מדובר בבתיים קטנים, 35 מ"ר כל בית, שאמורים לספק פתרונות דיור לאוכלוסיית מצוקה מקומית. בינתיים הבתים כבר הספיקו להוכיח עמידות כששרדו כמעט ללא שריטה רעידת אדמה בעוצמה של 7.4 בסולם ריכטר.

קירק אנדרסן הוא המייסד והבעלים של חברת SQ4D, שעוסקת גם היא בהדפסת בתים. החברה כבר השלימה בניית שני בתים בלונג איילנד, ניו יורק, אך הם טרם אוכלסו. הוא בן 32, "מהנדס בכאילו", כפי שהוא מעיד על עצמו בגאווה של מהפכן שמעולם לא דרך בקולג'.

"כל מי שאומר שהוא בונה בית בכמה ימים פשוט מוכר סיפורים", מצנן אנדרסן את ההתלהבות. "זה בלתי-אפשרי. המקסימום שאני מסוגל להגיע אליו היום באמצעות מדפסת תלת-ממד זה 42% מהבנייה, שזה אומר היסודות, המעטפת החיצונית והקירות הפנימיים. המדפסת שלי מסוגלת להדפיס 50 ס"מ בטון ביום, מה שאומר שבתוך שבוע אתה גומר את הבית. אלא שאז מגיעים הגג והאינסטלציה והחשמל וכל שאר האלמנטים שהמדפסת עוד לא מסוגלת להתמודד איתם. עובדים על מדפסות שישלבו את כל האלמנטים, אבל אנחנו עדיין לא שם".

לדברי אנדרסן, עלות חומרי הגלם ששימשו להדפסה מסתכמת ב-15 אלף דולר לבית. "זה רבע מעלות חומרי הגלם של בתי עץ מקבילים. אחד היתרונות הגדולים בהדפסה הוא שאתה כמעט לא מבזבז חומרי גלם. אתה יכול לחשב מראש כמה בטון תצטרך ולהזין את המדפסת בהתאם. הכל אוטומטי ומחושב מראש. שלא לדבר על זה שאפשר למחזר את הבטון ושהמדפסת מייצרת עבודה של משאיות ומנופים".

פרופ' אהרון שפרכר מהטכניון עומד בראש המרכז לייצור מתקדם של המכון הלאומי לחקר הבנייה. שפרכר מסרב להתרשם מהדפסה של בתים שלמים בשטח, וסבור כי יש להתמקד בהדפסת חלקים במפעל והרכבתם באתר.

"אני חושב שהדפסת בית שלם היא רעיון נחמד שטוב ליחסי ציבור", הוא אומר, "אך הפוטנציאל הוא בהדפסה במפעל. המפעל מספק תנאי עבודה אידיאליים. אפשר לעבוד 24 שעות ביממה ומזג האוויר לא מעמיד קשיים. זו האופרציה הכי קלה והכי פשוטה. היום אנחנו יכולים להדפיס במעבדה מטר רץ של בטון בקצב של סנטימטר בדקה, מה שאומר שבתוך 24 שעות אפשר להשלים את כל החלקים הדרושים לבית, ואחר כך להלחים אותם זה לזה בשטח".

מבחינת שפרכר, בנייה באמצעות מדפסות תלת-ממד היא קודם כל סוגיה סביבתית מהמעלה הראשונה. "חלק ניכר מהזיהום שכרוך בבנייה בבטון נובע מהשאריות ומהתבניות שאנחנו יוצרים כדי לצקת לתוכן. ברגע שאתה משתמש במדפסת אתה לא זקוק לתבניות, וגם אין שאריות כי מזרימים למדפסת כמויות מדויקות. ההערכה היא שהדפסת בית מבטון תחסוך 30% מכמות הבטון שיצריך אותו בית בבנייה רגילה".

סיבה נוספת לחיסכון בבטון היא אופן ההדפסה. "קירות בטון מודפסים הם קירות חלולים", הוא מסביר. "המדפסת מדפיסה שתי שורות מקבילות של בטון וביניהן אוויר. כך מדפיסים פחות חומר, ובין לבין אפשר להתקין חומרי בידוד ומוטות ברזל שתומכים בבטון. אבל היום כבר יש שיטה יותר יעילה

מבטון מזוין במוטות — מדפיסים בטון עם סיבים שמחזקים אותו, בדרך כלל מזכוכית, והתמיכה של המוטות מתייתרת".

להדפסת בתים יש יתרון סביבתי נוסף — היא מאפשרת שימוש מגוון בחומרי גלם מקומיים. "זה דבר שכבר קורה", אומר פרופ' שפרכר. "זו פרדיגמת הבנייה החדשה, כחלק מהצגת פתרונות להתחממות הגלובלית. אם אנחנו רוצים לבנות היום בית בדרום הארץ, אנחנו יכולים לעשות את זה באמצעות מדפסת ותערובת שכוללת חול ואגרגטים שמצויים באזור מצפה רמון. ככה אתה גם בונה מחומרים אורגניים, גם נמנע משימוש בחומרים כימיים רעילים וגם חוסך את השינוע של חומרי גלם במשאיות מזהמות".

מה צופן העתיד לענף הבנייה? האם אנחנו קרבים ליום שבו מדפסות־ענק יציפו את אתרי הבנייה ויחליפו את הפועלים האנושיים? לפי פרופ' דוארטה מֶפֶן סטייט, "אפשר להשוות זאת למכונת החשמלית. זה התחיל לאט, והיום מכונות חשמליות נפוצות בכל מקום. אם הייתי צריך להעריך, הייתי אומר שבתוך 15 שנה שיעור משמעותי מהבתים, בסביבות 20%, כבר ייבנו באמצעות מדפסות. משם זה רק ילך ויגבר עד שבתוך 50 שנה רוב הבתים כבר יודפסו".

פרופ' בילוטי מ-MIT מרחיק לכת עוד יותר. "אני בהחלט רואה את ענף הבנייה עובר תהליך מואץ של אוטומטיזציה. אני חושב שאנחנו מתקרבים לעידן שבו 99% מתהליך הבנייה יהיה ממוחשב".

לפי אנדרסן, מייסד הסטארט־אפ שבונה בלונג איילנד, ככל שיחלוף הזמן מדפסות יוכלו להדפיס מבנים יותר ויותר גדולים. זה יקרה לא בשיטה של מדפסות־ענק שמוגבלות לצירי אורך ורוחב, אלא בשיטה של זרוע רובוטית שמתאפיינת בתנועה גמישה. למעשה כבר היום אפשר לראות זרועות שיכולות להגיע לגובה של שבעה מטרים, ובתחום מעריכים שלא ירחק היום שהן יוכלו להדפיס בגבהים מרשימים יותר, באמצעות מנופים או הגבהות שיישאו את בסיס הזרוע.

ואם כבר מדפיסים שכונה שלמה, ובעתיד זרועות רובוטיות יוכלו להדפיס מגדלים, אפשר להפליג בדמיון ולהעלות על הדעת הדפסת אזורים אורבניים שלמים ואפילו מגורים בחלל. למעשה, בנאס"א חשבו על זה קודם. לפני שלוש שנים אירגנה סוכנות החלל האמריקאית תחרות בינלאומית להדפסת צורות מגורים עתידניות על אדמת מאדים. פרופ' דוארטה זכה במקום השני. "פיתחנו שיטה שמאפשרת להדפיס בתים באמצעות תערובת מחומרי גלם שמצויים במאדים", אומר דוארטה. "סלעים, חול ואגרגטים שונים. כמו שכבר היום משתמשים בחומרי גלם מקומיים וחוסכים שינוע, הדפסת בתים מאדמת מאדים עשויה לפתור קושי יסודי ביציאת האדם לחלל".