

במהלך המלחמה, כשהילדים טיפוּ סו על הקירות בבית, הורים רבים רצו ללכת לשטחים ציבוריים פתוחים, מספר פרופ' ניר מועלם על חוויה שלמרבית הצער מוכרת היטב לישראלים רבים. "אבל כל גינה ציבורית שפותחה ב-30 שנה האחרונות חסה רה מקלט. פתאום, עיריית רמת השרון הודיעה שהיא הסבה חצי קומת חניון כביג גלילות לגן שעשועים וזה היה מצוין". לדברי מועלם, ראש המרכז לחקר העיר והאזור בטכניון, יור מה כזאת, ואחרות דומות לה, נותנת אוויר לנשימה לתושבים. פעילות פנאי לילדים במתחם מוגן מתחת לאדמה יכולה להיות פתרון נקודתי שיקל על משפחות בזמן חירום, אבל מה אם אפשר יהיה להרחיב את השימוש בתת-הקרקע להרבה מעבר לזה, גם בזמן שגרה?

מתקפות הטיילים על ישראל במהלך שלוש השנים האחרונות הפיחו דיון ציבורי ומקצועי בשאלה כיצד ראוי לספק מיגון לאזרחי המדינה – האם על ידי בניית ממ"דים או על ידי פיתוח רשת של מקלטים? כמה אנשי מקצוע חושבים ששתי האפשרויות לא טובות דיין ומציעים רעיון מהפכני – בניית מפלס תת-קרקעי קעי של רחובות במרכזי האוכלוסין. לדבריהם, מלבד מיגון לאזרחים, מפלס כזה יאפשר שינוע של אספקה ותנועה של תושבים ממקום למקום בעתות משבר, וכך ניתן יהיה לקיים תנועה רציפה גם תחת מתקפת טילים. בכך, המפלס התת-קרקעי יאפשר למשק להמשיך לתפקד במידת מה ויפחית את היכולת לפגוע בכלכלת ישראל בזמן מלחמה.

הסכנה הגדולה שההסתמכות על ממ"דים

טומנת בחובה התממשה בטבח 7 באוקטובר. הממ"דים אמנם מגינים – ויוצרים תחושת הגנה – מפני איום של טילים, אך בפועל, בשעת סכנה כניסה לממ"ד מרתקת אליו את יושביו עד יעבור זעם. בתרחיש הבלהות שהתממש בנגב המערבי, פלישה קרקעית לוכדת את האזרחים בממ"דים ומאפשרת לאויב להגיע אליהם. במלחמה מול איראן התברר כי הממ"ד אינו מספק הגנה מוחלטת כאשר הוא סופג פגיעה ישירה של טילים כבדים, ובמקרה של שריפה שיכור לה להיגרם מפגיעת טיל – אין מהם מילוט.

להבדיל מהממ"דים, המקלטים יכולים לייצור הגנה לטווח רחב יותר של איומים אם מותקן בהם הציוד הדרוש – שמגן למשל מפני איום

של מתקפה כימית או ביולוגית ומפני שריפה וחנק. לרוב הם גם נמצאים במרחב תת-קרקעי שיותר קשה לטיל לחדור אליו או לכוון עוין לפרוץ אותו. ואולם גם המקלט מרתק את האזרחים לחלל מסוים.

לעומת זאת מפלס רחובות תת-קרקעי מאפשר תנועה ממקום למקום בצורה בטוחה. אנשים יכולים להמשיך את שגרת יומם ברמה מסוימת – למשל להצליח להתנייד עד מקום עבודתם ולהגיע למוסדות לימוד, בתי חולים או לכל מוסד ושירות שנחוץ להם וקרוב לתוואי הרשת התת-קרקעית. בנוסף, היכולת לשנע אספקה תאפשר למוסדות חיוניים כמו בתי חולים וחדרי ניות שמוכרות מזון לתפקד וגם לעסקים רבים

להמשיך לפעול ובכך המשק לא ייעצר לגמרי. גם אם לא כל המרחב העירוני יהיה בעל מפת תת-קרקעי אלא רק רחובותיו הראשיים – המומחים טוענים כי רשת תת-קרקעית כזאת תשפר פלאים את היכולת להניע ציוד ובני אדם בצורה בטוחה במרכזי אוכלוסין בשעת חירום.

כרו כבר דברים מעולם

אם הרעיון הזה נשמע בדיוני, אנשי המקצוע שתומכים בו מציעים להתבונן על מספר דוגמאות בעולם שבהן תת-הקרקע מנוצל באופן דומה. בפינלנד למשל, מדינה שמתוקף קירבה תה לרוסיה ועל סמך ההיסטוריה שלה נערכת זה שנים למתקפה נוספת של שכנתה מזרח, שאוכלוסייתה גדולה משלה פי 25 – נבנתה רשת בונקרים שיכולה לספק הגנה לאזרחים. המתחמים האלה, שמכילים תשתיות חיוניות לשעת חירום ומבני ציבור, מספקים שירותים גם בזמן שגרה. בבירה הלסינקי יש רחובות תת-קרקעיים שבהם אפשר למצוא חנויות, בריכת שחייה אולימפית, כנסייה גדולה ואף מוזיאונים. בסך הכל, יש בעיר הבירה הפינית כ-5,500 מקלטים שיכולים לספק מחסה ל-900 אלף תושביה. המדינה הסקנדינבית מתמודדת גם עם מזג אוויר קיצוני ושעות חושך ארוכות בחורף, והרר חובות התת-קרקעיים מספקים מרחבים ציבוריים מוארים עם מזג אוויר נעים.

מדינה נוספת שמצאה בתת-קרקע מרחב בטוח מפני רוסיה היא אוקראינה. במהלך המלחמה ספגו האוקראינים אבדות כבדות בעריהם, והמדינה הסיטה שירותים חיוניים כמו בתי חולים ובתי ספר אל מתחמים מתחת לאדמה.

פתרונות עומק

השהות במקלטים וממ"דים שיבשה את חייהם של ישראלים רבים, גרמה נזק כבד לכלכלה ולא תמיד סיפקה מיגון ראוי. אנשי מקצוע מציעים פתרון מהפכני: מפלס תת-קרקעי במרכזי אוכלוסין שיצמצם את הפגיעה בשגרת החיים בחירום, ועל הדרך ישנה רדיקלית את פני העיר – ואת מה שמתחתם

איתמר ששון



חניון הבימה בתל אביב בזמן מתקפת טילים איראנית על ישראל, במרץ. האם מרחב עירוני תת-קרקעי יכול למנוע שיתוק טוטאלי של המשק בעת חירום? צילום: תומר אפלבוים



בריכת שחיית אולימפית תת־קרקעית בהלסינקי, בירת פינלנד. מקלט ממתקפה רוסית – ומהקור הסקנדינבי העז צילום: Vesa Laitinen\NYT

כמה עולה לרדת למטה

עלות וגודל מיזמי מנהור ותת־קרקע גדולים בישראל

מנהרות הכרמל

1.25 מיליארד שקל, 6.7 ק"מ

הקו האדום של הרכבת הקלה בגוש דן

שתי מנהרות מקבילות באורך של 12 ק"מ, עומק של 20 מטר

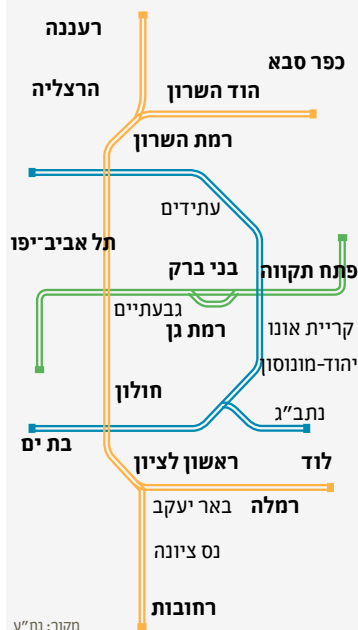
הקו הירוק של הרכבת הקלה בגוש דן

שתי מנהרות מקבילות באורך של 4.6 ק"מ

המטרו בגוש דן

183 מיליארד שקל, 180 ק"מ, מתוכם 130 ק"מ של מנהרות כפולות

מפת קווי המטרו המתוכננים



תחנת רכבת נבון בירושלים

400 מיליון שקל, 80 מ' עומק, 60 אלף מ"ר

הארכת מסילת הרכבת בירושלים ובניית שתי תחנות חדשות

4-5 מיליארד שקל, 5.3 ק"מ, עומק של עד 80 מטר. תחנה אחת בשטח של 70 אלף מ"ר ושנייה בשטח של 75 אלף מ"ר

מערכת המים החמישית לירושלים

2.5 מיליארד שקל, 13 ק"מ בקוטר של 4 מטר ועומק של עד 300 מטר

מנהרות עולם – מנהרות הקבורה בהר המנוחות בירושלים

300 מיליון שקל, 1.6 ק"מ, בגובה וברוחב של כ-16 מטר, הפיר המרכזי בעומק של 50 מטר. יכילו 24 אלף קברים

מתחם כיסופים

מתחם תת־קרקעי בבית החולים איכילוב שמכיל 10 חדרי ניתוח 100 מיליון שקל, 3,400 מ"ר

קו הביוב המזרחי של השפד"ן

100 מיליון שקל, 12 ק"מ

בתנאים לא אופטימליים. אין בו, למשל, מערכת אוורור טובה דיה שהכרחית למניית עת הדבקה והתפשטות של מחלות, אין הפדדה בין חדרים, וחסרות בו תשתיות קבועות שנחוצות לחדרי טיפול.

המתחם התת־קרקעי השני מספק מענה למצוקת המקום של בתי הקברות בירושלים. בית העלמין "הר המנוחות" ככניסה לבירה חנך ב-2019 פרויקט של 24 אלף קברים בבטן האדמה. חללי הקבורה נמתחים לאורך 1.6 ק"מ, בגובה וברוחב של 16 מטר. עלות הפרויקט נאמדת ב-300 מיליון שקל.

היכולת ליצור רציפות תפקודית בתת־הקרקע מתאפשרת על ידי כריית מנהרות. לא מעט מיזמי כרייה תת־קרקעיים בוצעו בישראל, והחדשים שבהם בוצעו בעזרת הטכנולוגיות ההנדסיות המפותחות ביותר בתחום זה.

למשל, תושבי ירושלים והמבקרים בה כבר התרגלו לרדת כ-80 מטר אל בטן האדמה כדי להגיע לתחנת רכבת נבון, מתחם שגודלו 60 אלף מ"ר ומאז 2018 מחבר את הבירה לתחנות הרכבת בתל אביב בנסיעה של פחות משעה. עלות בניית התחנה נאמדת ב-400 מיליון שקל, ובימים אלה מתחלת להולכי הרגל במרכז ירושלים התחילו לחפור שתי תחנות רכבת נוספות ומנהרה למסילה שתחבר בינן ובין תחנת נבון. עלות שתי התחנות והמנהרה נאמדת ב-4.7-5 מיליארד שקל. המנהרה צפויה להיות באורך של 5.3 ק"מ ושתי התחנות יהיו גדולות יותר מתחנת נבון – תחנת החאן תהיה בגודל של 70 אלף מ"ר ותחנת ירושלים־מרכז בסמוך לכיכר הדודיקה – 75 אלף מ"ר.

עוד מיזם ענק ומוכר יותר הוא המטרו בגוש דן, שבמסגרתו צפויים להיחפר כ-150 ק"מ של מנהרות – מתוכן 130 ק"מ של מנהרות כפולות – ולהיבנות 109 תחנות, מתוכן 59 תת־קרקעיות בעלות של 180 מיליארד שקל. את יצירת המנהרות בשני מיזמי הענק האלה צפויות לבצע מכונות לכריית מנהרות (TBM – Tunnel Boring Machine). בשל גודלן ומשקלן, המכונות, שגם כך יקרות, מורכבות באתר הכרייה עצמו – מה שמרסיף למורכבות ולעלות השימוש שבהן. לשם המחשת גודלן, בפרויקט המנהרות של הרכבת לירושלים הורכבו שלוש מכונות TBM. הן היו עם ראש בקוטר של כ-10 מטר, אורך של יותר מ-100 מטר, משקלן של כל אחת היה 1,800 טונה וקצב ההתקדמות הממוצע שלהן היה 8-10 מטר ביום.



ילדים בבית ספר תת־קרקעי בזפרייז'ה, אוקראינה, בתחילת החודש. צילום: Jędrzej Nowicki\NYT

שתי מדינות שכנות לרוסיה מוצאות מתחם לאדמה מרחב בטוח מפני האיום שמציבה מוסקבה: בפינלנד, מקלטים תת־קרקעיים משמשים גם כבריכות שחייה, כנסיות ומוזיאונים; באוקראינה, שירותים חיוניים כמו בתי חולים ובתי ספר הוסטו אל מתחמים מתחת לקרקע

גם בקנדה, שמתמודדת עם חורפים קרים יש שתי ערים שידועות בניצול המרחב התת־הקרקעי שלהן. בטורונטו – שבה בשיא החורף יש כ-15 שעות חושך וטמפרטורה ממוצעת של מינוס 1 במהלך שעות היום – יש רשת תת־קרקעית של רחובות. הרשת נקראת PATH, אורכה כ-30 ק"מ, ושטחה 371.6 אלף מ"ר – כמו 52 מגרשי כדורגל. הרשת מאפשרת לנוע לאורך ולרוחב מרכז העיר, והיא מחוברת לשש תחנות רכבת תחתית ול-125 נקודות שמקשרות אותה לעיר העלית. יש בה יותר מ-1,200 עסקים והמסחר בה מסתכם ב-1.7 מיליארד דולר קנדי (1.23 מיליארד דולר אמריקאי) בשנה. גם במונטריאול יש רשת רחובות תת־קרקעית שנקראת RESO, שאורכה 32 ק"מ ומכילה גם היא בתי עסק רבים.

עוד עיר שפתרה צורך דחוף בעזרת ניצול תת־הקרקע היא סינגפור. בעיר־מדינה בדרום־מזרח אסיה יש יותר מ-8,000 נפש לקמ"ר – המדינה השלישית הכי צפופה בעולם – והיא עושה שימוש בתת־הקרקע למחסנים ומאגרי ענק. אלה משמשים בתי עסק, אך גם כמאגרי מים מדינתיים שמאחסנים מי שתייה, תחמושת ואספקה לשעת חירום. בין המחסנים בתת־הקרקע יש רשת של חיבורים, ולצדה קיימת מערכת הסעת המונים מפותחת וחניונים לכלי רכב.

כאן חופרים

היכולת לבנות חללים תת־קרקעיים גדולים בישראל קיימת. ראייה לכך אפשר למצוא בשני מתחמים כאלה, שונים מאוד



מימין: מנהרת מסילת הרכבת בין ירושלים לתל אביב; משמאל: בניית מתחם הקבורה התת־קרקעי בהר המנוחות בכניסה לירושלים צילומים: מוטי מילרוד וגיל כהן מנן

הלשכה המרכזית לסטטיסטיקה (למ"ס), אוֹכ־לוסיית ישראל, שכיום מונה כ-10 מיליון תושב־בים, צפויה לצמוח בשנת 2050 ל-15.7 מיליון תושבים, ועד 2065 יחיו בה 18.5 מיליון תושב־בים. משמעות הדבר היא שהמדינה חייבת לה־דבִּיק את קצב גידול האוכלוסייה הזה מבחינת כל התשתיות שמאפשרות חיים מודרניים — מביוב, חשמל ותקשורת עד בתי חולים, בתי ספר ותשתיות תחבורתיות.

גם אם המדינה הייתה עומדת בקצב — והיא לא — ברבים מתחומים אלה המבט לעתיד מדאיג מאחר שהיכולת לבנות תשתיות מבוססת על הקצאת הקרקעות לשימושים השונים שמת־מעטים והולכים ברחבי המדינה, וביתר שאת במרכזי האוכלוסין.

תוכניות שיאפשרו לצופף את ערי ישראל או בנייה באזורים חדשים יספקו מענה לא־תגר גידול האוכלוסייה עד לנקודה מסוימת. הציפוף הוא קריטי לשמירה על אזורים פתו־חים שחשובים עבור הסביבה, הטבע והחי, וגם יוצר הזדמנויות לכלליות וחברתיות. הוא מא־פשר ייעול במתן שירותים לאזרחים, לצד הזדמנויות לגיוון גדול יותר של עסקים, שירותים ומוסדות תרבות, אקדמיה וממשל. כל מה שיוצר עירוניות טובה.

אבל ציפוף דורש העמקת תשתיות. אם אלה יוקמו במפלס התת־קרקעי, אפשר יהיה להב־טיח שהעיר תוכל להמשיך ולצמוח בלי למ־צוא את עצמה עם תשתיות שקורסות מהעומס.

בית ספר למנהור

אחד האתגרים הגדולים בתכנון פרויקט בתת־הקרקע הוא חוסר הוודאות הכרוך בש־לב הביצוע שלו, שכן כל כרייה וחציבה מולי־דה מפגש עם קרקע מסוג אחר, שניתן לחזות ולשער את מאפייניה עד רמה מסוימת בלבד, כך מסביר עומר קאופמן, מהנדס אזרחי המת־מחה בתחום המנהור. חוסר הוודאות התכנו־ני מקשה על תמחור העלויות והערכת הזמן הדרוש לכרייה. לדברי קאופמן, ההערכות הן שהעלות של כריית מטר אחד בעזרת TBM היא 200-300 אלף שקל. לכך יש להוסיף את העלויות של שאר שלבי הבנייה שבאים לא־חר חציבת המנהרה. שתי תעשיות ענק יכולות



חדרי ניתוח תת־קרקעיים בבית החולים איכילוב בתל אביב צילום: ג'ני ירושלמי/דוברות איכילוב

כיצד ירושלים הייתה נראית עם מערכת של רחובות תת־קרקעיים באורך של כ-32 ק"מ — הוזה לזו שיש במונטריאול. מרחק כזה היה מכסה את רשימת הרחובות הבאים: דרך חב־רון, דרך יפו, קינג ג'ורג', הנביאים, דרך עזה, בן יהודה, בר־אילן, אגריפס, הרצל, ממילא, אג־רון, שדרות גולדה מאיר, שדרות חיים בר־לב, קרן היסוד, רמב"ן והנרייטה סולד.

בתל אביב לדוגמה, היה ניתן לכסות עם 32 ק"מ את רשת הרחובות הבאים: אבן גבירול, די־זנגוף, ארלוזורוב, שדרות רוטשילד, שדרות בן גוריון, סלמה, יפת, דרך חיים בר־לב, איינש־טיין, דרך נמיה, שדרות ירושלים ויהודה הלוי.

עיר של מטה

כפיר מציג עוד יתרון למפלס התת־קרקעי — הוא יאפשר להסדיר גישה נוחה וסדורה לכל תשתיות העיר, כגון מים, חשמל, ביוב ותקשורת. כבר היום מרבית התשתיות טמונה בתת־הק־קע, אבל לדברי כפיר, התשתיות האלה מונחות כיום טלאים־טלאים, ומפלס תת־קרקעי יחסוך את העלויות של הגישה אליהם בעת הצורך, ושל תחזוקתם.

הטיעון הזה חשוב במיוחד בשל משבר צפ־פות האוכלוסין בישראל. לפי הערכות של

ראיה ליכולת הישראלית לבנות חללים תת־קרקעיים ניתן למצוא בשני פרויקטים שונים מאוד בתכליתם: בבית החולים איכילוב הוקם מתחם המכיל 25 חדרי ניתוח שיוכלו לתפקד בעתות חירום, ובהר המנוחות בירושלים נבנה פרויקט של חללי קבורה בבטן האדמה

התת־קרקעי יאפשר מרחבים ציבוריים שבאופן טבעי הטמפרטורה בהם מתונה יותר, אלא שגם בשטח העילי שיתפנה יהיה ניתן לקדם פתור־נות אקלימיים כמו יער עירוני, הפחתת האספלט שצובר חום והקצאת שטחים מסוימים לקרקע פתוחה שמהותית למניעת שטפונות.

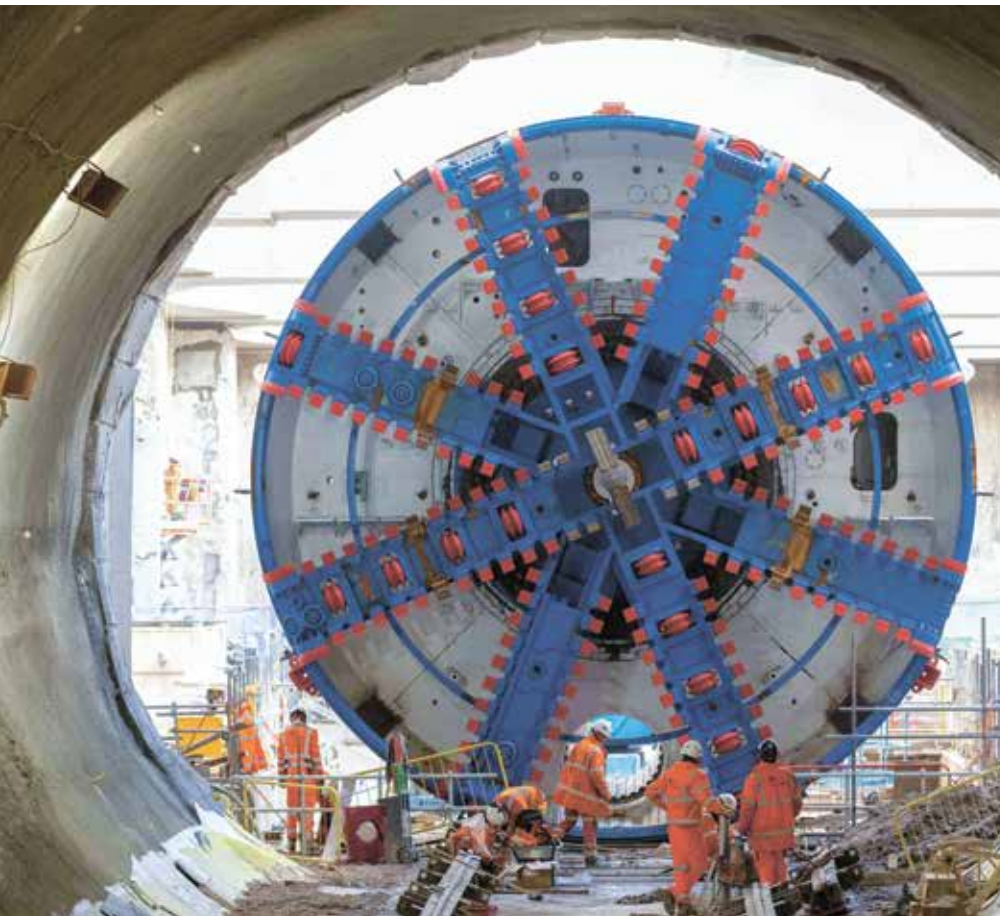
היתרונות של מפלס תת־קרקעי יכולים לה־תממש גם על סמך בנייתו מתחת לחלק מר־חובות עיר, ולא מתחת לכל רחובותיה. דמיינו

▶▶ היתרון במכונת ה-TBM הוא שביכול־תה לחפור מנהרה תוך שימור צורתה, דבר שמ־קל על שלבי הבנייה לאחר הכרייה — שכוללים דיפון, התקנת תשתיות וגמרים. בנוסף, היא מס־פקת מענה גם לפינוי העפר מעומק המנהרה עד לנקודה מסוימת, ומייעלת את תהליך הכרייה לעומת שיטות הכרייה הנוספות המקובלות — חפירה ו-D&B (קידוח ופיצוץ), שבה קודחים חללים ומפוצצים בהם חומרי נפץ. בשיטה זו כרו בישראל, למשל, את מנהרות הכרמל. שי־טות אלה כוללות אתגרים הנדסיים ובטיחותיים רבים ולכן כיום מרבית מיזמי הענק בתחום הכ־רייה נעשים בשיטת TBM.

בישראל, מכונות ה-TBM כרו גם מנהרות בפרויקט הרכבת הקלה בגוש דן (שתי מנהרות מקבילות באורך 24 ק"מ בקו האדום, ושתיים נוספות של 4.6 ק"מ בקו הירוק); בקו הביוב המזרחי של השפד"ן נכרו 12 ק"מ בעזרת מכר־נת כרייה קטנה יותר ועלות הפרויקט נאמדה ב-100 מיליון שקל; מערכת המים החמישית של ירושלים נכרתה גם היא בעזרת מכונת כרייה קטנה יותר בקוטר של 4 מטר, אורכה של המנה־רה 13 ק"מ ועלותה נאמדה ב-2.5 מיליארד שקל.

הפוטנציאל שטמון לנו מתחת לרגליים

יהודה כפיר, מהנדס תשתיות שמוזה שנים מתריע בצורך ליצור מיגון המוני במרחב התת־קרקעי בישראל, מציג חזון גדול יותר למפלס התת־קרקעי. לדבריו, בניית מפלס נוסף לרחו־בות עשויה לחולל שינוי רדיקלי בפני העיר. ני־תן יהיה להעתיק אל תת־הקרקע תשתיות שכיום תופסות מקום נכבד ברחוב העילי, בין השאר תשתיות תחבורה. השינוי הזה יאפשר פיתוח עירוני כמו הפיכת חלקים רחבים מהרחובות לגינות ציבוריות, עיצוב רחובות מוצלים וני־צול גישים להולכי רגל ולרוכבי אופניים, וניצול שטח נוסף למסחר, מוסדות ציבוריים ולמגורים. כפיר אומר כי הבנייה במרחב התת־קרק־עי למעשה תיתן מענה לשלוש בעיות בו־עורות בישראל שעתידות להחריף: התגוננות מפני מגוון איומים ביטחוניים, התמודדות עם מש־בר האקלים וחלק מהותי מהפתרון לבעיית צפיפות האוכלוסין. לדבריו, לא רק שהמפלס



מפלצת חפירה
 :TBM - Tunnel Boring Machine
 מכונה לכריית מנהרות

יכולות: מכונת מנהור בעלת ראש עגול. בעלת יכולת פינוי של חומרי הכרייה בעזרת מערכת להובלתם לאורך המנהרה שנחפרת עד פתחה
גודל: קוטר ראש: 1-17.6 מטר
אורך: כ-100 מטר
קצב חפירה ממוצע: 8-10 מטר ביום
משקל: 5,000-900 טונה
יתרון: שומרת על דפנות המנהרה, דבר שמקל על שלבי הבנייה בתוך המנהרה
עלות: 200-300 אלף שקל למטר
חיסרון: עבור כל פרויקט יש להרכיב מחדש את המכונה – פעולה הנדסית מורכבת ויקרה
 מלבד ההרכבה, גם הובלת המכונה היא יקרה. בשל כך, רק עבור פרויקטים גדולים יעיל לעשות בה שימוש
פרויקטים שנעשו בשיטה זו בארץ:
 קו הביוב המזרחי של השפד"ן, הקו האדום והירוק של הרכבת הקלה בתל אביב, קו הרכבת לירושלים ומערכת המים החמישית לירושלים



מכונה לכריית מנהרות בפרויקט של תשתיות תחבורה בלונדון, 2023 צילום: Hollie Adams/בלומברג

“המדינה הסירה אחריות”

לפני הכל כפיר מאמין שהתחום יקבל זי-נוק דרמטי ככל שתהיה ודאות ליוזמים בדבר היתכנות לפרויקטים רבים בישראל בתת-הקרקע. לדבריו, פרויקטים תת-קרקעיים דורשים ניסיון, ידע, מיומנות וכלים יקרים. עבור יוזמים בתחום זה ובתחומים משיקים לו, ההשקעה בכל אלה תשתלם אם ידעו שצפויים עוד מיזמים גדולים בישראל. “צריך צבר פרויקטים להרבה שנים קדימה כדי שיהיה כדאי להם להיכנס לתחום. המדינה יכולה ליצור ודאות על ידי קביעה שבתוך חור לים ובתי ספר ייבנו עם מפלס תת-קרקעי, או להכריז שהיא מתכננת לבנות מקלטים המוניים תת-קרקעיים”, הוא אומר.

פרופ' מועלם מהטכניון מתאר בהקשר זה את אוזלת ידה של המדינה, שלדבריו אימצה את הפרדיגמה שמעדיפה “ממ”דים על פני מק”לטים. “כיום, כשבונים שכונה חדשה אין חור בה לבנות מקלטים. המקלטים שאנחנו רואים הם המורשת של שנות ה-60 עד שנות ה-80, שאחריהן היה מהפך הממ”דים – שבו בפועל הופקעה האחריות למיגון וחי האזרחים מהמדינה אל השוק החופשי”, אומר מועלם. לדבריו, “בניית ממ”דים היא קונספציה מוטעית – היא לא יכולה להיות הפתרון היחיד להגנה על האוכלוסייה האזרחית, והיא לא מאפשרת מפגשים ציבוריים בכלל”.

מועלם מציג את תמ”א 40, תוכנית המיתאר הארצית לבנייה בתת-הקרקע, כחלק מתהליך מתמשך שבו המדינה מסירה אחריה: “תמ”א 40 מאפשרת לרשויות המקוריות לבנות מרחבים ממוגנים בתת-הקרקע אבל לא מחייבת אותן לעשות את זה – כלומר המדינה הסירה מעצמה את האחריות למיגון של תושביה”. מועלם טוען כי “המדינה לא חושבת אסטרטגית. המלחמה הבאה – עוד חמש שנים, אולי עוד 50 שנה – תהיה אפילו יותר קטלנית ומסוכנת וממ”דים בלבד לא יעזרו. שינוי התפיסה עדיין לא קרה.” ■



צילום: חיים זינגר, הטכניון

פרופ' ניר מועלם, הטכניון:
“תמ”א 40 מאפשרת לרשויות המקומיות לבנות מרחבים ממוגנים בתת-הקרקע אבל לא מחייבת אותן לעשות את זה. המדינה לא חושבת אסטרטגית. המלחמה הבאה תהיה אפילו יותר קטלנית ומסוכנת וממ”דים בלבד לא יעזרו. שינוי התפיסה עדיין לא קרה”

לא יבצבו בצדי הפרויקטים האלה. כך למשל, מסילות רכבת וכבישים דורשים הרבה עפר וכך גם מאגרי מים ובניית שכונות. כפיר מציע לה שוב בגדול ולראות בכך הזדמנות. לדבריו, צבר של מיזמי תת-קרקע יכולים לאפשר לנצל את העפר ליצירת איים מלאכותיים או להרחבת היבשה. רעיון זה לא חף מבעיות, אך יכול גם הוא לספק מענה מסוים לצורך בקרקע לבנייה במרכז הארץ.



צילום: אייל טוגא

לפי מהנדס התשתיות יהודה כפיר, המפלס התת-קרקעי יאפשר מרחבים ציבוריים שבאופן טבעי הטמפרטורה בהם מתונה יותר. גם בשטח העילי שיתפנה יהיה ניתן לקדם פתרונות אקלימיים כמו יער עירוני, הפחתת האספלט שצובר חום והקצאת שטחים לקרקע פתוחה למניעת שטפונות

שצפויים להיחפר עבור המטרו בגוש דן ייצור יותר מ-45 מיליון מ”ק של עודפי עפר – ופי-נוי שלהם ידרוש לפחות 4.5 מיליון הסעות של משאיות סטנדרטיות. כמות זו של עפר יכולה למלא 18 אלף בריכות אולימפיות – יותר מכפליים נפח האשפה שהצטבר לאורך השנים בחירייה.

כמובן שמיזמי ענק יציפו את השוק, ולכן יש צורך להיערך לכך מראש כדי שתלי ענק

להוביל לפריצות טכנולוגיות שישנו לחלוטין את העלויות והזמן הכרוכים בכרייה, ולהקפיץ את איכותה, לדבריו. הראשונה היא תעשיית החלל שמקדמת מיומים של מכונות מיני מי-קרו-טאנלינג אוטונומיות – מתוך כוונה לה-טיס אותן לחלל לכריית מרבצים או יצירת חללים תת-קרקעיים שיאפשרו לבנות מרח-בים מוגנים בתנאי קיצון. התעשייה השנייה היא תעשיית הדיפנסטק, שקרב השווחות בש-דות הקטל באוקראינה גורם לה לתור אחר כל דרך להשיג יתרון בשדה הקרב רווי הרחפנים, שבו לא ניתן להיחשף מעל פני השטח ק”מ רבים מהקו הקדמי של האויב.

התחום שבו עוסק קאופמן הוא מיני מי-קרו-טאנלינג – שיטת קידוח אופקי, בדומה ל-TBM, אך של מכונות קטנות יותר, של-רוב משמשות להנחת צינורות. הסטארט-אפ שלו, סוליד-פיס, מפתח יכולת להעביר מי-דע לטובת חפירה אוטונומית בתת-קרקע ולה-עביר מידע אונליין של מאפייני הקרקע וסוג המחצב שבו הוא חופר, בלי לעצור את העבודה. כפיר וקאופמן מקדמים בימים אלה את הק-מתו של בית ספר ייעודי למקצועות המנהור ב-ישראל. לדבריו כפיר, זו יוזמה “שנועדה להכשיר את הדור הבא של המהנדסים ואנשי המקצוע המקומיים, ולהבטיח שלישראל תהיה התש-תית האנושית וההנדסית הנדרשת לכיצוע מי-זמי ענק תת-קרקעיים”.

בנייה בתווך התת-קרקעי דורשת שמירה קפדנית על יציבות המפלס שמעליו, כלומר של פני הרחוב – מה שמוביל לאתגרים הנדסיים ועלויות כלכליות. כמו כן, המפלס התת-קרק-עי חייב יהיה לעמוד ברגולציה שתמנע קריסה או הצפה שלו תחת תנאי קיצון ותבטיח פתחי אוורור ומילוט. לדבריו קאופמן, התקן המקור-כל כיום בישראל של קבלנים שכורים מנהרות וחללים תת-קרקעיים הוא ל-100 שנות הת-חייבות (שאחריהן ייתכן והמבנים התת-קרק-עיים ידרשו חיזוק). בעוד ההתחייבות המקובלת בבנייה לגובה היא ל-50 שנה. לדבריו, כרייה ובנייה מדויקת מבטיחה את שרידותו של מת-חם תת-קרקעי.

בעיה נוספת היא כמות העפר שיש לפ-נות בפרויקטים כאלה. לשם הדוגמה, 150 ק”מ