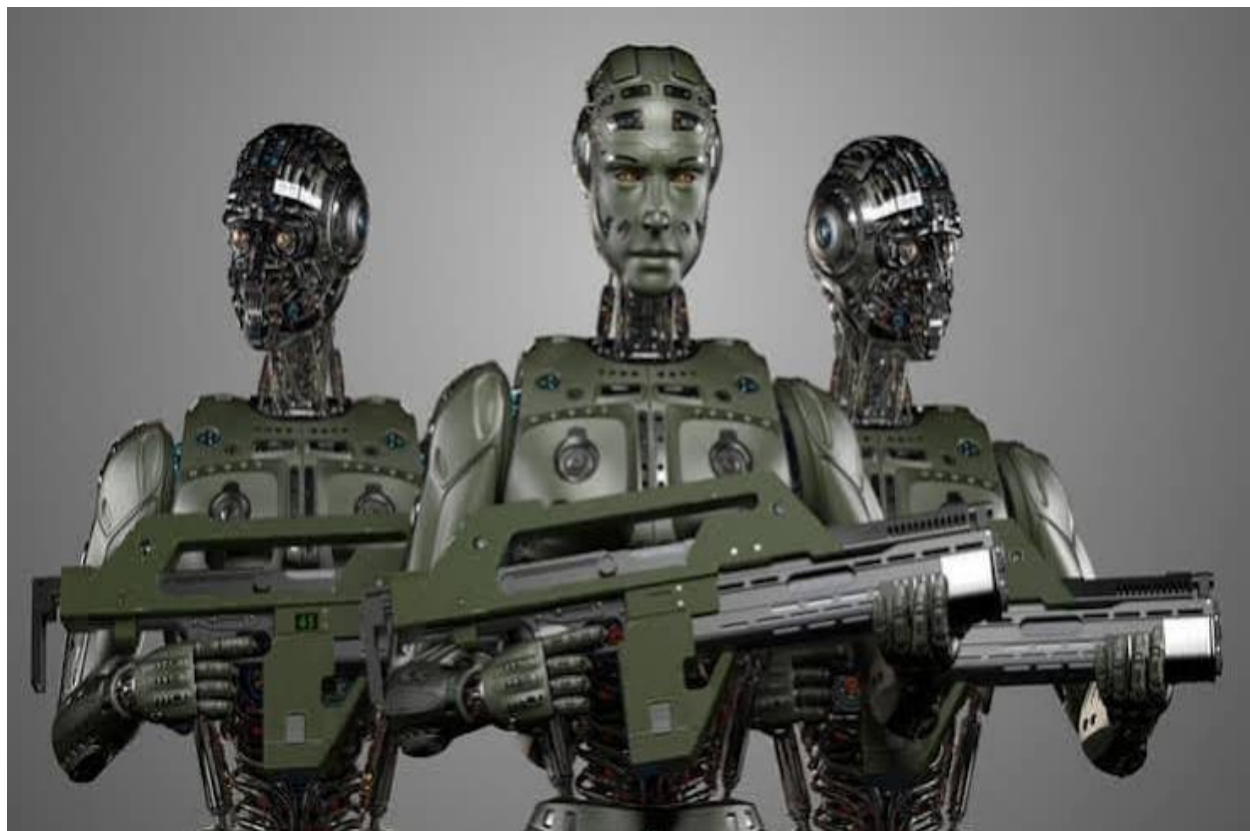


בס"ד



'חיל הרובוטיקה'

מתוך 'שואה ומלחמה'

מלקט ועורך: ש. אייזיקוביץ

Eisikovits1@gmail.com

הגיליון מופיע באתר 'לדעת' וכן ניתן לקבלו לאימייל מדי שבוע על ידי שליחת בקשה. [ל, eisikovits1@gmail.com](mailto:eisikovits1@gmail.com)

058-4852-443

אודה לכם אם תעבירו את העלון לאנשיכם או כתובות של נציג עלון. אשמח לקבל הערות מחכימות ובל"נ אשתדל להתייחס אליהם. גם רשות להדפיס / לחלק / להעתיק / לשמור. - בשעת הצורך הרשות נתונה לאמור מהדברים שבעלון אף שלא בשם אומרים. אבל הבא להדפיס וידפיס בשם אומרו. יביא גאולה לעולם. כמו כן יש אפשרות לקבל כל עלון בכל שפה כמעט שתמצאו בתרגום של ווארד.

החיבור הראשון הופיע במסגרת
'מפעל ליקוטי שמואל'
"זה היום עשה ה' נגילה ונשמחה בו"

בשעה טובה ומוצלחת, בסייעתא דשמיא, רואה אור ספר חדש ומפעים:

ליקוטי שמואל – חומש בראשית

לאחר שנים של עיון, איסוף, ליקוט ועריכה, יוצא לאור ספר ייחודי המאגד – סוף מעשה במחשבה תחילה את מיטב הקטעים, המאמרים, הסיפורים והמשלים שהופיעו בעלוני פרשת השבוע בשנים האחרונות. דברי חן ושכל טוב, שנבחרו בקפידה וערוכים בטוב טעם, כדי להחיות את הלב ולהאיר את השולחן.

- מתוכן הפרקים: רעיונות מאירי עיניים לפרשיות השבוע • משלים מעוררי מחשבה • סיפורים נוגעים ללב • פנינים להעשרה ולהעברה בשולחן שבת

מתאים ללימוד אישי, למסירת דבר תורה ולשיחה משפחתית

ערוך ומוגש בעמל רב על ידי הרה"ג שמואל אייזיקוביץ שליט"א



כעת למכירה במחיר שווה לכל נפש – כרך ראשון על חומש בראשית

60 ש"ח

בלבד



להזמנה:

<https://dash.bookpod.co.il/product/2231>

הברזל נכנס ראשון (שלום גרוס)

שקט עטף את עצי האורן בגן הלאומי חולדה. מול אנדרטת חילי חיל ההנדסה, בה חקוקים שמות הנופלים הי"ד, התכנסו משפחות שכולות, חיילים ומפקדים לטקס חילופי קצין ההנדסה הראשי. לדוכן עלה מפקד זרוע היבשה, אלוף נדב לוטן. שם, בתוך נאום שעסק במחיר האנושי, הוא השמיע הכרזה שעוררה הד בקרב הנוכחים. תת־אלוף אלי דוד עמד לקבל את הפיקוד מתת־אלוף יואב טורחנסקי, שסיים 29 שנות שירות, כשהאלוף לוטן הזכיר את המספרים שמרחפים כצל מעל זרוע היבשה: 721 מאנשי החיל נפלו מאז הקמתו, 91 מתוכם במלחמה הנוכחית. ובדיוק בנקודה הזו, בתווך שבין כאב המשפחות להכרח המבצעי לנצח, הוא הכריז על אחד המהלכים הדרמטיים ביותר של הצבא בשנים האחרונות: הקמת 'חיל רובוטיקה'.

הסמיכות המצמררת בין השכול של בשר ודם לבין הטכנולוגיה הקרה של מכונות אוטונומיות לא היתה מקרית. מאחורי ההכרזה עומדת שאלה מעשית וכואבת שניסחה מחדש את תפיסת הלחימה: מדוע החייל צריך להיות תמיד הראשון שנכנס לכל מקום מסוכן? החבלן ניגש אל החפץ החשוד, נהג הדחפור עולה על ציר שאיש אינו יודע מה הוטמן תחתיו, וכוח חי"ר פותח דלת שאין לדעת מי ממתין מאחוריה. חיל הרובוטיקה נועד להפוך את סדר התנועה: קודם המצלמה, הזחל או הזרוע המכנית; רק אחריהם, כשתמונת המצב ברורה יותר והאיום הראשוני נבדק, יגיעו החיילים. נכון לשבוע זה, לוטן לא הציג תרשים ארגוני, מועד הקמה מדויק או רשימת יחידות. גם לא נמסר אם יהיה זה חיל עצמאי

במתכונת המוכרת בזרוע היבשה, או מסגרת מקצועית שתאגד יכולות הפזורות כיום בין חיל ההנדסה, היחידות המיוחדות, גופי הפיתוח והמערכים הטכנולוגיים. אבל עצם הבחירה במלה "חיל" מלמדת על הכיוון: הצבא מבקש לעבור מאוסף של אמצעים שנרכשו לצרכים נקודתיים למערך סדור של הפעלה, הכשרה, תחזוקה ובניין כוח.

המהלך אינו מתחיל מאפס. עוד לפני ההכרזה החל חיל ההנדסה לשנות את המסגרות הגדודיות שלו. מחלקות סיור הנדסיות הוסבו למחלקות אוטונומיה ורובוטיקה, ויכולות שהיו שמורות בעבר ליחידות נבחרות החלו להגיע אל הגדודים המבצעיים. לדברי לוטן, לצד הכוחות המתמרנים כבר פועלות פלוגות רובוטיקה, והנסיון שנצבר במלחמה ישמש בסיס למסגרת החדשה. גם הכלים עצמם אינם חדשים לחלוטין. עוד לפני המלחמה בחן הצבא דחפורים הנשלטים מרחוק, רובוטים לסריקת חללים ומערכות לטיפול במטענים. דחפור ה'פנדה', למשל, הוצג כבר בשנת תשפ"ג ככלי הנדסי כבד המסוגל לנוע ולבצע משימות ללא נהג בתא. באותה עת הוא עדיין היה בשלבי ניסוי וקליטה. המלחמה העניקה לו, ולמערכות נוספות, את המבחן שלא ניתן לדמות בשום שדה ניסויים. דווקא טבח שמחת תורה תשפ"ד, שהמחיש את הסכנה שבהסתמכות עיוורת על טכנולוגיה, האיץ את שילובן של מכונות בלחימה.

לכאורה יש כאן סתירה: אם החיישנים, המצלמות ומערכות השליטה לא מנעו את האסון, מדוע התשובה כוללת עוד אוטונומיה? בזרוע היבשה מבקשים להבחין בין טכנולוגיה שמחליפה אחריות אנושית לבין טכנולוגיה שמפחיתה סיכון. מכונה אינה תחליף לכוננות, ליוזמה ולשיקול דעת של מפקד. היא גם אינה אמורה לקבל לבדה החלטות של חיים ומוות. אבל היא יכולה לבדוק ציר, לסרוק מבנה, להעביר ציוד או להתקרב למוקד מסוכן בלי לחשוף לשם אדם. לחיל ההנדסה יש תפקיד טבעי בהובלת השינוי. חייליו פועלים במקום שבו הקרקע עצמה הופכת לנשק: בצירים ממולכדים, במבנים הרוסים, בתשתיות תת־קרקעיות ובמרחבים שבהם כל צעד מחייב בדיקה. לוטן תיאר את התת־קרקע כאחד ממרכזי הכובד של המלחמה, והודיע כי הצבא מרחיב את יכולותיו מול המטענים והמערכים התת־קרקעיים. בזירות כאלה, רובוטיקה אינה קישוט טכנולוגי. היא קובעת מי יפגוש ראשון את הסכנה.

האתגר הגדול מתחיל דווקא לאחר שהכלי הוכיח את עצמו. כדי להפוך רובוט מוצלח לחלק קבוע מן הכוח נדרשים מפעילים, טכנאים, חלקי חילוף, מערכות תקשורת, הכשרות ותרגולות משותפות עם כוחות החי"ר, השריון וההנדסה. צריך לקבוע מי מפעיל את הכלי,

מי מתקן אותו, כיצד הוא נע לצד הכוח, ומה עושים כאשר נקטע הקשר. אלה אינן שאלות מרשימות כמו צילום של דחפור הנע ללא נהג, אך הן שיכריעו אם ההכרזה תהפוך לחיל מתפקד או תישאר שם גדול לתכנית נסיונית. המטרה ברורה: בפעם הבאה שבה מישו מוכרח להיכנס ראשון למקום המסוכן - לא תמיד יהיה זה חייל בשר ודם. כשהרובוט נכנס ראשון במשך שנים השתייכה הרובוטיקה הקרקעית בצבא לעולם מצומצם וסגור. אנשי היחידות המיוחדות הכירו את הכלים, חבלנים הפעילו אותם מול מטענים, וצוותים ייעודיים הוזעקו למשימות שחייבו מומחיות מיוחדת. עבור רוב חיילי החי"ר, השריון וההנדסה, הרובוט היה אמצעי שמגיע מבחוץ: ממתנינים לצוות, מגדירים לו את המשימה, ורק לאחר שסיים ממשיכים קדימה. המלחמה שינתה את הסדר הזה. ככל שהתמרון התארך התברר שאי אפשר להישען על מספר קטן של מומחים הנעים מגזרה לגזרה. הצורך ברובוטים הופיע כמעט בכל מקום: בציר שהיה חשד כי הוטמן בו מטען, במבנה שטרם נסרק, בפיר חשוד, בשטח הרוס שקשה לצפות לתוכו, ובמשימות הנדסיות שחייבו להתקרב אל מוקד הסכנה. יכולת שנדרשה בעבר רק בפעולות חריגות הפכה לחלק משגרת הלחימה. אחד הביטויים הבולטים לשינוי היה הסבתן של מחלקות הסיוור ההנדסיות למחלקות אוטונומיה ורובוטיקה גדודיות - מאר"ג. בעבר התמקדו המחלקות באיסוף מידע על המרחב ובזיהוי מכשולים לפני התקדמות הכוח. כעת הן אמורות גם להפעיל את הכלים שייגשו אל המכשול, יסרקו אותו, ובמקרים מסוימים יטפלו בו מרחוק.

בצבא מגדירים את המאר"ג כסמכות המקצועית של הגדוד בתחומי הרובוטיקה והפיתוחים הטכנולוגיים. זה אינו רק שינוי בשם המחלקה, אלא שינוי בתכנון המבצעי. כאשר היכולת נמצאת ביחידה מיוחדת, נדרש המפקד בשטח להזמין אותה ולהתאים את הפעולה לזמן הגעתה. כאשר היא נמצאת בתוך הגדוד היא משולבת בתכנית מן הרגע הראשון. מפקד הפלוגה יכול להחליט מראש איזה כלי ינוע עם הכוח, מתי לשלוח אותו קדימה, ואיזה מידע עליו להביא לפני כניסת החיילים. לזמינות הזאת יש משמעות מכרעת. רובוט שמגיע לאחר שהכוח כבר נאלץ להיכנס למבנה או לחצות את הציר אינו משנה עוד את התוצאה. כוח שפועל תחת לחץ גם אינו יכול תמיד להמתין לצוות חיצוני. כאשר המפעילים מתאמנים עם הגדוד, מכירים את המפקדים ונעים לצדו, חדל הרובוט להיות תוספת מיוחדת והופך לכלי עבודה.

גם אופי ההכשרה משתנה. המטרה אינה להפוך כל חייל למהנדס רובוטיקה, אלא לפשט את הפעלת המערכות כך שלא יידרשו שבועות של התמחות. חלק מן הכלים נשלטים

באמצעות מסך וג'ויסטיק, וחיילי מילואים יכולים ללמוד להפעיל מערכות מסוימות בתוך זמן קצר. הפשטות אינה ענין של נוחות: מערכת שרק קומץ מומחים מסוגל להפעיל תתקשה להגיע לכל גדוד ולהישאר שימושית לאורך מלחמה ממושכת. אלא שהכלי הבודד הוא רק רכיב אחד. היתרון המשמעותי נוצר כאשר כמה מערכות פועלות יחד. רחפן מספק תמונה מלמעלה, כלי קטן נכנס לחלל צר, ונגמ"ש או דחפור בלתי מאויש נשלחים אל שטח שבו הסיכון גבוה מדי לצוות אנושי. כאשר כל מערכת פועלת בנפרד מתקבלת יכולת נקודתית. כאשר הן מופעלות תחת מפקד אחד ובתוך תכנית משותפת, נוצרת לפני הכוח שכבה של עיניים, חיישנים, גלגלים וזחלים שמצמצמת את חוסר הוודאות. המבחן האמתי מגיע כשהשטח מסרב לשתף פעולה. בתוך מבנים הרוסים עלולה התקשורת להיקטע, בתווך התת-קרקעי קשה להעביר תמונה רציפה, אבק מכסה מצלמות ומכשולים עוצרים זחלים. כלי שנפגע גם אינו תמיד ניתן לחילוץ. במהלך המלחמה אבדו רובוטים, אחרים נתקעו, וכמה מהם לא השלימו את המשימות שניתנו להם. אך בצבא מוכנים לשלם את מחיר אובדן המכונה כאשר החלופה היא חשיפת חייל לסכנה. המעבר לגדודים עדיין רחוק מהשלמה. היקף הצרכים גדול מן המענה, ההכשרות נמצאות בתהליך והמערכות אינן אחידות. חלק מן הפתרונות נולדו בתוך שבועות, בתגובה לדרישה שעלתה מן השטח. כעת צריך להפוך אותם ממענה מאולתר לתקן קבוע: להחליט איזה כלי שייך לכל מסגרת, כמה מפעילים דרושים, מי מתחזק אותו, וכיצד משלבים אותו בתורת הלחימה. זהו האתגר המרכזי של חיל הרובוטיקה העתידי: לא להציג עוד מכונה מרשימה, אלא להפוך אותה לחלק טבעי מן הכוח.

בעתיד ייתכן שמפקדים יתקשו להבין כיצד יצאו בעבר למשימה בלי אמצעי שנשלח לפנייהם. כבר כעת משתנה דרך החשיבה: הרובוט אינו מוזעק רק לאחר שהסכנה התגלתה - הוא נכנס לתכנית עוד לפני שהכוח יצא לדרך. גן החיות המכני מי שמנסה ללמוד על מהפכת הרובוטיקה של הצבא דרך שמות הכלים עלול לחשוב שנקלע לגן חיות משונה. יש בו פנדה, תרנגול וכלב רובוטי. לצדם נמצאים רונ"י, חיית הברזל, וכלים כבדים שאינם זקוקים לשם קליט כדי להטיל את מלוא משקלם על שדה הקרב. השמות הציוריים מסתירים עיקרון מפוכח: אין רובוט אחד שיועד לעשות הכל. הכלי שנדרש לפתיחת ציר שוקל עשרות טונות; זה שנשלח לתוך חלל צר צריך להיכנס בתיק או להתגלגל דרך פתח קטן; וכלב רובוטי נועד לנוע במקום שבו גלגלים וזחלים מתקשים. במקום לבנות 'חייל מכני' מושלם, מרכיב הצבא משפחה של מכונות, שכל אחת לוקחת מן האדם משימה אחת מסוכנת.

בקצה הכבד של המשפחה ניצבת ה'פנדה', דחפור ממוגן שאפשר להפעיל ללא נהג בתא. אין כאן רובוט הדומה ליצור אנושי, אלא כלי הנדסי מוכר שקיבל שכבה חדשה של חישה, שליטה ואוטונומיה. הוא נועד לפעול במרחבים שבהם הצורך להזיז עפר, לפנות מכשול או לפתוח דרך מתנגש בסכנה שבשליחת צוות אל המקום. התעשייה האווירית מציגה את המערכת כ־ RobDozer אוטונומי, המיועד לפינוי מכשולים ולביצוע משימות הנדסיות בסביבה מאוימת. בכלי בלתי מאויש אפשר לקבל החלטה שמפקד היה מתקשה לקבל בנוגע לדחפור מאויש: לשלוח אותו אל ציר חשוד, אל אזור החשוף לאש או אל מרחב שבו סיכון לצוות גבוה מדי. המכונה אינה חסינה, אך במקרה הצורך אפשר לספוג אובדן של פלדה במקום אובדן בנפש.

אחד האירועים שהמחישו זאת התרחש במהלך התמרון בעזה. כוח הנדסה נדרש לפתוח ציר שנחשד כממולכד, ובמקום לשלוח אליו נהג או חוליית פלסים הוחלט להפעיל את ה'פנדה' מרחוק. הדחפור התקדם על הציר, בעוד המפעיל שולט בו מעמדה מוגנת. במהלך הפעילות הופעל תחת זחליו מטען גחון שהוטמן בקרקע. הכלי, שמשקלו עשרות טונות, נפגע ויצא מכלל פעולה - אך מאחר שלא היה אדם בתא הנהג הסתיים האירוע ללא נפגעים. המכתש שנפער והכלי הפגוע שנותר על הציר המחישו היטב את יתרונה של הלחימה הבלתי מאוישת. הרובוט אינו בלתי פגיע; יתרונה הוא שאפשר לשלוח אותו גם למקום שבו קיים סיכון ממשי שייפגע. במקרה הזה, הברזל ספג את המ־טען והכוח לא נחשף אליו. לצד ה'פנדה' ניצבת תפיסה אחרת:

במקום לבנות כלי חדש לוקחים רכב משוריין קיים ומעניקים לו יכולת לנוע ללא צוות. זהו הרעיון שמאחורי 'חיית הברזל' - ערכת הסבה שמחברת את מערכות הנהיגה והמנוע לעמדת שליטה מרוחקת. נגמ"ש שגילו ומיגונו אינם מאפשרים עוד להסיע בתוכו חיילים יכול לקבל חיים שניים כפלטפורמה בלתי מאוישת. הוא אינו הופך למכונה חכמה; הוא נשאר רכב זחלי כבד, אך האדם כבר אינו יושב במקום הפגיע ביותר בתוכו.

בקצה השני של הסולם נמצאים הרובוטים הקטנים. שם הגודל אינו חסרון אלא תנאי להצלחה. מערכת נישאת יכולה להתקרב לחפץ חשוד, להציץ מעבר לפינה, או להיכנס למקום שבו גם חייל כפוף מתקשה לנוע. כלים כאלה אינם מרשימים בצילום כמו דחפור ענק, אבל לעתים הם אלה שמספקים את הדקות היקרות שבהן מבין הכוח מה ממתין לפניו. הוותיק והמוכר בקבוצה הזאת הוא רונ"י - ראשי תיבות של 'רובוט נישא ייעודי'. זהו כלי קטן הנישא עם הכוח ונשלח לפני החיילים אל מנהרות, סמטאות, חדרים ומרחבים צרים

שכלים גדולים יותר אינם מסוגלים להיכנס אליהם. מצלמותיו מעבירות למפעילים תמונה גם בתנאי חשכה, והתקני עזר קטנים מאפשרים לו לטפס במדרגות ולהתגבר על מכשולים. רונ"י משמש גם את יחידות החי"ר והקומנדו כאמצעי סיור ואיסוף: עין מכנית שאפשר לשלוח מעבר לפינה או אל תוך פיר לפני שכוח אנושי נדרש להיכנס. פיתוח מעניין נוסף בקבוצה הזאת הוא ה־ Rooster – ה'תרנגול' של חברת 'רובוטיכאן'. הוא אינו בדיוק רחפן ואינו בדיוק רכב קרקעי. מעטפת עגולה מאפשרת לו להתגלגל על הרצפה, ואילו המדחפים מאפשרים לו להתרומם כאשר הוא פוגש מדרגות, חלון או מכשול. החברה מייעדת אותו למשימות תצפית וסריקה בתוך מבנים ובמרחבים תת־קרקעיים, שבהם אין קליטת ניווט יציבה והתקשורת מוגבלת. הוא יכול לנוע על הקרקע כדי לחסוך באנרגיה, ואז לעבור לטיסה כאשר הנתיב נחסם.

כלי שונה לחלוטין הוא הכלב הרובוטי Vision. 60 ארבע הרגליים מעניקות לו יתרון בסביבה שאינה מסודרת: מדרגות, אבנים, פסולת ושינויי גובה שמסבכים כלי בעל גלגלים. היצרנית, Robotics Ghost, מציגה אותו כפלטפון רמה פתוחה שאפשר לחבר אליה חיישנים ומתעדים שונים. לפי נתוניה, הוא מסוגל לפעול יותר משלוש שעות ברציפות, לנוע במהירות של עד 2.5 מטרים בשניה, ולשאת מטען של עד עשרה קילוגרמים. אבל הדמיון לכלב עלול להטעות. הוא אינו מחליף את חוש הריח ואת יכולת הזיהוי של כלב עוקץ, ואינו מבין מחוות אנושיות כפי שבעל חיים מאומן מסוגל להבין. יתרונו במקום אחר: אפשר לצייד אותו במצלמות ובחיישנים, לשלוח אותו שוב ושוב, ולהציבו במרחב מזוהם, חשוד או מסוכן בלי להעמיד בסיכון חייל או כלב. החסרון הוא, שמכונה כבדה ויקרה עדיין תלויה בתקשורת, בסוללה וביכולת להתגבר על תנאי השטח. האתגר הגדול יהיה לחבר בין בעלי החיים המכניים האלה. דחפור יודע להזיז מכשול אך אינו מתאים למסדרון צר; כלי קטן רואה היטב בתוך חדר אך אינו מסוגל לפנות דרך; כלב רובוטי מסוגל לנוע על גבי פסולת ובמדרגות, אך אינו יכול לשאת מטען כבד או לבצע משימה הנדסית. חיל הרובוטיקה יצטרך לדעת לא רק להפעיל כל אחד מהם, אלא לבחור מי נכנס ראשון, מה הוא אמור לגלות, וכיצד המידע שהוא מביא מגיע מיד למפקד. במובן הזה, המהפכה אינה נמצאת דווקא במכונה המרשימה ביותר. היא נמצאת ברגע שבו מפקד מפסיק לשאול "איזה רובוט יש לנו", ומתחיל לשאול "איזו משימה אין סיבה לשלוח אליה אדם". המעבדה האוקראינית המרחק בין שדה הקרב באוקראינה למנהרות של עזה גדול, ולא רק במפה. באוקראינה נלחמים על מרחבים פתוחים, קווי חזית ארוכים וכפרים שהפכו לעמדות מבוצרות. האויב, מזג האוויר ותנאי הקרקע שונים מאלה שמולם פועל הצבא הישראלי. ובכל זאת, בכל דיון

על עתיד הרובוטיקה הקרקעית מופנית תשומת הלב מזרחה. שם אפשר לראות כיצד יכולת שנחשבה עד לא מזמן נסיונית הופכת, תחת לחץ המלחמה, לשיטת לחימה סדורה.

בתחילת המלחמה משכו הרחפנים את עיקר תשומת הלב. כלי טיס קטנים, שחלקם הורכבו מרכיבים אזרחיים, הפכו לאמצעי תצפית ותקיפה נפוץ. ככל שהתרבו נעשתה גם התנועה על הקרקע מסוכנת יותר. משאית אספקה בדרך לקו הקדמי, רכב שמגיע לפנות פצוע או חוליה הנושאת תחמושת לעמדה עלולים להתגלות ולהיפגע בתוך זמן קצר. בתוך המציאות הזאת נכנסו הרובוטים הקרקעיים. תחילה היו אלה עגלות ממונעות פשוטות. בהמשך הופיעו פלטפורמות המסוגלות לשאת תחמושת ומזון, לגרור ציוד, לפנות נפגעים, להציב אמצעים ולבצע משימות תצפית. השינוי ניכר במספרים. משרד ההגנה האוקראיני דיווח, כי בשלושת החודשים הראשונים של 2026 בוצעו באמצעות כלים קרקעיים בלתי מאוישים קרוב ל-24,500 משימות. יותר מ-9,000 מהן בוצעו בחודש מרץ בלבד, לעומת כ-2,900 בנובמבר שקדם לו. בתוך ארבעה חודשים עלה מספר היחידות שהפעילו מערכות כאלה מ-67 ל-167 רוב הפעילות לא היתה הסתערות עתידנית על עמדות אויב, אלא העבודה האפורה שמחזיקה חזית: הובלת תחמושת ומזון, פינוי נפגעים, תובלה וסיוע לוגיסטי. זה אולי הלקח החשוב ביותר מבחינת ישראל. המהפכה אינה מתחילה בהכרח ברובוט חמוש, אלא במשימות שהצבא מבצע אלפי פעמים. כל נסיעה שבו חסכת מנהג וכל אספקה שמגיעה לעמדה בלי לשלוח חוליה רגלית מצטברות לשינוי מבצעי של ממש. אוקראינה גם הראתה כיצד מלחמה מקצרת את המרחק בין סדנת הפיתוח לחזית. ב-2025 סופקו לצבאה, לפי דיווח רשמי, קרוב ל-15 אלף מערכות רובוטיות קרקעיות. עשרות דגמים אושרו לשימוש: כלים על גלגלים, פלטפורמות זחליות, מערכות פינוי, כלי סיור ומכונות הנושאות עמדות נשק הנשלטות מרחוק לא כל פיתוח הצליח ולא כל כלי שרד. אך במקום להמתין למערכת מושלמת, הרחיבו האוקראינים את הייצור, העבירו את הכלים ליחידות, והשתמשו בנסיון מן השטח כדי לשפר את הדגמים הבאים. החזית הפכה לא רק למקום שבו הופעלו הרובוטים, אלא גם למעבדה שבה נקבע אילו מהם ראויים להמשיך הלאה.

השנה הציגה קייב גם הישג סמלי: פעולה שבה נכבשה עמדה רוסית באמצעות פלטפורמות בלתי מאוישות, בלי הסתערות של כוח רגלי. נשיא אוקראינה וולודימיר זלנסקי הציג את האירוע כהמחשה להתקדמות התעשייה המקומית. אלא שצריך להיזהר מן הכותרת. פעולה אחת אינה מוכיחה שרובוטים יכולים להחליף כוח חי"ר. היא מלמדת

שבתנאים מסוימים, מול משימה מוגדרת ותחת שליטה אנושית, אפשר להרחיק את החיילים מן השלב המסוכן ביותר.

לצד ההצלחות נחשפו גם המגבלות. שדה הקרב האוקראיני רווי בשיבושי תקשורת, רחפנים תוקפים, בוך, שלג ומכשולים. כלי שאיבד קשר עלול להיעצר בשטח, מצלמה מתכסה באבק, סוללה נגמרת ומנוע קטן מתקשה לשאת מטען בקרקע קשה. לעתים הרובוט שנועד להחליף משאית דורש בעצמו צוות שיוביל אותו, יטען אותו, יתקן אותו ויחלץ אותו אם נפגע. משום כך החלו האוקראינים למסד גם את המקצועות שמסביב למכונה: מפעילים, מכונאים, מפקדים ומסגרות הכשרה ייעודיות. הרובוט אינו מתקיים לבדו. מאחוריו נדרשת מערכת שלמה שמסוגלת להפעיל אותו בהיקף רחב ולאורך זמן.

עבור הצבא הישראלי, אוקראינה אינה תכנית שאפשר להעתיק. כלי שנע היטב בשדה פתוח לא בהכרח יתאים לסמטה צרה או למנהרה. מערכת תקשורת שפועלת במישור עלולה להיחסם בתוך מבנה, והצורך להבחין במהירות בין אויב לאזרח מחייב שליטה אנושית הדוקה יותר. אבל העיקרון משותף: אין להמתין לרובוט המושלם. היתרון נמצא ביכולת לייצר כלים בכמות, להעביר אותם במהירות לכוחות ולשנות אותם בהתאם לנסיון המבצעי.

במפקדות מתעניינים מטבע הדברים בתיעוד של רובוטים חמושים ובכיבוש עמדות, אך בשטח עשויה המהפכה להתחיל דווקא במקום פחות מצטלם: כלי קטן שנושא מים ותחמושת אל כוח מבודד, או מכונה שנכנסת לציר במקום הנהג שלא נדרש להסתכן בו. המלחמה שמאחורי החזית טנק שנפגע אינו יוצא בהכרח מן המלחמה. לעתים הוא חוזר טנק שנפגע אינו יוצא בהכרח מן המלחמה. לעתים הוא חוזר אליה בתוך ימים, לאחר שצוותי האחזקה החליפו חלקים שנפגעו, תיקנו את מערכות הטנק והחזירו אותו לכשירות. במערכה ממושכת, שבה פועלים הכלים כמעט ללא הפסקה בתנאי אבק, בוך וחום, הסדנה חשובה לא פחות מפס הייצור. טנק שעומד במוסך הוא כוח שחסר בשטח; כל שעה שנחסכת בתיקון עשויה להחזיר לחזית יכולת מבצעית יקרה. גם כאן נכנסת הרובוטיקה לתמונה. היא נכנסת אל המנוע, מרימה חלקים כבדים, מגיעה למקומות שקשה להכניס אליהם יד אדם ומבצעת שוב ושוב עבודות פיזיות שוחקות.

אחד הפיתוחים שנבחנים בתחום נראה כשילוב בין תמנון מכני למכונת שטיפה תעשייתית. זרועות דקות וגמישות נשלחות אל תוך מנוע של כלי משוריין, סורקות את החללים, מסירות משקעים ומגיעות לנקודות שבעבר חייבו פירוק ממושך ועבודה ידנית.

מאחורי המערכת עומדת חברת AI Ruby הישראלית, המפתחת רובוטים המבוססים על מה שמכונה 'בינה מלאכותית פיזית' - יכולתה של מערכת ממוחשבת התעשיות הבטחוניות כבר מפתחות פלטפורמות קרקעיות בלתי מאוישות שנועדו לשאת ציוד, לנוע בעקבות כוח רגלי, ואף לסייע בפינוי נפגעים. מערכת REX של התעשייה האווירית, למשל, מוצגת ככלי רב-משימתי המסוגל לשאת מטען כבד, לנוע במצב 'עקוב אחריי' ולשמש לתובלה ולפינוי. מערכות אחרות נועדו ליצור שיירה שבה רכב מאויש אחד מוביל, והכלים שמאחוריו עוקבים אחריו ללא נהגים נוספים. לא על כל המערכות האלה פורסם כי נכנסו לשימוש מבצעי בצבא בישראל, אך הן ממחישות את הכיוון. משימות האספקה, התחזוקה והפינוי מתבצעות בהיקף עצום. כלי שמוביל תחמושת שוב ושוב, גורר ציוד כבד או חוסך נסיעות של צוותים לאורך חודשים מצמצם חשיפה של חיילים לאויב ומפנה כוח אדם רב. גם לרובוט הלוגיסטי יש מחיר. הוא זקוק לאנרגיה, לתקשורת, לחלקי חילוף ולאנשי מקצוע שיודעים לטפל בו. כאשר הוא נתקע, מישו צריך להגיע ולחלץ אותו. אם הצבא יצטייד בעשרות דגמים שונים, הוא עלול ליצור מערך אחזקה מסובך יותר מזה שניסה לפשט. לכן חיל הרובוטיקה יצטרך לבחון לא רק איזו מערכת מסוגלת לבצע משימה, אלא גם אילו כלים אפשר להחזיק לאורך שנים, לתקן בשטח ולהפעיל בכמויות גדולות. המבחן לא יהיה אם זרוע מכנית מסוגלת לנקות מנוע או אם עגלה בלתי מאוישת יודעת לשאת ארגזים. השאלה היא, אם אפשר להפוך את הפיתוחים האלה למערך שמקצר את הזמן בין התקלה לתיקון, בין המחסן לכוח ובין הפגיעה לחזרה לכשירות. הרובוטים המרשימים ביותר ימשיכו כנראה להצטלם בחזית. אבל השינוי העמוק עשוי להתרחש דווקא מאחור - בסדנה, בשיירה, ובכל אותן משימות שבלעדיהן שום כוח אינו יכול להמשיך להילחם.

האדם שמאחורי המכונה המלה 'אוטונומי' נשמעת מוחלטת. היא מעלה על הדעת מכונה שמקבלת משימה, בוחרת את הדרך ומבצעת אותה לבדה. אלא שבשדה הקרב, לפחות בשלב הנוכחי, המציאות מורכבת יותר. רוב הכלים שעליהם מדברים בצבא אינם חיילים מכניים הפועלים על דעת עצמם. חלקם נשלטים מרחוק לאורך כל המשימה; אחרים יודעים לנווט, לעצור מול מכשול או לחזור לנקודת המוצא, אך עדיין תלויים באדם שמגדיר את היעד, עוקב אחר פעולתם ומחליט כיצד להגיב כאשר התנאים משתנים. מי שעוסקים בתחום אומרים, כי אחת המשימות הראשונות של חיל הרובוטיקה תהיה לקבוע אילו כלים ייכנסו לגדודים ומה תהיה מידת העצמאות שתינתן לכל אחד מהם. רובוט שנושא ציוד יכול לבחור מסלול סביב בור, דחפור יכול להתקדם בתוואי שסומן לו, מערכת סריקה יכולה

להתריע על ממצא חריג. אבל ככל שהפעולה מתקרבת להפעלת כוח, כך גדלה הדרישה שהאדם יישאר במעגל ההחלטה. זו אינה שאלה שמעסיקה רק את הצבא בישראל.

בשדה הקרב עצמו, הדיון העקרוני פוגש בעיה פשוטה בהרבה: הקשר עלול להיעלם. בתוך מנהרה, בין קירות בטון, בשטח הרוס או תחת שיבוש אלקטרוני, גם מערכת מתקדמת עלולה להפסיק להעביר תמונה. המפעיל רואה מסך קפוא, הכלי נמצא הרחק ממנו, ובאותו רגע מתבררת השאלה החשובה באמת: מה הוגדר למכונה לעשות כאשר היא נשארת ללא תקשורת. לעצור? לשוב? להמשיך עוד כמה מטרים? התשובה תלויה במשימה ובסיכון הכרוך בכל אחת מן האפשרויות. לכן הכשרת המפעילים אינה יכולה להסתכם בלזהות עצם, להבין כיצד להגיע אליו, לאחוז בו ולבצע עליו פעולה.

לפי נתונים שמסרה החברה ופורסמו בתקשורת, תהליך שכלל ניקוי ואיתור תקלות ונמשך בעבר עד 48 שעות התקצר באמצעות המערכת לכשעתיים. החסכון אינו נמדד רק בשעות עבודה. מאחורי כל כלי שמטופל עומדים אנשי מקצוע. ככל שהמלחמה מתארכת, אותם מכונאים וטכנאים נדרשים לטפל ביותר כלים, ביותר מוקדים ובקצב גבוה יותר. הרובוט אינו מייתר אותם, אלא מאפשר להם להתמקד באבחון, בקבלת החלטות ובתקלות המורכבות, במקום להשקיע את זמנם בפעולה פיזית החוזרת על עצמה. זהו גם תפקידו המסורתי של מרכז השיקום והאחזקה. המש"א הוא גוף שבונה, משקם ומשביח כלי רכב קרבי משוריין (רק"ם) ומייצר מערכות בהתאם לצורכי זרוע היבשה.

עוד לפני המלחמה עסק המרכז גם בבניית רובוטים ואמצעים טכנולוגיים. כעת מתחילה הרובוטיקה לשנות גם את אופן העבודה בתוכו. אותו הגיון עובר מן הסדנה אל שיירות האספקה. הכוחות זקוקים מדי יום למים, למזון, לדלק, לתחמושת, לסוללות עבור המערכות השונות ולחלקי חילוף. ככל שהפעילות הצבאית מתקדמת עמוק יותר, הדרך נעשית מסוכנת יותר. משימת תובלה עלולה לחייב נהגים לנוע שוב ושוב בצירים החשופים לאש ולמטענים התעשיות הבטחוניות כבר מפתחות פלטפורמות קרקעיות בלתי מאוישות שנועדו לשאת ציוד, לנוע בעקבות כוח רגלי, ואף לסייע בפינוי נפגעים. מערכת REX של התעשיה האווירית, למשל, מוצגת ככלי רב-משימתי המסוגל לשאת מטען כבד, לנוע במצב 'עקוב אחריי' ולשמש לתובלה ולפינוי. מערכות אחרות נועדו ליצור שיירה שבה רכב מאויש אחד מוביל, והכלים שמאחוריו עוקבים אחריו ללא נהגים נוספים. לא על כל המערכות האלה פורסם כי נכנסו לשימוש מבצעי בצבא בישראל, אך הן ממחישות את הכיוון. משימות האספקה, התחזוקה והפינוי מתבצעות בהיקף עצום. כלי שמוביל תחמושת

שוב ושוב, גורר ציוד כבד או חוסך נסיעות של צוותים לאורך חודשים מצמצם חשיפה של חיילים לאויב ומפנה כוח אדם רב.

גם לרובוט הלוגיסטי יש מחיר. הוא זקוק לאנרגיה, לתקשורת, לחלקי חילוף ולאנשי מקצוע שידעו לטפל בו. כאשר הוא נתקע, מישו צריך להגיע ולחלץ אותו. אם הצבא יצטייד בעשרות דגמים שונים, הוא עלול ליצור מערך אחזקה מסובך יותר מזה שניסה לפשט. לכן חיל הרובוטיקה יצטרך לבחון לא רק איזו מערכת מסוגלת לבצע משימה, אלא גם אילו כלים אפשר להחזיק לאורך שנים, לתקן בשטח ולהפעיל בכמויות גדולות. המבחן לא יהיה אם זרוע מכנית מסוגלת לנקות מנוע או אם עגלה בלתי מאוישת יודעת לשאת ארגזים.

האדם שמאחורי המכונה המלה 'אוטונומי' נשמעת מוחלטת. היא מעלה על הדעת מכונה שמקבלת משימה, בוחרת את הדרך ומבצעת אותה לבדה. אלא שבשדה הקרב, לפחות בשלב הנוכחי, המציאות מורכבת יותר. רוב הכלים שעליהם מדברים בצבא אינם חיילים מכניים הפועלים על דעת עצמם. חלקם נשלטים מרחוק לאורך כל המשימה; אחרים יודעים לנווט, לעצור מול מכשול או לחזור לנקודת המוצא, אך עדיין תלויים באדם שמגדיר את היעד, עוקב אחר פעולתם ומחליט כיצד להגיב כאשר התנאים משתנים. מי שעוסקים בתחום אומרים, כי אחת המשימות הראשונות של חיל הרובוטיקה תהיה לקבוע אילו כלים ייכנסו לגדודים ומה תהיה מידת העצמאות שתינתן לכל אחד מהם. רובוט שנושא ציוד יכול לבחור מסלול סביב בור, דחפור יכול להתקדם בתוואי שסומן לו, מערכת סריקה יכולה להתריע על ממצא חריג. אבל ככל שהפעולה מתקרבת להפעלת כוח, כך גדלה הדרישה שהאדם יישאר במעגל ההחלטה. זו אינה שאלה שמעסיקה רק את הצבא בישראל. מדיניות משרד ההגנה האמריקני קובעת, כי מערכות אוטונומיות וחצי-אוטונומיות צריכות להיות מתוכננות באופן שיאפשר למפקדים ולמפעילים להפעיל שליטה ושיקול דעת אנושיים בשימוש בכוח. גם בזירה הבינלאומית נשמעת דרישה לשמר שליטה אנושית משמעותית, ולא לאפשר למערכת לבחור מטרה ואת רגע הפגיעה ללא פיקוח. המחלוקת עדיין רחוקה מהכרעה, אך העיקרון ברור: ככל שהמכונה מקבלת יותר חופש פעולה, האחריות של האדם המפעיל אותה אינה נעלמת אלא נעשית כבדה יותר. בשדה הקרב עצמו, הדיון העקרוני פוגש בעיה פשוטה בהרבה: הקשר עלול להיעלם. בתוך מנהרה, בין קירות בטון, בשטח הרוס או תחת שיבוש אלקטרוני, גם מערכת מתקדמת עלולה להפסיק להעביר תמונה. המפעיל רואה מסך קפוא, הכלי נמצא הרחק ממנו, ובאותו רגע מתבררת השאלה החשובה

באמת: מה הוגדר למכונה לעשות כאשר היא נשארת ללא תקשורת. לעצור? לשוב? להמשיך עוד כמה מטרים? התשובה תלויה במשימה ובסיכון הכרוך בכל אחת מן האפשרויות. לכן הכשרת המפעילים אינה יכולה להסתכם בלימוד ג'ויסטיק. הם יצטרכו להבין את מגבלות החיישנים, לזהות מתי התמונה שמתקבלת חלקית או מטעה, לדעת מתי אין לסמוך על המלצה אוטומטית, ולתכנן מראש את רגע הכשל. גם המפקדים יצטרכו ללמוד מקצוע חדש. עד כה הם ניהלו אנשים וכלים מאוישים; כעת הם נדרשים לפקד על כוח מעורב, שבו חלק מן המערך אינו מתעייף ואינו מפחד - אך גם אינו מבין הקשר, רמז או שינוי במצב כפי שאדם מבין אותם. הצבא בישראל כבר משקיע בהטמעה ובהכשרה. פרסומיו מתארים מעבר של יכולות רובוטיות מן היחידות המיוחדות אל הגדודים, לצד שימוש בסימולטורים המאפשרים לתרגל הפעלה בתנאים של תקשורת מוגבלת, ראות לקויה ומרחב צפוף. זהו סימן לכך שהאתגר אינו מסתכם בייצור המכונה. צריך ללמד ארגון שלם לעבוד לצדה.

החיל החדש גם לא בהכרח יחסוך כוח אדם במידה שנדמה. מאחורי כל רובוט עומדים מפעילים, טכנאים, אנשי תקשורת, מתכנתים, מכונאים ומפקדים. ככל שמספר הכלים יגדל יידרשו גם מחסנים, מקורות אנרגיה, חלקי חילוף, מערכי חילוף ובתי-ספר. הצבא עשוי לשלוח פחות אנשים אל המשימה המסוכנת עצמה, אך להקים מאחוריה מערכת מקצועית רחבה שתאפשר לכלים לפעול ברציפות. ויש גם סכנה אחרת: תחושת הבטחון שמעניקה המכונה עלולה להפוך לבטחון יתר. מצלמה אינה רואה הכל, אלגוריתם אינו יודע תמיד להבחין בין חריגה לאיום, ורובוט שנכנס ראשון אינו מבטל את הצורך בזהירות. הלקח הוא, שטכנולוגיה יכולה להרחיב את יכולתו של המפקד - אך אינה יכולה להחליף את אחריותו, את יוזמתו, ואת הספק הבריא שמונע ממנו לקבל תמונה חלקית כאמת מוחלטת. מכאן נגזרת גם דמותו של חיל הרובוטיקה העתידי. הוא לא יהיה צבא של מכונות המנהל מלחמה לבדו, אלא גוף שמומחיותו היא לחבר בין אדם למכונה בלי לטשטש מי מקבל את ההחלטה. הצלחתו לא תימדד במספר הרובוטים שיופיעו בתרגיל, אלא במספר המשימות המסוכנות שיועברו אליהם בלי שהמפקדים יאבדו שליטה ובלי שהכוחות יפתחו תלות עיוורת במערכת.

בטקס שבו הוכרז על הקמת החיל הקפיד אלוף נדב לוטן לומר שמעל כל טכנולוגיה נמצאים האנשים. אחרי מלחמה שבה שילם חיל ההנדסה מחיר כבד, המשפט הזה אינו רק סיסמה. הוא מגדיר את גבולות המהלך כולו. הרובוט יוכל לנוע ראשון, לשאת את המשקל,

לפתוח את הדרך ולהסתכן במקום החייל. אבל גם בשדה הקרב החדש יישאר האדם מי שקובע לאן הולכים, מדוע, ומתי מוכרחים לעצור.