

# יישומי הלייזר בשדה הקרב העתידי

רבים סבורים כי בעקבות האיומים האסטרטגיים על מדינת ישראל יש לפתח מערכות נשק מודרניות המבוססות על מערכות אלקטרו־אופטיות ועל קרני לייזר. במאמר זה הכותב סוקר יישומים ופיתוחים שונים של הלייזר ככלי נשק עתיר אנרגיה לשדה הקרב העתידי ומצביע על כיווני פיתוח אפשריים בעתיד

דיקראן



## ד"ר יהושע קליסקי

חוקר בכיר בקריה למחקר  
גרעיני - נגב (קמ"ג)

”אין בכוח מצבור חומרי מלחמה, ויהיה גדול ככל שיהיה, לבטל את עליונותה של החשיבה”.  
הרוזן למב, חניבעל: האחד נגד רומי<sup>1</sup>

## מבוא

הופעת כלי טיס במלחמת העולם הראשונה והיכולת לפגוע במטרות שטח מרוחקות הוסיפה ממד שלישי לשדה הקרב ויצרה דוקטרינת לחימה אווירית. נביאה של דוקטרינה זו, גנרל גוליו דואה, ראה בכוח האווירי כלי התקפה אידאלי, וטען כי ניתן להביא לתבוסת היריב באמצעות הפצצת מרכזי אוכלוסייה ותעשייה.<sup>2</sup> מגבלות השימוש בכוח האווירי להכרעה חד-משמעית של היריב גרמו לחיפוש אמצעים נוספים אשר מחד גיסא יגבירו את השליטה באוויר ומאידך גיסא יגרמו לנזק ניכר לאוכלוסייה ולמרכזי תעשייה.

אם כן, השימוש בטילים וברקטות הוא נדבך נוסף של הלוחמה בממד השלישי. השימוש בטילים בליסטיים במלחמת העולם השנייה לא הוביל להכרעה צבאית ולא גרם לאותו הנזק שגרמו ההפצצות מהאוויר, אך הייתה לו השפעה פסיכולוגית בלתי מבוטלת. יריביה של מדינת ישראל, בניסיונותיהם לגשר על פני עליונותה האווירית הבלתי מעוררת, החלו בניסיונות לפיתוח טילים בליסטיים כבר בשנות ה-60. ניתן לומר כי האסטרטגיה של ירי טילים בליסטיים ורקטות מקנה ליריב שלושה יתרונות מרכזיים:

1. יכולת לפגוע במפתיע ובאקראי במטרות שטח, בעיקר בעורף, ולגרום לאימה בקרב האזרחים.
2. יכולת לאיים על מטרות איכות ואף לפגוע בהן.
3. האמל"ח שבאמצעותו ניתן לממש את האסטרטגיה הוא זול יחסית, לא נדרש כוח אדם מיומן כדי להפעילו, וניתן להפעילו ממרחק ניכר וממקומות מסתור תוך נטילת סיכון שהוא נמוך יחסית.

טילים הם אמצעי מאיים בזירה הצבאית והאזרחית מכיוון שמרבית אמצעי ההתגוננות מפניהם הם פסיביים, ועל כן הם עלולים לשמש כאמצעי לחץ אסטרטגי. בשנים האחרונות, לנוכח יתרונה של ישראל הן בתחום הטכנולוגיה והן באיכות לחימה, האויב מתמקד בשימוש באמצעי טרור המשולבים עם נשק תלול מסלול זול יחסית המופעל מרחוק (כגון רקטות קרקע-קרקע או טילי קרקע-קרקע או פצצות מרגמה). נשק זה יכול להופיע בצורות שונות כגון רקטות פשוטות בעלות טווח קצר של 20 קילומטרים המכילות שניים-חמישה קילוגרמים של חומר נפץ, רקטות לטווח בינוני וארוך בעלות טווח של 50-70 קילומטרים, או טילים בליסטיים ארוכי טווח המגיעים עד 200-700 קילומטרים.



## מערכת לייזר כימי טקטי ליירוט רקטות ופגזים באתר הניסויים בניו מקסיקו

פגיעה במתקני צבא אסטרטגיים - שדות תעופה, מחנות צבא, מרכזי גיוס, מצבורי דלק, מתקני פיקוד, בקרה, שליטה וכדומה. איום על קיומה של מדינת ישראל - שימוש בנשק המופעל מרחוק בשילוב עם אמצעים להשמדה המונית - נשק כימי, ביולוגי או גרעיני המיועד לפגיעה במטרות רכות במרכזי אוכלוסייה בישראל.

כיום יש בידי מדינות ערב ואיראן אלפי טילים בליסטיים ורקטות מסוגים שונים, רובם ניידים ובעלי חתימת מכ"ם נמוכה, ועל כן מערכת טילי ה"חץ" או אמצעי יירוט מוטסים יכולים לתת מענה הגנתי חלקי בלבד כנגד איום זה. מדינת ישראל איננה יכולה להיות מאוימת על-ידי נשק אסטרטגי או טקטי, ולכן יש צורך במעטפת הגנה נוספת לטילי ה"חץ" כנגד טילים בליסטיים או יירוט רקטות אשר כנגדן אין עדיין מענה.

הרעיון להשתמש בקרן אור זמינה ככלי נשק הוא רעיון עתיק למדי. על-פי ההיסטוריון היווני פוליביוס, ארכימדס אשר ישב בסירקוז שבסיציליה השתמש במערכת מראות פרבוליות כדי לרכז ולמקד את קרני השמש על ספינות האויב, וגרם בכך לשרפת אוניות הצי הרומאי אשר צרו על נמלי סיציליה. בתקופה מאוחרת יותר תיאר הסופר ה' וולס בספרו "מלחמת העולמות" (1898) שימוש בכלי נשק היורה קרני אור (מעין קרן מוות). כיום

## טילים הם אמצעי מאיים בזירה הצבאית והאזרחית מכיוון שמרבית אמצעי ההתגוננות מפניהם הם פסיביים, ועל כן הם עלולים לשמש כאמצעי לחץ אסטרטגי

כך למשל, דיווח העיתונאי ראובן פדהצור בעיתון "הארץ",<sup>3</sup> כי בין השנים 2001-2006 נורו מרצועת עזה לעבר מדינת ישראל 4584 פצצות מרגמה ר"1914 רקטות קסאם. בשנת 2006 בלבד נורו לעבר יישובי הגב הצפוני 1025 רקטות קסאם. מספר זה מתווסף לכ-4000 קטיושות אשר שוגרו לעבר ישראל במלחמת לבנון השנייה. נשק זה יכול להופיע בצורות שונות כגון רקטות פשוטות לטווח קצר הנושאות מטען של שניים-חמישה קילוגרמים חומר נפץ, רקטות לטווח בינוני וארוך או טילים בליסטיים ארוכי טווח. אמצעים אלה גורמים לנזק רב בתחומים שונים: **נזק טקטי** - גרימת אבדות בקרב לוחמי צה"ל ושיבוש טקטי של התקדמות כוחות צה"ל בשדה הקרב, פגיעה בעורף האזרחי או בעורף האסטרטגי (מפעלים, נמלי ים, נמלי אוויר, מתקני אחסון דלק, מתקני ייצור חשמל, צמתים מרכזיים, מפעלי תעשייה חיוניים וכדומה).



**מטוס מטען מסוג בואינג 747-400 שעבר הסבה למטוס מטען הנושא בחרטומו לייזר COIL המיועד ליירוט טילים בליסטיים בשלב ההאצה**

גרסה ניידת של לייזר זה נקראת בשם MTHL-Mobile Tactical High Energy Laser. הלייזר הנייד מאפשר גמישות וניידות בהפעלת מערכות הגנה כנגד רקטות ארוכות טווח (עד 70 קילומטרים) אשר עלולות לפגוע במטרות בעלות חשיבות אסטרטגית. ניתן לנייד את הלייזר באמצעים יבשתיים וכן באמצעים אוויריים (כגון מטוסי תובלה מסוג C-5, C-17, C-130). מתוכנן כי בשנת 2007 לייזר כימי טקטי נייד הנישא על-ידי מטוס C-130, יבחן בניסויי שדה. ניסיונות השדה בגרסה ניידת יבשתית הסתיימו בהצלחה ב-2004 לאחר שהשמיד הלייזר פגזים ורקטות בירי יחיד ובמטחים. לייזר DF שפותח במסגרת פרויקט פיתוח לייזר רב עוצמה (MIRACL) הפיק קרן לייזר בממדים של  $14 \times 14$  סנטימטרים והספק ממוצע של 1 מגוואט במהלך 70 שניות של הפעלה. בניסיונות שדה ב-1997 שיתק לייזר זה לווין אמריקני בחלל. עקב הצלחת ניסויי השדה שקלה ארצות הברית ב-2005 להציבו בעיראק כאמצעי הגנה בפני רקטות ופגזים. הפעלת מערכת הלייזר כמכלול דורשת בנוסף ללייזר עצמו גם מערכת לרכישת מטרה, מערכת אופטית מתוחכמת לעיצוב קרן הלייזר והכוונתה למטרה וכן מערכת אופטית משנית לציון ומעקב אחר המטרה.

## **לייזרים גזיים או מוצקים שייכים למערכת נשק אשר מכוונת אנרגיה לכיוון ולמטרה מסוימת ומעבירה את האנרגיה למטרה זו**

לייזר כימי נוצר עקב תגובה של מגיבים ראקטיביים כגון מולקולות מימן ( $H_2$ ) או דאוטריום ( $D_2$ ) ומולקולת פלואור או נגזרת המכילה פלואור. מכיוון שהתגובה הכימית היא בין מולקולת מימן ואטום פלואור, יש להפעיל על תערובת הגזים מתח חשמלי גבוה אשר מפרק את מולקולת הפלואור לאטומי פלואור ראקטיביים שמגיבים בצורה יעילה עם מולקולות המימן. יש להדגיש כי ההספק הנדרש מהלייזר הכימי ליירוט רקטות או פגזים בעלי טווח קצר יחסית הוא כ-100 קילוואט, ועל כן יש להשקיע אנרגיה חשמלית ניכרת של כ-1 מגוואט או יותר. תהליך יצירת קרינת הלייזר נגרם ישירות עקב החום הרב המשתחרר בתהליך התגובה הכימית, ולכן הלייזר נקרא בשם לייזר כימי. העבירות באטמוספירה בתחום אורכי גל אלה היא טובה יותר מאשר בלייזר הכימי HF, ועל כן לייזר זה מתאים למערכת קרקעית.

נפוץ השימוש בקרן הלייזר כמערכת עזר לכלי נשק, כלומר הלייזר משמש לציון מטרות, למדידת מרחק מדויק אל עצמים ולשיבוש של מערכות אלקטרו-אופטיות.

רבים סבורים כי עקב האיומים האסטרטגיים על מדינת ישראל, וכדי להתכונן לקראת סכנות המאיימות על קיומה של ישראל, יש צורך לפתח מערכות נשק מודרניות המבוססות על שילוב של מערכות אלקטרו-אופטיות ושל קרני לייזר.

במאמר זה אסקור יישומים ופיתוחים שונים של הלייזר ככלי נשק עתיר אנרגיה לשדה הקרב העתידי ואצבע על כיווני פיתוח אפשריים בעתיד.

### **סוגי לייזרים**

יכולתו של הלייזר לקבל קרן אנרגטית הנעה במהירות האור והאפשרות לרכז קרן זו על פני מטרה מוגדרת כדי לגרום לחימום מקומי ניכר ולכשל של מעטפת הטיל, הופכות את הלייזר לאמצעי יעיל ליירוט רקטות וטילים. סוגי הלייזרים המתאימים לשמש ככלי נשק עתיר אנרגיה כנגד רקטות וטילים נחלקים לשני סוגים: לייזרים גזיים ולייזרי מצב מוצק.

### **לייזרים גזיים**

לייזרים אלה מתבססים על גזים שונים כמדיום הפעיל, ומיועדים לשמש הן כמערכת ליירוט טקטי (רקטות, קטיושות ופגזים) והן כמערכת ליירוט אסטרטגי (יירוט טילים בליסטיים). לייזרים גזיים או מוצקים שייכים למערכת נשק אשר מכוונת אנרגיה לכיוון ולמטרה מסוימת ומעבירה את האנרגיה למטרה זו. יש שני סוגי לייזרים גזיים המשמשים ליירוט רקטות וטילים:

**לייזר טקטי באנרגיה גבוהה.** מערכת לייזר טקטי באנרגיה גבוהה היא מערכת לייזר קרקעית המורכבת מלייזר כימי דיאטרויום פלואוריד או מימן פלואוריד (DF או HF רציף בהספק מרבי של מגוואט). מערכות לייזר אלה, כולל מערכת "נאוטילוס", נבנו כמערכות ליירוט טילים ורקטות לטווח קצר במסגרת שיתוף פעולה בין ישראל לבין ארצות הברית שהיתכנותו הראשונית הוכחה כבר ב-1996. יירוט הרקטה מתבצע על-ידי חימום מקומי של תא הדלק הנוזלי של הטיל או חימום ראש הנפץ במקרה של פגז או טיל מונע בדלק מוצק עד לנקודת הכשל של המתכת. הלייזר הנדון אמנם הוכיח את יעילותו בניסויי שדה כנגד רקטות (כגון קטיושות 122 מילימטרים) ופגזים בכך שהשמיד כ-50 מטרות (מטרות יחידות או מטחים), אך יעילותו לא הוכחה כנגד נשק בליסטי.

לייזר כימי המבוסס על מולקולת DF נקרא גם MIRACL-Mid-Infrared Advanced Chemical Laser.



**התך של לייזר YAG קרמי שאוב דיודות בתצורת תיבה. הלייזר מפותח במעבדה הלאומית בליברמור בארצות הברית**

באלומיניום היא בטמפרטורה של 182 מעלות. השמדה יעילה תתרחש באמצעות פגיעה במיכל הדלק הנוזלי שבו הלחץ הפנימי רב או באמצעות מיקוד וחימום בקשת מסביב להיקף הטיל עד לנקודת הכשל של המעטפת.<sup>5</sup> בכל תרחיש יש להביא בחשבון אפשרות של הגנה על מעטפת הטיל על-ידי ציפוי מחזיר קרינה, דבר שעלול לפגוע ביעילות החימום המקומי.

יחסית לקרן הלייזר המהירה הטיל הוא מטרה איטית. בשלב ההאצה הטיל הוא מטרה פגיעה מכיוון שהוא חסר כושר תמרון, מסלולו ניתן לניבוי, וחתימת החום שלו ניתנת בקלות לגילוי. על כן בשלב ההאצה הטיל ניתן לגילוי למעקב ולהשמדה.<sup>6</sup> בנוסף, מזג האוויר איננו גורם משמעותי שכן הלייזר המוטס נמצא מעל שכבת העננים. השימוש בלייזר מאפשר גם להתגבר על מגבלת המרחק בין הטיל לבין האמצעי המיירט, שכן יירוט טיל בשלב השיגור מחייב מרחק קצר ביניהם. במקרה של לייזר מוטס, אין חשיבות למרחק ואף להחזרת היירוט שכן טווח הלייזר היעיל הוא כ-400 קילומטרים, ומהירות השמדת הטיל נקבעת על-ידי מהירות האור, כלומר במרחק של 400 קילומטרים תושמד המטרה בתוך אלפיות השנייה.

בנוסף לפיתוח מערכת הלייזר הראשית המשמשת להשמדה, מערכות הרדאר, מערכות התקשורת הפיקוד והעקיבה ובקרת הקרן, יש צורך גם בפיתוח של כמה מערכות משנה של לייזרים

## **הלייזר המוטס הוא לייזר כימי מסוג חמצן יוד [COIL] בהספק גבוה של כמה מאותים, המותקן על גבי מטוס ומתוכנן לפעול בגובה רב**

לייזר זה יישמש כמערכת הגנה זירתית כנגד טילים בליסטיים טקטיים (כגון סקאד), הוא בעל טווח פעולה יעיל של כ-400 קילומטרים, ומטרתו להשמיד את טיל האויב בשלב ההאצה. זמן הפעלת הלייזר הוא שלוש-חמש שניות, אך מתוכנן להפעילו למשך 100-200 שניות בהספק מרבי. זהו גם הזמן שבו הלייזר מאיר על המטרה (זמן העסקת המטרה). במשך זמן זה הלייזר יורה 20-40 יריות לפני טעינה נוספת של הגזים. להשמדת הטיל בשלב ההאצה יש יתרון בכך שהטיל החמוש באמצעים להשמדה המונית מושמד בשטח האויב. כמו כן, בשלב השיגור מנוע הטיל פועל, והטיל נמצא במפל לחצים גדול בשל כוחות אווירודינמיים, לחצי גזים באזור המנוע וכוחות תאוצה. לכן ניתן למקד את קרן הלייזר על מעטפת הטיל התוקף, ועל-ידי החימום המקומי לגרום לכשל מבני במעטפת הטיל, להתבקעות הטיל ולהתרסקותו תוך כדי ההאצה. נקודת הכשל בפלדה היא בטמפרטורה של 460 מעלות, ונקודת הכשל

בצד יתרונותיו, ללייזר מסוג זה יש כמה חסרונות:

1. מדובר במערכת גדולה הדורשת אספקה ואחסון תמידי של גזים מסוכנים (עד חמישה קילוגרמים לירי למטרה, כלומר מספר טונות של גזים מסוכנים עבור יירוט של אלפי מטרה).
2. נדרשות מערכות חשמל מרובות הספק לפירוק חשמלי של תרכובות הפלואור לאטומי פלואור ומערכות לפינוי החום הרב הנגרם עקב האנרגיה החשמלית המוכנסת למערכת.
3. הפעלתו תלויה במזג האוויר ובתנאי הסיבה.
4. הלייזר מופעל לטווחים קצרים יחסית, ועל כן איננו ניתן כיסוי שטח מיטבי.
5. קיימת השהיה בין ירי לירי, ולצורך הפעלה נוספת נדרש לפנות את הגז שנותר לאחר הפעולה הראשונה. אם לא יסולק הגז הנותר, הוא יבלע את קרינת הלייזר של הירי הנוסף.
6. מחיר הירי להשמדה הוא כ-3000-4000 דולרים, ואילו הלייזר יעיל עד לטווח של חמישה קילומטרים עקב בעיות עבירות הקרן באטמוספירה.

**לייזר מוטס.** הלייזר המוטס הוא לייזר כימי מסוג חמצן יוד (COIL) בהספק גבוה של כמה מאותים, המותקן על גבי מטוס נוסעים שעבר הסבה למטוס מטען ומתוכנן לפעול בגובה רב (כ-40 אלף רגל).<sup>4</sup> פיתוח המערכת החל ב-1996, ובסוף 2005 הופעל הלייזר המוטס בהספק הנדרש כדי להשמיד טילים בשלב ההאצה. מערכות הגילוי העקיבה והירי נבחנו בניסויי שדה במחצית 2007 ועל-פי התכנון, יירוט טיל מלייזר COIL מוטס יתבצע בסוף שנת 2008. פעולתו של הלייזר מתבססת על תגובה בין חמצן מעורר לבין יוד שבעקבותיה נוצרים אטומי יוד במצב מעורר (excited) ובמצב של היפוך אוכלוסין (היפוך אוכלוסין הוא מצב שבו צפיפות האטומים או המולקולות הנמצאים במצב אנרגטי גבוה (מצב מעורר) היא גדולה מצפיפות האטומים או המולקולות הנמצאים במצב אנרגטי נמוך). פליטת הלייזר היא בתחום האינפרא-אדום והתחום הקרוב לכך. היתרון המשמעותי הוא ביכולת המיקוד של קרן לייזר ה-COIL שהיא גבוהה פי תשעה מלייזר MIRACL. לאורך הגל של לייזר ה-COIL יש גם יתרונות נוספים: הוא ניתן להעברה בסיבים אופטיים, דבר המאפשר גמישות בתכנון ובבניית המערכת. כמו כן אורך גל זה נבלע ביעילות במתכות שונות, ועל כן הוא יחמם ביעילות רבה יותר מלייזרים אחרים את מעטפת הטיל. כאמור, הלייזר המוטס מותקן על גבי מטוס נוסעים מדגם בואינג 747-400 שעבר הסבה למטוס מטען, ונקרא בשם YAL-1.

למטרות שונות:

**מערכת הארת מטרה.** זוהי מערכת לייזר מצב מוצק פולסי בעלת הספק של ארבעה קילוואט המשמשת למעקב אחר המטרה בעת מעופה ולפני הפגיעה בה על-ידי לייזר מוטס או לייזר כימי נייד.

**מערכת להערכת מרחק ראשוני.** זוהי מערכת לייזר גזי רציף CO<sub>2</sub> המשמשת ליצירת מעקב ראשוני ברזומני אחר כמה מטרות ולקביעת סדר עדיפות להריסת מטרות.

**מערכת לייזר משואה.** לייזר מצב מוצק בעל הספק של כ-1 קילוואט או יותר. לייזר זה משמש לתיקון חזית הגל של לייזר ההשמדה עקב עיוותי הקרן במעבר דרך האטמוספירה כתוצאה ממפלי טמפרטורה. אלמלא התיקון, עיוותים אלה היו פוגמים באיכות קרן הלייזר הראשית וביעילות המערכת כולה שכן הם גורמים לפיזור הקרן ולהתבדרותה.<sup>7</sup>

### לייזרי מצב מוצק

לייזרים אלה מבוססים על מארח מוצק כגון גביש או זכוכית או מוצק קרמי. אלה מסוממים ביונים שונים, ויוצרים יחדיו את המדיום שמאפשר את פעולת הלייזר. כדי לייצר מצב של פליטת אור בצורת קרן לייזר יש לשאוב את היון הפעיל למצב אנרגטי מעורר. לצורך השאיבה משתמשים במנורות הבזק או בלייזרי דיודות. לייזר מצב מוצק הנפוץ והשימושי ביותר מבוסס על יון נאודימיום בגביש YAG. לייזר זה פולט קרינה בעלת עבירות טובה למדי באטמוספירה. מסיבה זו לייזר מצב מוצק,

המבוסס על גביש זה השאוב על-ידי דיודות לייזר, יעיל לשימוש ככלי נשק טקטי לייזר רקטות או טילים קצרי טווח.

הטכנולוגיה של לייזרים שאובי דיודות החלה להתפתח לפני כ-15 שנים והגיעה כיום לבשלות טכנולוגית. מערכת של לייזרים מסוג זה מפותחת כיום על-ידי שני יצרנים בארצות הברית: נורת'רופ גרומן וחברת טקסטרום מערכות הגנה במסגרת תכנית לפיתוח לייזרי מצב מוצק רבי עוצמה של חיל האוויר האמריקני. עבודת מו"פ אינטנסיבית בנושאי לייזרי מצב מוצק שאובי דיודות מבוצעת גם במעבדה הלאומית בליברמור. עוד לפני 2009 מתוכנן לפתח מערכת ניידת של לייזר מצב מוצק שאוב דיודות בעל הספק ממוצע מרבי של 100 קילוואט, המסוגלת להשמיד מטרות בטווח של כמה קילומטרים בשניות אחדות של הפעלה.

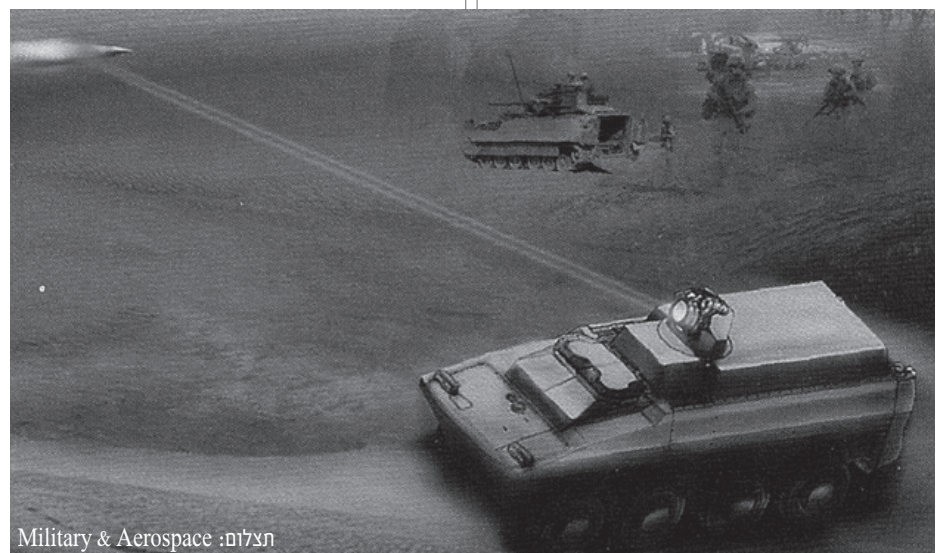
את השלב הראשון שמטרתו הוכחת בשלות טכנולוגית של הפעלת לייזר מצב מוצק טקטי נייד תבצע חברת נורת'רופ גרומן. כיום ניתן להפיק מלייזר מצב מוצק כ-67 קילוואט לפרק זמן קצר ולהספקים נמוכים יותר (15-20 קילוואט) לפרק זמן של 20 דקות לכל היותר ללא ירידה בביצועים.

## שימוש נוסף ללייזרים בשדה הקרב העתידי הוא השימוש בלייזר פועם מהיר ורב עוצמה ליצירת גלי הלם אולטרה-סוניים מקומיים

מערכת הלייזר המתוכננת, שהיא בעלת 100 קילוואט, מהווה למעשה "שרשרת" לייזרים המורכבת מכמה יחידות לייזר מצב מוצק. כל יחידה מפיקה כיום כ-15 קילוואט. לייזר מצב מוצק יש יתרון משמעותי על פני לייזר כימי גזי בפשטות הפעלתו, בממדיו הקטנים ובהיעדר לוגיסטיקה הכרוכה באספקת גזים מסוכנים (למשל, דאוטריום ופלוואור) כ"דלק" החיוניים לפעולת הלייזר הכימי. בניגוד ללייזר הכימי, לייזר מצב מוצק זקוק לשם הפעלתו לאספקת חשמל, ודבר זה ניתן לביצוע בעזרת גנרטור נייד בלבד. ניתן להפיק מלייזר מצב מוצק כמה אורכי גל באמצעות שימוש בטכניקות של אופטיקה לא-ליניארית. פשטות הפעלתו של לייזר זה מקנה לו גמישות בהפעלה בכמה פלטפורמות נשיאה בהתאם לתרחיש המבצעי. פלטפורמת הנשיאה יכולה להיות משאית או כלי רכב משוריין ללוחמה קרקעית ופלטפורמה אווירית כגון מזל"טים או מטוס קרב (חיל האוויר האמריקני שוקל להתקין לייזר בעל 100 קילוואט במטוס הקרב העתידי JSF או בספינות מלחמה כנגד טילי שיוט). תוצאות הביניים מצביעות על התקדמות רבה בפיתוח מערכות אלה. האתגר הטכנולוגי המרכזי בפיתוח לייזרי מצב מוצק לשימושים טקטיים הוא מזעור המערכת, הגדלת הספק הלייזר ופניו החום המצטבר בגביש הלייזר ובדיודות השואבות. השיטות להתגבר על הבעיות הן: שימוש בשלבי הגברה שונים של ההספק במקביל או בטור, קירור יעיל של פני הגביש, שימוש בגבישים בעלי גאומטריה מיוחדת שמקילה על הפינוי (גביש בצורת מוט צילינדר, תיבה דקה, דסקה) וכן שימוש בגבישים ייחודיים בעלי עמידות תרמית משופרת כגון גביש YAG קרמי. פיתוח זה מבוצע הן בחברת טקסטרום והן במעבדות ליברמור.

### שימושים נוספים ללייזרים בשדה הקרב העתידי

שימוש נוסף ללייזרים (לייזרי מצב מוצק או לייזרים גזיים) בשדה הקרב העתידי הוא השימוש בלייזר פועם מהיר ורב עוצמה ליצירת גלי הלם אולטרה-סוניים מקומיים.<sup>8</sup> לפולס לייזר זה, שהוא בעל הספק רגעי גבוה, יש השפעה כפולה על העצם שבו הוא פוגע: באמצעות שינוי אנרגיית פולס הלייזר ומשך זמן הפולס ניתן לשלוט על אפקטים שונים כגון אפקט ביולוגי מהמם ומשתק בגוף החי או על אפקט של חימום מקומי ניכר ואידוי משטחים מתכתיים עקב פגיעת פולס לייזר מהיר ורב עוצמה. פיתוח מערכות אלה מיועד למערכת לייזר מצב מוצק או לייזר כימי DF שגורמים לחימום מקומי וליצירת גלי הלם אולטרה-סוניים. התוצאה היא



תצלום: Military & Aerospace

**התפיסה של מערכת הקרב העתידית שפיתחה חברת נורת'רופ גרומן: לייזר מצב מוצק המורכב על גבי רכב משוריין המיועד להשמדת איזמים כגון טילים ופגזים**

ההפעלה, אך הספק האור המופק מהם קטן מאשר ההספק המתקבל מלייזרים גזיים בעלי הספק מרבי של 100 קילוואט. על כן לייזרי מצב מוצק ישמשו בעיקר ככלי נשק טקטי ליירוט רקטות או טילים קצרי טווח. יש לציין כי לייזרי מצב מוצק לא הגיעו עדיין לבשלות טכנולוגית, ויש צורך בשיפורים בתחום של הנדסת חומרים, זיווד ופינוי החום המתפתח במערכת. מסיבות אלה ומסיבות אחרות צפוי כי מערכת הדגמה נייחת המבוססת על לייזרי מצב מוצק ליירוט רקטות ופגזים תהיה מוכנה רק בשנת 2013. בעתיד הקרוב לא צפוי שלייזרי מצב מוצק יהיו יעילים כמו הלייזר הכימי, אך כפי הנראה ניתן יהיה לייצר לייזר רב עוצמה מלייזרי סיב (לייזרים המבוססים על סיבים אופטיים). לייזרים אלה, אשר לא הגיעו עדיין לבשלות טכנולוגית, משלבים יעילות גבוהה כמו לייזר כימי (30 אחוזים) עם מבנה פשוט וקומפקטי וגמישות

טעונות במטען חשמלי (פילמנטציה) והולכת חשמל באוויר עד למטרה, דבר הגורם לפגיעה ברכב או לשיתוק אדם.

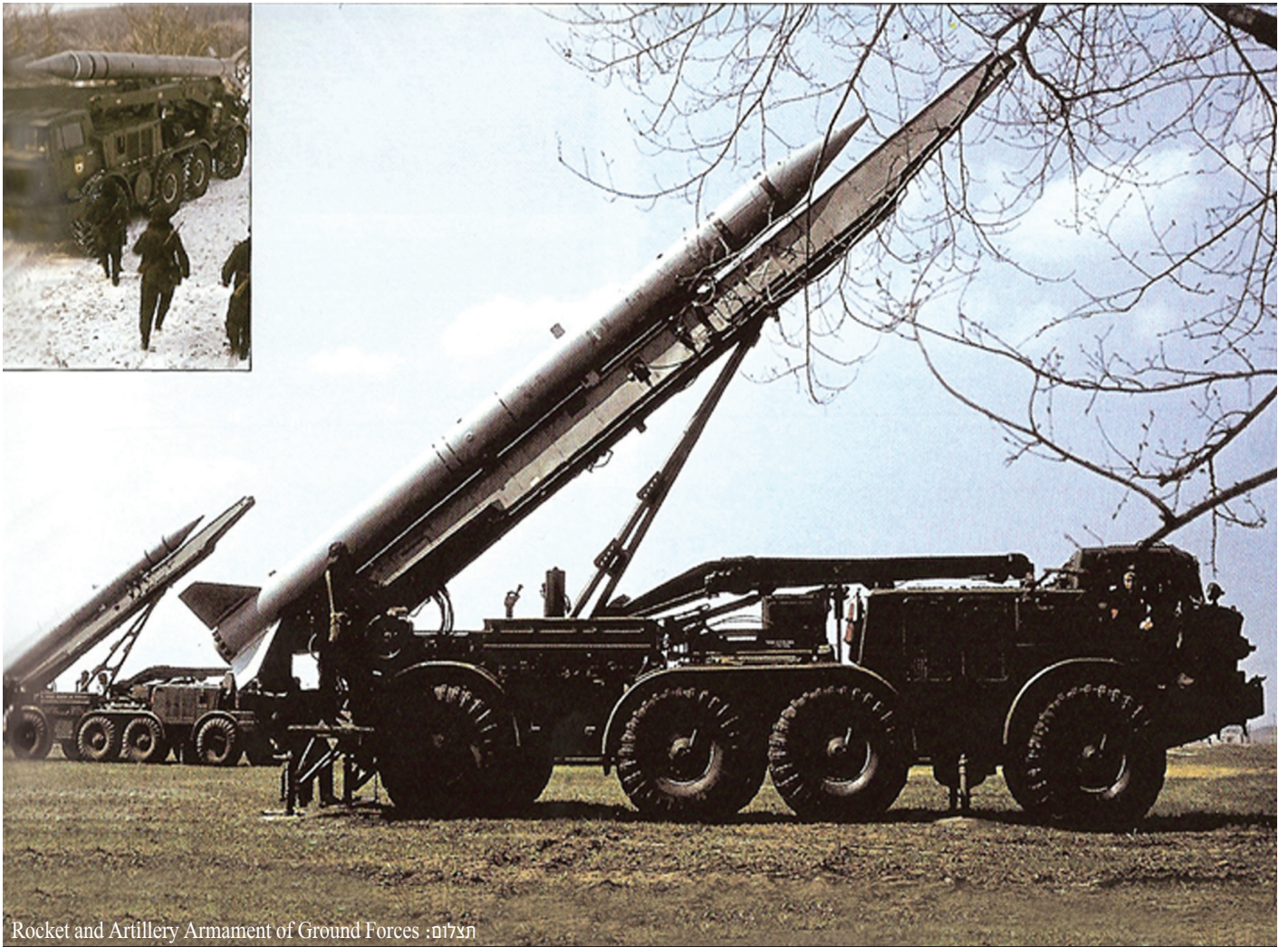
### מסקנות וכיוונים לעתיד

ניתן לומר כי לכלי נשק המבוסס על קרן לייזר יש פוטנציאל השמדה ניכר. הלייזרים המשמשים כלי נשק נחלקים לשני סוגים: לייזרים גזיים ולייזרי מצב מוצק. לייזרים גזיים כגון לייזר כימי (בהספקים של מגוואט) הגיעו לבשלות טכנולוגית ומשמשים כנשק טקטי נייח או נייד כנגד רקטות, קטיושות או פגזים או כנשק אסטרטגי מוטס ליירוט טילים בליסטיים ממרחק ניכר, בעיקר בשלב ההאצה. השמדת המטרה מתבצעת באמצעות חימום מקומי של מעטפת הטיל ובזמן קצר ביותר. ללייזרי מצב מוצק יש כמה יתרונות על פני לייזרי הגז בפשטות המבנה, בממדים ובלוגיסטיקת

איכול פני שטח מתכתי, למשל של טילים, רקטות ופגזים, הגורם לנטרולם ולהשמדתם. דוגמה לכך היא מערכת הטלון - מערכת לייזר פולסי מצב מוצק בהספק מרבי של 100 קילוואט שחברת נורת'רופגרומן מפתחת במסגרת פרויקט פיתוח של מערכת קרב עתידית. המערכת מיועדת להתקנה על רכב מאויש היברידי חשמלי ומיועדת ליירוט טילים, רקטות ופגזים. התפיסה מבוססת על שני עקרונות:

1. פיתוח מערכת נייחת קלת משקל, הנישאת בידי אדם ליצירת גלי הלם ופולסים אלקטרומגנטיים כדי לפגוע ולשתק לוחמים בטווחים הגבוהים מ-1600 מטרים. מערכות אלה מבוססות בעיקר על לייזרי מצב מוצק.
2. שימוש בפולסים קצרים מאוד של פמטור שניות (אלפית של מיליונית מיליונית השנייה) ליצירת שובל של אטומים או של מולקולות





תצלום: Rocket and Artillery Armament of Ground Forces

רקטה ניידת Luna-M לשימוש טקטי בעלת יכולת נשיאה של 540 קילוגרמים חומר נפץ או ראש נפץ גרעיני

Laser, the US Airborne Laser is Also Closest to Deployment", **Military & Aerospace**, pp. 17-20, April/May, 2006

8 ראו למשל: "נשק לייזר רב-עצמה וקל-משקל בקרוב בשדה הקרב העתידי", בתוך אל"ם יעקב צור (עורך), **לקט מו"פ ביטחוני מהעולם**, תל-אביב, משרד הביטחון - לשכת ראש מפק"ת, 2007

9. Nikolai Spassky (Director Editor-in-Chief), **Rocket and Artillery Armament of Ground Forces**, Vol. II, Publishing House Arms and Technologies, Moscow, 2001

### הערות

1. הרולד למב, **חניבעל: האחד נגד רומי**, תל-אביב, מערכות, 1964, עמ' 318
2. יהודה ואלך, **תורות צבאיות: התפתחותן במאה ה-19 וה-20**, תל-אביב, מערכות, 1977, עמ' 312-325
3. ראובן פדהצור, "טילים מול צינורות מתכת", הארץ, 14 במאי 2007
4. ראו למשל: גיפרי פורדן, "הלייזר המוטס (ABL)", עמ' 227-246, בתוך אריה סתיו (עורך), **טילים בליסטיים**: איום ומענה, תל-אביב, ידיעות אחרונות, 1998
5. שם
6. ראובן פדהצור, "הגנה פעילה בפני טילים בליסטיים - כיצד?", שם, עמ' 137-138.
7. John McHale, "The World's Laargest

בתפעול. אפשרות נוספת היא פיתוח מערך משולב עם מספר לייזרי דיודות יעילים (עד 60 אחוזים) בעלי איכות קרן לייזר גבוהה והספקים מרביים של עשרה קילוואט ליחידת לייזר. הפעילות בנושא זה בארצות הברית מצביעה על כוונותיה ועל יכולותיה לפתח ולשלב מערכות לייזר במערך ההגנה כנגד טילים ורקטות. נוכח האיומים הניצבים כיום בפני ישראל (שיגור הרקטות המתמשך לעבר יישובי הנגב המערבי והאיום העתידי בטילים בליסטיים מצד מדינות כגון איראן) והאפשרויות הכמעט בלתי מוגבלות של אויביה להצטייד במערכות נשק רקטי, טקטי או אסטרטגי<sup>9</sup> (כגון רקטה ניידת לטווח קצר) נדרש כי גם ישראל תפתח ותצטייד במעטפת הגנה נוספת המבוססת על לייזר ככלי נשק.