

יישומי לייזרים רבי הספק בשדה הקרב העתידי

יהושע קליסקי | 24 במאי, 2022 | גיליון 1603

מאמר זה בוחן את יישומי הלייזרים רבי-הספק להגנה בפני איומים בשדה הקרב העתידי. לייזרים המפיקים קרן אור אנרגטית במהירות האור הוכחו יכולות נטרול והשמדה של מטרות אוויריות, ביניהם פגזים, כטבמ"ים ורחפנים, המשמשים כיום מדינות עוינות וארגוני טרור לפגיעה בתשתיות אזרחיות וצבאיות. במאמר נסקרים היישומים האסטרטגיים והטקטיים של לייזרים רבי-הספק, היתרונות והחסרונות של סוגי הלייזרים השונים שפותחו בעשורים האחרונים והביצועים העדכניים של מערכות אלו.

הלייזר הינו מקור אור ייחודי לשימושים רבים ומגוונים במנעד רחב של עצמות. היתרון הבולט של הלייזר היא יכולתו להפיק ולרכז על פני מטרה מוגדרת קרן אור אנרגטית, הנעה במהירות האור בטווח מרחקים גדול וחימום מקומי של מעטפת המטרה עד לכשל מבני. המרוץ לפיתוח מערכות נשק מבוססות על לייזר רב עצמה נסקרו בידי [Jeff Hecht](#). כפועל יוצא של רעיונות שנסקרו על ידי Jeff Hecht התגבשה הדעה כי מערכת לייזר רב-הספק, בשילוב עם מערכות קינטיות ועם מגוון מערכות אופטיות ואלקטרו-אופטיות מתאימות, עשויה לשמש כלי נשק לפגיעה ונטרול איומים אוויריים הנמצאים ברשות אויבינו - טילים, רקטות, פצצות מרגמה (פצמרי"ם), כלי שיט קטנים בלתי מאוישים, כלי טיס בלתי מאוישים (כטבמ"ים) או רחפנים. כיום, ליריב המפעיל את האמצעים המוטסים האלו יתרונות שנובעים מפשטות ההפעלה והעלות הנמוכה יחסית - מה שמאפשר לו לגרום נזק רב, לשבש את החיים התקינים ולזרוע אימה. נשק מבוסס על לייזר רב-הספק הוא אחד מהנדבכים ההכרחיים להתגוננות מאיומים אלו ([קליסקי](#)).

סוגי לייזרים

לנשק מבוסס לייזר יש מספר יתרונות משמעותיים: הוא מאפשר יירוט מדויק, רציף, בהספק גבוה ובמהירות האור, בעלות נמוכה ובלוגיסטיקה מינימלית בהשוואה ליירוט קינטי באמצעות טילים. בנוסף, ניתן לשלוט בהספק הלייזר בהתאם לסוג המטרה, ללא צורך ב"טעינת מחסנית תחמושת", שכן הלייזר הינה מערכת לא מתכלה. מגבלות הפעלת הלייזר הן בעיקר סביבתיות - הפעילות מוגבלת בעננות, באובך ובגשם, טווח פעולה מוגבל עקב הנחתה אטמוספירית שמקורה בבליעת קרינת הלייזר ע"י אדי מים או גזים שונים הנמצאים באטמוספירה. בנוסף חייב להיות קו ישר בין הלייזר למטרה, שכן תנועת האור היא בקו ישר, ונדרשת שהות מסוימת של הקרן על גבי המטרה על מנת לגרום לנזק הנדרש.

מבחינים בין לייזר ליישומים טקטיים לבין לייזר ליישומים אסטרטגיים. מהגדרה זו גם נגזרים ההספקים הנדרשים:

לייזר טקטי, להלן **kW-class lasers**, משמש אמצעי להשמדת רקטות לטווח קצר ובינוני, פגזים, כטבמים, רחפנים וספינות קלות. ההספק הנדרש הוא בסביבות 100-150 קילוואט. זמן הגעת קרן הלייזר עבור מטרה הנמצאת במרחק 10 ק"מ הוא 30 מיליוניות שניה בלבד.

לייזרים ליישומים אסטרטגיים משמשים להשמדת טילים ארוכי טווח – מאות ואלפי ק"מ, ההספק הנדרש הוא 1-2 מגה-וואט, ובהתאם הם נקראים **MW-class lasers**. חשוב לדעת כי בהתאם לכמות ההספק הנדרשת, הלייזר יכול להיות נייד יבשתית או אווירית או נייח.

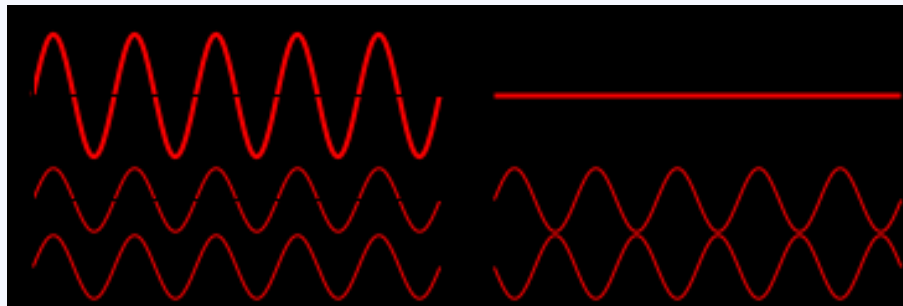
לייזרים כימיים

מבחינה היסטורית, הפיתוח בשנות ה-70 וה-80 של המאה העשרים התמקד בלייזרים אסטרטגיים רבי עצמה - **MW-class lasers** - לנטרול והשמדה של טילים בליסטיים נושאי ראש נפץ גרעיני. המקור להפקת קרינת לייזר מסדר גודל זה הם לייזרים כימיים. מדובר בלייזרים המתבססים על תערובת גזים, כגון מימן או דאוטריום, יחד עם פלואור או נגזרותיה כמדיום הפעיל, כאשר החום המופק מהתגובה הכימית בין אטומי הפלואור לבין אטומי המימן או הדאוטריום גורם לתהליכים המובילים לקרינת לייזר רבת עצמה בתחומי האינפרא-אדום. פיתוח זה נעשה בעיקר בארצות הברית, בברית המועצות, בסין ובבריטניה, והפיתוח הואץ משמעותית לאחר נאום "מלחמת הכוכבים" של נשיא ארצות הברית דאז, רונלד רייגן, ב-23 במרץ 1983. במסגרת זו פותחו בשיתוף פעולה עם ישראל מערכות לייזר כימי "נאוטילוס" ו"סקייגארד" ליירוט טילים, רקטות ופצמרים, שהראתה היתכנות ראשונית כבר בשנת 1996 בהשמדת רקטות קצרות טווח ופגזים. בהמשך פותחו דגמים משופרים של לייזרים כימיים על בסיס מימן או דאוטריום פלואוריד למטרות טקטיות, קרי הספקים עד 100 קילו-וואט ואף לייזרים כימיים המבוססים על תגובה כימית בין חמצן ליוד בתצורות שונות (נייחים, ניידים או מוטסים), שהוכחו היתכנות בהשמדת מטרות בניסויי שדה. במקביל לפעילות זו תוכנן, הורכב והופעל לייזר כימי חמצן-יוד בהספקים של 1-2 מגה-וואטים, נישא על גבי מטוס בואינג 747-**Airborne laser or ABL**. בניסויי שדה, הלייזר המוטס ביצע שני יירוטים מוצלחים של טילים בליסטיים בשלב ההאצה ובמרחק של 400 ק"מ, אך בשנת 2011 הפרויקט נסגר מסיבות כלכליות והערכת ביצועים ירודה.

לייזרי מצב מוצק **Solid state lasers** ולייזרי סיב **Fiber lasers**

הנושא של לייזרי מצב מוצק ולייזרים מבוססים על סיבים אופטיים התפתח משמעותית בעיקר בארצות הברית, אך גם ברוסיה, בגרמניה ובסין החל מסוף שנות ה-90 של המאה העשרים, והואץ בשנים 2000-2010. בשנים אלו פותחו מערכות לייזרי מצב מוצק ולייזרי סיב בתצורות שונות של גיאומטריה ושילוב של שרשרת מגברים אופטיים להגברת עצמת הלייזר. בנוסף חלה התקדמות משמעותית בפיתוח לייזרי דיודות רבי-הספק, אשר משמשים לעירור הלייזר הגבישי

או הסיבים האופטיים (ראה למשל [Kalisky, 2013](#)). בד בבד התרחשה פריצת דרך משמעותית בפיתוח וייצור סיבים אופטיים ייחודיים להפקת קרני לייזר, רכיבים אופטיים עמידים בהספקים גבוהים, מערכות קירור ופינוי חום, מערכות אופטיות לתיקון עוותים אטמוספריים ושיטות לאיחוד קרניים. בניגוד ללייזר הכימי, לייזרי מצב מוצק או לייזרי סיב מפיקים הספק רב עצמה על ידי שילוב מספר אלומות בהספקים נמוכים לאלומה אחת רבת הספק. השילוב המקובל כיום הינו שילוב אלומות הקוהרנטי - **Coherent Beam Combining - CBC** והוא נעשה על ידי תיאום הפאזות של האלומות השונות, כך שכולן תהיינה באותה פאזה, קרי השיאים של גלי האור השונים מופיעים באותו הזמן ומגבירים את ההספק המופק מהמערכת, כמתואר באיור מס' 1.



איור מס' 1: אחוד קרניים שאינם בפאזה (מימין) ואחוד קרניים בפאזה (משמאל).

ללייזר סיב יתרונות נוספים לעומת לייזרי מצב מוצק: פינוי חום יעיל בגלל שטח הפנים הגדול, הגבר ניכר של קרינת הלייזר בגלל אורך הסיב, צריכת חשמל נמוכה ב-50 אחוזים מזו של לייזרי מצב מוצק, גמישות בהרכבה ותפעול, קומפקטיות ועל כן אפשרות לפלטפורמה יבשתית ואווירית. למרות מספר מגרעות, בעיקר בתחום האופטי, טכנולוגית לייזרי סיב רבי עצמה נחשבת ל"בוגרת" ומבטיחה ביותר.

סטטוס הביצועים למערכות השונות (לייזרי מצב מוצק ולייזרי סיב) כיום הינו 100 קילו-וואט, ביעילות ממוצעת של 30 אחוזים עם צפי לקבלת הספק של עד 400 קילו-וואט בשנת 2024 ביעילות של 30-50 אחוזים. לייזרי מצב מוצק רבי עצמה - **Laser Weapon System or LaWS** בתחום 15-50 קילו-וואט (איור מס' 2) שפותחו על ידי גופים שונים הוכיחו היתכנות מבצעית מרשימה בניסויי שדה ביירוט כטבמ"ים וכלי שיט לא מאוישים ונמצאים בשרות מבצעי כבר משנת 2014 במפרץ הפרסי על ספינת הצי USS Ponce, ועל הספינה USS Portland. לייזר זה ביצע גם יירוט של טיל שיוט בשדה הניסויים וויט סנדס, ניו מקסיקו. מבחינת הערכת משקל ונפח, כיום מערכת לייזר מצב מוצק בת 100 קילו-וואט שוקלת כ-3 טון והיא בעלת נפח של כולל של 7,400 ליטר. השאיפה היא להגיע למערכת ששוקלת 500 ק"ג, בנפח של 700 ליטר ויעילות כולל של 30 אחוזים ([Titterton, 2015](#)).



איור מס' 2: לייזר מצב מוצק מבצעי LaWS בהספקים 15-50 קילו-וואט מוצב על ספינת הצי USS Ponce | מקור: https://en.wikipedia.org/wiki/AN/SEQ-3_Laser_Weapon_System

סיכום

קרן לייזר רבת הספק הינה מערכת נשק אלקטרומגנטית, מורכבת מבחינה טכנולוגית, השייכת לדור של נשק מוכוון אנרגיה - **directed energy weapons** - והיא בעלת יתרונות רבים בהיבט של עלות נמוכה, ירי בלתי מוגבל, לוגיסטיקה מינימלית, מהירות תגובה אינסופית (יחסית למטרה) ויכולת פגיעה נקודתית במטרות נעות בטווחים התלויים בסוג הלייזר ובמיקומו – ביבשה או בגובה רב. מאידך גיסא, לנשק זה מגבלות הפעלה סביבתיות וטווח מוגבל. מערכת הלייזר אמורה להשתלב ולהשלים את מערכת כיפת ברזל, ולספק מעטפת הגנה אופטימלית למדינת ישראל. חשיבות הנושא לביטחון הלאומי של ישראל באה לידי ביטוי בדברי ראש הממשלה מר נפתלי בנט, בנאום שנשא בכנס הבינלאומי של המכון למחקרי ביטחון לאומי שנערך בפברואר 2022, כי בתוך שנה צה"ל יפעיל מערכת "כחול לבן" לייזר טילים בעזרת לייזר.

עורכי הסדרה: ענת קורץ ואלדד שביט