

שילוב טכנולוגיות – הפיתרון הישים היחיד להגנת העורף כולו מאיומים בליסטיים וטילי שיוט

אל"מ (מיל.) יוסי ארזי

רקע

בעת קונפליקט כולל חוזה מערכת הביטחון מתאר תקיפה על העורף שיימשך כ 30 יום, בו ישתתפו כל, או מירב מרכיבי "ציר הרשע". העורף כולו צפוי לספוג בכל יום כ 1000 טילים, רקטות וטילי שיוט למיניהם (מתן וילנאי, ישראל היום, 3/6/2111). לחלק מהאיומים הנחייט GPS עם דיוק פגיעה של מטרים בודדים. חשש לאלפי נפגעים ולנזקים כבדים לתשתיות ולאתרים אסטרטגיים.

מדינת ישראל כבר מפתחת ובונה מערכת הגנה מפני הסוגים השונים של טילים ורקטות – החל מרגע שיגורם ועד פגיעתם בקרקע – מבוססת על 5 שכבות של טילי הגנה בלבד (כיפת ברזל, שרביט קסמים, חץ 2, חץ 3 ופטריוט).

במאמר נראה כי **פיתרון זה אינו ישים**. הוא אינו ניתן למימוש מהבחינה הכלכלית מחד, ואינו ניתן כל מענה מול חלק משמעותי של האיום מאידך. נוסף ונראה כי רק **שילוב טכנולוגיות** של טילי הגנה עם לייזר כימי רב-עצמה יביא למימושו של פיתרון כולל, אפקטיבי, שיענה לכל סוג של איום ושניתן יהיה לממשו ללא כל קושי כלכלי משמעותי.

נקודת המוצא היא שיש, **וניתן להגן על העורף כולו** – מרכזי האוכלוסייה המשמעותיים (נהריה, מעלות, זיכרון יעקב, ת"א וכ"ו) והאתרים החיוניים (ש"ת, תחנות כוח וכ"ו) – סה"כ כ 40 במספר. אין צורך להסתפק בהגנה על אתרים אסטרטגיים בלבד. אין צורך להסתפק בהגנה חלקית על העורף כולו.

פרקי המאמר :

- מתאר האיום והרלוונטיות שלו
- תכונות נדרשות ממערכת הגנה כוללת, אידיאלית
- מערכת המבוססת על טילי הגנה בלבד – יתרונות, חסרונות וישימות
- מכלול הגנה המבוסס על מערכות לייזר כימי רב-עצמה, הסקייגארד – קרקעיות ומוטסות – תכונות, יתרונות וחסרונות
- יעילותו של הפיתרון המשולב
- הגנת יישובי "עוטף עזה" כמקרה ייחודי
- אי הרלוונטיות של מערכות הגנה המבוססות על "לייזר מצב מוצק".
- מתאר תקציבי
- סיכום

מתאר האיום והרלוונטיות שלו

לאחרונה נפגשנו עם אחד מהשרים הבכירים בממשלה. הוא כפר בקיומו של מתאר לחימה שיימשך כ 30 יום. לדבריו – תוך יומיים / שלושה תנחית ישראל על האויב מכה ניצחת, והלחימה תיפסק.

איננו יכולים להסכים עם קביעה זו. מלחמת לבנון השנייה, כדוגמא, נמשכה למעלה מ 30 ימים (למרות רצוננו לקצרה), כאשר בכל יום, בעיקר בימיה האחרונים, ספג אזור הצפון כ 250 רקטות מסוגים שונים. זאת למרות פעילותו של חיל האוויר למניעת השיגורים. הצלחתו של חיל האוויר הייתה חלקית ביותר.

ואז לחמנו נגד החיזבאללה בלבד...

לחימה מול כל "ציר הרשע" סביר שתימשך הרבה מעל "יומיים / שלושה". לא בהכרח אנחנו נקבע את מועד סיומה.

האיום הולך ומתעצם מכל בחינה – כמויות, טווחי הירי, גודל הראש הקרבי ובעיקר – דיוק הפגיעה. אזורי השיגור מתפרסים מטווח של מאות מטרים מהגבול (פצמריים על יישובי עוטף עזה) ועד טילי

שיהאב מאירן, שישוגרו מטווחים של 1500 ק"מ ומעלה. **איום זה ימשיך ללוות אותנו עוד הרבה עשרות שנים.** יש להבין זאת, וכך לתכנן את מערכות ההגנה. התחלנו עם טילי סקאד B, קטיושות לטווח של 20 ק"מ ורקטות קסאם 1.

- כיום אנו עומדים בפני תמהיל מגוון וקטלני של איומים, ממאות אלפים ועד אלפים בודדים מכל סוג:
- פצצות מרגמה לטווחים של מאות מטרים ועד מספר קילומטרים. זהו אחד מהאיומים העיקריים על יישובי "עוטף עזה"
 - תמהיל של רקטות קסאם לסוגיהן (1 עד 3) עם רקטות גראד רגיל וגראד משופר, המשוגרות לטווחים של החל מ 3 ק"מ ועד כ 40 ק"מ
 - רקטות לטווח בינוני / קצר – פאג'ר 3 ו 5, לטווחים של כ 50 עד 70 ק"מ
 - רקטות F110 ו M600. משוגרות לטווחים של 200 עד 300 ק"מ עם ראשי נפץ של 200 ק"ג ומעלה. לרקטות אלו דיוק GPS שהופכן לסכנה אסטרטגית לכל התשתיות החיוניות במדינה
 - משפחת טילי סקאד B, C, D המשוגרים לטווחים של כ 200 ועד 700 ק"מ, להם ראש נפץ של מאות קילוגרמים. חלקם נושאים גם ראשים עם חומרים כימיים / ביולוגיים
 - טילי שיהאב 3 ו 4 מאירן, להם פוטנציאל לשאת גם ראשי קרב גרעיניים
 - טילי שיוט, כאשר המסוכן ביותר הוא ה P800 (יאחונט) הרוסי, שמצוי כנראה בסוריה. לטיל זה דיוק GPS. הוא משייט בגובה של כ 10 עד 15 מ' ובמהירות המגיעה עד 2.5 מאך. לטילים אלו פוטנציאל נזק משמעותי ביותר לכל המטרות האסטרטגיות במדינה, **כבר בשלב הפתיחה של העימות.**

כבסיס לתכנון מערכת הגנה אנו ממליצים לקבל את הגדרתה של מערכת הביטחון את מתאר הלחימה, ולקבוע מדד כמותי לכל סוג איום שישוגר לעברנו **בכל אחד מ 30 ימי הלחימה**, לפי הפירוט הבא:

- מספר מאות של פצצות מרגמה (נגדם אין כיום כל הגנה)
- כ 800 רקטות קצרות טווח, מקסאם 1 ועד גראד משופר (כ 1/3 מהם בלבד ייורטו ע"י כיפת ברזל. היתר, ש"אמורים ליפול בשטחים פתוחים" – לא יטופלו)
- כ 100 איומים לטווח בינוני / קצר – רקטות פאג'ר, רקטות F110 וטילי זלזל (מיועדים ליירוט ע"י שרביט קסמים)
- כ 100 איומים לטווח בינוני ומעלה – רקטות M600, טילי הסקאד וטילי השיהאב מאירן (ייורטו ע"י טילי חץ ופטריוט)
- מספר עשרות של טילי שיוט (נגדם אין הגנה).

נוכל בהמשך להניח כי ככל שהלחימה תימשך תהיה ירידה בקצב שיגור האיומים אלינו, אך גם כך ההוצאות תהיינה מעבר לכל יכולת.

תכונות נדרשות ממערכת הגנה כוללת, אידיאלית

מול מתאר זה יש להציב מערכת שתוכל להתמודד עם כל כמות וכל סוג של איומים, ולהשמידם לפני הגעתם לקרקע - לא משנה מה משכה של הלחימה.

תכונותיה העיקריות:

1. יכולת יירוט ללא מגבלות של **כל כמות** האיומים שבידי האויב, ושביכולתו לשגר, כולל ירי במטחים. שמירתה של יכולת זו לאורך זמן ככל שיידרש
2. **עלות נמוכה ביותר** של השמדת איום – מספר בודד של אלפי דולר. כך למנוע הגבלה כלכלית על הפעלתה
3. יכולת פעולה נגד **כל סוגי האיומים** הבליסטיים וטילי שיוט
4. יכולת פעולה **בכל מזג אוויר**
5. **זמן תגובה קצר ביותר** – מספר שניות מרגע שיגור האיום או מכניסתו למעטפת ההגנה של המערכת ועד להשמדתו
6. יכולת פעולה נגד איומים הנורים **לטווחים קצרים ביותר**
7. **לא תדרוש השקעות** מסיביות בהצטיידות בסימומו של קונפליקט ע"מ להתכונן לקונפליקט הבא
8. **לא תחייב פיתוח טכנולוגי** כל אימת שאיום חדש מופיע בזירה

מערכת המבוססת על טילי הגנה בלבד – יתרונות, חסרונות ושימויות

היתרון המבצע היחיד של מערכות הגנה המבוססות על טילי הגנה בלבד הוא יכולת פעולה בכל מזג אוויר, בהנחה שכך מתוכננים כל מרכיביה (זאת בהשוואה למערכות הלייזר הקרקעיות. למערכות הלייזר המוטסות אין כל מגבלה כזו). זו הסיבה העיקרית בגללה יש לשלב בין הטכנולוגיות. בכל יתר הסעיפים למערכות הסקייגארד – קרקעיות ומוטסות – יש יתרון מוחלט. יתרון נוסף למערכת הוא עצם הימצאותה בשלבי יישום שונים – מהשלמת פיתוח (כיפת ברזל וחץ 2), דרך פיתוח ראשוני (שרביט קסמים וחץ 3) ועד הצטיידות (כיפת ברזל, חץ 2 ופטריוט).

הנחתנו כי משהב"ט מתכוון ליישם את השלבים הנדרשים להשלמת תהליכי הפיתוח של כל שכבות ההגנה הנ"ל, כולל מערכות תומכות כמו מכ"ם ותקשורת. מניחים גם כי תהייה הצטיידות בכמויות מסוימות של סוגי הטילים נגד טילים, שיספיקו למספר ימי לחימה.

זה מתאים לגישה של שילוב הטכנולוגיות.

עם זאת לא ניתן להתעלם מהקביעה הבאה:

מערכת הגנה, מבוססת על טילים נגד טילים בלבד, אינה ברת יישום. היא לא תמלא את ייעודה מהסיבות העיקריות הבאות:

- לעולם לא נוכל לתקצב רכש של כמות טילים נגד טילים שתתחרה בכמות האיומים שבידי האויב. פרק המתאר התקציבי, בהמשך, מראה כי ההשקעות הנדרשות לייצר רק את מלאי הטילים (ללא ההצטיידות בסוללות עצמן ובכל הנלווה עליהן) ל 40 ימי לחימה, הלחימה משך 30 ימים וההצטיידות בטילי הגנה במקום אלו שיירו – תגיע עד כדי 63 מיליארד דולר.

עלותו של יום לחימה אחד תגיע עד כדי 900 מיליון דולר.

אלו סכומים בלתי נתפסים, שלעולם לא תהיה לנו יכולת להקצותם.

נוכל לייצר, לכן, רק כמות קטנה יחסית של טילים נגד טילים. ההגנה תהיה חלקית בלבד, שתלך ותקרוס ככל שהלחימה תימשך, שמשמעותה האמיתית היא: לא תהיה הגנה.

סיבה זו בלבד מספיקה לפסילת הפיתרון המסתמך על טילי הגנה בלבד, אך ישנן גם סיבות נוספות, הנובעות מאי עמידה בדרישות ממערכת הגנה מיטבית, כמצוין לעיל:

- למערכת כיפת ברזל אין יכולת להתמודד עם איומים הנורים לטווחים קצרים (שילוב של רקטות קסאם למיניהן, טילי גראד רגיל וגראד משופר) המשוגרים לטווחים של כ-3 ועד כ-12 ואפילו 15 ק"מ¹. זאת עקב זמן המעוף הקצר של האיום. אין לה גם יכולת הגנה מפצצות מרגמה.

המשמעות – אין כל הגנה על יישובים הקרובים יחסית לגבול, עד כדי 10 עד 15 ק"מ ממנו. למעלה ממיליון תושבים, לאורך כל גבולות המדינה, יישארו חשופים.

- הגדלת דיוקן של הרקטות המאיימות תביא לקריסת הקונספציה של ירי סלקטיבי, שמשמעותו אי יירוט האיומים "שיפלו בשטחים פתוחים". אז יהיה צורך ליירט את כולן, עובדה שתוסיף ותחמיר את ההיבט הכלכלי.

- ככל שנראה - המערכת אינה מסוגלת להתמודד עם טילי שיוט - איום קריטי בעיקר כאשר מדובר בטיל P800 הרוסי.

- סיומו של קונפליקט יחייב חידוש המלאי של כל סוגי טילי ההגנה שנורו במהלכו. זו הצטיידות שתימשך זמן רב, במהלכה נהיה חשופים, ועלותה אסטרונומית.

- הניסיון מוכיח כי הופעת איום חדש מחייבת פיתוח של טיל הגנה חדש כנגדו (כיפת ברזל

פותחה נגד איומים קצרי טווח, שרביט קסמים מול אלו הנורים לטווחים של כ 100 עד 200 ק"מ, חץ 2 נגד סקאד B, אולי גם נגד סקאד C, וחץ 3 נגד טילי השיהאב למיניהם).

נראה בהמשך כי מערכות הסקייגארד – קרקעיות ומוטסות – אינן "סובלות" כלל מרשימת חסרונות אלו, למעט, כאמור, מגבלות ביצועים של המערכת הקרקעית בלבד, בתנאי מזג אוויר קשים במיוחד. **מכלול הגנה המבוסס על מערכות לייזר כימי רב-עצמה, הסקייגארד – קרקעיות ומוטסות – תכונות, יתרונות וחסרונות**

מערכות לייזר קרקעיות – הנאוטילוס והסקייגארד
1. **מערכת הנאוטילוס** פותחה לצורך אחד בלבד - הגנה על קריית שמונה מהקטיושות שנורו אליה מלבנון, החל משנות ה 70 של המאה הקודמת.

2. פיתוח המערכת החל בחודש יוני 1996 והסתיים ביוני 2000, עם ביצוע שני ניסויים מוצלחים של השמדת רקטות בעת מעופן.

3. מאז יוני 2000 ועד נובמבר 2004 בוצעו במערכת הנאוטילוס עשרות ניסויים. המערכת ירטה את כל 46 האיומים מסוגים שונים ששוגרו נגדה: 31 קטיושות ורקטות אחרות, 5 פגזי ארטילריה 152 מ"מ ו 10 פצצות מרגמה, מהן 3 שנורו כמטח⁵.

4. **מערכת הסקייגארד** מהווה **פיתוח ישיר** של הנאוטילוס. **התכנון ההנדסי המפורט שלה בוצע** במהלך השנים 2000 עד 2004, והוצג בפני הצבא האמריקאי ונציגי משהב"ט באוגוסט 2005 לשביעות רצונם המלאה.

5. השיפורים העיקריים במערכת הסקייגארד, בהשוואה לנאוטילוס, הם כדלקמן²:
• עמידה בסטנדרטים צבאיים מלאים (זמינות, אמינות, תחזוקתיות ויבילות).
• הקטנת ממדים פי 4.
• שטף אנרגיה על המטרה – גדול פי 4 עד פי 5.
• כתוצאה מכך – הגדלת הטווח היעיל לכ 10 ק"מ (15 ק"מ עם אופטיקה אדפטיבית), עובדה המאפשרת שימוש ב 8 מערכות בלבד להגנה על כל מרחב יישובי "עוטף עזה", ובכ 26 מערכות כאלה להגנה על כל אזור הצפון. כל זאת עם מקדם ביטחון של 100 אחוז. **80 מערכות כאלו תוכלנה להגן על כל 40 מרכזי האוכלוסין הגדולים והאתרים האסטרטגיים במדינה.**

6. **על בסיס השלמת התכנון ההנדסי³** התחייבה חברת נורת'רופ-גרומן בפני משהב"ט לספק מערכות סקייגארד החל מ 18 חודשים מקבלת החלטה על ייצורן, במחיר קבוע, ותוך נכונות לשאת בקנסות פיגורים.

7. היתרונות העיקריים של מערכת הסקייגארד הקרקעית:
• **אין חסמים טכנולוגיים.** הטכנולוגיה זמינה והוכחה בעשרות ניסויים, למעשה ב 100 אחוזי הצלחה. **המושג "החטאה" אינו קיים** עקב הנעילה של קרן הלייזר על האנרגיה המשודרת וחוזרת מהמטרה.
• **"מחסנית אין-סופית"** וזמינה במשך כל הזמן של דלקים וגזים הנדרשים לתפעול המערכת. **לעולם יהיו לנו מספיק דלק וגזים** להתמודדות עם כל כמות של רקטות וטילים בליסטיים שתהיה בידי האויב.
• משום **שהמערכת פועלת במהירות האור** אין צורך בשדרוגה כאשר מופיעים איומים משוכללים ומהירים יותר. כולם יטופלו. זה בניגוד חריף למערכות של טילים נגד טילים, בהם יש לבצע אופטימיזציה – למעשה פיתוח מלא – כל אימת שאיום חדש מופיע בזירה.
• מערכת הסקייגארד, שכאמור **תשמיד כל מטרה** שתיכנס לטווח הכיסוי שלה (כ 10 עד 15 ק"מ), תהיה יעילה הן נגד פצצות מרגמה הנורות לטווח של מאות מטרים והן נגד כל סוגי הטילים והרקטות, כולל טילי שיהאב 4, הנורים לטווחים של עד כ 2000 ק"מ.

- זאת גם המערכת היחידה לה יכולת **ליירט טילי שיוט**³ הטסים בגובה נמוך מאוד ובמהירות גבוהה מאוד, כמו ה-P800 הרוסי. חשיפה של 3-5 שניות של טיל כזה למערכת תאפשר השמדתו.
- המערכת מאפשרת ליירט את המטרה מיד לאחר גילוייה. אין צורך בתהליך שערך של נקודת יירוט המטרה. ניתן לכן להשמיד איומים תוך **פחות מ 5 שניות מרגע שיוט**.
- קצב ממוצע של השמדת מטרות הוא **אחת לכ 3 שניות**, כולל זמן המעבר למטרה הבאה. כך מתאפשר להשמיד מטחים של טילים שנורו בו זמנית. כדוגמה – לרקטת גראד משופר שמשוגרת לטווח 40 ק"מ נדרשות כ 38 שניות ומעלה מרגע כניסתה לטווח היעיל של מערכת הסקייגארד (15 ק"מ) ועד פגיעתה בקרקע. במשך זמן זה המערכת תוכל להשמיד מטח של כ 11 רקטות, שנורו בו זמנית, באותו שבריר של שנייה⁴.
- **עלות יירוט נמוכה ביותר, כ 1000 עד 3000 דולר**⁵ (כתלות בטווח – מחיר הגזים והדלק המשמשים ליצירת קרן הלייזר). זאת לעומת עלות של מאות אלפי דולר (שני טילי כיפת ברזל עבור מטרה אחת) ועד כמה מיליוני דולר – עלותם של שני טילים כמו שרביט קסמים או חץ - הדרושים לאותה פעולה.
- למערכת יכולת **הגנה עצמית** מפני כל איום בליסטי הנורה אליה. היא תוכל לפעול גם נגד מסוקים, מטוסים וכל מה שישוגר מהם.

יכולות מערכת עם אופטיקה אדפטיבית מול מספר איומים מייצגים⁴ הערה: היות ו 2 מערכות סקייגארד תגנה על כל אתר – תוכפל כמות האיומים שייורטו. אם קצב הגעת האיומים יהיה קטן מ 1.5 שניות בממוצע – כל האיומים יושמדו.

P800 (יאחונט)

משייט במהירות של כ 850 מ"ש. 17 שניות מכניסה לטווח אפקטיבי (15 ק"מ) עד להגעה למטרה. **יושמדו כ 4 עד 5 טילים (8 עד 10 טילים ע"י 2 מערכות)** שמגיעים בו זמנית.

פצצת מרגמה 120 מ"מ לטווח של 7 ק"מ זמן מעוף 43 שניות. **יירוט לפחות 12 (24) פצמרי"ם** שישוגרו בו זמנית בעת עננות: 5 שניות עד כניסה לבסיס הענן ו 5 שניות מיציאה מבסיס הענן ועד הפגיעה בקרקע. תושמד פצמרי" אחת לאחר שיוט ועוד 2 פצמרי"ם שנורו בו זמנית ביציאתן מבסיס הענן.

קסאם 1 לטווח 3 ק"מ זמן מעוף 15 שניות. **יירוט לפחות 4 (8) רקטות** שישוגרו בו זמנית גובה מירבי 250 מ' – הרקטה תישאר כל הזמן מתחת לבסיס ענן אופייני (כ 800 מ')

גראד רגיל לטווח 11 ק"מ זמן מעוף 24 שניות. **יירוט לפחות 7 (14) רקטות** שישוגרו בו זמנית גובה מירבי 650 מ' – תהיה כל הזמן מתחת לבסיס הענן

סאקד D לטווח 700 ק"מ כ 12 שניות עד לפגיעה בקרקע מרגע הכניסה לטווח של 15 ק"מ ממערכת הסקייגארד. **יירוט לפחות 3 (6) טילים** שמגיעים בו זמנית.

שיהאב 4 לטווח 2000 ק"מ 7 שניות מכניסת הטיל לטווח של 15 ק"מ ועד לפגיעה בקרקע. **יירוט 2 (4) טילים** שמגיעים בו זמנית.

למערכת הסקייגארד הקרקעית יש יכולת להגן מפני כל איום – גם מפני איומים בליסטיים ארוכי טווח.

מערכת סקייגארד מוטסת בתחילת שנות ה 90 החל בארה"ב פיתוחה של מערכת לייזר רב-עוצמה, מוטסת, הנקראת ABL, שמותקנת במטוס בואינג 747. ייעודה הוגדר כהשמדת טילים בליסטיים בשלב ההאצה שלהם, בטווחים של מאות ק"מ.

לאחר תהליך פיתוח קשה ומורכב בוצע במערכת, בינואר 2010, ניסוי מבצעי ראשון, בו הופלו שני טילים בליסטיים לאחר שיגורם, בטווח קרוב למאה ק"מ ממטוס ה-ABL⁶. זו הייתה היסטוריה בהתהוותה.

להצלחתו של ניסוי זה משמעות אדירה: בפעם הראשונה בהיסטוריה הושמדו טילים בליסטיים מהאוויר, ובטווחים גדולים מאוד. ניסוי זה הוכיח את **ישימותה הטכנולוגית** של מערכת זו.

כמובן שניתן להשמיד את האיומים גם **בשלב החזירה** שלהם. היירוטים מתבצעים מעל העננים, מעל תופעות מזג האוויר.

כל טיל שנורה לטווחים של כ-30 ק"מ ומעלה, מגיע לגבהים העולים על 40,000 רגל, וככל שטווח הטיל עולה – כך גדל גם הגובה אליו הוא מגיע. לכן המערכת המוטסת תוכל להשמיד **כל איום** שנורה לטווחים החל מ-30 ק"מ ועד לטווח המקסימאלי הישים לאזורנו – כ-2000 ק"מ. היות ותחילת היירוט תהיה בטווחים גדולים מאוד מהמטוס המיירט – תהיה לו גם האפשרות להשמיד טילים **בעלי ראשים מתפצלים**. כל "פיצול" יורט בנפרד. יהיה מספיק זמן לכך.

בשנת 2003 הציעה חברת נורת'רופ-גרומן למשרד הביטחון להתקין מערכת סקייגארד "רגילה" במטוס תובלה בינוני. תצורה זו הייתה מאפשרת להשמיד איומים בליסטיים בטווחים של כ-130 עד 150 ק"מ מהמטוס המיירט. כינויה של המערכת היה ARIEL.

הצעתנו לבחון תצורה משופרת של מערכת סקייגארד מוטסת: הגדלת ההספק ל-3 מגהוואט והגדלת קוטר האופטיקה ל-1.5 מ', כפי שבוצע ב ABL. ניתן להתקינה במטוס גדול, כמו Boeing 747-300, שיאפשר לשאת כמות גדולה של דלק וגזים לביצוע מספר רב של יירוטים.

מספר מטוסים כאלו שיטוסו "מסביב לשעון" יוכלו ליירט כל איום בליסטי **בשילוב** עם שכבות ההגנה של טילים נגד טילים.

יכולת מערכת ARIEL מול איומים שונים:

כאמור, תיירט כל איום בליסטי שנמצא בטווח קטן מ-400 ק"מ ממנה, ומעל גובה של כ-30,000 רגל. חישובים ראשוניים מראים שניתן להפיק כ-200 ויותר פעולות לזירה לפני הגעה לצורך לתדלק את המטוס מחדש בגזים ובדלק הדרושים לפעולת הלזירה.

למערכת יכולת **הגנה עצמית**. מאיימים עליה מטוסי יירוט וטילי קרקע / אוויר. בהכוונת מערכת בקרה מתאימה - מטוסי הלייזר יוכלו להפיל כל איום מסוג זה שיפעל נגדם.

חישובים מראים כי עבור טילי השיהאב 4, השיהאב 3 וסקאד D ניתן להניח זמן לזירה נדרש של כ-5 שניות להשמדת האיום ועוד 2 שניות למעבר לאיום הבא. עבור כל יתר האיומים, מסקאד C ומטה, זמן הלזירה שיידרש הוא 3 שניות ועוד 2 שניות למעבר לאיום הבא. **זמני היירוט (ברוטו) לאיום יהיו 7 שניות ו-5 שניות בהתאמה.**

כל הנתונים וההנחות שהוצגו לעיל מחייבים **בדיקת היתכנות** מדוקדקת, שתכלול גם ניסויי טיסה.

היכולת הצפויה של המערכת מול 3 איומים אופייניים⁴:

נגד שיהאב 4

שיגור שיהאב 4 ל-2000 ק"מ. מכניסת הטיל לטווח של 400 ק"מ ממטרתו ועד ירידתו מתחת לגובה של 30,000 רגל, יחלפו כ-130 שניות. זמן זה יספיק להשמדתם של **18 טילים שנורים במטח**, באותו חלקיק שנייה.

שיגור לטווח 1200 ק"מ יאפשר זמן לזירה של כ-105 שניות, בו ניתן יהיה להשמיד **כ-15 טילים** באמצעות מערכת ARIEL אחת.

נגד סקאד D

שיגור לטווח של 700 ק"מ. מכניסת הטיל לטווח של 400 ק"מ ממטרתו ועד ירידתו מתחת לגובה של 30,000 רגל, יחלפו כ 235 שניות. זמן זה יספיק להשמדתם של **כ 33 טילים** שנורים במטח.

נגד גראד משופר
שיגור לטווח של 40 ק"מ. מתוך זמן מעוף כולל של כ 136 שניות – במשך 95 שניות יהיה הטיל מעל גובה של 30,000 רגל. זמן זה יספיק להשמדתם של **כ 30 טילים** שנורים במטח.

מטוסי ARIEL יוכלו ליירט כל איום בליסטי שיגרה לטווח העולה על כ 30 ק"מ ובמטחים צפופים, ככל שהאויב יוכל לייצר.

יתר הרקטות הטקטיות – מגראד רגיל ומטה – שאינן עוברות גובה של 30,000 רגל בעת מעופן, תטופלנה ע"י מערכות הסקייגארד הקרקעיות וטילי כיפת ברזל (בטווחים בהם היא יעילה).

הפעילות במערכת ה ABL הופסקה לפני כשנה. את הסיבה ציין ביל גייטס, שר ההגנה לשעבר של ארה"ב, באומרו כי אין למערכת מספיק הספק כדי לאפשר למטוס לטוס מחוץ לגבולותיה של איראן.⁷ מתאר זה אינו מתאים לזירה שלנו, בה המטוס יטוס מעל המדינה ויירט את האיומים בשלב החדירה שלהם, כשמרחקם כ 400 ק"מ ומטה ממטרתם.

יעילותו של הפיתרון המשולב

הפיתרון המשולב מאפשר ליישם מהבחינה הכלכלית והמבצעית מערכת הגנה כוללת, יעילה ביותר, על כל העורף.

פרק המתאר התקציבי מציג כי תמורת השקעה של כ 4.6 מיליארד דולר במערכות הלייזר הקרקעיות והמוטסות ניתן יהיה לחסוך למעלה מ 55 מיליארד דולר מעלותם של טילי ההגנה בלבד. זו כבר מערכת ברת יישום.

המערכת המשולבת תכלול את האלמנטים הבאים:

- 5 מטוסי לייזר רב-עצמה (ARIEL)
- 5 שכבות ההגנה של טילים נגד טילים (כיפת ברזל, שרביט קסמים, חץ 2, חץ 3 ופטריוט) בכמויות ובפריסה כפי שייקבע ע"י מערכת הביטחון
- 80 מערכות סקייגארד קרקעיות

שילוב זה עומד בכל הקריטריונים הנדרשים ממערכת הגנה אולטימטיבית, כמוצג בפרק "תכונות נדרשות ממערכת הגנה כוללת, אידיאלית" לעיל.

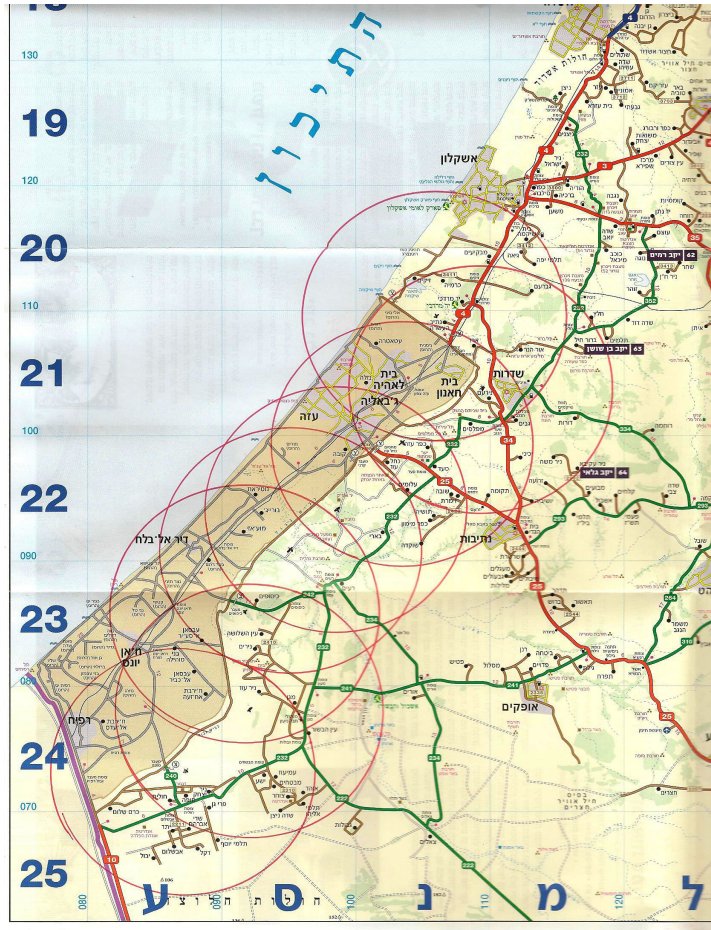
הגנת יישובי "עוטף עזה" כמקרה ייחודי⁸

לרצועת עזה אין עומק אסטרטגי. רוחבה (כמעט לכל אורכו) כ 7 ק"מ. בחלקה הדרומי הרוחב מגיע עד כ 13 ק"מ.

המערכת היחידה שביכולתה להגן על כל היישובים לאורך גבולות הרצועה, מפני כל איום, כולל פצצות מרגמה, היא אך ורק מערכת הלייזר הסקייגארד!

השרטוט הבא ממחיש זאת:

מוצג הכיסוי המבצעי של 8 מערכות סקייגארד המוצבות סביב הרצועה במרחק של כ 1 ק"מ מהגבול (מאחורי קפלי קרקע, למניעת ירי בכינון ישיר אליהן).



למעט אזור מצומצם - כל נקודות השיגור ברצועה נמצאות בתחום הכיסוי של מערכות הסקייגארד.

כל רקטה שתיירה תושמד על ידי מערכת הסקייגארד **תוך כ 4 עד 5 שניות מרגע שיגורה**, במרבית המקרים בעודה מעל שטח הרצועה. לא משנה לאן תשוגר – לשדרות, באר שבע או תל אביב.

עקב הטווחים הקצרים – הירי על יישובי עוטף עזה הוא רובו ככולו במסלול שטוח. הגובה המקסימאלי שאליו מגיע האיום (למעט קסאם 1) הוא כ- 550 מטר (גראד משופר לטווח של 15 ק"מ). זה מתחת בסיס הענן האופייני, שמתחיל בכ- 800 מטר ומעלה.

המסקנה: גם **בתנאי מזג אוויר קשים** - מערכות הסקייגארד תגננה על יישובי עוטף עזה!

מקיפים את רצועת עזה במעין "חומת מגן" שתירט כל איום שיגרה ממנה **לכל מטרה בישראל**. זה כולל גם את רקטות הפאג'ר, להן טווח של כ 70 ק"מ.

ההשקעה הנדרשת כ- 500 מיליון דולר. תחילת אספקה - תוך כשנתיים.

אין פתרון אחר, גם לא יהיה!!!

אי הרלוונטיות של מערכות הגנה המבוססות על "לייזר מצב מוצק"
 דחיית היישום של הלייזר הכימי (נאוטילוס / סקייגארד), הזמין והמוכח בציפייה ללייזר מצב מוצק "מתקדם יותר", אינה מעוגנת בשום מציאות טכנית.⁹

ללייזר מצב מוצק יש מספר מגבלות מהותיות:

1. **מגבלת הספק:** ההספק הגבוה ביותר שהושג בטכנולוגיה זו הוא כ-100 קילוואט (טכנולוגיית לוחיות, נורת-רופ-גרומן, פברואר 2009). זה כעשירית מהדרוש ליירוט טילים. הגעה להספק של מגהוואט ומעלה תחייב פריצת דרך טכנולוגית, שאינה נראית כבת יישום.
2. **פיזור חום:** נצילות מערכת הלייזר על בסיס "מצב מוצק" היא אך במעט גדולה מ-10 אחוז. לכן, כדי לייצר קרן בהספק הנדרש של 1 מגהוואט לפחות, יש צורך להשקיע כ-9 מגהוואט הספק חשמלי. מתוכם כ-8 מגהוואט יהפכו לחום, אותו יש לפזר בעת הלזירה – קרי 2 עד 3 שניות. אין בנמצא כל טכנולוגיית קירור המסוגלת לבצע זאת, לכן אין כל סיכוי למימושה של המערכת בעתיד הנראה לעין.
3. רגישות יתר **להשפעות מזג האוויר** הנובעות מאורך הגל הקצר שבו פועלים לייזרים אלה (כ-1 מיקרון, לעומת 3.8 מיקרון של הנאוטילוס / סקייגארד). ניחות הקרן בעת המעבר באטמוספירה יהיה גדול מאד בהשוואה למערכות לייזר על בסיס כימי.
4. **סכנת עיוורון מאור מוחזר (eye-safe)** הנובעת מאורך הגל של לייזרים אלה.

מגבלות אלו מהוות כיום "מחסום טכנולוגי" שימנע את יישומה של מערכת לייזר רבת עוצמה המבוססת על "מצב מוצק". אין כיום כל תחזית אמיתית שתצביע על מועד כל שהוא להשלמת פיתוחה של מערכת כזאת, שתאפשר הגנה על ריכוזי אוכלוסייה ואתרים אסטרטגיים.

מתאר תקציבי

הנחות יסוד:

- מתאר הלחימה – כמתואר בפרק "מתאר האיום".
 - מערכת הביטחון תמשיך ותשקיע במערכות טילי הגנה. בידנו רק הערכות כלליות של התקציבים שיידרשו לפעילות זו.
 - נעריך לכן את עלות ההצטיידות בטילי ההגנה בלבד - הכנת מלאי ל-40 ימים והצטיידות במקום אלו שנורו במהלך 30 ימי הלחימה.
 - נציג את העלות המשוערת של אלמנט הלייזר המוטס והקרקעי במערכת המשולבת, קרי 5 מערכות סקייגארד מוטסות ו-80 מערכות סקייגארד קרקעיות. תשתיות המכ"ם והתקשורת עבור מערכות טילי ההגנה תתמוכנה גם במערכות הלייזר.
- הצטיידות בטילי הגנה ל-40 ימי לחימה (נדרש ע"מ שלא להישאר חסרי כל בסיומם של 30 ימים כאלו):
- 500 טילי כיפת ברזל ליום, ליירוט 250 קטיושות (מתוך ה-800 שיירו), שעמידות "לא ליפול בשטחים פתוחים". מחיר טיל כ-100,000 דולר¹⁰ – **סה"כ 2 מיליארד דולר**
 - 200 טילי שרביט קסמים ליום, ליירוט 100 טילים ורקטות לטווחים בינוניים (פאג'ר 3, 5, F110). מחיר טיל כ-1.25 מיליון דולר (פרסומים שונים במדיה) – **סה"כ 10 מיליארד דולר**
 - 200 טילי חץ 2, חץ 3 ופטריוט ליום, ליירוט 100 טילים ארוכי טווח (משפחות הסקאד והשיהאב). מחיר כל טיל כ-3 מיליון דולר (פרסומים בעיתונות) – **סה"כ 24 מיליארד דולר**.
- סה"כ **36 מיליארד דולר** עבור מלאי ל-40 ימי לחימה.

מחיר ה"לחימות על ההדק" בלבד, ביום לחימה אחד, יהיה כ-900 מיליון דולר.

הצטיידות לאחר הלחימה במלאי שישלים את כמות הטילים שיירו במשך 30 ימי הלחימה – **המחיר יגיע ל-27 מיליארד דולר** (3/4 מהמחיר עבור ההצטיידות ל-40 ימים)

סה"כ העלות של הכנת מלאי הטילים בלבד ל-40 יום, וההצטיידות מחדש לאחר 30 ימי הלחימה, **תגיע עד כדי 63 מיליארד דולר**. אלו סכומים פרוהיביטיביים.

השקעה במערכות סקייגארד קרקעיות ומוטסות:
מערכות קרקעיות:

מכתבה של חברת נורתרופ-גרומן מיום 16 בינואר 2007 נוקב במחירים הבאים :

- **310 מיליון דולר** עבור 3 מערכות ראשונות
 - 40 עד 50 מיליון דולר (כתלות בכמות שתוזמן) עבור מערכת בייצור. המחיר כולל תקשורת וכן מכ"מ ייחודי לכל מערכת סקייגארד, שמחירו כ 15 מיליון דולר. הצורך שלנו הוא במכ"מ אחד שיזין 4 עד 5 מערכות, כך שניתן להניח מחיר של כ 30 מיליון דולר לכל מערכת סקייגארד בייצור סדרתי. המחיר עבור 77 המערכות שנותרו יהיה כ **2.3 מיליארד דולר**
- ובנוסף יידרשו :
- 200 מיליון דולר (הערכה) לתשתיות תדלוק
 - 300 מיליון דולר (הערכה) לתשתיות מנהלתיות, תחזוקתיות וחלפים.

סה"כ כ 3.1 מיליארד דולר עבור 80 מערכות סקייגארד קרקעיות, להגנה על כל 40 האתרים החיוניים במדינה ומרכזי האוכלוסין

מערכות מוטסות
שלב הפיתוח :

- 100 מיליון דולר עבור מטוס בואינג 747 משומש (הערכה)
- 250 מיליון דולר לבניית א"ט של מערכת סקייגארד מוטסת ראשונה (מבוסס על מכתבה הנ"ל של חברת נורתרופ גרומן, בו נקב סכום של 177 מיליון דולר למערכת סקייגארד קרקעית ראשונה. המערכת המוטסת אמורה להיות פשוטה ליישום בהשוואה לקרקעית עקב ביטול הצורך במרב יכולותיה של מערכת התת-לחץ הנדרשת לייצור קרן הלייזר. בגובה 40,000 רגל יש תת-לחץ באופן טבעי)
- 100 מיליון דולר – תכנון וביצוע ההתקנה במטוס
- 100 מיליון דולר - ניסויים
- 50 מיליון דולר להוצאות אחרות
- 100 מיליון דולר – תשתיות תחזוקה ותדלוק מערכות הלייזר על הקרקע

סה"כ כ 700 מיליון דולר לשלב הפיתוח וייצור המטוס הראשון

הצטיידות ב 4 מערכות סקייגארד מוטסות נוספות :

- 120 מיליון דולר מחירו של מטוס מותקן
- 50 מיליון דולר מחיר מערכת הלייזר (בהשוואה ל 30 מיליון דולר – מחירה של מערכת הסקייגארד הקרקעית)
- 10 מיליון דולר – חלפים ותמיכה תחזוקתית
- 10 מיליון דולר – הוצאות אחרות (למטוס)
- מחיר מטוס אחד בהצטיידות יהיה כ 190 מיליון דולר
- מחירים של 4 המטוסים הנוספים **כ 760 מיליון דולר**

סה"כ כ 4.6 מיליארד דולר מחיר ההצטיידות במערכות קרקעיות ומוטסות, כולל תמיכה תחזוקתית, מערכות עזר מבצעיות וכו'

עלות 30 ימי לחימה עם מערכות סקייגארד בלבד
עלות יום לחימה אחד :

- 1000 "לזירות" להשמדת כל 1000 האוימים – 2 מיליון דולר
- 72 שעות טיסה (3 מטוסים ברציפות לפי 15,000 דולר לשעה) – 11 מיליון דולר

סה"כ 13 מיליון דולר ליום, בהשוואה ל **900 מיליון דולר ליום** – מחיר ההתגוננות (החלקית) עם מערכות הטילים נגד טילים.

עלותם של 30 ימי הלחימה תהיה כ 400 מיליון דולר, בהשוואה ל **63 מיליארד דולר** – עלות טילי ההגנה בלבד.

סיכום

לאיום הנשק הבליסטי וטילי שיוט מדויקים יש פוטנציאל הרסני ביותר של התשתיות החיוניות להמשך תפקודנו כמדינה, ועל חייהם של אלפים רבים מאיתנו.

אין סיכוי ליישום מערכת המבוססת על טילי הגנה בלבד עקב ההוצאה הכספית הכרוכה בהצטיידות, אפילו בטיילים בלבד (63 מיליארד דולר – הכנה ולחימה משך 30 ימים). מערכת כזו גם לא תעמוד בחלק מהיעדים המבצעיים הדרושים להגנה אמיתית.

עם זאת – יש להמשיך בפעילות הנוכחית של הקמת 5 שכבות ההגנה המבוססות על טילי הגנה בכדי להביא לשילוב הטכנולוגיות עם מערכות הלייזר רב העצמה.

השקעה של כ 4.6 מיליארד דולר במערכות סקייגארד – 80 מערכות קרקעיות ו 5 מוטסות – תביא להקמת מערכת הגנה משולבת עם כל מרכיביה של מערכת טילי ההגנה, שעומדת בכל הדרישות של "מערכת אידיאלית": תגן מפני כל איום, בכל עת, בכל מזג אוויר ולמשך כל זמן שיידרש – והכול בעלות מינימאלית (ייחסך סכום של 55 מיליארד דולר לפחות בעלותם של טילי ההגנה בלבד, היות ורובם המכריע של היירוטים יבוצע באמצעות מערכות הלייזר).

לתירוץ של "אנו מכירים בצורך לשלב את מערכות הלייזר, אך ממתנינים ללייזר העתידי – על בסיס מצב מוצק" – אין כל אחיזה במציאות הנדסית / מדעית כל שהיא.

אם ממשלת ישראל לא תכיר ביתרונותיה של המערכת המשולבת, ולא תפעל בהתאם – בעיקר מול שלטונות ארה"ב בכל הקשור להתנעה מחודשת של הפעילות במערכות הסקייגארד – צפוי שיום אחד נעמוד בפני שבר שלא ידענו כמותו.

הערות

1. מכתב עמותת "מגן לעורף" לשר הביטחון: "ביצועים צפויים של כיפת ברזל", 15/12/2009
2. מצגת חברת נורת'רופ-גרומן למשהב"ט, יאנואר 2007
3. Dr. Josef Shwartz, Northrop-Grumman, Year 2008 Multinational BMD Conference, September 2008
4. ניתוח ביצועים, מבוסס על סימולציות של מסלולים בליסטיים שבוצעו ע"י ד"ר נתן פרבר, לשעבר מהנדס בכיר בתע"ש ומרצה בטכניון
5. פרופ' בן ישראל, ריאיון ליועז הנדל, מקור ראשון, 29/12/2006
6. DT Defensetech, February 12, 2010
7. Mr. Bill Gates, Former US Defense Secretary, Bulletin of the Atomic Scientists, Nov. 1, 2011, Page 35
8. מסמך עמותת "מגן לעורף": "מערכת הסקייגארד – האמצעי היחיד להגנת יישובי עוטף עזה מרקטות ופצצות מרגמה", 16/10/2012
9. D. L. Carroll "Overview of High Energy Lasers: Past, Present and Future" 2011, AIAA Paper 2011-3101
10. יוסי דרוקר, רפא"ל, 17, CBN News, במאי 2010, ידיעות אחרונות 23/11/2012