

מרעומי קרבה בשדה

משה רותם

נמוכה בגלל פגיעת אחוז ניכר מהרסיסים בקרקע בתוך שטח קטן. ככל שהפיצוץ גבוה יותר, שטח הריסוס גדל. אולם אם ימשיך גובה הפיצוץ לגדול יוצר מצב שבו המרחק מהקרקע יהיה כה גדול שמספר הרסיסים ליחידת שטח יהיה קטן מדי, ועל להגיע לקרקע הם גם יאבדו אחוז ניכר מהאנרגיה הקינטית שלהם, ועקב כך את כוח החדירה. קיי אפוא אזור גובה פיצוץ אופטימלי רחב יחסית המשתרע בין מטר אחד לששה מטרים.

כאמור, קריטריונים שונים יתנו עקומות יעילות שונות. למשל, כאשר המטרה מורכבת מחיילי עומדים יהיה שיא עקומת היעילות, בגובה פיצוץ יותר נמוך מאשר כשהמטרה היא חיילים שוכבי עם זאת, המסקנה המשותפת היא שדיוק גבוה הפיצוץ אינו קריטי כל עוד הוא נמצא בתחום שבין מטר אחד לששה מטרים.

מסקנה זו מהווה הקלה חשובה בשיקור בחירת האות המשודר על-ידי מחוש הגובה.

מבנה מרעום הקרבה

מרעום הקרבה בנוי משלוש תת-מערכות: מכלול אלקטרוני, ספק כוח ומערכת דריכה.

● המכלול האלקטרוני. המרכיב העיקרי עמל מכלול זה הוא מחוש הגובה. זהו, למעשה, מכשיר מ"ם זעיר המשדר אות מסוים, קולט את ההחזרה מהקרקע, ועל-ידי השוואה בין האות המשווה לאות הנקלט, מעריך את הגובה מעל הקרקע. עם זאת לזכור שתנאי הפעולה של מ"ם זעיר שונים בהרבה מאלה של מ"םים מקובלים. מכשיר רגיל פועל בדרך כלל לטווחים ארוכים יחסית והאות המוחזר מהמטרה מגיע בהשהייה ניכור לעומת האות המשודר. אמצעי עיקרי להבחנה בשניים יהיה אפוא על ציר הזמן.

מ"ם הקרבה, כשמו כן הוא, צריך לפעל בקרבה רבה למטרה והשידור והקליטה עשוי להתרחש בעת ובעונה אחת. עם זאת, המחנה נמצא תמיד בתנועה מהירה יחסית לקרקע ועובדה זו מספקת אמצעי מסוג אחר לאבחנה האות המשודר לנקלט. בגלל המהירות הגבוהה

מרעום קרבה

מרעום קרבה הוא מכשיר מ"ם הצמוד לפגז או לפצצה ותפקידו לזהות התקרבות לקרקע והפעלת הפצצה בגובה של מספר מטרים מעל הקרקע, כאשר יעילות הריסוס גבוהה, לעומת פצצה המופעלת בהקשה. למרות קמדיו הזעירים, מרעום הקרבה הנו מכשיר מורכב למדי. עליו לכלול מקור אנרגיה, אמצעי אבטחה ודריכה, מחוש גובה בעל דיוק סביר ובעל חסינות להפרעות מקריות, הדדיות או מכוונות. כל המכשור הזה חייב לעמוד בתנאי אחסנה ממושכים וקשים, וכן בתאוצות הגבוהות, שלהן הוא נתון בקנה הירי.

מרעומי קרבה בעלי מחוש מ"מי הונסו לראשונה לשימוש בסוף מלחמת העולם השנייה, על-ידי צבא ארצות-הברית. הם התבססו על שפופרות רדיו ובהכרח היו גדולים, ככדים ויקרים. ככל שהתפתחו טכנולוגיות האלקטרוניקה, כך התפתחו מרעומי הקרבה, וממדיהם הלכו וקטנו. בד בבד התפתחה גם הזירה האלקטרונית, הספקטרום התמלא באותות קשר ומ"ם וכן באמצעי לוחמה אלקטרונית. פצצה המופעלת בסופו של דבר על-ידי מקלט, הופכת לרגישה יותר ויותר לאותות המתרבים. מתעורר הצורך לתחכם את אות המ"ם כדי להקטין את הסיכוי לפיצוץ מוקדם מאותות, שאינם זהים להחזרה הצפויה מאות זה.

גובה הפיצוץ

השימוש במרעום קרבה מ"מי מאפשר פיצוץ הפצצה בגובה האופטימלי (פתרון מאריך המרעום מוגבל באורכו ועל כן אינו מאפשר זאת).

מחקרים רבים עוסקים ביעילות הפצצה כפונקציה של גובה הפיצוץ. אופי עקומת היעילות כפונקציה של הגובה, קובע את דרישת הדיוק ממחוש הגובה. המחקרים שונים זה מזה בקריטריון שלפיו נקבעת היעילות, אולם כולם מגיעים למסקנה האיכותית המשותפת הבאה: ניתן בקלות להבין שפצצה המתפוצצת בהקשה (גובה אפס או פחות, בגלל התחפרות) יעילותה

היתרון שבהפעלת פצצות נפיצות מעל פני הקרקע, לעומת הפעלתן עם חבטת הפגיעה במטרה היה ידוע מזה שנים.

כוחות הארטילריה בצבאות שונים ייחדו מאמץ הנדסי ללימוד הבליסטיקה של פגזים שונים לצורך ציודם במרעומי זמן מדויקים ביותר, כדי להפעיל את הפצצה מעל למטרה לפני הפגיעה. פתרון כזה התגלה כבלתי יעיל, היות שהתבסס על תחזית זמן מעוף הפגז ועל מנגנון זמן, שדיוקם מוגבל.

המסקנה הבלתי נמנעת הייתה, כי הפתרון הנדרש הוא מדידת הגובה מנקודת הפגיעה (טרם הפגיעה) במקום מדידה המבוססת על משך המעוף. מספר פתרונות הוצעו לבעיה זו, אך מרביתם התגלו כבלתי מעשיים. אתעכב על פתרון אחד אשר יישומו אכן שיפר במידה רבה את ביצועי הפגז וזהו מעין "מאריך מרעום". בחרטום המרעום המורכב בפגז הותקן מוט דק, אשר פגיעתו בקרקע הפעילה את המרעום. פתרון זה הופיע במספר גרסאות אך הגביל מאוד את השימוש בנשק. המוט שינה את יציבות הפגז ולכן שימושו היחיד היה בפצצות אוויר ובפצצות מרגמה גדולות מאוד. גם כאן הוגבל המאריך מסיבות בליסטיות ויתרונו היה בהפעלת הפצצה בגובה המטרה ומניעת התחפרותה. פתרון מתאים לדרישות הנשק הינו מרעום קרבה בעל מחוש מ"מי.

הקרב המודרני

ערך להפעלתו בהקשה. אי לכך נהוג לכלול מעגל גיבוי להקשה. קיומה של אנרגיה במרעום מאפשר גיבוי הקשה אלקטרוני, שהוא רגיש ומהיר יותר מהקשה מכנית, ועקב כך מקטין את ההתחפרות. • מקור כוח. ככל מוצר אלקטרוני נדרש גם

במרעום קרבה מקור כוח חשמלי.

בנוסף לשימוש במקורות כוח סטנדרטיים כגון סוללות ותאים יבשים מסוגים שונים, פותחו מקורות כוח מיוחדים למרעומים אלקטרוניים המוצאים ביטויים במרעומי קרבה.

• סוללות מיוחדות. לשימוש במרעומי קרבה פותחו סוללות, אשר בעת אחסנתן אין ביכולתן לייצר כל מתח או זרם.

תאוצת הירי או כוחות אחרים בעת שיגור מערכת הירי מפעילים סוללות אלה והופכים אותן לפעילות. יתרון השימוש בסוללות הללו הנו מחד גיסא זמן אחסנה ארוך ומאידך גיסא בטיחות אחסנה גבוהה (דבר שלא קיים במערכת אנרגיה).

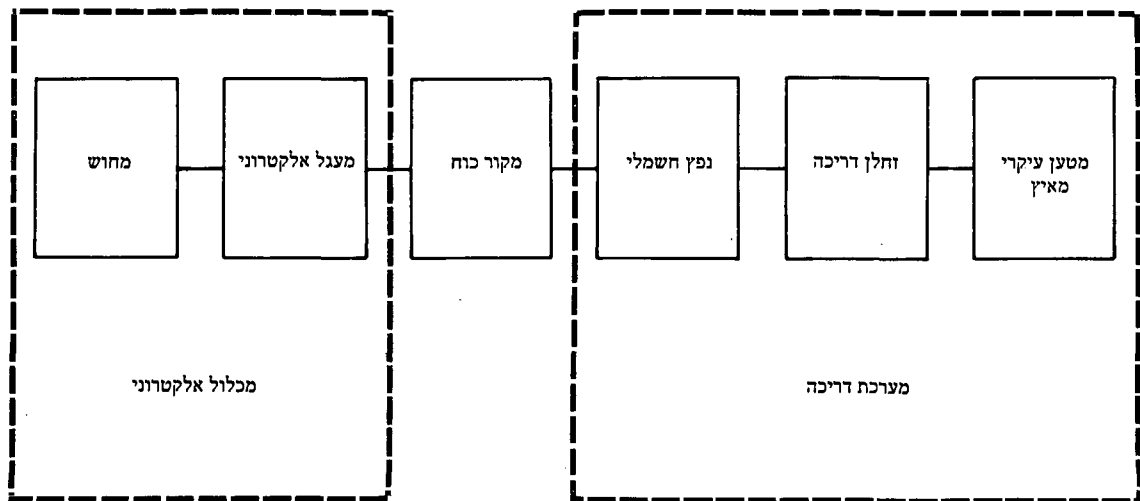
במרעום מעגל תזמון. מעגל זה מודד את הזמן שחלף מרגע הירי, ומשווה אותו להתקנת זמן שנקבעה מראש. התקנת הזמן מכוונת כך שמרעום הקרבה יכנס לפעולה רק בקטע האחרון של מסלול הפגז. ירי מרגמות אינו מלווה באמצעים המתוחכמים שעומדים לרשות ירי תותחים, והתקנת זמן אינה מעשית. יש לדאוג לאמצעי הגנה מסוג אחר. מקלה על בעיה זו, העובדה שירי מרגמות הוא תמיד תלול מסלול. חציית שיא המסלול מלווה בשינויים משמעותיים של מהירויות ותאוצות, הניתנים לחישה. מרעומי מרגמות חדישים מכילים כבר מעגלים לזיהוי שיא המסלול, שרק לאחריו נכנס מרעום הקרבה לפעולה. תכונה זו נדרשת בתקני הבטיחות המערביים המודרניים.

כשם שיש למנוע הפעלה מוקדמת, כן חשוב למנוע היווצרות נפל. גם אם מסיבה כלשהי, מנעה הפעלת הפגז בקרבת המטרה, עדיין יש

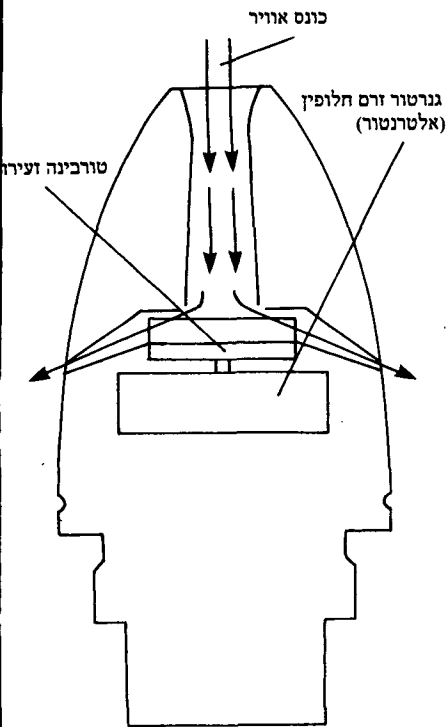
תדר האות הנקלט יהיה תמיד גבוה יותר מתדר האות המשודר, וזאת הודות לתופעת הדופלר. היסט הדופלר הוא לכן אמצעי חשוב, המנוצל ברוב המרעומים הקיימים, להפרדת האות החוזר מהאות המשודר. מבנה האות המשודר, ומעגל עיבוד האות הנקלט, קובעים את דיוק זיהוי גובה הפיצוץ, ואת מידת רגישות המדידה לרעשים הנקלטים גם הם על-ידי המכ"ם. מקור רעשים אלה נובע משידורים שונים העלולים להימצא בקרבת תדר המכ"ם, כמקרה או במתכוון.

אבטחת המרעום מפני פיצוץ מוקדם היא דרישה חשובה לגביו, הן משום שהפעילות המוקדמת גורמת לאיבוד יעילותו לגבי המטרה שלה הוא נועד, והן משום שאם היא תתרחש בחלק הראשון של המסלול, היא עלולה לגרום נזק לכוחות יריותיים.

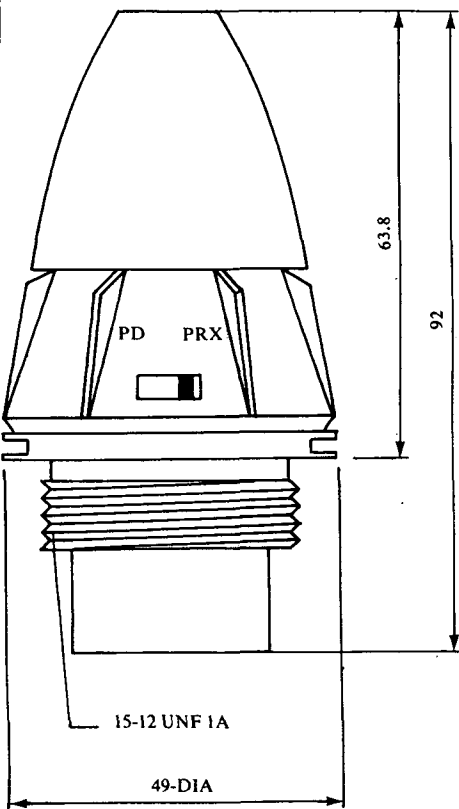
במרעומי קרבה לארטילריה, כאשר מסלול הירי ומשכו ידועים מראש בדיוק סביר, כלול



ציור מס' 1: סכימה מלבנית של מרעום קרבה מכ"מי



ציור מס' 2: מרעום קרבה למרגמות קלות אלפא (M787)



ציור מס' 3: טורבינה זעירה ודרכי זרם האוויר במרעום קרבה למרגמות

באמצעות כוכנה, או על-ידי רוטור הסובב ממצב בטוח למצב דרוך.

בנוסף לאבטחת המרעום על-ידי מערכת אבטחה דטונטרית כמצוין קודם, נדרשים הנפצים החשמליים במרעומים מודרניים להיות מקוצרים עד לסוף תהליך הדריכה.

מאיץ המרעום

המאיץ הינו גלולה דחוסה של חומר-נפץ מרסק. תפקידו לקבל את הפיצוץ מרכיבי השרשרת הדטונטרית הקודמים ולהגבירו לרמה שבה יפעיל בקלות את המטען העיקרי בפצצה.

בטיחות מרעומי קרבה

במרעומי קרבה, מעצם היותם מודרניים, מתוחכמים ומורכבים, ניתן היה ליישם דרישות בטיחות גבוהות, אשר התפתחו כשהתרחב הניסיון במרעומים בכלל ובמרעום אלקטרוני בפרט. להלן פירוט דרישות הבטיחות:

- שני תנאי דריכה בלתי תלויים זה בזה. דרישה זו לבטיחות גורסת, כי לצורך דריכה של מרעום (הפיכתו מבטוח למסוכן) חייבים לקרות שני מאורעות המאופיינים על-ידי תנאי הירי, ורק קיום שני מאורעות אלה מאפשר דריכת המרעום. לדוגמה, קיום תאוצת הקנה וסחרור המרעום סביב צירו. שני תנאים אלה מתרחשים בירי תותח ארטילרי ומהווים שני תנאים לדריכה.

- עקרון העדפת המצב הבטוח (Fail safe principle). זוהי דרישה חדשנית בנושא בטיחות מרעומים, והיא גורסת כי תכנון מערכת הדריכה במרעום יבטיח באופן חיובי כי תקלת תזמון הדריכה, תהפוך את המרעום לנפל במקום הקדמת הדריכה.
- מערכת הדריכה מובטחת על-ידי שני מנגנוני דריכה.

מנגנון ראשון – טובלן תאוצת קנה. הטובלן נערך ברוטור הדריכה וכולט החוצה ממנו. בעת זיהוי תאוצת הקנה, הטובלן נרתע לאחור על קפיצו ומתכנס בתוך רוטור הדריכה. בדופן הטובלן, בקצהו הקדמי, מגרעת צדדית הנמצאת מול מכסה רוטור הדריכה.

מנגנון שני – כוכנת הפעלה המסיטה את רוטור הדריכה למצב דרוך לאחר טיסת המרעום 100 מטרים.

בציור מס' 4' המערכת במצב נצור. בציור מס' 5' טובלן הדריכה רתע לאחור ואפשר פעולת הכוכנה. בציור מס' 6' הסיטה הכוכנה את הרוטור למצב דרוך. בציור מס' 7' הקדימה הכוכנה את הטובלן ועל כן נועל הטובלן את הרוטור ללא שחרור, גם אם תתרחש התאוצה לאחר-מכן.

כיום, תכונה זו כלולה בכל מפרטי הפיתוח של מרעומים מתקדמים.

ניתן למנות בסוג זה של סוללות את הסוללות התרמיות, שבהן האלקטרוליט במצב רגיל הנו מוצק. בעת הפעלת הסוללה מוצתת מערכת הסקה המחממת את הסוללה לכמה מאות מעלות צלזיוס, ואז האלקטרוליט ניתן ומפתח מתח בסוללה.

חסרונה של סוללה כזו הוא המשך הקצר של פעולתה, המוגבל על-ידי יכולתה לאצור את האנרגיה התרמית הנדרשת להחזקת האלקטרוליט במצב נוזלי. יתרונה של הסוללה טמון בורם העבודה הגבוהה המאפיין אותה.

סוללה מסוג נוסף הנה הסוללה הנפרצת, שבה האלקטרוליט מצוי במיכל סגור, הנפרץ על-ידי מנגנון הירי או השחרור ומתפזר בחלל הסוללה. סוללה זו אינה מוגבלת בקודמתה בזמן פעולתה, אך זרם העבודה המאפיין אותה נמוך. בעיית השימוש בסוללה זו הנה מנגנון פיזור האלקטרוליט בחלל הסוללה. סוללה כזו היא פתרון אידיאלי למרעום ארטילרי מסתחרר.

פתרון מעניין לבעיית מקור הכוח, המוצא ביטוי במרעומי קרבה למרגמות, הוא הגנרטור הזעיר. פתרון כזה מיושם במרעום הקרבה למרגמות קלות "אלפא" (M787). הוא מבוסס על טורבינה זעירה הנמצאת במרכז המרעום, אשר מוזנת על-ידי אוויר רציף בעת טיסת הפגז. האוויר נכנס לחלל המרעום דרך כונס אוויר מרכזי בחרטום המרעום, עובר דרך להבי הטורבינה ויוצא דרך פתחי אוויר בדופן המרעום. הטורבינה מסובבת רוטור מגנטי בתוך סליל מוליך ויוצרת זרם חילופין בסליל.

יתרונותיו של פתרון זה הנם בכך שמקור המתח מופעל רק עם תחילת מעוף הפגז; מקור כוח זה הנו בלתי מוגבל באורך חיים, והפעלת מערכת זו הנה תנאי דריכה המגביר את בטיחות המרעום.

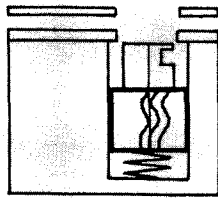
- פתרונות אחרים. ניתן למצוא גם פתרונות אחרים למקורות כוח, כגון הטענת קבל גדול בעת הירי וניצול האנרגיה הטעונה להפעלת המעגל האלקטרוני; שימוש בהדלי טמפרטורות וקבלת מתח על צמדים תרמיים וכו'. פתרונות אלה לא באו לידי ביטוי במרעומי קרבה מבצעיים.

- מערכת הדריכה כמו בשאר המרעומים, גם במרעומי קרבה, מערכת זו הנה האבטחה העיקרית של החייל בשטח מפני פיצוץ אקראי של תחמושתו שלו.

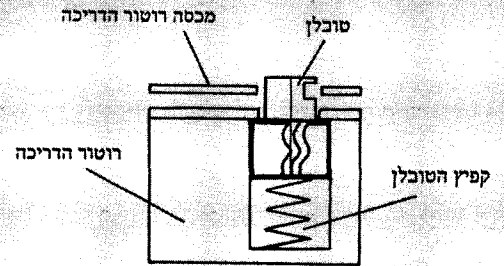
מערכת הדריכה במרעום קרבה כוללת נפץ חשמלי, מערכת אבטחה דטונטרית ומטען עיקרי המכונה גם מאיץ. הנפץ החשמלי מקבל את הפעלה מהמעגל האלקטרוני בהגיע המרעום לגובה הנדרש.

מערכת אבטחה דטונטרית הנה מנגנון מכני, אשר שובר את הרצף של קו הניפוח כשהמרעום נצור ומשלים את רצף קו הניפוח כשהמרעום דרוך.

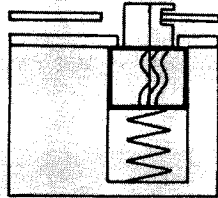
תנועת זחלן הדריכה יכולה להיות קפית



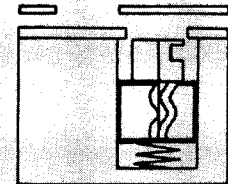
כ. טובולן התאוצה ברמיצה לאחור, במצב ירי רגיל



א. מערכת דריכה במצב נצור



ד. הטובולן נועל המערכת במצב נצור, בגלל הקרמת פעולות הבוכנה, לפני פעולת הטובולן



ג. רוטור הדריכה במצב דרוך לאחר הפעלת הבוכנה

ציור מס' 4: פעולת מערכת הדריכה, ויישום עקרון העדפת המצב הבטוח

יתרונם גדול במכת האש הראשונה, ושימוש בהם מגדיל את כוח האש הכולל של הכלי היורה, וכן מגדיל את יכולת נשיאת החימוש על-ידי החייל.

מרעומי קרבה הנם בטוחים ביותר לצוות היורה, ואמינותם הפרקטית עולה במקרים רבים על אמינות מרעומי ההקשה.



אמינות

הצלחת פעולתו של מרעום קרבה תלויה בפעולתו של מספר רב של מערכות בתוכו, כאשר כשלוף בכל אחת מהן מסכן את הצלחת המרעום. לכאורה אמורה אמינות מרעום קרבה להיות נמוכה מאמינותו של מרעום הקשה, אשר הצלחת פעולתו תלויה במערכת דריכה בלבד. המציאות מלמדת כי מרעומי קרבה — אמינותם גבוהה וזאת בשל בדיקות ייצור קפדניות.

יתרון אמינות נוסף הניתן להבחנה במרעומי קרבה למרגמות, נובע מהעובדה שמרעומים אלה אינם מוגנים על-ידי נצרת שליפה (מערכות הדריכה המתוחכמות אינן נזקקות לאמצעי זה). לעומתם מרעומי מרגמה מכניים המצוידים בנצרת שליפה — אמינותם בתנאי קרב יורדת עקב אי שליפת נצרות בחלק מהמרעומים.

סיכום

מרעומי קרבה למטרות שטח ומטרות חצי רכות, עולים על מרעומי ההקשה מבחינת עלות-יעילות.

נפץ מקוצר — דרישה זו אופיינית למרעומי קרבה, והנה הכרחית במרעומים חדישים.

מרעומי קרבה מופעלים על-ידי נפץ חשמלי אשר עלול לפעול עקב מטענים אלקטרוסטטיים או קרינה אלקטרומגנטית. סכנה זו הנה בעלת משמעות במרעומי קרבה וזאת בשל גופם האלמנטרי אשר אינו יוצר סיכון מספיק סביב הנפץ החשמלי. מרעום קרבה אשר בו הנפץ אינו מקוצר עד לתום הדריכה נחשב כמרעום מסוכן.

• זיהוי שיא מסלול — רגישותם של מרעומי קרבה להפעלה אקראית (שידורי רדיו הוציאו בעבר למרעומים שם של מסוכנים, כשמדובר היה על ירי מרעומי קרבה מעל כוחות ירדותיים).

סכנה זו חלפה עם הכנסת דרישה בטיחותית לזיהוי שיא המסלול ולמניעת פעולת המרעום עד לזיהוי ברור של תחילת גלישת הפצצה לעבר המטרה.

הפעלת מרעומי קרבה שהייתה בעבר מלווה בחשש מפני פיצוצים מוקדמים, הנה בטוחה כיום במרעומים המצוידים במערכת הגנה כזו.