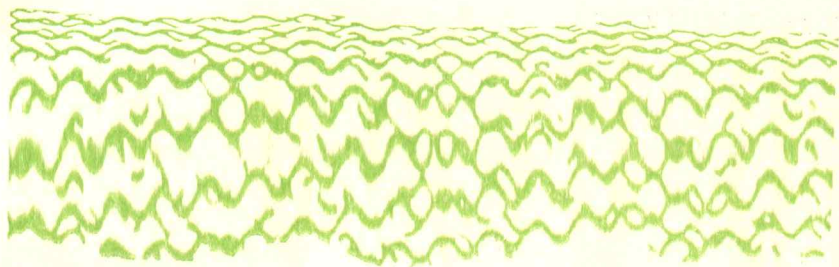




מערכות-חימוש

שבט תשכ"ה - ינואר 1965





עם הופעת חוברת זו נלנס „מערכות חימוש“ לשנתו החמישית.

בעיון חוזר בנושאים שהועלו בבטאונו בשנה האחרונה אנו עדים לצמידות הרבעון למגמת היסוד, והיא להביא בפני הקורא את חידושי הטכניקה והמנהל ברמה מקצועית ובצורה בהירה.

בצד מאמרים על התפתחויות אחרונות ברכב, מערכות הנעה, קליעים, קרינה אינפרא-אדומה ועוד, אנו מוצאים הרחבה והעמקה במדורים העוסקים באחזקה ובטכנולוגיה חימושית.

חידוש נאה שהוגש השנה ע"י „מערכות חימוש“ הן טבלאות הקיר בנושאי טילים נ"ט וטנקים בצבאות שונים, חומר עזר לעוסקים בטכנולוגיה צבאית. חידוש נוסף היוו דגמי הטנקים השונים להרכבה.

המאנוץ שהושקע ע"י המערכת זכה להכרה מצד הקוראים. עדות לכך הוא הגידול במספר החותמים במשך השנה. ראויים לציון עבודתם הברוכה של העורך, כותבי המאמרים וחבר העוזרים אשר הודות לשקידתם הגיע הבטאון עד הלום.

„מערכות-חימוש“ הוא בטאונכם, אנשי חימוש בסדיר ובמילואים, במתכם המקצועית, הקוראת להשתתפות פעילה של כל אחד מכם.

ינון עזרוני

ינון עזרוני, אל"מ

קצין חימוש ראשי



מערכת

טילים מונחים

- 1 -

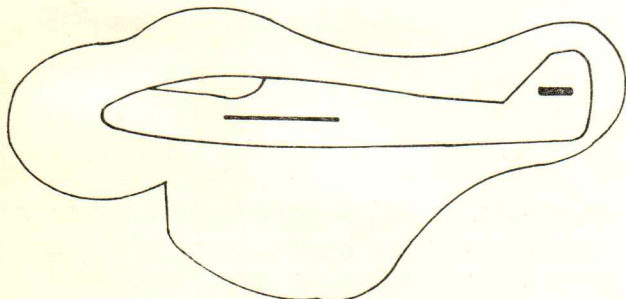
במאמר שפורסם בחוברת הקודמת הוצגו השיקולים והדרכים להערכת המחיר המינמאלי שיש לשלם בעבור סיכויי השמדה רצויים. במאמר זה ננתח את האספקטים הטכניים והתיאורטיים של עצם השגת סיכויי ההשמדה והדרכים לשילוב אופטימאלי של הגורמים הקובעים.

במאמר שיפורסם מאוחר יותר יידונו בהרחבה העקרונות התיאורטיים של טילים מונחים והקריטריונים לתכנון מערכות ההנחיה והבקרה שלהם.

קביעת סיכויי השמדה

פגיעות המטרה

נבחין בשני סוגים של מטרות: אחת שהשמדתה מותנת, בדרך כלל, בפגיעה ישירה בה והשנייה שניתנת להשמדה גם אם חלק קטן מהמטען היעיל פוגע בה. המטרה השנייה טיפוסית למטוסים ונבחר אותה כאן לצורך הבהרה. נגדיר את הפגיעות של המטרה כסיכוי להוציאה מכלל פעולה, אם ראש חץ, בעל מטען יעיל מסוים ואשר רסיסיו מפוזרים באופן אחיד, היה מתפוצץ בתוך חלל התחום על-ידי קוים שוי סיכויים. בציור מספר 6 מתואר מטוס והקו התוחם את איזור 50 אחוז. פירוש הדבר הוא שאם ראש חץ היה מתפוצץ באיזור זה קיים סיכוי של 50 אחוז לפחות שהמטרה תושמד.



ציור מספר 6

יעילות ראש-החץ

לאמתו של דבר, קיים קשר הדוק בין אפקטיביות הראש לבין פגיעות המטרה: אולם לצורך הבהרה נפריד בין שני הדברים

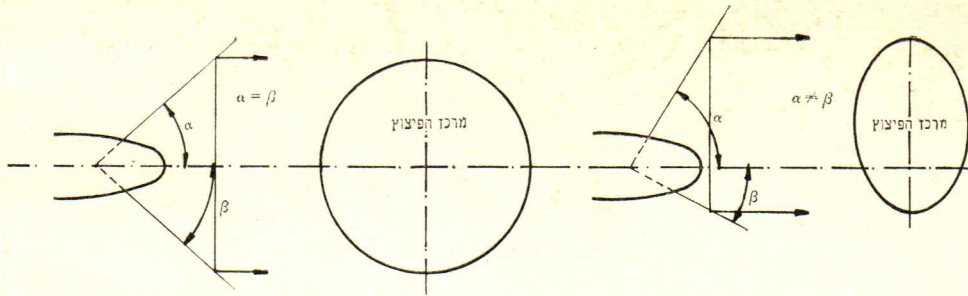
באיזו מידה אפשר להשמיד מטרה? הדבר תלוי במידת הנזק שייגרם לה. באגיה, למשל, תלויה מידת הנזק בעצמת ראש החץ המתפוצץ עליה או בסביבתה הקרובה, וכן במקום הפגיעה. אם הפגיעה היא בסביבת הארובה, קטן הסיכוי שה-אגיה תוצא מכלל פעולה. פגיעה במערכות המכ"מ תגרום נזק רב יותר: מצד אחד יאבדו תותחיה דיוק כינונם ומצד שני לא תוכל לגלות ולזהות מטרות בטנחים שונים. פגיעה בבטן האגיה תגרום לטיבועה. במטוס, להוציא פגיעה ישירה, תהיה מידת הנזק תלויה במספר הרסיסים שיפגעו בו, כתוצאה מהפעלת ראש החץ על-ידי מרעום הקרבה, וכמובן במקום הפגיעה. מקובל להגדיר „השמדה“ כמידת נזק שתגרום למטרה ושכותר צאה ממנו לא תהיה מסוגלת להפעיל את אמצעי לחימתה לפחות לתקופת הקרב. מכאן נובע גם שסיכויי ההשמדה מוגדרים כתלות הדדית בין הטיל למטרה וכל צירוף אחר בין הטיל לבין מטרה שלא יועדה לו, תביא להפחתה ניכרת מאוד של סיכויים אלה.

כפי שכבר נאמר יהיו סיכויי ההשמדה של טיל בודד תלויים בגורמים הבאים:

- פגיעות המטרה (target vulnerability)
- יעילות הראש (war-head lethality)
- מרחקי החטאה של הטיל (miss distance).

נוסף על אלה קיימת עוד דגרדציה של הסיכויים כתוצאה מכושר הפרדה מוגבל של המכ"מ בגילוי מטרות רבות הקרוי בות אחת לשנייה. דגרדציה זו נחס, בדרך כלל, לאפקטיביות הראש, אם כי אפשר ליחסה גם למרחקי ההחטאה.

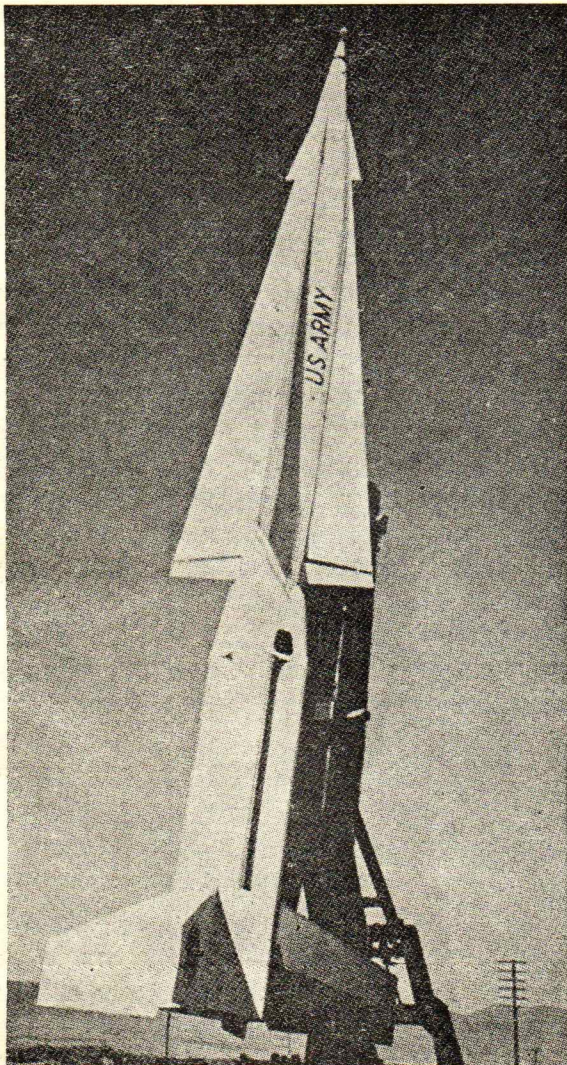
ציור מספר 7



סיכוי ההשמדה של הטיל

כדי להשמיד את המטרה יש לנדא שהטיל „יחטיא“ את המטרה במרחק מינימלי מספיק, בסביבה פגיעה ושמטענו „היעיל“ יהיה באמת יעיל דיו. אם נתבונן, לדוגמה, בציור מס' 6 נראה שמטוס מסוים פגיע בסביבת גחונו יותר מאשר בכל חלק אחר. כדי לנצל עובדה זו, לצורך הגדלת סיכויי ההשמדה, נבון יהיה לתכנן את מערכת ההנחיה והבקרה כך שהטיל „ישתדל“ להחטיא את המטרה מתחתיה, ושראש החץ שלו יהיה מן הטיפוס השני (ראה ציור מספר 7), כלומר ראש-חץ שיעילותו

טיל ניקה'זאוס



היות ורגישותה של המטרה לפגיעה תקבע את תכנונו של ראש החץ.

כאפקטיביות הראש נגדיר את התוצאה של האפקטים ההרסיניים המתרחשים בזמן הפיצוץ. במקרה שלנו האפקטים החשודים הם ההדף והרסיסים (גודלם, מהירותם ומספרם) המתפזרים בעקבות הפיצוץ. האפקטיביות נמדדת במרחקים שונים ממרכז הפיצוץ.

נבחין בשני סוגי ראש:

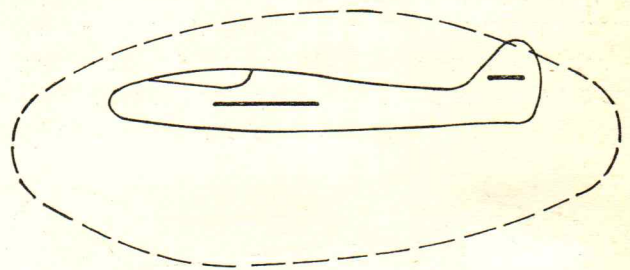
- עם ריסוס בעל פיזור אחיד.
- עם ריסוס בעל פיזור לא אחיד.

שני סוגים אלה מתוארים בציור מספר 7.

בראש מן הטיפוס הראשון שטח החתך המתאר את צפיפות הרסיסים במרחק-מה ממוקד הפיצוץ הוא מעגלי ופיזור הרסיסים בו אחיד. בראש מן הטיפוס השני שטח החתך סביב מוקד הפיצוץ אינו קונצנטרי וצורתו תקבע בהתאם לפגיעות המטרה. הזוויות המרחביות α ו- β מתארות קונוס מרחבי בתוכו מתפזרים הרסיסים.

מרחקי החטאה

קנה מידה לדייק מערכת ההנחיה והבקרה של הטיל משמשים מרחקי החטאה של הטיל. מרחקים אלה מתארים את גודל החטאה הלינארית ממרכז המטרה.



ציור מספר 8

מקורן של החטאות אלו בעובדה שהסיגנלים הבאים מהמטרה והנקלטים על-ידי מערכת ההנחיה כוללים גם אינפורמציה מזויפת על מקום המטרה, ותופעות בלתי רצויות אחרות המתרחשות בתוך מערכת הבקרה עצמה. פילוג מרחקי החטאה איננו בהכרח נורמלי וצורתו תקבע לרוב בהתאם למטרה ובהתאם להנחיות הכלליות בזמן התכנון. בציור מספר 8 מתואר הקו התוחם את איזור 50 אחוז של מרחקי החטאה, דהיינו, האיזור בו יפגעו בממוצע כ-50 אחוז מן הטילים.

בכיוון מעלה גדולה מבשאר הכיוונים. ניצול „חולשות” המטרה הנו תנאי הכרחי להשגת סיכויי-השמדה רצויים במחיר שעדיין אפשר לשלם. באופן כללי יתבסס תכנון מערכות הטיל על שתי הנחיות יסוד:

מערכות הנחיה ובקרה משוכללות — ראש־חץ קטן. עם מערכות אלו מובטח יהיה שהטיל יפגע במטרה עצמה או בסביבה הסמוכה לה. דרגת הסופיסטיקציה עליה יתבסס תכנון תהיה גבוהה ויש לצפות שהמערכות עצמן יהיו מסובכות וכבדות. המטען היעיל של ראש החץ לעומת זאת, ודאי שלא יהיה קטן. מערכות הנחיה ובקרה פשוטות — ראש־חץ גדול. במקרה זה יהיו מרחקי ההחטאה גדולים אולם המטען היעיל יהיה בודאי גדול מאוד דבר שיבטיח מידת־נזק רצויה. מערכת הנחיה ובקרה פשוטה, הנה לעתים זולה יותר גם אם אין בה „קוריוזים” טכניים רבים. ברית־המועצות סיגלה אותה בעת תכנון מערכות הטילים שלה.

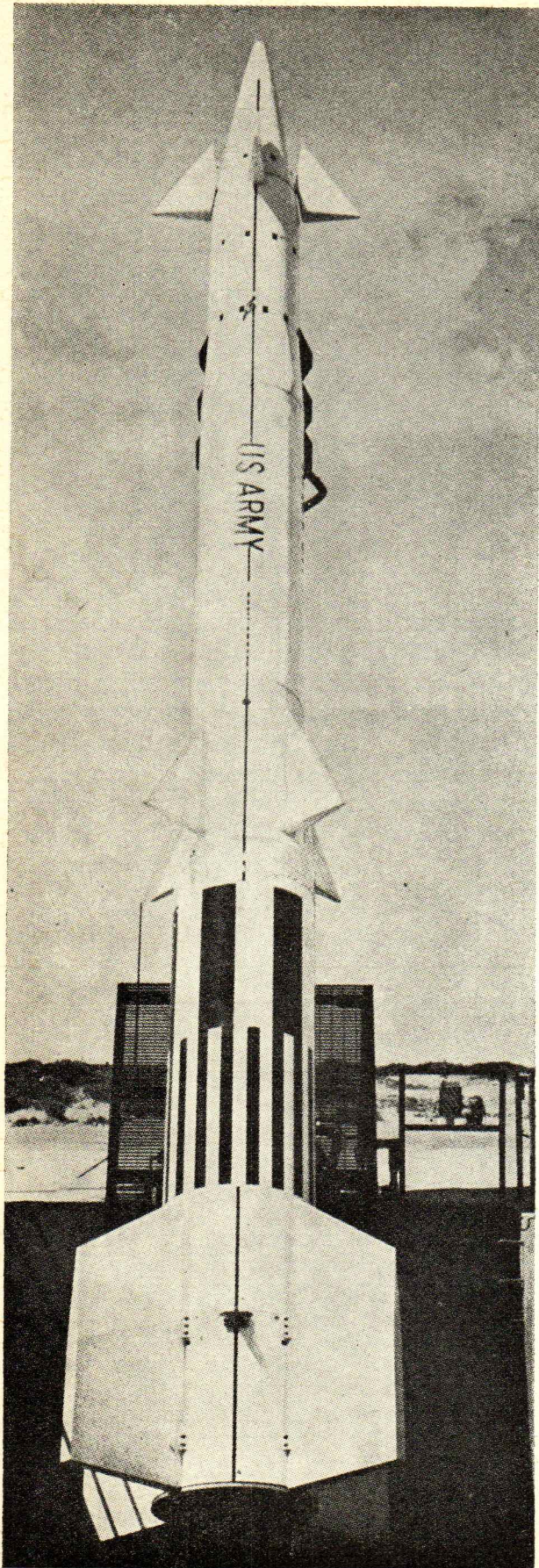
כדי לחשב סיכויי ההשמדה של הטיל, לאחר שידועים הפילוגים של שלושת הרכיבים שתוארו קודם, יש להכפיל את הסיכויים השונים לגבי כל יחידת נפח במרחב ביחס לנקודה שנבחרה לצורך זה (לרוב מרכז המטרה). מתוך כך אפשר למפות את המרחב במשטחים שוי־סיכויים של השמדה. סכום הרכיבים המרחביים של הסיכויים במרחב התפוס על־ידי נפח המטרה, יהיה סיכוי ההשמדה של הטיל המסוים ביחס למטרה המסוימת. כל עוד דיברנו על סיכוי ההשמדה כסיכוי כולל, אפשר היה לפרט את הרכיבים מהם מורכב סיכוי זה. אולם ביחדנו את הדיבור על אחד מהם, מתוך אספקטים של חיפוש אחר אמת מידה לתרומתו לסיכוי הכולל, אין אפשרות פשוטה להגדיר את תרומתו הבלעדית, לא תרומה מוחלטת ולא תרומה יחסית. זאת כינון שכל הרכיבים תלויים אחד במשנהו ותרומתם של כל אחד מהם היא בעלת משמעות בה במידה שקיים שילוב אופטימלי של הרכיבים. לדוגמה נביא טיל אשר מחטיא בהרבה את מטרותו. במקרה זה, ספק אם יש חשיבות לתכונות הראש. דבר דומה קורה כאשר הטיל מצויד בראש אשר אינו מתאים לגרימת נזק למטרה אליה הוא משוגר.

לכן, כדי לבחון אספקטים מסוימים הקשורים באפקטיביות של ראש החץ, חייבים לנתח את סיכוי ההשמדה הכולל. ניהוד איפוא את הדיבור לסוג מסוים של ראש־חץ — ראש־חץ בטילי קרקע־אוויר או בטילי אויר־אוויר המצוידים במרעומי־קרבה. ראש־חץ כזה מתפוצץ בהתקרבו למרחק מסוים פחות או יותר מלפני המטרה, גורם להינצרות גלי הדף ולפיזור רסיסי־מתכת. אם הפיצוץ קרוב יחסית למטוס תהיה חשיבות לעצמת ההדף. אם הפיצוץ רחוק יותר — תהיה חשיבות רק לאותם רסיסים שיפגעו במטוס. בכל מקרה, חייב התכנון להתבסס על ההנחה שהמטרה תושמד על־ידי הרסיסים. נראה כיצד תושפע אפקטיביות הראש מהנחה זו¹.

כדי למצוא אמת־מידה לאפקטיביות הראש עלינו להניח שפילוג מרחקי ההחטאה ידוע, פגיעות המטרה ידועה וכמו כן עלינו להניח הנחות מספר בהקשר לפעולת הראש.

ראשית, נניח שהדטונציה מתחילה תמיד במרחק מסוים Z_0 ממישור המטרה. שנית, נניח שהרסיסים מפוזרים שוב בתוך מעטפת קונית עם מחצית זווית קדקוד α (ראה ציור מס' 7 א).

← טיל ניקה־הרקוס



עם ההנחות שהנחנו עד עתה ובעזרת משוואה (6) אפשר לפתור משוואה (5) הנותנת את סיכויי ההשמדה. במקרה זה נקבל:

$$P = \left\{ 1 - \exp\left(-\frac{1}{2} \sqrt{\frac{hA}{\pi}}\right) \right\}^2 \quad (7)$$

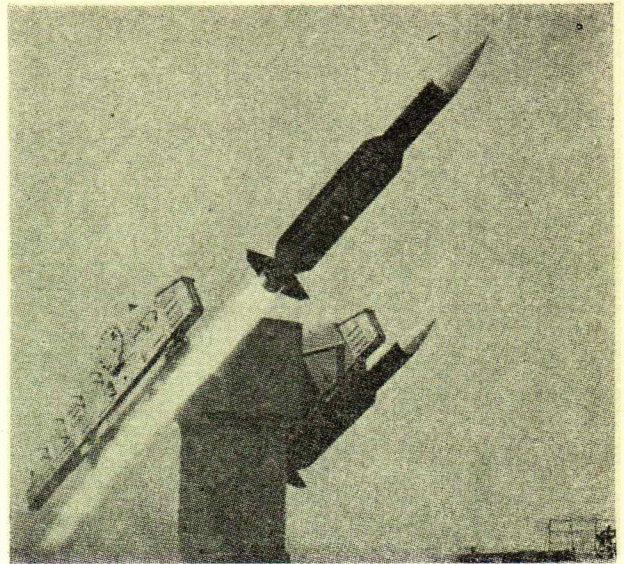
בהתייחס למשוואות (6) ו-(7) אפשר לנסח את הדרישות לאפקטיביות הראש כלהלן:

יש לתכנן את מרעומי הקרבה כך שהם יגרמו תמיד לפיצוץ במרחק Z_0 קבוע. מרחק זה אפשר לחשב אם ידועים מרחקי ההחטאה, אם ידוע השטח הפגיע של המטרה, אם ידועה זווית הקונוס בו מתפזרים הרסיסים וכן מספר הרסיסים הכולל. כדי להשיג סיכויי השמדה רצוי p , יש לדאוג שמספר הרסיסים n יהיה לפחות לפי הנדרש במשוואה (7). מובן מאליו שגודל הרסיסים ועצמתו צריכים להספיק לכך שרסיס בודד ישמיד את המטרה.

קיימים אספקטים נוספים שלא נדונו בדוגמה שהובאה (כמו כדאיות בשימוש במרעומי הקשה, פילוג לא אחיד של הרסיסים וכו'). בכל מקרה יש לשאוף לפתרון מתאים אשר יצביע על הקשר בין האספקטים לבין האפקטיביות הרצויה. דבר זה יהיה קריטריון לתכנון ראש החץ.

כניסות ויציאות של מערכת

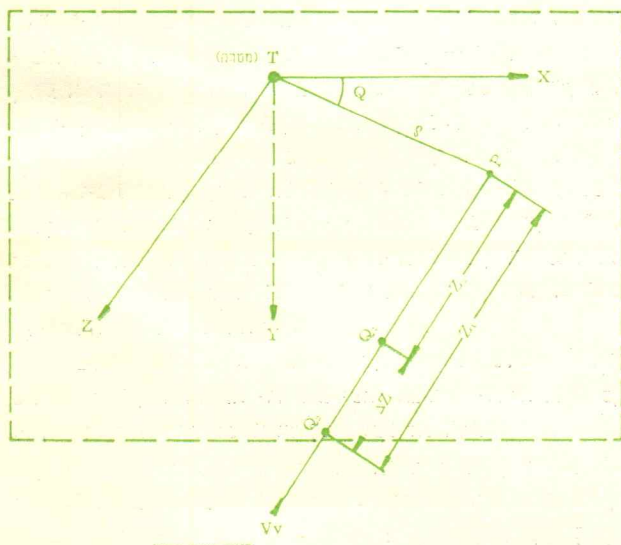
הפונקציונליות של מערכת פיסיקלית מוגדרת על-ידי פונקציית התמסורת שלה. התכונה היסודית של מערכת כזו — כושרה להגיב לגירויים חיצוניים. נקח לדוגמה מנוע חשמלי המספק זרם ישר כשמהירות הסיבוב שלו מווסתת על-ידי מתח חשמלי. ברגע שמופעל על המנוע מתח חשמלי מתחיל המנוע להסתובב במהירות התלויה בסגולות שלו. אם יועלה המתח לערך גבוה יותר תגדל מהירות הסיבוב — ולהיפך. מתוך כך נגדיר את שלושת הדברים המאפיינים את המערכת:



טיל טרטאר (Tartar) בנסיקה

מספר הרסיסים העפים אחר ההתבקעות הוא n וכל אחד מהם דיף כדי להשמיד את המטרה אם הוא פוגע בה. השטח האקוור לנטי הפגיע של המטרה הוא A . כמו כן נניח שפילוג מרחקי ההחטאה של הטיל הוא נורמלי עם סטיית תקן נתונה — σ . ראשית, יש לקבוע מהו המרחק האופטימלי Z_0 בו כדאי לפוצץ את הראש. אם Z_0 קטן מדי, קטן גם הסיכוי שהמעטפת הקונית תכיל בתוכה גם חלק מהמטרה. אם Z_0 גדול מדי — צפיפות הרסיסים ליחידת זווית מרחבית תהיה קטנה וקרוב לודאי שהרסיסים יעופו מסביב למטרה ולא יפגעו בה. סיכויי ההשמדה הוא מפסימלי כאשר המרחק Z_0 הוא:

$$Z_0 = \frac{4 \sqrt{\frac{2\sigma^2 hA}{\pi}}}{\epsilon g \alpha} \quad (6)$$



כיוון מעוף הטיל

ציור מספר 9

¹ ננתח בקווים כלליים את הסיכוי הכולל להשמיד סוג מסוים של מטרה בעזרת טיל בודד. הבה נתבונן בציור מספר 9.

המטרה נמצאת בנקודה T ו- V_r היא מהירות הטיל יחסית למטרה. הציור \square נבחר במקביל למסלול הטיל. הציורים x ו- y מגדירים את מישור המטרה והמרחק $\rho = PT$ (הנמצא באותו מישור) הוא המרחק שבו "יחטיא" הטיל את מרכז המטרה בעוברו דרך המישור. אולם, מאחר ש- ρ גדול על-פירוב ואין פגיעה "קשה" במטרה. מפוצצים את הטיל לפני המטרה על-מנת שחלק מהרסיסים יפגעו במטרה. נניח שמרעום הקירבה מופעל כאשר הטיל נמצא בנקודה Q_1 הנמצאת במרחק Z_1 בניצב למישור. מרחק זה, בדרך כלל, אינו קבוע והוא תלוי במהירות היחסית θ . במרחק ρ ובזווית V_r אנו נניח שלנקודות המרחביות בהן "נצת" (triggered off) מרעום הקרבה יש פילוג סטטיסטי — התלוי בגורמים שהזכרנו ונסמנו ב- $\varphi_k(V_r, \rho, \theta, Z)$ עתה נניח שמרגע הפעלת המרעום עד לתחילת הדטונציה עובר זמן של השהיה קבועה. באותו זמן עובר הטיל מנקודה Q_1 ל- Q_2 . דהיינו עובר את המרחק ΔZ . לגבי נקודת דטונציה מסוימת קיים סיכוי נתון להשמדת המטרה. סיכוי זה תלוי במצב היחסי של הנקודה למטרה ונסמנו ב- $\varphi_k(V_r, \rho, \theta, Z - \Delta Z)$. נוסף על כך המרחק ρ והזווית θ מפולגים בצורה התלויה במרחקי ההחטאה של הטיל. נסמן פילוג זה ב- $\varphi_{\Delta k}(V_r, \rho, \theta)$. הסיכוי שטיל בודד ישמיד את המטרה

תזוז המטרה למקום חדש בטרם הספיק הטיל לתקן את השגיאה הקודמת. בהתייחס לציור מספר 10 נגדיר את השגיאה כהפרש בין הכניסה ליציאה.

$$\epsilon = E_{in} - E_{out} = (1-H)E_{in} \quad (8)$$

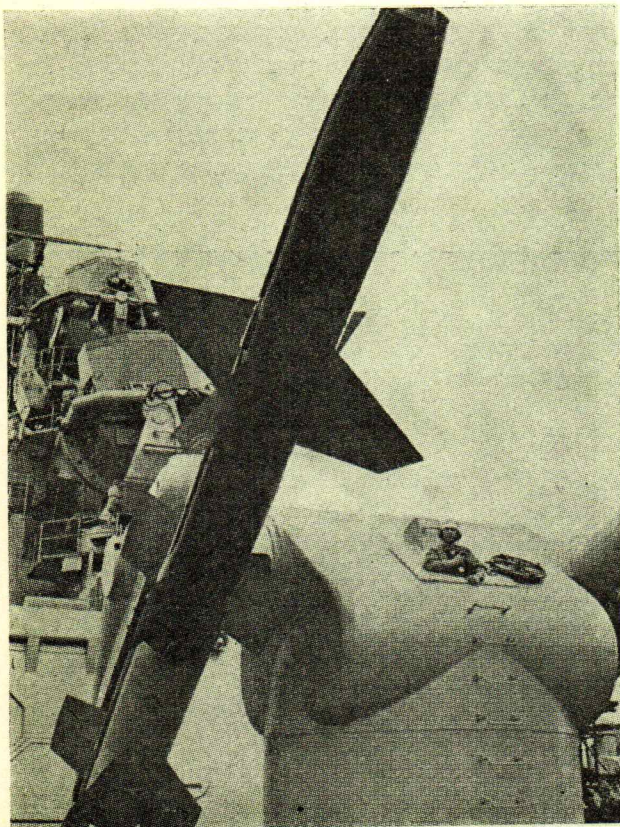
משוואה (8) מתארת את השגיאה הדינמית הנגרמת בגלל הפיגורים בתגובה הקיימים במערכות פסיקליות.

כניסות מזויפות (רעש) ומרחקי החטאה

המצב שתואר עד כה נכון בה במידה שהיציאה מן המערכת צריכה באמת להיות שווה לכניסה. לעתים קרובות, אם לא תמיד, מתלויים לאותות המתארים את מקום הטיל ביחס למטרה אותות מזויפים שמקורם בתופעות המתרחשות בד בבד עם התהליכים המעניינים אותנו לצורכי זיהוי. אותות אלה נקלטים על-ידי המערכת כאותות אמיתיים ומשום כך תגיב המערכת יותר מדי או פחות מדי בלא שהדבר נדרש במציאות.

התופעות הגורמות לאותות מזויפים ידועות בשם הכולל "רעש". בעיקוב אחר גופים טסים, למשל, מוחזרות הקרניים האלקטרון מגנטיות של מכ"מ העיקוב מן המטרה במופע ובשינויי אמפלי-טודה רגועים, הגורמים לכך שהמכ"מ מספק הערכה מוטעית על מקום המטרה גם אם המכ"מ כשלעצמו הוא ללא דופי. נוסף על כך מתרחשות כמובן גם תופעות בלתי רצויות בתוך המערכת עצמה (כגון רעש טרמי במכ"מ, תאוצה לטרלית מוגבלת של הטיל וכו'), שהשפעתן כהשפעת "רעש" חיצוני².

טיל הצי האמריקאי טאלוס



- כניסה למערכת (בגירוי החיצוני — במקרה זה מתח חשמלי);
- יציאה מהמערכת (במקרה זה סיבוב המנוע);
- פונקציית התמסורת של המערכת המתארת את הקשר בין הכניסה ליציאה.

בציור מספר 10, H מציינת את פונקציית התמסורת של המע-



ציור מספר 10

רכת הקושרת את היציאה E_{out} לכניסה E_{in} על-ידי הקשר $E_{out} = H \times E_{in}$. הדבר נכון לכל מערכת, ללא תלות בקומ-פֶּלֶס הטכני שלה. פונקציית התמסורת של מערכת מסובכת, המורכבת מתת-מערכות, תהיה מורכבת מפונקציות התמסורת של תת-המערכות שלה. אנו נגדיר מערכת טילים, או מערכת נשק, כסך-הכל המערכות הנוטלות חלק והגורמות בסופו של הדבר להשמדת המטרה. נביא לדוגמה מערכת טילים המפוקדת לפי שיטת "קשר הפקודה" (Command link). בשיטה זו עוקבים מכ"מים על הקרקע אחרי המטרה ואחרי הטיל בנפרד. את האינפורמציה אודות המטרה והטיל מעבירים המכ"מים אל מחשב, המחשב את הסטייה ביניהם ומשווה את מסלול הטיל למסלול בו הוא חייב לטוס על-מנת לפגוע במטרה. אם הטיל אינו נמצא על המסלול הרצוי מועברת אל הטיל באמצעות משדר פקודה בצורת קוד. המקלט שבתוך הטיל קולט את השידור ומעבירו אל מפענח אשר מפענח את הפקודה. עצמתה ומשמעותה. בהתאם לכך מעביר המפענח פקודה אל מפעילים חשמליים או אל מפעילים הידראוליים המזיזים את המשטחים האווירודינמיים שמסיטים לבסוף את הטיל למסלול הרצוי. אם נתייחס עתה לציור מספר 10. בהקשר למערכת "קשר הפקוד" דה" נראה שהכניסה הנה למעשה תנועת המטרה או מקומה, והיציאה מהמערכת תהיה בודאי תנועת הטיל בכל רגע ורגע. פונקציית התמסורת הכוללת תתאר את סך-הכל הפונקציות הנדרשות כדי להביא את הטיל למטרה.

עתה נגדיר את השגיאה הרגעית של מערכת. נניח כי אנו דורשים שבאופן אידאלי תהיה היציאה שווה תמיד לכניסה (הטיל מכוון תמיד אל מרכז המטרה). באופן מעשי תינצר שגיאה בגלל הזמן הסופי הדרוש למערכת כדי לגלות את השגיאה וכדי להביא את הטיל למסלול הרצוי. באותו זמן

(כאופיני לסדרת הטילים מאותו סוג) יהיה נתון על-ידי משוואה (5):

$$P = \int_{\theta=0}^{\theta=2\pi} \int_{\phi=0}^{\phi=2\pi} \phi_r(\mathbf{v}, \rho, \theta) \left\{ \int_{Z=0}^{\infty} \phi_z(\mathbf{v}, \rho, \theta, Z) \phi_r(\mathbf{v}, \rho, \theta, Z) dZ \right\} d\theta d\phi$$

(שים לב שהפילוג $\phi_{zt}(\mathbf{V}_r, \rho, \theta)$ במשוואה (5) מתאר את הפילוג של הרכיבים של מרחקי ההחטאה; $\phi_k(\mathbf{V}_r, \rho, Z) = \Delta Z$ מתאר את התלות ההדדית בין אפקטיביות ראש החץ לבין פגיעות המטרה ואילו $\phi_r(\mathbf{V}_r, \rho, \theta, Z)$ תלוי בטיב מרעומי הקירבה).

עד גבול מסוים התלוי באופי האות האמיתי ובאופיו של ה"רעש"³.

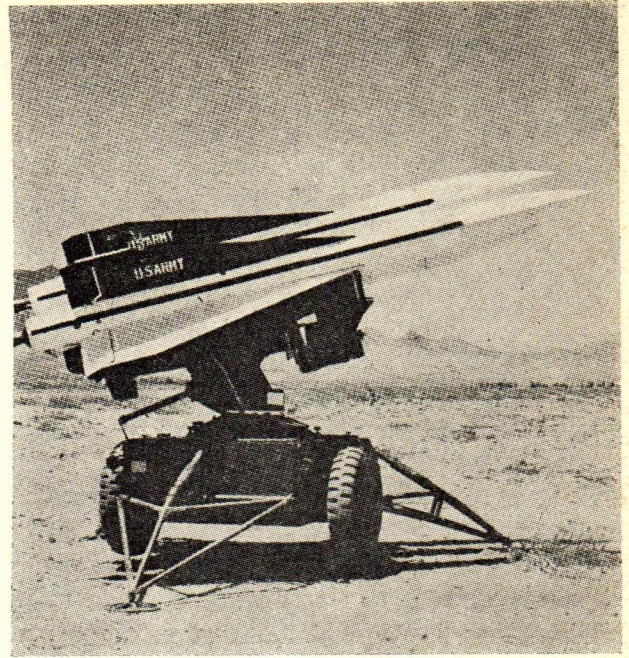
המערכת המקיימת את התנאים להשגת את מרחקי החטאה מינימליים נקראת מערכת אופטימלית או פילטר אופטימלי. זאת משום שמערכת כזאת מסננת בצורה היעילה ביותר את הרעש ביחס לאינפורמציה האמתית.

יש לציין, שכדי לקבל את הדיוק המפסימלי אין הדבר כרוך דוקא בהגדלת המחיר. יש לדאוג שהפרמטרים של המערכת יבחרו באופן שיבטיחו גילוי ביצועים אופטימליים.

הפתרון של וינר ושנון Wiener and Shannon

מציאת פונקציית התמסורת של המערכת האופטימלית אינו דבר פשוט כלל וכלל. אין ספק שפונקציה זו היא קנה מידה בלעדי לאומדן יעילות המערכת מבחינת דיוקה. לא פלא הוא שעד היום מחזיקות המעצמות את הפתרונות הקשורים במצוי אות מערכות טילים כאלה בסוד כמוס. זאת משום שפתרונות אלה מבטיחים כי התשלום אשר ישולם להשגת המטרה יהיה מינימלי (minimum cost per missile). נוברט וינר מצא שעבור כניסות בעלות אופי מוגדר (אות אמיתי ואות מזויפת) קימת מערכת אופטימלית אחת ויחידה המקימת את התנאי שהשגיאה הרביעית הממוצעת בין היציאה לבין הכניסה האמיתית היא מינימלית. הפתרון של וינר נוסח באופן כללי ואילו הישום של הפתרון למערכות פסיקליות ויציבות נעשה על-ידי אחרים כשהבולט ביניהם היה שנון. בסוף מלחמת העולם השנייה יושם הפתרון במערכות מכ"מ לעיקוב אחר מטוסים. עם כניסת המעצמות לעידן הטילים יושם הפתרון של וינר — שנון למערכות טילים⁴.

הישום עצמו איננו פשוט וטובי המתמטיקאים ואנשי הבקרה מנסים כוחם בשטח זה. לא כאן המקום להרחיב את היריעה על נושא זה. נעשה זאת במאמר נפרד. בכל זאת נביא כאן דוגמה אחת והיא אופטימיזציה של מערכת "רכובי-קרן"



טיל ההאוק על כן השיגור

שגיאות אלו הן הגורמות לכך שהטיל איננו פוגע ב"מרכז" המטרה אלא יחטיא אותה במרחקים התלויים בשגיאות (בעצמת ה"רעש").

אפשר לאמר שככל אשר יטיב הטיל לפגוע קרוב יותר אל מרכזי המטרה כן יגדלו סיכויי ההשמדה הכלליים. כשהוא אינו תלוי באפקטיביות הראש ובפגיעות המטרה יוכל מתכנן הטיל להציב לעצמו קריטריון לצמצם מרחקי החטאה עד למפסימום. השאלה שעל המתכנן לשאול היא עד איזה גבול אפשר לשכלל ולשפר את הדיוק של הטיל. האם אפשר לבנות מערכת כזו שתבטיח את פגיעתו של הטיל ממש במרכז המטרה? התשובה היא לא. את מרחקי החטאה אפשר לצמצם

החטאה, הוא איזור מסביב למרכז המטרה שבתוכו יפגע טיל בודד בסיכוי של 50 אחוז. בדרך אחרת אפשר להסביר שאילו נורו הרבה מאד טילים נגד המטרה, 50 אחוז מהם היו פוגעים בתוך איזור 50 אחוז והיתר — מחוצה לו. פונקציית הקורלציה המצולבת בין שתי פונקציות של זמן מוגדרת על-ידי $\varphi(\tau)$ השווה ל:

$$\Phi(\tau) = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_0^T x(t) y(t+\tau) dt$$

כאשר t, T, τ הם זמנים. פונקציה זו מצביעה על מידת הקורלציה בין שתי התופעות המוצגות על-ידי הפונקציות x ו- y . כאשר $y(t) = x(t)$ יתאר $\varphi(\tau)$ פונקציית האוטוקורלציה של הכניסה.³ אם נחזור למשוואה (9) ונניח שאופי הכניסות E ו- N ידועים יהיה עלינו למצוא פונקציית תמסורת כזאת שהשגיאה ϵ תהיה מינימלית. אם המערכת תהיה בעלת תגובה מקיירה (כלומר $H=1$) יהיו השגיאות נרתמות על-ידי הרעש בלבד. אם המערכת אטית מדי (כלומר $H=0$)

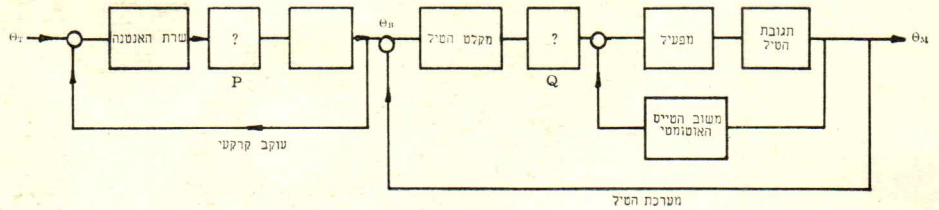
² התייחסות מחודשת לציור מספר 10 ולמשואה מספר 8 תראה שקיימים שני סוגים של שגיאות: אחת בגלל פיגורים במערכת (משואה 8) ואחת בגלל הכניסה המזויפת. אם נניח שהכניסה E מורכבת מהסיגנל האמיתי E ומסיגנל מזויף N תהיה השגיאה בכל רגע ורגע:

$$\epsilon = (1-H)E + H \times N \quad (9)$$

אם נקבל את משואה (9) כביטוי הכללי לחישוב מרחקי החטאה נראה שלגבי מערכת טילים נתונה (בעלת פונקציית תמסורת H ידועה) תלוי מרחק החטאה בתמרון המטרה (המתואר על-ידי הכניסה E) ועל-ידי תופעות לואי בלתי-רצויות (מתוארות על-ידי הכניסה N). במציאות הכניסות E ו- N הן פונקציות מסובכות המשתנות באופן מקרי ובלתי צפוי. זאת משום שהנשק עלול להיות מופעל נגד מטרות המתמרנות באופן שונה-גודל שונה, במרחקים ובגבהים שונים. לכן דרך נאותה לתאר כניסות כאלה היא להשתמש בפונקציות סטטיסטיות. מקובל לתאר את הכניסות בעזרת פונקציות האוטוקורלציה (של כל כניסה בנפרד) ופונקציות קורלציה מצולבת (של אחת ביחס לשנייה ולהיפך). פונקציות אלה מתארות את האופי של הכניסה מבלי להתייחס למקרה בודד. בעזרתן יהיו מרחקי החטאה אף הם מוגדרים במוצג סטטיסטי. נהוג לציין את איזור 50 אחוז של מרחקי

(beam rider). במערכת זו עוקב מכ"מ על הקרקע אחר תנועת המטוס ומכוון אוטומטית את מרכז אנטנת העקוב שלו אליו. הטיל, אשר אינו יודע על מקום המטרה, משתדל תמיד להימצא במרכז האלומה האלקטרומגנטית. על-ידי כך מובטח שבבוא הזמן "יפגע" הטיל במטרה. כדי שמרחקי ההחטאה יהיו מינימיים מביאים את המערכת למצב עבודה אופטימלי. הדבר

מוסבר על-ידי דיאגרמת המשבצות שבציור מספר 11. Θ_B מצב הקרן; Θ_T היא כניסה המתארת תנועת המטוס; Θ_X מצב הטיל. כדי שהמערכת הכוללת תהיה אופטימלית יש לתכנן את תתי-המערכות P ו-Q כך שפונקציית התמסורת הכוללת $(-)$ Θ_T תהיה קרובה ככל האפשר לפתרון של וינר-שנון.



מערכת רכובת קרן

ציור מספר 11

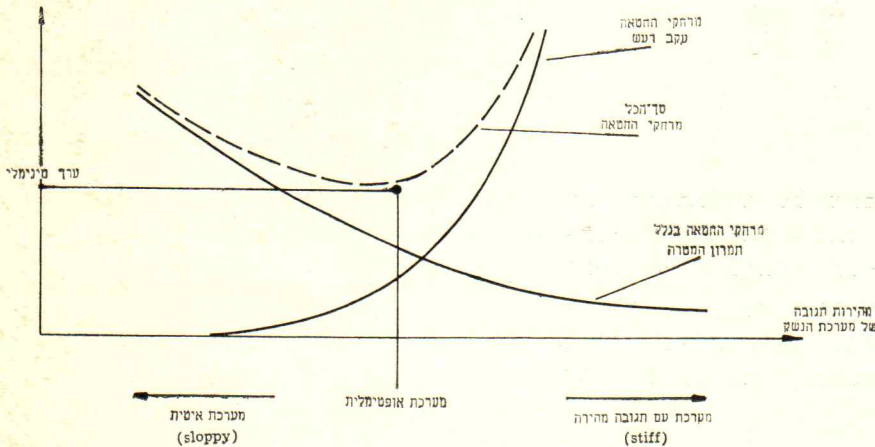
סיכום

- בעית היסוד בתכנון טילים מונחים הנה השגת סיכויי-השמדה רצויים במחיר מינימלי. לצורך זה על מתכנן הנשק לבחור את הפרמטרים המגדירים את פונקציונליות המערכת כך שהמערכת תענה על שלוש דרישות:
- "דיוק הפגיעה" של הנשק יהיה מכסימלי בהתחשב באפשרויות המעשיות של קבלת אינפורמציה

- מהימנה על מקום המטרה ומקום הטיל בכל רגע ורגע.
- השילוב של רכיבי סיכויי ההשמדה יהיה אופטימלי כדי להשיג סיכוי של טיל בודד במחיר מניח את הדעת.
- גובה סיכויי ההשמדה של טיל בודד יבחר בהתחשב בקשר שבין סיכויי-ההשמדה, מחיר הטיל ומספר הטילים שישוגרו לעבר מטרה בודדת.

ציור מספר 12

גודל מרחקי ההחטאה (אזור 50 אחוז)



יגדלו השגיאות בגלל תמרון המטרה. בתנאים אלה קיימת פונקציית תמסורת כזאת שלגביה יש ערך מינימלי לשגיאה ϵ (ראה ציור 12).⁴ במובן הכללי פונקציית התמסורת של המערכת האופטימלית עבור מערכת טילים נתונה על-ידי:

$$H(i\omega) = \frac{1}{\{1 + \gamma\omega^4\}^* \{\Phi_r(\omega) \cdot \Phi_w(\omega)\}^*} \left[\frac{\Phi_r(\omega)}{\{1 + \gamma\omega^4\} \{\Phi_r(\omega) + \Phi_w(\omega)\}} \right]^+$$

כאשר:

- $H_T(\omega)$ — פונקציית התמסורת של המערכת האופטימלית.
- $\Phi_T(\omega)$ — טרנספורמציה פוריה של פונקציית האוטוקורלציה של הכניסה האמתית.
- $\Phi_X(\omega)$ — טרנספורמציה פוריה של פונקציית האוטוקורלציה של הרעש.

γ — מכפיל לגרנד' המגדיר התאוצה הריבועית הממוצעת של הטיל.

$i\omega$ — תדירות זוויתית קומפלקסית.

כדי להסביר את יתר הסימנים נניח את הפונקציה $\Psi(w)$ של המש-תנה הקומפלקסי w אז:

$$\Psi^+ \Psi^- = \Psi$$

$$\Psi_+ + \Psi_- = \Psi$$

כאשר Ψ^+ ו- Ψ_- אף הן פונקציות של המשתנה הקומפלקסי שכל הנקודות שלהן הסינגולריות נמצאות בחלק העליון של המישור הקומפלקסי ואילו הנקודות הסינגולריות של הפונקציות Ψ^+ ו- Ψ_- נמצאות כולן החלק התחתון של אותו מישור.



הבטיחות בדרכים לאור כושר הביצועים של כלי הרכב

מנקודת ראותם של מתכנני הכבישים ומניחי חוקי התנועה — הרכב הנו מכונה בעלת מבנה מוגמר, ואלו מנקודת ראותם של מתכנני הרכב — הכביש או הדרך הנם מוגמרים. המאמר — הראשון בסדרת מאמרים שנביא בנושא זה — מבהיר את הקשר בין נושאי תכנון הרכב וכושר ביצועו — להשלכתו על מבנה הכבישים וחוקי התנועה.

א. נקודת ראות טכנית. ברוב המחקרים מנסים לראות את כלי הרכב, מבנהו, חוזקו המכני, מידותיו, נתוניו הטכניים, כושר ביצועו, מהירותו, כושר הבלימה וההאצה, הבטיחות בביצוע הסייבוב, כנושא מוגמר אשר עלול אולי להשתנות אך במעט משך השנים הבאות, אך למרות זאת, יצרני כלי הרכב, מתקדמים מדי שנה, בפיתוח כלי הרכב בעלי רמת בטיחות, וכושר שליטה גבוהים יותר, נוחיות יתר להקטנת עייפותם של הנוסעים וכד'. ב. נושא מחקר אחר, הוא פיתוח המבנה של רשת הכבישים. מחקר זה מהווה מפתח לכל המחקרים האחרים; המעמסה בדרכים כיום ההולכת וגוברת, ומהירות הנסיעה הקטנה — כתוצאה

מספר כלי הרכב הנעים בכבישים מתרבה מדי שנה בשנה בכמויות עצומות. עומס כלי הרכב בדרכים (כלי הרכב לק"מ דרך), עולה בהדרגה ולעתים מגיע לגבול יכולת הקליטה של הדרך לשאת במעמסה של כל כלי הרכב המשתמשים בה. תופעה זו מורגשת במיוחד בכניסות ראשיות לערים הגדולות. מאחר שקצב הפיתוח של רשת כבישים, הנו בדרך-כלל, איטי ללא כל יחס לריבוי כלי הרכב (באופן מעשי אין אפשרות להגביר את קצב סלילת הכבישים), אנו עדים בשנים האחרונות להשקעת מאמצים בחקירת נושאי התנועה. נושא התנועה נחקר ממספר נקודות-ראות:

$$S_1 = \frac{V^2}{2a}$$

כאשר: V = מהירות כלי-הרכב במטרים לשניה;
 a = תאוצת הבילום;

S_1 = מרחק העצירה הנמדד באורך דרך הגלגל החל מעצירתו.

מאחר שהשיקול לעצירה ועצם העצירה דורשים גם זמן לתגובת הנהג — יש להוסיף את אותה דרך שהרכב עובר באותו פרק זמן של שיקול הנהג ותגובתו. מקובל לחשוב אותו ל-0.75 שניה. כמו כן — אם מדובר על מרחקים בין כלי-רכב, דרוש להוסיף את אורך כלי-הרכב בחשבון.

כעת אומר כי על מנת לנוע בבטחון בשדרת מכוניות נחוץ לשמור על טנח עצירה התלוי במהירות הנסיעה של כלי-הרכב העוקב.

$$S = \frac{V^2}{2a} + 0.75V + C$$

כאשר: C = אורך כלי-הרכב;

S = מרחק בין כלי הרכב (חלק קדמי לחלק קדמי של המכונית העוקבת);

$$a = \text{מעשי } 4.6 \frac{m}{sec^2}$$

כדי לקבל את S במטרים V_1 בקמ"ש תקבל הנוסחה את הביטוי הבא:

$$S = 0.0085443 \times V^2 + 0.20833V + C$$

קמ"ש קמ"ש

$$\frac{V}{S} = q \quad (\text{ספיקה})$$

$$K = \frac{1000}{S} \quad \text{צפיפות כלי-הרכב, לק"מ של כביש}$$

בניתוח קצב התנועה ניתן לראות שקצב התנועה תלוי במהירות הנסיעה כל עוד נשמרים כללי הבטיחות.

$$q = \frac{V}{S} \quad \text{לערך } q \text{ קיים אופטימום תלוי } V$$

$$q_{\max} \frac{d}{dv} \left(\frac{V}{S} \right) = 0 \quad \text{בגזירה נקבל:}$$

$$\frac{d}{dv} \left(\frac{V}{S} \right) = \frac{d}{dv} \left(\frac{V}{k_1 V^2 + k_2 V + C} \right) = 0$$

$$\frac{(k_1 V^2 + k_2 V + C) - V(2k_1 V + k_2)}{(k_1 V^2 + k_2 V + C)^2} = 0$$

$$k_1 = 0.00854$$

$$k_2 = 0.2083$$

מכך, שינתה בשנים האחרונות את אופי הדרכים, והפכה אותם לדרכים חד-סטריות. כניסות מבוקרות על-ידי שילוט כבישים רב מסלוליים, רשתות רמזורים, תמרורים למהירות הנסיעה, כל אלה — באו כתוצאה ממחקרים תיאורטיים וסטטיסטיים כדי להגיש פתרון מידי וסביר לבעית העומס בכבישים הגובר במיוחד בשעות השיא.

ג. חוקי התנועה.

כל תהליך בשינוי מבנה הרכב, בתמרורים ובמבנה הכבישים, מביא בהכרח לשינוי בדרך הנהיגה. חוקי התנועה הם, למעשה התרגום של תוצאות המחקרים וההישגים, ותרגום הידע של נושאי התנועה, לשפת "נהגות", היינו לשפה מובנת לשולט ברכב.

ד. הבטיחות.

כל המחקרים שבנושאי התנועה נובעים מתוך מגמה אחת והיא להקנות את הבטיחות בתנועה, למניעת תאונות-דרכים. עובדה זו מתבצעת תוך התחשבות בנתוני הרכב, הדרך, וה-חידושים בחוקים.

הקשר בין הבטיחות ומבנה כלי-הרכב

תאונות-דרכים, מתחלקות מנקודת ראות של ניידות, לשני סוגים עיקריים.

א. תאונות בין שני גופים ניידים, התנגשות בין שני כלי-רכב ניידים או בין אדם לכלי-רכב.

ב. תאונה בין כלי-רכב נייד לעצם נייח.

ג. עובדה פשוטה היא, שלא תתכן תאונות-דרכים בין שני כלי-רכב אם על הדרך נמצא באותה עת רק כלי-רכב אחד. הגדרה זו נראית ברגע ראשון טפשית אך אקסיומה זו מאפשרת גישה מחקרית עניפה.

נותר עכשיו להגדיר מהם המצבים המאפשרים הימצאות כלי-רכב אחד בלבד. נקח שתי דוגמאות קיצוניות:

(1) מכונית נוסעת משך שעה על גבי כביש שאין עליו שום מכונית נוספת. אין ספק שהמכונית הבודדת נמצאת לבד, ולא תיתכן תאונה בין שני כלי-רכב בכביש זה במשך השעה הנתונה.

(2) ההנחה כי בשיירת כלי-רכב הנעה במהירות גבוהה, בלי יכולת לשנות את מהירותה ברנחים מצומצמים מאוד לעולם לא תתכן תאונה, הנה תיאורטית בלבד, מאחר שלא יתכן לשמור מהירות קבועה משך זמן רב, בכלי-רכב המקובלים כיום. אך הגדלת רנחים, ויסות עם שליטה על מהירות בילום והאצה, עלולים לאפשר הפעלת שיירת מכוניות כזו.

חקירת המקרים המעשיים, דורשת ניתוח מתימטי תוך ידיעת היכולת הביצועית המדויקת של כלי-הרכב, כושר התמרון, האצת המהירות, הסיבוב, הבילום יציבותו וכמו כן כושר התגובה של האדם המחזיק בהגה ומידת ההעזה שלו. מאחר שביצועי כלי-הרכב, ניתנים לשינוי על-ידי הנהג בתחום רחב למדי, הרי שרצון הנהג, חפזונו או הרצון לפגור, משפיעים במידה ניכרת על מחקרים אלה.

נבחר לצורך ניתוח התנועה של שורת כלי-הרכב במסלול אחד, לצורך פשטות יעשה הניתוח בשלב זה ללא עקיפות.

בילום כלי-הרכב מבוסס על עצירת הגלגלים. תאוצת הבילום מוגבלת במקדם החיכוך של הצמיג באספלט הכביש.

לכן מרחק העצירה מרגע הפעלת הבלם ועד לעצירה מלאה, הוא:

או לאחר פיתוח:

$$k_1 v^2 = c$$

$$v = \sqrt{\frac{c}{k_1}}$$

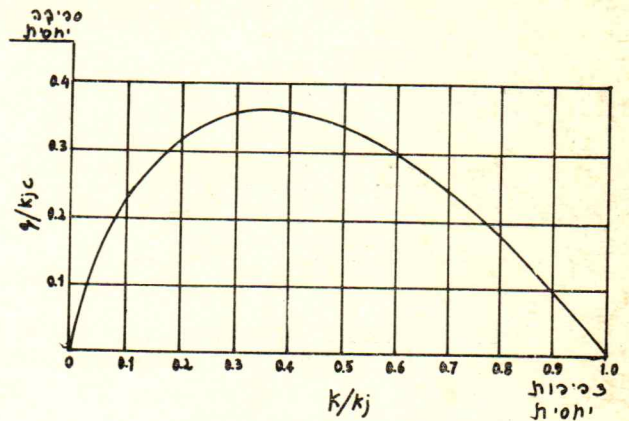
מהירות התנועה האופטימלית תלויה בערכים k_1 ו c ואילו q

$$q = \frac{\sqrt{\frac{c}{k_1}}}{2c + k_2 \sqrt{\frac{c}{k_1}}}$$

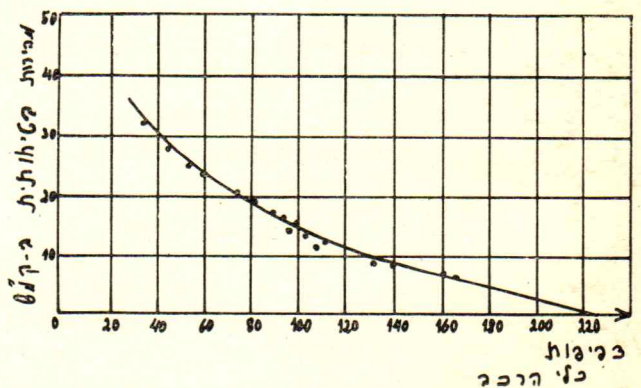
מתוך ניתוח זה גדול האופטימום בכללותו, יתכן על-ידי הקר טנת c , k_1 ו k_2 קשה לומר אם ניתן לשנות כיום את c או k_2 אך לגבי k_1 קיימים עוד פתרונות טכניים חדשים, שעליהם לא ידובר במאמר זה.

אם נתאר את מהירות התנועה ה"בטיחותית" כפונקציה של העומס, ואת קצב הזרימה כפונקציה של העומס בכל תחום, נקבל את התנועה בגרף I, II

גרף I



גרף II



$k =$ מסמן את העומס המפסימלי האפשרי, כאשר כל-יחידת צמודים זה לזה ללא רנחים $k_j = \frac{1000}{c}$
 $C =$ מסמן מהירות בטיחות המתאימה.

מהירותו המפסימלית של כל-יחידת מוגבלת גם היא, אך ברור שהחל מגבול צפיפות מסוים ומעליו, מהירות תנועתו האמתית, הולכת וקטנה, על-מנת לאפשר ספיקה (התקדמות), עם קטון המהירות הספיקה הולכת וגדלה, היינו מתאפשרת הזרמת התנועה והתקדמותה, אך בתנאי שהעומס לא יעלה על שיעור האופטימום.

כאשר העומס עולה על שיעור האופטימום, יחד עם מהירות התנועה קטנה גם הספיקה, כלומר, באם תמשך הזרמת כל-יחידת הרכב לתוך נתיבים אלה, תפסק התנועה לחלוטין, ילך ויגדל תור התנועה במהירות. ועלולה התנועה להפסק לחלוטין כל עוד לא תפסק הזרמת כל-יחידת הרכב בקצב זה. מתוך כך ברור שכדי לעמוד מספיקה אופטימלית, (לשחרר את העומס במהירות), הכרחי לשמור על גבול הצפיפות האופטימלי באמצעים מכוונים.

טבלת מדידות תנועה במנהרת לינקולן (ארה"ב):

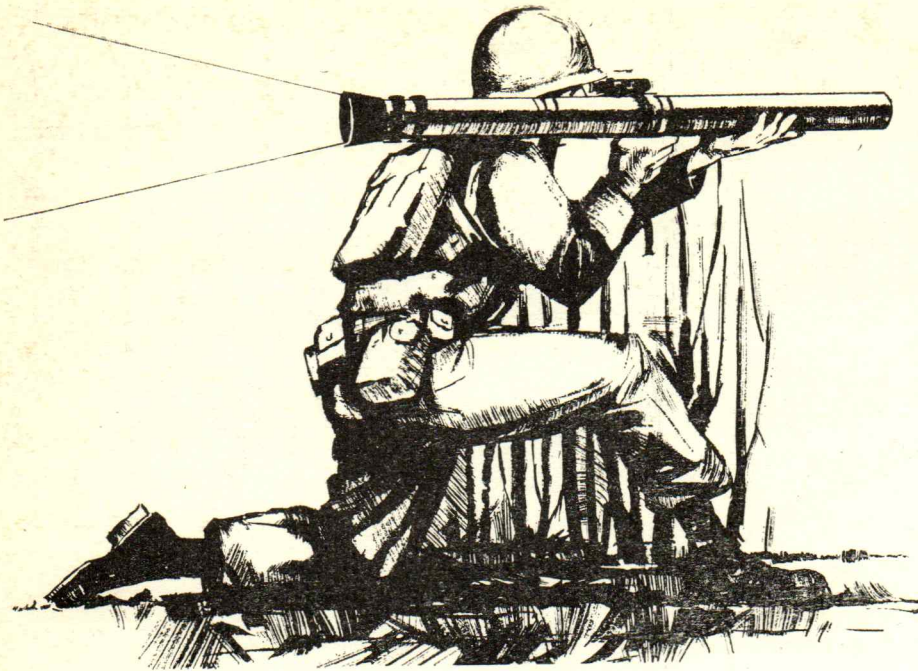
מהירות v במיל לשעה	מרחק בין כל-יחידת הרכב c ב-feet	צפיפות k כל-יחידת למיל אחד	זרימה q כל-יחידת בשעה
32	155	34	1088
25	99.6	53	1325
20	71.4	74	1480
17	60.0	88	1496
13	51.3	103	1339
10	40.9	129	1290
6	32.0	165	990

כיון שלרוב דרכים בצפיפות מסוג זה קשורות בצמתים סוא-נים, מן ההכרח לנתח, מהם הגבולות האפשריים להעמסה בצומת.

ברור שהסתננות כל-יחידת לתוך שיירת כל-יחידת הנעה בכביש מותנה בצפיפות היחסית באותו כביש. באם הצפיפות היא מלאה, זאת אומרת הרכב נע בכביש במהירות המתאימה לצפיפות ברנחים המתאימים, הרי שברור כי לא ניתן להכניס למסלול כל-יחידת נוספים. אך מכיון שלרוב אין קצב הזרימה אחיד, והצפיפות אינה גבולית, יש עוד מקום. או שחלק מכל-יחידת הרכב יוצא את הכביש באותה נקודה, יש מקום להחדיר כל-יחידת רכב נוספים למסלול הנסיעה.

כאשר הצפיפות עולה, נותרת רק אפשרות אחת — להפוך את הצומת למבוקר (קריא, הכנסת רמזורי ויסות). הכנסת רמזור לציר תנועה, מאפשר פתרון נאות לשתי המטרות שהוזכרו ולמטרות נוספות של חציה בצומת וכדומה.

מאחר שרמזור (בודד, או קבוצה מותאמת) אינו מפחית את קצב התנועה כפי שנדמה ממבט ראשון, הרי שיש בו כדי לנסת את התנועה ולהעמידה על אופטימום, או מפסימום ספיקה, וכן הוא מאפשר הסתננותם של כל-יחידת נוספים. האמת היא, שזמן תנועה של כל-יחידת, גדלה כמובן, אך מכך אין להימלט.



„משמיד טנקים“ חדש

בן 90 מ"מ

טנח מכסימלי — 2100 מטר.
 טנח מכסימלי יעיל — 400 מטר (בערך).
 הטנח המכסימלי המשונת — 750 מטר.
 סוג תחמושת — מטען חלול (HEAT).
 משקל הכדור השלם — 4.2 ק"ג.
 משקל הטיל — 3 ק"ג.

מתוכנן ששני M67 יחליפו את המטול בן 3.5 אינץ' בכתת הנשק אשר במחלקת הרובאים. הנשק יופעל על-ידי צות בן שני חיילים. הדגם המנופק עתה שונה במעט מהאבטיפוס המצולם בהוראות הטכניות. בתמונה מספר 1 אפשר לראות את הדגם של M67 אשר נופק ליחידות. השינוי הוא קודם כל בסדן. הקליע הסטנדרטי היהידי, בהוה, המיועד ל-M67 הוא (HEAT) נ"ט/נפיץ מטען חלול (תמונה מספר 2). המענין בכדור זה הוא התרמיל הבלתי מנוקב. בסיס התרמיל מורכב מדסקית פלסטיק המתנפצת בעת היריה, בהותירה לחלק מגוי השריפה „לברוח“ דרך פתחים שבסדן. הטיל מיוצב באמצעות סנפירים ומנצל את מטענו החלול כדי להשיג חדירה בשריון. חוד החרטום של הטיל מעניק לו מרנח מתאים לפני המטרה.

כאשר נופק ה-M67, ליחידות הצבא, נתקבלה בקשה מהשדה, שהצביעה על הצורך באינפורמציה משלימה נוסף על זו הכלולה בהוראות הטכניות — TC 23-5, פרסום ההדרכה היחיד על ה-M67 שאפשר היה להשיג. נקודות מספר בהוראות אלו זקוקות היו להבהרה.

התותח בן 90 מ"מ, M67, הוא לא-רתע, קל-משקל הנישא על-ידי הצות ומתוכן, בראש וראשונה, לשימוש נגד-טנקים. זהו נשק מקורר אויר, נטען מכנס (מאחור) היורה תחמושת אחודה. אפשר לירות בו מהקרקע תוך ניצול חדרגל ודורגל המהוים חלקים בלתי נפרדים של כלי הנשק, או מהכתף באותה צורה בה יורים במטול בן 3.5 אינץ'.

והרי מספר נתונים על כלי-הנשק:

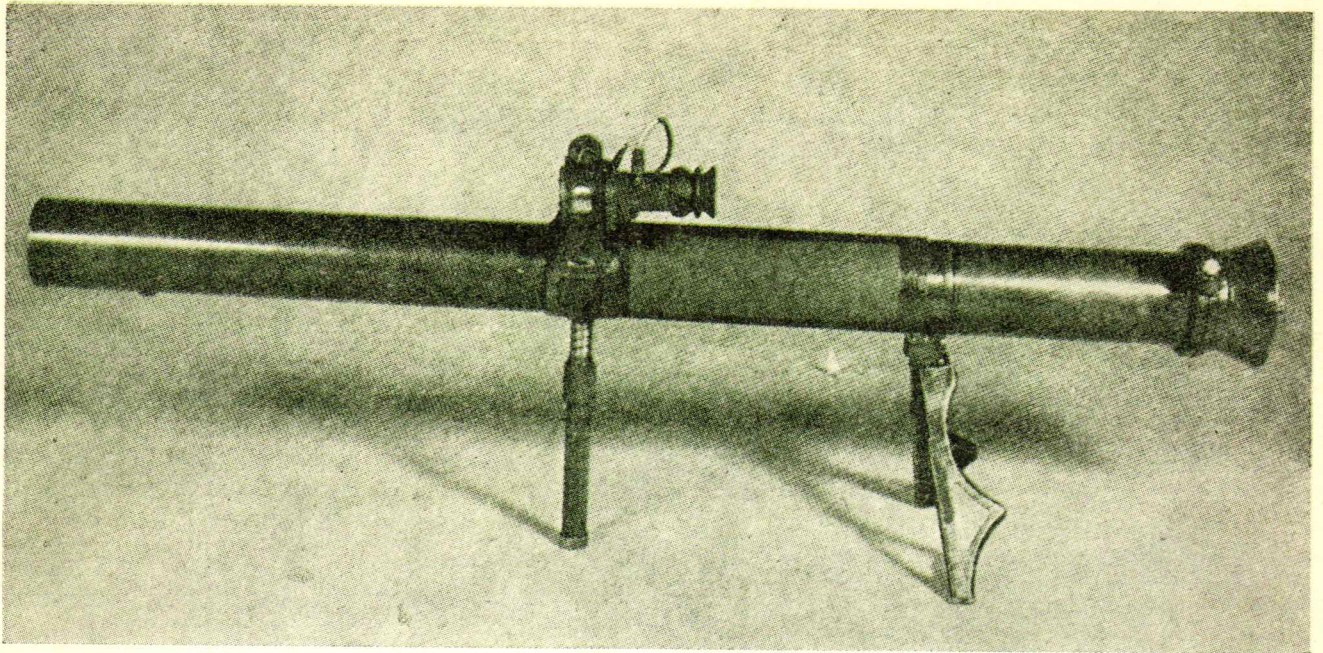
משקל — 15.85 ק"ג.

אורך — 1.35 מטר.

גובה (מוצב על הקרקע) — 0.45 מטר.

חריקים — 74 שדות וחריצים עם מעלה ימני של סיבוב אחד על 200 קליברים.

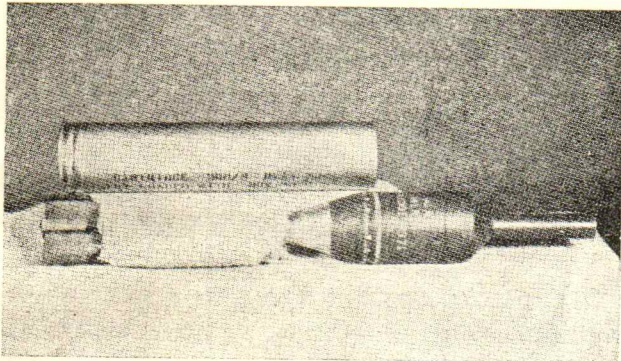
מהירות לוע — 213 מ'/שניה.



תמונה מספר 1

כדי להשיג את יעילותו המכסימלית של המטען. בתוך חרטום הטיל מורכב גביש פיאזור-חשמלי, המשמש חומר יוזם של המרעום. לטיל מרעום הקשה הכולל אלמנט לחיכה כדי להבטיח את פיצוץ המטען מבלי להתחשב בזווית הפגיעה. לטיל יש טבעת מובילה עשויה פלסטיק הנחרטת על-ידי החריקים עם היריה.

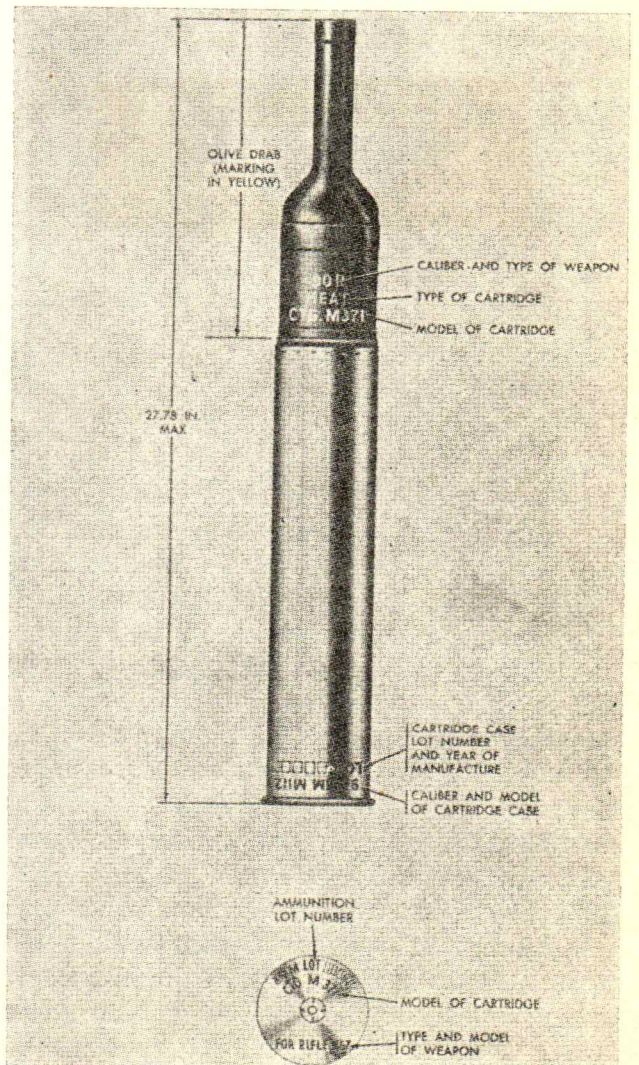
כפי שצוין קודם, החריקים בנושק זה הם בעלי מעלה קטן, המיועד להעניק לטיל סחרור ראשוני לצורך יצובו.

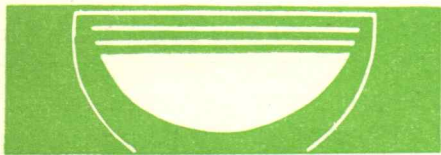
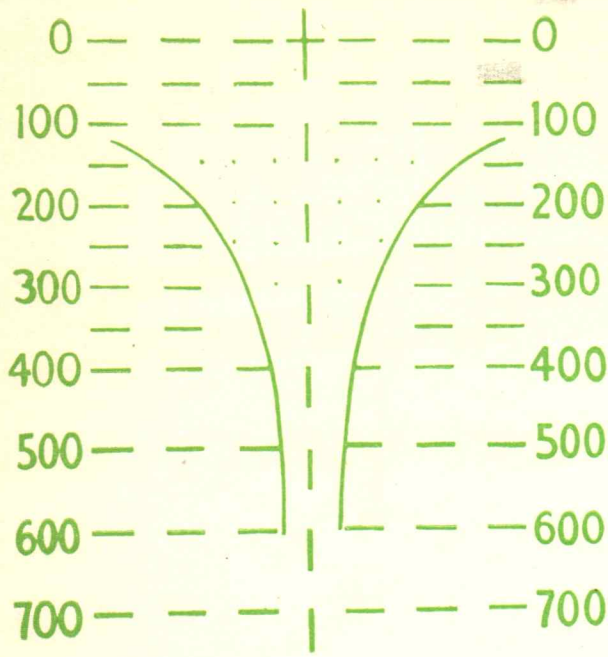


תמונה מספר 2

התחל של הכדור מורכב בבסיס הצינור המיצב. החומר ההודף של הטיל סגור בתוך שקית בד העוטפת את הצינור-המיצב כפי שניתן לראות בתמונה מספר 3. קיים גם כדור אימונים אשר נופק למספר יחידות למרות שעדיין אינו בתקן. הכדור זהה לכדור נ"ט/נפיץ בצורתו. מטען איכון קטן, המסמן את מקום פגיעת הכדור, מוכנס במקום מילוי חומר-הנפץ בראש הכדור.

תמונה מספר 3

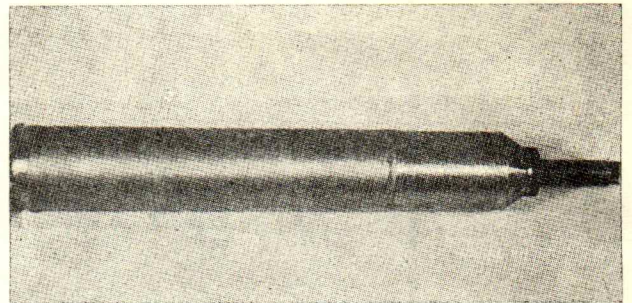




ציור מספר 6

דקות של קירור לפני שחוזרים לקצב אש כזה. כלי-הנשק יכול לירות ברציפות בקצב של כדור אחד לדקה. שנתות הכיוון של הטלסקופ M103 (תמונה מספר 6) דומים, בדרך כלל, לשנתות שבטלסקופ הברך M92 הנמצא בשימוש בתותח-לא-רתע 106 מ"מ. יצוין, שה-M103 משונת לטנח של 750 מטר. בתחתית השנתות מותקן פלס, עקומות-הטנח של צד שנתות הטנח משמשות לאומדן הטוח של מטרות שמידותיהן כ-7x3 מטר, כמידותיו המקובלות של טנק. טכניקת הירי של ה-M67 מעיקרה זהה לזו של ה-106 מ"מ. מטח על המטרה היא השיטה העיקרית של תיקון הכינון. תותח-הלא-רתע M67 מיצג שכלול חשוב בהגנה נגד-טנקים לעומת המטול בן 3.5 אינץ'. כפי שנאמר לעיל שוקל ה-M67 15.5 ק"ג, תוספת של 10 ק"ג יותר מקודמו. הצדקה לתוספת משקל זו באה בצורת הגדלת הטנח המכסימלי היעיל ב-125 מטר בערך. הודות למבנה הפלדה שלו גדל אורך חייו של ה-90 מ"מ באופן ניכר. המשקל הוגדל עם הוספת החד-רגל והדורגל, אך תוספת היציבות שהושגה בצורה זו היתה כדאית למרות הגדלת המשקל. מערכת הירי המכנית של ה-90 מ"מ אמינה יותר מהמערכת החשמלית. עתה יש לצבא ארה"ב נשק נגד-טנקים מהימן, המסוגל לבצע ירי מדויק לטנח מספיק, וכוח חדירה המסוגל להרוס כל טנק הידוע כיום בעולם.

התת-קליבר של ה-M67 (תמונה מספר 4) פותח לאחרונה כעור אימון בשביל היורה. הוא דומה בדרך כלל לתת-קליבר M9 בו משתמשים גם בתותח לא-רתע בן 106 מ"מ אך הוא מוזן בתחמושת 7.62 מ"מ. מקיים שההתקן ינופק ליחידות במשך שנת 1964. כמו כל נשק לא-רתע אחר, יש ל-M67 הדף מסוכן לאחור. ציור מספר 5 מראה את ממדי ההדף. ניסויים מקיפים של כלי-הנשק בביה"ס של חיל-הרגלים הצביעו על הצורך באמצעי זהירות נוספים על אלה המתוארים בהוראות הטכניות. בעת

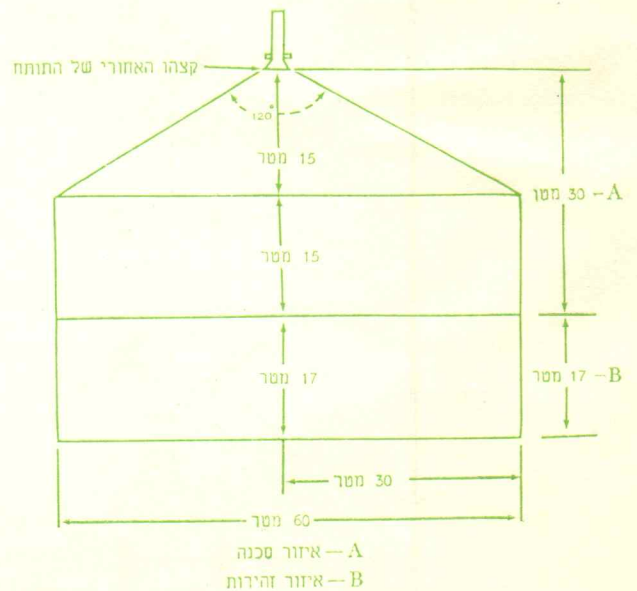


תמונה מספר 4

ירי מהקרע, רצוי שאיש הצות ירים את צוארונו כשכפתוריו סגורים, להגנה מפני חול וחלקיקים אחרים. רצוי שהטען יכרע ברך בעת הירי מהקרע. דבר זה יאפשר לו תצפית טובה על שטח ההדף לאחור. אם המצב הטקטי לא יאפשר זאת, יבדוק הטען, מיד לפני הירי, את שטח ההדף לאחור, ויתבונן לעבר הלוע עם היריה.

יש להקפיד על קצב אש מפסימלי של חמישה כדורים בדקה כדי למנוע התחממות יתר של הקנה. לאחר ירי של דקה אחת בקצב מפסימלי (5 פגזים) צריכים לעבור חמש-עשרה (15)

ציור מספר 5



A - איזור טכנה
B - איזור זהירות

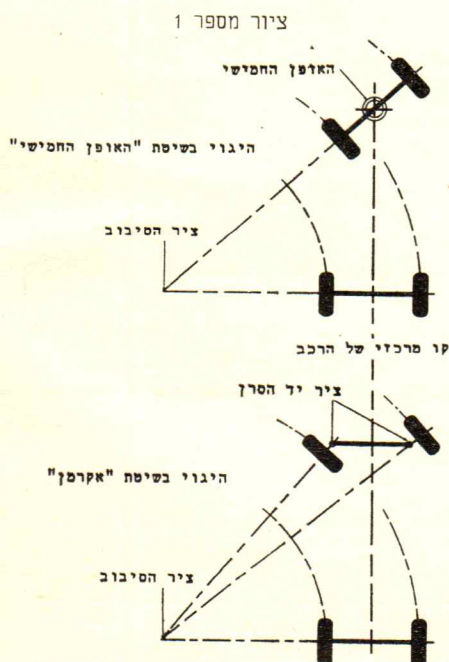
רענון ידיעותיך!

שיטות היגוי

ביחד עם הזרוע המתאימה שלו; ובאופן זה לא תשפיע התנועה האנכית של האופנים על הכונתם הנכונה, או על היגוי כלי הרכב. במבנה זה מנתרים לפעמים על מוט־דחיק־ההגה, ומזו־תות־הקישור מחוברים באופן ישיר לזרוע־מסרת ההגה.

מוט הקישור

מוט־הקישור קבוע לרוב מאחורי הסרן, אף־על־פי שהוא יכול להיות גם לפניו. הוא יכול להיות חלול או מלא. בשני קצותיו



כדי להפנות את כלי־הרכב צריך לשנות את כיוון האופנים ממצבם הישר. השיטה הראשונה, בה השתמשו להפנות את כלי־הרכב, היתה מבוססת על שיטת „האופן החמישי“, בה שימש אופן זה ציר מרכזי לכל הסרן הקדמי (ציור 1). בשיטה זו עדיין משתמשים בכלי־רכב נגרה, כגון בגרורים למיניהם או בעגלות הנמשכות על־ידי סוסים, אך היא נמצאה בלתי־מתאימה ובלתי מעשית לכלי־רכב ממונע אופני.

להפנית כלי־רכב ממונע משתמשים בשיטת „אקרמן“. לפי שיטה זו מורכבים האופנים הקדמיים על צירים נפרדים, עליהם כל אופן מסתובב על צירו בנפרד (ציור 1). האופנים נוטים יחד מכיוונם הישר, וסביב מסביב לציר באמצעות מערכת מוטות־ההגה.

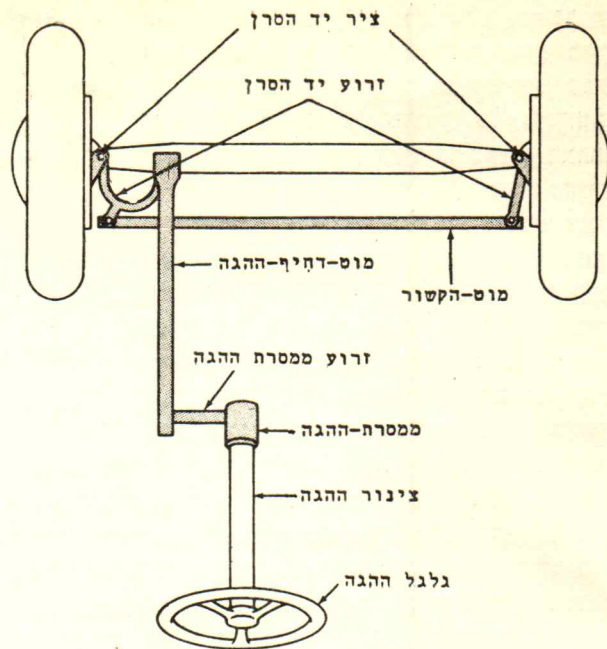
מערכת מוטות ההגה

לכל יד־סרן מחוברת זרוע, לרוב באמצעות שגם ואוס־כתר או באמצעות ברגים מספר. זרועות־יד הסרן מחוברות ביניהן על־ידי מוט־קישור (ציור 2). מוט־ההגה מחובר לאחת מן הזרועות, ומשמש לסיבוב האופנים סביב צירם. מוט־דחיק־ההגה מחובר אל זרוע־מסרת־ההגה, המופעלת על־ידי גלגל־ההגה.

יש שנמצאות ביד־הסרן שתי זרועות נפרדות, אחת למוט־הקישור ואחת למוט־דחיק־ההגה. לרוב, משתמשים בזרוע כפולה (ציור 3), המהווה אמצעי־קישור לשני המוטות.

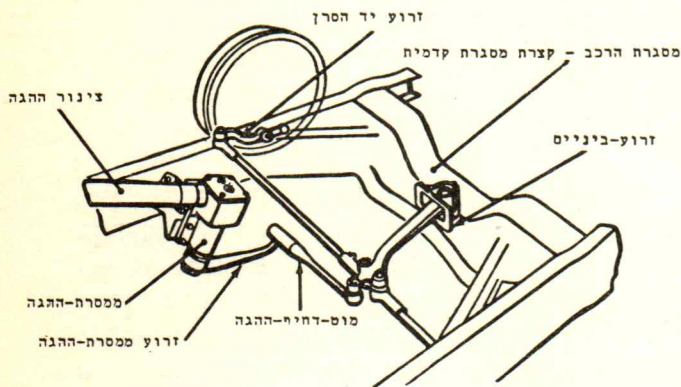
מוט־דחיק־ההגה, קשור לפעמים לזרוע־ביניים, הנתמכת על קצוות המסגרת שבין האופנים הקדמיים (ציור 3). במבנה זה מורכב מוט־הקישור משני מוטות. כל מוט מקשר את זרוע־יד הסרן עם זרוע־הביניים. יתרונה של שיטה זו בכך, שיש בה מערכת של זרועות מקבילות, מאחר שכל מוט־קישור נע

גלגל-ההגה ובין אופני כלי-הרכב. דחיף-ההגה הוא מוט מעוגל, חלול או מלא. בקצותיו נמצאים קפיצים כדי לשכך את הזעזועים הנוצרים בעת התנועה במערכת ההגה ובאופנים וכדי למנוע את העברתם למסרת ההגה ולגלגל-ההגה. גם כאן נוצרת תנועה יחסית בין מוט-דחיף-ההגה, בין זרועי-מסרת-ההגה ובין זרועי-דחיף-ההגה. לכן הקשר בין הזרועות ובין מוט-דחיף-ההגה דומה לקשר שבין מוט-הקישור ובין זרועות יד-הסרן. לקצוות מוט-דחיף-ההגה יש לרוב קטר הגדול במקצת ממוט-הדחיף עצמו. הקצוות חלולים ומשמיים בית, בו נמצאים חלקי החיבור הגמיש בין הדחיף ובין הזרועות. בכל בית נמצא ראש כדורי, המהווה חלק מזרוע-מסרת-ההגה או מזרוע-יד-הסרן. הראש הכדורי נתון משני צדדיו בתוך שתי דסקות-פלדה קעורות. דסקות אלו לחוצות לראש הכדורי באמצעות קפיצים לוליניים ובורג סוגר; התרה עצמית של בורג זה נמנעת על-ידי פין מפציל. לקפיצים הלוליניים שבתוך מוט-דחיף-ההגה תפקיד כפול: האחד — להעניק גמישות ולמנוע העברת תנודות האופנים למסרת-ההגה ולגלגל-ההגה



צ'ור 391. מוטטת הגה פשוטה

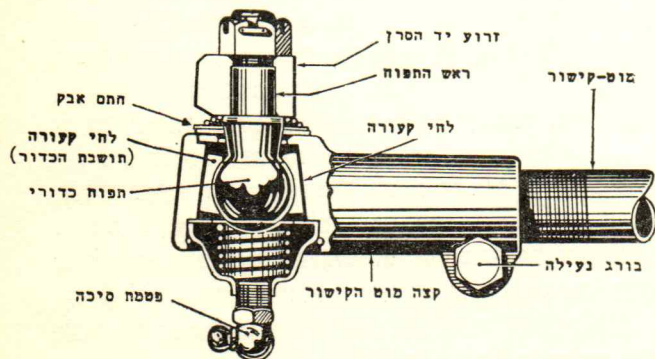
צ'ור מספר 2



צ'ור מספר 3

על-ידי ספיגתן של תנודות אלה. השני, להצמיד בכל עת את הדסקיות הקעורות למשטח הכדורי ללא תלות בבלאי הראש הכדורי או במשטח הקעור של הדסקות. בצ'ור 5 מתוארים קצות-מוט-דחיף-ההגה מן הסוג המקובל ביותר.

צ'ור מספר 4



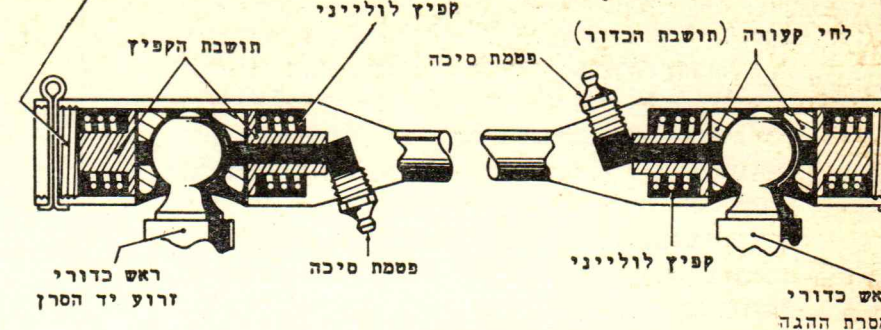
מצוי תבריג, אליו מתברגים הקצוות; קצה אחד של התבריג בעל הברגה ימנית ואילו הקצה השני בעל הברגה שמאלית. באופן זה אפשר לכונן את אורך המוט, כדי להביא את האופנים למקומם הנכון.

מאחר שקיימת תנועה יחסית בין מוט-הקישור ובין זרועות-יד-הסרן המחוברות אליו, הקשר ביניהם צריך להיות גמיש. גמישות זו מושגת באמצעות חיבור פרקי, הנקרא "קצה-מוט-קישור-ההגה". לכל מוט-קישורי הגה ישנם שני פרקים מסוג זה אחד קצה ימני ואחד קצה שמאלי. בצ'ור 4 מתואר בחתך חיבור פרקי של מוט-קישור-ההגה. מתוך הצ'ור נראה, כי למכלל הקצה של מוט-הקישור יש פין בעל ראש כדורי בקצהו האחד ותבריג בקצהו השני. הראש הכדורי נתון בתוך תושבתו, שהיא לרוב צירוף של שתי לחיים המעובדות בשטח הפנימי והמותאמות לקבלת הראש הכדורי של הפין. הלחיים נתונות בתוך קדח חרוטי במקצת. הנמצא בבית-קצה-מוט-הקישור. קפיץ לוליני קוני לוחץ את הלחיים; בשל הקדח הקוני בבית קצה מוט הקישור יצמיד לחץ הקפיץ את הלחיים אל הראש הכדורי של הפין, ובכך תובטח תנועה יחסית ללא מרנח כלשהו. הפין נתון בתוך קדח בקצה זרוע-יד-הסרן ומהודק לזרוע באמצעות אום לרוב אום-כתר. מוט-הקישור מוברג אף הוא לקצהו. פטמת-סיכה, הקבועה במכסה-קצה-מוט-הקישור, מאפשרת את סיכת הפרק הכדורי, ואילו מערכת אטמים בין קצה-מוט-הקישור ובין זרוע-יד-הסרן מונעת חדירת אבק ולכלוך.

דחיף ההגה

דחיף-ההגה (צ'ור 2) צריך להיות באורך כזה, שזרוע-ההגה תהיה אנכית, בעוד האופנים פונים ישר לפניו. באופן זה מאפשרת מערכת מוטות-ההגה יחס-מסירה מפסימלי ושוה בין

פקק חבריגי (פקק כוונון)



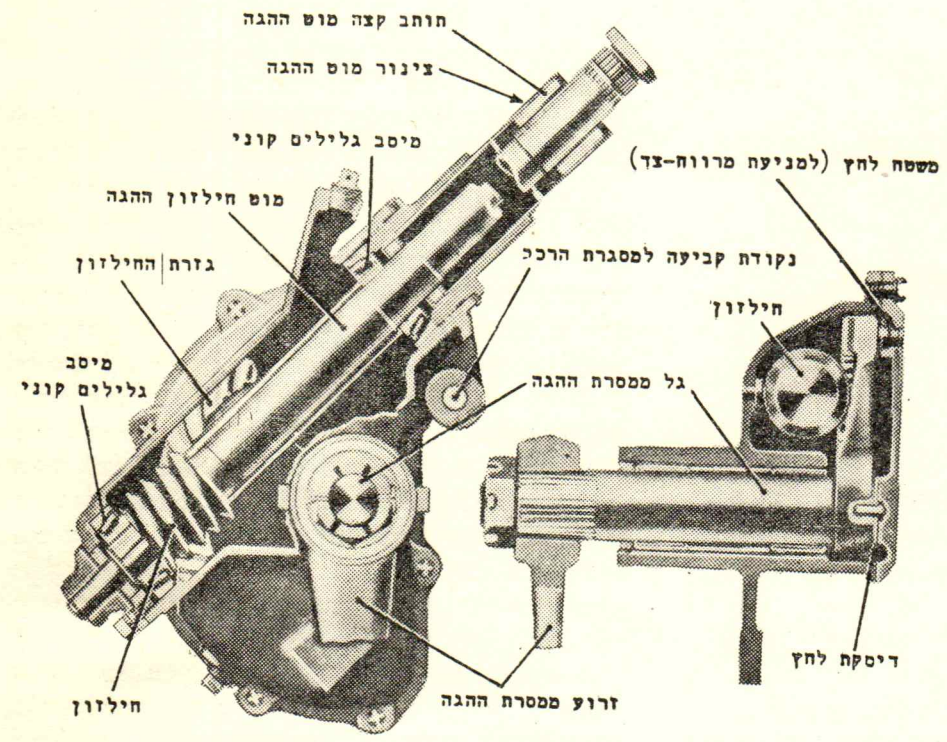
ציור מספר 5

צינור-ההגה (ציור 6). גלגל-ההגה מורכב על מוט-ההגה, באמצעות חריצים, המצויים בקדח גלגל-ההגה. החריצים מותאמים לחריצים שבקצה-מוט-ההגה והגלגל מהודק אל מוט-ההגה באמצעות אום ודסקה קפיצית. בקצהו התחתון מורכב חלזון, הנמצא בתוך תיבת-ההגה. בקצוות החלזון נמצאים משטחים לקבלת מיסבים (כדורי ריים או קוניים), המאפשרים תנועה סיבובית קלה ומונעים מרנח-צד של החלזון. גם קצהו העליון של מוט-ההגה נתון בתוך תותב, ועלידי כך מובטח סיבובו של המוט ושל החלזון במי-שור אחד. החלזון נמצא בתשלובת עם קטע-גלגל-החלזון. שיטת השילוב שונה בדגמים השונים. קטע-גלגל-החלזון יכול להיות חלק בלתי נפרד מגל-ממסרת-ההגה או חלק נפרד ממנו ומחובר אליו באמצעות חריצים או שגמים והמהודק באמצעות אום. גל-הממסרה נע בתוך תותביו ובולט מחוץ לממסרת-ההגה. החלק הבולט בגל-הממסרה מחורץ בחריצים כדי לקבל את זרוע ממסרת-ההגה. בית-ממסרת-ההגה עשוי פלדה יצוקה, ומשטחיו מעובדים לקבלת חלקי ממסרת-ההגה השונים. בית-הממסרה מהודק

לכל פרק במערכת יש פתח-סיכה מיוחד ופקק סוגר. כן מצויים אטמים בפני אבק, המונעים גם את יציאת השמן.

שינוי ממסרת ההגה

שינוי המורכב על קצה-מוט-ההגה, מפעיל שינוי מונע, שהוא לרוב חלק בלתי נפרד מגל-ממסרת-ההגה. זרוע-ממסרת-ההגה, המחוברת לגל-ממסרת-ההגה, מניעה, כאמור, את מוט-דחיקת-ההגה ומכאן מושגת הפנית האופ-נים לצדדים. ממסרת ההגה צריכה לאפשר היגוי קל, מבלי שיהיה צורך לסובב את גלגל-ההגה פעמים רבות. לכן, יחס המסירה של ממסרת-ההגה תלוי בסוג כלי-הרכב (קל או כבד), או בגודלו. יחס המסירה במכוניות קלות יהיה לרוב בשיעור של 1:10 עד 1:12 ובמש 1:30 יותר עד 1:30 (יחס המסירה בממסרת-ההגה הוא מספר סיבובים שיש לסובב את גלגל-ההגה כדי לגרום לסיבוב שלם של גל-ממסרת-ההגה). פירוש הדבר, שדרושים 2-6 סיבובים של גלגל-ההגה כדי להטות את זרוע-ממסרת-ההגה בקשת של 70 מעלות בערך - שהוא לרוב שיעור התנועה של זרוע-ממסרת-ההגה, הדרוש להטית האופנים מכיוון קיצוני של נסיעה לכיוון קיצוני נגדי.

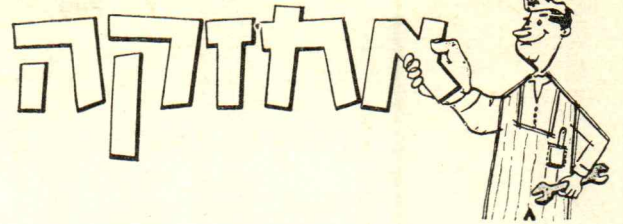


ציור מספר 6

לשלדה באמצעות ברגים, ואילו צינור-ההגה מחובר לנקודת-משען נוספת שבתא-הנהג. סיכת ממסרת-ההגה נעשית עלידי מילוי בית-ממסרת-ההגה בשמן-סיכה (לרוב שמן-ממסרות). בבית-ממסרת-ההגה נמצא פקק-מילוי לשמן סיכה, ובכמה דגמים גם פקק-ריקון לשמן-הסיכה. — בגליון הבא:

סוגים שונים של ממסרת-ההגה ומערכות-עזר להיגוי.

השינויים בממסרת-ההגה נתכנו כך, שיהיה ביכולתם להעביר בקלות את התנועה לאחד משני הכיוונים לצורך ההיגוי, אולם שלא יעבירו בכיוון נגדי את התנועה הנגרמת עלידי זעזועי-הדרך על האופנים. בכלי-רכב מן הדגמים הראשונים השתמשו בשינויים בעלי תשלובת קונית בדומה לתשלובת הקונית של הסכבת ושל גלגל-העטרה בסרנים מונעים או בממסרה פלנטרית. כיום נמצאות בשימוש ממסרות חלזוניות ברוב סוגי כלי-הרכב האופניים הממונעים.

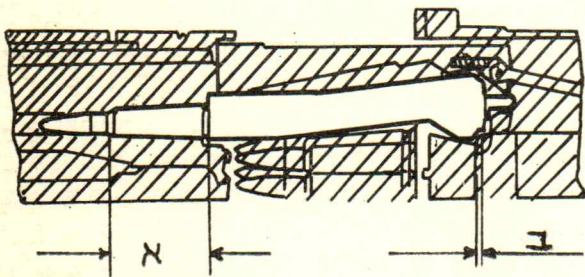


אליהו שלו

הרחק ראש תחמיש - מהו?

בטוחני שהמונח „הרחק ראש תחמיש” שגור בפי רבים, אולם מסופקני אם הוא ברור להם די צורכו. נכון אמנם שמונח זה הנו מונח טכני, ולרוב אנשי הצבא המפעילים את הנשק בצה”ל אין הזדמנות לטפל בבעיות „הרחק ראש תחמיש” באופן אישי. טיפול זה נתון בידי אנשי המקצוע. אולם בגלל חשיבות הנושא נראה לי שיש להרחיב עליו את הדיבור. מהו אם כן „הרחק ראש תחמיש”? כיצד הוא נוצר? מהי השפעתו על כלי הנשק?

הנשק המקובלים ביותר בצה”ל בעלי תחמושת מסוג זה. כיצד, איפוא, נוצר בכלי-הנשק מרנח זה הנקרא „הרחק ראש תחמיש”.

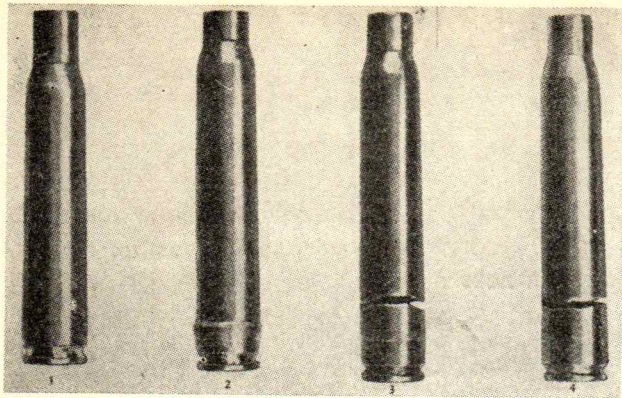


ציור מספר 1: המיירות הקובעות את הרחק ראש בתחמיש ברובה מסען 7.62 מ”מ

כפי שכבר ציינתי קודם לכן, נקודת המשען של הכדור „דמוי הבקבוק” וחסר הכרכוב בתוך בית הבליעה של הנשק נמצאת על כתפי צואר התרמיל. בשעת דחיפת הכדור על-ידי הסדן לתוך בית הבליעה של הנשק, חייב הסדן לדחוק את הכדור עד אשר נקודת המשען אשר על התרמיל תלחץ כנגד הנקודה הנגדית הנמצאת על כתפי הצואר של בית הבליעה ובמצב זה חייב גם הסדן להינעל בכלי, כלומר, צריך להינצר מצב שהדופן האחורית של כתף הנעילה או של זינו הנעילה בסדן חייבת לעבור את הדופן הקדמית של דרגת או פיסת הנעילה בגוף. על כן מוכרח להינצר מרנח (חופש) מינימלי כל שהוא בין כתף הנעילה של הסדן לבין דרגת הנעילה בגוף. כמו כן עלינו לזכור שבייצור שוטף של כלי-נשק לשימוש צבאי אשר אחת הדרישות העיקריות היא אפשרות החלפת חלקים (במיוחד לגבי סדן וקנה). אין כל אפשרות לייצר את חלקי הנשק במידות אפסולוטיות, כך שלאחר הרכבה נקבל בכל הכלים ללא יוצא מן הכלל מידה שוה של „הרחק ראש תחמיש”. (בין נקודת המשען על כתף בית הבליעה לבין פני הסדן במצב

אם נרצה להגדיר, במידת האפשר, את המונח „הרחק ראש תחמיש” לגבי כל סוגי הנשק הקל שטוח המסלול, נאמר שהרחק ראש תחמיש הוא המרוח הנוצר בכלי-נשק טעון ברגע הינצרות היריה בגלל הפרשי המידות בין נקודת המשען של תרמיל הכדור בבית הבליעה לבין פני הסדן, ובין נקודת המשען לבין פני בסיס התרמיל. מכאן ברור, איפוא, שמידת מרנח זו תלויה במכלול המידות הקובעות בכלי הנשק עצמו במידות תרמיל הכדור וכן במצב ההדדי של מושב הכדור בבית הבליעה ברגע הינצרות היריה. בגלל הבדלי המבנה והסוגים השונים הקיימים בתחמושת לנשק-קל שטוח-מסלול, והכונה בעיקר לרובים ומקלעים למי-ניהם, תהא נקודת המשען של תרמיל הכדור בבית הבליעה במקום שונה בכל מקרה ומקרה בהתאם לכך גם מידות „הרחק ראש תחמיש” הן שונות.

- נהוג לסוג את התחמושת לשלוש קבוצות עיקריות:
- (א) תחמושת בעלת כרכוב בולט.
 - (ב) תחמושת בעלת כרכוב בולט למחצה.
 - (ג) תחמושת חסרת כרכוב.
- הערה: המדובר הוא בעיקר בתחמושת לרובים ולמקלעים אשר צורתה „דמוית בקבוק”.
- (א) תחמושת חסרת כרכוב, נקודת המשען: שפתי התרמיל (מקובל באקדחים ובתת-מקלעים).
 - (ב) תחמושת חסרת כרכוב, נקודת המשען: כתפי „צואר הבקבוק”.
 - (ג) תחמושת בעלת כרכוב בולט, נקודת המשען: פני הכרכוב.
 - (ד) תחמושת בעלת כרכוב בולט למחצה, נקודת המשען: שיפוע הטבעת. (מקובל בעיקר ברובי ספורט).
- הכדורים המודרניים לכלי-נשק קל שטוח-מסלול המקובלים כיום בעולם וגם בצה”ל הם בעיקר מקבוצת התחמושת חסרת הכרכוב אשר נקודת המשען של התרמיל בבית הבליעה נמדצת על כתפי צואר התרמיל. במאמר זה אתעכב רק על כלי



תמונה מס' 3: התנפחות וקריעת תרמילים כתוצאה מהרחק ראש תחמיש גדול מדי

מרגע הדלקת האבשר (כ־700 ק"ג/סמ"ר) הוא נמוך יחסית, אולם מספיק בהחלט כדי לגרום להתפשטות הדפנות הדקים של התרמיל כנגד דפנות בית הבליעה ויצירת האטימה ביניהן. מאחר והלחץ הרדיאלי בפרק זמן זה אינו גבוה באופן קיצוני, עצמת החיכוך בין דפנות התרמיל לדפנות בית הבליעה אינו מופרז. על כן מרכיבי הלחץ הצירי על בסיס התרמיל גורמים לתרמיל השלם להימתח מעט או להחליק מעט לאחור כנגד פני הסדן עד שכתף הנעילה שלו נלחצת כנגד דרגת הנעילה בגוף. על-ידי כך מתבטל למעשה החופש של "הרחק ראש תחמיש" שנוצר בכלי ברגע הינצרות היריה. אולם כתוצאה מכך הוארכה בליטת התרמיל מחוץ לבית הבליעה וחלק התרמיל החלול החל אף הוא לבלוט החוצה. לכן מקובל לייצר את התרמילים כך שדפנות התרמיל עבות יותר ליד בסיסו והולכות ודקות בכיוון צוארו (ראה תמונה 2). השלב השני בהתנהגות התרמיל הוא בפרק הזמן שבין 0.0004—0.0007 שניות, מרגע הדלקת האבשר; לחץ הגזים בפרק זמן זה הנו גבוה מאוד (כ־3000 ק"ג/סמ"ר). אם התרמיל אינו משומן, (וברוב כלי הנשק המודרניים משתמשים בתחמושת יבשה), ילחצו דפנות התרמיל בכוח רב כנגד דפנות בית הבליעה וינצרו מצב של הידבקות מתכת למתכת. במקרה זה גבוהה מאוד עצמת החיכוך בין דפנות התרמיל לדפנות בית הבליעה ומרכיבי הלחץ הצירי הפועלים כנגד בסיס התרמיל גורמים לכוחות מתיחה בדפנות התרמיל. למעשה חלקו הקדמי של התרמיל (התמוך בבית הבליעה) נשאר דבוק לדפנות בית הבליעה בעוד התרמיל (הבולט מחוץ לבית הבליעה) ממשיך לנוע לאחור ואם הסדן לא יעצור בעד התרמיל מתחות התרמיל מעבר לגבול האלסטיות של החומר (כ־0.4 מ"מ) הרי שהתרמיל יקבל דיפורמציה פלסטית או יקרע לשניים. בנקודה זו נודעת חשיבות רבה למרנח "הרחק ראש תחמיש" שנוצר בכלי ברגע הינצרות היריה. כפי שציינתי קודם לכן, בשלב הראשון של התנהגות התרמיל, החופש של "הרחק ראש תחמיש" במידה שאינו גדול מדי, יתבטל לפני שהלחץ בבית הבליעה יעלה למידה כזאת שתגרום לחלקו הקדמי של התרמיל להדבק לדפנות בית הבליעה. אולם אם המרנח יהיה גדול מדי ולא יתבטל לגמרי בשלב הראשון של תנועת התרמיל לאחור, הרי בסיס התרמיל לא יחלץ מספיק כנגד פני הסדן בשלב זה, והלחץ הצירי הגבוה בשלב השני יגרום להתמתחות

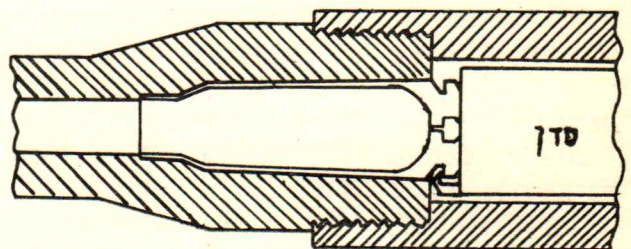
(נעול), ולכן מקובל לאשר הבדל של 0.2 מ"מ בין מידת "הרחק ראש תחמיש" מינימום ומפסימום בכלי עצמו. בשעת קבלת כלי-נשק מייצור חדש וזהו גורם נוסף בהגדלת המרנח בכלי הנשק הטעון ברגע התהוות היריה.

יתר על כן, גם בייצור תחמושת אין אפשרות לייצר את כל הכדורים ללא יוצא מן הכלל במידה שזה וגם בתחמושת מקובל לאשר הבדל של 0.2 מ"מ בין המידה המינימלית והמפסימלית מנקודת המשען בבית הבליעה ועד פני בסיס התרמיל ואף זה גורם להגדלת המרנח בכלי הנשק ברגע הינצרות היריה.

אולם אל לנו לשכוח שהכדור נדחף במהירות ובכוח רב על-ידי הסדן (במיוחד בכלי-נשק אוטומטיים), עד שהסדן נעצר בתחילה בגלל היתקלות צואר התרמיל בצואר בית הבליעה, (לפני שנעצר כתוצאה מהנעילה). בגלל הדופן הדקה של התרמיל בנקודת ההיעצרות (בכדור 7.62 מ"מ) עלול צואר התרמיל להימעך מעט והתוצאה כמובן — הגדלה נוספת של "הרחק ראש התחמיש". וכך כבר בשעת ירי בכלי-נשק חדש אנו יכולים להגיע במקרים של מידות קיצוניות ל"הרחק ראש תחמיש" גדול ב־0.3 מ"מ מהמינימום המתוכנן.

מהי אם כן, השפעתו של "הרחק ראש תחמיש" זה על פעולתו של כלי-הנשק? כאן אתעכב רק לגבי "הרחק ראש תחמיש" הגדול מן המינימום המתוכנן, דבר שאנו נתקלים בו רבות. לעומת זאת מספר המקרים בו נתקל בכלי-נשק בעלי "הרחק ראש תחמיש" קטן מן המינימום הוא אפסי מאחר שהנשק המתקבל מייצור חדש או משיקום עובר ביקורת מדידים קפדנית לגבי מידת "הרחק ראש התחמיש" בכלי הנשק. ובמשך אורך חיי הכלי הולכת מידה זו וגדלה.

הגורם החשוב ביותר שיש לדון בו במקרה של "הרחק ראש תחמיש" גדול הוא התנהגות התרמיל בזמן הינצרות היריה. אולם קודם שנדון בפרוטרוט בהתנהגות התרמיל בבית הבליעה בשלבים השונים של התפתחות לחץ הגזים נתבונן במבנה התרמיל ובצורת מושבו בבית הבליעה. אם נסתכל בציור 3 נראה שלא כל התרמיל נתמך על-ידי דפנות בית הבליעה וכי בסיס התרמיל (כולל החריץ שבביל המחלץ), נמצאים מחוץ לפני בית-הבליעה. כמו כן ניתן להבחין בחתך התרמיל, שהחלק הבולט מחוץ לבית הבליעה עשוי חומר מלא בעוד שהחלק החלול של התרמיל בעל הדפנות הדקים נתמך כולו על-ידי דפנות בית-הבליעה.



ציור מספר 2: צורת מושב התרמיל בבית הבליעה

איך יתנהג התרמיל בשלבים השונים של התפתחות לחץ הגזים בזמן הינצרות היריה? לחץ הגזים המתפתח בפרק הזמן הראשון של 0.0001 שנייה

התרמיל אשר יקבל דפורמציה פלסטית או יקרע לשנים וכתוצאה מכך עלול לגרום ולמעצורים בפעולתו התקינה של כלי הנשק ולפעמים גם לנזקים לחלקי הנשק או לאדם המפעיל אותו.

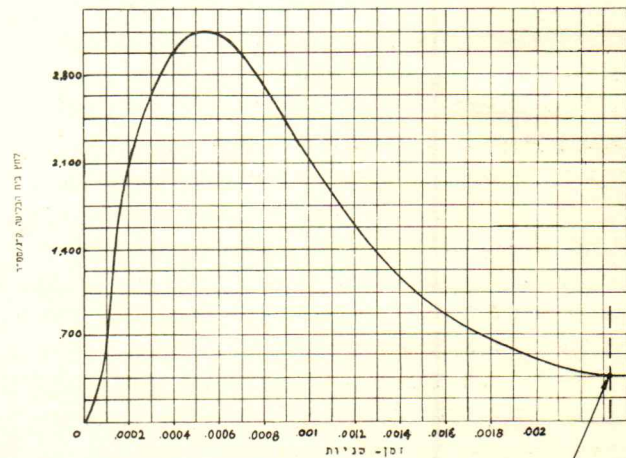
השלב הסופי בהתנהגות התרמיל (במידה ו"הרחק ראש התחמיש" הוא נורמלי) מתחיל כאשר הקליע עוזב את לוע הקנה (כ"0.0025 שניה מרגע הדלקת האבש"ר) ולחץ הגזים בבית הבליעה נפל במידה המאפשרת לתרמיל להתכווץ (להלחץ ירד בכ"350 ק"ג/סמ"ר) ועל-ידי כך להקטין את עצמת החיכוך בין דפנות התרמיל לבין דפנות בית-הבליעה לערך מבוטל. כך מתאפשרת חליצתו החלקה של התרמיל מתוך בית-הבליעה עם פתיחת הנעילה של הסדן וכן תנועתו לאחור כדי להשלים את מהזור הפעולות של כלי-הנשק.

ניתן לעמוד על חשיבותו של "הרחק ראש תחמיש" הנוצר בכלי-הנשק ברגע הינצרות היריה לגבי תקינות הפעולה ובטיחותה. מובן על כן שהשאיפה היא שמידת "הרחק ראש תחמיש" תהיה תמיד מינימלית ככל האפשר (בהתאם למתוכנן) במשך אורך חיי הכלי.

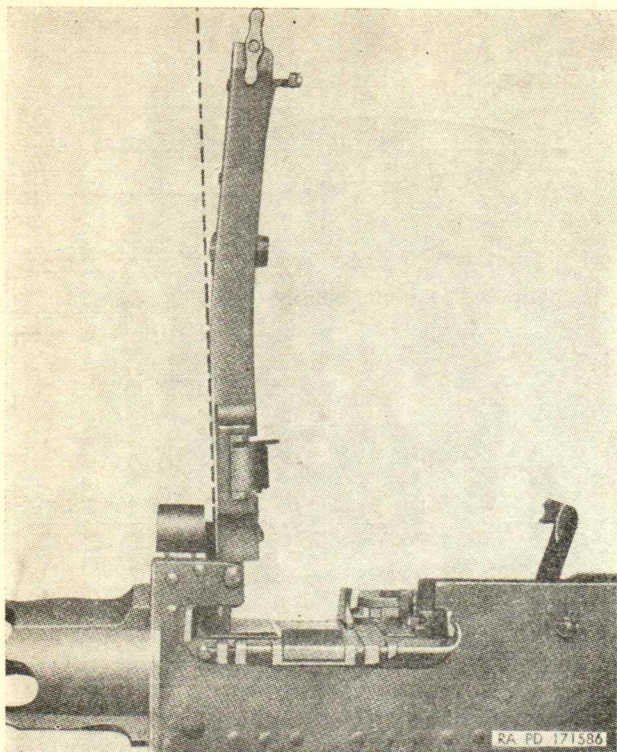
כפי שכבר ציינתי קודם לכן, אחד הגורמים המשפיעים על הינצרות "הרחק ראש תחמיש" בנשק מיוצג על-ידי הכדור עצמו. נקודת המשען של התרמיל בבית הבליעה (בגלל עובי הדופן הדקה של כתפי צואר התרמיל), אינה יוצרת משטח עצירה קבוע, ואפשרי מאוד שעל-ידי לחץ נוסף על בסיס הכדור לאחר הינצרות המגע הראשוני בכתפי בית-הבליעה, התרמיל ימעך מעט, הכדור יתקדם קדימה ויגרום על-ידי כך להגדלת "הרחק ראש התחמיש".

לכן נוהגים לקחת גורם זה בחשבון בשעת תכנון כלי-נשק, ובמידות הקיצוניות של מידות "הרחק ראש התחמיש" הנמדדות בכלי ובתחמושת, קיימת חפיפת מידות בין המידה המינימלית בכלי לבין המידה המפסימלית בתרמיל.

יתר על כן, בכלי-נשק אוטומטיים (מקלעים בינוניים וכבדים) בעלי קצב אש גבוה, בהם נעילת הסדן נעשית במהירות רבה שהם בעלי קפיץ מחזורי חזק, כדי למנוע התהוות בעיות של "הרחק ראש תחמיש", מתכננים מראש את הכלי בצורה כזו, שהמידה הממוצעת של הרחק ראש תחמיש בכלי-הנשק קטנה בכ"0.05 מ"מ מהמידה הממוצעת הנמדדת בכדור, במידות קיצור



ציור מס' 5: דיאגרמת לחץ זמן בקנה



ציור מס' 4: נזק שנגרם למקלע בראונינג 0.5" כתוצאה מהתפוצצות תרמיל בגלל הרחק ראש תחמיש מופרז

ניות יכולה החפיפה אף לעלות על 0.2 מ"מ. כלומר, הסדן בתנועתו ובתנועתו לפני חייב לדחוף את הכדור לבית-הבליעה בממוצע 0.1 מ"מ מעבר לנקודת המגע הראשונה בכתפי בית-הבליעה, לפני שהסדן יוכל בכלל להינעל. דוגמה לכך ניתן לראות בבירור בהבדלי מידות "הרחק ראש תחמיש" של רובה המטען 7.62 מ"מ פ.א.ל. תוצרת פ.נ. ובין המקלע האחיד 7.62 מ"מ מ.א.ג. תוצרת פ.נ. אף הוא.

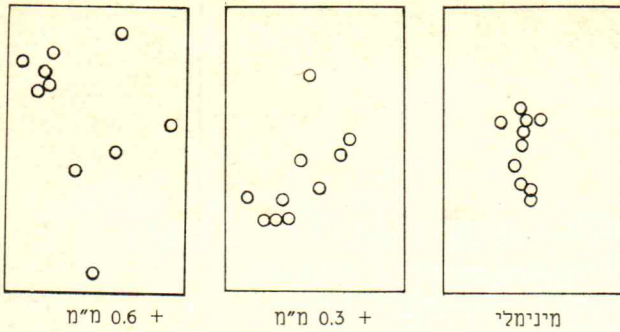
בעוד שברובה המטען קיים חופש של 0.073 מ"מ בין המידות הממוצעות של "הרחק ראש תחמיש" הנמדדות בכלי ובכדור, הרי במקלע קיימת במידות אלה חפיפה של 0.047 מ"מ.

בעיה נוספת העלולה להתעורר כתוצאה מ"הרחק ראש תחמיש" הגדול מן המתוכנן הנה בעית דיוק הפגיעה.

אחד הגורמים החשובים לגבי דיוק הירי (פיזור), של כלי-נשק הוא: אחידות הצורה בה מבוצע הירי.

למשל, אם בשעת ירי מקבץ מרובה שירות רגיל נטען כדור אחד באטיות ובעדינות וכדור אחר במהירות ובכוח, נגרום בהכרח, בשני המקרים, להינצרות מצב של אי זהות במידות "הרחק ראש תחמיש" ברגע התהוות היריה, וכמו כן נגרום לחוסר אחידות בצורת מושב הכדור בבית-הבליעה בזמן הירי. כתוצאה מכך יינצר שינוי באחידות הצתת האבש"ר, אשר הצטבר בחלקו הקדמי של התרמיל כשנטען הכדור במהירות. בעוד שבמקרה השני היה האבש"ר מחולק בכמות שווה (פחות או יותר), לאורך התרמיל. חוסר אחידות זה בשעת הירי עלול להתבטא בתוצאות המקבץ. בניסוי השואתי שנערך בארצות-הברית בין רובה שירות, "ספרינגפילד" בקליבר 0.3, ובין רובה שירות "מאוזר" בקליבר 7.92 מ"מ, התברר שההבדל במידת "הרחק ראש תחמיש" כשהכדור נטען באטיות ובעדינות לבין

גדול הרחק ראש תחמיש גורם לפיזור



יתחככו על כתפי הנעילה בגוף, אזי אפילו אם „הרחק ראש תחמיש“ ההתחלתי בכלי-הנשק יהיה גדול מן המתוכנן לא נגרום לשינויים באחידות צורת מושב הכדור בבית-הבליעה ועלידי כך לא ייפגעו דיוק המקבץ.

אולם בעוד עובדות אלו מצביעות על הגדלה אפשרית של הפיזור ברובה שירות רגיל, הרי ברובה מטען צפוייה הבעיה להתעורר בצורה בולטת יותר. ברגע ראשון ניתן לחשוב שבי רובים מטענים, בהם לחץ הקפיץ המחזיר תמיד שווה, הרי גם המהירות של תנועת הסדן לפני תהיה תמיד שווה; הכדורים ידחפו לבית-הבליעה בכוח שווה ואחידות הצורה בירי תישמר. אולם למעשה אין הדבר כך.

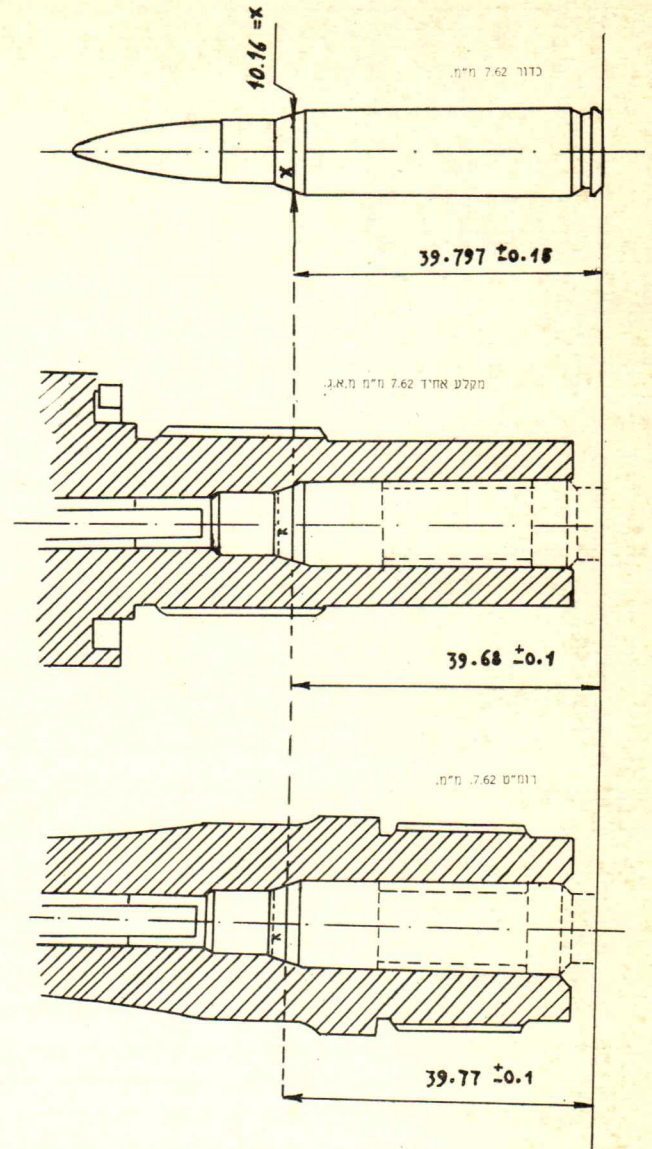
כאשר אנו טוענים רובה מטען במחסנית מלאה, (בית-הבליעה ריק) מבוצעת דחיפת הכדור לבית-הבליעה על-ידי הסדן בחלקה על-ידי כוח הקפיץ המחזיר ובחלקה כתוצאה מצורת הדריכה הראשונית הנעשית ביד המפעיל. ומצב זה שונה לגמרי מן המצב בו נדחף הכדור השני לבית-הבליעה כתוצאה מדריכת הכלי בכוח הגזים, כאשר הסדן נע לאחור במהירות גדולה וכתוצאה — גם תנועתו קדימה מהירה בהרבה.

יתר על כן, ככל שיורים יותר כדורים מהרובה-המטען הולך ומתמעט מספר הכדורים במחסנית ולחץ קפיץ תושבת הכדור רים קטן. כתוצאה מכך קטן גם כוח החיכוך עליו צריך הסדן להתגבר בשעת עקירת הכדור מתוך המחסנית. מכאן שכלל שהמחסנית מתרוקנת בה במידה נדחפים הכדורים בכוח רב יותר לתוך בית-הבליעה והכדור האחרון נדחף במהירות ובכוח מפסימליים. במקרה זה אין אפשרות לשמור על אחידות הצורה בירי, וזהי אחת הסיבות לכך שפיזורו של רובה מטען גדול יותר מזה של רובה שירות רגיל הניטען ביד.

לכן, אם נצליח להגיע ברובי-מטען ל„מצב ביניים“ בו, „הרחק ראש התחמיש“ בירי יהיה תמיד קרוב למינימום והחופש (המרנח) בין כתף הנעילה ודרגת הנעילה בגוף יקטן ככל האפשר, הרי אי-הדיוק בפגיעות כתוצאה מהסיבות שהוזכרו לעיל יקטן עד למינימום.

בירי דיוק השואתי שבוצע בארצות-הברית במקלע בינוני „בראונינג“ 0.3 במידות, „הרחק ראש תחמיש“ שונות (שינוי המידות נעשה במכוון), קיבלו תוצאות המוכיחות בבירור על העובדה כי הפיזור גדל באופן יחסי להגדלת מידת „הרחק ראש התחמיש“ ההתחלתי בכלי (ראה ציור 7).

לסיכום הנושא ניתן איפוא לקבוע כי עלינו לשאוף תמיד למצב בו יבטיחו מידות הנשק והתחמושת בכל המקרים „הרחק ראש תחמיש“ מינימלי ברגע הינצרות היריה, ועלידי כך גם פעולה תקינה וביצועים מעולים של מערכת הנשק.



ציור מס' 6: הבדלי מידות הרחק ראש תחמיש ברובה מטען ומקלע

מידות הרחק ראש תחמיש		רובה מטען 7.62 מ"מ מ.א.ג.		מקלע אחיד 7.62 מ"מ מ.א.ג.	
המידה בכלי המידה בכדור במ"מ	המידה בכלי המידה בכדור במ"מ	המידה בכלי המידה בכדור במ"מ	המידה בכלי המידה בכדור במ"מ	המידה בכלי המידה בכדור במ"מ	המידה בכלי המידה בכדור במ"מ
41.35	41.283	41.35	41.423	41.35	41.423
41.425	41.378	41.425	41.498	41.425	41.498
41.5	41.483	41.5	41.573	41.5	41.573

זו כשהוא ניטען במהירות (בעזרת היד), הגיע ברובה „מאזור“ ל-0.11 מ"מ, וברובה „ספרינגפילד“ ל-0.28 מ"מ. עוד נציין שמעיכת התרמיל ברובה „ספרינגפילד“ היתה גדולה הרבה מזו שברובה „מאזור“ בגלל העובדה שכבר מלכתחילה היה החופש (המרנח) בין זיוי הנעילה של הסדן לבין כתף הנעילה שבגוף רובה ה„ספרינגפילד“ גדול כפליים מזה שב„מאזור“. מכאן שאם ניטען כל כדור בעדינות ביד, כדי לשמור על אחי-דות הצורה, כך שהתרמיל לא יימעך וזיוי הנעילה של הסדן

אופטיקה חשמלית

נשק במשחקי המלחמה

שק הקמח הקדמוני שנהגו לזרוק נגד חייל או טנק — כסימן פגיעה במשחקי מלחמה של ימים עברו — נעלם. פגיעת קרן א"א (אינפרא-אדום), בשילוב עם קרן אלקטרומגנטית בתדירות רדיו, גורמת לפיצוץ נתיך בטנק המהווה את המטרה וגורמת לשיתוק מוחלט של הציוד התפעולי שבו. על-ידי כך ניתן לרשום פגיעה או החטאה מבלי שתגרם אבידה איזו שהיא בטנק-המטרה.

הקיימת בין הדרכת חייל באש חיה ובין קרב אמתי. ידוע על דמוי של כלי-נשק כגון הרובה M 14, תותחי לא-רדתע בני 90 מ"מ, 106 מ"מ ואף תותח רכבי-קרב-משורין בן 90 מ"מ.

כלים מדמים אלה, לא זו בלבד שהם פותרים בעיות-אימון, אלא אף מסייעים בפיתוח טקטיות לחימה בשדה הקרב. ניתן למשל להעריך בזול ובמהירות אפשרות של פריסת אנשים וציוד.

פעולה — פעולת המערכת מבוססת על השימוש בחולית א"א בעלת שדה ראייה צר (כדי לדמות את דיוק הכיוון של כלי-הנשק) ובחוליה של ת"ר* המפעילה את חולית הא"א. במאמר זה הושם הדגש על הפרמטרים המשפיעים על תכנון חולית הא"א — חוליה זו היא המגבילה את היעילות הכוללת של המערכת.

אגב עיון בציור 1 אפשר יהיה להבין את פעולת היסוד. נתאר לעצמנו כמה טנקים הנעים בשטח ומנסים לצוד זה את זה על-ידי כינון ולחיצה על ההדק. כתוצאה מלחיצה על ההדק

באחד הטנקים מתרחשים דברים מספר:

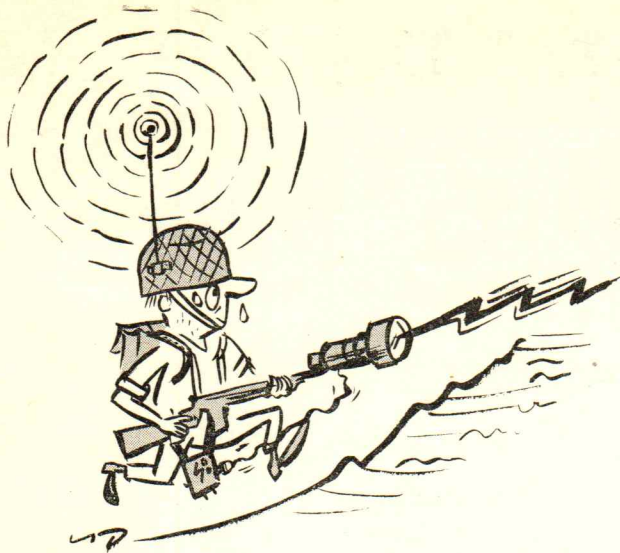
בטנק היורה מופעל משדר FM** (שלב 2) המשדר אות הנקלט

שק הקמח הקדמוני שנהגו לזרוק נגד חייל או טנק כסימן פגיעה במשחקי מלחמה של ימים עברו — נעלם. פגיעת קרן א"א (אינפרא-אדום), בשילוב עם קרן אלקטרומגנטית בתדירות רדיו, גורמת לפיצוץ נתיך בטנק המהווה את המטרה וגורמת לשיתוק מוחלט של הציוד התפעולי שבו. על-ידי כך ניתן לרשום פגיעה או החטאה מבלי שתגרם אבידה איזו שהיא בטנק המטרה.

אימון קרבי בציוד תפעולי הוא מסוכן ויקר וידועים הרבה מקרים בהם אנשים נפצעו או נהרגו בשגגה שעה שהתקדמו בזחילה בין התפוצצויות בשיעורי שדאות של התגנבות יחידים. נוסף על כך, גדולה ויקרה כמות התחמושת בעלת קליבר גדול המבוזבזת בתמרוני-שדה. כחלק מתכנית הבטחון שלו, החל הצבא האמריקאי בייצור כלי-נשק המשמשים כדמי. כלי-נשק מדומים אלה יורים באמצעות מחוגי-פגיעה אופטיים-אלקטרוניים, דמוי זה מאפשר גמישות טקטית מלאה, יחד עם בטיחות וחסכון. מחוגי-פגיעה מלאכותיים אלה מקטינים את הפרצה

* תדר רדיו.
** אפנון תדירות.



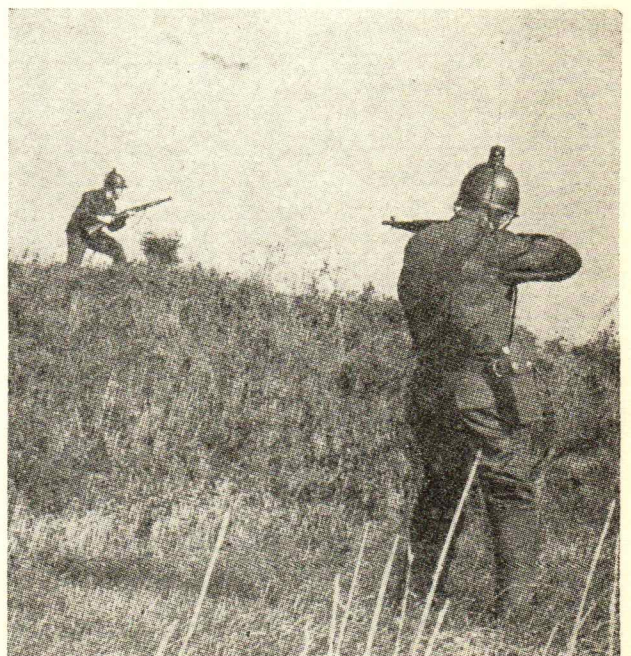


על-ידי כל הטנקים המהווים מטרת פוטנציאליות. בקלטם את האות מועברים הטנקים ממזב הכן למזב של „מטרה“. במזב זה הנמשך כחצי שניה מצומדים המעגלים האלקטרוניים של הטנק, והתותחן אינו יכול לירות. מיד לאחר מכן משדר הטנק היורה „דופק“ („פולס“) בעל משך של 250 מיקרו-שניה המפ-עיל מונה בכל אחד מן הטנקים המהווים את המטרות האפ-שריות. כל טנק כזה מנצנץ בפנס איתות א"א ברגע שהמונה שלו מגיע בספירתו עד מספר מסוים שהוא מספר הצופן שנקבע לו מראש (שלב 3). נצנוץ א"א זה שמשכו הוא 10 מיקרו-שניה נקלט על-ידי המערכת האופטית של הטנק היורה (שלב 4).

הטנק היורה יוצר דופק ת"ר שני למשך ספירה אחת (או 500 (מיקרו-שניה), לאחר שקלט את נצנוץ הא"א ששודר מן המטרה אליה הוא מכוון. (הערה: כל המטרות משדרות נצנוץ א"א אולם רק אם היורה מכוון בדיוק למטרה הוא מסוגל לקלוט נצנוץ זה). כל המטרות קולטות את הדופק השני, אולם רק מטרה שמספר הצופן שלה מתאים — מגיבה. בשלב 6, כאשר שידור הת"ר הוא נכון לגבי מטרה מסוימת, מופעלים בה רעש ועשן. סימנים אלה מראים על היסול טנק המטרה. כלי-הנשק של טנק זה נשארים „מצומדים“ והציוד מוצא מכלל פעולה. כל המטרות האחרות וכן הנשק שזה עתה ירה חוזרים למזב כוננות, כלומר לאותו מצב שהיה לפני שהתותחן שבטנק היורה לחץ על ההדק. מצב זה נמשך עד שאחד הטנקים גילה את מטרתו וירה. מחזור פעולה זה חוזר ונשנה.

מערכת יסוד — ציור 2, מראה את המערכת הבסיסית. היחידות נמצאות, בדרך כלל, במזב כוננות כשהמקלטים מחוברים לאנטנה. ברגע שלוחצים על ההדק מופעל המשדר המתחבר לאנטנה של כלי הנשק היורה, ממסר האנטנה של טנק המטרה מצומד כך שהיחידה אינה יכולה לעבור למזב של נשק מתקיף.

מחון הפגיעה של רובה הרגלים M14 מאפשר למתאמן לרשום פגיעות בטנחים עד 500 מטר



פותחו מחוני פגיעה בעלי מעגלי צופן מסוגלים לטפל ביותר מ-100 יחידות בשדה. את סדר הפעולות בשלמותו ניתן להוציא לפועל בפרק זמן של חצי שניה או פחות — דבר המותנה במספרם של קודי-הזיהוי הבנויים בתוך המערכת. כאשר מושגת פגיעה אופטית-חשמלית מתפוצץ נתיך המפסיק את פעולת הציוד, ונותן באופן קבוע סימן לפגיעה שבוצעה.

רובם של מעגלי המזב המוצק בהם משתמשים, הם פשוטים ומקובלים, כשתשומת הלב מוקדשת במיוחד למהימנות המעגל, ולצריכת הספק נמוכה. נקודה אחרונה זו היא חיונית משום שהמערכת כולה מופעלת על-ידי מצבר.

חולית אינפרא-אדום — בעיות התכנון הקריטיות ביותר קיי-מות בחוליות הא"א. יעילות המערכת תלויה במישרין במהי-מנות העברת הא"א ובקיום שדה-ראיה אופטי השקול לאיזור הפגיעה של המטרה. טנח הפעולה המכסימלי לכלי-נשק מדמים נע מ-500 מטר לרובה M14 ועד 2000 מטר לתותח רכבי קרבי-משורין בן 90 מ"מ.

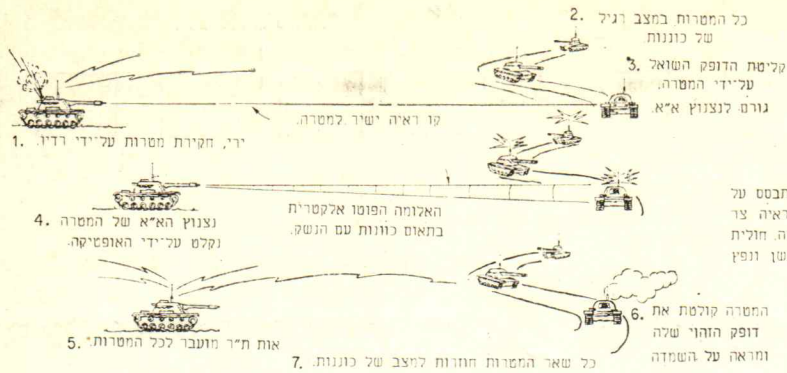
הספקטרום השייך לא"א (נע בין 0.7 ל-1.7 מיקרון), נבחר בשביל מחוני הפגיעה. גורמים מספר הכריעו לטובת בחירה זו: א. אין שימוש נרחב בתחום זה.

ב. אין ההתקנים עלולים לגרום לאינטרפרנציה עם המערכות האחרות.

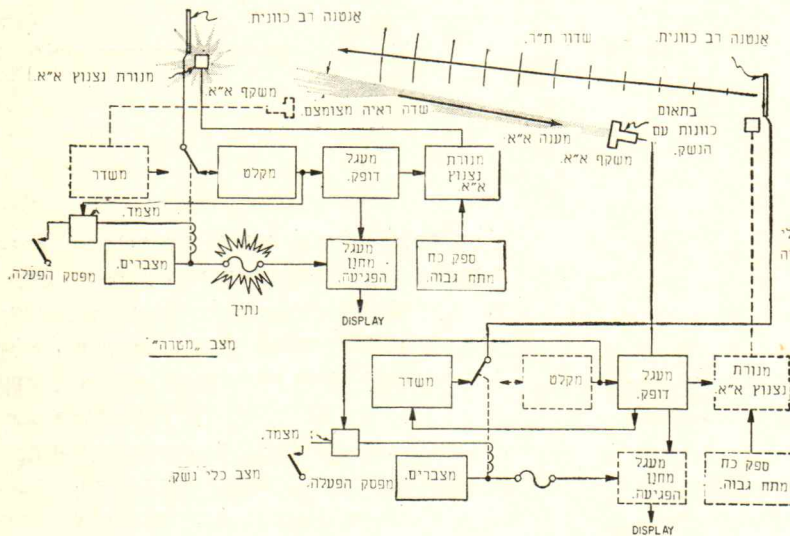
יתכן להשיג גלאים רגישים בעלי היענות מהירה כגון גרמי-ניום וסיליקון. באיזור זה ניתן להשיג מקורות א"א „ישר מהאצטבה“ (כגון ממנורות קסנון), אשר מסוגלים ליצור דופ-קים בעלי משך קצר (הפעלת המערכת בשיטת דופקים מקטינה במידה רבה את ההשפעות המזיקות של קרינת רקע חזקה המתקבלת מהשמש וממקורות אחרים).

שידור קרני א"א — שידור קרני א"א למרחק של 2,000 מטר מציג בעיות בלתי רגילות ומסובכות הנגרמות בעיקר על-ידי תנאים אטמוספריים כמו ערפל, אובך, אדי-מים, אבק, רוח ותנאים טרמים.

מדידות א"א — מדידות בדופק-אור המתקבלים מקשתות גז קסנון למרחקים של 1 מיל עם מקורות בני 1 אינץ' ומכשירים



ציור מספר 1.
 מחזור הפעולות כלי הנשק מסרה, מתבטט על השמוש בחולית א"א בעלת שדה ראייה צר המדמה את דיוק הכוון של הנשק היורה. חולית הת"ר מפעילה את חולית הא"א. עשן ונפץ קולני משויים אופי מוחשי לגורגלי.

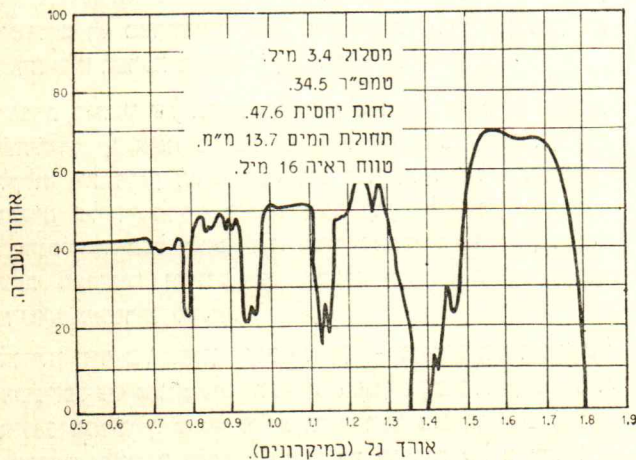


ציור מס' 2.
 מצב מטרה - כלי נשק. לחיצה על ההדק מפעילה את המשדר של כלי הנשק ומחברת אותו לאנטנה. נשק המטרה אינו יכול לפעול כלי נשק. אותות ת"ר נורמות לפצוץ. נתיך.

לפלטמתקסנון ישנו ספקטרום קוי ורצוף אשר מגיע לשיא ב-1 מיקרון. הספקטרום של הקשת נראה בציור 5A, לנורה יש הספק מוצא גם בתחום הנראה. הואיל ואין זקוקים לאיזור הנראה, משתמשים במסננים כגון, מסנן צבע מסוג "ורטן" 88A.

גלאים - מערכת הגלאי, חייבת להיות בעלת ספקטרום רחב

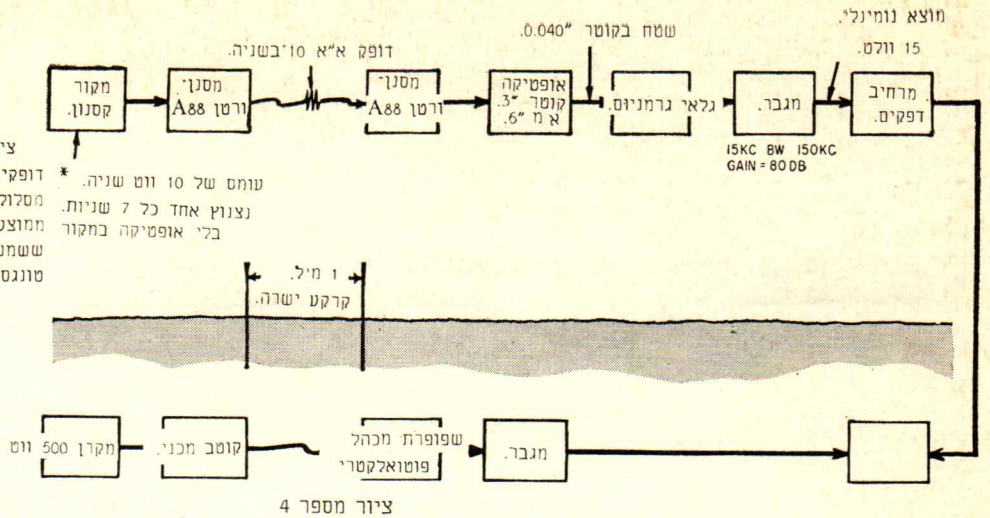
ציור מספר 3



אופטיים קולטים בעלי קוטר של 3 אינץ' הראו כי אפשר להשיג שינוי ערכים ממוצע הנע בין היחסים 3:1 לבין 6:1, דבר המורה על התאמה יחסית עם שיטות קלאסיות. מערך הניסוי בו השתמשו כדי להשיג את הנתונים נראה בציור 4. שינוי האות נגרם ברובו עקב ניחות האטמוספירה, אולם השתברות האור עקב מסות אוריר שונות תורמת גם היא לתופעה זו. מערכות מחוני הפגיעה מתוכננות בהתאמה לשינויים אלה.

דופקי קשת-הקסנון יכולים להיות בעלי משך קצר עד מאוד, 5 עד 25 מיקרו-שניות לערך. עם דופקים קצרים מתבטלת למעשה הבעיה של הבחנת האות האמיתי מקרינת הרקע. אפנון בעל תדר נמוך הנוצר בגלל תנועת המקלט, נשיבת רוח בעצים או תנועותיהם של פאות עננים, ניתן בנקל לסינון מהמקלט בלי לפגום בטיב הידיעות. צריכת ההספק של משדר הא"א היא נמוכה שכן הקבל האוצר-אנרגיה, בשעה שנשטן, זקוק לזרמי-סרק בלבד. החסכון בצריכת הספק על פני מערכת טיפוסית שאינה א"א נראה בציור 4.

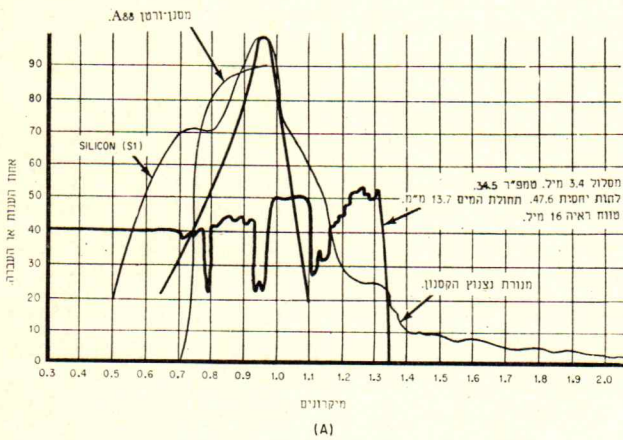
הספק של 30 וואט בממוצע, נדרש במערכות המנצנצות ללא הפוגה למרחק של 2 מיילים ו-0.5 וואט בממוצע שעה שהמערכת "עובדת" על ריק (כשאין הנורה מנצנצת). נורות טונגסטן בעלות 40 עד 500 וואט+הספק בשביל מערכת האפנון המכנית, תהיינה דרושות כדי להשיג אותו טנח ביצוע.



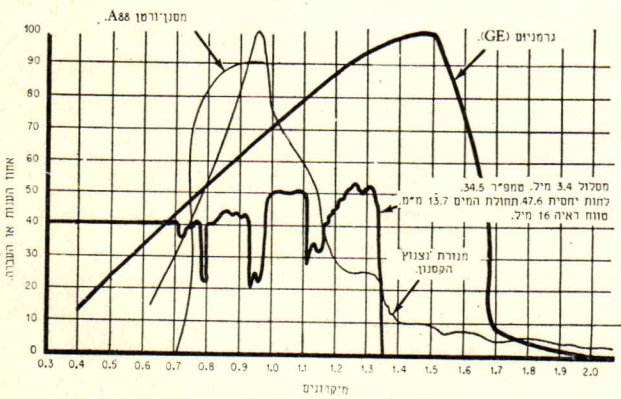
ציור מס' 4.

דופקי אור מקשותות גז קסנון הנמדדים לאורך מסלול של 1 מיל מראית שנוי סציה ביתח ממוצע של 3:1 או 6:1 משויס מקור קסנון ששמש להשגת אינפורמציה זו עם מנורת טונגסטן טפוסית של 500 ווט.

ציור מספר 5



(A)



(B)

פלסמת קסנון נראית בהשוואה עם גלאי סילי קון (A) גלאי גרמניום (B). הצרוף של הספקט רום הקוי והצרוף של קסנון נותן אורך גל של 1 מיקרון. גרמניום הוא הפשרה הטובה ביותר.

ודופקים קצרים. רוחב פס מספיק כדי להיענות לדופק של 5 עד 25 מיקרון שניה וכן היענות ספקטרלית המתאימה להספק המוצא של הקסנון. שני סוגים של גלאים נראים בציור 5: A ו-B. סיליקון, בעל זמן ארוך בהרבה מזה של גרמניום מגיע עד 1.1 מיקרון. תופעה מיוחדת מצויה בסיליקון והיא: רגישות ה-A-C שלו בתדר הנמוך. רגישות זו גבוהה בהרבה מזו של גרמניום, תלויה בקרינת הרקע מן השמש וממקורות אחרים ועלולה להביא לידי כך שגלאי סיליקון יהיה רווי. דבר זה נכון במיוחד במערכת קליטה בעלת זווית רחבה (1 מעלה או למעלה מזה). גרמניום הוא הפשרה הטובה ביותר. רגישותו יעילה בעיקר באיזור זה ומגיעה עד 1.7 מיקרון טרם שהוא נעשה שקוף. כמו כן, זמן ההיענות מספיק כדי להתאים למקור אור מתדפק. הבעיה העיקרית עם גרמניום היא השגת גלאים בעלי שטח גדול (בקוטר למעלה מ-1.25 מ"מ), מכינן שאין חופש רב בייצורם כמו בייצורי הסיליקון. צמוד סגסוגת בו משתמשים, בדרך כלל, עם גרמניום, יוצר גלאים שאין להם רגישות קבועה על פני השטח הפעיל.

הואיל ושידור הקסנון בתחום הא"א הוא לאורך קו-הרציה, זקוקה מערכת הקליטה רק לשדה-רציה המבטיח כיוון מדויק אל משדר הא"א המתאים. בשעת פעולה, ניתן יהיה לאכן משדרים או מטרות הקרובים זה לזה ועלידי כונן נכון לא תהיה שום הפרעה במקלט בין שניים אלה.

הגברת הוידאו של אות הא"א הנקלט היא כשקיבולת היענות התדר הנמוך אינה צריכה לרדת למטה מ-5 קילו-הרץ כדי לקלוט את דופק הא"א המשודר. דבר זה מבטל את האפנון הנגרם על-ידי הרקע כפי שהוזכר קודם לכן, וכן את רעש הטרנסיסטור בעל האופי 1/f. מדידות הוכיחו שהאפנון הנוצר עקב הבהובים וריטוט של המקלט הנמצא בתחום הנמוך מ-1000 מחזורים לשניה.

חוליות ת"ר של אפנון מקום הדופק — בדגמים האחרונים של מחוגי-פגיעה משתמשים בשיטת אפנון-מקום-הדופק הפועלת ב-140 מגה-הרץ. שיטה זו יעילה בהרבה משיטת FM (אפנון תדירות). למשדר ולמקלט כאחד יש רגישות של 2 מיליוולט



טנק בינוני מצויד במערכת מחוץ, האנטנה והמשואה מורכבות על גבי הצריח

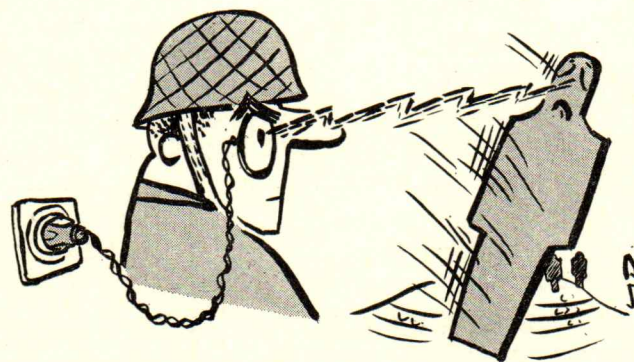
הא"א נראות כשהן מורכבות על צריח הטנק. מורכבת בתוך קנה התותח, נמצאת היחידה של המטרה — כלי-נשק, אשר מכילה את המשדר — מקלט, ספק-הכוח ואת מעגלי-הצופן. כן נמצא ביחידה זו טלסקופ א"א פוטואלקטרי, הנראה בולט מתוך הקנה.

מחון הפגיעה של רובה הרגלים M 14 מאפשר למתאמן לרשום פגיעות במטרות היות בקרב מדומה בטנחים עד ל-500 מטר. הטלסקופ הפוטואלקטרי המורכב על הרובה, ספק-הכוח האלקטרוני הנישא על חגורת המתאמן והמשואה/אנטנה המורכבת על הקסדה — מספקים בידי איש חי"ר נשק ומטרה כאחד. המערכות שהוסברו עד כה נוצלו בדמוי כלי-נשק קרקע-קרקע היוזים ישירות אש חיה. לא זו בלבד שאפשר לדמות כלי-נשק מסוגים שונים, אלא אף ניתן ליישם את הטכניקה הזו למערכות-משואה בהן יש צורך לאכן ואולי אף לזהות מקום על הקרקע לשם הצנחה מן האויר.

לגבי רוחב-פס של 20 קילוהרץ. גם כאן משתמשים בדופק של 250 מיקרו-שניה כדי לשדר את הדפקים המפעילים, השואלים והעונים. בשיטה זו דרוש דופק-מפעיל נוסף כדי שיחידה תוכל לעבור למצב מטרה, בה בשעה שבשיטת (FM) דבר זה הת-קבל מן האות הרצוף (CM) במשקט המקלט.

אנטנות — משתמשים בדו-קטבים (דיפולים) [1/4 אורך גל] או בטיפוס 1/2 אורך גל קואסיאלי. הגבלה אחת שהושמה על תכנון האנטנה, במיוחד לרובה M 14 ולמערכות האחרות המיטלטלות על-ידי אנשים, היתה בגלל הצורך לעשות את האנטנות מצומצמות מימדים וחזקות. ז"א, דו-קטבים באורך 1/4 גל. במערכות המרכבות על כלי-רכב השתמשו בשני הסוגים הנזכרים.

ישומים — התצלום של הטנק הבינוני מראה מערכת מחוץ פגיעה המורכבת בתוך התותח שלו. אנטנת-הרדיו ומשואת-



עמידות פלסטיק בהשפעות מזג אוויר

מאמר מיוחד זה מציג סיכום מלא של כל הידוע לנו עד עתה לגבי השפעות מזג-האוויר על חומרים פלסטיים. המאמר דן בגורמים להם נודעת, כנראה, השפעה על פלסטיק; כיצד לקבוע את ההשפעות של אלמנטים אלה על פלסטיק.

לידי שינוי בתכונות כתוצאה מאחת או מצירופן של שתיים מהתגובות הבאות:

- התנדפות של חומרים מעצבים ומסיסים.
- התפרדות כימית של חומרי עיצוב, חומרי מילוי, חומרי צביעה וכיו"ב.
- שבירה של חיבורי-פולימר עיקריים.
- פיצול של קבוצות חומרים צדדיות בדרכים שונות.
- תגובות בקרב הקבוצות החדשות שנוצרו.
- שבירה או יצירה של מקשר מתחבר כמו מקשר של מימן.
- פיזור או יצירה לפי אוריינטציה איזורית (התגבשות).

מזג-אוויר הנו מונח מסובך ומקיף, אשר כולל גורמים רבים, עמם נמנים אור-שמש, חמצן ואוזון, לחות, משקעים, רוח וזוהמה אטמוספירית. כל אחד מן הגורמים האלה של המזג-אוויר מביא בדרך שלו, בצירוף עם כל אחד מהאחרים, לידי התגובות שהוזכרו לעיל. ולא עוד אלא שאף לא אחת מה-תגובות גדלה בצורה לינארית או בה במידה עם השינויים ההלים בעצמת האלמנט אשר גרם לתגובה. הטבלה מראה מקצתם של אלמנטים אלה והתגובות שהם עשויים ליצור.

למרות שהאלמנטים הבודדים של מזג-אוויר עלולים להיות הרסניים במידה רבה, השפעתם המשותפת עלולה אף להיות מזיקה יותר לפלסטיק. לדוגמה, אם משטח של פלסטיק נתרכך על-ידי חום או לחות, יהיו ההשפעות המכלולות של חול מפוזר-ברוח — גדולות אף יותר. אם מצב של לחות יתמיד למשך זמן ניכר, תתגלה התפתחות של פונגוס (פטריה) וחידקים.

בניתוח הסופי יובא בחשבון הסך-הכל של ההשפעות על הפלסטיק המסוים וסך-הכל זה יקבע אם הפלסטיק מתאים לשימוש שנועד לו, אם לא.

אור שמש — הוא צורה של קרינה אלקטרומגנטית התופסת חלק מצומצם אך חשוב של הספקטרום האלקטרומגנטי. חלק זה

פלסטיק, בדומה לרוב החומרים האחרים, מותקף על-ידי גורמי-מים של מזג-אוויר. אין זה ענין פשוט כל עיקר — להעריך ולפתור את בעיית ההשפעות מזג-האוויר דוקא על חומר זה. לכך יש שלוש סיבות עיקריות. ראשית, נמצא כי תרכובות מסוימות וחומרי פלסטיק רבים מושפעים בדרכים שונות על-ידי האל-מנטים של מזג-אוויר. שנית, לא קיימות שיטות תקניות לשם קביעת ההשפעה שיש למזג-אוויר על התכונות המכניות, החשמליות, הפיסיקליות והכימיות של פלסטיק. ושלישית, עדיין לא עמדו במידה מספקת על ההשפעות שיש למזג האוויר על חומרי פלסטיק.

אף-על-פי שעובדות אלו מהוות מכשולים רציניים נעשו בשטח זה שיפורים מכריעים. תרכובות ויניל (Vinyl) לכיסויי-רכב מתקפלים, למשל, פותחו כדי שיהיו חסינים להשפעות מזג-אוויר. חברות מספר, מעבדות ניסויים פרטיות ומעבדות-מחקר צבאיות הגבירו בשנים האחרונות את מאמציהן, וגופים כמו החברה האמריקאית לניסויים ולחומרים (ASTM), שעורכת ניסויים חדשים ובעלי משמעות רבה, כדי לקבוע את כושר חסינותם של חומרי פלסטיק.

מבחינות מסוימות, ההישגים שהושגו על-ידי תעשיית-הפלסטיק בפרק-זמן קצר עלו על ההתקדמויות שהושגו בטכנולוגיות של חומרים אחרים. חוץ מזה תוכננו מספר מערכות ותרכובות המורכבות מחומרים אקריליים, פנוליים, פחמן-פלואורידיים ופוליאסטרניים המסוגלים לעמוד בפני השפעות של מזג-אוויר. מכל מקום, עדיין נותר עוד הרבה ללמוד ויש לקבוע ערכם של נתונים רבים.

הטבע ואלמנטים של מזג-אוויר

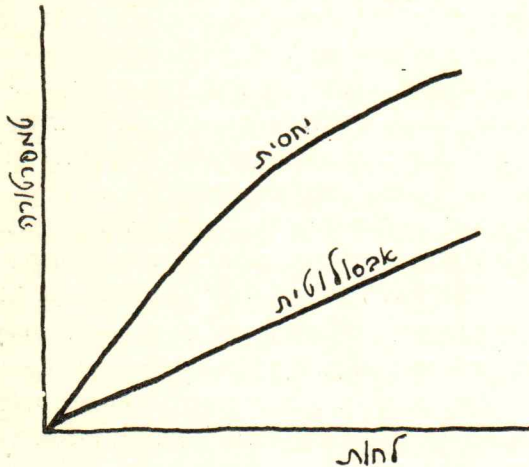
מהו פירוש „כושר עמידה בתנאים קשים של מזג-אוויר“? בדרך-כלל אפשר להגדיר מונח זה כהשפעה שיש לחשיפה חיצונית על התכונות ההנדסיות של חומרים או על כושר השמישות שלהם. במקרה של פלסטיק, עלול מזג-אוויר להביא

בקירות של קרינת השמש הכוללת, נהפכות לחום כשהן מתנגשות בפלסטיק ונספגות בו, והן עלולות לגרום לתגובות שהוזכרו לעיל. טמפרטורות תגובות אלו מתקדמות בשיעור יחס כפול לכל עלייה של 18 מעלות פרנהייט בטמפרטורה.

אור השמש הכולל (או קרינת שמש) המגיע לכדור הארץ נקבע על-ידי גורמים מספר, כגון שעת-היום, עונה, גובה מעל פני-הים, טיב פני האדמה ותנאים אטמוספריים שכיחים.

חמצן — גורם-לנין של מזג-האוויר. אפשר לצרף אותו לכל החומרים הפלסטיים, ולעתים קרובות מוסיפים אותו למקשר כפול במבנה פולימרי של פלסטיק, ובאופן זה יוצרים נקודה חלשה העלולה בסופו של דבר להביא לידי שבירת החומר (חמצון).

כמות החמצון במקרה הנתון תלויה בטמפרטורה ובתכונה

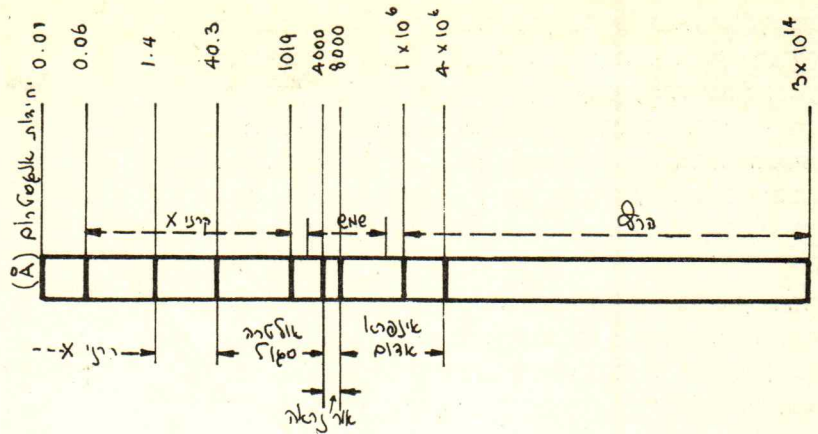


ציור מספר 3

הכימית של הפלסטיק. טמפרטורות גבוהות נוטות להגדיל את שיעור התגובה, חומרים פלסטיים בהם מעטים יותר המקשרים הכפולים בתוך מבניהם הפולימרי הם גם עמידים יותר בפני חמצון.

לחות — מציינים, בדרך כלל, במושגים של לחות או לחות מוחלטת. לחות מוחלטת הוא כמות המים הממשית הקיימת בנפח אוויר והוא מבוטא, בדרך כלל, מגרם/מטר³. הלחות היחסית היא של כמות המים הקיימת בנפח אוויר בהשוואה לכמות שאותו נפח באותה טמפרטורה עשוי להכיל בנקודת-רוייה; לחות יחסית מבוטאת באחוזים.

הלחות המוחלטת קובעת את כמות המים הכולל-ית הדרושה כדי להביא לידי התכווצות או לידי התנפחות בפלסטית. הלחות היחסית תשפיע על כמות הדחיסה העשויה לקרות על שטח של מדגם. מים על שטח של פלסטיק עלולים לסגן



ציור מספר 1

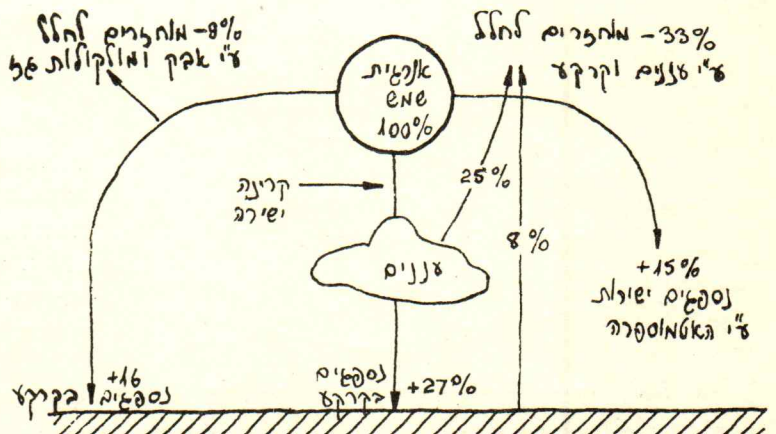
מורכב מאיזור אולטרה-סגול (40 עד 400 Å) בקצה אחד ומאיזור אינפרא-אדום (7700 עד 4 x 10⁶ Å) בקצה האחר, עם אור נראה-לעין (3760 עד 7800 Å) הנופל ביניהם. רק שני הקיצונים, מכל מקום, גורמים לתגובות בפלסטיק.

הקרניים האולטרה-סגולית של אור השמש, אף-על-פי שרק 4 אחוזים מהקרינה הכוללת מגיעים לכדור-הארץ, הן הגורמות לחלק הארי של השינוי החל כשפלסטיק גלוי לקרינה חיצונית. הסיבה לכך היא שרמת-האנרגיה של הקרינה חשובה לא פחות, אם לא יותר, מאשר האיכות הכוללת. רבות מהקרינות בפלסטיק אינן יכולות להתרחש אלא אם כן הן מגיעות למינימום של אנרגיה, שלעתים, נקראת גם "אנרגיית-הפעלה". מכאן, שלאור אולטרה-סגול בעל אורך גל קצר ותדר גבוה, מצויה אנרגיה גבוהה שביכולתה לעורר תגובות בפלסטיק יותר משעושים זאת אור נראה-לעין וקרני אינפרא-אדום.

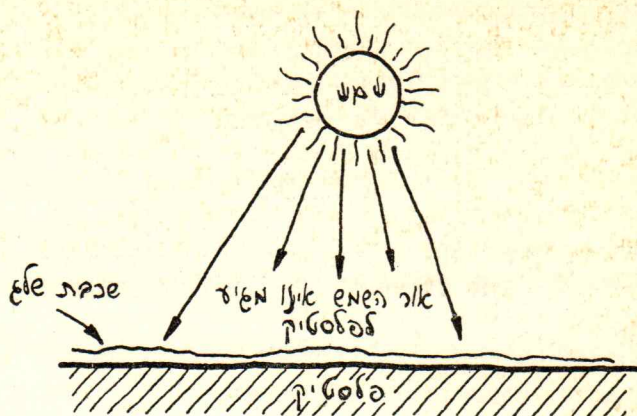
קרני אינפרא-אדום מאלצות חומרים פלסטיים רבים להתפצל באמצעות תהליך המוכר כ"התבלות פוטואלקטריית" (מתייחס, בדרך כלל, להתבלות אולטרה-סגולית). אנרגיה המוקרנת מהשמש מתחברת לאנרגיה הרגילה בקישורים מוליקולריים של פלסטיק פולימרי, עד שהקישורים נעשים "מרוגשים" במידה כזאת שהם ניתקים זה מזה.

קרני האינפרא-אדום של אור שמש, המורכבות מ-53 אחוז

ציור מספר 2



כל פנים, הבינו שאת מידת השקיעה יש למדוד בדרך בה נוהגים למדוד ירידת גשם, כלומר עומק אנכי השוקע בפרק זמן מסוים. בשימוש בשיטה זו, קיים קושי במידת-מה בהשגת „ירידת אבק“ ממוצעת. בכל אופן, אם סוג מיוחד של סביבה (פרבר, רובע מגורים, סמוך לאיזור תעשייה, ואיזור תעשייה עצמו, ועונת-שנה אחת — חורף, אביב, קיץ או סתיו) משמר שים כבסיס, ניתן יהיה להשיג ערכים ממוצעים שאפשר ליצורם שנית כראוי.



ציור מספר 4

לזוהמה כימית ברוח השפעות שליליות על פלסטיק. אויר ספוג מלח מוכר כאטמוספירה משתכת (קורוזיבית) הטובה ביותר. מכל מקום, כתוצאה מן הפיזור הגדל בלי-הפסק של תעשיות כימיות וכתוצאה מן השימוש המתרבה בכלי-רכב מונעים בבניין, נעשית הבעיה של התבלות כימית נפוצה בהרבה. בעוד שפלסטיק, בדרך כלל, הוא חסין בפני שיתוך (קורוזיה) רומזים ריבוי של גורמים כימיים היכולים להיות באויר פלוס התכונה הכימית של חומרים פלסטיים שונים על כך, שאין ניתן להניח כי כל החומרים הפלסטיים הם עמי-דים מבחינה כימית בפני כל האטמוספירות. כדי לקבוע את ההשפעות של מזג-אויר על פלסטיק, נמדד השינוי לפי תכונה אחת או יותר תוך ניצול של תנאי-בליה באויר חופשי או תנאי בליה מואצים בני תקופה ממושכת.

תנאים לבדיקת הבליה

בליה באויר חופשי — של חומרים פלסטיים, כפי שנוסחה בתקן "ASTM" D 1435-58, תכליתה להגדיר את התנאים לחשיפה של חומר פלסטי למזג-אויר. נוהג זה מוגבל לשיטה שבאמ-צעותה יש לחשוף את החומר; לנוהל הכללי שלפיו יש לפעול; ולאיןפורמציה אקלימית (קלימטולוגית) שיש לרשמה. אין תקן זה כולל את שיטות הבדיקה בהן צריך להשתמש בהערכת ההשפעות של חשיפה, פרט למראה חזותי ולשינויים ממדיים. ביסודו של דבר, בדיקת ASTM זו מורכבת מהנחת לוחות-בדיקה בחוף לשם חשיפה במספר מתאים של מקומות אקלי-מיים שונים, לרבות: ממוזגים, קרים, מדבריים, טרופיים, אזורי תעשייה ואזורי חוף. את לוחות-הבדיקה מנחים על מסגרות הקבועות באופן שהמשטחים המלאים של המדגמים נמצאים בזווית של 45 מעלות כלפי המשור ומפנים לדרום האמתי (ראה ציור).

קיימים תנאי-בדיקה-משנתנים רבים בבדיקות-בליה המבוצעים

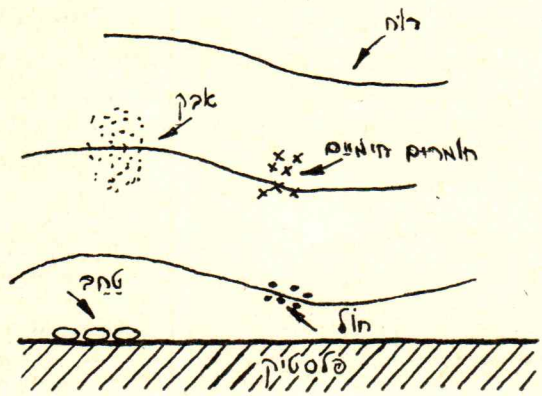
החוצה מרכיבים מחומר פלסטי ויש להם קשר רב בכל הנוגע ליכולתה של פטריה הפונגוס להתקיים או להתרבות. טמפרטורה היא המשתנה העיקרי אשר משפיע על הלחות. אויר חם מסוגל לשמור יותר לחות מאשר אויר קר. על כן, התנועה בלחות יחסית גדולה מאשר התנועה בלחות מוחלטת. חשקע — יכול להיות בצורה של גשם, שלג או ברד. למרות שכל הצורות מצוינות על פי רוב במושגים של עומק-מים אנכי או בתמורה של מים, השפעתן על פלסטיק — שונה. גשם וברד יוצרים, בדרך כלל, מגע חולף, בה בשעה ששלג יכול להי-שאר על השטח לתקופת-זמן ניכרת. בתנאים של קפאון והפשרת שלגים הבאים בזה אחר זה, יכולה להינצר שכבת-קרח המחזיקה את השלג היטב במקומו. ברד יש לו השפעה שונה מגשם, בגלל כושרו ליצור סדקים בעת פגיעה.

עדיין יש הרבה ללמוד בכל הנוגע לטיבו ולתכונותיו של משקע. אף-על-פי שמפורסמת מזמן לזמן צורת המשקע בנתוני-מזג-האויר, מציינים בהם לעתים נדירות גורמים חשובים כגון גודל הגרעינים ומהירותם. עבודה שנעשתה בנושא של סחיפת (אירוזיה) גשם, אשר בעבר הוגבלה למספר מועט מאוד של חומרים פלסטיים מיוחדים שיועדו למרכיבים של מטוס וטיל, עשויה בעתיד לאפשר איסוף אינפורמציה מפורטת על חומ-רים פלסטיים רבים. ולא עוד אלא שהשימוש ב"מכ"מ" יש לו פוטנציאל מועיל לשם קביעת גודל הטיפה ומספר הטיפות ליחידת-השטח יותר מאשר לקביעת העומק האנכי של משקע. רווח — כשלעצמו, אינו הרסני במיוחד לפלסטיק. הגורם העיקרי לבזק הוא הזוהמה האטמוספירית, כגון חול, אבק, חומרים כימיים ופונגוס הנישאים ברוח. יתר על כן, רוח משפיע על שיעור הייבוש של חומר רטוב ועל משקעי משטח והרחקת הזוהמה.

זוהמה — הנישאת ברוח עשויה להיות בעלת השפעה הגנתית או השפעה משחיתת על פלסטיק. במקרה של אבק, למשל, כשהוא מתקשה על פלסטיק, תהיה לו פעולת-סכיכה כדי לסנן החוצה את קרינת השמש וכן, במידה מסוימת, הוא יפעל כמבדד חום. חול-מפורר-ברוח, ולכלוך, מצד שני, תהיה להם השפעה סוחפת (אירוזיבית) על פלסטיק. מהירות הרוח וגודל הגרעין קובעים את השיעור של סחיפה זו.

בדרך-כלל נהגו לקבוע את כמות הגרעינים הנופלים-מהאויר על-ידי דגימת האויר עצמו. המומחים זנבאוך והימאון, על

ציור מספר 5



באוויר חופשי. אלה כוללים: זמן החשיפה, בדיקת אקלים המקום ובדיקת פנייה השטח של המקום.

זמן חשיפה — הוא המשתנה שחשיבותו רבה, שכן עצמתה של חשיפת החומר לגורמים משתנה בשנה מעונה אחת לשניה. בשעה שנתונים מסוימים המתחסים לאוויר החופשי ניתן להשיג רק אחרי שלושה או שישה חודשים, עלולים הם להטות את לא יאומתו על-ידי חשיפה ממושכת.

עונת-השנה אשר נבחרת לשם חשיפה התחלתית גם לה השפעה על התוצאות. בשעה שבאזורים רבים עשויים להיות כמות הגשם, אור השמש וכיו"ב ממוצעים במשך כל עונת-השנה, עלולה כל תקופת-זמן קצרה מזו להוליך שולל. אין זה מבוסס על השכל הישר לקוות שמדגמים שהונחו בחוץ בעונת האביב יגיבו באותה דרך כפי שמגיבים אלה שהונחו בחוץ בסתיו אם תקופת החשיפה ארכה רק שישה חודשים. אם החומר הוא כזה שקיץ יבש וחם עלול להביא לידי פתיחת סדקים בו דרכם יחדרו גשם-הסתיו ושלג-החורף, יהיו התוצאות שונות מאשר אילו נערכה החשיפה ההתחלתית בסתיו או באביב.

בדיקת המקומות — עם אקלימים שונים מנוצלים בכנה כדי שאפשר יהיה להעריך את ההשפעות שיש לאלמנטים הבודדים על החומר. שני אזורים הבדיקה לחשיפה בהם משתמשים כרגיל הם פלורידה (שפת הים) ואריזונה (מדבר). מקומות אלה הועדפו בעיקר משום ששוררים בהם במשך כל עונות השנה תנאים של אור שמש שעצמתם גבוהה. מקומות ניסוי אחרים הם: ממוזג (ניו-יורק), קר (אלסקה), טרופי (פנמה) ותעשיית (פליניט, מישגן). המספרים הממוצעים המראים את התנאים האקלימיים השוררים ב-4 מקומות טיפוסיים נראים בצויר מספר 6.

אפשר לשער את החסינות בפני בליה באזורים בהם שוררים תנאי מזג-אוויר שונים על-ידי הפקת תועלת משיטת "יחידות-לנגליי" (קרינה אקטיבית של קלוריה בת 1 גרם לסנטימטר רבוע). חשיפות מנוהלות בתחילה באיזור נבחר והפסדי תכור נות מאושרים כפונקציה של מספר "יחידות לנגליי" (כמות של אנרגיית-אור מקרית). אחרי כן, על יסוד של דרישות קבועות-מראש לגבי העצמה הנוותרת ומראה יכולים לנחש את אורך חיי השמישות של פלסטיק באזורים אחרים לפי קביעת שיעורי-לנגליי לחומרים אלה.

בדיקת פני שטח הקרקע — היא גורם אחר שיש לו שייכות גדולה בקשר לתוצאות שהושגו מבליה חיצונית. צמחיה, קרקע חרושה ועצמים ממשיים תכונותיהם של אלה משתנות, כשהם סופגים ומקרינים אור שמש וחום. הכמות והטיב של אבק מופץ ברוח, תשתנה מחמת הגובה מעל-פני מקום הקרקע. משך הזמן וההתמדה של שכבות רטיבות והטמפרטורה של דוגמות עשויים להיות מושפעים על-ידי הקרקע.

בדיקות להזדקנות מואצת — תכליתן לספק תשובות מהירות להשפעות בליה על-ידי קביעת נטיות כלליות יותר מאשר על-ידי קביעת דרכים מוחלטות של הגבה.

את החשת התוצאות אפשר להוציא לפועל בשתי דרכים. שיטה אחת (תקן ASTM 1499-59) על-ידי פעולה בלא הספק של תנאי בליה יותר מאשר על-ידי ציפיה לתוצאות של חשיפה ישירה שבאות לסירוגין. לדוגמה, גשם הוא ארוץ מקרי. אור שמש משתנה בעצמה ובאורך זמן בהתאם למיקום ולעונה של

השנה. כל אחד מהארועים האלה ועוד אחרים אפשר במידה ידועה כמעט להכפיל, בשיטה מסודרת וקבועה-מראש על-ידי שימוש בצויד מקצועי. שיטה אחרת של החשה היא להגדיל את חומרת תנאי החשיפה העולים על אלה שבדרך-כלל נתקלים בהם בטבע.

שתי שיטות הבדיקה של הזדקנות מואצת יש להן מגבלות אחדות, אולם שיטת העצמה המוגדלת היא המומלצת פחות מכל. בטכניקה של החשיפה המתמידה קיימת אפשרות שמוצרי ההתבלות לא יסולקו, ששורשים חופשיים שנוצרו לא יספיקו להתמעט וכי חשיפה מתמידה היא יותר מזיקה מאשר חשיפה חיצונית רגילה שבאה בסירוגין.

שיטת העצמה המוגדלת עשויה להוביל למבנים שלעולם לא יחולו בעצמות נמוכות של חשיפה חיצונית. לא קיימת שום הבטחה שהגדלה ניכרת בעצמתם של כוחות התבלות שונים, כגון אנרגיה אולטרא-סגול, טמפרטורה ולחות תגדיל את שיעור ההרעה באופן פרופורציונלי; לעומת זאת, יש אפשרות כי התמוטטות החומר תתרחש בשיעור גדול במידה רבה.

למרות הבעיות הכרוכות בדבר, עורכים כיום בדיקות להזדקנות מואצת ואלו אף יוסיפו להיערך גם להבא. סיבה אחת לכך היא שמהנדסים גילו כי ניתן לנחש סימני ביצוע סבירים בשביל חומרים מסוימים. סיבה אחרת היא שהזדקנות רגילה היא אטית מדי. אם יפתחו מייצבים חדשים, אין זה מתקבל על הדעת להמתין 3, 5 או יותר שנים כדי לקבוע את התאמתם לצרכים.

האטיות הזו, הקשורה בעובדה שמזג-אוויר במקום מיוחד ובזמן מיוחד אינו רומז על הגבה במצבים שונים, הביאה להסכמה כללית בדבר בדיקות להזדקנות מואצת.

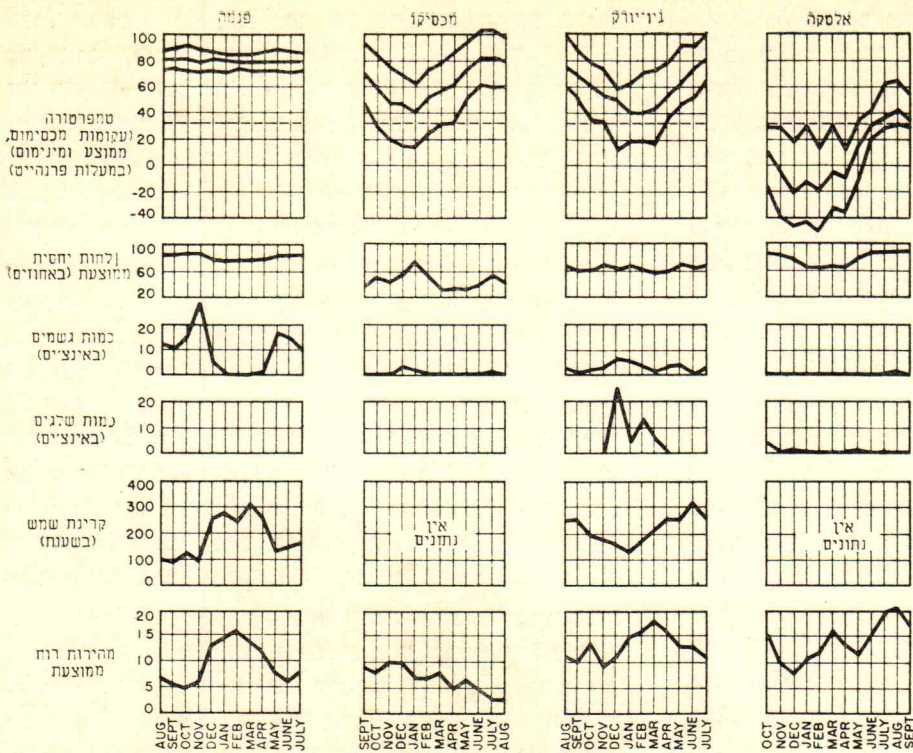
התוצאות, הגם שצריך לבארן מתוך הרקע המלא מדוע, למשל, סוג מיוחד של פלסטיק מתבלה וכן את הגורמים המשפיעים בעיקר על ההתבלות.

בעת הבדיקות להזדקנות מואצת אי-אפשר להעתיק במדויק את מזג-האוויר למעבדה; יתר על כן, ASTM קבע תקן לבדיקות להן כושר העתקה ראויים להתקבל ומתאם (קורלציה) כולל עם חשיפה חיצונית.

בעת עריכת בדיקות אלו משתמשים במידה מרובה בשני התקנים — מד-מזג-אוויר, שהוא יחידה המצוידת בקשת-פחם עם ריסוס-מים הבא לסירוגין ומנורה כחולה S₁.

מד-מזג האוויר (תקן ASTM 1499 D) פועל על-פי העקרון כדלקמן: אם מקור אור, אשר קרינתו הכוללת וחלוקתו הספקטרית כאור שמש של צהריים בחדש יוני, מנוצל על משטח של חומר וכשבאה אחריו רטיבות מחזורית עם ריסוס-מים מתוך טמפרטורה, צחות, לחץ ונפח ידועים, יקבלו החומרים החשופים משטחים או מצבים אחרים דומים לאלה הנוצרים על-ידי חשיפה חיצונית. יש טוענים כי חשיפה של 300 שעות במד-מזג-אוויר שזה לחשיפה של שנה אחת בחלק המרכזי של איזור הצפון הממוזג; על כל פנים, יש לבדוק שוויון זה לסוג המיוחד של פלסטיק הנמצא בבדיקה לפני שסומכים אליו.

המנורה הכחולה S₁ (תקן ASTM 795 D) משתמשים בה אך ורק כדי להשיג אינפורמציה על התנגדותו של פלסטיק להשפעה של אור שמש. בשעה שהשתמשו בשיטה זו בהרחבה



Typical weather data during 12-mo exposure period.

ציור מספר 6

בדיקות תכונה

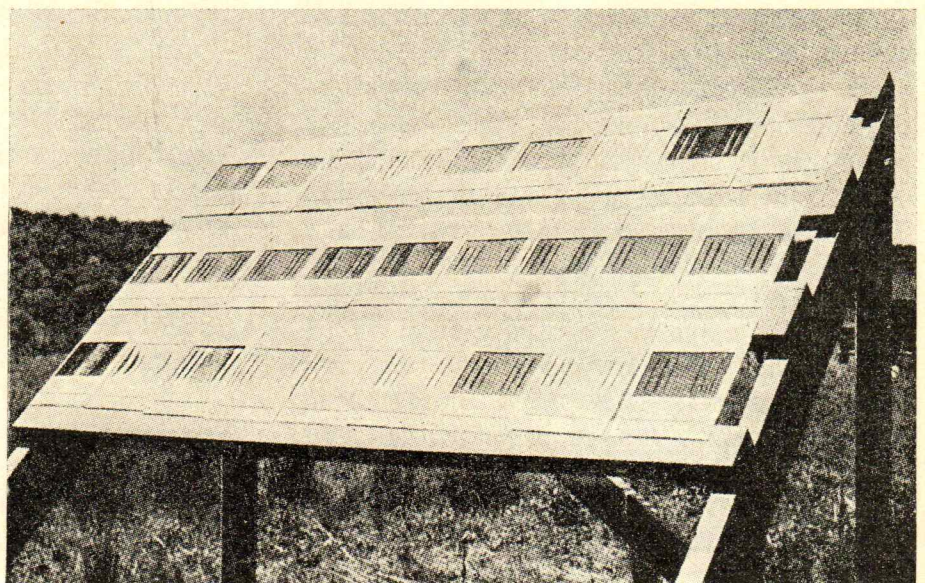
יהיה זה מועיל אם המהנדסים יוכלו להעריך את ההשפעות של מזג-אוויר על פלסטיק על-ידי האחדת שיטת הבדיקה ואחרי כן בעזרת כושר ניחוש ליישם את הנתונים בתכנון של דלק מיוחד. לרוע המזל, ריבוי של תנאי בליה ושל תכונות מתאימים והמספר הרב של סוגי פלסטיק שונים המובאים בחשבון לשימוש עושים גישה זו לדבר בלתי אפשרי. בכל מקרה יש להחליט על סמך תנאי מזג-אוויר נפוצים, על יסוד עיצובו המיוחד של הפלסטיק, הביצוע הדרושים, וכמו כן על יסוד הזיקה ההדדית של שלושת גורמים אלה. בדיקות ASTM תקניות אלו שבהן משתמשים כדי לקבוע את התכונות הפיסיקליות, המכניות, החשמליות והאחרות של פלסטיק מספקות לא יותר מאשר הערכות יחסיות על פלסטיק. מכיון שהבדיקות נערכות בהפסקות זמן קבור עות, אין הנתונים שהם מספקים מגלים כיצד יפעל פלסטיק תחת עומס מתמיד או בתנאי פעולה אחרים.

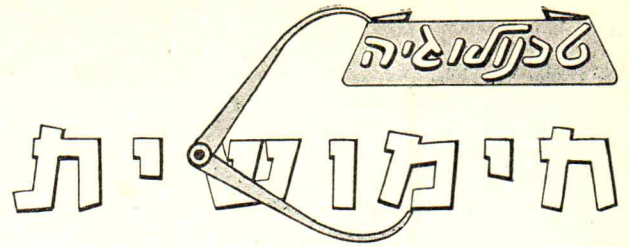
אפילו כאינפורמציה נסיונית בלבד, מכל מקום, צריך להסב

החל מ-1944 כשהיא אומצה לראשונה על-ידי ASTM ועד 1956, הובעה אי-שביעות רצון שהלכה וגדלה ב"כרוך" בשיטה זו. אי-שביעות הרצון נתבססה בעיקר על הקשיים שנתגלו בבקרה של הטמפרטורה ובהשגת רכיבים למכשיר. נסיונות לסילוח התרעומת הביאו לידי אימוץ של שיטה דומה (D 1501) בשנת 1957. שיטה שבה הוחלפה ה"מנורה הכחולה Si" בנור רות-פלאורגניות עבודה. אחרונה של ASTM התרכזה מסביב הכנה של נהוג (ASTM IP 1501-57) מתאים הראוי להמליץ עליו לשם שימוש במקור אור חדש: קשת-קסנון. האנרגיה המתקבלת מקשת-קסנון כמעט מעתיקה את אור השמש הממשי יותר מאשר כל סוג אחר של אור.

הואיל ובדיקות לבליה מבזבזות זמן ויקרות גם לביצוע ממליצים על מתאם (קורלציה) של תוצאות שהושגו בחשיפה חיצונית. בבליה חיצונית ובבליה מואצת כדי למנוע כפילות של מאמץ ובדיקה מקפת של חומרים שאינם ניתנים לשימוש. נהוג נכון הוא להשתמש בכושר ביצוע של כותלי-הבית כבדיקת-סכיכה בשביל חומרים המובאים בחשבון לשימוש, ואחרי כן לאמת סימנים מקדימים אלה על-ידי חשיפה חיצונית ממשית למען חומרים פלסטיים מביטחים יותר.

ציור מספר 7





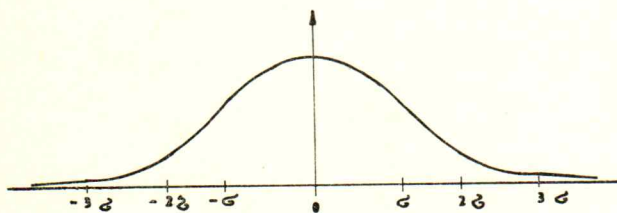
תוֹת חֵים וּאֵי פּוֹסֵם

- 1 -

לפי הרצאה למפקדים

בתחום מסוים המרוחק מנקודה זו (לדוגמה — לרוחב), נקבל את הערכים הבאים:

המקום בתחום המרוחק	האחוז מכלל הכדורים
$\pm 0.67\sigma$	50%
$\pm 1.0\sigma$	68%
$\pm 2.0\sigma$	96%
$\pm 3.0\sigma$	99.7%



ציור מספר 1

הערך המיצג בפילוג זה הוא σ (סיגמה) הנקרא סטית תקן, והוא מהווה את קנה המידה לפילוג הכללי.

ככל שהערך הזה קטן יותר מבחינה מספרית, כן תהיה התחייבות מדייקת יותר. לכל תחמושת ישנו ערך σ הנקבע בניסויים במספר רב מאוד של כדורים.

מה יקרה כאשר נירה מספר קטן של כדורים במדגם? היות וקיימת מקריות לגבי כל כדור, אין כל ודאות, שנקודת הפגיעה הממוצעת שמצאנו במקרה זה, אָמנם זהה לנקודת הפגיעה הממוצעת של כלל אוכלוסיית התחמושת שהיתה נורית בקנה זה. אך, לעומת זאת, דוקא מקריות זו מאפשרת לדעת עד כמה סטינו מן הנקודה הנכונה. הפילוג של גאוס מראה שקיים „סדר“ באי־הסדר לכאורה, והסיכוי שכדור יהיה קיצוני הוא קטן לעומת הסיכוי שהוא יהיה קרוב למרכז. אם נירה יותר מכדור אחד, הרי הסיכוי שכל הכדורים יהיה קיצוניים דוקא וסוטים ימינה, למשל, הוא קטן ביותר. מסתבר יותר — וזוהי תורת ההסתברות — שבמקבץ הנורה יטו חלק מן הכדורים

בגליון הקודם ניתחנו כמה גורמים במערכת הנשק והתחמושת אשר משפיעים על הדיוק ועל האיפוס. נעסוק כעת בבעיית האיפוס גופה.

תותח מאופס פירושו תותח הפוגע בדיוק בנקודה עליה אנו מסתכלים דרך נקודת המכנן הנמצאת בהתקן הכיוון. כדי להשיג זאת, עלינו לעבור תהליך מסוים. ידועה המעשיה על החייל אשר תמיד „פגע“ בבול. כלומר היה יורה תחילה ולאחר מכן מסמן סביב למקום הפגיעה את מעגל המטרה. בתהליך האיפוס אנו עושים דבר דומה — יורים תחילה ומכונים לאחר מכן את נקודת המכנן אל מקום הפגיעה. ההבדל הוא בכך שבהשקעת מחשבה מועטת ניתן להשיג כי בכל ירי נוסף לא יהיה צורך לסמן את הבול לאחר כל יריה, אלא לאחר שנכון יפגע התותח במקום הרצוי. העקרון, על כל פנים, נשאר — יש לכוון לנקודה מסוימת, לירות, ומבלי להיזיז את התותח יש לכוון בעזרת הברגים את התקן הכיוון אל נקודת הפגיעה הממוצעת. כעת כינו שנקודת המכנן ונקודת הפגיעה הממוצעת התלכדו, נוכל לכוון לבול ממש ולקבל פגיעה מאן ואילך.

סיבות אפשריות לסטייה אינדיבידואלית של תותח מסוים מנקודת המכוון המקורית הוסברו לעיל, ותפקידנו בתהליך האיפוס הוא למצוא את הסטייה האמורה, ולתקנה באופן מדויק ככל האפשר.

הבעיה האמתית הנה רמת הדיוק הנדרשת. ברור כי אם נירה מספר רב של כדורים נוכל למצוא את הסטייה באופן מדויק; אולם כל ירי נוסף פירושו יציאה רבה, ואנו מעוניינים להגיע למטרותנו במינימום היציאות האפשרי. לכן אנו מסתמכים על תורה מתמטית־סטטיסטית המאפשרת לנו להוציא מסקנות במספר מועט של כדורים, כאשר אי־הדיוק או הטעות שאנו מרשים, לא יעלו על ערך מעשי הנקבע מראש.

בלי להיכנס לפירוט החשבונות, הרי מספר עקרונות עליהם מסתמכים בביצוע ירי איפוס.

פילוג נורמלי לפי גאוס

התחמושת פועלת (נוהגת) בהתאם לפילוג הנורמלי של גאוס. בהתאם לפילוג זה, אם נקח את הנקודה המרכזית כנקודת הפגיעה הממוצעת ונרצה לדעת כמה מכלל הכדורים יפגעו

ימינה, וחלקם שמאלה, כאשר נקודת פגיעתם הממוצעת קרובה לנקודת הפגיעה הממוצעת האמתית. השגיאה קטנה והולכת ככל שהמדגם גדול יותר. מבחינה חישובית נקבע שגודל השגיאה עומד ביחס הפוך לשורש מספר הכדורים במדגם וביחס ישר לפיזור, כפול מקדם, הנקבע בהתאם למידת הודאות שבה אנו עובדים, (ודאיות של 95% וכו'). לגבי איזור הפיזור — בוחרים בדרך כלל באיזור פיזור של 95% לגובה ו-95% לרוחב, אשר ניתן (על ידי הכפלה) איזור של 95% לגבי כלל איזור הפיזור.

כמו כן, כתוצאה מחישובים אלה, ניתן לקבל שמציאת נקודת הפגיעה הממוצעת בעזרת 3 כדורים בלבד נותנת לנו אינפורמציה מספקת, כאשר תוספת כדורים בתחום מעשי הגיוני (עד 7 כדורים), אינה מצדיקה את תוספת המחיר הכרוכה בכך. ברור, שמציאת נקודת פגיעה ממוצעת בעזרת מספר כה קטן של כדורים, ביחוד כאשר מתכוונים לעשות איפוס חד-פעמי לאורך כל חיי הקנה, מביאה לשגיאה מסוימת. ניתן לשאול אם כך, האם במדגם קטן זה עדיין יש מקום לחשב בהתאם לתורה הקלאסית של הפילוג, אם שמא יש להחמיר בהוצאת המסקנות בהתאם לשיטות שונות וידועות.

תיאורטית יש מקום לשאלה זו. הסיבה לזניחת החמרות אלו היא העובדה שישנן בתהליך האיפוס החמרות נוספות אשר בסופו של דבר מביאות ברוב המקרים לתוצאה הנכונה — דהיינו מספר המקרים המאשרים תוחת כמאופס, בעוד סטיתו גדולה מן המותר, הוא קטן מאוד וכן בזבוז התחמושת במקרים אלה הוא אפסי ביחס למספר הכולל.

לאחר מציאת נקודת הפגיעה הממוצעת בשיטה זו, מתקנים את הסטייה ויורים כדור רביעי לשם אמות.

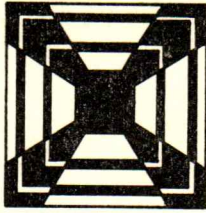
ירי כדור רביעי זה, אינו בעל משמעות מבחינה סטטיסטית. לכל היותר הוא יוכל לאמת את ההנחה שנתה התוחת מאופס בדרך השלילה (דהיינו — אי פגיעה תסתור הנחה זו).

הדבר נעשה בגלל שתי סיבות עיקריות: האחת — כדי לנדא ששום טעות דרסטית לא נעשתה. לדוגמה — שינוי לא נכון של התקן הכיוון — בגלל כל טעות אנושית או טכנית אפשרית (למרות הביקורת...). וזו כבר סיבה מספקת.

שנית — כל מקרה של פגיעה מחוץ לתחום הבול, מצריך הדבר ירי של שני כדורים נוספים. זוהי החמרה אשר יש לעמוד עליה ביתר אריכות.

בדרך-כלל הבול המשמש לאיפוס קטן במקצת מהגודל המכיל בתוכו את איזור נקודת הפגיעה הממוצעת ואת הפיזור הטבעי של התחמושת. כי במקבץ הקטן שעשינו בתחילה קיבלנו במקום „נקודה“ — איזור בגודל מסוים, שבתוכה, באחד המקומות, עשויה להימצא הנקודה האמתית. על איזור זה יש להוסיף את איזור הפיזור הטבעי של התחמושת. רק במקרה כזה נוכל לקבוע שכל כדור-אמות יפגע בתחום זה. אולם איננו מעוניינים במקרים הקיצוניים. מוטב לאפס מחדש במקרים אלה, היוצאים מן הכלל, מאשר להרחיב את התחום עד כדי כך שנאשר כ„מאופסים“ גם תותחים אשר הסטייה האמתית שלהם גדולה מזו הרצויה לנו ואשר לא נוכל לגלות אותם בגלל התחום הנרחב שהתרנו.

לכן מבכרים להקטין את הבול, ואז כדור שיצא מתחום מוקטן זה, למרות שמבחינה סטטיסטית הוא יכול בהחלט להשתייך למקבץ שנקודת הפגיעה הממוצעת שלו בתחום המותר, יגרום



מ ט ו ת — א י פ ו ס

ציור מספר 2

לכך שיהיה צורך להמשיך את האיפוס.

במקרה זה — ננכח בנקל עם מציאת נקודת הפגיעה הממוצעת החדשה, אם כדור האמות היה כדור קיצוני סתמי או שחלה טעות בתיקון הסטייה הקודמת.

החמרה נוספת הקיימת בדרך-כלל בהוראות איפוס היא שבכל מקרה שמקבץ שלושת הכדורים נותן יותר מפיזור מסוים (מרחק בין כדורים קיצוניים) יש להפסיק את האיפוס ולמצוא את הסיבה, כי ההנחה היא שפילוג התחמושת הוא נורמלי ואין להתחשב בכדורים „בורחים“. בגלל פשטות המדידה הרי, בדרך כלל, הופכים את העגול התיאורטי המשמש כבול לאיפוס למרובע; זוהי הקלה ה„מכשירה“ אחוז מסוים של תותחים שלהלכה היו חייבים להיות פסולים, אך היות, וכפי שנאמר, הבול המעשי קטן יותר — אין הדבר חורג מהתחום הנכון. עד כאן הצד התיאורטי. לגבי הביצוע המעשי של האיפוס קיימות הוראות, ובמסגרת זו ברצוננו להסב את תשומת-הלב למספר הקפדות תוך הסבר קצר.

כל פעולה בזמן האיפוס חייבת להיעשות תחת בקרה מלאה. לפיכך, בנקודה זו, שונות ההוראות מן המקובל, כאשר נאמר שאת הבאת צלב הכון בטלסקופ אל נקודת הפגיעה הממוצעת יש לעשות רק לאחר הנמכת הקנה וביצוע תיאום כונות מחדש. בצורה זו אנו מבטיחים שכל זמן שינוי הטלסקופ ישנה בידינו נקודת בקרה (הקנה מסתכל כל הזמן אל צלב המטרה), ואינה קיימת סכנה שבגלל המערכת המיכנית או ההידראולית „יפול“ הקנה או יסטה. שוב עלינו לזכור שכל הזמן מדובר בדיוק של חלקי אלפיות, אשר מבחינת זווית זהו ערך קטן מאוד ואשר אלמלא נקודת בקרה ברורה ונוחה ניתן היה להסיט את הקנה מבלי שנוכל בכלל להרגיש בדבר.

בצורה הנאמרת לעיל ניתן הן לשנות את מצב הטלסקופ והן לבקר זאת לאחר מכן בתנאים נוחים ומבלי למהר. רק לאחר שהושגה המטרה בדיקנות — דהיינו, הקנה מסתכל אל צלב המטרה והטלסקופ אל נקודת הפגיעה הממוצעת ניתן להמשיך.

מכניסה לנו אלמנט שאינו ניתן לביקורת לאחר מכן ומעמידה בספק נכונות האיפוס.

ההנחה שאין חוזרים על האיפוס אלא במקרים יוצאי־דופן ישנה חשיבות נוספת שיוקצו זמן ואמצעים שישימשו באופן בלעדי את האיפוס, ושזה לא ייעשה אגב אורחא תוך כדי ביצוע פעולות אחרות. כמו כן יש להביא בחשבון שהיעדר תנאים אטמוספריים נוחים (טמפר' בסביבת 25° צלסיוס, תנאי ראות והיעדר רוחות) עלולים לדחות ביצוע איפוס, וממילא גם לשבש תכנית אימונים לאחר מכן. יש להביא בחשבון דבר זה, ויש למצוא דרך בכדי לנדא שהאיפוס ייעשה בזמן מוקדם ככל האפשר.

לסיכום הדברים שנאמרו לעיל נראה שהאיפוס הינו תהליך שכל המתעסקים בו חייבים לדעת את היסוד התורתי שבו. לכן יש ללמוד אותו ולהתמחות בו, ולהפקיד את הביצוע בידי אנשים שיועדו לכך.

כל הקשור בירי בתותחים כרוך ביציאות רבות מאוד. לפיכך, כל ירי חייב להיות מבוקר היטב וכל אינפורמציה המתקבלת חייבת להיות מכסימלית. יש להדגיש, בנקודה זו, שאינפורמצייה זו היא מצטברת, וכדאי מאוד לאסוף אותה באופן מרוכז. היא עשויה להעניק תוצאות מפתיעות ולהביא לחסכון עצום בתחמושת, כאשר ניתן יהיה להוציא מסקנות על „משפחת” כלים מסוימת.

כדי להגביר את סיכויי הפגיעה הכולל נעשות פעולות רבות. בהלקן תלויות באדם ובתרגולו, ובחלקן תלויות באמצעים הטכניים העומדים לרשותו. האיפוס הוא אחת הפעולות הללו. במסגרת מאמר זה הצטמצמו בסיבות ובתוצאות המושגות בגלל האיפוס בלבד, ללא קשר לגורמים האחרים ולמידת ההשפעה שיש לכל אחד מהם. דבר אחד הנו מעל לכל ספק — תותח מאופס היורה במדויק למטרה אליה הוא מכוון הוא יסוד לכל האמצעים הנוספים ולכל השיטות השונות שתכליתם לנדא שאמנם תושג הפגיעה במטרה.

מעלים מחדש את הטלסקופ לטנח הנכון ויורים את כדור האימות. מבחינה תיאורטית ישנה בכך שגיאה מסוימת (קביעת הסטייה מבלי להתחשב בזווית ההגבהה). אך שגיאה זו היא אפסית ממש, ולעומת זאת היתרונות שאנו מקבלים בגלל הבקרה המתמדת עולים לאין ערוך על החסרונות (כולל הסיבוך הנוסף בתהליך האיפוס).

רישום התוצאה הוא החלק החשוב ביותר. כי מכאן ואילך ייעשה בתוחת תיאום־כונות בלבד, כאשר נלקחת בחשבון הסטייה שנמצאה בתהליך האיפוס. הרישום חייב להיות ברור והמפקדים מתורגלים היטב לקריאה נכונה על תיקון זה, כדי לא „להכפיל” את השגיאה בזמן התיאום השגרתי.

נקודת תורפה בזמן תיאום כונות הוא ענין החוטים המהווים את הצלב על הלוע. (בהעדר Boresight) חלק גדול מהדיוק שהושג בזמן האיפוס עלול ללכת לאיבוד אם תהיה הזנחה בהנחת חוטים אלה, בלקיחת חוטים גסים מכל הבא ליד, או בהצמדם לבלם־לוע במקום ללוע הקנה עצמו. לשם המחשה, הרי — סטייה של 0.5 מ"מ בצלב החוטים עלולה לגרום לסטייה של 100 מ"מ ויותר במטרה. אם נוסיף על כך את השגיאה הנוצרת בגלל הקושי בכיוון דרך הלוע, נגיע מהר לתוצאה שבהשוואה לגודל הבול כולו עלול אי־דיוק זה להיות גדול מאוד. אין ברירה אלא להתרגל למחשבה שכל פעולות ההכנה הללו לקראת ירי מדויק חייבות להיעשות בקפדנות ובדקדקנות והן קשות יותר מאשר הכיוון בטלסקופ בשעת הירי — שזוהי פעולה פשוטה וקלה מאוד יחסית. אך בהעדר ההכנה הנכונה לא יועיל הכיוון המדויק בזמן הירי גופו.

דובר רבות על מדידת טנח מדויקת לצורכי איפוס. גם כאן כל אי־דיוק „יונצח” ויתבטא בכל ירי לאחר מכן. התגברות על בעיה זו היא פשוטה יחסית וחד־פעמית. יש למדוד בדיקנות, בעזרת מכשירי מדידה מדויקים מקומות מספר (שאינם רבים) העשויים לשמש לצורכי איפוס, ונקודות אלו יסומנו באופן ברור. כל שיטה אחרת מאולתרת פסולה מעיקרה, כי היא

עמידות פלסטיק בהשפעת מזג אוויר (המשך מעמ' 32)

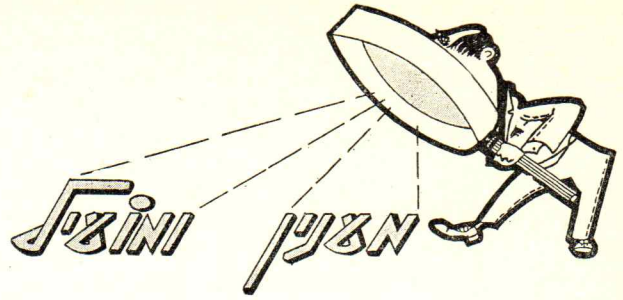
המקשר. דוגמה של מצב זה עשויה להינצר בחומר בו ניתן יהיה לשאוב מים לתוך החומר בין על־ידי ספיגה או בין על־ידי פעולת פתילה (wicking action). טמפרטורה העוברת במחזוריים דרך נקודת־הקיפאון עלולה לקרוע את המקשר בין השכבות. החלשה זו של המקשר אפשר לגלותה בעזרת שיטות הבדיקה שהוזכרו.

משתמשים בדרך כלל בצלולוזות כמערכות עשויות פלסטיק כך שיש לחשוב על טכניקה למדידת ההפסד של פלסטיק. הפסד כזה אפשר לגלותו על־ידי בדיקת קשיחות. בבחירת פלסטיק לשימושים חשמליים, צריך למדוד את השפעות מזג־האוויר על תכונות חשמליות. אם יש חשיבות לדליפת זרם, צריך לבדוק את כושר התנגדותו של פני השטח. אם הפלסטיק צריך לעמוד במתחים גבוהים, תהיה בדיקת החוזק הדיאלקטרי או בדיקת התנגדות לקשת חשמלית הם בעלי משמעות רבה יותר. לשימושים אחרים, שינויים במקדם־דיאלקטרי או במקדם־הפסד עשויים להיות השיקולים העיקריים.

תשומת־לב מיוחדת כדי להשוות אופיי־פעולה רבי־משמעות. לדוגמה, משתמשים בחומרים מסוימים בעיקר בגלל בהירותם האופטית. מכאן, שבשביל לוחות־מתיל של חומצה מתקרילית או לוחות־פוליאסטר שקופים, כל שינוי בכושרם להעביר אור עלול להיות חמור, בה בשעה שינוי בתכונות החוזק שלהם עשוי להיות בלתי מזיק אם לא הופעל מאמץ על החלק במידה רבה.

חוזק מכני הוא היוני, מכל מקום, ברבים מן המקרים בהם משתמשים בפלסטיק, וחשוב להשוות נתון רבי־משמעות זה. התבלות הנגרמת על־ידי מזג־אוויר מתחילה, בדרך כלל, במשטח חשוף ומתקדמת לתוך־החומר; לפיכך, בבדיקה לכפוף שבה המאמצים הגדולים הם במשטח החומר, יש לבסס את הנתון על מדגמי־הבדיקה שהונחו במסגרת הבדיקה באופן שמשתחיהם החשופים נתונים למאמצים הגדולים ביותר.

אם החומר המובא בחשבון לבדיקה הוא בעל מבנה לבוד, עלולה לחול פגימה על־ידי הפסד של כוחות מידבקים בין השכבות. במקרה מעין זה, רצוי יותר לבצע בדיקה של חוזק



מעטפת נשרפת בשביל ה"שיללה"

מעטפת נשרפת המשמשת לירי טיל ה"שיללה" — הטיל המיועד לפעולה הן נגד טנקים והן נגד ביצורים בשדה, נכנסת עתה ליצור ראשוני.

"זו הפעם הראשונה שמעטפת נשרפת יוצאת מבית היוצר בשביל מערכת טילים", אמרו מהנדסי חברת המחקר האטלנטית אשר בה מפתחים את מעטפת ה"שיללה".

הרעיון של המעטפה הנשרפת נבע מעבודת הצבא במשך למעלה מ-10 שנים במפעלי "פקנטי ארסנל" מחקר אשר שנים אחדות קודם לכן הביא לפיתוח התרמיל הנשרף של תותח ההוביצר 105 מ"מ. לא רק שהכדורים בעלי התרמיל הנשרף קלים יותר וזולים יותר מאשר הכדורים המקובלים, אלא אף לאחר היריה לא נשארים תרמילים ריקים הגורמים לאי-סדר בטנקים והיוצרים בעיות של החזרתם לבסיס. יתרונות אלה היוו גורם בבחירת המעטפת הנשרפת לטיל השיללה.

גורמי בטיחות

מחוץ ל"שיללה" חיפשה החברה המייצרת (חברת המחקר האטלנטית) מעטפת נשרפת בשביל טילים מטאורולוגיים ושאר טילים המשולחים מעל לשטחים מאוכלסים.

הבעיה המעסיקה את המתכננים היא כיצד להשמיד את נחיר הפליטה בצורה היעילה ביותר. ראש המחלקה לתכנון ב-ARC אמר שהתשובה לכך היא נחיר פליטה מתרסק. הוא גם הציע לבנות את גוף הלוינים במתכונת תרמיל נשרף, כי כאשר ספינת-חלל לא תביא עוד תועלת אפשר יהיה להשמידה. השמדתה של המעטפה הנשרפת מתאפשרת הודות לכך שהמחצן והדלק, כלומר חומר ההנעה של הטיל נמצאים



בעצם החומר ממנו היא עשויה. בין החברות המטפלות בנושא זה נמצאת גם חברת "הרקולס" אשר יוצרת מעטפת העשויה מסיבים שזורים, והמיועדים לטילים מטאורולוגיים.

כיון שהמעטפת הנשרפת הלשה יחסית היא מתאימה רק לטילים קטנים על בינונים. קוטרה של ה"שיללה" למשל הוא בערך 150 מ"מ.

כיצד זה נעשה?

שיטת הייצור של חברת ARC היא צורה מסוימת של ליבוד אשר טופחה ועובדה על-ידי חברת "Illinois Institute of Technology" אך היא מבוססת על השיטה העתיקה של עשית הניר. כל סיב-סיזל, כל פסולת-עור, נסורת, שיער או סיב זכוכית ניתנים לליבוד.

בדרך-כלל מכינים תמיסה ממים, סיבים וחומר מדבק. את המים שואבים על-ידי ריק והסיבים נשארים בצורת "לבד" בעל סיבים הזורים אחד באחר על מסך או על תבנית נקבובית.

למרות שהרכב המעטפה הנשרפת ל"שיללה" מסוג, ידוע כי התערובת האפשרית צריכה להכיל נסורת, קרטון וסיבי מגנזיום. יסודות אלה יכולים להיות לבודים עם חומר מחמצן ומלוכדים בעזרת שרף. משקלה הסגולי של המעטפת הנשרפת הטיפוסית הוא בערך 0.35 גר/ס"מ³ לעומת המשקל הסגולי הרגיל של 2.7 גר/ס"מ³ במעטפת אלומיניום לטיילי מחקר. כדי לקבל את תהליך הליבוד על בסיס יצורי מזינים את העיסה בתבנית סגורה כשמסביבה משתרר ריק והמים נשאבים החוצה; המעטפת נלחצת בתבנית כדי לדהוף החוצה את עודף הרטיבות ואז נפלט התרמיל. אחת הבעיות היסודיות העומדת בגני היצרנים היא כיצד להשיג פשרה משיעלת רצון בין הצורך בנקבוביות גבוהה, העוזרת למעטפת להישרף, ובין נקבוביות נמוכה הדרושה להגברת החוזק הכולל.

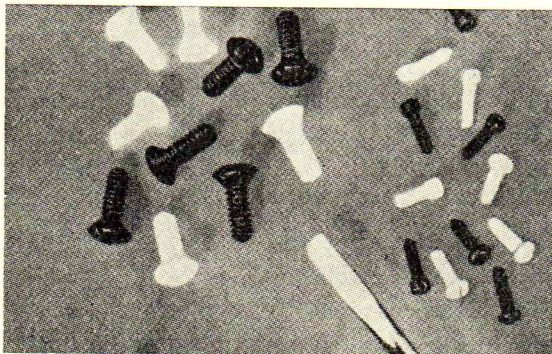
דובר ה-ARC טוען כי עלה בידיהם לפתח תערובת המהווה פתרון מניח את הדעת. בחפשמ אחר ישומים נוספים למעטפת הנשרפת רואים אנשי ה-ARC יישום כזה לכדורי 20 מ"מ בתותחי מטוסים. ואם רעיון זה יצא לפועל, תמנע הטרדה הנגרמת במטוסים, מתרמילי התחמושת הריקים. חברת ARC רואה שימוש נוסף למעטפה זו — השימוש ללוחמה כימית.

מאחר שאפשר להכליל בהרכב חוד המעטפת כימיקלים הגורמים לשיתוק, ואפשר לפוצץ את ראש הטיל מעל המטרות כך שהחומר יפוזר על פני שטח נרחב הרי שהושג כלי-נשק עם ראש-נפץ דו-תכליתי.

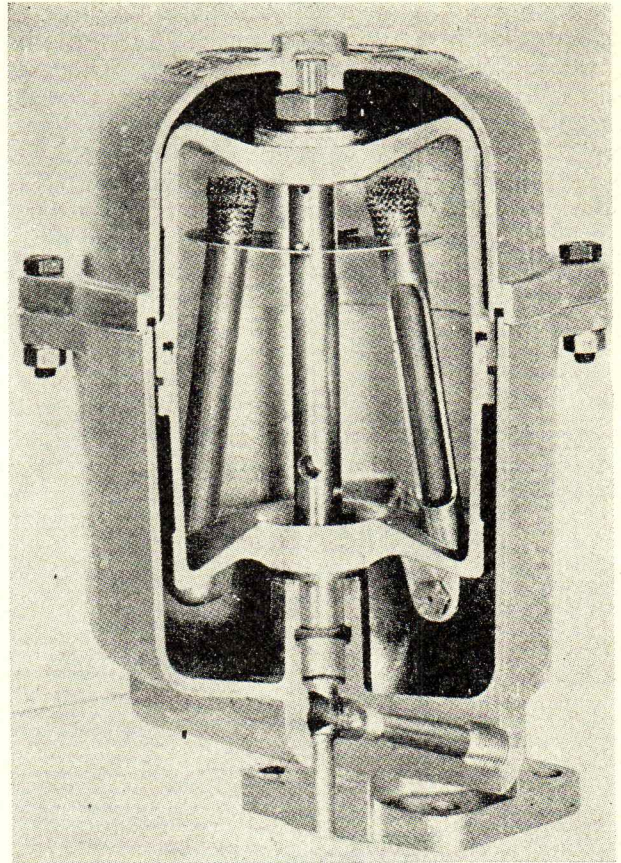
ראה מאמר בנושא בגליון מספר 9.

ברגים עשויים חומר ניילון

נוסף על שורה של מהדקי-ניילון מיוצרים כיום ברגים תברגיניים בעלי "ראש" עגול או סגלגל. אורכם של בורגי ניילון אלה הוא מ-9/64 אינץ' עד 14 אינץ' וניתן להשיגם בגון שחור או בגון הטבעי של ניילון. הודות לשימוש בחומר ניילון נעשה הבורג מבדד-עצמו ולבלתי-מגנטי, בעוד שהוא מספק חוזק בעל פיתול גבוה, יציבות בטמפרטורה גבוהה והתנגדות לשחיקה.



מסננת שמן חדשה של „מיליון-מייל“



נוחה של הרוטור לצורכי ניקוי. קיבול השמן של מסננת השמן החדשה הוא 1.7 ליטר בערך. לכן כשהמסננת נקיה, נדרשת כמות פחותה של שמן לשם מילוי-מחדש, לעומת מסננות מקובלות אחרות.

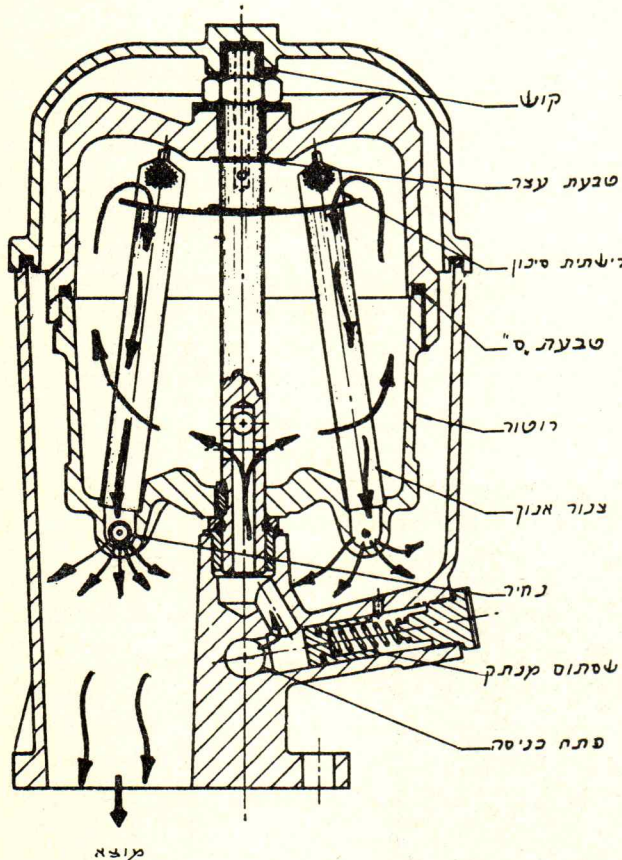
רשימת-היתרונות:

- יתרונות המבנה של מסננת שמן צנטריפוגלית זו הם כדלקמן:
1. אין צורך להחליף כל אֶלֶמֶנט שהוא ומכך מתבטל הצורך באגירת מלאי חלקי חילוף.
 2. כדי למלא את המסננת דרוש פחות שמן מאשר ביחידות של מסננות מקובלות.
 3. המסננת תופסת פחות שטח, והיא קלת משקל מאשר מסננת מקובלת בעלת אותו קיבול וכן אפשר להרכיבה על המנוע במקור מות שונים.
 4. חומרים המוספים לשמן אינם מושפעים על-ידי מבנה המסננת הצנטריפוגלית.
 5. זרם הסינון הוא יציב, ואינו משתנה בהשפעת הכמות של הלכלוך הלכוד במסננת.
 6. יעילות הסינון אינה משתנה, שכן המסננת אינה תלויה בגוש הסינון.
 7. לכלוך לכוד במסננת ניתן לבדיקה בקלות וביסודיות כדי לגלות לכלוך בלתי רגיל המצביע על תקלות שונות במנוע.
 8. לכלוך סמיך וקשה, אפילו בגודל של תת-מיקרון, אפשר לפורר, שכן פעולת מסננת זו מתבססת על צפיפות חלקיקי הלכלוך ולא רק על גודל החלקיקי-הלכלוך.
 9. אפשר לטפל ביחידה בקלות ובנוחות.

אורך החיים של המסננת

לפי דברי מנהלי חברת "Weatherhead", מסוגלת מסננת השמן להתמיד בפעולתה, בתנאי-פעולה רגילים, עד 10 שנים בקירוב, 10,000 מייל לשנה. לכן כינוי אותה בשם: „מסננת-שמן של מיליון-מייל“.

מסננת השמן הצנטריפוגלית הזו מצויה בשוק בשתי מידות: GF1 (מיועדת למנועי דיזל בעלי קיבול של פחות מ-300 אינץ'ק) ו-GF2 — (למנועים אחרים).



חברת "Weatherhead" מייצרת מסננת-שמן חדשה מטיפוס סינון עקיף, המסוגלת להתמיד בפעולתה עד „מיליון מייל“ והמתאימה לשימוש הן בנסיעות בכבישים והן בנסיעות דרך-שדות. הדבר המפריע ליא במסננת-שמן זו — שאין בה שום אלמנטים הדורשים החלפה. למעשה, מסננת מסוג זה מצויה בשוק האירופי כבר כ-9 שנים (לדוגמה: מנועי מאקס-קניה משתמשים במסננת-שמן זו כציוד תקני).

ביצד פועלת שיטת-הסינון החדשה בתוך מסננת שמן זו?
בתוך המסננת הצנטריפוגלית של חברת "Weatherhead" בנויים וכתירומיה. שסתום-מנתק מונע זרימה לתוך המסננת עד שלחץ השמן מגיע ל-15 פ' לאינץ'. הודות לכך מובטחת זרימת שמן מכסי-מלית לתוך המנוע בתנאי התנעה שונים של המנוע. אם קורה ונפתח השסתום — תהיה הזרימה מבוקרת על-ידי שני פתחים (ראה דיאגרמה בדבר כיוון זרימת השמן).

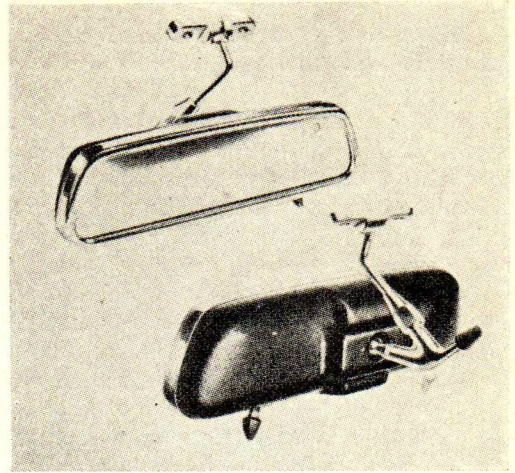
שמן נכנס לתוך הרוטור (עיין תצלום) וממלא לגמרי את תא המסננת. השמן המסונן יוצא מן הרוטור דרך הנחירים הקדמיים בתחתיתם של צינורות-אינון. כוח התגובה המתרחש כתוצאה מכך יוצר פיתול המסובב את הרוטור במהירות גבוהה (5000 סל"ד, דבר המתאפשר הודות לכך שהרוטור מסתובב על-גבי כרית שמן). כוח צנטריפוגלי זה מביא לכך שהלכלוך מצטבר על דפנות הרוטור. רשתיות-סינון שמעל צינורות-האינון מונעות בעד הלכלוך מלצאת יחד עם השמן הזורם החוצה וכן מונעים הן סתימת הפתחים על-ידי גושי הלכלוך הגדולים יותר כשהמסננת מתחילה או מפסיקה להסתובב.

הלכלוך הנשאר בשמן ניתן לעבר דפנות הרוטור עליהן הוא מתקשה לגוש דביק, אותו ניתן יהיה להסיר ללא קושי בעזרת מברג או מגרד. משנוקה הרוטור ולפי דברי היצרן דרוש טיפול זה לעיתים רחוקות בהרבה, מאשר נהוג בטיפול המקובל — מוכנה המסננת לשימוש-מחדש מידי. בית המסננת בנוי כך שהיא מאפשרת הסרה

ברגים ומהדקים

מראה לנהיגה מונעת-סינוור אוטומטית

מטרת המצאה זו היא לאפשר צורה משופרת של שריוול בעל הברגה פני-מית, אשר לא יסתובב כאשר יוברג לתוכו בורג או תברג כלשהוא וכן הוא יהיה בעל התנגדות גדולה יותר לשליפה כאשר הוא תחת עומס צירי. הצירים שלהלן מראים חתך דרך שריוול המותקן בקדח בתוך עץ לפני הכנסת בורג לתוכו וחתך שני אחרי הברגת בורג לתוכו. החלק הגלילי A של השריוול הוא בעל תברוג פנימי; חלק תחתון מהורץ הוא בלע, "רגליים" ישרות B ו"רגליים" מכופפות C. רק החלק העליון הפנימי של השריוול בעל תברג ואילו חלקו התחתון שבין ה"רגליים" נשאר חלק. כאשר מוכנס השריוול לקדח, קצות ה"רגליים" B ננעצות בחומר שבתחתית הקדח שכן עומק הקדח קטן במקצת מאורך השריוול. כאשר מוברג בורג לתוך השריוול הוא דוחף את ה"רגליים" C כלפי חוץ. וקצותיהם החדים ננעצות בחומר המקיף את הקדח הנראה בתרשים.

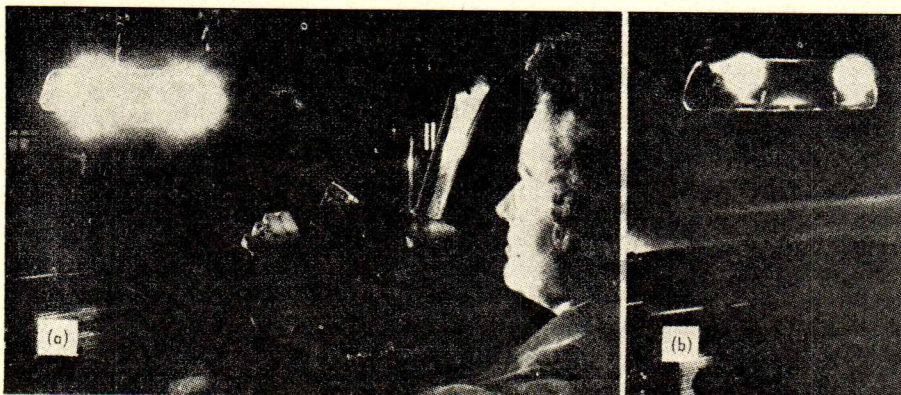
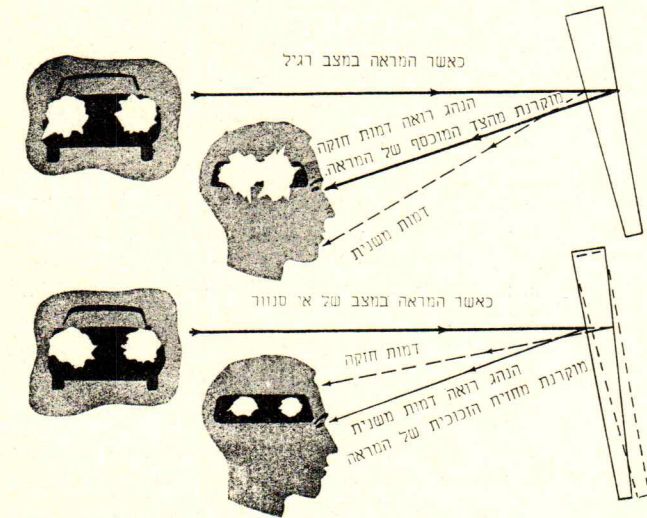
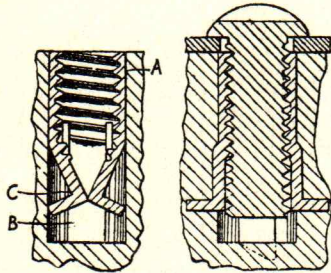


בפינה אחת של מראת הנהיגה הפריזמטית ישנו חריר המשמש בית ל"פוטו-נגד" (Photoresistor). הנגד מחובר לשלושה טרנזיסטורים במעגל, המבקרים הפעלתו של סולנואיד קטן. המעגל מקבל את עצמתו ממצבר המכונית דרך מתג האורות. כך שהוא מקבל זרם רק בשעה שהאורות הופעלו. אורות הנופלים על ה"פוטו-נגד" גורמים להפחתת ההתנגדות. והתוצאה — המעגל האלקטרוני מפעיל את הסולנואיד אשר מזיז את המראה למצב של אי סינוור. כאשר האורות המפעילים נעלמים, גדלה ההתנגדות של התא, הטרנזיסטורים משחררים את הסולנואיד המחזיר את המראה למצבה הקודם. המעגל האלקטרוני כולל חלק מעכב, העוצר בעד המראה מלחזור ברגע שהאורות נעלמים, כיון שתוצר מעין רעידה של המראה.

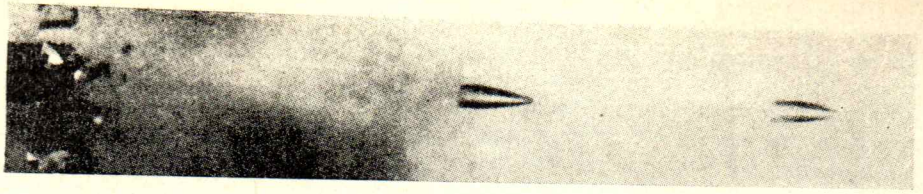
מצבר בן 12 וולט מספק את הזרם שהוא בסביבות $\frac{1}{2}$ אמפר בלבד. במצב חזותי רגיל של המראה, הנהג רואה את הדמות הנוצרת על המשטח המוכסף של המראה. באותו זמן בדיק, נוצרת על חזית הזכוכית דמות משנית בעלת עצמה מוקטנת בהרבה, אולם מוזנת מהדמות הראשית בגלל הצורה הפריזמטית של המראה.

כאשר המראה נמצאת במצב של "אי-סינוור" מוגבהת הדמות הראשית מקו הראיה של הנהג, אשר רואה רק את הדמות המשנית המוהלת.

מתג בעל שני מצבים על גבי המראה, מאפשר ניתוק המראה מן המצבר ומאפשר הפעלתה ביום על-ידי הנהג, למקרה של סינוור מהשמש.

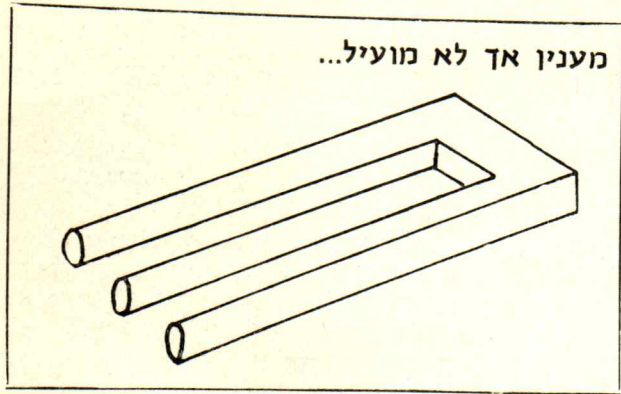
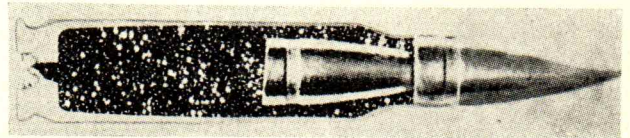


מראת הנהיגה בשני המצבים.



כדור רובה בעל קליע כפול

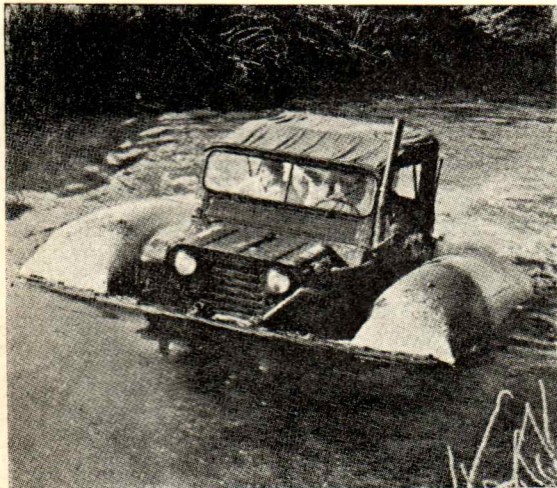
כדור מסוג חדש פותח על-ידי הצבא האמריקאי. כדור זה היורה שני קליעים מתרמיל אחד מכפיל את סיכויי החייל לקליעה בטנח קצר. הכדור דומה בצורתו החיצונית לכדור הרובה המקובל. הקליע השני נמצא מאחורי הקליע הראשון כשהוא צמוד לו. הוא תוכנן שלא לנוע במסלול הראשון, אבל מתוך מגמה להגדיל את שטח הפגיעה. לשני הקליעים יחד יעילות גדולה יותר משל הקליע המקובל 7.62 מ"מ. אולם טנחם קטן מטנח קליע זה ב-150 מטר בקירוב.



מענין אך לא מועיל...

„כנפיימים“ לגיפ

שקים המהוברים לרכב צבאי של 1/4 טון (גיפ). יכולים להציפו על פני מים בשעת חציית נהרות או אגמים. השקים המתחברים לרכב בקלות מתנפחים על-ידי גזי פליטה של המנוע, ומציפים את המכונית על פני המים, בעוד שהתקדמותה נעשית על-ידי האופנים הסובבים והמגעשישים במים.



מדידת המרוח במיסב-ההחלקה

דרך פשוטה ומהירה למדידת מרנח הגל במיסב-ההחלקה נעשית בעזרת „מדיד פלסטי“. דוחקים בתוך המיסב קטע דק של תרכובת פלסטית המעוצבת בדיקנות ומוודדים את מידות המעיכה של התרכובת. לתכ- לית זו מצויה תרכובת פלסטית יציבה בצורה של מוטות. מוט באורך קצר מושם בתוך קסווה של מיסב-ההחלקה המפורק והי מנוקה, אותו יש להרכיב מחדש אחרי כן. על-ידי סגירה במומנט הידוק קבוע של בורגי המיסב נמעך המוט שהוכנס בין פינה-הארכובה ובין הקסוונה. לאחר מכן מפרקים את המיסב; ועתה ניתן יהיה למדוד את רוחבו של המוט המעוך מול המדיד המודפס על הקופסה. אפשר לקבוע את ההתייחדות והסגלגלות של המיסב על-ידי עריכת שתי מדידות מעין אלו בזווית של 90 מעלות כלפי הפין. התרכובת נמסה בשמן מינרלי ואין צורך, לכן, להסירה אחרי השימוש בה. מצויים מוטות-תרכובת תקינים לתחום של מדידה יעילה מ-0.001 אינץ' עד 0.004 אינץ' ומניחים שבקרוב יוצרו קוטרם אחרים אשר יתנו גבול מדידה עליון של 0.007 אינץ'.

התמונה מראה קסווה של מיסב מפורק כשמידת המעיכה של המוט נמדדת מול המדיד.



רכישת אוגדנים וגליונות קודמים

מנויים המעונינים ברכישת אוגדן נוסף להחזקת „מערכות חימום“ ישלחו סך 3.25 ל"י אל הוצאה לאור, רחוב א' מס' 5, הקריה, תל-אביב. כמו כן לקוראים המעונינים בהשלמת אוסף „מערכות-חימום“ אפשרות לרכוש גליונות קודמים (פרט לגליונות 12, 13, 3, 1) תשלום של 1 ל"י עבור כל גליון „מערכות-חימום“.

רובה הפועל על-פי עקרון ה"לזר"

מאז ה"לזר" הראשון הועלו השערות שונות בקשר לאפשרויות השימוש ב"לזר" בתור כלי נשק. ההספק העצום שלו (ההספק המכסימלי הוא בקרבת 1000 מגה-וואט) והקרון הצרה אשר נפלטה על ידו מזכירים את "קרון המוות" ו"קרון הלהט" מסיפורי המדע הדמיוניים. נשק כזה הוא בעל היתרונות הבאים:

- אפקט מידי (זמן תעופה אפסי):
- קל לשימוש ונוח לפגוע אתו במטרה.
- אינו מושפע מרוח.

כלי נשק הפועל לפי עקרון ה"לזר" אפשרי מבחינה תיאורטית. אך הקשיים המעשיים גדולים:

- כדי להשמיד טיל יש צורך בהספק עצום.
- הקרון הצרה גוררת בעקבותיה צורך בדיוק-כיוון רב יותר מהאפשרי כיום.
- כלי הנשק מתאים לשימוש בעיקר בחלל, משום שבשימושים אחרים תעכב האטמוספירה את התקדמות הקרון.

פרופסור תירינג מוינה, הסביר את בעיית ההספק בצורה ברורה. הוא הציג את בעיית ההשמדה של טיל בטנח של 50 ק"מ, כיון שקרון ה"לזר" אינה מקבילה בדיוק וכיוון שאי אפשר למקד אותה על מטרה נעה בטנח כזה, אין אפשרות להשתמש בה כדי לה"בעיר" הור במעטפת לפחות ראש-הנפץ חייב להינתך. כפי שפרופ' תירינג מראה, יצריך דבר זה הספק של יותר מ-160 מגה-וואט, במשך דקה, לפחות, דבר אשר הוא מעבר ליכולתו של כל "לזר" ידוע. יתר על-כן, למכשירים בעלי הספק גבוה יש כיום נצילות נמוכה שאינה עשויה להגיע מעבר ל-10 אחוז, להוציא מן הכלל את הפיתוח של טכניקה חדשה, כך שהספק הכניסה חייב להיות פי עשר גדול מהספק מיציאה, אם כלי-הנשק מיועד לשימוש באטמוספירה, יש צורך בתור ספת הספק גדולה כדי להתגבר על בליעת האטמוספירה. 160 מגה-

וט הם בסדר גודל של פי עשר מאשר ההישגים הידועים בעבר. כנשק נגד אדם, ה"לזר" אינו חייב לפעול בהספק גבוה, המתקנים הנוכחיים מסוגלים לגרום עורוץ, או פגיעה המורה בעין, ממרחק של כמה אלפי מטרים. העיניים, במקרה זה, הם אמצעי מצוין למקד את הקרון למקום בו היא תגרום לנזק הרב ביותר. בכל מקרה, דבר זה יצליח רק אם הקורבן יפנה פניו ישר מול לוע כלי-הנשק. אפקט נוסף הוא החום העלול לגרום נזק לבגדים ולגוף ואותו אפשר להשיג עם תוספת הספק. אך אמצעי הגנה, המו למשל; הומרים מחזירי אור, מסך עשן וכדומה, מורידים במידה רבה את היעילות. חברת "מיסר אופטיקס" מסרה בעת האחרונה לצבא ארה"ב רובה "לזר" (הנראה בתמונה) אשר, לפי טענתה, יכול לעורר אדם או להצית את בגדיו ממרחק של 1400 מטר בערך. משקלו של ה"רובה" כ-11.3 ק"ג.

הרובה "נטען" על-ידי סוללה המאפשרת 10,000 הבזקות כשהזמן בין הבזקה אחת לשניה הוא 10 שניות. זהו התקן פרימיטיבי ביותר וכל ערפל קל או עשן מבטלים את כושר ההצתה של הכלי. הצעד מכלי נשק זה ועד לכלי נשק בעל יכולת השמדה עדיין גדול מאד.

כרגע נראה עתידו של ה"לזר" ככלי נשק מוגבל ביותר, על כל פנים אי אפשר להתעלם מפיתוח נוסף של נשק מסוג זה ויתכן שאפשר יהיה להשתמש בו כחלק ממערכת נשק, כלשהי.



קורא נכבד,

שמחנו כי נענית לבקשתנו ומלאת את השאלון שצורף לגליון, "מערכות חימוש" מספר 16.

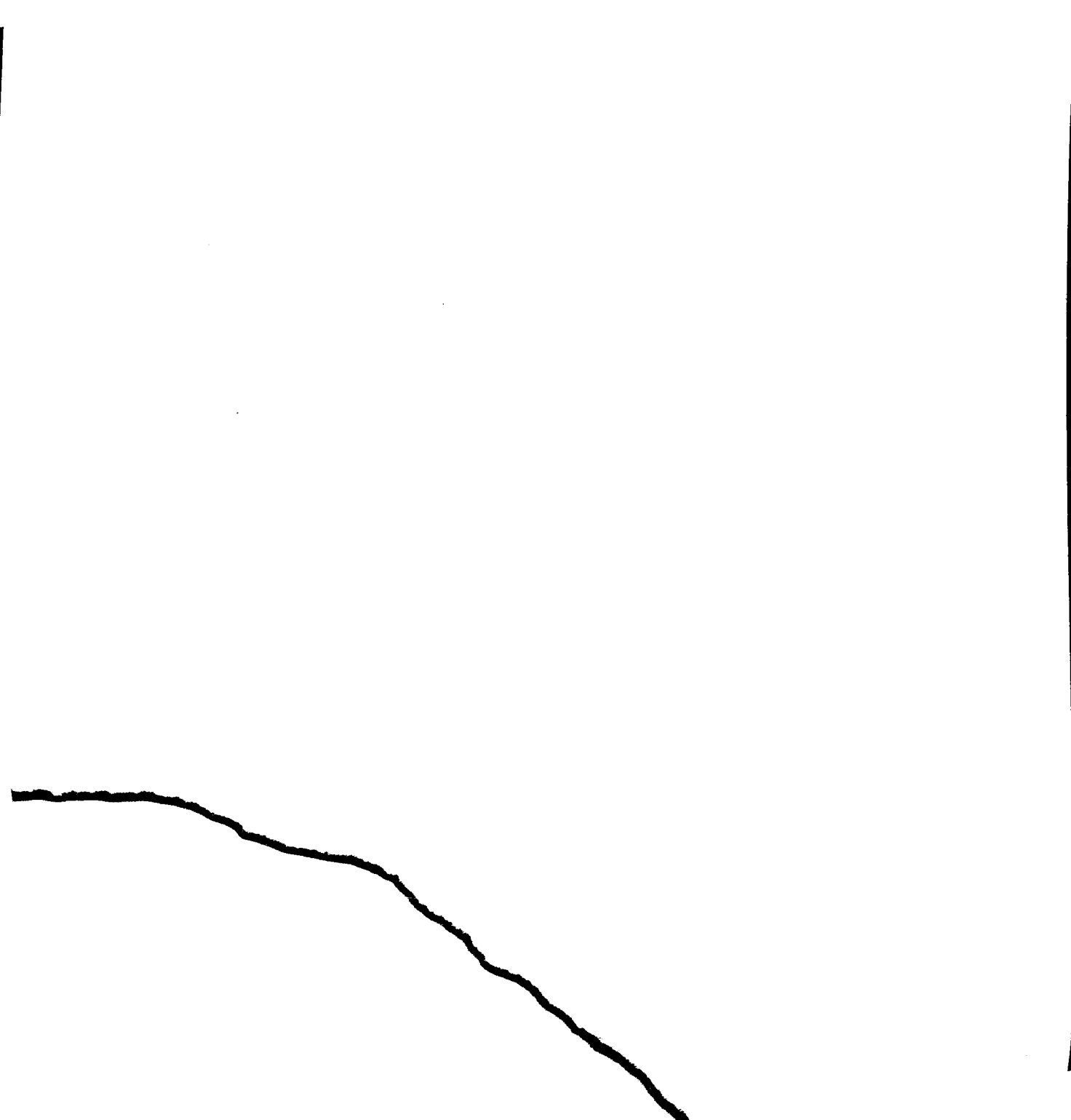
הערותיך נבדקו ויסייעו בידינו בשיפור תוכן הרבעון. כבר בגליון זה המונח לפניך תוכל להבחין בכמה שינויים שנעשו על יסוד ההערות השונות שהגיעו למערכת.

היו מבין הקוראים שהציעו לפתוח ברבעון מדור בו יוכלו להתבטא ולהעיר הערותיהם. לאלה הננו מזכירים כי מאז גליון מספר 2 קיים ברבעון מדור בשם — "מכתבים למערכת", בו נתנת האפשרות להעלות רעיונות הצעות וכדומה. נשמח להרחיב מדור זה אם יגיעו מכתבי קוראים. כמו כן נעלה גם אנו מדי פעם, בקשות ורעיונות במדור זה.

אך העיקר הוא לא בחידוש מדור זה. דרושים לנו בנוסף לקוראים הרבים אף כותבי מאמרים רבים. הננו בטוחים כי מצויים כאלה בקרב הקוראים.

אנא, שלח לנו הקורא מפרי עטך — כי מאמרך הוא שיקבע וישפר את תוכן הרבעון.

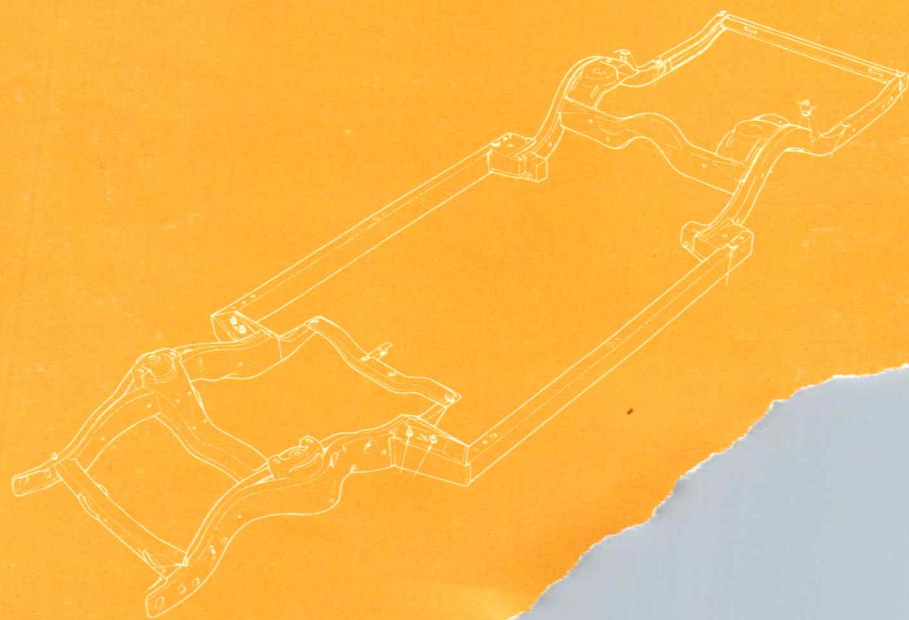
העורך

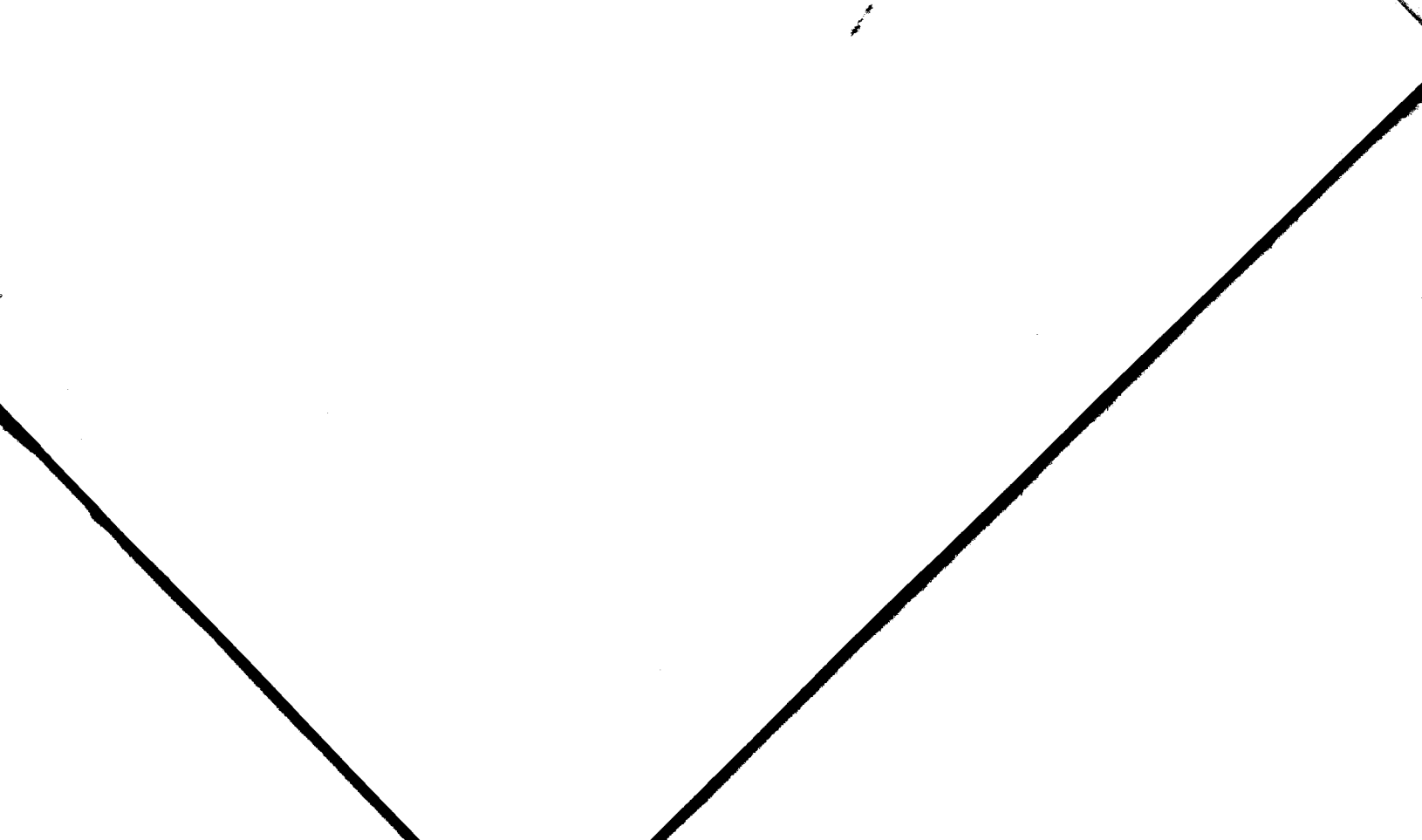




ראה מאמר על:

תאונות דרכים







אבא רננה לישאל
מאליה הנחא אבא