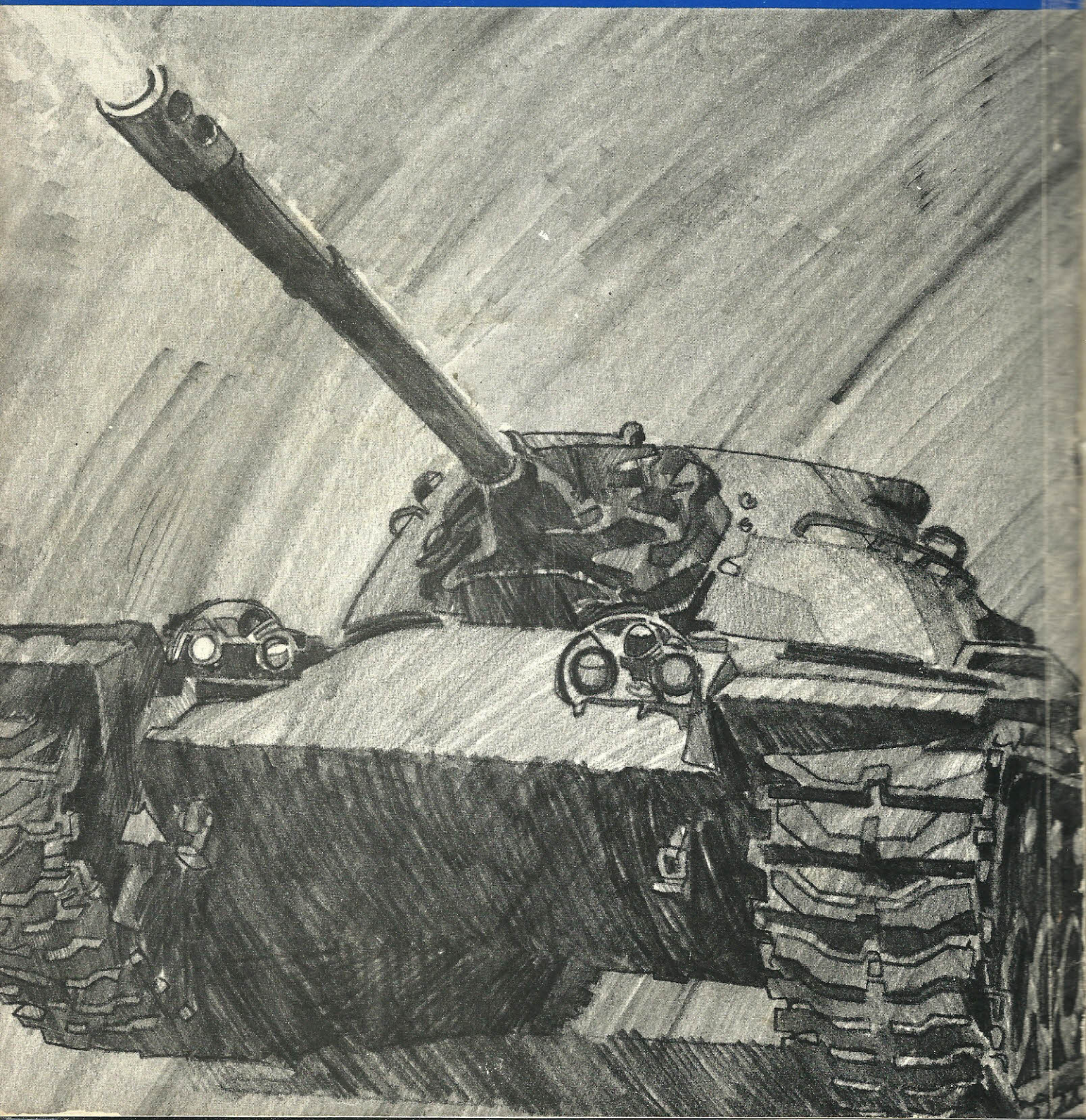


מערכות חימום



חוברת 40

חשון תשל"א - נובמבר 1970



מערכות חינוך

חוברת מס' 40 ♦ חשון תשל"א ♦ נובמבר 1970

תוכן העניינים:

- התותח כנשק עיקרי בטנק מערכה . . .
122 פ. שופן
מכשירים לראית לילה במלחמת
העולם השניה א. ארגמן 128
בלמי אויר לרכב כבד 131
בדיקות בלתי הרסניות (חלק ב') . . 135
אקדחים אוטומטיים . . ה. יוהנסון 141
התעייפות מתכות
(מאמר מס' 10) . ד. ג'. וולפי 145
הכרת התחמושת ומגבלותיה
149 י. אחיטוב
קביעת מדיניות של החלפה יזומה . . .
154 י. זעירא

מדורים:

- 158 חידושים בצבאות העולם
160 מעניין ומועיל

תמונת השער: האם תותח הטנק עדיין אקטואלי?
גרפיקה: צבי גמדי

מערכות בית הוצאה של צבא הגנה לישראל

עורך ראשי: אל"מ גרשון ריבלין
צוות המערכת: סא"ל ל' מרחב, סא"ל מ. ברימר, רס"נ י. להט
מרכז המערכת: מ' דרורי
"מערכות": עורך סא"ל צ. סיני
"מערכות-שריון": קצין-עריכה רס"נ י' זיסקינד
"מערכות-פלס": קצין-עריכה רס"נ א' טנא
"מערכות-ים": קצין-עריכה רס"נ מ. שפיר
"קשר ואלקטרוניקה": קצין-עריכה סא"ל מהנדס י' בעל-שם

קצין עריכה: רס"ן פנחס עמית
עורך משנה: אברהם דושניצקי



מדור המנויים: הקריה, רח' ב', מס' 29, טל' 210516
הודפס באמצעות משרד הבטחון — ההוצאה לאור
"הדפוס החדש" בע"מ, ת"א



התותח כנשק עיקרי בטנק מערכה

מאת: פ. שופר

ב ימינו מצוייד טנק-מערכה בקשת נרחבת של כלי-נשק, החל ממטולי פצצות עשן ונפץ, מקלעים, וכלה בנשק העיקרי. מאמר זה דן בעיקר במערכת-הנשק העיקרית של טנק מערכה, אשר לצורך הפשטות תכונה „מערכת-נשק“.

מגמת הפיתוח שבלטה במלחמת-העולם השנייה היתה המירוץ בין יעילות הנשק ובין השריון. התוצאה היתה: גידול מתמיד של ממדים, הן של כלי הנשק, התחמושת וחוזק השריון והן של הטנק בכללותו. תוצאת הפיתוח היתה, לדוגמה, שתותח-הטנק הגרמני הכבד ביותר בתחילת מלחמת-העולם השנייה היה התותח 75 מ"מ דגם KwKL/24 שהותקן בטנק דגם IV (23 טונה), ואורך קנהו 1.756 מ"מ. בשלהי המלחמה פותח התותח 88 מ"מ דגם KwKL/71 שאורך קנהו 6.250 מ"מ. תותח זה הותקן בטנק „טיגר II“ (68 טונה).

מגמת פיתוח זו נשמרה לאחר סיום מלחמת-העולם השנייה, והתוצאה היתה גידול הקליבר של תותחי טנקים ב"ארה"ב, צרפת וגרמניה ל-105 מ"מ, באנגליה — ל-120 מ"מ, וב-בריה"מ — ל-100 מ"מ ו-115 מ"מ. מגמת הפיתוח הברורה היתה להעלות את יעילות הנשק ועם זאת לשמור או אף לצמצם את ממדי הרכב (המשקל).

השאיפה להגדלת הקליבר נובעת ללא ספק מהדרישות ההולכות וגדלות לכושר החדירה ולהגדלת הטווח הקרבי. במלחמת-העולם השנייה הושם הדגש על השריון, כלומר ההגנה. במרוצת השנים גדל כושר החדירה של הקליעים, לדוגמה על-ידי ניצול עיקרון המטען החלול, במידה כזו שאפילו השריון החזק והשימושי ביותר לא יכול עוד לתת הגנה מספקת. עובדה זו הביאה בעקבותיה שתי דרישות חדשות בולטות מ„מערכת-הנשק של טנק-מערכה“, שהיתה להן השפעה קבועה על מערכת הנשק. פעמים ניסו לאזן את ההגנה החסרה על-ידי הגדלת הניידות ופעמים שאפו לניתול הקרב מטווח רחוק. פירושו של הראשון הוא „קרב תוך תנועה“, היינו — אפשרות פגיעה בכדור הנורה מטנק נע ומכוון למטרה בעלת ניידות גבוהה. השני משמעו — דיוק פגיעה וכושר חדירה.

כאמור, החל ממלחמת-העולם השנייה נמצאות הדרישות לחימוש הטנק בקו עליה מתמיד, ועד כה נמצא הפתרון בתותח-הטנק. אך כיום, מאחר שנדרש סיכוי פגיעה גבוה בירי לטווחים ארוכים, נראה שתותח (נשק-קנים) המעולה כמעט שאינו יכול לספק את הפתרון הנדרש. עם גידול הטווח, הולך ופוחת במידה ניכרת דיוק הפגיעה של טיל שאינו מונחה. כאן טמון יתרונו הברור של הטיל המונחה. השאלה היא איפוא: האם יוכל עדיין תותח-הטנק לשמור על מעמדו הבכיר כנשק חימוש עיקרי בטנק?

כדי לענות על שאלה זו, צריך לנתח את התכונות של שני סוגי הנשק — התותח, והטיל המונחה — ולבדוק באיזו מידה ניתן לנצל את התכונות השונות באירועי הקרב הטקטיים. כדוגמה מקבילה ניתן כאן להציג את ההגנה נגד מטוסים. היתה תקופה שכמה אומות האמינו בעליונותו הברורה של הטיל המונחה בהגנה האווירית, וראו בתותח האוטומטי המקובל כלי שלא לפי רוח הזמן. מלחמות קוריאנה וויאטנאם

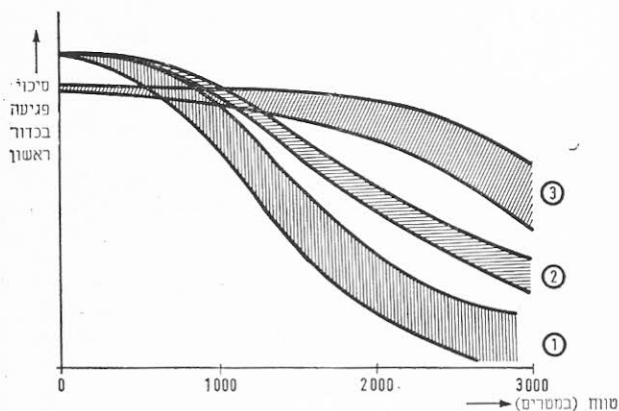
הוכיחו לרבים את יתרונותיהם של התותחים האוטומטיים. על-אף הטילים נגד מטוסים, עדיף התותח האוטומטי ללחימה במטוסים ממניכי טוס, וזאת בגלל הזמן הקצר של מעוף הקליע וקצב האש הגבוה.

תותח-הטנק כיום

כיום גוברות הדרישות לחימוש הטנק המתבססות על קרבי תוך-תנועה, על סיכוי פגיעה בכדור ראשון בטווחים ארוכים, ועל כושר חדירה בטווחים ארוכים.

לתותח-הטנק כמה מגבלות, העומדות כאן לדיון. האחת, שכבר צוינה לעיל, היא כושר הפגיעה של תותח-הטנק ההולך ופוחת ככל שגדל הטווח. ציור 1 מראה סיכוי הפגיעה של הכדור הראשון כפונקציה של הטווח בשביל תחמושת המטען החלול ולתחמושת הקינטית, לעומת הטילים המונחים. סיכוי הפגיעה בטווח 2.000 מטר בתותח-טנק הנמצא כיום בשירות, הוא 20%—40%. בהתאם לסוג התחמושת ומערכת בקרת האש. סיכוי הפגיעה בכדור הראשון הוא הגורם אשר לפי הנראה מצמצם את גבולות הטווח הקרבי המקסימלי של תותח-הטנק.

מגבלה שנייה היא השפעת התחמושת. מובאים בחשבון שני סוגי תחמושת חודרי שריון: האחד — קליעים עם מטענים חלולים והאחר — קליעים הפועלים באנרגיה קינטית.



ציור 1: סיכוי פגיעה בכדור ראשון של מערכת נשק בטנקים.

- (1) כושר פגיעה של תותחי הטנקים המקובלים.
- (2) כושר הפגיעה הצפוי של תותחי הטנקים של הדור הבא.
- (3) כושר פגיעת הטילים.

לא כן הדבר בתחמושת של קליעים קינטיים, אשר כושר חדירתם הוא פונקציה של אנרגיית הפגיעה, ולכן הוא הולך ופוחת עם גידול הטווח. אנרגיית הקליע, כלומר משקל הקליע והמהירות ההתחלתית, אינה ניתנת להגדלה ללא גבולות, כדי להגביר את כושר החדירה של התחמושת הקינטית. בתותחי הטנקים כיום, בעלי מהירות הלוע של 1.500 מטר לשנייה בערך, כבר הגיעו לגבול הסביר בכל הקשור למהירות הלוע, למבנה הקנה, לבלאי הקנה וכיו"ב. הוא הדין לגבי משקל הקליע, אשר הגדלתו קשורה בהגדלת הקליבר, ודבר זה גורר אחריו בהכרח כוח רתיעה, הצורך במקום מרווח

וכי"ב. התוצאה — הגדלת מידות הטנק ומשקלו שהם גבולות המגבילים את כיוון הפיתוח.

בטנקים הנוכחיים פדוגמת הטנק הגרמני "ליאופרד", השוקל 40 טונה לערך וחמוש בתותח 105 מ"מ, טרם הגיעו לגבול זה. כהוכחה ישמש הטנק הסובייטי "T62", השוקל פחות מ-40 טונה, וחמוש בתותח בעל כושר מעולה בקוטר של 115 מ"מ. בעת תכנון מערכת-נשק עיקרית בטנק-מערכה, מן הראוי להתחשב בכך שאפשר להקטין באופן ניכר את השפעות הרגיעה של תותח-הטנק על הרכב הנושא בעזרת בלמי-לוע או על-ידי רגיעה ארוכה. דבר שניתן לנצל בהרחבה בתכנונים חדשים.

כמגבלה אחרונה לתותחים יש לציין את אורך חיי הקנה. המתקצר בצורה תלולה עם הגדלת מהירות הלוע (Vo) ואנרגיית-הלוע. אורך החיים הקצר של תותחים חדישים בעלי עצמה גבוהה, מצביע בבירור על הצורך בויתורים הכרחיים לשם השגת תוספת ביצועים כלשהם. הגדלה נוספת תעורר בעיות לוגיסטיות חמורות.

נשאלת איפוא השאלה, אם עבר כבר תותח הטנק המקובל את הגבולות של אפשרויות פיתוחו, או האם עדיין יש לצפות לשיפורים ניכרים. על זאת נענה בחיוב בהמשך.

קרב תוך תנועה

הסכנה העיקרית האורבת לטנק-מערכה מירי אויב היא בעת עצירתו, למשל לצורך ירייה. מסיבה זו מגמת ההתפתחות בכל האומות היא כיום, "דיוק פגיעה תוך תנועה". דבר זה מושג על-ידי ייצוב מערכת-הנשק. המימוש הטכני יכול להיעשות באופנים שונים, למשל על-ידי ייצוב התותח ומעקב במכשיר הכיוון, ולהיפך, או על-ידי ייצוב נפרד של התותח

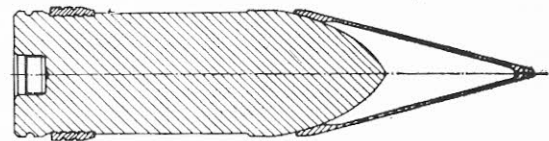
של מכשיר הכיוון ושל מכשירים אחרים. במסגרת המאמר, לא נוכל לפרט את כל אפשרויות הייצוב, מעלותיהן וחסרונותיהן הכרוכים בכך. המציאות הוכיחה, שפגיעות מדויקות אפשריות תוך תנועה, ומושגת רמת פגיעה נאותה, לעומת תוצאות הירי ממצב נייט. מאחר שהאפשרויות הטכניות טרם מוצו לגמרי, יש לצפות לשיפורים ניכרים בעתיד.

יש לשער כי בשנות ה-70, ויתר-על-כן בשנות ה-80, תשופר יציבותה של מערכת-הנשק במידה כזו, שירי תוך תנועה המושג תודות לשכלול הטכניקה, יהיה צורת הירי המקובלת בטווחים קצרים ובינוניים.

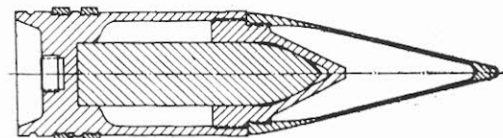
מלבד זאת, יש להבטיח כמובן טעינת התותח תוך תנועה ואפשרות השגת קצב אש גבוה. כמסקנה סופית מחייב ירי תוך תנועה אוטומציה של תהליך הטעינה. מוצעות כאן שתי צורות מבנה יסודיות: מערכת טעינה אוטומטית הצמודה לצריח, ומערכת-טעינה אוטומטית הצמודה לתותח, בצורת המבנה הראשונה מותקנת מערכת הטעינה האוטומטית בצורה קשיחה בצריח, ואינה נוטלת חלק בתנועות ההגבהה של התותח. כתוצאה מכך נעשה המטען מסובך יותר יחסית. פשוט ואמין יותר ניתן לבנות את המטען צמוד-התותח, כפי שהוכח בטנק השבדי מדגם "S". בכל זאת, אין קיימת שום אפשרות של ניצול מטען זה בטנק-צריח מקובל, שבו קיים ייצוב דרציני של מערכת-הנשק. המטען צמוד-התותח עדיף ומתאים יותר לשימוש בתנאי שדה.

כיום אפשר כבר להשקיף על הטכניקה של הייצוב ושל המטען האוטומטי, כדי לקבוע, כי התותח המקובל יתאים גם בעתיד לירי תוך תנועה, וכי הוא לא יגביל את כושר הניידות הגבוה הדרוש לטנק-המערכה.

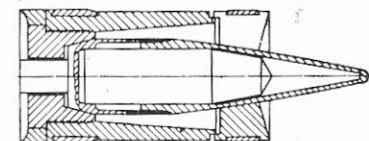
ציור 2: כדור חודר-שריון, בעל קליבר השווה לקליבר הקנה, מיוצב סיחרור.



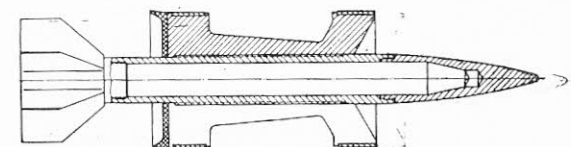
ציור 3: קליע בעל גרעין קשה והשווה לקליבר הקנה, מיוצב סיחרור.

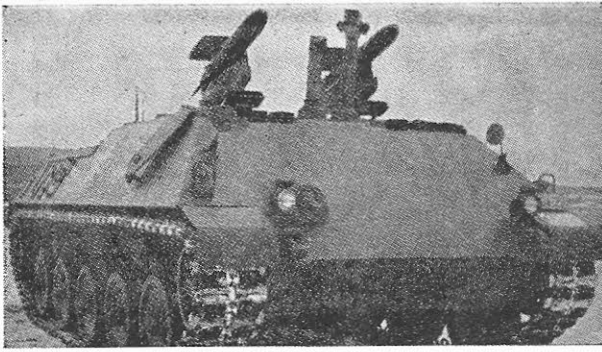


ציור 4: קליע תת-קליבר חודר-שריון-מנעל מיוצב סיחרור.



ציור 5: קליע תת-קליבר חודר-שריון-מנעל מיוצב סנפירים (קליע דמוי פח).

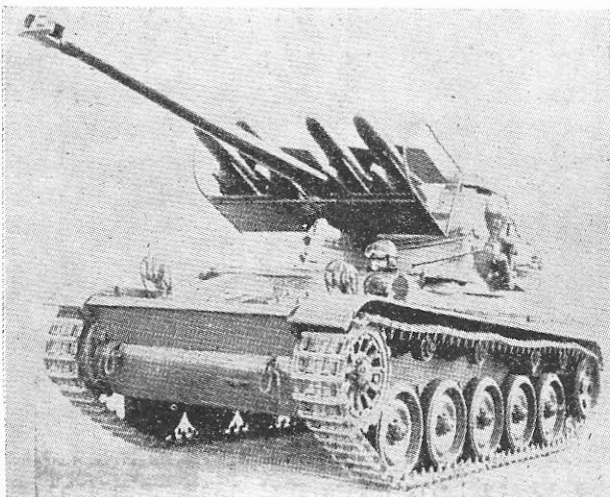




ציור 6: משחית טנקים החמוש בטילים מונחים.

רק בסוג תחמושת זה. ציור 2 מראה את הקליע המקורי — „כדור חודר-שריון” מיוצב על-ידי סחרור, שהקליבר שלו שווה לקליבר של הקנה. כדי להגיע למהירות לוע (Vo) יותר גדולה, יש להפחית ממשקל הקליע. בחיפוש אחר קליע שיספק את הדרישות הגיעו ל„קליע בעל גרעין קשה” המיוצב על-ידי סחרור (ציור 3). קליע זה מומש בכדור חודר-שריון 40/43 של תותח-הטנק 88 מ"מ, שבו השתמש הצבא הגרמני במלחמת-העולם השנייה. הקליע בנוי מגרעין קשה תת-קליבר חודר-שריון, ולמילוי הקליבר (התח) של הקנה מותקנת סביב הקליע מסגרת עגולה קלת-משקל יחסית. אמנם אפשר להשיג עם קליע זה מהירות לוע (Vo) גבוהה, אולם מבחינת הבליסטיקה החיצונית מעופו אינו משיג את התועלת הרצויה, שכן הקליע הוא בעל מקדם בליסטי קטן. אכן השאיפה מבחינת הבליסטיקה החיצונית היא להשיג מקדם בליסטי גבוה, כלומר, משקל קליע גדול יחד עם חתך-קליע קטן ככל האפשר. זאת על מנת להפחית עד למינימום את ירידת המהירות במסלול התעופה. כדי להימנע מהחסרונות של הבליסטיקה החיצונית הכרוכים בקליע שווה-קליבר, היה השלב הבא בפיתוח — קליע בעל גרעין קשה תת-קליבר מיוצב סחרור, הנורה באמצעות מנעל, קנה קוני, או מתאם-לוע. ציור 4 מראה כדור-מנעל, המנעל

ציור 7: AMX-13 עם תותח 75 מ"מ החמוש בטילי SS-11 נגד-טנקים.



כושר פגיעה וחדירה

על-ידי תצפית על הכדור הראשון אפשר, על-פי שיטת תיקון האש הידועה, לבטל כמה מגורמי ההשפעה הפועלים בירייה הראשונה, ובעקבותיה להגיע לסיכוי גבוה של פגיעה בכדור הבא. ככל שמהירות הלוע (Vo) של סוג תחמושת גבוהה יותר, כן פוחתת אפשרות התצפית ובעקבותיה שיפור הפגיעה בשביל הכדור הבא. אך עם זאת הסתברות הפגיעה לכדור הראשון היא גבוהה יותר. מכאן יוצא, שהסתברות הפגיעה לכדור הראשון והסתברות הפגיעה לכדור שלאחריו פועלות זו כנגד זו. מגמת הפיתוח של הטנק נוטה כיום בברור לכושר ניידות גבוה יותר. בירי תוך תנועה לעבר מטרות הנעות במהירות קשה מאד לבצע שיפורי ירי. לפיכך חשובה ביותר הפגיעה בכדור הראשון. השיקולים לשיפור הפגיעה מותנים ביחוד בכדור הראשון, שעמו יש להגיע לדרגה גבוהה של סיכוי פגיעה, בלי להתחשב במידה רבה בהשפעתו הלא רצויה של הכדור הבא בתור.

סיכוי-הפגיעה-בכדור-הראשון תלוי בגורמי השפעה רבים. מלבד הפיזור הבליסטי יש לצייין בין היתר: טעות בכוונות; טעויות בהעברת פקודות במערכת בקרת-האש; פיזור בגלל סטיות בעזיבת הכדור את הלוע; עקמומיות הקנה בהשפעה חד צדדית של חום; שינויי מהירות לוע (Vo) על-ידי בלאי הקנה; טמפרטורות שונות של המטען ההודף; השפעת הרוח; טעויות באמדן הטווחים; טעויות בשל שיפועי-צד; טעויות כיוון ועוד. מכאן נראה, שהפיזור הבליסטי הוא רק גורם אחד מיני רבים.

פיזור סטיות בעזיבת הכדור את הלוע, בלאי הקנה ועקמומיותו לא היו במלחמת-העולם השנייה גורמים מכריעים בגלל הטווחים הקרבים הקצרים שהיו נהוגים אז, ורק לאחר המלחמה הפכו להיות בגדר בעיה. בינתיים נאספו נתונים כה רבים על גורמים אלה, עד שניתן יהיה להתחשב בהם על-ידי נתינת צורה מתאימה של קנה בעת תכנונו בעתיד. קבוצה חשובה נוספת של גורמים משפיעים היא השפעת הרוח הצדדית, טעות באמדן טווחים ושיפועי-צד. פיתוח התחמושת יאפשר לבטל במידה רבה גורמים אלה. טעויות מסוג זה הולכות וקטנות ככל שמעוף הכדור שטוח יותר, כלומר, ככל שמהירות הלוע (Vo) גבוהה יותר ומפל המהירות במסלול התעופה קטן יותר. לדוגמה: ברוח צדדית של 5 מטר לשנייה מסתכמת סטיית הקליע של כדור נפיון 105 מ"מ בטווח 2,000 מטר, ובמהירות לוע 800 מטר לשנייה ב-3 אלפיות. לעומת זאת, בכדור קינטי בעל מהירות לוע של 1,500 מטר לשנייה, סטיית הקליע היא רק 0.2 אלפיות. דוגמה זו מוכיחה את החשיבות שיש למסלול התעופה השטוח בקביעת תוצאות הפגיעה. הבדלים דומים נוצרים בשל השפעות טעות באמדן הטווחים. אמנם בכדורים שטוחי מסלול-תעופה קיצוניים, השפעה זו קטנה עד כדי כך שלעתים אפשר לוותר על מדי-הטווח ולהסתפק בכוונת-קרב.

אם כך, כיצד ניתן להגביר עוד יותר את מסלול-התעופה השטוח של התותח המקובל? לצורך מתן תשובה יש לחזור להיסטוריה של התפתחות התחמושת. מאחר שמקובל לייחס לתחמושת הקינטית את כוח ההרס הגדול ביותר, נדון להלן

קטן. כלומר, הן במטרה והן במסלול התעופה ניכרת השפעתו הטובה של מקדם בליסטי גבוה. מכאן, שהקליע החץ צריך להצטיין ביתרון גדול גם בפגיעה במטרה. פתוחות עדיין אפשרויות שכלול רבות של תותח-הטנק, של התחמושת ושל בקרת-האש. למרות זאת, כושר הפגיעה הוא הקובע בעיקר את גבולות הטווח הקרבי של הטנק.

הטיל המונחה

יתרונותיו של הטיל המונחה מתבטאים בסיכויי פגיעה גבוהים בטווחים גדולים (ציור 1), שחושבו על-פי הניווט בתנאי ירי-טווחים. לעומתם, טמונות בו חסרונות, אם גם בעלי אופי שונה מאלה של התותח. חסרונותיו העיקריים הם:

- זמן תעופה ארוך לעומת תחמושת מקובלת בעלת מהירות לוע (Vo) גבוהה.
- סכנה של פגיעה בקרקע, הנגרמת בשל תנודת הטיל המונחה סביב קו הראיה, ביחוד בעת ירי למטרות נמוכות.
- אפשרות הפרעה במהלך הניווט של הטיל המונחה בעת שימוש בשיטת-ניווט אלחוטית.
- יריה וגם ניווט של הטיל המונחה מתוך טנק נע.
- הוצאות יקרות, כושר החסנה מוגבל ואמינות מצומצמת לעומת תחמושת מקובלת.

● שימוש המוגבל למטען חלול בלבד. משבאים להעריך את מערכת-הנשק, נוטים להתחשב בסיכויי הפגיעה ובקצב האש בלבד. לצורך השוואת סוגי נשק שונים בתכלית, כמו תותח וטיל מונחה, גורמים אלה אינם מספיקים כלל וכלל. הדוגמה להלן תבהיר זאת. צוין לעיל „סיכוי הפגיעה“ הגבוה של הטיל המונחה בטווחים ארוכים. אולם, כיצד מתאמת הטיל המונחה באירועי קרב טקטיים? בניגוד לתותח, הטיל המונחה בפיתוחו הנוכחי אינו מתאים לדרישות הגוברות לניידות טנק-המערכה, משום שעדיין לא הושג ירי בטוח ואמין תוך תנועה. בעת ירי טיל מונחה צריך הטנק לעצור ול„החזיק“ את המטרה בתוך מכשיר הכיוון במשך זמן המעוף הארוך. במשך כל זמן המעוף הארוך של הטיל, משמש הטנק עצמו מטרה נוחה לאויב, ועם זאת האויב יכול להיעלם מאחורי מחסה או למסך עצמו בעשן עד הגעת הטיל. אם כן, גם צורת השטח משפיעה על יעילות הטיל המונחה, וגורם זה יש להביא בחשבון בהערכת המערכת. הדוגמה מוכיחה, ש„סיכוי פגיעה“ גבוה בטיל מונחה אינו מבטיח עדיין פגיעה ודאית באירועי הקרב. בבחינת צורת השטח נודעת חשיבות רבה לטווח שבו מזהים לראשונה את האויב, לאורך הטווח שבו עדיין רואים את האויב עד היעלמו מאחורי מחסה חדש, ולראית האויב בצלליתו הברורה. אם מתחשבים בהערכת הטיל המונחה, בתכונותיו שצוינו לעיל ובמבנה השטח של המרחב באירופה המערבית, אפשר אז לקבוע, שיעילות הטיל המונחה בירי אל אויב נע, יורדת במידה ניכרת בגלל זמן העימות הקצר בין הצדדים בתנועה דרך מבני השטח השונים. בצורת קרב-האש הזו תוך התנועה, מכריעה עליונותו הברורה של תותח-הטנק הנוכחי על הטיל המונחה. בטווחים הארוכים מעל 2,000 מטר, אמנם

משתחרר מהגרעין לאחר עזיבת הלוע, והגרעין התת-קליבר ממשיך לבדו במעופו לעבר המטרה. קליע זה מתנהג בתוך הקנה כמו קליע חודר-שריון (כלומר מהירות-לוע Vo גבוהה), אך במסלול-התעופה הוא נטול חסרונות הבליסטיקה החיצונית של כדור חודר-שריון מקובל.

שיפור נוסף של הבליסטיקה החיצונית משמעו הגדלת המקדם הבליסטי, כלומר, הארכת הקליע. בקליעים מיוצב-סחרור מן הנמנע הוא להאריך את הקליע, משום שהיחס בין אורך הקליע לבין קוטרו מוגבל, בשל סיבות ייצוב, ליחס מקסימלי של 4.5. השלב הבא מביא בהכרח ל„קליע ארוך דמוי חץ בעל גרעין קשה“, התחייב להיות מיוצב על-ידי סנפירים (ציור 5). קליע זה מציע, מלבד בליסטיקה חיצונית טובה, גם יתרונות חשובים אחרים והם: עצמת חדירה גבוהה מאד ובלאי קנה קטן באופן ניכר (קנה חלק-קדח) — הכל כדי לאפשר השגת מהירות-לוע (Vo) גבוהה יותר על-ידי שימוש באבק חם יותר של מטען הודף.



ציור 8: שריונית „שרידן“ עם תותח משולב, היורה הן תחמושת קונבנציונלית והן טילים.

המעבר לשימוש בקליע-חץ ומיוצב-סנפירים מאפשר להשיג בתותח-טנק מסלול תעופה שטוח יותר, ובאופן זה להגדיל את סיכויי הפגיעה בכדור ראשון.

כדי להגיע לכושר פגיעה מקסימלי, צריך להמשיך בשלב נוסף ותוא השימוש במחשב, אשר מצמצם את גורמי ההשפעה המפריעים, שצומצמו מכבר על-ידי הפיתוח המתקדם של הנשק ושל התחמושת כפי שתואר לעיל. המחשב יכול, בין היתר, לעבד בדייקנות נתונים של שיפוע-יצי, השפעות אטמוספיריות, רוח צדדית, טמפרטורת מטען הודף, עקמומיות קנה, היסט ודומיהם. ניתן גם להגיע לדיוק רב באמדן טווחים על-ידי שימוש בטכניקת-הלייזר. מערכת-נשק, שבה מומשו כל אפשרויות השיפורים המתוארות לעיל, ניתן לצפות ממנה עליה ניכרת בכושר הפגיעה (ראה ציור 1).

כושר ההדירה של קליע קינטי נקבע לא רק על-ידי אנרגיית הפגיעה, אלא גם על-ידי צורת הקליע. לשם הגברת החדירה, יש לרכז בלוח-השריון כמות אנרגיה גדולה על פני שטח

● אפשריים עדיין שיפורים ניכרים בתותח, בתחמושת ובבקרת האש.

● בתחום הטווחים הקרביים הקצרים והבינוניים מתאים התותח במיוחד לקרב-אש תוך תנועה; ולכן מספק בצורה נאותה את הדרישות של ניהול קרב שריון תוך ניידות.

● בטווחים קרביים ארוכים, עדיף הטיל על התותח.

מבנה השטח במרכז אירופה אינו מאפשר ניהול קרב אש תוך תנועה בטווחים ארוכים עם טילים מונחים (ירי תוך תנועה וירי לעבר מטרה בעלת ניידות גבוהה). לכן, באזור זה מוטלות על הסנק חמוש הטילים — משימות תצפית בעיקר. □

מכריעה עליונותו של הטיל המונחה בצורת קצב-אש זו, אך לא במידה כפי שמצפים מסיכויי הפגיעה המודגמים בציור 1. סיכויי הפגיעה של הטיל המונחה יכול לבוא לביטוי המלא רק כשהאויב נעצר או כשהוא נע באטיות ללא מחסה, כלומר — בתפקידי תצפית.

בעת תיחום איזורי עדיפות בדו-קרב בין סנק חמוש תותח ובין סנק-חמוש-טילים, צריך להתחשב בעובדה שהסנק, חמוש טילים בטווחים הקרביים הקצרים והבינוניים, פגיע יותר על-ידי הקליעים שטווחי המסלול המקובלים, בגלל ניידותו המוגברת. כנגד זאת, עדיף הוא בטווחים הקרביים הארוכים, בגלל סיכויו הקלוש של סנק-חמוש-תותח לפגוע כבר בכדור ראשון. פרט לשיקולים אלה, מונעות סיבות כלכליות את הפעלת הטילים המונחים כבר בטווחים קרביים קצרים ובינוניים. השיקול אם לאחד את שני סוגי הנשק בטנק-מערכה אחד או להתקין את התותח ואת הטיל כל אחד בשני כלי-רכב נפרדים — הוא ענין של טקטיקה גרידא.

סיכום

● לתותח-הסנק המקובל יש בהחלט זכות קיום וגם להבא הוא ישמור עליה.

נשמח לקבל תגובות על דעות המחבר. יש להטעים כי המאמר התייחס לטווחים הקרביים של מרכז אירופה, שמבניה הטופוגרפי מרובד בשטחים מבוותרים.

המערכת

הגש הצעתך לייעול

הצעת ייעול
הינה
שכלול או המצאה
באמצעי לחימה
ציוד טכני,
לבוש,
אמצעי הדרכה,
שיטות עבודה,
נוהלים,
טפסים,
כרטיסיות וכו'.



1037

הצעתך לייעול הגש לוועדה המרכזית אמכ"ל/משב"מ או לוועדה היחידתית



מכשירים לראית לילה במלחמת - העולם השניה

ניצני אותן טכניקות אשר הביאו לבסוף לפיתוח מכשירים לראית לילה באור בלתי נראה, החלו להופיע בשנות ה-30 של המאה. עיקר הפיתוח התרכז בגרמניה, אולם גם בריטניה וארה"ב הקדישו מצידן מאמצים לפיתוח נושא זה. הגרמנים ערכו מחקרים יסודיים על עבירות אור תת-אדום ופיזורו באוויר, על פיתוח גלאים רגישים, ועל פיתוח צבעי הסוואה ומערכות אופטיות מיוחדות. אך בעוד שהגרמנים התעמקו בחקר פיתוח מכשירים לראית לילה, הרי שחקר זה נחשב בעיני ארצות בנות הברית כבעל חשיבות משנית בלבד. ב"מערכות-חימוש" חוברות 35 ו-37 תארנו את מבנה הפעולה של מכשירים לראית לילה, במאמר זה נסקור את שלבי התפתחותם של המכשירים התת-אדומים, במלחמת-העולם השניה.

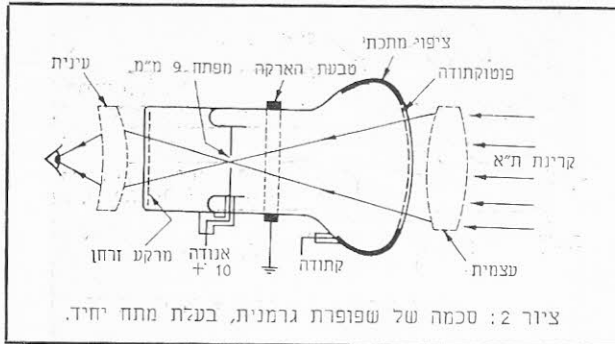
א. ארגמן

שפופרות מהפכות דמות

הגרמנים פיתחו כמה סוגים של שפופרות-מהפכות-דמות, כלור-מר. שפופרות המסייעות להפיכת אור-תאדום לאור נראה. השפופרות הללו שימשו את הגרמנים במכשירי ראייה פעילים (שימוש בזרקור תת-אדום), או סבילים (קליטת קרינה מה-שטח הנצפה).

שפופרת מסוג זה (ציור 1) היא שפופרת ה-Bildwandler. השפופרת הופעלה בעזרת שני מתחים גבוהים, והיתה בעלת כושר הפרדה כה גבוה, שעד היום טרם השכילו לגבור עליו. השפופרת פעלה בתחום ספקטרום בין 0.8—1.3 מיקרון והות-קנה כמכשיר איכות ירי תותחים.

שפופרת פשוטה יותר (ציור 2), הופעלה על-ידי מתח גבוה יחיד ולא דרשה כל תיאומים שהם. שפופרת זו הותקנה במכשיר ה-Vampire, והו למעשה טלסקופ, אשר בצדו הותקן זרקור תת-אדום. הזרקור מותקן על-גבי רובה ששימש לצליפת לילה.



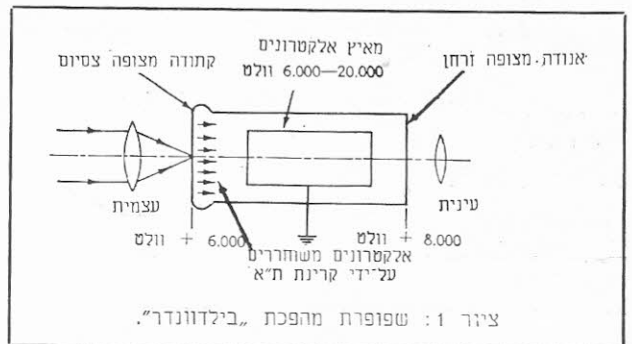
ציור 2: סכמה של שפופרת גרמנית, בעלת מתח יחיד.

1P25A. טווח הפעולה של המכשיר היה מצומצם. ה-SnooperScope הותקן על רובה וצויד בזרקור תת-אדום קטן, הוא זכה להצלחה רבה במלחמת הגיוגלים נגד היפנים, באיי האוקינוס השקט. לקראת סיומה של המלחמה ציידו האמריקנים את כוחות השריון במשקפת נהיגה, שהותקנה על הקסדה. המשקפת פעלה הודות לתאורה שהפיקו פנסי הטנק, שכוונו במסגרים תת-אדומים.

בד בבד פיתחו ביפן שפופרות מהפכות ומספר מכשירים בשטח התצפית והקשר התת-אדום, אולם אלה לא היו בגדר חידושים מהפכניים.

מכשירי גילוי באמצעים כימיים

ארה"ב, בריטניה וגרמניה פיתחו מכשירי גילוי-קרינה תת-אדומה באמצעים כימיים. הבבואה התת-אדומה, "הושלכה" על כפתור כימי מעורער אשר יצר תמונה באור נראה. הכפתור הכימי קיבל את הערעור מגרעין חומר רדיואקטיבי. המכשיר ה-Metascoper, היה קטן במידותיו קל במשקלו ולא נזקק לספק-כוח חשמלי.



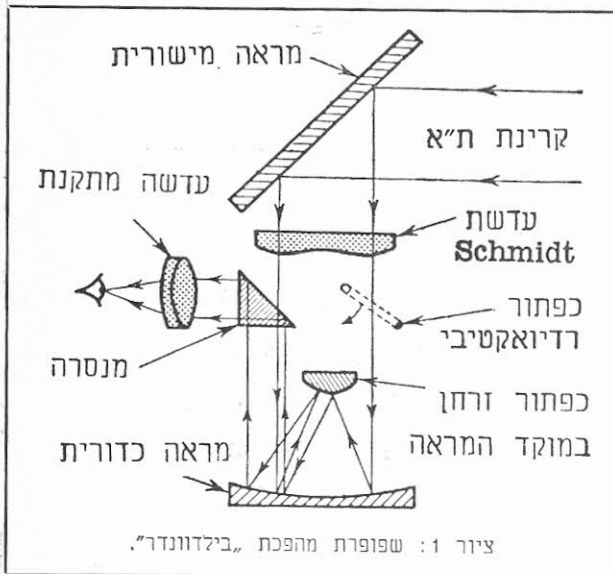
ציור 1: שפופרת מהפכת "בילדוונדר".

שפופרת הדומה לקדמותה, אך בעלת מתח של 17 קילו-וולט, הותקנה בתוך מכשיר ה-Spanner, והו מכשיר בעל עצימת משוכללת ועינית גדולה, שאיפשרה ראייה בשתי העיניים. המכשיר צויד בלוח שנתות מואר כדי לכונן כלי-נשק. ה-Spanner לדגמיו יוצר בכמויות קטנות לקראת שלהי המלחמה. המכשיר הותקן, יחד עם זרקורים גדולים להארת השטח, על-גבי תותחים מתנייעים בקליבר 88 מ"מ ועל-גבי זחל"מים.

על-פי עקרון השפופרת הינל בנו הגרמנים מכשירי תצפית קטנים לשימוש כוחות ה-חי"ר, ולשימוש מפקדי טנקים ונהגים. כמרכז בנו הגרמנים מכשיר ענק ומשוכלל לכינון תותחי נ"מ. אחד מאותם מכשירים משוכללים, אשר היסבו לבנות-הברית אבידות כבדות, היה — מערכת ירי משוכללת מטיפוס Uhu. המערכת היתה בעלת מכשיר תצפית וכינון משוכלל — Adlergerate וזרקור תת-אדום גדול. המערכת הותקנה על-גבי זחל"מים ועל-גבי רכב-קרב משוריין. בכמה קרבות שנערכו בשלהי המלחמה הוכחה עליונותם של מכשירים אלה.

הצבא הסובייטי סבל אבידות כבדות ממערכת ה-Uhu, הטני-קים הסובייטים שהוארו על-ידי המערכת נפגעו במהירות מטנקים ומתותחים מתנייעים בקליבר 88 מ"מ גרמניים.

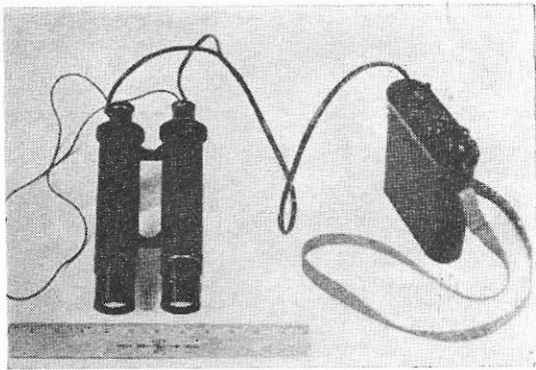
באותה עת פיתחו האמריקנים מכשיר תצפית — SnooperScope במכשיר זה הותקנה שפופרת מהפכת פשוטה מסוג



ציור 1: שפופרת מהפכת "בילדוונדר".

צילום בתחום התת-אדום

נושא אחר בתחום ראיית הלילה, אשר זכה לשימת-לב בזמן המלחמה, הוא הצילום בתחום התת-אדום. לשם כך פותחו

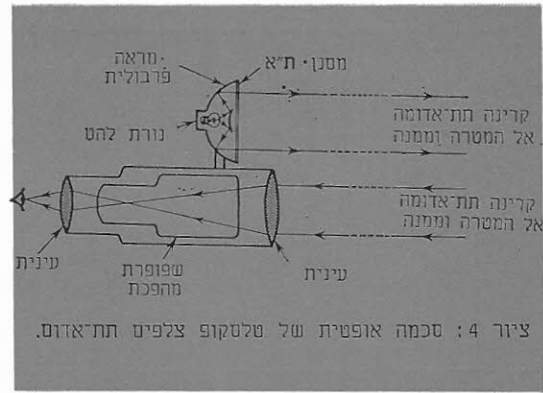


ציור 5: משקפת נהיגה תת־אדומה.

מכשירי קשר בעזרת תת־אדום

קרינת התת־אדום מצאה את שימושה אף בשטח הקשר. התהיך כלל הלבשת קול אנוש, בעזרת מודול, על קרן צרה של קרינת תת־אדום. השיטה פעלה בטווחים קצרים. לקראת גמר המלחמה אימצו היפנים והגרמנים שיטה זו.

כפי שצינו לעיל, הונחו יסודות השימוש בקרינת תת־אדומה בימי מלחמת־העולם השניה. אף המכשירים החדשים וה־מגוונים ביותר, הפועלים בימינו מושתתים על עקרונותיה של אותה תקופה. □



סרטי צילום רגילים במיוחד בתחום קרינה זה, וכן שיטות צילום חדשות. בעזרת מצלמה משוכללת מסוג זה, הצליחו הגרמנים לצלם ממרחק של 65 ק"מ אניות בתעלת למנש. ביצורי החוף הבריטיים צולמו על־ידם מעל אניות. האמריקנים השתמשו בצילום תת־אדום בעת ההפצצות מן האויר על גרמניה.

מכשירי ביות תת־אדומים

הגרמנים פיתחו גם מכשירי ביות תת־אדומים, שבאו לידי שימוש בטילי נ"מ מסוג Wasserfall וכן במרעומי קרבה של פגזים.

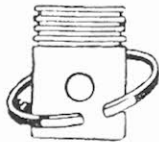
ניסיון דומה של הבריטים לא זכה להצלחה.

בוכנות מוביליה בע"מ

תל-אביב, רח' עשר טחנות 16

ת.ד. 13041

טלפון: 770360, 772883



ייצור בוכנות וטבעות לבוכנה
למנועי שריפה ולקומפרסורים

•

• ספק של משרד הבטחון

• תחת השגחת מכון התקנים

"גה" גה"



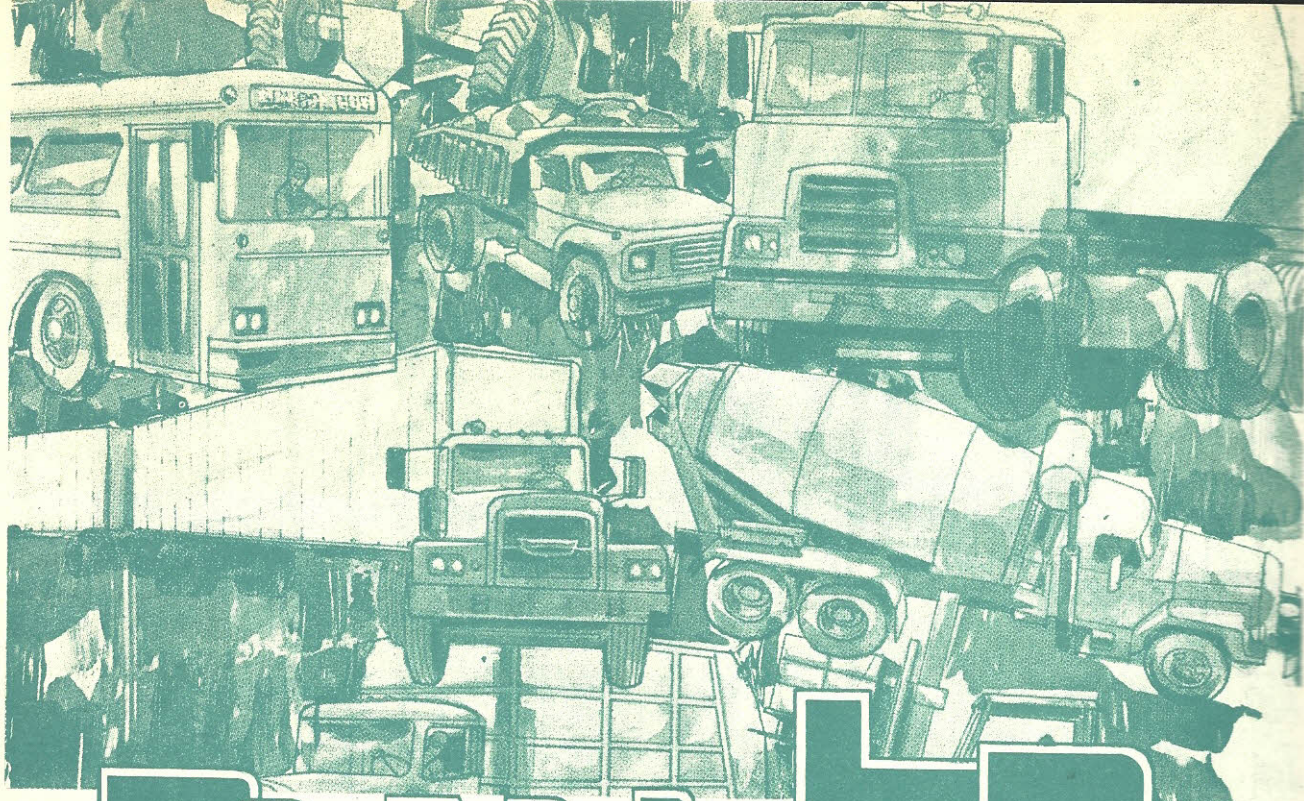
בע"מ

מפעלי מתכת

חריטה אוטומטית מדויקת
ייצור המוני של אביזרי רכב
חשמל, אלקטרוניקה
והזמנות שונות

רמת־גן, רח' תובל 3 פנת אבא הלל

טל. 732564 — ת.ד. 3015, ר"ג



בלתי ניתנת לפגוע

חשיבותם של כלי-רכב כבדים למטרות הובלה עולה בהתמדה. בד-בבד עולה בהתמדה הדרישה לכושר-עומס מוגבר. תביעה זו מדגישה ביתר שאת את חשיבותן של מערכות בלמים יעילות.

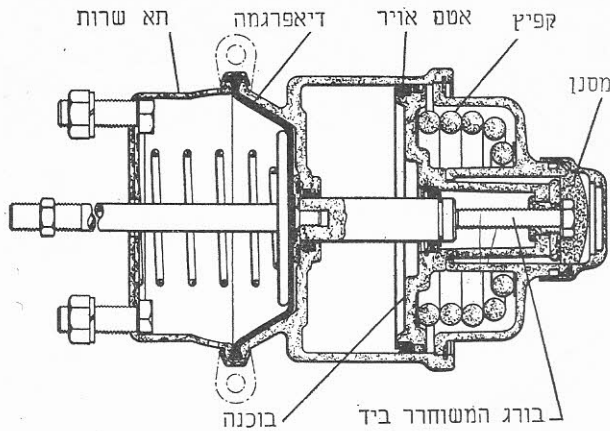
כל נוסע מבחין בוודאי במספר ההולך ורב של כלי-רכב מסחריים הנעים בדרכים, וכל שנה הופכות המשאיות לגדולות יותר ולכבדות יותר. תהליך זה בעל יתרונות וחסרונות, השקולים זה כנגד זה: מצד אחד ברור שככל שכלי הרכב גדולים יותר, הפעלתם משקית יותר. שכן באופן זה מתאפשרת הוזלת מחירי ההובלה, והציבור יוצא נשכר. מצד שני, מובן שאותן משאיות מהוות סיכון פוטנציאלי חמור לשאר המשתמשים בכבישים. אך היות והצורך בכלי-רכב אלה בעינו עומד ואף בעתיד הקרוב נראה שלא יימצא להם תחליף נאות, הרי שיש להקפיד בראש ובראשונה על בנייתם, באופן שסיכויי התאונות יצומצמו עד למינימום. בהתאם לדרישות אלה, תורמים מהנדסי ההידראוליקה והפנימטיקה, באורח ניכר, לפתרון בעיית הבטיחות בדרכים, על-ידי פיתוח מערכות מיומנות (FOOLPROOF) והתקנים אחרים, כגון ציוד למניעת „התקפלות“ וסטייה (JACK KNIFING) של גוררים.

מאמר זה ידון בתכנון מערכות בלמי-אוויר למשאיות, והוא יצביע על כמה ממגמות הפיתוח הקיימות.

מעובד מחוך:

**FLUID POWER
INTERNATIONAL**

מרכיביה הבסיסיים של מערכת בלמי-אוויר

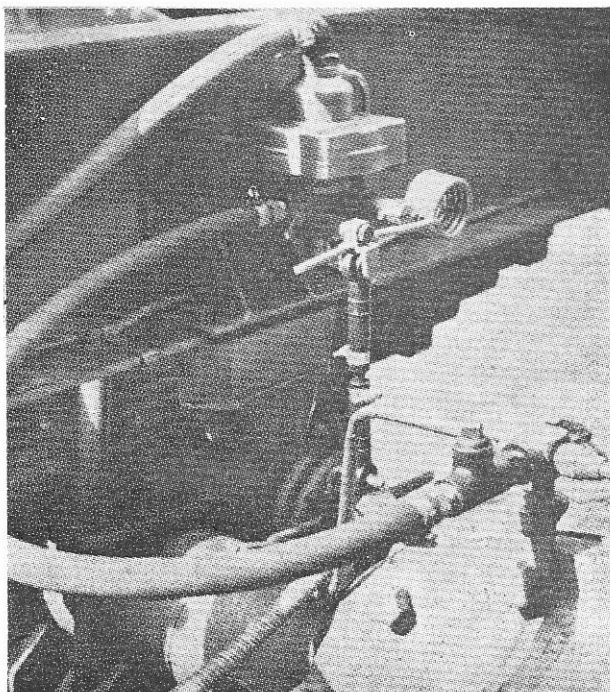


ציור 1: פרטי המבנה של מפעיל בלמים דו-תכליתי המבוסס על פעולת קפיץ. במבנה כגון זה, לחץ הקפיץ משמש לבלימה, כאשר הרכב חוזר.

מחוזק, ואילו חלקו האחורי דמוי קופסה. הקופסה עשויה מחומר יצוק, ומכילה בתוכה בוכנה המופעלת על-ידי קפיץ גלילי חזק. בעת נסיעה רגילה, מופעל הלחץ המלא של המערכת על בוכנת הקפיץ, באופן שבלמי החניה המופעלים על-ידי הקפיץ — עצורים מלפעול. לכן אין כלי הרכב יכול לנוע, עד אשר יתקיים לחץ-אוויר מלא במערכת. חלקה השני של מערכת הבלימה נועד לבלמי השירות, המופעלים כמקובל על-ידי לחץ האוויר. זהו אותו לחץ-אוויר אשר פועל על הדיאפרגמה ואשר ניתן לכיוונון בהתאם למצבו של שסתום בקרת הרגל.

במערכת הבקרה קיים שסתום מתכונן המופעל ביד, מתפקידו

ציור 2: שסתום עומס משתנה מותקן על הסרן האחורי של משאית. תפקידו של השסתום לווסת בריציפות את לחץ האוויר המועבר למפעילי הבלמים של סרן מסויים, בהתאם לעומס שעל הסרן, וללחץ הקו הנבחר על-ידי הנהג.



מרכיביה הבסיסיים של מערכת בלמי-אוויר הם פשוטים, יחסית, במבנם. הם כוללים מדחס המונע ממנוע הרכב, מכל המשמש להחסנת האוויר הדחוס, מפעיל (actuator) להפיכת הכוח הפנימי לתנועה מכנית וכן שסתום המשמש לבקרת זרימת האוויר למפעיל. גם המערכות הנוכחיות בנויות על-פי אותם עקרונות פשוטים, אולם הציוד מתוחכם יותר, ונועד להבטיח אמינות גבוהה יותר. הציוד החדש כולל מערכות כפולות למקרה של קלקול, וצורות מכניות משולבות המספקות קרקטריקסטיקות של בטיחות מקסימלית.

נוסף לכך קיים ציוד המצביע לנהג בתאו על מצב מכשירי האוויר. לדוגמה: מדי הלחץ הם כיום אבזר רגיל המראה את רמת לחץ האוויר במעגלים הראשיים או המישיניים של הרכב. מחווני לחץ נמוך, המפעילים התרעה חזותית או קולית, מזהירים מפני ירידת של לחץ האוויר במכל להמח נמוכה קריטית. עבודת פיתוח ניכרת, הושקעה לאחרונה במפעילי הבלמים. מפעילי הבלמים מהדגם שבו האוויר הדחוס מופעל על דיאפרגמה מספקים כוח מכני הפועל בעזרת דחוף (push rod).

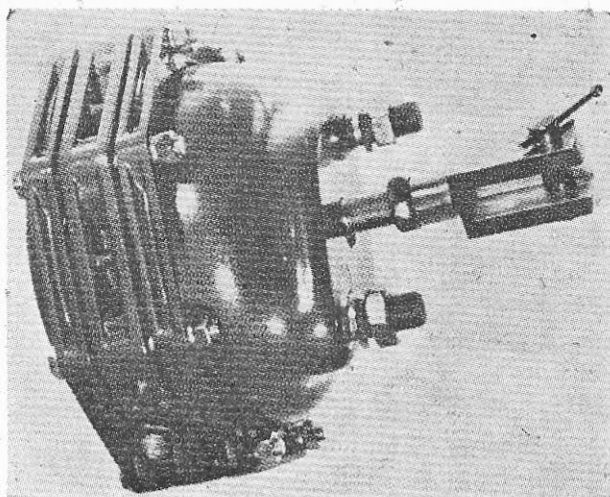
ואילו למערכות בלמים כפולות נוהגים להשתמש במפעילי בלמים בעלי דיאפרגמות כפולות, לדוגמה: מערכת מפוצלת עם בלם חניה כוח. במערכת כזו, המפעילים בעלי הדיאפרגמות הכפולות מותקנים באופנים האחוריים, בשעה שהבלמים הקדמיים מופעלים על-ידי יחידות בעלות דיאפרגמה בודדת. קיים מכל אוויר כפול, ונוסף עליו מותקן מכל נפרד לבקרת בלם החניה.

בתנאי נסיעה רגילים, מבוקרת פעולת הבלימה על-ידי שסתום רגל כפול. שסתום זה מפנה את הספקת האוויר, לשני הזוגות של מפעילי הבלמים. מכל מקום, אם אחד מהמעגלים יוצא מכלל פעולה, ימשיך השני לפעול. האוויר מהמכל המשני מספק כוח-עזר גם להפעלתו של בלם החניה. כאשר מושך הנהג בידית בלם החניה, מועברת התנועה על-ידי העברה מכנית, ליחידת הבלמים האחוריות, ובמקביל מופעל שסתום אוויר, המאפשר לאוויר לעבור לחלקו האחורי של תא הדיאפרגמה הכפולה, בכל אחת מיחידות המפעילים.

אוויר לפעולת בלימה רגילה, כלומר מקו השירות של המערכת, מובל לתוך צד המפעיל (actuator) בשעה שהספקת האוויר לבלימת חניה או לבלימת חירום מועברת לזיו אחורי מרכזי. סידור זה נעשה כדי שבמקרה, שהוא אומנם בלתי סביר, ודיאפרגמת החניה תתקלקל, ידחוף הלחץ אשר בקו השירות את דיאפרגמת החניה ואת האטם המחובר אליהם כנגד טס הלחץ. באופן זה תימנע בריחת האוויר מצינור השירות דרך קו ההזנה של בלם החניה.

מפעילי בלם בעזרת קפיץ

פיתוח אחר הוא של מפעיל הבלמים המבוסס על פעולת קפיץ (ציור 1), ואשר אף לו נועד תפקיד כפול. החלק הקדמי ביחידה זו דומה במבנהו לתא-בלמים מקובל בעל טס קדמי



צויר 3: מפעיל בלמים בעל דיאפרגמה כפולה, תוצרת חברת "וסטינגהאוז", המתוכנן לספק בלימת חניה/חרוט בנוסף למלימת שורות רגילה.

מערכת בלימה לגרור

המעגל הנראה בצויר 5 הוא מערך מוצע של מערכת בלימה לגרור דו-סרני. המערכת כוללת מפעילי בלמים בעלי קפיצים ומשמש כתחליף למערכת המקובלת המצוידת במפעיל בלמים בעל דיאפרגמה כפולה. מערכת כזו נזקקת לשני מכלי אויר הנטענים מחדש מהמדחס הנמצא על הגרור, שסתומי בקרה יחידים מותקנים בנקודת הכניסה של שני המכלים. תכנון זה בא כדי למנוע ורימה הפוכה של אויר ממערכת אחת למשנה, וכן כדי לשמור על לחץ האויר שבמכל, במקרה שהקו ינותק.

מכל השירות מספק את מדורי הדיאפרגמות של מפעילי בלם הקפיץ. לפי אות משסתום המיסר, פועל הקפיץ לאורך קו השירות, על-ידי הפעלת שסתום הרגל בגרור.

לאחר שהופעלה מערכת הבלימה המשנית באמצעות שסתום בקרה מתאים בתא הנהג, נשלח אות-לחץ דרך קו העזר. אות זה מותמר על-ידי שסתום הבלם הקפיצי הנגדי, כך שעליית הלחץ בקו הראשוני תגרום לפליטת לחץ אויר מהמדורים המשניים של מפעילי הבלמים. אוי יכולים הקפיצים להתפשט ולהפעיל את הבלמים. ירידת אות הלחץ, מאפשרת לשסתום זה להזרים אויר ממכל משני/חניה לתוך מפעילי הבלם. התוצאה — דחיסת הקפיצים ושחרור הבלמים. במערכת כזו יהיה קיים גם שסתום הגנה דיפרנציאלי, כמתואר לעיל.

מערכת „אחיזת" בלמים

אחת מתכונותיו של מעגל זה, היא הסידור של „החזקת" הבלמים, מופעלי הקפיצים, בשעת ניתוק הגרור מהגרור. כן מותקן שסתום דו-דרכי מופעל לחצן. כאשר נלחץ השסתום מזרז אויר לשסתום הבלם הנגדי, באופן שהוא מפנה זרם אויר ממכל המשני/חניה למפעילי הבלם. פעולה זו משחררת את יחידות הבלמים כך שניתן להזיז את הגרור ללא הגרור. כאשר מופעל השסתום הדו-דרכי, אוטם שסתום בקרה כפול

לשחרר אויר מתא הקפיץ, כדי לאפשר לקפיץ להתפשט ול- הפעיל בהדרגה את הבלימה המשנית של האופנים. כאשר נפלט האויר לחלוטין, מוחנה הרכב על-ידי הבלמים המופעלים באמצעים מכניים. במקרה של התהוות דליפה במערכת האויר הדחוס, כשהרכב בתנועה, והמדחס אינו מסוגל למלא את הפסד האויר, יפעילו אוי המפעילים את הבלמים אוטו-סטית. מהירות ההאטה תלויה כמובן בשיעור הדליפה. דבר זה נכון רק במקרה של דליפה במערכת המשנית/חניה הנפרדת לחלוטין ממערכת השירות.

דגם מערכת נוסף ההופך להיות נפוץ יותר ויותר ברכב מסחרי כבד, הוא שילוב של גורר וגרור. ההסדר הרגיל בדגם מעין זה הוא התקנת מערכות בלמים הן בגורר והן בגרור, כפי שמוצג בסכימות המעגלים. בסוג זה של מערכת, מספקים מפעילי בלמים בעזרת קפיץ את פעולת בלם השירות על הגרור. מפעילי הבלמים מצידם מופעלים ישירות על-ידי בקרת רגל של הנהג, אשר מפעילה גם, דרך שסתום מיסר את בלמי השירות של הגרור (צויר 4). שסתום המיסר, יחד עם שסתום הגנת לחץ בקו החירום, מספק את מכל האויר של הגרור, מגן על הגרור מפני הפסד מקרי של לחץ בקו ההתחברות אשר בין הגרור לגרור. שסתום עומס-משנה מותקן מעל לסרן האחורי של הגרור, ובקו הספקת האויר הנמתח משסתום הרגל לבלם הסרן האחורי של הגרור. שסתום זה מווסת בעת הפעלת הבלמים, את לחץ האויר המזין לתאי הבלמים, בהתאם לעומס הקיים על הסרן. באופן זה פוחת הסיכון של בלימה בלתי מאוזנת העלולה להיגרם כתוצאה מעומסים משתנים על הסרן.

מכל אויר נפרד מזין את המערכת המשנית/חניה. הוא טוען את קטעי הקפיץ של מפעילי הבלמים בעזרת קפיץ הנמצא באופני הגרור ובקו העזר של הגרור. הספקת אויר זו מבוקרת באמצעות שסתום-יד מיוחד ושסתום בלימה קפיצי נגדי. כאשר מופעל שסתום היד, לשם הפעלת הבלמים המשניים, מקבל השסתום הנגדי אות. בהתאם לאות הוא שחרר בהדרגתיות את לחץ האויר האוחז את הבוכנה הקפיצית במפעילי הבלמים; בכך מאפשר השסתום לבלום את הרכב בהדרגה. בורזמנית מאפשר שסתום הבקרה ללחץ האויר, העולה בהדרגה, להזין את הבלמים המשניים של הגרור, דרך קו העזר. כמובן קיים אף שסתום הגנה דיפרנציאלי, שתפקידו למנוע עומס יתר על הדחופים ועל מרכיבי הבלם. העומס נוצר בזמן שבלם השירות מופעל בכוח, כאשר בלמי הקפיץ כבר מופעלים, וכן במקרה הפוך. שסתום זה פועל על-ידי העברה חוזרת של לחץ שירות, מוגבל במקצת, לתאי הקפיצים של הבלם. פעולה זו מונעת הפעלה בורזמנית של כוחות השירות והכוחות המשניים. יש להטעים שסתומי הבקרה הותקנו בנקודות הכניסה של מכל האויר, כדי למנוע כל ורימת אויר בין מערכות השירות למערכת המשנית. מחונוי לחץ נמוך, מראים אם יש הפסד לחץ בכל אחד מהמעגלים. השסתום הנגדי מתוכנן כך שייגיב במהירות לאות הלחץ הראשוני שהוא מקבל, ובכך יאזן את הבלימה בין הגרור לגרור. כן נכלל במעגל מאדה אלקטרוני המזרים אוי אלקטרוני למערכת ומשמש כגורם נגד-קפיאה.

במאמר הראשון (חוברת 39), תארנו חלק משיטות הבדיקה הבלתי-הר-סניות. מאמר זה, סוקר את יתר השיטות הידועות בשטח זה.

בדיקות בלתי הרסניות

חלק ב'

חומרים חודרים

חומרים חודרים משמשים בצורה נרחבת לגלוי פגמי שטח, או פגמים פנימיים סמוך לשטח. חומרים אלה הם לרוב נוזל לים בעלי מתח פנים וצמיגות נמוכים מאוד. הנוזל עושה את דרכו לפגם שבחומר, כאשר יתר החומר מוסר מהשטח, ואז מכסים אותו בחומר פיתוח. לאחר הפיתוח, רואים, במקומות בהם חדר החומר הראשוני, עקבות המעידים על פגם שטחי. אפשר לקלף את חומר הפיתוח מהחלק כדי לקבל רשום קבוע. משתמשים בחומרים חודרים למעקב אחרי תופעות התעייפות ויתר הסוגים של סדקים, חורים עקבות-חישול, חללים, תפרים, אי-רציפויות, עקבות כלי העיבוד, ופגמים ברתוכים.

שני סוגים עקריים של חומרים חודרים מצויים בשמוש: האחד כולל חומר צובע, לרוב אדום, השני כולל חומר נהורני. החומר הצובע החודר נראה בקלות בעין בלתי מזוינת. הסוג השני נצפה באור על-סגול או אור שחור. סוג שלישי, שנכנס רק לאחרונה לשמוש הוא גז רדיואקטיבי, שתוצאות "קריאתו" הן דרך רדיוגרף.

לשיטה של מציאת פגמים בעזרת חומרים חודרים כמה יתרונות בולטים. השיטה פשוטה, ומפחיתה בהרבה את אי-הודאות הכרוכה בבדיקת התוצאה בעין בלתי מזוינת. מלבד זאת, השיטה זולה יחסית ונעשית בקלות. אפשר לעשות את הבדיקה בכל חומר שהוא בתנאי שאינו נקבובי (לאחרונה פותחו

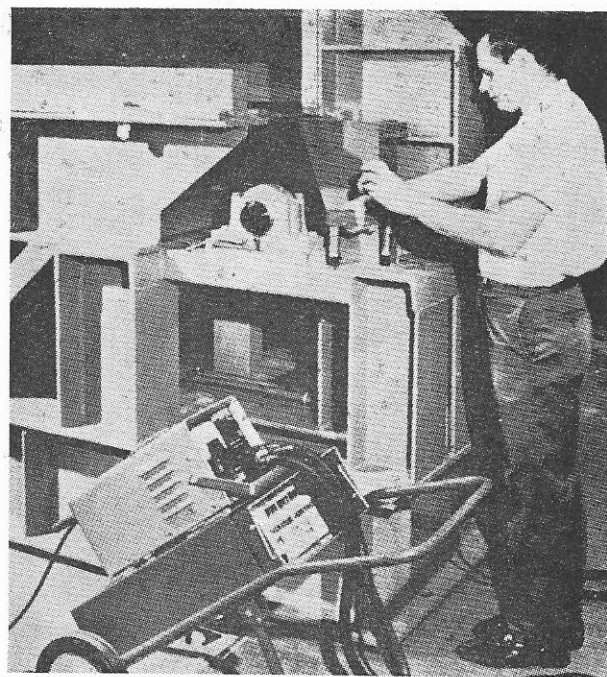
חומרים המיועדים גם לחומרים נקבוביים). אפשר לבדוק חומרים מגנטיים ואל-מגנטיים, על אף שרוב החומרים המגנטיים נבדקים בשיטות אחרות המתבססות לעתים על תכונת המגנטיות של החומר.

לעומת זאת אין אפשרות לגלות פגמים רחבים או חלולים, (כיוון שהחומר החודר נמחה). לבסוף, כל שימוש בחומר חודר יתן תוצאות מקורבות לגבי עומק וגודל הפגם.

רוב החומרים החודרים אינם מתאימים לגלוי פגמים קטנים עד למאוד. לעומת זאת גז רדיואקטיבי (כמו קריפטון למשל), מסוגל להתפזר בתוך פגמים שטחיים קטנים במיוחד, הרחק מגבול היכולת של חומרים חודרים אחרים מקובלים תודות לגודל האטומים שלו הקטנים ביחס. תוצאות השימוש בחומר חודר המבוסס על גז רדיואקטיבי, נקראות ישירות על-ידי מונה קרינה או במקרה שדרוש רשום קבוע של המוצר, על-ידי עשיית העתק מגע-רנטגן (אוטורדיוגרף) מהקרינה הנפלטת.

על-אף שדי פשוט ליצור חומר חודר, מתוצרת בית (אפשר ליצור חומר חודר די טוב מדלק דיזל, מחומר צובע אדום וחומצה אולאית) בוחרים רוב המשתמשים לקנות אחד מהמזרים המסחריים המצויים בשוק למטרה זו. אפשר להשתמש בחומרים אלה בדרך של הברשה, ריסוס או טבילת החומר הנבדק בהם. תחום טמפרטורת הפעולה הוא בין 70 מעלות ל-150 מעלות פרנהייט. זמן החדירה, התלוי באופן החומר

האלה במצב שיווי משקל, מראה על גודל, הצורה והמקום של הפגם בחומר. פגמים המצויים מתחת לפני השטח, או בקרבתם, ניתנים לגילוי בשיטת החלקיקים המגנטיים. פגמים שעל-פני השטח יותר קשים לפירוט. השיטה יעילה לגילוי סדקים, אי-רציפויות בחומר והיווצרות שכבות כתוצאה מתהליכי עיבוד כגון: טבילה בצונן, טיפול תרמי, השחזה וציפוי. לתהליך זה יתרונות מספר. אפשר לבצעו על כל חומר מתכתי-מגנטי. השיטה רגישה, פשוטה וזולה, משום שכל הציוד הדרוש לבדיקה הוא קל ומיטלטל ואפשר לבצע את הבדיקה בכל מקום. לעומת זאת אין השיטה מתאימה לגילוי פגמים קטנים למדי, כגון מובלעות כעובי שורה, וחללים נקודתיים. כאשר אינם בקרבה יתרה לפני השטח של המוצר. מספר תנאים כגון שינוי פתאומי בחדירות (פרמאביליות) של החומר, עלולות לתת תוצאות מדומות. בשיטה אחרת לגילוי פגמים על-ידי תופעת המגנטיות, מני-חיים סליל מוליך-זרם מעל השטח-הממוגנט של המדגם. כאשר עובר הסליל דרך איזור שינוי השטף המגנטי שנוצר בפגם, נוצר בו מתח מושרה, התלוי במידת שינוי השטף, שהיא תוצאה של מקום, ובמידה מסוימת גם תוצאה של גודל הפגם.



ציור 1: שיטת הבדיקה באמצעות חלקיקים מגנטיים, היא שיטה מקובלת. בציור נראית מערכת ניידת שנועדה לבדוק שלמות ריתוכים.

הנבדק, החומר החודר, סוג הפגם וגדלו — הוא לרוב בין 1 ל-60 דקות.

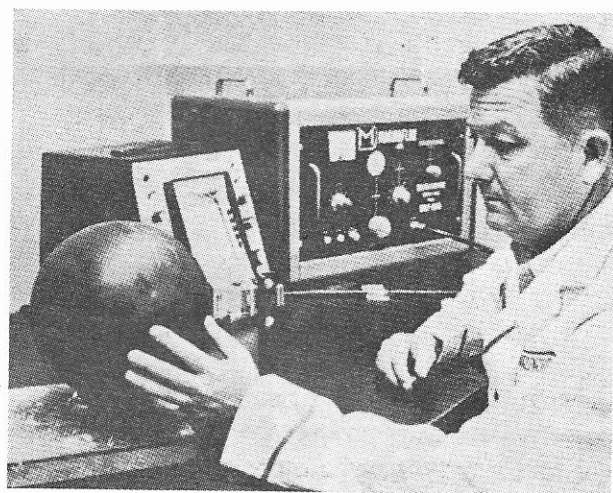
החומרים החודרים משמשים גם לגילוי דליפות. מורחים חומר מתאים בצד אחד של המדגם, ובצדו האחר בודקים אם החומר חדר ויצא החוצה. זוהי שיטה טובה למדגמים שעוביים המקסימלי כ-6 מ"מ.

מה צפוי לעתיד בשטח של חומרים נוזליים חודרים? כרגיל, המחקר נעשה בכיוון של מציאת חומרים רגישים יותר לקבלת ניגוד טוב יותר. לדברי המומחים יידרשו חומרים אלה בעיקר בתחום תעשיית החלל כיוון ששם הנטיה להפחית ככל האפשר בפעולות עיבוד. פירוש הדבר שיצטרכו לבדוק פגמים קטנים על-פני שטח גם יחסית.

שיטות מגנטיות

כל חומר הניתן למיגנט, ניתן גם לבדיקה מגנטית. על אף שיש שינויים קטנים בשיטות הבדיקה המגנטיות, בסופו של דבר הן מבוססות על אותו עקרון. אם משרים שדה מגנטי על-פני מדגם, יגרום כל פגם לעיוות שדה זה משום שלפגם עצמו יש תכונות מגנטיות שונות מאלה שיש לחומר הבסיסי. כל שעלינו לעשות, הוא לגלות ולמדוד את שינוי השטף המגנטי בנקודות אלה.

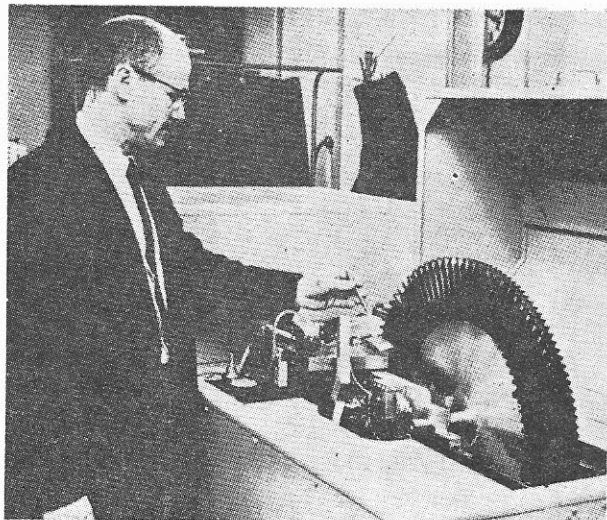
שלוש שיטות מקובלות לעיקוב אחר שנויי השטף. הידועה בהן היא שיטת החלקיקים המגנטיים. בשיטה זו, חלקיקי ברזל, יבשים או בתוך נוזל, מושמים על-פני השטח הנבחן. עקב השינוי המקומי בשטף, נמשכים חלקיקי הברזל לאיזור הפגם. לעתים מקבלים עליהם החלקיקים חומר נהורני כך שאפשר להבחין בהם ביתר קלות. צורת סידור החלקיקים



ציור 2: בעזרת מיקרוגלים, אפשר לבדוק החל ממעגלים משולבים (Integrated circuits) ועד כדורי „כדורת“. הכדור הנראה בציור, עובר בדיקת שלמות. אחד מהיתרונות של שיטת הבדיקה בעזרת מיקרוגלים, העובדה שהם מסוגלים לחדור חומרים אל-מתכתיים.

רוחבי. מתח זה ניתן למדידה באמצעים מיוחדים לאורך המשטח הממוגנט.

בעזרת שיטות מגנטיות מסוימות אפשר לגלות פגמים כה קטנים שאותם לא ניתן לגלות כמעט בכל שיטה אחרת, למשל פגמים מיקרוסקופיים בפלדות בעלות חוזק גבוה. גם כאן השיטה מבוססת על עיוות בשדה השדה המגנטי של המדגם. השיטה רגישה, ניתנת למדידות חוזרות, מדויקת, והיא אולי היחידה, מלבד שיטות הנעזרות בהגדלה אופטית גדולה, המסוגלת לתת תוצאות במקרים אלה.



ציור 3: שיטת ההפרעה המגנטית מאפשרת לגלות פגמים כה קטנים, שאינם ניתנים לגילוי בעזרת שיטה אחרת. בציור נראה שימוש השיטה, בבדיקת גלגל תמסורת מתיבת ההילוכים של מסוק, לנוק, התעייפות מיקרוסקופי.

שופרת קרני-קתודה. המידע המתקבל מלמד על הגודל, המיקום והצורה של אי-הרציפות שבחומר הגורמת לעיוות בזרמי המערבולת.

קיימים שני סוגים של אמצעי בדיקה בעזרת זרמי מערבולת. האחד בעל סליל יחיד, הנותן קריאה מוחלטת של עצמת השדה המגנטי. השני בעל שני סלילים שהראשון בהם מודד את זרמי המערבולת במדגם, והאחר מודד את עצמת זרמי המערבולת בגוף יחסי אשר חופשי מכל פגם. המכשיר משווה את שתי הקריאות מהסלילים. קיימות שתי צורות סלילים: בראשונה קיים סליל קונצנטרי המקיף את העצם הנבדק. השיטה נוחה לבדיקת גופים בצורת מוטות. לשמושים אחרים קיים מבחן נקודתי.

הפגמים מתגלים כתוצאה מהעובדה שבאזורים אלה, צפיפות זרמי המערבולת גדולה ביותר, ולהיפך — במקומות בהם צפיפות זרמי המערבולת קטנה, יש להניח שלא קיימים כלל

מיקרו-גלים בדומה לאלה המשמשים ב"מכ"מ, משמשים בעיקר בבדיקות בלתי הרסניות של חומרים אל-מתכתיים אשר לרוב קשה לבצע בהם בדיקות בשיטות המקובלות.

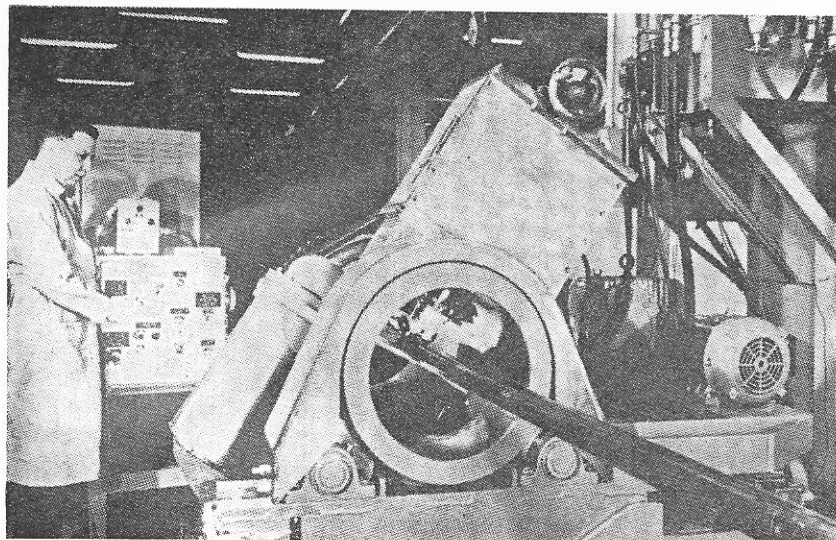
גלים אלה, אשר נעים, בערך, בתחום הספקטרום בין גלי הרדיו ואור תת-אדום, הם בעלי תכונות הדומות לגלי-אור. הם נעים בקו ישר, מוחזרים, נשברים ומתפזרים. שלא כגלי-אור, הם מסוגלים לחדור ולעבור דרך חומרים אל-מתכתיים. כאשר פוגע אות מיקרו-גל במשטח של עצם מסויים הוא מוחזר ונקלט תוך כדי מיפוי אופייני של השטח המורה לנו, לאחר פענוח, על פגמים בחומר, המתבטאים באי-רציפות של אות הגל. בעת בדיקת פנים של החומר מתפזרים המיקרו-גלים כאשר הם נתקלים בפגם כל שהוא שבו. אפשר לגלות בעזרתם סדקים, חללים, מובלעות ושטחים בלתי קשורים בתחום רחב של חומרים מתכתיים ואל-מתכתיים.

עבודה ניכרת נעשית בתחום של בקרת איכות על-ידי מיקרו-גלים. במחקר שערך נאס"א, גילתה מערכת נסיונות של מיקרו-גלים, סדקים, סריטות ויתר פגמים שגודלם היה בסדר של 100 מיקרו-אינץ'. מומחים בנושא בטוחים ששיטות משופרות יביאו רגישות יותר גדולה של התהליך.

כיום כבר פותחו שיטות המאפשרות לבדוק חלק מסויים, על אף שקיים מרחק אוויר בין הפגם ובין פני השטח, וגם זאת לפי העקרון של החזרת קרן מיקרו-גלים, ופענות תכונותיה האופייניות לצורת השטח שממנו הוחזרה.

שיטות המבוססות על זרמי-מערבולת

העקרון שלפיו מבוססת הבדיקה עם זרמי מערבולת הוא פשוט. אם שמים סליל, הנושא זרם-חילופין בעל תדר גבוה, סמוך לעצם המסוגל להעביר זרם חשמלי, נוצרים זרמי מערבולת מושרים בעצם זה. כמו-כן קיים שדה מגנטי הקשור לזרמי המערבולת; כל פגם או שינוי בתכונות המכניות, הפי-סיות או הכימיות של הגוף משפיע על השדה המגנטי. עצמת השדה המגנטי ניתנת למדידה בעזרת מכשיר מדידה או



ציור 4: בדיקת צינור המרותך בריתוך התנג' דות, רוא אחד מהרבה מוצרים היכולים להיבדק בשיטה המבוססת על זרמי מערבולת. השיטה מבוססת ביסודה על גילוי פגמים שטחיים על-פני השטח.

פגמים. כיוון שעצמת זרמי המערבולת גדולה ביותר קרוב לפני השטח של המדגם, טובה השיטה בעיקר לגילוי פגמי שטח.

הצלחה מסוימת הושגה בניצול שיטה זו לבדיקת לוחות מעגלים מודפסים רבי-שכבות. שיטה זו כאחרות, נחקרה על-ידי נאס"א. שם קרבו סליל נושא-זרם לנקב דק שנקדח בלוח מתכת, כך שנוצרו בו זרמי מערבולת. השדה המגנטי שנוצר נתן מידע מדויק על אופי הנקב.

נבנו מכשירים אשר מבצעים את הבדיקה לפי שני פרמטרים, למשל — העומק והקשיות של החומר. עקרונית נכנסה שיטה זו לתחום היצור ההמוני ואינה עוד תהליך נסיוני. אפשר לבחור למשל 10000 ברגים המשמשים למתלה ומערכת ההיגוי של רכב, כל זאת תוך שעה אחת. הברגים מוכנסים דרך מערכת כפולת-סלילים, והברגים הפסולים מסולקים אוטומטית. דוגמה אחרת — אפשר לבדוק צנורות או תילים במהירות של 1800 מטר לדקה.

פליטה אקוסטית

ידוע מזה שנים שחומרים המקבלים עיוות, מייצרים אנרגיה של רעש כתוצאה מהיווצרות גלי-מאמץ. רק לאחרונה גילו החוקרים שאפשר לנצל תופעה זו לגילוי פגמים בחומר.

התחום השימושי ביותר לשיטה זו היא מציאת פגמים ברתור-כים. לאחרונה פותח מתקן לבקרת איכות של ריתוכים אשר לבטח ימצא שימוש רחב בתעשייה. נמצא שכמות הפליטה האקוסטית היא ביחס ישר לגודל ולמספר הפגמים אשר בתוך הריתוך. פגמים כמו נקבוביות, מובלעות, התכה בלתי מלאה, וסדקים, יוצרים פליטה אקוסטית כתוצאה מקיום רי-כוזי מאמצים מסביבם. אפשר לגלות את הפגמים לאחר 20–45 שניות מתום תהליך הריתוך. הפליטה האופיינית להם נמשכת עוד כ-20 דקות אחר-כך. השיטה הופעלה בהצלחה בתחום ריתוך בהתנגדות, ריתוך בקשת טונגסטון עם גז מגן, ובריתוך קשת מכוסה במים.

שיטת גילוי הפגמים בעזרת פליטה אקוסטית אינה מיוחדת אך ורק לריתוכים. לדעת חוקרים אפשר לגלות בעזרתה סימנים לכשלונות של דודי לחץ, למצוא סדקים כתוצאה מקרוזית מאמצים, ולהשתמש בה כאמצעי לגילוי תופעות

התעייפות בכלי-טיס בעת הטיסה עצמה. אפשר לבדוק צנור רות-לחץ בהיותם בלחץ. פותחה שיטה חדישה בשם SWAT (שיטת חקירת גלי-מאמצים), המשמשת לבדיקת גופי טילים ודודי לחץ. לדברי המפתחים, שיטה זו רגישה בהרבה משאר שיטות הבדיקה הבלתי-הרסניות, למעשה הם טוענים, שאין כל גבול לרגישות השיטה. המגבלה המעשית היחידה היא היחס בין האות לרעש. אפשר לעקוב באופן מעשי אחר פגמי משטח, מסדר גודל של 0.0025 מ"מ רבוע.

היתרונות העקריים של השיטה הם שאין צורך במקור חיצון של אינרגיה בדומה לקרני-א למשל, וכן אפשר לבצע את הבדיקה ממש כאשר ממלא החלק את תפקידו היעודי.

שיטות הפליטה האקוסטית הן אמצעי מבטיח לגילוי כשלור-נות של החומר לפני שנוצרו. קורניית מאמצים, סדקי הת-עייפות ופריכות מימנית, מתגלים זמן רב לפני השבר.

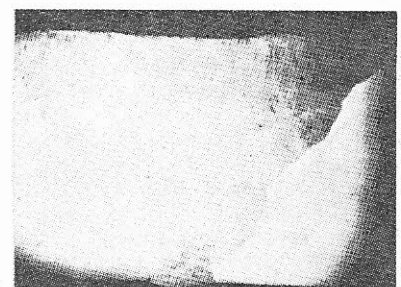
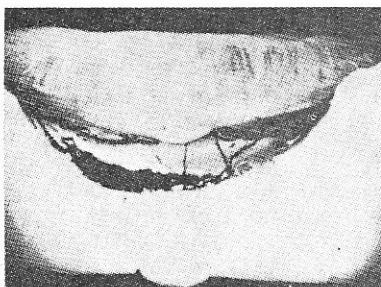
נאס"א פרסם עבודת מחקר על גילוי כשלונות של חומרים קשורים. החוקרים פתחו גלאי-לקרינה-אקוסטית המתאים לליבוד של מתכת-מתכת או מתכת-אל-מתכת. הבדיקה מראה כאשר מתחיל חומר הקשור להיכנע, וכמו כן נותנת תמונה על מצב המאמצים והסיכוי לכשלון של החומר הקשור.

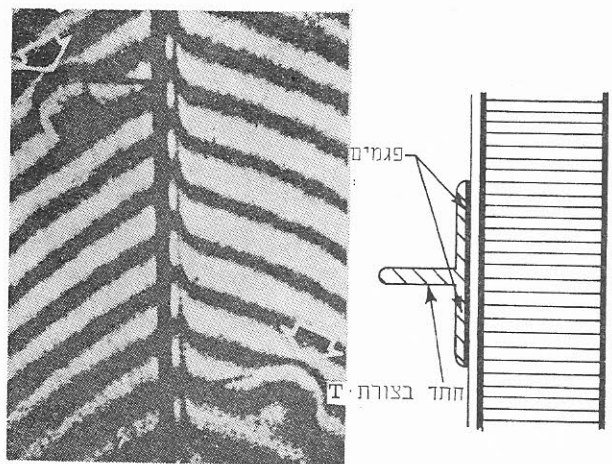
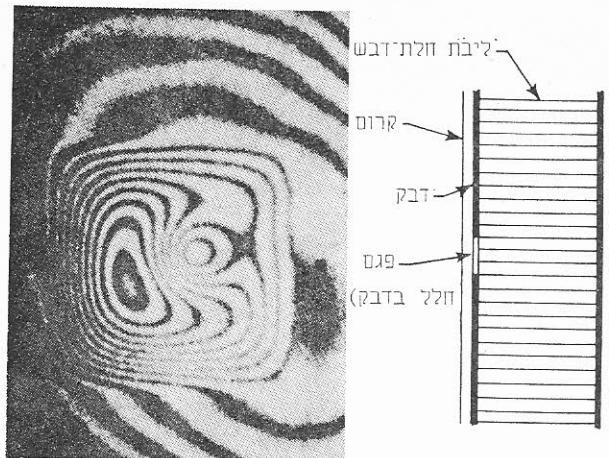
הולוגרפיה

ההולוגרפיה,* כאחד הפיתוחים המעניינים ביותר שפותחו לאחרונה, משמשת גם היא לגילוי פגמים. בהולוגרפיה, מאירה קרן רבת-עצמה של אור לכיד (קוהירנטי), לרוב קרן לייזר, את העצם הנבדק וכתוצאה מכך מקבלים, דרך תהליך דו-דרגתי, בבואה תלת-ממדית של העצם הנבדק. לא-מכבר הצליחו החוקרים בשטח זה, לשלב שתי שיטות חשובות. צילום קרני לייזר, ותופעת ההתאבכות של קרני לייזר — לשיטת גילוי פגמים בלתי-הרסנית הקרויה התאב-כות הולוגרפית. בשיטה זו משווים עצם מסוים בשני מצבים. למשל — במנוחה, ובלחץ. כך אפשר להרכיב על הולוג-רומה יחוסית, הולוגרמה של העצם במצב מסוים של עיוות. בעזרת שיטה זו ניתן לגלות פגמים מסוגים שונים, חללים, אי-רציפויות, היווצרות שכבות בחומר, וכיו"ב.

* ראה "מערכות-חימוש" חוברת מס' 34.

ציור 5: כל דפורמציה של פני השטח מלווה בפליטה אקוסטית. בקרת פליטה זו, יכולה ללמד על איכות הריתוך. שלושת הריתוכים הנראים בציור, נתנו במשך זמן נתון 77 פליטות (ציור ימני), 487 (ציור אמצעי) ו-18,000 פליטות (ציור שמאלי). ככל שקטן מספר הפליטות, אזי הריתוך טוב יותר.





ציור 7: ההולוגרפיה היא שיטת הבדיקה הבלתי הרסנית החדשה והקוסמת ביותר. ההולוגרמה העליונה מראה מיקום של חלל בדבק, צורתו וגודלו, בין הקרום לבין הליבה של לוח דמויי חלל-דבש. ההולוגרמה התחתונה, מראה את החלק עם פרופיל T. החריגים המקומיים של קוי ההתאבכות מראים בבירור על קשר לקוי בשתי נקודות על-אף שנראה מרווח איר.

נצפו מראש, בשטח המתמרים, גלי התנודות, ותופיות מיקרופונים.

הולוגרפיה אקוסטית נכנסת לשימוש בשטח של בחינת חומרים. בדומה להולוגרפיה עם קרני לייזר, מקבלים תמונת התאבכות עם ההבדל שהתמונה היא בשדה הקולי. מקור הגלים יכול להיות מכני או חשמלי. כרגיל משתמשים בקרן אלקטרונית הנופלת על לוח פיזור-אלקטרי החשוף לשדה קולי. האותות הנקלטים מוקרנים על מרקע טלויזיה. ההולור-גרמה מתקבלת על-ידי הקלטת תמונת ההתאבכות של גלי הקול נושאי המידע, עם גלי הקול הייחוסיים. הגלים הייחור-סיים הם אקוסטיים, או מיוצרים באופן מלאכותי. □

לשיטה זו יש כמה יתרונות. היא מהירה, ולא כשיטות הת-אבכות רגילות אין היא מצריכה הכנת שטחים מדויקת, חיבורים מכניים או ציפויים. יתרונות אלה חשובים מאוד כאשר מדובר בחקירת סדקים שמקורם מקורוויית מאמצים או מעייפות תרמית של החומר. אפשר לטפל בעזרת שיטה זו בצורות גאומטריות מסובכות. את כיוון העומס אפשר להפוך כך שאפשר לחקור את הגוף לאחר שהוסר ממנו העומס ול-השוות את התוצאה במהירות. גודל המדגם מוגבל על-ידי השטח שניתן להארה על-ידי האור הלכיד. אפשר לבדוק באמצעותה חלקי מתוג של מכשירי טלפון עד רכיבים גדור-לים כמו אנטנה של מיקרו-גלים.

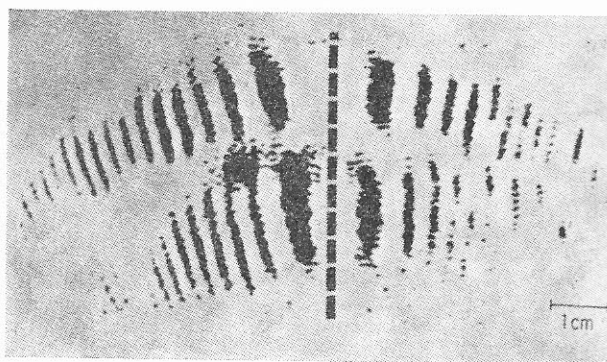
חברת "בואינג" הכניסה שיטה זו לשימוש בבדיקת סדקי-התעייפות ושטחים בלתי-קשורים במבנים דמויי חלל-דבש. ראשית נעשה צלום הולוגרפי של הגוף במנוחה. לאחר-מכן מקבל הגוף כפיפה קלה, ומצולם שנית. שתי ההולוגרמות מורכבות אחת על השניה, כאשר קוי ההתאבכות מראים על השינויים שבין שני הגופים בנקודת אי-הרציפות.

מעבדות חברת "בל" ניצלו את ההתאבכות ההולוגרפית כדי ללמוד את מהלך העיוותים בשורשו של חריץ שנעשה בחלק מנתך חמרן דמוי מזלג. כאשר המדגם מועמס מופיע סדר מסויים של קוי התאבכות, הקשור בצורה ישירה למעוות שעל-פני השטח.

ההולוגרפיה משמשת לחקר תחום רחב של תופעות מחוץ לדוגמאות שהובאו במאמר. למשל, בין יתר התופעות הארודי-נמיות שטופל בהן נחקר קליע רובה במעופו. נבדקו צמיגים ונתגלו פגמים כמו התקלפות פנימית של רבדים. נבחנה גם ההדבקה ברפידות בלמים, ונבדק אם אין פגמים פנימיים ברפידה. נחקרו תופעות האיכול והארוזיה בלוחות מתכת, וכן דפורמציה של מבנים בעומס.

אוניברסיטת מישגן עורכת מחקרים באמצעות הולוגרפיה, בשטח התנודות. המחקרים מראים עובדות מפתיעות שלא

ציור 6: באמצעות הולוגרפיה אקוסטית אפשר לגלות פגמים בחומר. גלי קול רצופים משודרים לתוך המדגם, נקלטים על-ידי מחוש, ויוצרים הולוגרמה. בציור נראית הולוגרמה של קולות של חור במדגם חומרן.



"מאיר"

חברה למכונות ומשאיות בע"מ
בבעלות מאיר קז ובניו,

הסוכנים הבלעדיים בישראל של

VOLVO

תל-אביב, רח' קרליבך 23, טל. 269191.



חברתנו מפעילה עתה גם מכונות בשיטת

LEASING

בתנאים נוחים.

תל-אביב, רח' אבן גבירול 9, טל. 222205.



מוסך מרכזי מודרני לשרותים

"מאיר" בע"מ.

פתח-תקוה, קרית מטלון, טל. 911133.



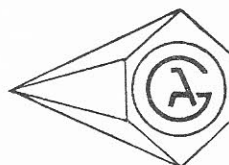
טרקטורים ומנועים

אדבין בע"מ

תל-אביב, רח' קרליבך 23, טל. 269191.

חיפה, רח' עין דור 13, טל. 521591.

"גלגל"



מכשירי יהלומים בע"מ

רח' 343 (בן דוסא) 16 יפו, טלפון 822953

מייצרים:

(1) מכשירי השחזה וליטוש על יסוד אבקות יהלום — כגון אופני השחזה, פצי-רות, מקדחים, כרסומים, לעבוד: מתכת קושיות (וידיה), פלדות, חומרים קרמיים וכל חומרים אחרים קשים לעבוד.

(2) מיישרי אבני השחזה המשמשים לישור אופני ליטוש קרמיים — עשויים מיהלום בודד.

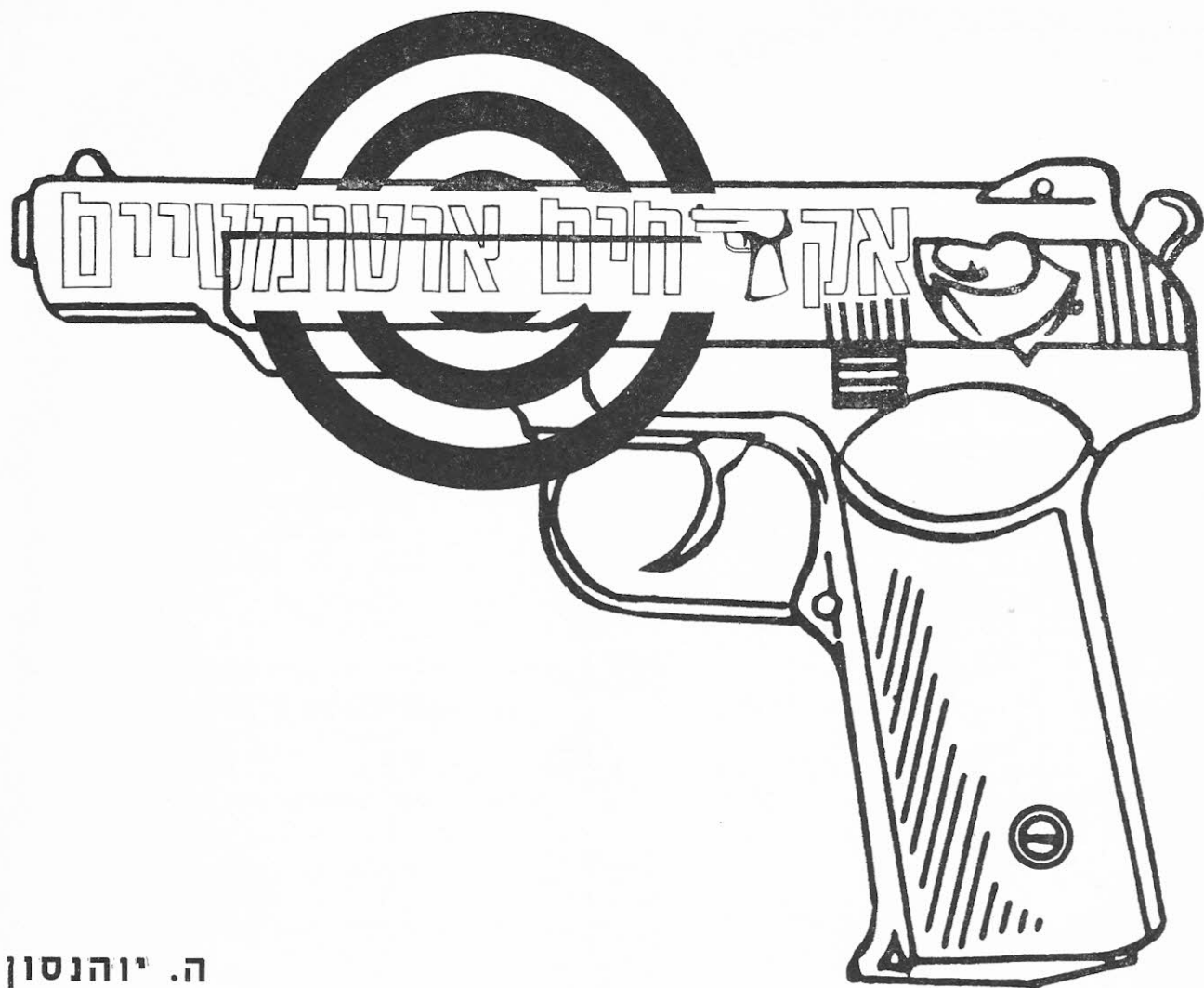
(3) מיישרי אבני השחזה העשויים מגר-גירי יהלום דחוסים בתוך נתך מתכת MULTICORN DRESSING TOOLS (ייצור בלעדי), בעלי יעילות מרבית וחס-כוניים.

(4) חלקי מתכת עשויים מאבקות מת-כת לפי שיטת "סינטור" (SINTERING), התמחות מיוחדת בשטח זה:

(א) מיסבי ברונזה הפועלים ללא שימון

(ב) פילטרים עשויים גרגירי מתכת

ייעוץ והדרכה בלתי מחייבים, נא להזמין קטלוגים.



ה. יוהנסון

ס"מ $3\frac{3}{4}$ אינץ') היה בעל טווח קצר מדי, וכמו רוב האקדח חים אף הוא לא היה מדויק משהופעל בידי החייל הממוצע. כפשרה באורח זמני נופק האקדח "לוגר" בעל קנה באורך 20 ס"מ (8 אינץ') המצויד במחסנית בת 32 כדורים ובקת דו-תכליתית, — צירוף של קת ונרתיק. את הקת-נרתיק ניתן היה לחבר אל קת האקדח, ובאופן זה להשתמש בו כבקרבין בעל עוצמה קטנה לטווח של 100 מטר בקירוב. ללא הקת, ניתן היה להשתמש ב"לוגר" בעל הקנה הארוך כבאקדח רגיל הנועד לשימוש לטווחים קצרים.

נשק זה ענה לצרכים המידיים ונתן בידי צוותי המקלעים אש הגנה מינימלית, וזאת מבלי להכביד עליהם יתר על המידה בעת העברת מקלעיהם ממקום למקום. אולם, לנשק זה היו כמה חסרונות בולטים ואלו הם:

- בטווחים ארוכים (מעל 100 מטר) לוקה כדור-אקדח "פרבלום" 9 מ"מ בחוסר כוח מוחץ.

- מאחר שקו הרתיעה היה גבוה בהרבה מהקת, "קפץ" לועי הקנה למעלה לאחר כל יריה.

- ה"לוגר" ארוך-הקנה, לא חדל למעשה מלהיות אקדח אפילו כאשר הופעל עם הקת (מעצה), והרי ידוע כי

ע-ל-אף מגרעותיו הטבעיות התפתח האקדח — הכלי הקטן, בעל מהירות האש הגדולה, לכלי-נשק שימושי ויעיל. בשל סגולות שניהן בהן ביכולתו לפתור את בעיתם של חיילים הזקוקים לנשק צד לשם הגנה מקומית.

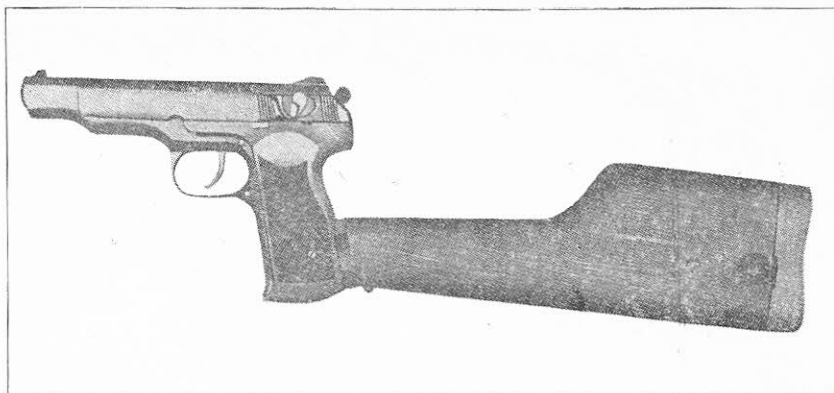
ה אקדח המיטען — מוגדר כנשק הגנה. הוא נטען אוטו-מטית לאחר כל ירייה וניתן להפעלה ביד אחת בלבד. אקדח זה הומצא ופותח בשלהי המאה הקודמת ושוכלל בראשית המאה הנוכחית. עם פרוץ מלחמת-העולם הראשונה קפאה התפתחות האקדח על שמריה. אולם, כבר בשלהי מלחמה זו פיתחו הגרמנים אבטיפוס של אקדחים בגירסה חדשה.

הדרישה לפיתוח כלי-נשק יעיל ונייד, נבעה מן העובדה שהמלחמה לבשה אופי של לוחמה ניידת. הצוותים הגרמניים נאלצו להעביר פעמים גם תחת אש, את תותחיהם, והיו זקוקים איפוא לנשק הגנה.

ה קרבין מופעל-הברית, שבו צוידו צוותי המקלעים להגנתם, לא היה נוח בשל אורכו ומשקלו. לעומתו, האקדח התקני "לוגר", האוטומטי למחצה, בעל קנה שאורכו 9.5

כדורים, באש בודדת ושוטפת ובקת נרתיק (ציור 5). חברות ספרדיות רבות, ייצרו אף הן דגמים מקומיים ודגמים זרים של אקדחים בעלי מנגנון לירי שוטף ובודד, נשק זה נמכר בכמויות נכבדות.

על-אף היתרונות הטמונים באקדח האוטומטי, נתגלו בו גם חסרונות. בשל רתיועם החזקה של הכדורים רבי העוצמה, ובשל נקודת החיבור הנמוכה של הקת, "קפץ" לוע הקנה. אי לכך היתה פגיעת הכדורים האחרונים, מתוך צרור של חמישה כדורים — בקיר הנמצא בטווח של 15 מטר, כמעט בלתי אפשרית.



ציור 1: אקדח רוסי APS (סטצ'קין) אוטומטי כליל.

ברוב האקדחים קשה להשיג פגיעות מדויקות, בשעת מהלך הקרב.

ב ראשית מלחמת-העולם השניה, פינה האקדח האוטומטי את מקומו לתת-מקלע בעל כושר פגיעה גבוה יותר. אולם האקדח האוטומטי לא חדל מלקסוס לכמה ממציאים, ולאחר המלחמה אף הוכנס לשירות הצבא הסובייטי.



ציור 3: "מיני-מקלע" 1918 Wz-63.

אקדח זה — APS או סטצ'קין (ציור 1), היה גדול למדי וצויד בקת-נרתיק אופיינית. האקדח ירה את הכדור הסובייטי החדש בגודל 9 מ"מ מתוך מחסנית בת 20 כדורים. הכדור גרם לרתיעה, הקטנה מזו של כדור-פרב' לום 9 מ"מ, אולם נקודת החיבור הנמוכה של הקת גרמה לקפיצה יתרה של לוע-הקנה. בתוך הקת הותקן מאיט-קצב' אש מסובך למדי, הפועל בכוח ההתמדה, מטרתו היתה — להאיט את קצב האש הגבוה מדי. אולם ה-APS לא הצליח, וכפי הנראה הוצא לאחר זמן משימוש. בשנת 1961, ייצרו הצ'כים אקדח אוטו-מטי יחיד במינו. מלבד צורתו החדשה, מייצג האקדח הצ'כי גישה חדשה בירי אקדחים בתנאי קרב.

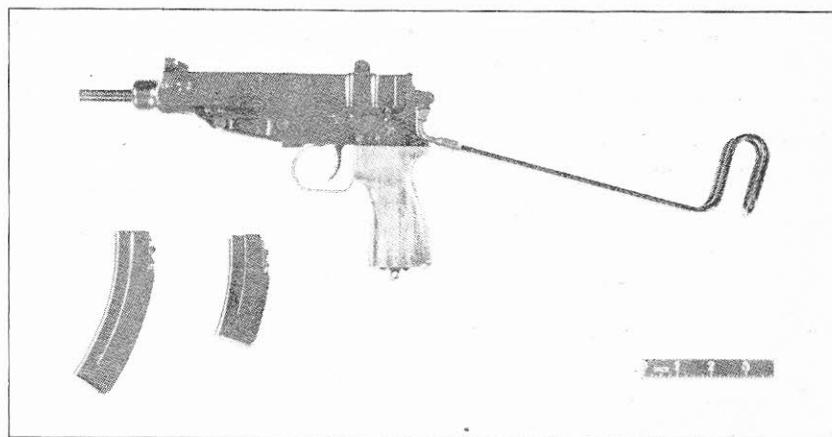
האקדח — Vz-61 (ציור 2), כונה בכינוי ההולם את תכונותיו — "עקרב". ואכן, הוא בעל עוקץ. האקדח יורה כדור "בראו"

ב של החסרונות הללו, צץ מחדש הצורך בשיפור הכלי וחיל החימוש הגרמני הכניס לשימוש את התת-מקלע MP18-1.

תת-מקלע זה, שגודלו כגודל הקרבין, היה אוטומטי לחלוטין וירה כדורי אקדח 9 מ"מ. גם ה-MP18-1 לקה בחוסר כוח מוחץ בטווחים ארוכים, אך ברד הכדורים שלו ורתיעתם החלשה סיפקו אפשרות פגיעה טובה יותר מאשר האקדח. יש להטעים כי כלי זה היה יעיל ביותר "בהכנסת" אש רובים בטווחים קצרים. אולם, הוא היה ארוך וכבד כמעט כמו קרבין הפרשים הישן. הפתרון האידיאלי יכול היה להימצא במיווג שבין אקדח קומפקטי בעל קת-עץ לבין הקרבין האוטומטי, אולם פתרון זה לא מומש עקב סיומה הקרוב של המלחמה.

ה דרישה לאקדח אוטומטי שימשה שדה פורה לממציאים, ותקיי-הפסגות משנות ה-20 וה-40 גדושים בשיטות להסבת אקדחים אוטומטיים-למחצה לאקדחים אוטומטיים לחלוטין. חברת "מאוור" החלה ב-1932 בשיווק דגם חדש של האקדח הצבאי שלה. אקדח זה הצטיין במחסנית נתיקה בעלת 20

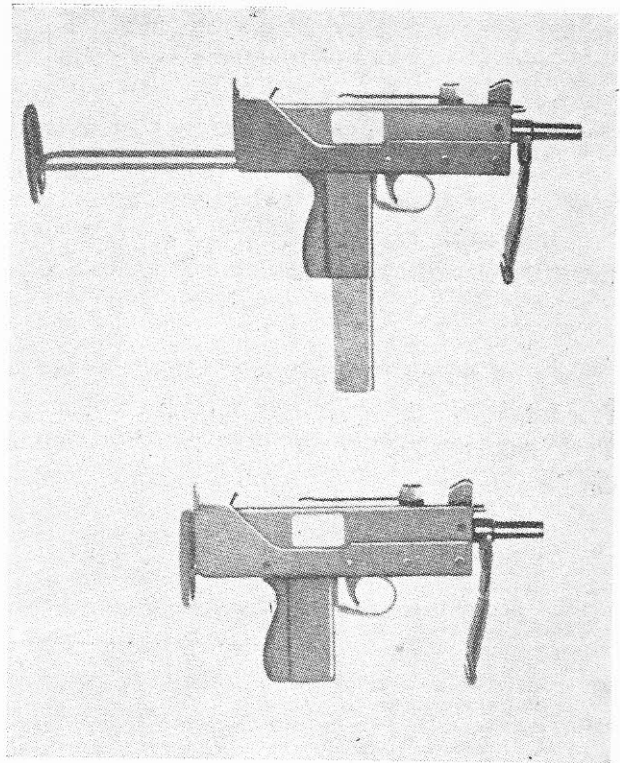
ציור 2: אקדח צ'כי Vz-61 (עקרב) אוטומטי כליל.



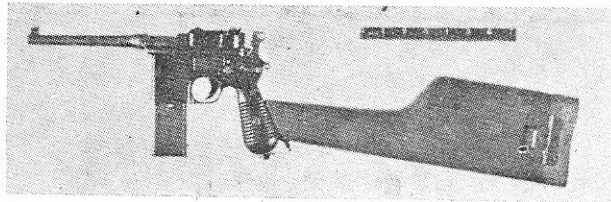
7.5 מטרים הוא כ־90 ס"מ רוחב ו־120 ס"מ גובה. מקבץ כגון זה הוא כמעט אידיאלי לפגיעה במטרה בגודל אדם.

ה־Vz-61 אינו מסובך מבחינה מכנית. הכדור 7.65 מ"מ בעל העוצמה הקטנה, מאפשר שימוש בסדן הפועל בשיטת ההכבדה הפשוטה. החלק העיקרי של הסדן משתרע קדימה מעל הקנה וזאת כדי לספק את מסת־האנרציה הדרושה לפעולת ההכבדה. מבלי להאריך את האקדח יתר על המידה; זוג קפיצים־מחזירים־לולייניים מספק את הכוח לתנועת ההחזרה של הסדן.

ה צבא הפולני ייצר לאחרונה דגם המקביל ל"עקרב" הצ'כי. האקדח Vz-63 תוכנן על־ידי פרופ' וילנבצ'יק אשר התפרסם הודות לתכנון האקדח P-35, "ראדוס". ה־Vz-63 דומה יותר לתת־מקלע מאשר לאקדח, ועצם השוואתו ל"עקרב" דומה להשוואת תפוז לאשכולית — שניהם מאותה משפחה אך נבדלים בהרבה זה מזה. האקדח הפולני כבד בכרבע קילוגרם וארוך ב־7 ס"מ לערך מה"עקרב". שינוי ממדים זה נובע בחלקו מן הסיבה שה־Vz-63 יורה כדורי "מקארוב" 9 מ"מ, שעוצמתם רבה יותר. משקל הכדור 6.8 גרם והוא נורה במהירות לוע של 325 מטר לשניה. הכדור מצטיין באנרגיה גדולה יותר מזו של כדורי ה"עקרב", אשר משקלם הוא 4.6 גרם. הכדורים נורים במהירות־לוע של 305



ציור 4: תת־מקלע "אינגרס" דגם 10.

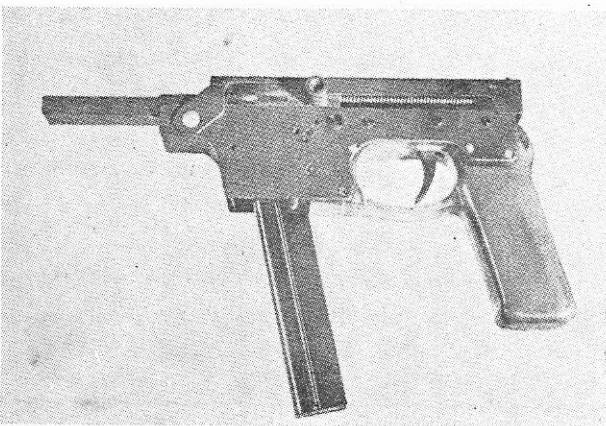


ציור 5: אקדח "מאחר" אוטומטי כליל M-711 — דגם 1932.

מטר לשניה. אך תוספת העוצמה הושגה על חשבון הגדלת משקלו ומידותיו של האקדח.

ה־Vz-63 המכונה בפי הפולנים "מיני־מקלע", מצטיין בכמה תכונות מיוחדות.

ציור 6: אקדח אוטומטי כליל 2—22, פיתוח חברת "ונוס".



נינג" 7.65 מ"מ בעל דחף רתיעה נמוך. הכדור בעל קליע שמשקלו 4.6 גרם ומהירות הלוע היא 305 מטר לשניה — כשהוא נורה מקנה של 10 ס"מ אורך. לעומת כדורי 9 מ"מ "פרבלום", או כדורי 0.45 אינץ' של ה־M-1911, נראה כי כדור זה דל בכוחו, אולם אנרגיית הכדור גדולה מזו של כדוריות הפלדה של רובים המשמשים למטרות אזרחיות (דיכוי מהומות וכד'). האקדח הצ'כי הציע פתרון טוב לבעיה שתמיד הטרידה את היורה באקדח הצבאי — פגיעה במטרה באקדח היורה אש בודדת.

י ש לציין כי פגיעה באקדח, אפילו במטרה קרובה, קשה מאוד, הקושי נובע מקוטר הקצר של הכוונת, מן היישור הקשה של הכוונות, מן הרתיעה החזקה ומהדף־הלוע של האקדח הרגיל, כל אלה מצטרפים לתלות הרבה הנתבעת ממפעיל האקדח, תלות המתבטאת בהתאמת שרירי היד לתכונות הכלי. ביקור חטוף במטווח־אקדחים, יראה נקבי כדורים מפוזרים, החל מטווח בן 1.5 מטרים לפני היורה וכלה ב־3 מטרים ויותר מאחורי המטרה, וזאת במטרה הניצבת בטווח של 7.5 מטרים מן היורה. אין להשוות תנאי מטווח לתנאי קרב שבהם השגת פגיעה מאקדח אוטומטי־למחצה היא ענין של מזל גרידא, אולם עם זאת, אל לנו לשכוח שמידת המזל עשויה להציל לא פעם את חיי היורה. דחף הרתיעה הנמוך ומספר הכדורים הרב של ה"עקרב", מגדילים את סיכויי הפגיעה. הפתרון הצ'כי לבעיה זו הוא, שהיורה יפנה את אקדחו לכיוון הכללי של המתקף, ילחץ על ההדק ויירה צרור בן 3—5 כדורים. מקבץ בן 5 כדורים בטווח של

מ צויים כמה כלי־נשק אמריקניים הדומים ל-Vz-61 ול-Wz-63. התת־מקלע „אינגרס” דגם 10 (ציור 4) קטן וקומ־פקטי במידה מספקת כדי להיחשב כאקדח אוטומטי. למרות שהוא יורה כדורי־„פרבלום” 9 מ״מ רבי עוצמה, ניתן לירות בו בעזרת יד אחת.

חב׳ „ונוס” פיתחה אקדח (ציור 6) אוטומטי לחלוטין, היורה כדורי 0.22 אינץ׳ ארוכים, משני קנים הצמודים זה לזה. הרתיעה תחלשה של הכדור 0.22 אינץ׳ מאפשרת בקרה טובה בירי אוטומטי.

ב סקירה קצרה זו, תיארנו את שלבי התפתחותו של האקדח האוטומטי. תוך זמן קצר, יחסית, הפך הוא להיות לנשק שימושי ויעיל, נשק העשוי לפתור את בעיית אותם חיילים הזקוקים לאקדח לשם הגנה. □

בתחילת מחזור הירי המחלק פתוח; עם סגירת המחלק, שלוחצים על ההדק, וזאת בטרם שוחררו הכדורים, בולט מארך המחלק כמה סנטימטרים קדימה מעבר לקנה. מטרתן של תכונות אלה — לבקר את קפיצת לוע הקנה. קפיצת הלוע נגרמת עקב משקלו הכבד של המחלק, המוריד את לוע הקנה בעת סגירתו בכוח. כאשר הקליע עוזב את לוע הקנה, מתנגשים הגזים במאריך המחלק ומביאים לידי הורדת האקדח. האפקט המצטבר (מכת־גזים ומשקל המחלק) יעיל דיו כדי להבטיח בקרה נאותה של הכלי בעת ירי אוטומטי.

ל-Wz-63 ידית אחיזה קדמית הניתנת לקיפול ואשר אפשר להיעזר בה כבמתפס שני. ידית זו, וכן הקת המתקפלת ישר, מבטיחות ליורה בקרה טובה בירי אוטומטי. באקדח זה אין בורה, אולם משיכה קלה וקצרה בהדק גוררת אחריה אש בודדת, ואילו משיכה ארוכה גורמת לאש שוטפת.

קינג בע"מ

●
ייצור מיסבים
למנועים

●
חולון, איזור התעשייה,

רחוב הסתת 13,

טל. 846609

אחים סמי

ייצור הכונוני באוטומוטים
ייצור כבלים לנועצורים

כולל כבלים מכל הסוגים לרכב,
טרקטורים, רכב כבד וכו'.

מפעל למוצרי גומי

ספק מוכר של משרד הבטחון

תל-אביב, רחוב בן עזאי מס' 2 (רחוב 329)

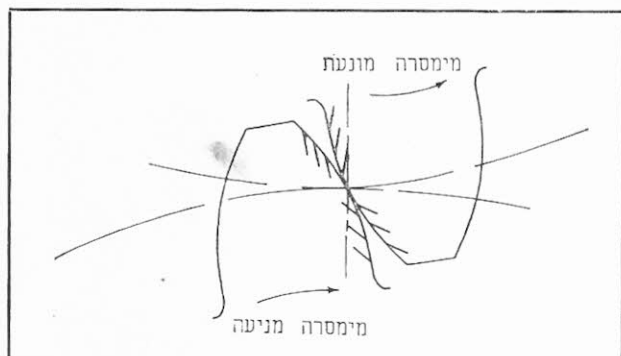
טלפון 826018

התעייפות מתכות

הרס פני השטח בגלגל שיניים (10)

דונלד ג'. וולפי

צורת השבר על-ידי גימום. ההחלקה מחישה שבר גם כאשר המאמץ המופעל הוא בעצמה נמוכה יותר.



ציור 2: סדקים אלכסוניים מיקרוסקופיים, שכיוונם, כמצוייר לעיל, נראים לעיתים קרובות בשטחים העליונים של שן המימסרה.

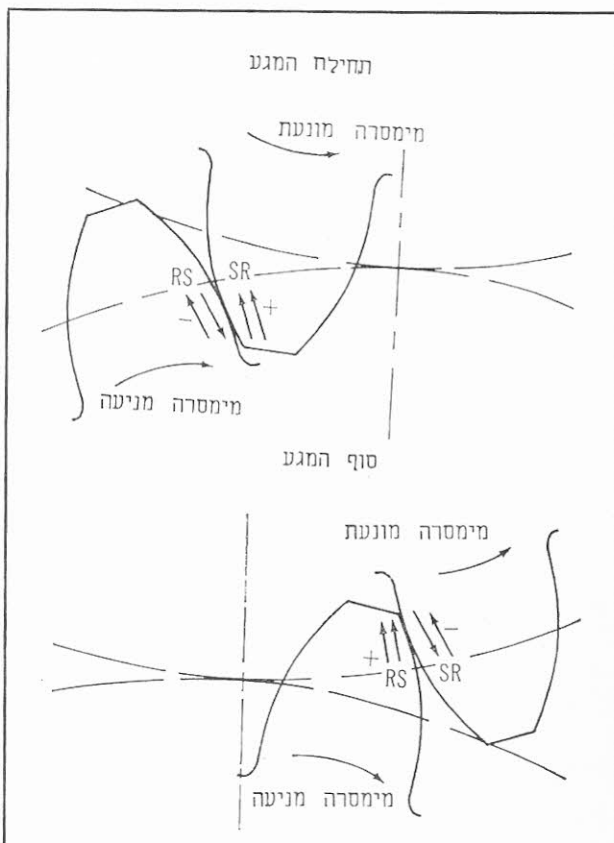
שילוב של גלגול והחלקה

שטחים רבים כמו שיניים של גלגלי שיניים, שהם לכאורה בעלי מגע בצורת גלגול בלבד, נתונים למעשה לפעולת גלגול בתוספת החלקה. ההחלקה יכולה להיות טבועה כבר ביסוד התכנון או להיגרם על-ידי דפורמציה אלסטית בעומס. ציור 1 מראה את פעולת הגלגול-החלקה הטבועה בכל שיני גלגלי השיניים. כיוון הגלגול זהה בין אם נקודת המגע היא מעל מעגל החלוקה ובין אם היא מתחתיו. כיוון ההחלקה לעומת זאת אינו אחיד והוא מותנה בגלגל השיניים למקרה בו הוא מונע, או מניע. טבלה 1 מסכמת מצב מורכב זה.

חתך רוחבי של אותם שטחים שהיו נתונים לפעולת גלגול-החלקה משולבת, חושף לעיתים קרובות סדקים מיקרוסקופיים אלכסוניים. כל אחד מהסדקים הללו, עלול להתארך כלפי פנים ולגרום לגימום השטח, כפי שנראה בציורים במאמר החמישי (חוברת 31).

כיוונם של סדקים אלכסוניים אלה, מסייע בניתוח הכוחות הפועלים על השטח: הזווית החדה הנוצרת בין הסדק לבין נקודות השטח מצביע על כיוון ההחלקה. מכיון שכיוון ההחלקה על-גבי שן של גלגל שיניים שונה בהיותו מעל או מתחת למעגל החלוקה, חושפים סדקים אלה הבדל זה. כמו-כן מבהירים הסדקים את ההבדלים כאשר בין גלגלי השיניים מניעים לבין אלו המונעים. ציור 2 מראה את דוגמת הסדקים הנגרמים.

ימני פגיעה המופיעים בשטחיו של זוג גלגלי שיניים, הם בעלי משמעות אחת ויחידה: סימן הוא כי הגלגלים עברו את גבול כושר העמסתם וזאת, על אף העובדה שהשטחים הפועלים של השיניים עשויים לשאת עומס גדול בהרבה מזה המוטל על חלקי מכונות רגילים. הפרופילים הפועלים הם מטבעם בעלי צורה מורכבת המסייעת להתפתחות מאמצי לחיצה גבוהים (Hertzian stresses). כאשר מופעלים גלגלי השיניים מבוצע גלגול טהור רק באותם מעגלי חלוקה אשר נמצאים בפעולה. ההחלקה בשן נעשית הן מעל למקום זה והן מתחתיו, וגדלה ביחס למרחק ממעגל החלוקה. כפי שהוסבר במאמר החמישי בסידרה זו (חוברת 31), תוספת ההחלקה למגע הגלגול הטהור משנה באופן דרסטי את

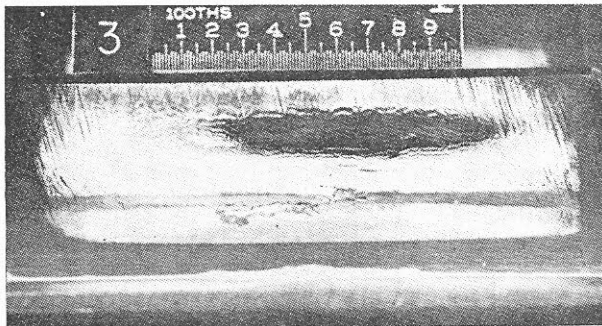


ציור 1: כאשר קיים מגע בין זוג שיניים, נוצרים מאמצי גלגול (R) ומאמצי החלקה (S), כאשר שני מאמצים אלו באותו כיוון, קרוי המצב — החלקה חיובית. כאשר הם בכיוונים הפוכים קרוי המצב — החלקה שלילית.

	(כיוון הגלגול ¹)	כיוון ההחלקה ¹		
		מתחת לקו (החלוקה 2)	מעל קו (החלוקה 3)	ביחס לקו החלוקה
גלגל מניע	למעלה	למטה	למעלה	ממנו
גלגל מונע	למטה	למעלה	למטה	כלפיו

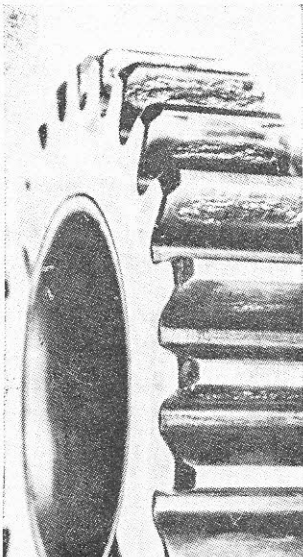
(1) למעלה — לכיוון קצה השן; למטה לכיוון השורש.
(2) רחלקה שלילית — הגלגול וההחלקה בכיוונים מנוגדים.
(3) החלקה חיובית — הגלגול וההחלקה באותו כיוון.

יצירת הבחנה בין החלקה וגלגול שהם באותו כיוון (חיובית) לבין החלקה וגלגול שהם בכיוונים מנוגדים (שלילית). המצב האחרון הוא בדרך-כלל החמור יותר. ציור 1 וטבלה 1 מראים החלקה „שלילית” הנוצרת מתחת לקו החלוקה של גלגלי השיניים המניעים והמונעים כאחד. גלגל השיניים המניע נחשב לקריטי יותר, כיון שבדרך-כלל הוא בעל מספר שיניים מועט יותר, ולכן מקבל הוא אף יותר מחזורי עומס. כמור



ציור 5: מאמצי מגע ניכרים גרמו לזרימה פלסטית על פני השן של גלגל השיניים. בסביבות מרכז השן נראים סימני התעייפות — חללים שנוצרו עקב הקרעות חלקי מתכת. הבלאי השווה לאורך השן, והראה שחלוקת העומס, נכונה. הגלגל עשוי פלדה 8620 מצומנטת.

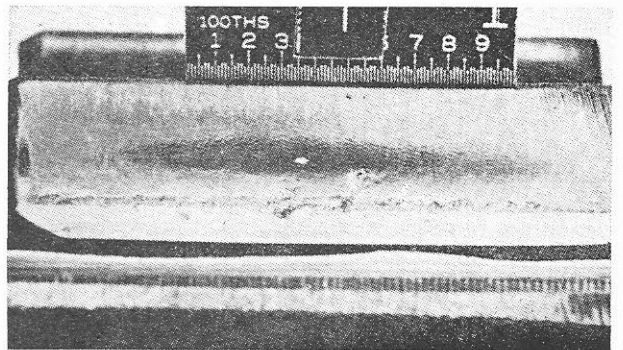
כן יש לשיני גלגל השיניים המניע רדיוס עקמומיות הנופל בגודלו, ומשום כך נזקק הוא למערכת מאמצים יותר מרוכות. זוהי הסיבה לכך שהאזור הקריטי ביותר להתעייפות, כתוצאה



ציור 6: התעייפות גימס גרם מה להרס פני השטח של גלגל השיניים. הגלגל עשוי פלדה 8620, כחלק מממיר מומנט. הגלגל עבד במשך 1345 שעות, בתנאי עומס גבוהים.

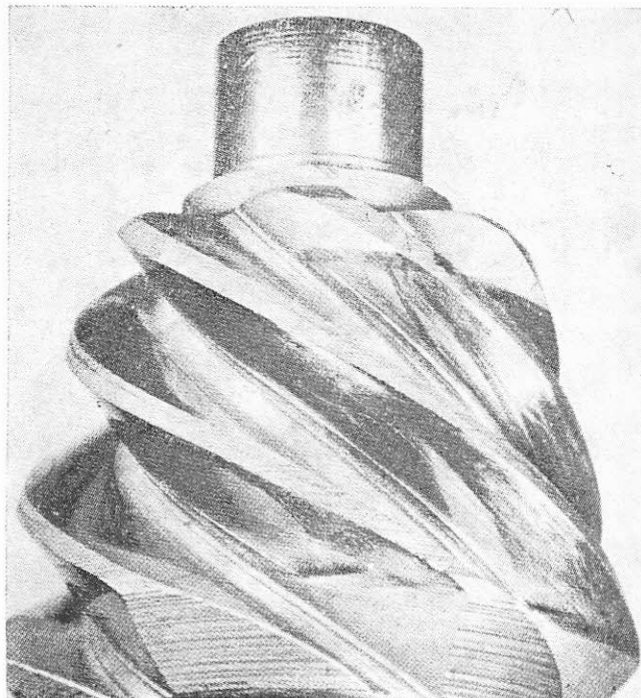


ציור 3: בחתך רוחבי זה של שן מימסרה מונעת, נראים סדקים אלכסוניים בכיוונים מנוגדים, מעל לקו החלוקה ומתחתיו. הציור הוגדל פי 100.

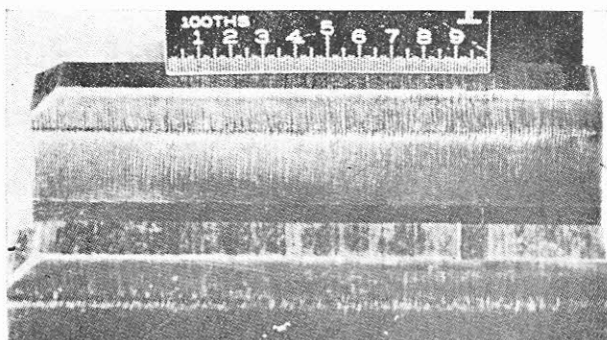


ציור 4: בציור נראה שינן הינע סופי של טרקטור, עשוי פלדה 4118 מצומנטת, שנפגע מגימס בקרבת קו החלוקה, לאחר 932 שעות עבודה. כמורכב נראים עקבות של זרימה פלסטית לאורך אזור קו החלוקה, וכן בלאי עיטתי ליד אזור הקצה.

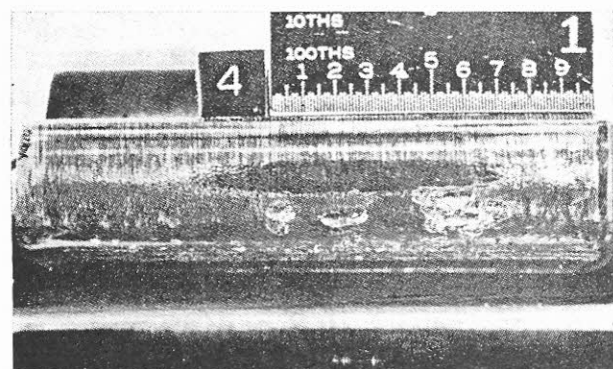
הדגמת דוגמה זו מובאת בציור 3. בחתך רוחבי של שן גלגל שיניים מונע במעלה קוטרי 4.5 (הוגדל פי 100), שים לב: לקיומן של שתי קבוצות סדקים כשהזוויות החדות נמצאות בין הסדקים לבין השטח מכוונות אלה מול אלה. מאחר שהמקום היחיד בו יכול כיוון ההחלקה להתהפך נמצא במעגל החלוקה הפועל, ולכן על קו זה להימצא, איפוא, בין שני הסדקים הקרובים ביותר שהם אף בעלי כיוון הפוך. רגישותו של השטח לכיוון ההחלקה מודגמת על-ידי העובדה, ששני הסדקים הסמוכים ביותר בצילום הנ"ל נמצאים במרחק בן 0.007 אינץ' בלבד זה מזה. לכן רק מידת החלקה קטנה ביותר של החלקה, נדרשת לשם יצירת סדקים מנוגדים, משני צידי קו החלוקה המונחים החלקה „חיובית” ו-„שלילית” נכנסו לשימוש לשם



ציור 7: בשלב הראשון של התעיפות שיבוב, נראים סדקים ארכיים שהתפתחו על המשטח הפעיל של השן (שמאל). בשלב השני, הרס השיבוב לחלוטין את הגלגל עקב התפרקות רסיסים גדולים. הגלגל עשוי פלדה 4817 מצומנט.



ציור 8: גלגל השיניים הנראה בציור, עשוי פלדה 1050 מחוסמת באינדוקציה, עבר תהליך של בלאי עיסתי, כתוצאה ממגע בלחץ גבוה בין מתכת למתכת, וזאת כתוצאה מקלקול מערכת השימון. הקו האופקי על השטח הפגוע מורה על קו החלוקה. כוחות ההחלקה הם בכיוונים מנוגדים, מעליו ומתחתיו.



ציור 9: בגלגל שיניים זה, נראים כל גורמי ההרס שצוינו קודם לכן: גימט, שיבוב, בלאי עיסתי. בגלגל התפתחו "גלים" בין אזורי הגימט לבין אזורי הבלאי העיסתי. הגלגל עשוי פלדה 4118 מצומנט.

מגימט שטח, הוא אזור מעגל החלוקה של גלגל שיניים מניע. מטעם זה, מיוצר גלגל השיניים המניע לעיתים קרובות מחומר מעולה העולה בטיבו על זה של הגלגל המונע.

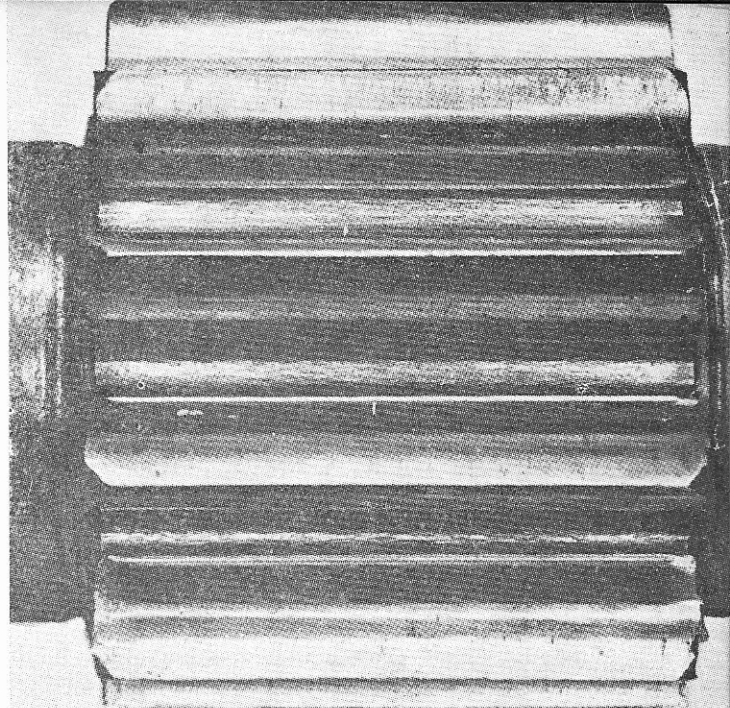
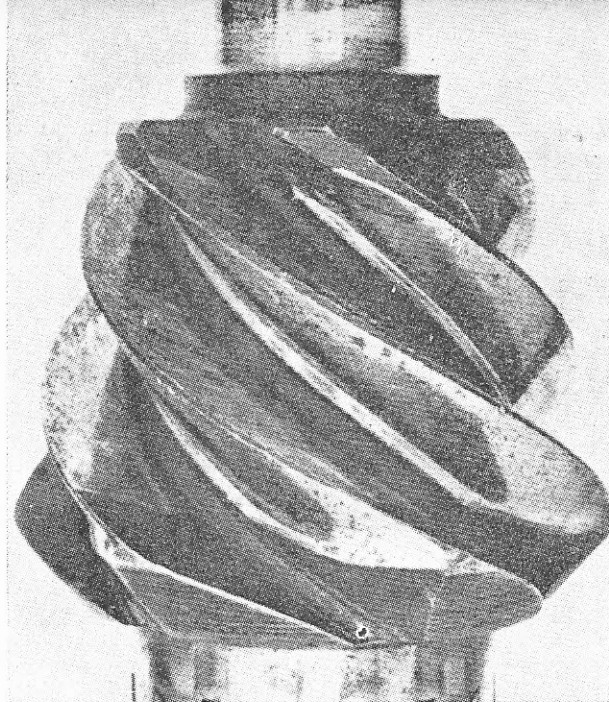
התעיפות שיבוב (Spalling)

בצד תופעת הגימט, קיימת תופעה הרסנית אחרת הקרויה התעיפות שיבוב או התפצלות. כפי שתואר במאמר החמישי בסידרה, סוג נזק זה נגרם כאשר סכום מאמצי הגזירה העודפיים הנמצאים בשימוש עולה על כוח הגזירה בגבול שבין אזור החסום ולב השן. סדקי התעיפות מתפתחים אז עמוק בתוך השן וחותרים תחת השכבה החיצונית המחוסמת. לבסוף מגיעים הם עד לפני השטח, כשהם עוקפים בדרכם נפחים גדולים יחסית של מתכת. חלקי מתכת אלה נעקרים מהשן, בהותרים תחתם חורים רחבים מאוד. התוצאה אינה מאחרת לבוא: גלגל השיניים נשבר לחלוטין.

שימוש בחומרי סיכה

בלאי עיסתי או חריצה על פני שטח שן גלגל השיניים, היא הבעיה העיקרית, שאינה נובעת ישירות מהתעיפות המתכת. תופעה זו עלולה לקרות כאשר חומר הסיכה מתפרק בשל טמפרטורות מרוכזות וגבוהות באזורים של שטח המגע. עליית הטמפרטורה נובעת מצידה מעומסי יתר וממהירות החלקה גבוהות.

השימוש בחומרי סיכה שנועדו לעבודה בלחץ גבוה, גורם לתגובות כימיות בין הפרופילים הפועלים הנמצאים במעגל לבין חומר הסיכה. תגובות אלה, מזהמות את פני השטחים ביצרן קרום חד מולקולרי המונע מגע בין מתכת למתכת.



ציור 11: חוסר שימון, או סיכה בלתי מספקת או מזוהמת, גרמו שבשינון היפואידי זה, העשוי מפלדה 4817 מצומנטת, הבלאי היה חמור, עד כדי כך שבשטחים אחדים נשחק החיסום. בלאי כזה יכול להיווצר גם מחוסר יישור בהרכבה.

הפוגע בפני השטח אינו סטטי אלא דינמי, הרי שהוא יכול להתקדם ולהופיע בדרגות שונות — באופן קל, בינוני וחמור. גלגלי השיניים ממשיכים לפעול למרות התפתחות הנזק הנ"ל, אם כי הרעש, הטמפרטורה והתנודות הולכים וגוברים בד בבד עם התרחבות הנזק.

סיכום

במאמר זה, וכן בתשעת הקודמים לו, נגענו בכמה תופעות של שבר, האופיניות לחלקים תעשייתיים רבים. הכרת כל אחד מהם, וכן הכרת סוגים אחרים שלא נדונו בסידרה זו — הכרחית לשם מניעת או צמצום תקלות מעין אלו בעתיד. אל כל טיפול בשבר יש להתייחס כאל דוגמא יקרת ערך, ממנה יש לשאוב את המידע המקסימלי הנוגע לסיבת השבר. יישום ידע זה לשם מניעת שברים בעתיד היא מטרת ניתוח השברים שעמד במרכז המאמר. ניתוח — שאולי ראוי להגדירו ליתר דיוק כ"דיעה של מניעת שבר". □

ציור 10: בצירוף זה נראה על השיניים של שינון הינע טופי (פלדה 8645 מחוסמת באינדוקציה), נראה בלאי, כאשר מידת הבלאי ניכרת יותר מעל קו החלוקה. תופעה זו נגרמה על ידי מסיב גלילי שהתקלקל. הטבעת הפנימית החלה להסתובב על הגל (שמאל). בעת שהגל נשחק, גדל המרחק המרכזי בין השינון והגלגל המשתלב, כתוצאה מכך נגרם בלאי מופרז, וקצות השן שרוחבם הרגיל $3/32$ אינץ' נשחקו לכדי פינות חדות.

מונע ריתוך נקודתי, ומונע בלאי עסתי. אם מסירים את הקרום החד-מולקולרי הנוצר באופן זה מנקודה כל-שהיא, עליו לחזור מיד לצורתו הקודמת. דבר זה הכרחי לשם הגנה על פני השטח, בזמן שהסיבוב הבא יביא את המקום להש"ת לבות מחדש. כאשר הקרום אינו מסוגל לחזור במהירות לצורתו הקודמת, יוצר מגע מתכת במתכת, אשר יביא בעקבותיו בלאי עיסתי.

נזק משולב

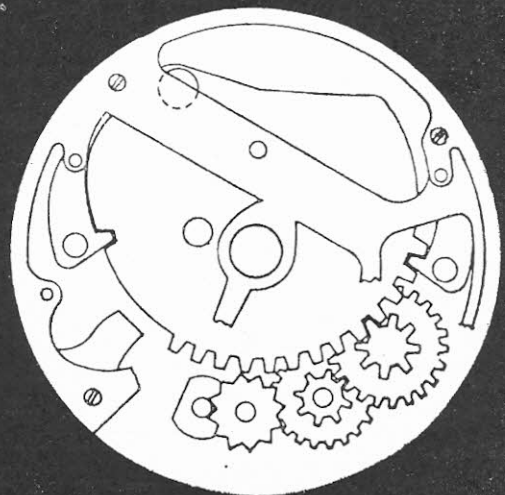
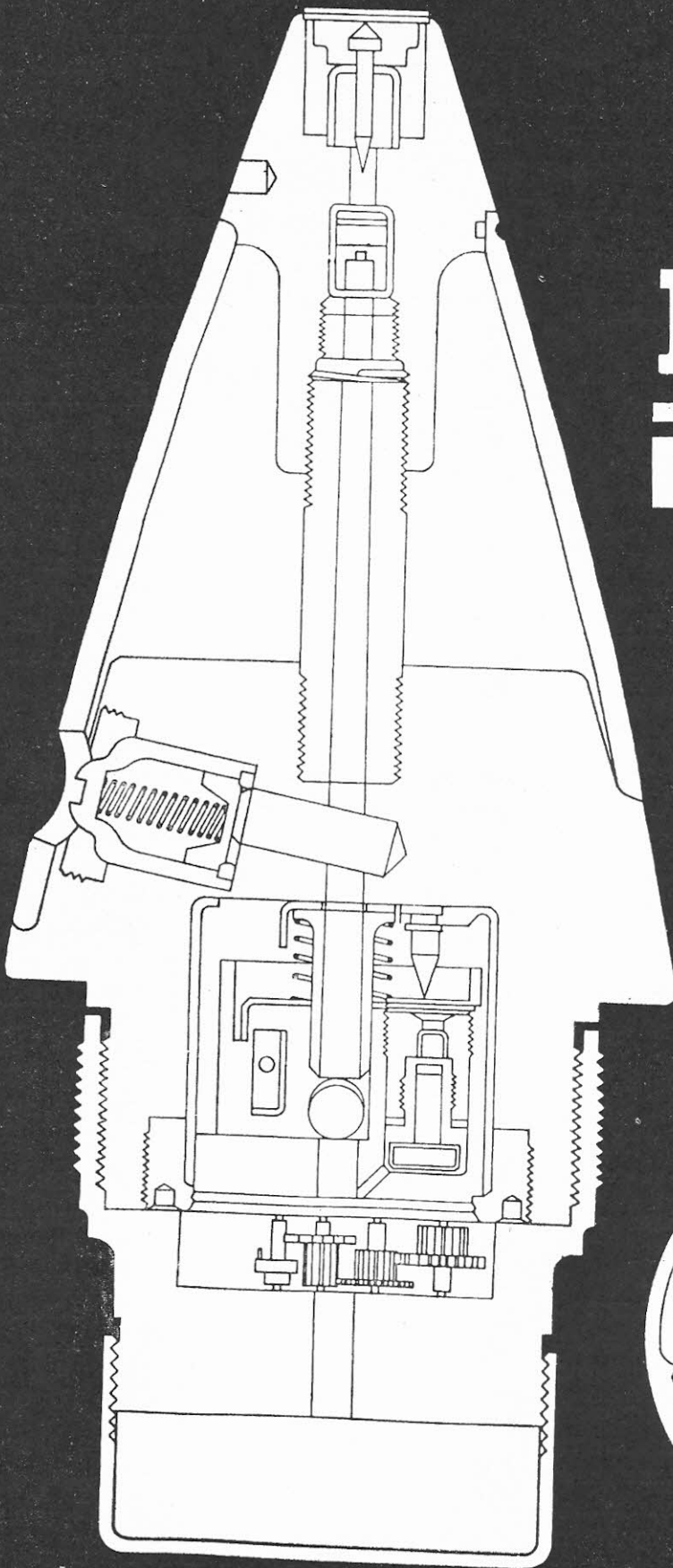
לעתים קרובות משולבות ביניהן הצורות השונות של נזקי שטח בגלגל השיניים. הצורות השכיחות ביותר — התעייפות כתוצאה מגימום, התעייפות שיבוב, בלאי עיסתי, משולבות זו בזו לעתים קרובות על אף שהן מופיעות גם בנפרד. ציורים 4—11 מראים דוגמות שונות לצורות הנזק הללו. מאחר שנזק

בלמי אויר לרכב כבד - המשך מעמ' 134

עות לחץ אויר, אפשר להשתמש בהם כדוגמת מפעיל בלמים קפיצי על סרנים בעלי כושר היגוי. כמה מערכות בלימה, הכוללות מפעילי נעילה, פותחו על-ידי חב' "וסטינגהאוז". קיימים מספר קשיים עקרוניים בתפעול המערכת. הם קשורים במשיכה חזרה של הדחוף ובשחרור הבלמים לאחר חנייה, כאשר תופי הבלמים חמים ולכן הם גם התרחבו. על קשיים אלה טרם התגברו לחלוטין, בשימוש בבלמי יתר. □

את קו החירום. מובן שדרושה רמה גבוהה של אטימות אויר, כדי לאפשר לבלמי הגרור, "לאחוז" למשך זמן ניכר. סוג אחר של מפעיל מכונה, "מפעיל נעילה", הוא כולל דיא-פרגמה כפולה והתקן נעילה על-ידי יתד-סב עבור חניה. במצב נהיגה מופעל אמצעי הנעילה בעזרת שסתום בקרה המופעל ביד. כיון שהבלמים מובטחים מיכנית בזמן החניה עם מפעיל מעין זה, לא קיים צורך במנוף בלם-יד נפרד. על-סמך העובדה שמפעילי "הנעילה" מופעלים מרחוק באמצע-

הכרת התחמושת ומגבלותיה



הכרת התחמושת ומגבלותיה

תכלית מאמר זה, להגביר את תחושת הזהירות בעת טיפול בתחמושת, וזאת לשם מניעת אסונות. התחמושת מתוכננת אומנם מיסודה להיות בטוחה בכל המצבים שש השימוש בה צבאי. אולם, חוסר ידע מספיק בעקרונות המבנה של התחמושת הכשירה, אי-הכרת מגבלותיה המסוכנות, וחוסר הידע בהבחנה בין תחמושת כשירה כגרועה – מביאים לידי אסונות.

יצחק אחי"טוב

דרישות היסוד מתחמושת כשירה

השגרתיות הצבאית מכה את תחושת הזהירות בעת טיפול בתחמושת. לעיתים מתייחסים לתחמושת כאל פריט נוסף בציוד הצבאי, ושוכחים כי ביסוד התחמושת הונחה המטרה לפגוע, להרוס ולקטול.

אמינות: המתכננים משקיעים מאמצים רבים בהגדלת אמינות הפעולה של התחמושת, ובשיפור יעילותה במישורים שונים, כגון: הגדלת הטווח, הגברת דיוק הפגיעה, הגדלת אנרגיית ההרס הקטלני, פשטות ומהירות בהפעלה, פעולה תקינה ואמינה.

בטיחות: תחמושת אינה מבחינה בין "ידיד" ל"אויב", ושומה עלינו איפוא להשקיע מאמצים רבים בתכנון אמצעי בטיחות אשר ירסנו וינטרלו את התחמושת עד לזמן הרצוי.

הפער בין דרישות היסוד: קשה לגשר בין דרישות האמינות מזה לבין דרישות הבטיחות מזה. ולכן יש צורך בניסיון עשיר, תושיה רבה ובמאמצי פיתוח יקרים – אשר יבטיחו הספקת תחמושת כשירה. דהיינו – אמינה ובטוחה.

כדי שהמפעיל יקבל לידו תחמושת אמינה ובטוחה, יש להקפיד על התהליכים הבאים:

- מומחיות בתכנון.
- בדיקות יסודיות במהלך הפיתוח ובסיומו.
- ביקורת יסודית של חומרי הגלם (אחידות וטיב).
- ייצור בידי מומחים.
- ביקורת קפדנית בתהליכי הייצור וההתקנה.
- בדיקה מדוקדקת של כל סידרה משהובאה לידי גמר.
- השגחה מתמדת על כשירות התחמושת הנמצאת במלאי.
- יש להטעים כי תחמושת נחשבת לכשירה, רק אם היא אמינה ובטוחה בתנאי סביבה קשים.
- אף לתחמושת כשירה מספר נקודות תורפה, שמן הדין הוא שנכירם, לשם מניעת אסון:

- * שריפה
- * שברים
- * עיוותים

* החסנה גרועה

* טיפול רשלני או שימוש גרוע

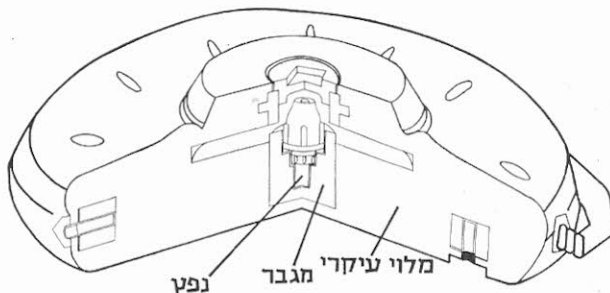
* פגמי ייצור מקריים שהינם בלתי נמנעים

הוראות הזהירות המקובלות נועדו למנוע את הסיכון המצוי בתחמושת טובה, בשל נקודות התורפה שצוינו לעיל.

הכרת התחמושת

עם זאת, כל אמצעי הזהירות המקובלים, אין ביכולתם למנוע התעררויות של תחמושת גרועה. אף שימוש זהיר ביותר בתחמושת גרועה, אינו יכול לשמש ערובה למניעת אסון ואינו יכול לשמש כתחליף לתחמושת טובה. זאת, בשל השימוש ההמוני בתחמושת. תחמושת גרועה היא מסוכנת ביותר וחיבת בבדיקת מומחה.

כדי למנוע הפעלה לא נכונה ולא רצויה של תחמושת, אשר התוצאות המתלוות אליה הן הרוג אסון, יש להכיר היטב את התחמושת על כל הטמון בה. אין כל אפשרות להעריך נכונה את הסיכון המצוי בתחמושת מבלי להכירה. ריבוי סוגי התחמושת הנמצאים בשימוש, מונע סקירה רחבה ויסודית במסגרת מאמר זה. לכן נתרכז בהסברת מבנהו של ראש קרבי נפיץ, שהוא אחד מהקטלניים במשפחה העניפה של התחמושת.

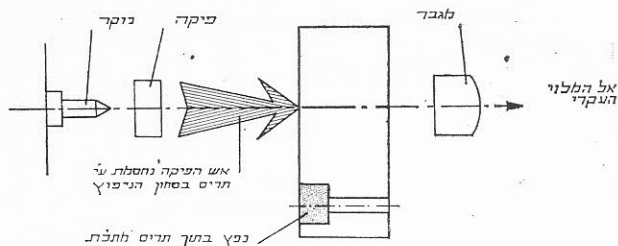


ציור 1: מוקש נגד רכב מס' 25. שים לב למיקום המילוי העיקרי, המגבר והנפץ.

שרשרת ניפוצ (דטונציה)

בכל ראש קרבי של תחמושת נפיצה, נמצאים חומרי-נפץ בעלי רגישויות שונות ובעלי עוצמה שונה, דבר זה בא לענות על הדרישות היסודיות של בטיחות ואמינות.

המרכיבים המעוררים את התחמושת חייבים להיות בעלי רגישות רבה, וטבעי איפוא שהם גם המסוכנים מבין שאר מרכיביה האחרים. המרכיבים המעוררים נמצאים בתחמושת בכמויות קטנות, והם מוגנים מפני פגיעות לא רצויות. לעומת זאת, למילוי העיקרי משתמשים בחומרים עצלים (פלגמטיים) שקשה לעוררם, אולם משתעוררו הרי הם בעלי עוצמה קטלנית.



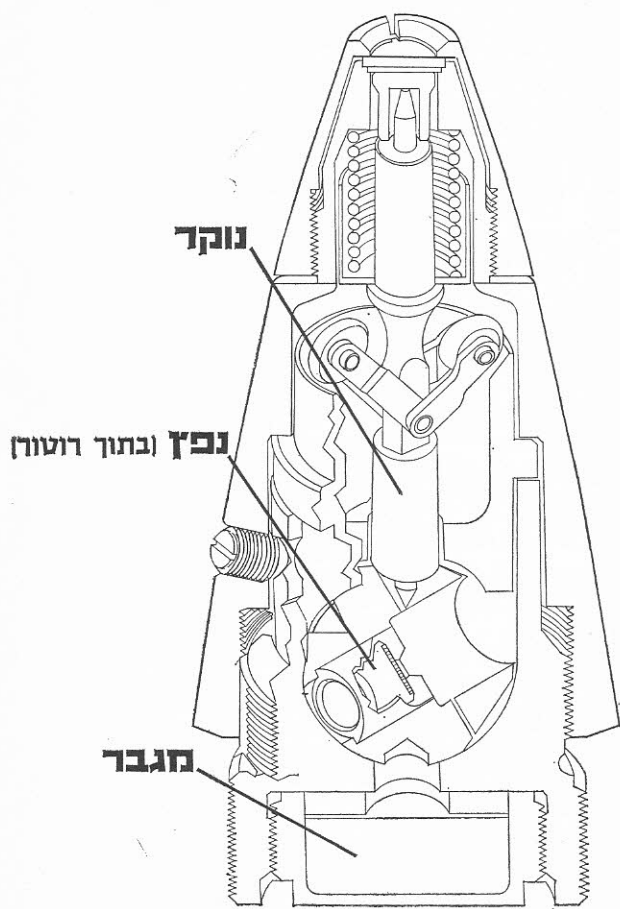
ציור 3: סכמה של בטיחות ניפוף. תפקידו לחסום את המעבר מהמרכיבים הרגישים אל יתר המרכיבים.

לדוגמה, ירי בתוך חורשה או צמחיה סבוכה; התקלות זנב היררנ"ט בדופן היחל"מ, פגיעה בציפור ליד הקנה וכו'. דוגי מות אלה מחייבות בניית מרעום הפועל במרחק ניכר מהמפעיל. לכן מצוייד מרעום טוב של תחמושת נורית או מוטלת גם בבטיחות מסלול (ראה ציור 5 רימון רובה „אנרגה“).

בטחונו משולבים

מרעומים טובים מצויידים בכמה אמצעי בטיחות משולבים. בציור 6 ניתן לראות סדרים של בטיחות ניפוף, בטיחות קנה, ובטיחות מסלול במרעום אמריקני "P.D.M.-557" לתחמושת ארטילרית.

ציור 4: מרעום לכדור 40 מ"מ, בעל התקן לבטיחות קנה. כל עוד פועלת תאוצת הירי על התחמושת, מונע הלחץ של הנוקד את סיבוב הרוטור; ולכן לא קיימת אפשרות לדריכת המרעום לפני שהתחמושת נורית מן הקנה.

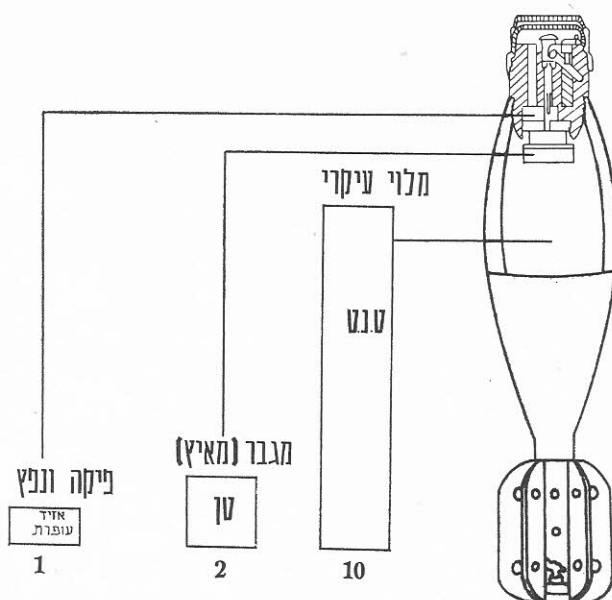


להלן פרטי הדרישות מן המרכיבים העיקריים אשר בראש קרבי נפיץ:

מילוי עיקרי	מגבר (מאיץ)	נ פ ק
רגישות נמוכה למכה	רגישות בינונית למכה ואש	רגישות גבוהה למכה ואש
מתעורר ע"י ניפוף	מתעורר על ידי ניפוף	מתעורר על ידי מכה או אש
בעל אנרגיה הרס קטלנית	מיועד לעורר את המילוי העיקרי	מיועד לעורר את המגבר

סידורי הבטיחות בתחמושת כשירה

בתחילת המאמר תיארנו את המאמצים הרבים המושקעים בתכנון התחמושת, תכנון — שמגמתו למנוע התעוררות התחמושת בטרם זמנה. בטבלת הרגישות של ה"חנ"מ" הומחשה הרגישות הגבוהה של המרכיבים המעוררים לעומת שאר המרכיבים. לפיכך מתרכזים רוב מאמצי התכנון בחסימת המעבר שבין המרכיבים המעוררים לבין יתר המרכיבים.



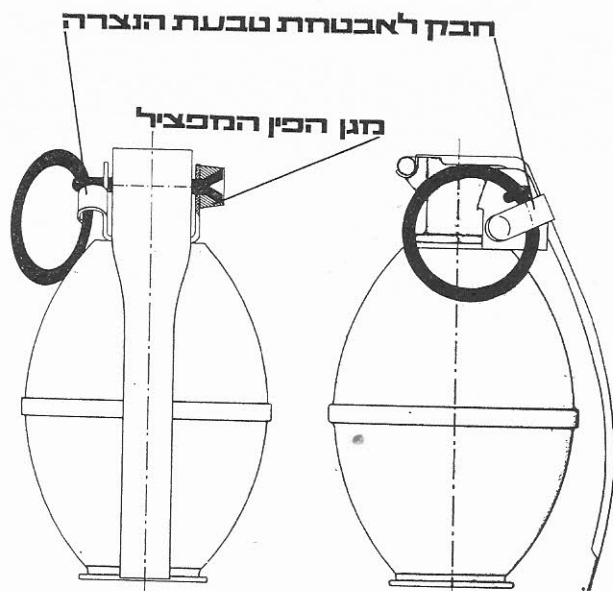
ציור 2: סכמה של רגישויות חנ"מ. הסכמה ממחישה את ההפרשים בסדר גודל הרגישויות למכה של המרכיבים העיקריים בתוך ראש קרבי נפיץ של תחמושת. יש להטעים כי במציאות ההפרשים ברגישות בין המרכיבים השונים גדולים יותר מהמצויין בסכמה זו. משיגים זאת על ידי יציקת החנ"מ במילוי העיקרי, או על ידי הוספת גרפית למגבר, הגורמים להקטנת רגישותם.

בטיחות קנה

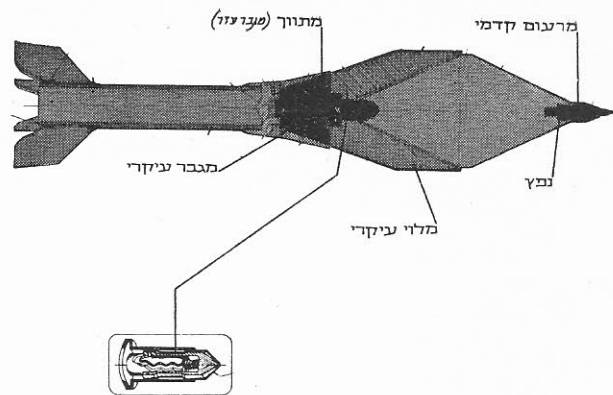
בתחמושת טובה אין סומכים על אמצעי בטיחות יחיד בלבד. לכן נוהגים להוסיף כמה אמצעי בטיחות, אשר כל אחד מהם מיועד להבטיח את קודמו ולהשלימו. בעת ירי נוצרות בתחמושת תאוצות גבוהות מאוד; תאוצות אלה עלולות לעורר את המרכיבים הרגישים של התחמושת בתוך הקנה, ולסכן הן את הירורה והן את כלי הנשק. לכן מצוייד כל מרעום טוב של תחמושת נורית במתקן לבטיחות קנה.

בטיחות מסלול

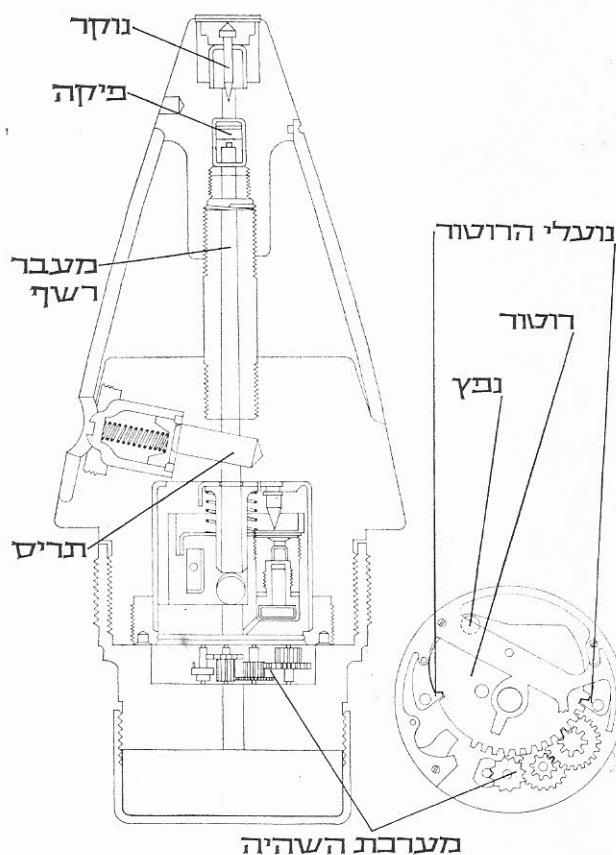
ליד הקנה, עלולים לצוץ מכשולים בלתי-צפויים, או מכשולים אשר לא הבחינו בהם בעת מהלך הקרב או האימונים.



ציור 7: אבטחת הנצרה ברימון יד מס' 26.



ציור 5: רימון רובה „אנרגה” בעל התקן לבטיחות מסלול. הירי פותח את הנעילה של כיפת המגן (הציור הקטן). בגמר תאוצת הירי דוחף הקפיץ את הכיפה קדימה. החריץ הגלי משהה את שליפת הכיפה עד אשר הרימון מתרחק מהיורה.



מערכת השהיה

ציור 6: בטחונות משולבים במרעום אמריקני P.D.M-557. כל זמן שהמרעום מואץ בקנה, מונע החיכוך הנוצר מהתאוצה את תזוזת התריס והרוטור. כאשר מסתיימת התאוצה, משווא המרעום מהקנה נפתח התריס וכן נועלי הרוטור, בגלל הסחור. מערכת גלגלי השיניים משהה את תנועת הרוטור לזמן מסוים, כך שהנפץ שבתוך הרוטור מגיע מול מעבר הרשף רק לאחר סיום בטיחות מתאים.

מיוחדים ברימון יד מס' 26. בצבא האמריקני מחפשים דרכים להכנסת בטיחות נפוץ לכל סוגי התחמושת, כולל רימוני יד ומוקשים. הדגם החדש יחסית של המוקש האמריקני נגד-רכב M-19, מצויד בסידור המונע נקירת הפיקה בעת הובלה והחסנה.

אריזה

לאריזה מתאימה חלק נכבד בהגברת הבטיחות של המטפלים בתחמושת. היא מגינה על התחמושת מפני שברים, עיוותים, תנאי אקלים משתנים, תנאי סביבה קשים (טלטרנזיט), חבטות, הצנחה וכד'.

הספקה נפרדת של מערכות מעוררות

גם בתחמושת הטובה ביותר נוקטים לעתים באמצעי בטיחות נוסף, ומספקים את המערכות המעוררות באריזות נפרדות (מרעומים לדוגמה), צעד זה ננקט עקב השיקולים הבאים:

- כמות הנ"מ ביחידת תחמושת אחת.
- הסיכון למעבר פיצוץ בין יחידות תחמושת הסמוכות זו לזו.
- הזמן הדרוש לכל סוג של תחמושת כדי להכינו לשימוש.
- תפוצת התחמושת — לאיש מקצוע או שימוש המוני.
- שיטת הספקה — עם אריזה או בלעדיה.
- מידת הסיכון הכרוכה בהרכבה ביחידות השונות על-ידי אנשים שאינם מומחים לכך.

ייצור ובדיקה

אף התכנון „המבריק” ביותר של תחמושת עלול לגרום לאסונות כבדים, כאשר:

- * הטיפול והייצור אינם בידי מומחים.
- * חומרי הגלם אינם אחידים ואינם בדוקים כראוי.
- * הייצור וההרכבה לא נמצאים בביקורת קפדנית שוטפת.

סידורי בטיחות מיוחדים

נוסף לאמצעי הבטיחות שצוינו לעיל, יש צורך באמצעי בטיחות נאותים המותאמים לפי הצורך, לסוגים שונים של תחמושת. זאת, עקב השימוש הספציפי והמבנה המיוחד של כל סוג וסוג. בציור להלן ניתן לראות סידורי בטיחות

* התחמושת המוגמרת אינה עומדת בבדיקות שגרתיות מדוקדקות.

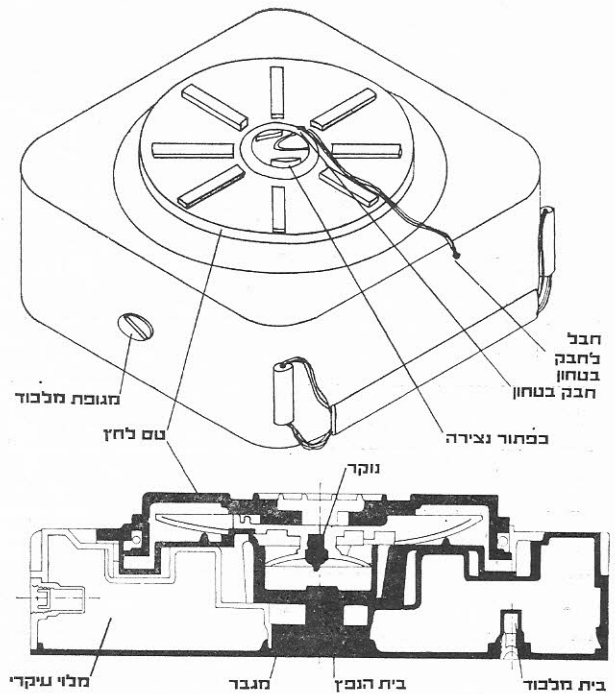
ספקי התחמושת משקיעים מאמצים רבים (רק חלק קטן מהם צויין לעיל), מאמצים הכרוכים בהשקעות כספיות ניכרות, זמן רב וניסיון עשיר.

מסוכן מאוד לעשות צעדים הפוזים בפיתוח תחמושת, בשל התוצאות הטרגיות העלולות להיגרם.

קשה מאוד להעריך את המאמצים בהן מסוגלת התחמושת הכשירה לעמוד, וזאת עקב הכמויות הגדולות של תחמושת הנמצאות בשימוש נרחב. ציור 9 מתאר את התאוצות שבהן עומדת תחמושת כשירה.

ההבחנה בתחמושת כשירה

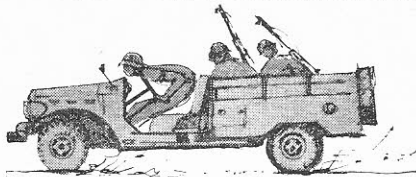
כיצד יבחינו מפקדים וחיילים, שאינם מומחים, בין תחמושת כשירה לגרועה? ראוי להדגיש כי קביעת ההבחנה טרם ההפעלה היא חשובה ביותר ועשויה למנוע אסונות. ככלל, תחמושת העומדת בכל המדדים הבאים יש לראותה כתחמושת כשירה:



ציור 8: מניעת נקירה במוקש אמריקני נגד רכב, M-19.

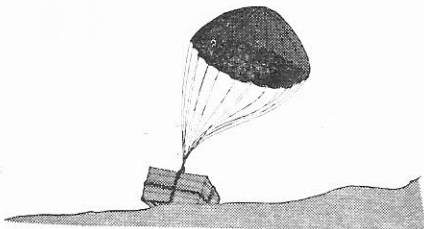
תאוצה
ביחידות g

1

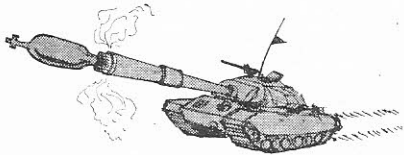


נעידה מתאומית בדרכ (בלמים מצוינים, כביש יבש וחחוספס)

150



חבטת המטען המוצנח בקרקע.



33500

כדור 150 מ"מ חטטן חלול מצנטוריון.

ציור 9: התאוצות בהן עומדת תחמושת כשירה.

- תחמושת עם סימון תו בוחן עליה (אם אינה מסופקת בא-ריזה ליחידות).
- תחמושת עם סימון תו בוחן על אריזתה (אם היא מסופקת באריזה ליחידות).
- תחמושת שאינה מוגבלת לשימוש (בפרסומים שגורתיים).
- תחמושת שאין עליה או על אריזתה פגמים הנראים לעין. מסוכן להשתמש בתחמושת שאינה עונה למדדים שפורטו. יתר-על-כן, במקרה של ספק בהבחנה יש להיעזר בחוות דעת של מומחה.

טיפול בנפלים

כל תחמושת המונחת בשדה חשודה כנפול. נפל הוא מסוכן ביותר ואין לגעת בו, מאחר שהירי שיחרר את כל אמצעי הבטיחות, שהיו מצויים בו.

קביעת מדיניות של החלפה יזומה

י. זעירא

החלפה יזומה משמעה – החלפת פריט בעודו תקין, על-סמך קריטריונים מסויימים, וזאת על-מנת להשיג עלות (cost) מי-נימלית של אחזקת המערכת, או להגדיל את מהימנות תפעולה. במסגרת המאמר נתייחס להחלפה יזומה ברכב או במערכות תפעוליות המורכבות מפריטים רבים. במערכות מסוג זה, עלול פריט אחד להשבית את המערכת כולה. למעשה קיימים פריטים אשר ניתן למדוד את התבלותם באופן פיזי (רפידות בלמי-רכב לדוגמה). לעומתם קיימים פריטים אשר לא ניתן למדוד לגביהם בלאי, ולפיכך קלקולם לגבינו הוא פתאומי. ברם, ידוע לנו פילוג אורך חייהם (הזמן עד קלקולם). במאמר נדון בהחלפות יזומות של פריטים מסוג זה.

מדיניות ההחלפה היזומה

במסגרת המאמר נדון בארבע שיטות עיקריות של החלפה יזומה:

- החלפה יזומה תקופתית – בשיטה זו לא ידוע לנו גיל הפריטים. המערכת מושבתת אחת לתקופה מסויימת (T), ואז מוחלפים במערכת, באופן אוטומטי, פריטים מסויימים, ללא תלות בגילם (אשר כאמור אינו ידוע).
- החלפה יזומה תקופתית כתלות בגיל הפריט – בשיטה זו מושבתת המערכת אחת לתקופה מסויימת (T), ואז נבדק גיל הפריטים. הפריטים אשר גילם עולה על ערך מסויים מוחלפים.
- החלפה יזומה „פתאומית” – בכל פעם שהמערכת מת-קלקלת מסיבה כל-שהיא, ללא ידיעת גיל הפריטים, „מנצלים” את עובדת ההשבתה עקב הקלקול להחלפת פריטים מסויימים, ללא תלות בגילם (אשר כאמור אינו ידוע).
- החלפה יזומה „פתאומית” כתלות בגיל הפריט – בכל פעם שהמערכת מתקלקלת מסיבה כל-שהיא, „מנצלים” את עובדת ההשבתה עקב הקלקול להחלפת פריטים מסויימים אשר גילם עולה על ערך מסויים. הטבלה להלן מדגימה את היתרונות והחסרונות של כל שיטה.

תכונה	שיטה א'	שיטה ב'	שיטה ג'	שיטה ד'
יעילות	—	חלקית	—	קיימת
אפשרות קו החלפה	קיימת	—	קיימת	—
הצורך במערכת מידע מתמדת	—	קיימת	—	קיימת
אפשרות תכנון תעסוקת המערכת	קיימת	חלקית	—	—

יעילות – מדיניות ההחלפה המבוססת על גיל המערכת, היא יעילה יותר מבחינה משקית מאשר מערכת שאינה „מתחשבת” בגיל המערכת, וזאת בגלל המידע הנוסף העומד לרשותינו. גורם נוסף המשפיע על היעילות היא גמישות מועדי ההחלפה. בעוד שבשיטה הראשונה והשנייה, אפשרית ההחלפה – אחת לתקופה מסויימת, הרי שיתר השיטות מאפשרות החלפה גמישה יותר במועדים תכופים יותר. אפשרות קו החלפה – בשיטה הראשונה והשלישית אנו מחלפים תמיד את אותם הפריטים, לפיכך אפשרי לקחת בחשבון את האפשרות של קיום כל ההחלפות הללו במסגרת של קו (Line). ביצוע העבודה בקו ידוע כזול יותר מאשר בצורה בלתי מתוכננת.

את הנתון הראשון והשני, אפשר לקבוע מיד עם הפעלת המערכת. הנתון השלישי מחייב אותנו לקיים מעקב אחרי התנהגות הפריט במשך תקופה מסויימת (אם המידע לא הגיע אלינו עם המערכת).

החלפה יזומה תקופתית

להלן דוגמה של טיפול מפורט יותר באחת משיטות ההחלפה היזומה שצוינו לעיל, היות ויתר השיטות מחייבות ידע עמוק בסטטיסטיקה ובתהליכים סטוכסטיים, לא נפרטם. מטרתנו למצוא במסגרת שיטת החלפה זו את המדיניות אשר תביא למינימום הוצאות אחזקה ליחידת זמן.

נניח שהטיפול היוזם מתרחש בתדירות של T , כלומר במוֹדים קבועים $T, 2T, 3T, 4T$ וכו'. אם לא נחליף את הפריט בעת הטיפול היוזם, הרי שתוחלת (ממוצע) מספר התקלות בפריט עד הטיפול הבא יהיה —

$$\frac{T}{E(t)}$$

$E(T)$ — הוא תוחלת אורך חיי הפריט. לעומת זאת, אם נחליף את הפריט בעת הטיפול היוזם הרי שתוחלת מספר התקלות של הפריט בין שתי החלפות יזומות מבוטאת על-ידי $m(T)$, אשר התמרת לפֶלֶס שלו $m(S)$,

$$(1) \quad m(s) = \frac{f(s)}{s(1-f(s))}$$

כאשר:

S — אופרטור התמרת לפֶלֶס.

$f(S)$ — התמרת לפֶלֶס של פונקציית צפיפות ההסתברות של אורך חיי הפריט.

$m(S)$ — נקבל על-ידי התמרה הפוכה את התוחלת הדרושה לנו. מכאן שהתנאי לכדאיות החלפת הפריט בעת הטיפול היוזם הוא:

$$(2) \quad C_1 \cdot \frac{T}{E(t)} > C_2 + C_1 \cdot m(T)$$

כלומר: סה"כ ההוצאות בגלל תקלות בפריט, במקרה של אי החלפה יזומה, בתוספת מחיר ההחלפה היזומה. מכאן, שעבור כל תדירות טיפול, T ניתן לקבל את קבוצת הפריטים שעבורה כדאית ההחלפה היזומה, במסגרת טיפול זה.

נקבע כעת את הזמן האופטימלי בין הטיפולים עבור המערכת כולה. אינדקס הפריט $j = 1, 2, \dots, n$ בתוך המערכת. ב־ I_r

הצורך במערכת מידע מתמדת — השיטה השניה והאחרונה מחייבות ידיעת גיל כל פריט, בכל מערכת. פעולה זו דורשת מערכת רישום ודיווח מסובכת, אשר היקפה גדל עם ריבוי המערכות וסיבוכן. ייתכן אף שמערכת מעין זו, תדרוש ניהול על-ידי מחשב. לכן יש לקחת בחשבון עלות הקמת מערכת מעין זו, ואחזקתה בסך-כל הוצאות האחזקה. השיטה האחרונה מחייבת מערכת מידע ודיווח המעודכנת באורח תמידי. בשיטה השניה מערכת הדיווח זולה יותר, והמידע לפריט מסויים דרוש רק לתאריך מסויים.

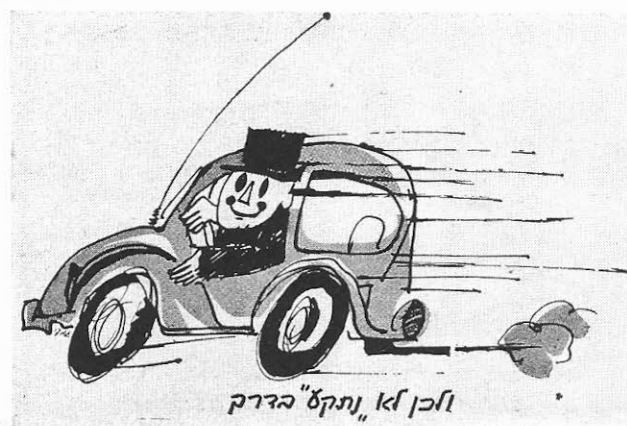
אפשרות תכנון תעסוקת המערכת — השיטה הראשונה מאפשרת לנו לקבוע בבהירות את תקופת ההשבתה של המערכת, לצורך החלפות יזומות ואת משך ההשבתה. השיטה השניה מאפשרת אומנם לקבוע את תאריך ההשבתה, אך אינה נותנת את משך ההשבתה. השיטה השלישית והרביעית, לא נותנות לנו כל מידע על אפשרות תכנון תעסוקת המערכת.

בחירת שיטה להחלפה יזומה

אין ביכולתנו להמליץ על שיטת ההחלפה האידיאלית. קביעת שיטת החלפה תלויה באופי המערכת ופריטיה. יתר-על-כן, לא כל היתרונות והחסרונות שהוזכרו, ניתנים להגדרה כמור-תית מדוייקת. ניתן לחשב לגבי כל שיטת החלפה את עלותה, ניתן להעריך (הערכה גסה) את עלות מערכת הדיווח וה-מידע הדרושה בשיטות מסויימות. קשה מאוד לתת ביטוי כמותי לקריטריון של אפשרות טובה יותר לתכנון תעסוקת המערכת, לכן כל צרכן פוטנציאלי יקבע לעצמו את השיטה המתאימה לו, לפי הקומבינציה בין המרכיבים האיכותיים והכמותיים.

בבואנו לבחור בשיטה מסויימת, עלינו להכיר את הנתונים הבאים:

- מחיר קלקול הפריט — מחיר זה אינו כולל רק את ההוצאה הישירה (שעות עבודה וחלקי-חילוף) של תכנון או החלפת הפריט המקולקל, כי אם גם את ההוצאה שנגרמה בשל השבתת המערכת עקב אותו קלקול (C_1).
- מחיר החלפה יזומה של הפריט — מחיר זה כולל את ההוצאות הכרוכות בהחלפתו היזומה של הפריט, כאשר המערכת בלא-הכרחי כבר מושבתת (C_2).
- פילוג אורך חיי הפריט — פונקציית צפיפות ההסתברות של הזמן עד קלקול הפריט $f(t)$ והפרמטרים שלה.



$$\frac{C_2}{C_1} < \frac{1}{4}(1 - e^{-2\lambda T}) \quad \text{מקבל את הצורה:}$$

להלן דוגמה מספרית לפתרון, עבור מערכת המורכבת משני פריטים בעלי הנתונים הבאים:

C_0/λ ("ל")	C_2 ("ל")	C_1 ("ל")	
20	10	60	פריט I
10	10	100	פריט II

A (מחיר הביקורת) = 10 ל"י.

התוצאות עבור ערכי T שונים מוצגות בטבלה דלהלן.

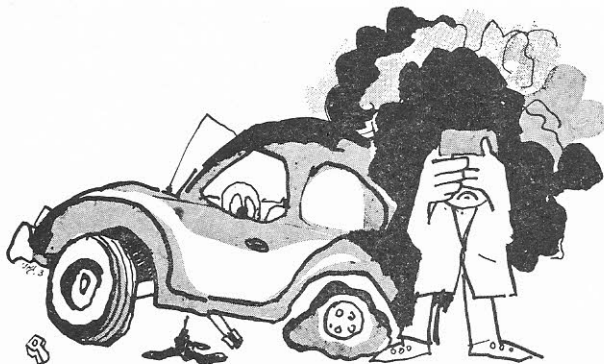
T	פריט I		פריט II		A/T	סה"כ עלות ליחידת זמן
	החלפה יוזמה	ליחידת זמן	החלפה יוזמה	ליחידת זמן		
א	ב	ג	ד	ה	ו	ז+ה+ו
2	לא	3	כן	7	5	15
4	לא	3	כן	7.5	2.5	13
6	לא	3	כן	7.83	1.67	12.5
8	כן	2.75	כן	8.25	1.25	12.25
10	כן	2.71	כן	8.50	1	12.21
12	כן	2.70	כן	8.75	0.83	12.28
14	כן	2.71	כן	8.95	0.70	12.36

מהטבלה נראה, כי פרק הזמן האופטימלי בין טיפולים יוזמים, הוא 10 חודשים. מחליפים אז שני פריטים ועלות האחזקה ליחידת זמן היא מינימלית — 12.21 ל"י, לחודש, לעומת 13 ל"י לחודש ($\frac{60}{20} + \frac{100}{10} = 13$) במקרה של אי-

אחזקה יוזמה. יש לציין כי קביעת תדירות אחרת של ביקור רות אשר קרובה ל-10 חודשים, כמעט ואינה משנה את עלות האחזקה, במלים אחרות — הפתרון האידאלי אינו רגיש ל-T.

סיכום

בגלל סיבוכן של יתר שיטות ההחלפה היוזמה, תיארונו בדיקת כדאיות של השיטה הראשונה בלבד. ברם, ניתן למצוא את המדיניות האופטימלית בכל שיטה ועלידי השוואתן (תוך התחשבות ביתר הקריטריונים שהוזכרו) ניתן לבחור את שיטת האחזקה הרצויה עבור כל מערכת. □



„אנתקס" בדרכ

נסמן את קבוצת הפריטים, אשר לגביהם כדאית ההחלפה היוזמה אם תדירות הטיפול היוזם היא T (לפי תנאי 2). כלומר, אם $j \in I_T$ נחליף את הפריט ועלות אחזקתו עד הטיפול הבא תהיה:

$$C_{2j} + C_{1j} m_j(T)$$

אם $j \notin I_T$ לא נחליף את הפריט בעת הטיפול היוזם ועלות אחזקתו ליחידת זמן תהיה:

$$\frac{C_{1j}}{E_j(t)}$$

נניח שקיימת הוצאה לטיפול היוזם בשיעור A, אשר אינה תלויה בתדירותו ובהיקפו. מכאן, $D(T)$ — ההוצאה הממוצעת לאחזקת המערכת ליחידת זמן, עבור זמן בין טיפולים T תהיה:

$$(3) \quad D(T) = \frac{A}{T} + \frac{1}{T} \sum_{j \notin I_T} [C_{2j} + C_{1j} m_j(T)] + \sum_{j \in I_T} \frac{C_{1j}}{E_j(t)}$$

אותו T אשר יתן מינימום ל- $D(T)$, הוא פרק הזמן האופטימלי בין הטיפולים היוזמים.

נדגים זאת עבור פילוג מסויים. ניקח פילוג גמא מדרגה 2, המאפיין משפחה גדולה של פריטים, ביניהם פריטים רבים בכלי-רכב.

פונקציית צפיפות ההסתברות של פילוג זה היא $f(t) = \lambda^2 t e^{-\lambda t}$

והתמרת לפלס שלה: $f(s) = \left(\frac{\lambda}{\lambda + s}\right)^2$

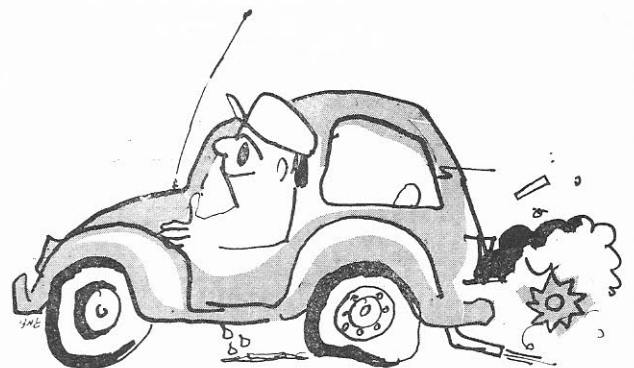
תוחלת הפילוג: $E(t) = \frac{2}{\lambda}$

כאשר נציב את f(s) ב-(1) נקבל: $m(s) = \frac{\lambda^2}{s^2(2\lambda + s)}$

מביטוי זה עלידי פירוק לשברים חלקיים והתמרה הפוכה

$$\text{נקבל: } m(T) = \frac{\lambda T}{2} - \frac{1}{4}(1 - e^{-2\lambda T})$$

כאשר נציב זאת בתנאי (2) נמצא כי התנאי לכדאיות החלפה



הוא לא מקיץ על החלפה יוזמה



אלקטרונית בע"מ

ייצור וחידוש חלקי חשמל למכוניות
רכב כבד וטרקטורים



עוגנים כותנעים, דינמו,
אלטרנטורים



עמנואל טרכמן,
תל-אביב, רח' שלמה 40, טלפון 825172

יוסן

בית מלאכה לעבודות
פח • נירוסטה • ומכשירי מעבדה

גבעת שמואל ב', מרכז שטנר, ירושלים.
טל. 56405



- תנורי ייבוש לתעשייה ולמעבדות.
- א מ ב ט מ י ם ו ח ו ל.
- אינקובטור מעטה מים ואויר.
- עבודות נירוסטה ופח לפי הזמנה.



ציוד בע"מ

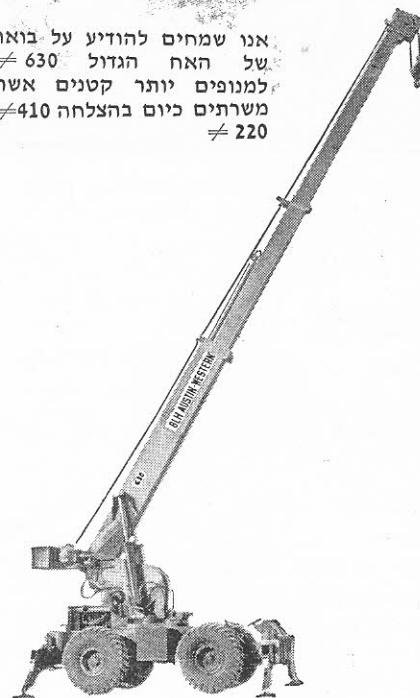
ת.ד. 480 — חיפה, טל. 721355

EQUIPMENT Ltd.

HAIFA — P.O.B. 480

מכרקים : NATENG

אנו שמחים להודיע על בואו
של האח הגדול 630
למנופים יותר קטנים אשר
משרתים כיום בהצלחה 410
220



LIMA

- Cranes
- Draglines
- Clamshells
- Roadpackers
- Crushing Equipment
- LIMA-MADSEN
- Asphalt Plants

AUSTIN-WESTERN

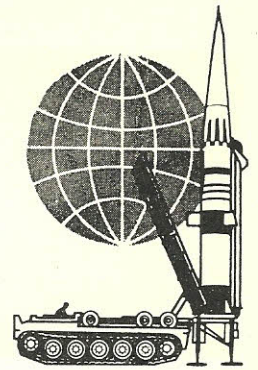
- Hydraulic Cranes
- Motor Graders

EATON YALE &

TOWNE

- Yale Tractor Shovel





חידושים בצבאות העולם

רובה סער איטלקי קל



קליבר זה (5.56 מ"מ) ואשר שנת ייצורם קדמה לשנת 1968. הרובה AR-70 הנראה בתמונה, הוא רובה מופעל־גז בעל קצב־אש של 630 כדורים לדקה ומהירות לוע של 970 מטר לשניה. משקל הרובה ללא המחסנית והכידון — 3.4 ק"ג, הקת, ידית האקדח ושמורת היד עשויים מסיבי זכוכית וניילון. המחסנית מכילה 30 כדורים ושוקלת על תחמושתה 0.585 גרם.

חברת "ברטסה" פיתחה לאחרונה מערכת־נשק חדשה בקליבר 5.56 מ"מ. ניתן להשיג מערכת זו בכמה גרסות — כרובה־סער (AR), כקרבין מיוחד (SC) וכמקלע־קל (LM). לרובה הסער קת קשיחה הניתנת להסרה; לקרבין המיוחד קת מתקפלת הניתנת להסרה; למקלע הקל, קת קבועה, דו־רגל, ידית־נשיאה וקנה הכבד יותר. הכלי תוכנן כדי לפתור את הבעיות שנתעוררו בכלי־נשק בעלי

מכונית סיור משוריינת חדישה — ליחידות הסיור הסובייטיות

מיוצר מלוחות פלדה מרותכים, המספקים הגנה מפני אש נשק־קל ורסיסי פגזים. הרכב מחולק לשני תאים, בחלקו הקדמי — תא הנהג והלחימה, ובחלק האחורי — תא המנוע. הצוות מונה 4 אנשים: מפקד, נהג, תותחן וטען. הרכב מונע על־ידי מנוע אוטו בן 8 צילינדרים שהספקו 140 כ"ס. קיימת גם הגנה מפני לוחמה אטומית, ביולוגית וכימית.

יש סבורים כי רכב זה יחליף בעתיד הקרוב את דגם ה־BRDM ללא הצריח, וישמש כרכב התקני של יחידות הסיור הסובייטיות, בשנות ה־70.

נתונים טכניים: אורך — 5.5 מטר

רוחב — 2.2 מטר

גובה — 2.15 מטר

משקל — 7 טונה

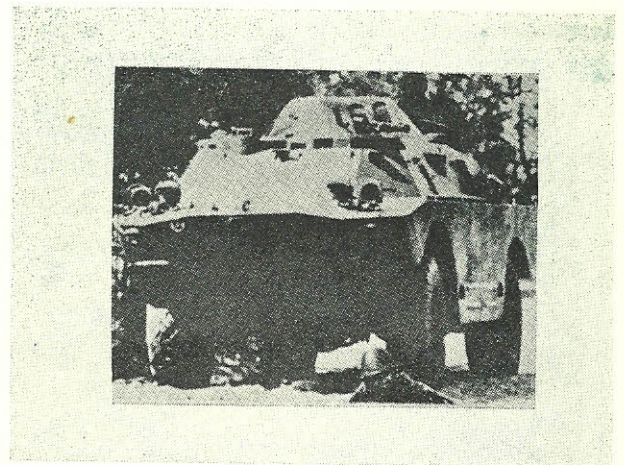
הנעה — כל האופנים. בשיוט מתבצעת ההנעה על־ידי סילון מים.

מהירות מקסימלית — 100 קמ"ש ביבשה.

מערכת האופנים — 4 אופנים ראשיים בשני סרני ההנעה, 4 אופני תמך עם הנעת שרשרת.

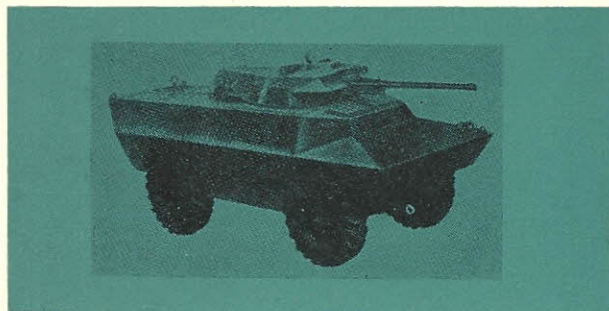
ציוד — מכשיר קשר, מערכת תת־אדומה לראית לילה, מכשיר תצפית תת־אדום למפקד, מערכת איורור וסינון, מחוון המראה את מידת הקרינה או ההרעלה הכימית הקיימות בשטח, סידור ניווט לקביעת מקום ההימצאות, מערכת מרכזית לויסות לחץ האוויר באופנים הראשיים.

בשנים האחרונות נתקלים יותר ויותר במכונית סיור סובייטית המכונה BRDM-2, כינוי שמשמעו "רכב־קרב של יחידת סיור". הרכב פותח כדגם אמפיבי מסדרת ה־נגמ"שים הקלים BTR-40 (ראה "מערכות־חימוש" מס' 37). סימן ההיכר החיצוני האופייני



ל־BRDM הוא, צריח סגור ושטוח המותקן מעל לתא הלחימה. הצריח מסוגל להסתובב בזווית של 360° ומצויד בשני מקלעים. נשקו העיקרי של הרכב הוא מקלע כבד 14.5 מ"מ מסוג KPVT, המותקן במקביל למקלע 7.62 מ"מ "קלשניקוב" (PKT). הרכב

נגמ"ש „קומנדור" V-200



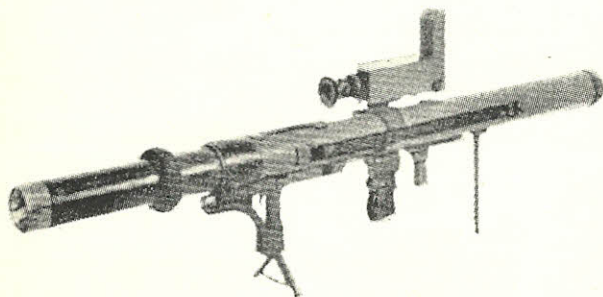
נגמ"ש זה הוא השלב הבא בפיתוח של הנגמ"ש „קומנדור V-100 (XM-706). את הנגמ"ש פיתחה ב־1969 חב' „Cadillac-Gage" האמריקנית. הנגמ"ש 4x4 גדול יותר מקודמו, ושוכלל בהתאם לנסייון שנרכש וללקח שהופק בשדות הקרב של ויאטנאם. סימני היכר המיוחדים לנגמ"ש הם: צריח לשני אנשים, המסוגל לקלוט תותח 20 מ"מ, תותח 90 מ"מ, או מרגמה 81 מ"מ עם מקלע 7.62 מ"מ. משקלו הכולל של הנגמ"ש 11 טונה, גובהו 2.55 מטר וצורתו מונה 14 איש.

★

מטול צרפתי חדש נגד-טנקים

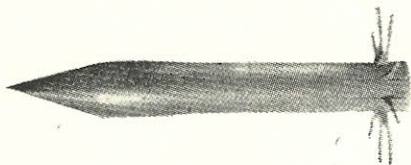
מטול רקטי קל נגד-טנקים, לטווחים בינוניים, פותח עליידי חברת „STRIM". הצבא הצרפתי צויד במטול זה, שכינויו ביהם הוא LRAC 89 Mle F-1.

סגולות המטול הן: משקל נמוך שהושג עליידי שימוש בסגסוגת חומרן וחומר סינתיטי, הפעלה קלה והספקים טובים. משקלו הכולל של המטול בהיותו מוכן לירי — 7.7 ק"ג. במשקל זה כלול אף משקל הרקיסה שהוא לבדו בן 2.2 ק"ג. אורכו הכולל של הכלי — 1.60 מטרים. כיון ששריפת המנוע הרקטי מסתיימת בתוך קנה השיגור, אין צורך להתקין מגן למפעיל ולמתקני הכיוון. קליבר



למעלה: המטול

למטה: הרקיסה



הרקיסה 88.9 מ"מ ואורכה 60 ס"מ. במסלול התעופה, מיוצבת הרקיסה בעזרת סנפירים מתפרסים שנעילתם נפתחת לאחר השתח" ורות הרקיסה מהקנה. הטווח היעיל של כלי הנשק — עד 400 מטרים. בטווח זה הפיזור הוא של 30 ס"מ. בטווח פעולה של 320 מטרים, גובה מסלול התעופה המקסימלי הוא 2.3 מטרים, ובטווח פעולה של 300 מטרים גובה מסלול התעופה הוא רק 1.8 מטר, מעל לציר הראיה.

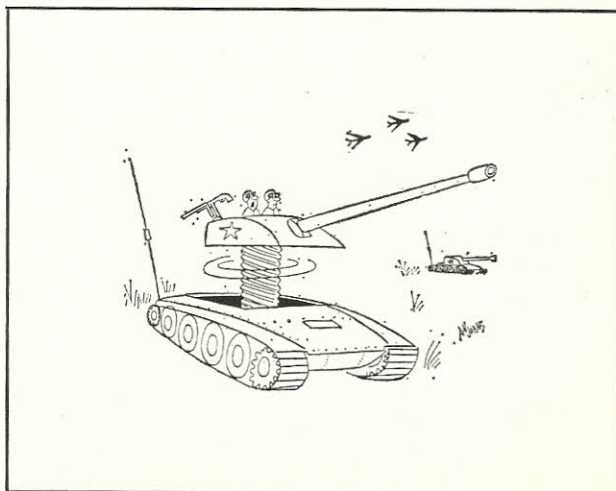
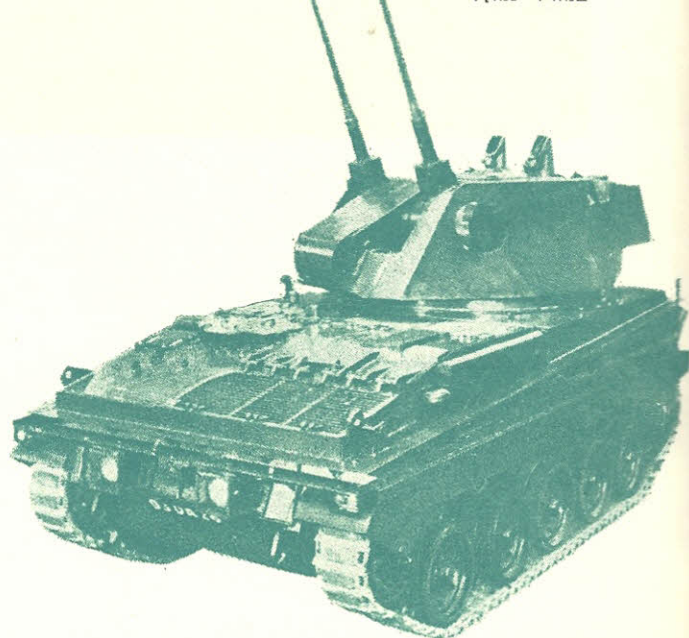
כל הטנקים הידועים עד כה, גובהם עולה על 1.8 מטר. כוח החדירה של הראש הקרבי — חדירת לוח שריון בעובי של 400 מ"מ, כאשר זווית הפגיעה היא בת 90°.

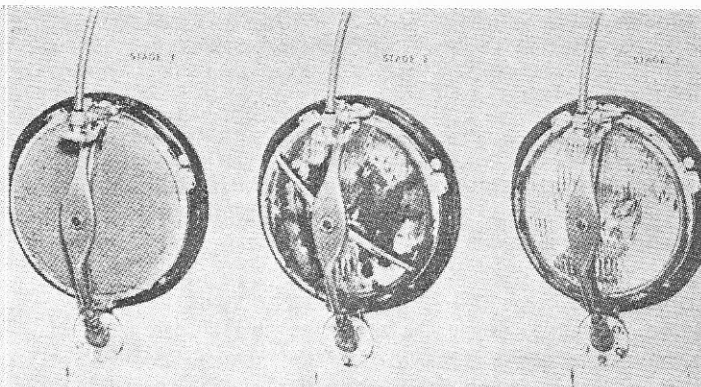
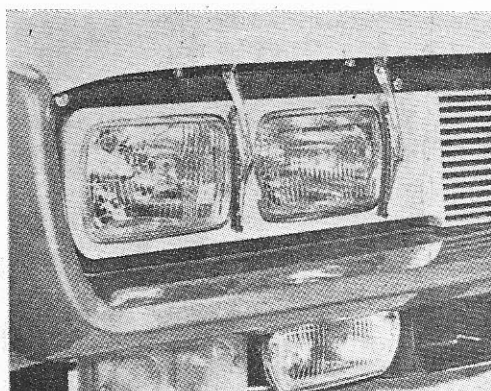
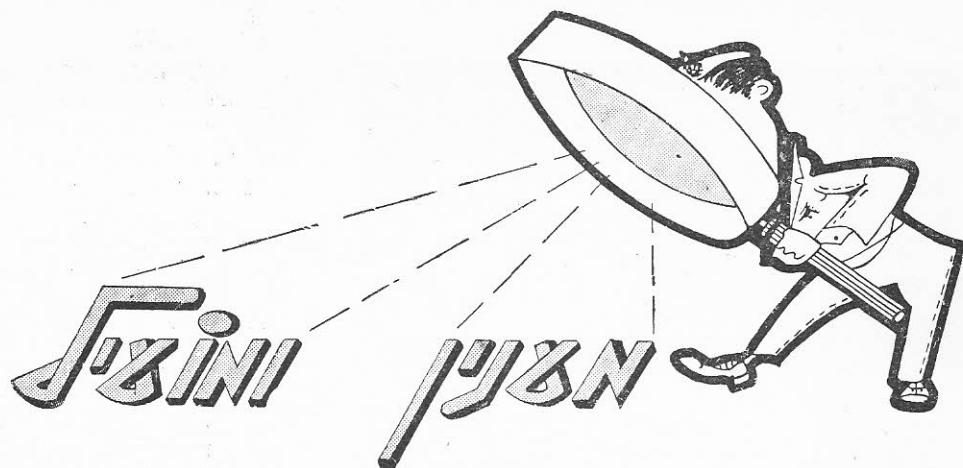
מערכת נ"מ מתנייעת „פלוקו" — 30 מ"מ

לשם ייעול ההשקעה תוכננה מערכת ה„פלוקו" למערכות מסוג ה„מט" דור". המערכת מורכבת משני תותחים, Hispano Suiza Hss-831L, 30 מ"מ, המותקנים בצריח על-גבי תובת ה-Abbot. בעת הצורך, אפשר לצייד את הצריח אף בבקרת רדאר, אולם בקרת האש הב" סיסית מבוקרת בעזרת מערכת אופטית. מערכת זו כוללת בתוכה מחשב המתקן אוטומטית כל זווית מוליכה בכוונה.

הכוונה היא מכשיר דו-תכליתי, בעל הגדלה פי 1 לאש נ"מ, ופי 6 למטרות קרקע. זווית ההגבה וההנמכה של התותחים הם +850° ו-10°. קצב האש — 650 כדורים לדקה, לכל תותח, או 21 כדורים בשניה. כן מוכנים להפעלה מידית 600 כדורים מוזני שרשרת. פליטת התרמילים הריקים נעשית מחוץ למערכת, ואפשר אף לירות ירי בודד לשם העסקת מטרות קרקע.

יש טוענים שה„פלוקו" מסוגל להעסיק ביעילות מטרות הנעות במהירות של עד 250 מטר לשניה, בטווחים של מקסימום 2,000 מטר. טענה זו נשענת על הסברה כי התקפת אור מגובה נמוך, נגד טורים משוריינים, אפשרית רק בתנאי ראות טובים יחסית. תכנון ה„פלוקו" פשוט בהרבה ממתחירי, ולכן ניתן לצפות ממנו מיומנות גבוהה. כן נמצאים בשימוש במערכת מרכיבים שהוכחו עימם, ביעילות וניידות הנשק, — וכל אותם יתרונות מושגים במחיר נמוך.





בתום פעולת הניגוב, נמצא להב המגב (של הדגם המרובע) מחוץ לזכוכית הפנס. בדגם העגול לא ניתן, מסיבות טכניות, להחנות את להב המגב, ולכן משתמשים במגב מסתובב. המנגנון כולו נמצא עדיין בשלבי ניסיון.

מגבים לפנסי רכב

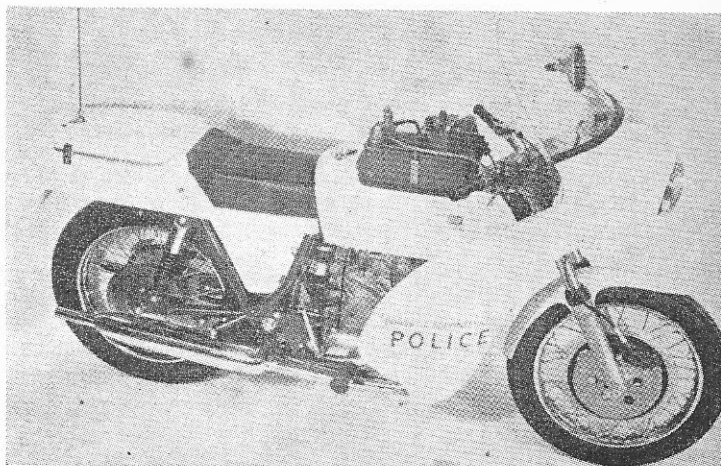
חב' לוקס מפתחת כמה דגמים של מגבי-פנסים, הכוללים מנגנון שטיפה אוטומטי. מגבים אלה באים לפתור את בעיית עמסום האור הנגרמת בשל בוע וחול הניתנים על פנסי הרכב.

מעצורי דיסק לאופנועים

הוא, שמאמץ הבלימה הדרוש אינו עולה עם עליית הטמפרטורה, כפי שקורה בבלמי תוף. יתרון זה נובע מהפיזור הטוב של החום מהדיסק ומפעולת ההידוק של רפידת הבלם. הלכלוך המצטבר בדיסק מנוגב אוטומטית והמערכת מתכווננת מעצמה. המטרה שעמדה לנגד היצרן היתה, לעצב לדיסקות מראה נאה. במכוניות אין הדבר כלל בגדר בעיה, היות והבלם מוסתר, אך באופנוע הוא גלוי לעין.

הדיסקות עשויות מסגסוגת קלה אולם הם מצופים בהתזה עם פלדה וכרום, שיטה זו מקנה להם קלות ובלאי נמוך. הבלמים פותחו על-ידי חב' האחים ריטמן, מבריסניה. יצרני אופנועים רבים מגלים עניין בפיתוח בלם מעין זה. בתמונה נראה דגם ראשוני של אופנוע המצויד בבלמי דיסק והמיועד למטרות משטרתיות.

מעצורי דיסק נמצאים בשימוש במכוניות, מזה שנים רבות. כיום פותחו מעצורים אלה גם עבור אופנועים. יתרונו של בלם הדיסק



אסבסטוס וכימיקלים

חברה בע"מ

יצרני סרטי בלמים, מעצורי דיסק
ובטנות למצמדים לרכב אזרחי וצבאי

חומי, חבלי, סרטי זכרי אסבסט

טל. 778121-3

תל-אביב

ת.ד. 86

בית יציקה הידרו לחץ

● יציקות אל ברזליות

● יציקות לחץ

● יציקות חול

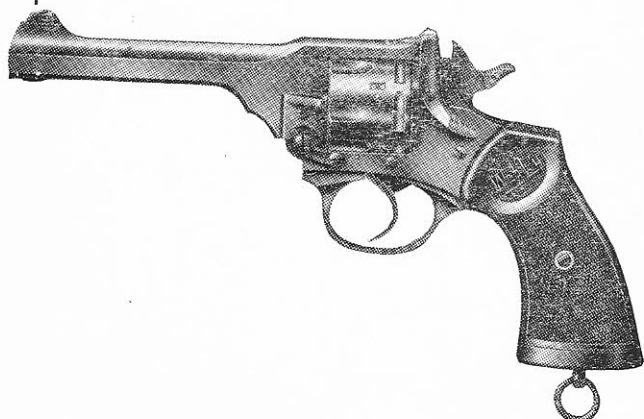
● יציקות מבלטייד (קוקיליים)

רח' סלמה 46, תל-אביב, טל. 825113



דרך פתח-תקוה 28, טל. 36423

נשק תחמושת ואביזרים
חומר נפץ ומכשירי פיצוץ



מוסד הטכניון למחקר ופיתוח בע"מ
מכון המתכות הישראלי

מארגן אחת לחודש



ימי דיון ענפיים

לליבון בעיות טכנולוגיות ומטלורגיות במסגרת
חוג מצומצם של בעלי מקצוע מוזמנים. ימי
הדיון יערכו בימי ד' מ-15.00 אחה"צ עד 18.00
בבנין המכון. יידונו נושאים בתחום היציקה,
טכניקות מטלורגיות חדישות, ריתוך, בדיקות
ללא הרס וקורוזיה וכן נושאים בתחום ייצור
רכב ופיתוחו.

מהנדסים המעוניינים בהזמנות,
מתבקשים לפנות אל מכון המתכות
הישראלי, קרית הטכניון, חיפה.

ראה מאמר:

הכרת התחמושת ומגבולותיה

