

69



תותחים אוטומטיים 20-30 מ"מ בשימוש חי"ד ממונע

מאת אוריאל אברון

כל הצבאות בעולם שואפים מאז ומתמיד לפגוע רחוק יותר, מדויק יותר ובעוצמה גדולה יותר. השאיפות האלה קשות כיום להשגה יותר מבעבר בשל ההתפתחות שחלה בכלי-הנשק ובניידותם. בין כלי-הנשק החדשים בולטים כיום טילי-הנ"ט למיניהם, המופעלים על-ידי צוות-חי"ר מצומצם והמסוגלים להשמיד כוחות-שיריון בטווח של 2000 מטר ויותר. בשדה-הקרב המודרני יפעל גם מסוק-הנ"ט, המסוגל בעזרת טילים להשמיד כוחות-שיריון בטווח רחוק, ביעילות ובמהירות.

כדי להתמודד ביעילות במסוקי-נ"ט ובצוותי-חי"ר המפעילים טילי-נ"ט חייב הכוח המשוריין להיות מצויד בנשק הפוגע בדייקנות במטרות בטווח של 2000 מטר ויותר. תשובה אפשרית לבעיה הזו ניתן למצוא בתותחים האוטומטיים בעלי קליבר 20 עד 30 מ"מ, שניתן לשלבם בנגמ"שים, בטנקים, ברכב "רך" ואף בכלי-שיט קטנים.

בעיות התקנה ופתרון

בעת התקנת תותח אוטומטי גדול-מידות בצריחון של נגמ"ש או טנק נתקלים בבעיות-נפח שבגללן חייבים להגביל את מידות כלי-הנשק, את מידות העריסה שבה הוא מותקן, את מידות האביזרים החיוניים לתיפעולו של הנשק, ובראש ובראשונה — את כמות התחמושת הנלווית.

על המגבלות הללו ניתנו תשובות שונות: נפח התותח הוקטן על-ידי תיכנון מיוחד של המערכת הנעה. מידות העריסה ומשקלה הוקטנו לאחר שכוח-הרתיעה של התותח הוקטן באמצעות "ירי-צף" (ראה הסבר להלן). הגברת יעילות האש, באמצעות ויסות נכון של קצב-האש, וברירת התחמושת בהתאם למטרות, איפשרה להקטין את כמות התחמושת הנלווית.

פתרונות טכניים מהפכניים בנושאים אלה ניתנו בעיקר במערב. במדינות נאטו פותחו תותחים יעודיים לפגיעה במטרות-קרקע, ברכב-"רך", בנגמ"שים ובמסוקי-תקיפה; תותחים אלה הותאמו להתקנה בצריחוני נגמ"שים וטנקים. בריה"מ ומדינות ברית-ורשה, לעומת זאת, הלכו בדרך שונה וניצלו תותחי-נ"מ מעולים שנוסו בקרבות והסבו אותם לנשק-קרקעי שטוח-מסלול. דוגמאות לכך הם ה-KPV בן 14.5 מ"מ וה-ZU-2 בן 23 מ"מ. התותחים האלה מותקנים בצריחוני נגמ"שים, ובשל כושר-החדירה הגדול שלהם הם משמשים תשובה הולמת לתותחים המערביים החדשים.

לצורך המאמר, נעמוד כאן על כמה מושגים הנוגעים למבנה ולעקרונות-הפעולה של התותחים האוטו-מטיים.

ירי-צף — המערכת הנעה של התותח (סדן, מחלק ולעתים גם קנה), שמשקלה גבוה בדרך כלל, נעה בעת הירי לפנים ולאחור ומכה בגוף התותח בכוח רב. המכה הזו עוברת לעריסת-התותח דרך פינים המחב"רים את התותח לעריסה. בנוסף לרתיעת המערכת

הנעה, רותע גם התותח כתוצאה מהירי וגם הרתיעה הזו מועברת לעריסה.

בתותח היורה בשיטת "הירי-הצף" קיים תזמון נכון בין תנועת המערכת הנעה ופעולת הירי, או בין תנועת התותח בתוך העריסה לבין הירי, או שניהם גם יחד. תזמון כזה, כפי שיוסבר להלן, גורם להקטנת כוח-הרתיעה במידה ניכרת ביותר. באפשרות הראשונה של ירי-צף (תזמון בין תנועת המערכת הנעה והירי) גורמים לכך שהמכה של המערכת הנעה תאוזן על-ידי הרתיעה הנגרמת בעקבות הירי. האיזון הזה ניתן להשגה אם הירי מתבצע כאשר המערכת הנעה נמצאת בתנועתה לפנים. בצורה זו, חלק ניכר מעוצמת הרתיעה נספג במהלך פעולת הבלימה של המערכת הנעה ובעקבות זאת קטן במידה ניכרת העומס המור-עבר לעריסה. באפשרות השנייה של ירי-צף, גורם התיזמון הנכון בין תנועת התותח בעריסתו ובין פעולת הירי לכך, שהרתיעה בעקבות הירי בולמת את תנועת התותח. מימושן של שתי האפשרויות גם יחד (כמו בתותחים M693 ו-RH202 MK20) מאפשר שימוש בעריסה קלה וקטנה יחסית.

מזין — המזין היא מערכת נפרדת המתווספת לתותח אוטומטי כדי לקלוט את סרט הכדורים, לחלץ את הכדורים מהחוליות ולהעבירם לטסה-ההזנה של התותח. מערכת ההזנה במקלעים בינוניים וכבדים (עד 0.5") אינה מותקנת בנפרד, אלא היא מורכבת במכסה-הגוף של המקלע או בגוף עצמו. המבנה של המערכת הזאת אינו מתאים במיוחד לתאוצות בתו-תחים 20-30 מ"מ שהן גבוהות יותר. יש אומנם דוגמאות לתותחים שבהם קיימת מערכת הזנה פנימית (ה-KAA למשל) הדומה במבנה שלה לזו המותקנת במקלעים עד 0.5", אך אין ספק שהיא מורכבת מאוד, בשל הצורך לעמוד בתאוצות גבוהות יותר, ומורכבות זו תורמת כמובן לסירבול. למזין, כמערכת נפרדת, יש יתרונות על פני המערכת הפנימית מבחינת כושר-הגרירה של סרט הכדורים, אפשרויות ההזנה (הזנה מסרט או מתיפזורת) ואפשרויות ברירת

התותח מותקן במאָרז מחוץ לנגמ"ש, ואל התותח מחובר מקלע-מקביל; ההתקנה החיצונית של התותח פותרת כמובן את בעיית הנפח. עריסת התותח מצוידת בבלם-זעזועים קפיצי והתותח נע בתוכה בצורה חופשית. כאשר התותח יורה, החלקים הנעים מתקדמים לפנים וגורמים בעת הרתיעה לבלימת תנועת התותח בתוך העריסה; עובדה זו מאפשרת להשתמש בעריסה קטנה יותר.

ה-M693 מצויד במזין שאליו נכנסים שני סרטי-תחמושת, נ"ט ונפיץ, בעת ובעונה אחת. הברירה בין שני הסוגים נעשית בשליטה מרחוק, או ידנית תוך כדי הירי. ברירת התחמושת מיעלת את הירי בכך שהיא מקנה לתותח סיכוי-השמדה גבוה יותר במספר קטן יותר של פגיעות. עוד חיסכון בתחמושת מושג על-ידי בקרת קצב-האש של התותח. תיבת הבקרה החשמלית מאפשרת ברירה בין מצב נצור, "בודדת", צורות קצרים ומבוקרים, או צורות ארוכים.

מידות התחמושת של ה-M693 הן 20x139 (139 מ"מ אורך התרמיל) וזו בדרך כלל התחמושת התקנית לתותחי 20 מ"מ בצבא הצרפתי. כדור ח"ש/מינעל בתחמושת הזו מסוגל לחדור פלדת-שיריון בעובי 20 מ"מ מטווח של 1000 מטר, בזווית-פגיעה של 60°.

תותח אוטומטי RH202 MK 20 בן 20 מ"מ

התותח RH202 MK20 מיוצר על-ידי "רינמטל", מערב-גרמניה. הוא נמצא בשימוש בצבאות גרמניה, נורבגיה ואיטליה, ויעודיו הם הגנת-נ"מ והשמדת מטרות-קרקע בטווח ארוך. ההזנה הסימולטנית בתותח זה שוכללה לדרגה גבוהה מאוד. לכל אחד מהיעודים שציינו ישנו דגם של מזין מתאים. מזין דגם 3 קולט שלושה סוגי-תחמושת; מימין ומשמאל שני סרטים, ומלמעלה עוד מחסנית בת 6-10 כדורים. האפשרות הזו לברור שלושה סוגי-תחמושת תוך כדי ירי שימור שית במיוחד בהגנת-נ"מ, אך אינה יעילה בנגמ"שים

תחמושת — נושאים שבהם מערכת ההזנה הפנימית נופלת מהמזין לאין ערוך.

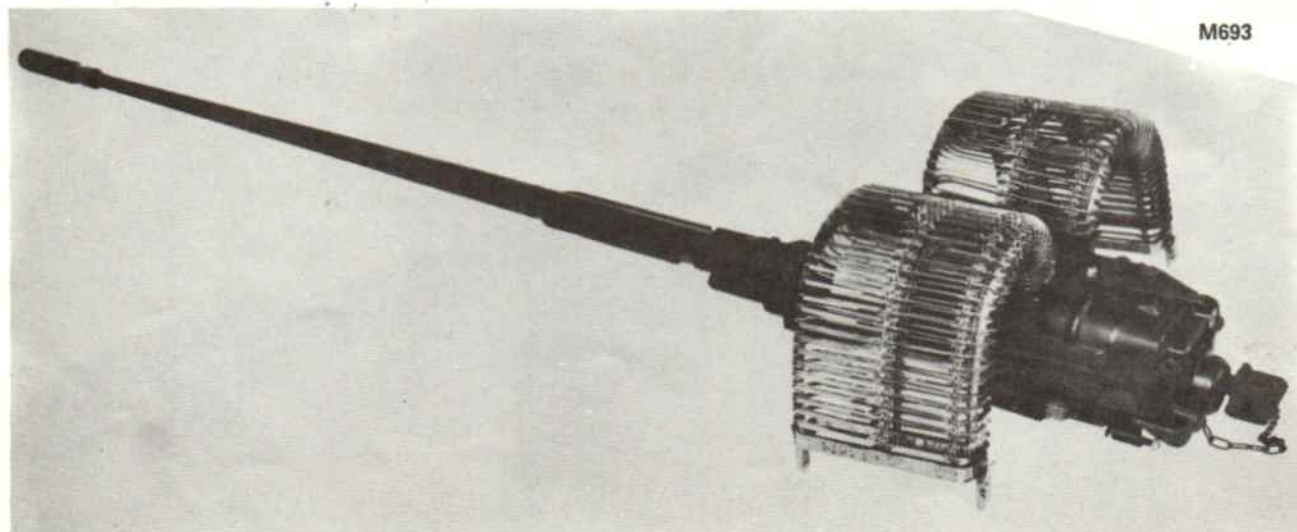
בלם-לוע — בלם-הלוע הוא התקן המורכב בקצה הקדמי של הקנה ותפקידו להקטין את כוח-הרתיעה של הנשק. בצידי בלם-הלוע קיימים חריצים מיוחדים; כאשר הקליע עובר דרך בלם-הלוע גורמים החריצים להטיית הגזים לאחור, ובעקבות זאת, למשיכת בלם-הלוע לפנים. מאחר שבלם-הלוע מחובר לקנה, והקנה — לגוף התותח, כל התותח נמשך לפנים ועומס הרתיעה על העריסה קטן. בלם-הלוע עשוי להקטין את כוח-הרתיעה ב-20—40 אחוז.

רתיעה-ארוכה — ברוב כלי-הנשק הקלים האוטו-מטיים (רובים, אקדחים, מקלעים ותותחים אוטו-מטיים), מוגבלת רתיעת הקנה או רתיעת בוכנת-הגזים למידה המאפשרת פתיחת-נעילה בלבד. מערכת רתיעה כזו נקראת מערכת בעלת רתיעה-קצרה. לעומת זאת, אפשר לתכנן רתיעת-קנה ארוכה יותר (כאורך הכדור) עד לפתיחת הנעילה. במערכת בעלת רתיעה-ארוכה כזו, המסה הגדולה של הקנה נבלמת בזמן ארוך יותר מזה שבמערכת הקודמת וכתוצאה מכך קטן העומס על עריסת התותח. מאידך יש למערכת הזאת מגרעת בכך שהיא גורמת לירידה בולטת בקצב-האש של התותח; דוגמה אופיינית לכך משמש התותח הבריטי "ררדן".

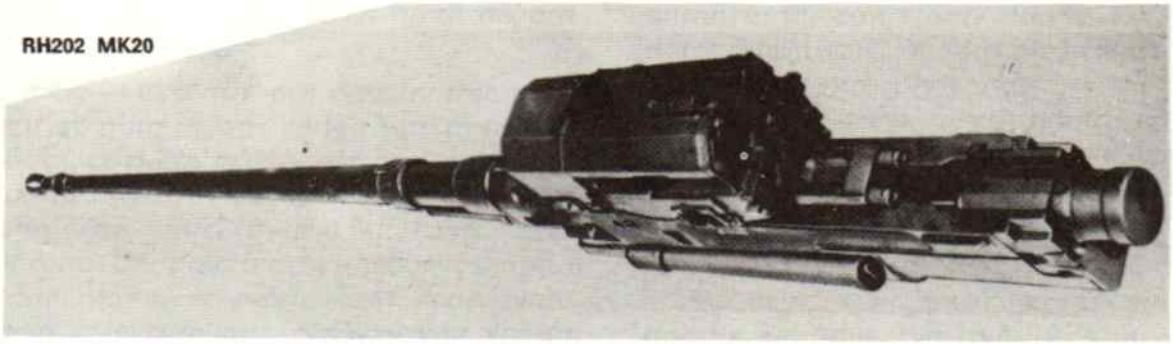
לפנינו כעת סקירה של כמה תותחים מערביים בני 20—30 מ"מ המתארת נקודות-איפיון עיקריות של התותחים האלה.

תותח אוטומטי M693 דגם F1 בן 20 מ"מ

התותח M693, מתוצרת Manufacture Nat. D'armes de Tulle הוא התותח האוטומטי התקני של כוחות היבשה בצבא-צרפת והוא מותקן ברוב הנגמ"שים והסיירות בצבא זה.



RH202 MK20



רצוף של קצב-האש מ-100 עד 600 כדור בדקה. מזין התותח קולט סרט אחד, שניתן להזנה משמאל, מימין, או מלמעלה, בלי לבצע שינוי כלשהו במזין.

התותח מופעל בשיטת "הירי-הצף" ומצויד בבלם לוע. אלה תורמים כמובן להקטנת ממדי העריסה ולהקטנת הנפח שתופס מיכלל התותח. עוד חידוש מעניין בתותח הזה הוא אופן הובלת הגזים לאחור. ברוב התותחים האוטומטיים, הגזים מובלים לאחור בתוך צילינדר-גזים ויוצאים מחריר מעבר-גזים הנמצא בערך בחצי האורך של הקנה. לעומת זאת, ב-MK20 הגזים מובלים לאחור דרך חריצים הנמצאים מסביב לתותב בית-הבליעה ויוצאים ישר מהקצה הקדמי של בית-הבליעה. היתרון בשיטה הזו הוא שהגזים מגיעים לתותב בית-הבליעה בלחץ גבוה ומנקים כל הזמן את החריצים; בכך מובטחת פעולה תקינה של התותח גם בתנאי-סביבה קשים.

ה-מאוזר MK20 יורה תחמושת 20x139; כדור ח"ש/מינעל בתחמושת הזו מסוגל לחדור פלדת-שיריון בעובי 2.5 מ"מ בפגיעה ניצבת מטווח של 1000 מטר.

מאוזר MK27 בן 27 מ"מ (בשימוש אוירי)

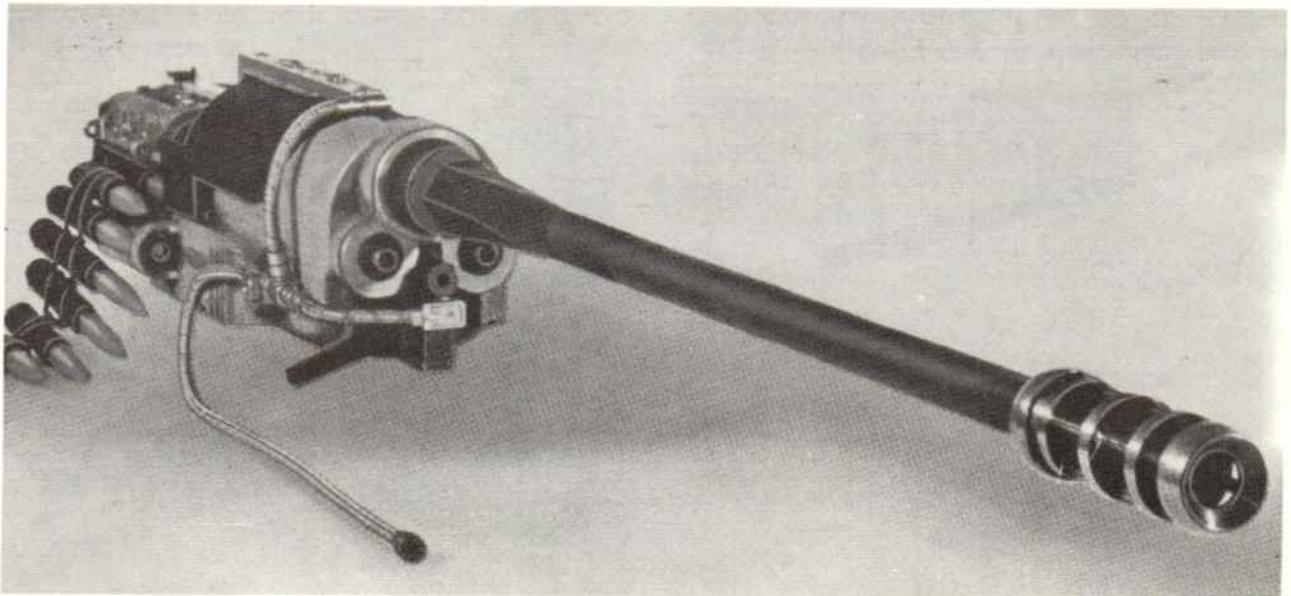
או בטנקים מאחר שהיא דורשת נפח רב. לכן משתמשים בנגמ"שים במזין דגם 2, שאליו נכנסים מלמעלה שני סרטי-תחמושת. עריסת-התותח בנויה מצינורות של סגסוגת-אלומיניום ומצוידת בבלם-זעזועים. זו עריסה קטנה וקלה יחסית והשימוש בה התאפשר הודות לשיטת "הירי-הצף" של התותח הזה, הגורמת, כפי שהסברנו, להקטנת כוח-הרתיעה של התותח. תותח זה מצויד גם בבלם-לוע התורם אף הוא להקטנת כוח-הרתיעה.

מידות התחמושת לתותח הן 20x139; כדור ח"ש בתחמושת הזו מסוגל לחדור פלדת-שיריון בעובי 8 מ"מ מטווח של 1000 מטר, באי-תפגיעה של 60°.

תותח אוטומטי מאוזר MK 20 בן 20 מ"מ

ה-מאוזר MK20 נבדק לפני כשלוש שנים על-ידי הצבא המערב-גרמני, ולפי הידוע עד כה טרם הצטיידה בו מדינה מערבית כלשהי.

אחד המאפיינים הבולטים של התותח הזה היא מערכת חדשנית ביותר לבקרת קצב-האש. עורפן-התותח ניתן להרכבה עם בלם מיוחד המאפשר שינוי



תותח אוטומטי ארליקון KAA בן 20 מ"מ

בדומה למאוזר MK20, גם ה-KAA של ארליקון הוא תותח שנבחן בזמנו על-ידי גרמניה, שוויצריה ובלגיה, אך לפי הידוע עד כה טרם הצטיידו בו.

ה-KAA מיועד להגנת-ני"מ ולתקיפת מטרות-קרקע "רכות". לצרכים אלה מצויד התותח במיגוון רחב של תחמושת 20 מ"מ מתוצרת ארליקון אשר אינה זהה לתחמושת 20x139. כדי להקטין את מידות התותח ולפשט את מבנהו ויתרו המתכננים על מזין, ובמקום זאת מוזן התותח ישירות מהצד (מימין או משמאל), בדומה להזנה בכל המקלעים הבינוניים והכבדים. תחמושת התותח כוללת כדור ח"ש/מינעל החודר פלדת-שיריון בעובי 76.2 מ"מ בפגיעה ניצבת מטווח של 100 מטר.

תותח אוטומטי ארליקון KBA-B בן 25 מ"מ



ה-ארליקון KBA-B בן 25 מ"מ הוא תותח שנבחן בזמנו על-ידי צבאות באירופה ואף על-ידי צבא-ארה"ב, וכיום ידוע שהוא מותקן על נגמ"שים בצבא ההולנדי. תותח זה פותח על-ידי חברת ארליקון מהתותח TRW25 שתוכנן על-ידי יוג'ין סטונר, ויעודו הוא להשמיד נגמ"שים בטווחים שמעל 2000 מטר.

השיפור העיקרי בתהליך פיתוח התותח נעשה במערכת הנעה, המופעלת על-ידי מכת-גזים על ראש-בוכנה, במקום הפעלה על-ידי רתיעת הקנה בתותח TRW. ה-KBA-B אינו מצויד במזין ואת התחמושת הוא קולט ישירות מלמעלה. ההזנה נעשית בשני סרטים והברירה ביניהם נעשית בפיקוד מרחוק או ידנית. בתותחים אוטומטיים עם מזין המעבר מסוג תחמושת אחד למשנהו מחייב תמיד לירות עוד כדור אחד מהסרט הקודם לפני הכדור הראשון מהסרט השני וזאת בשל מבנה המזין. ב-KBA-B, לעומת זאת, לאחר שעוברים לסרט אחר לא נותרת על טס-ההזנה כל תחמושת מהסרט הקודם. בנוסף לחיסכון המושג כאן, יש למערכת ההזנה גם יתרון בטיחותי מאחר שניתן להזיזה למצב-ביניים (בין שני הסרטים) ואז, גם אם הסדן ישתחרר במקרה, לא ייפלט כדור מהתותח.

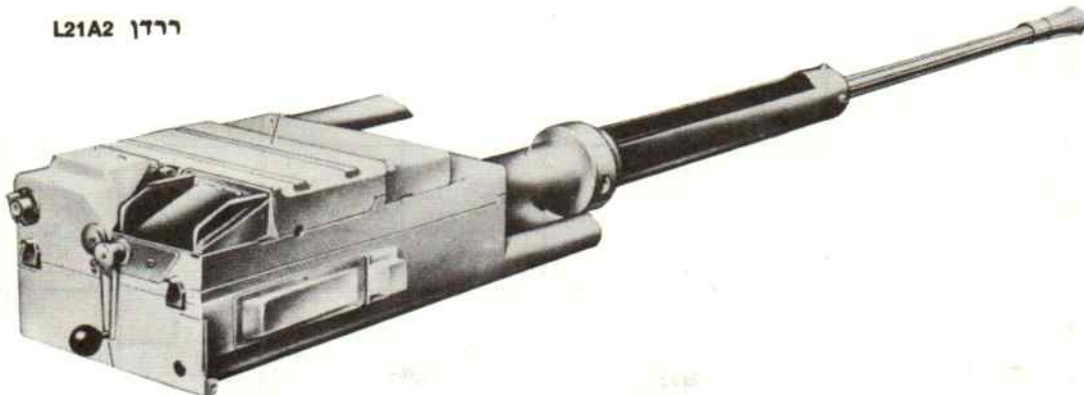
ממדיו הגדולים של התותח ורתיעתו החזקה במיוחד (כ-2.5 טון) לא איפשרו התקנתו בתוך צריחון והוא הותקן במארז-חיצוני, מעל הנגמ"ש. במארז נמצאת גם התחמושת וכן מערכות הדריכה, הירי וברירת התחמושת. כל הפעולות הנדרשות לטיפעול התותח ניתנות לביצוע בבקרה מרחוק באמצעות תיבת-בקרה חש-מלית. בהתאם ליעודו — השמדת נגמ"שים בטווחים שמעל 2000 מטר — מצויד התותח בתחמושת ח"ש/מינעל מיוחדת המסוגלת לחדור פלדת-שיריון בעובי 25 מ"מ מטווח של 1000 מטר, בזווית-פגיעה של 60°.

תותח חצי-אוטומטי ררדן L21A2 בן 30 מ"מ

התותח החצי-אוטומטי ררדן L21A2 מיוצר על-ידי החברה הבריטית ENFIELD בשיתוף משרד הביטחון הבריטי. יעודו של התותח להשמיד נגמ"שים בטווחים ארוכים (עד 3000 מטר) וכן לפגוע בטנקים.

השילוב של פעולה חצי-אוטומטית וקליבר קטן עם היעדים שציינו מצביע על מהפכה בשטח זה; שכן, עד עתה היה מקובל, שלפגיעה בטנקים משתמשים בנשק

ררדן L21A2



סוג תחמושת	חזרת שריון מ-1000 מטר (מ"מ)	טווח יעיל (מטר)	כוחיתועה (ק"ג)	קצב-אש (כדור לדקה)	מהירות-לוע (מטר/שנייה)	משקל כלי (ק"ג)	גובה (ס"מ)	רוחב (ס"מ)	אורך (מטר)	קוטר (מ"מ)	תוצרת	סימון
20x139 נפיץ, ח"ש ח"ש/מינעל	20 בזיז 60°	2000	450	740	1300 — ח"ש 1050 — נפיץ	106	26.6	20.5	2.7	20	"ניאט" — צרפת	M693
20x139 נפיץ, ח"ש	32 בזיז 0°	2000	700—550	1000—800	1100 — ח"ש 1050 — נפיץ	92.5	25.9	24.1	2.6	20	"רינמטל" — גרמניה	RH202 MK20
20x139 נפיץ, ח"ש ח"ש/מינעל	25 בזיז 0°	2000	620	שני מצבים — בשינוי רצוף 600—100 1050—650	1100 — ח"ש 1050 — נפיץ	59 ללא מזון	25.4	22.2	2.46	20	"מאוזר" — גרמניה	MK20
— מ"מ 20 "ארליקון" ח"ש, נפיץ	40 מ-800 מטר בזיז 0°	2000	2400	1000	1050	87	—	—	—	20	"ארליקון" — שוויצריה	KAA
— מ"מ 25 "ארליקון" ח"ש, ח"ש/מינעל נפיץ, רסיק, רסיק-מצית	25 בזיז 60°	3000	2500	570—100	1325—מינעל 1100 — נפיץ	108	—	—	2.80	25	"ארליקון" — שוויצריה	KBA-B
— מ"מ 30 "היסמורטסיה" ח"ש/מינעל — "אנפילד"	—	—	1360	80	1200 מעל	113	—	—	2.95	30	"אנפילד" — בריטניה	רדון L21A2
XM552/639	—	3000	—	800—100 בשינוי רצוף + אפשרות לזרי בודדת	671	27.2	27.9	25.4	1.60	30	"זוז" — אר"ב	Chain- Gun

"יגז" לשימוש במסוקי-תקיפה, ויעודיו הם השמדת נגמ"שים ומטרות-קרקע רכות.

ה-Chain-Gun שייך לקבוצת כלי-נשק שונה לגמרי מהתור-תחיים שסקרנו עד עתה. בניגוד לכלים המנצלים את כוח גזי-השריפה הנוצרים בירי על מנת לדרוך מחדש את הכלי ולפלוט את התרמיל הריק, הרי בתותח זה כל החלקים מופעלים באמצעות מקור-כוח חיצוני. לעובדה זו יש השפעה חשובה במקרה של תקלות-ירי (לדוגמה, כתוצאה מליקויים בתחמושת). במקרים אלה, מעגל הירי אינו נפסק והכדור שלא נורה נפלט מהתותח, בלי שיהיה צורך לדרוך את התותח ידנית. עוד יתרון הנובע משימוש במקור-כוח חיצוני הוא, שניתן להשתמש בתותח במערכות פנימיות קטנות יחסית; ואומנם, ממדיו של התותח אינם עולים על הממדים של מקלע-כבד 0.5.

התותח יורה תחמושת 30 מ"מ מתוצרת היספנר-סויסה. תיפעול התותח נעשה באמצעות תיבת-בקרה חשמלית, המאפשרת גם ירי בודדת וגם ירי בשינוי רצוף של קצב-האש מ-100 עד 800 כדורים בדקה. בניסויים שנעשו ב-1974 ירה ה-Chain-Gun, ללא תקלות, 50,000 כדורים בקצב-אש של 550—750 כדורים בדקה. התותח נמצא כעת בהצטיידות בחיל-אוויר האמריקאי לצורך התקנתו במסוקי-תקיפה וכן הוא נמצא בשלבי הערכה לקראת הצטיידות בחיל-הים ובכוחות היבשה מצבא ארה"ב.

לסיכום, התותחים שסקרנו הם פרי מחקרים חדישים ביותר. עם זאת, לנוכח הדרישות החמורות של שדה-הקרב המודרני, סביר להניח שיהיו עוד חידושים מרחיקי-לכת בתחום התותחים האוויר-מטיים לשימוש קרקעי, ויתכן שכך יהיה כבר בתקופה הקרובה.

מקורות:

- (1) דפי-מידע של יצרני כלי-הנשק שתוארו במאמר.
- (2) JANE'S INFANTRY WEAPONS, 1978

בעל קליבר גדול (כגון 105 מ"מ), נטען ידנית ומדויק, ולפגיעה במטרות "רכות" — בכלי-נשק אוטומטיים כגון מקלע-כבד או תותח. כאן, לעומת זאת, מדובר בתותח חצי-אוטומטי, היורה כדורים יחידים לטווח רחוק ובדייקנות גבוהה במיוחד. תותחי 30 מ"מ הנמצאים כיום בשימוש הם גדולים וכבדים; רתיעתם הגדולה אינה מאפשרת בדרך כלל להתקינם בנגמ"שים והירי האוטומטי שלהם בזבזני ביחס לכמות התחמושת שניתן לאחסן בצריחון. הררדן, לעומת זאת, ניחן ביתרונות רבים. הירי החצי-אוטומטי מאפשר לחסוך בתחמושת: התותח נטען ב-6 כדורים ואלה נורים למטרות אחד, אחד, בדיוק גבוה. במידת הצורך ניתן לירות את הכדורים בצרור, בקצב-אש של 80 כדור בדקה. הירי של כדורים יחידים ("בודדת") מאפשר לתנודות הקנה בעקבות הירי להיפסק לפני שנורה הכדור הבא, ולכך יש כמובן השפעה חשובה על הדיוק של הנשק.

ל-ררדן יש מבנה מיוחד התורם להקטנת מימדיו ומשקלו של התותח. ברוב כלי-הנשק הקלים, יש למערכת הנעה (סדן, מחלק ולפעמים גם קנה) תנועה אורכית, לפניים ולאחור. בתותח זה, לעומת זאת, הסדן מחליק הצידה כמו בתותחי-טנקים וכך נחסך נפח רב. סידור זה מביא לכך שהתותח בולט 43 ס"מ בלבד לתוך תא-לחימה בצריחון. פעולת התותח מבוססת על רתיעת-קנה ארוכה, שכתוצאה ממנה קטן עומס-הרתיעה על העריסה במידה ניכרת והוא מגיע ל-1400 ק"ג! לשם השוואה, בתותח KBA-8, שהוא בעל קליבר קטן יותר (25 מ"מ), מגיע כוח הרתיעה ל-2500 ק"ג.

כושר-החדירה הגבוה של התותח מושג באמצעות תחמושת ח"ש/מינעל מיוחדת, שהצליחה בניסויים לחדור את שריון הצד של הטנק T34 מטווח של 1000 מטר. ה-ררדן נמצא בשימוש בצבאות בריטניה, בלגיה וניגריה.

תותח אוטומטי Chain-Gun בן 30 מ"מ

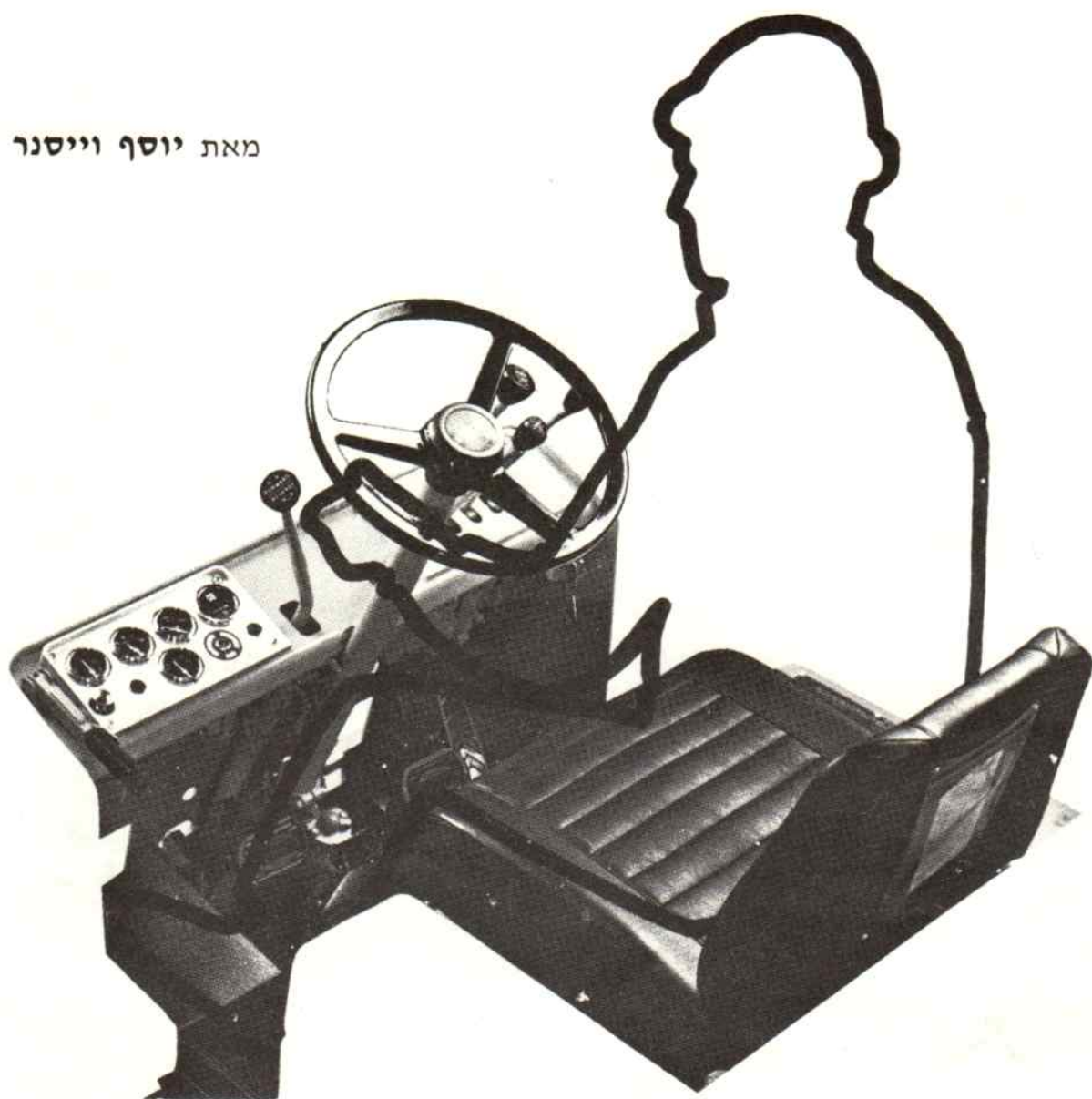
התותח האוטומטי Chain-Gun תוכנן על-ידי חברת

XM230D Chain Gun



הנדסת-אנוש בתכנון מושבִים בדרכ

מאת יוסף וייסנר

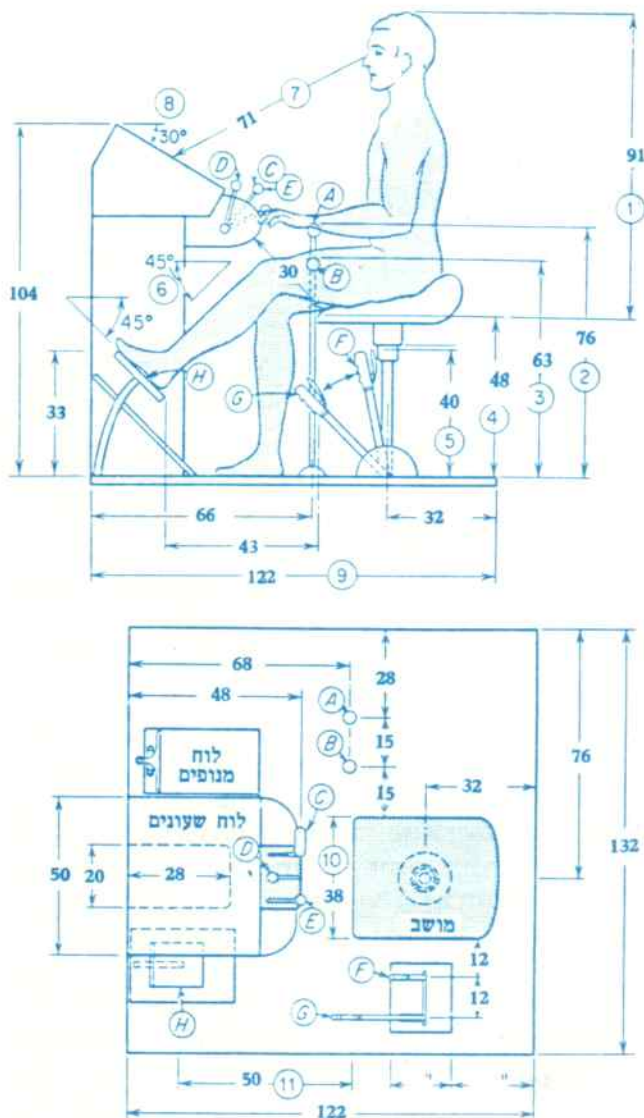


מיסעדי-המפקים של הכסא ; 6 — גובה השולחן מפני המושב כך שהברכיים יוכלו להיכנס מתחתיו ללא הפרעה.

בעזרת המידות האלה ניתן לתכנן גם את הסביבה. לדוגמה : המידה — 15 קובעת את הגובה המינימלי של הרכב שבו צריך האדם לשבת ; המידה — 16 קובעת את גובה המכשירים שהאדם צריך לראות במצב ישיבה והמידה — 18 קובעת את הרוחב המינימלי מלי הדרוש לאדם, מידה בעלת חשיבות בעת תכנון ספסלים.

לפי הנתונים האלה, מתוכננת העמדה למפעיל ציוד כבד, כפי שהיא מתוארת בציור 2. על-פי המידות בציור, מתברר, שעל-מנת לתכנן לפי נתוני הנדסת-אנוש יש צורך במרחב גדול למדי, וכל צמצום במרחב הזה יפגע בתיפקוד במידה זו או אחרת.

ציור 2

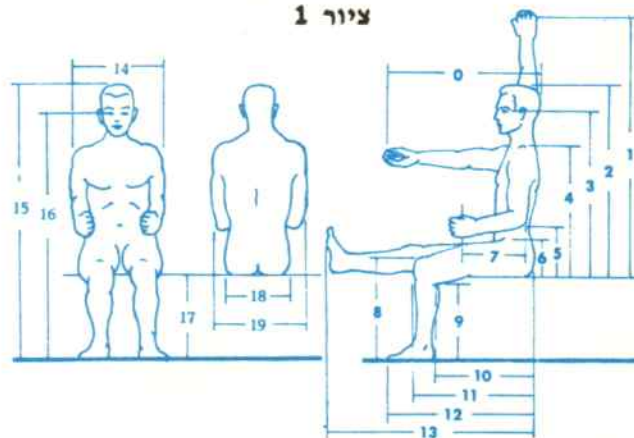


תורת הארגונומיקה, או בלשונו, הנדסת-אנוש, "משתמשת בנתונים ביולוגיים והנדסיים, כדי לפתור בעיות הקשורות בהתאמה של מכונות לבני-אדם ; חקר בעיות הגוף המתעוררות אצל האדם בעבודתו, השפעת תנאי העבודה עליו, פיקוחו על מכונות, ועיצוב הציוד כדי שיתאים לו" (מילון לועזי-עברי / דן פינס).

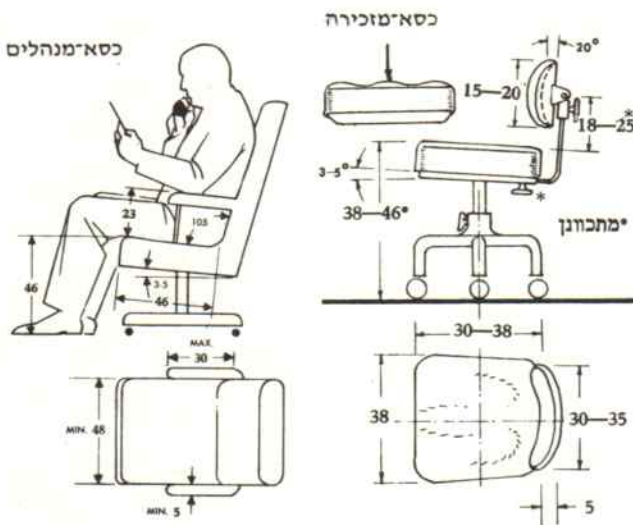
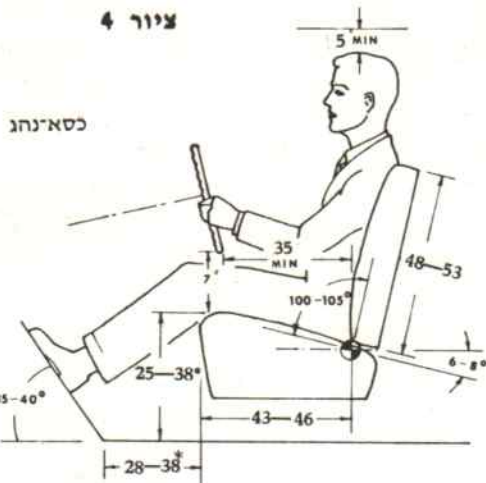
מאמר זה, העוסק בתכנון מושבים ברכב, מתאר כיצד מוגשמים עקרונות הנדסת-אנוש הלכה למעשה. בציור 1, לדוגמה, מצוינות המידות המתייחסות לגבר במצב ישיבה ובהן יש להתחשב בעת תכנון המושב :

0	— הושטת הזרוע מהמושב	889	מ"מ
1	— הרמת הזרוע מהמושב	1346	מ"מ
2	— גובה הראש מהמושב	965	מ"מ
3	— גובה העין מהמושב	851	מ"מ
4	— גובה הכתפיים מהמושב	635	מ"מ
5	— גובה המרפק מהמושב	279	מ"מ
6	— גובה השוק מהמושב	165	מ"מ
7	— אורך הזרוע	411	מ"מ
8	— גובה עליון לברך מהרצפה	584	מ"מ
9	— גובה תחתון לברך מהרצפה	462	מ"מ
10	— אורך המושב	546	מ"מ
11	— מרחק הברך מהמשענת	673	מ"מ
12	— מרחק הבהונות מהמשענת	940	מ"מ
13	— מרחק רגל מושטת מהמשענת	1168	מ"מ
14	— רוחב הכתפיים	483	מ"מ
15	— גובה הראש מהרצפה	1422	מ"מ
16	— גובה העין מהרצפה	1308	מ"מ
17	— גובה המושב מהרצפה	457	מ"מ
18	— רוחב הישבן	381	מ"מ
19	— רוחב המרפקים	508	מ"מ

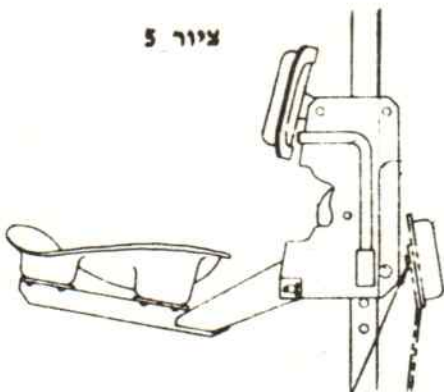
ציור 1



כל המידות האלה נכונות עבור 95% מאוכלוסית הגברים. 5% הנותרים הם בעלי מידות החורגות בהרבה ולא ניתן להתחשב בהם בתכנון. על-פי המידות האלו ניתן לתכנן מושבים וכסאות לכל מטרה. לדוגמה, המידה — 9 קובעת את גובה המושב ; 5 — גובה



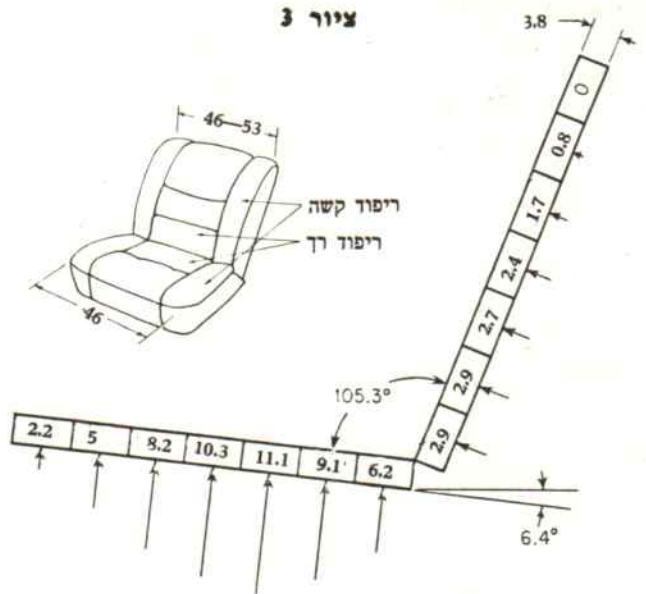
להסתובב ולהגיע לאזיות נוחות. בצויר 5, מתואר מושב בעל משענת כזו; המושב עשוי מסיביזכוכית ובמיסעך קיים שקע מתאים. כסא זה נוח למדי וחסכוני בנפח מאחר שניתן לקפל את המושב ולפנות מקום למעבר או לעמידה של חיילים.



פורסם במערכות חימוש:

המושב בכלי-רכב והתאמתו לאדם / בנימין פיין, חוברת מס' 16 עמ' 19; חוברת מס' 18 עמ' 21.

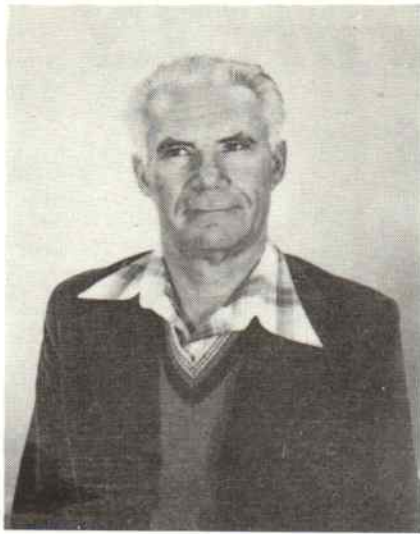
במחקר שנערך לצורך מציאת חלוקת העומס של אדם היושב בתנוחה הנוחה לו ביותר, נמצא, שרוב האנשים מרגישים טוב בתנוחה המתוארת בצויר 3. לפי הצויר רואים, שהזווית הזאת — בין המושב למשענת — עומדת על 105° בקירוב. המושב והמשענת חולקו לקטעים באורך שווה של 76 מ"מ ו-82 מ"מ בהתאמה, והמספרים בתוך הקטעים מציינים את העומס בק"ג. העומס מצוין גם ע"י גודל החיצים המכוונים לקטעים השונים. ידיעת התרשים הזה של חלוקת העומס על הכסא עוזרת למתכנן בחישובי החוזק של הכסא,



בעיצוב צורתו ובתכנון הריפודים במושב ובמשענת. (ראה תרשים בתוך צויר 3).

מושב-נהג, המתוכנן בהתאם לחלוקת העומס הני"ל, נמצא בכלי-רכב צבאיים רבים. לפי המסקנות מתרשים זה תוכלנו גם כסא-הנהג, כסא-המנהלים וכסא-המזכירה המתוארים בצויר 4. הנקודות המשותפות בשלושת הכסאות הן, הזווית בין המושב למשענת, הזווית בין המשענת לרצפה וצורת הריפודים. יתר המידות אופייניות לתפקיד שהאדם מבצע.

בתכנון מושבים ברכב קרבי באות לידי סתירה שתי מטרות רצויות. מצד אחד, שואפים להגיע למצב האידיאלי, שבו יש לכל חייל מרחב גדול, ומצד שני, שואפים לצמצם את מידות הרכב על-מנת להקטין את סיכויי ההיפגעות שלו. ברור הוא, שהקטנת סיכוי ההיפגעות של החייל חשובה יותר מנוחותו המקי-סימלית. ולכן, אם ניתן להנמיך כלי-לחימה בעשרות מילימטרים על חשבון ריפוד נכון של מושבים, אז מוותרים על הריפוד. ואם ניתן להקטין את רוחב הכלי על חשבון שיפוע נכון של המשענת, אז מוותרים על שיפוע כזה. אבל, גם בתנאים האלה, יכול המתכנן להקל על החייל על-ידי עיצוב צורה נוחה למושב. ניתן למשל לבנות את המשענת על ציר כך שתוכל



שמואל קלנר, בן 55, נשוי, תושב הרצליה. מועסק במפקדת החיל בניסויי נשק ותחמושת. שמואל עלה ארצה בשנת 1947, התגייס לצה"ל, ובתום מלחמת השחרור החל לעבוד בצבא כאזרח. כלי-נשק רבים — החל מהסטן, הציכי והמאוזר, ועד הגליל — עברו תחת ידו בשלבים הראשונים להכנסתם לצה"ל. בניסויי הנשק הרבים בחן שמואל סוגי תחמושת רבים, החל מכדורי-רובה "0.22" ועד לרקטות 240 מ"מ, ובמהלכם "צבר" פציעות רבות. אחת מהן ארעה בעת שבחן אבטיפוס של תומ"ת 155 מ"מ. במהלך הניסוי, התלקח לפתע מיכל-הדלק, שהכיל 600 ליטר בנזין. הטנק היה מזווד, והיה חשש כבד שהטנק יתפוצץ ועמו תרד לטימיון עבודה של שנים. "אבטיפוס זה התפתח ונבנה לעיניי", אומר שמואל; "לא חשבתי הרבה, ובעזרת החברים הצלחנו לפרוק את חומר הנפץ ההודף ואת הפגזים והמרעומים. בינתיים החלו להתפוצץ ארגזי התחמושת הזעירה, ואחד הכדורים פגע בכתפי; אבל את הטנק הצלנו".

שמואל קלנר זכה בפרסי-יעול רבים, נבחר כעובד מצטיין במפקדת-החיל וייצג את חיל-החימוש באחת הפעמים בלשריח ושיא-המדינה.

יחיאל הוניגמן, בן 58, תושב תל-אביב, נשוי, אב לשניים וסב לנכד המשרת במפקדת-החיל. יחיאל נולד בפולין, ועבר שם את מוראות-השואה. לאחר שהשתחרר ממחנה-הריכוז גוייס להגנה ונשלח מטעמה לגבול הצי'כי, שם עסק בהברחת הגבול. ב-1948, זמן קצר לפני עלותו ארצה, נבחר כחבר מועצת-העיר "הוף" בגרמניה, שם כיהן גם כיושב-ראש ועדת-הגיוס למען העם (מח"ל), ועזר בהפניית כוח נוסף לצה"ל. מיד עם עלותו ארצה, גויס יחיאל לחיל-הקשר ועם שיחרורו החל לעבוד כאזרח בחיל-החימוש. משמש כיום כמנהל המזכירות במפקדת-החיל ושולט על כל התיכתובת העניפה שבה.

מצלנו בחיל



צבאות-עולם



ישראל

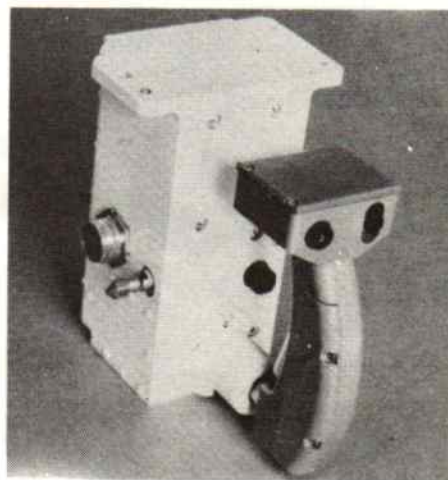
עוד פרטים על טנק ה"מרכבה"

דלת-אחורית ותאי-תחמושת

— מבט מאחור של טנק המר-כבה מגלה את דלתות תאי-התחמושת (קיצוניות) הנפתחות ימינה ושמאלה. במרכז, בין שני התאים, נמצאת דלת הכניסה לצוות הטנק. הדלת, שרוחבה כ-60 ס"מ, מורכבת למעשה משני חצאי-דלת המתרחקים אחד מהשני בעת הפתיחה ומתקרבים אחד אל השני בעת הסגירה. הטנק המצולם כאן הוא דגם מוקדם יותר הנושא עליו "פלטות-בזוקה" המתקפלות לאורכו. בדגם האחרון (ראה תמונה ממול) תוכננו המשטחים האלה מחדש.



תקשורת מפקד-נהג — התקשורת בין מפקד הטנק והנהג נעשית ברוב הטנקים באמצעות רשת הקשר הפנימית. בטנק המרכבה לעומת זאת, כוללת המערכת גם יחידת-תצוגה לנהג וכן מחולל-אותות מיוחד, ידית-בקרה ומערכת אלקטרונית. יחידת-התצוגה של הנהג מחוברת לרשת הקשר הפנימית. כאשר המפקד לוחץ על משפת ידית-הבקרה (ראה תמונה), שומע הנהג צליל באוזניות המורה לו להמתין להוראות ובר-זמן מופיע סימן מתאים על מירקע יחידת-התצוגה. הסטת הידית ימינה גורמת לשידור הפקודה "נהג — ימין, ימין!" המועברת לנהג באמצעות רשת הקשר הפנימית, ועל גבי המירקע מופיע חץ המציין את הכיוון.





גירסה חדשה של פלטות-בזוקה —

בתמונה הזו של המרכבה ניתן לראות את השינויים שנעשו במשטחים האלה, המותקנים בצידי הטנק. כאן מחוברות הפלטות בצורה כזו שהן יכולות לנוע הצידה, כלפי חוץ, וגם אז הן שומרות במידה רבה על מקבילותן לצידי הטנק. סידור זה בא למנוע אפשרות של סתימת ה"מזקו"מ בתנועה בחול טובעני או בשטח בוצי.

בתמונה הזו ניתן לראות גם את כיפת המפקד, את מערכת התצפית ההיקפית ומקלע מאג 7.62 מ"מ וכן את כוונת הליזר של התותחן. בסמוך לעתודת חוליות-הזחל מרותכות צלעות-מתכת (ניצבות ואופקיות); צלעות אלו מיועדות "ללכוד" קליעי נשק-קל ורסיסים, ובכך הן מגינות על המערכות האופטיות של המפקד והתותחן.

International Defence Review, 7/1978

רכב סיור משוריין מתוצרת ישראל

רכב הסיור הנראה בתמונה הוא ה"RBY MK1 המיוצר ע"י "רמתא", חברת-בת של התעשייה האוירית. זהו רכב 4x4 שמשקלו 3.6 טון, וצוותו מונה 8 אנשים. תובת-הרכב נמוכה (גובה כללי 166 ס"מ) ומשוריינת, ותחתיתה מוגנת בפני מוקשים. הרכב מצויד במנוע בנזין המורכב מאחור. המהירות המקסימלית על-פני כביש היא 100 קמ"ש וטווח הנסיעה הוא 550 ק"מ.

את ה"RBY אפשר לצייד בסוגי נשק שונים, וביניהם משגר לטילי טאג. רכב זה יוצא מכבר לחו"ל.

International Defence Review, 6/1978



גרמניה המערבית

טנק-תובה דורקני

עומדת כוונת פריסקופית היקפית PERI-R12 מתוצרת חברת צ'ייז, המשמשת לתצפית ולכינון. התותחים קבועים במישור האופקי כך שצירי-האורך שלהם נחתכים בטווח הקרבי המרבי (1,500 מטר). הכוונת הדו-צירית מיוצבת ותפקידה לכוון את התותחים למטרה במישור האנכי; במישור האופקי מכוונים התותחים על-ידי הפניית הטנק אל מול המטרה. הירי מתבצע כאשר קו-הראייה של אחד התותחים מתלכד עם המטרה.

על סיכוי הפגיעה בכדור-ראשון מטווח-בינוני כנגד המטרה חכבדה של נאטו (2.3x2.3 מטר) נאמר, שהוא מעל 90%, כלומר, ב-15% טוב יותר מזה של טנק בעל צריח. אבל, את היתרון הזה יש לראות יחד עם העוב-
דות האלה: ראשית — התווסף כאן משקל של עוד

במסגרת התוכנית "ליאופרד-3" המיועדת לקבוע את הטנק שיחליף את ה-ליאופרד-1 בצבא מערב-גרמניה, העמידה החברה הגרמנית MAK דגם של טנק-ללא-צריח בעל שני תותחים (ראה תמונות).

עבודות הפיתוח והבניה של טנק-התובה החלו עוד ב-1972. באותה שנה החלה חברת מאק לפתח שני כלים נסיוניים, כדי לבחון בהם נשק, מערכת בקרת-אש וחטיבת-כוח בעלת ביצועים גבוהים. האבטיפוס הראשון — VT1 (רכב נסיוני מס' 1) יצא בשתי גירסות: VT1-1 בעל שני תותחים 105 מ"מ, ו-2 בעל שני תותחים חלקיק-קדח בקוטר 120 מ"מ מתוצרת "רינג-מטל".



תותח, ואם מדובר בתותח 120 מ"מ הרי המשקל הנוסף הוא 4 טון. שנית — בעת-קרב, חייב הכלי הזה לנוע בתנועת עקלתון ("זיגזג") מתמדת; ושלישית — כאשר הטנק נמצא בעמדה מוסתרת הוא אינו יכול לפתוח מיד באש על מטרה המתגלה בצדדים.

בנוסף לטנק-התובה הדורקני משתתפים בתוכנית "ליאופרד-3" עוד שני דגמים — טנק ליאופרד-2 משופר, שצריחו מתוכנן במשותף על-ידי החברות קראוס-מפי ו-מאק, וטנק המתוכנן במשותף על-ידי החברות טיסך-הנשל, מאק ו-GST ונמצא כרגע "על הנייר". העבודה על תוכנית ה-ליאופרד-3 תימשך ככל הנראה עד שנת 1980.

ה-1-VT1 שהוצג לא מכבר במתקני חברת מאק בפני מומחים, בנוי על מרכב מקוצר של הטנק KPZ70, בעל מתלה הידרופנימטי וחמישה גלגלי-מרכוב (במקום שישה). בטנק מותקן מנוע-הדיזל MTU-M8873 Ka500, שהספקו הועלה מ-1,500 כ"ס ל-2,000 כ"ס. משקל הטנק מגיע ל-38 טון, ומכאן שיחס ההספק למשקל מגיע ל-52.5 כ"ס לטון. לדגם הטנק הזה אין שריון מיוחד, ועדיין לא הותקנה בו מערכת הטעינה האו-טומטית, שפותחה על-ידי חברת רינמטל בשביל שני התותחים. לעומת זאת, הגרסה השנייה של הטנק — VT1-2 מצוידת כבר באחת ממערכות-הטעינה האוטר-מטיות. הספק המנוע בגרסה הזו הועלה ל-2,200 כ"ס ו

"הצנטוריון המשופר" - "סוס-עבודה" ההולך ומשתפר

לאחר עבודת ההסבה הנרחבת שנעשתה על טנק הצנטוריון והפכה אותו ל"צנטוריון-המשופר", עבר הטנק הזה עוד שני שלבי-שיפורים, שלאחריהם ניתן להעמידו בשורה אחת עם טנקי-המערכה החדישים של שנות השמונים.

השלב הראשון בשיפורים החל ב-1970, ובמסגרתו הוחלף מנוע-הטנק במנוע-דיזל חדיש, ממסרת ההי-לוכים הוחלפה בממסרת חצי-אוטומטית, ההינעים הסופיים הוסבו והותאמו לחטיבת-הכוח החדשה, התותח המקורי (בן 83 מ"מ) הוחלף בתותח בן 105 מ"מ, והוגדלה כמות הפגזים שניתן לאחסן בטנק.

לקחי התיפעול של טנקי-הצנטוריון שעברו את ההסבה הזו הוכיחו, כי עבודת ההסבה הפכה אותם לאחד מעמודי-התווך של כוחות השיריון בצה"ל. טנקים אלה נטלו חלק נכבד בקרבות השיריון של מלחמת יום-הכיפורים, בכל זירות הלחימה, והם שהביאו לבלימת השיריון הסורי ברמת-הגולן.

השלב השני של ההסבות החל בשנת 1975 וכלל את החלפת מערכת בקרת-הצריח במערכת הידרו-מכנית בעלת ביצועים מעולים.

השלב השלישי של השיפורים, שהותר כעת לפירסום, אמור ליצור דור חדש של טנקי-צנטוריון במערך צה"ל. השיפורים, שתוכננו ופותחו על-ידי חיל-החימוש, בוצעו בכל המערכות העיקריות של הטנק והן מעמידות את הטנק בשורה אחת עם הטנקים החדישים ביותר בזירה. הטנק המשופר עמד בהצלחה בכל המבחנים והניסויים, וכל המטרות שהוצבו בשלב הפיתוח הושגו במלואן.

להלן תיאור תמציתי של השיפורים שבוצעו בשלב השלישי:

- נוספו אמצעי תצפית-לילה לתותחן ולנהג.
- מערכת הטעינה החשמלית הוחלפה במערכת חדישה, אמינה יותר, המאפשרת להוסיף עוד צרכנים למערכת החשמל של הטנק.
- נוספה לטנק מערכת מיסוך עשן המבוססת על הזרקת דלק לצינור הפליטה של המנוע. הטמפרטורה הגבוהה של גזי-הפליטה גורמת לאידוי הסולר ולפליטתו בצורת ענן לבן סמיך.
- במזקו"מ הטנק בוצעו שיפורים המגדילים את אמינותו, משפרים את ביצועי הטנק ומגדילים את נוחות הצוות.
- בוצעו שיפורים במדף-הנהג.
- הוגדל כוח-האש של הטנק כנגד חי"ר. לצורך זה הורכב, בין השאר, עוד מקלע ליד עמדת הטען.

ערכה לפריצת שדות-מוקשים

הערכה לפריצת שדות-מוקשים פותחה על-ידי חיל-החימוש, בהתבסס על ערכות דומות שנלקחו שלל במלחמת יום-הכיפורים. הערכות מיועדות להתקנה על טנקי-שלל סובייטיים, אולם ניתן להתקין גם על טנקי צנטוריון ופטון באמצעות מתאמים מיוחדים שפותחו לשם כך.

ערכת-הפיצוץ כוללת 6 גלגלי-כבישה כבדים (4 טון כל אחד) הקשורים עם זרועות וכבלים אל חזית הטנק. הערכה מתחלקת לשני מכללי-כבישה, כשבכל מכלל כזה ישנם שלושה גלגלים המורכבים במסגרת וממוקמים בחזית הזחל, כך שקיימת חפיפה בין עקבות גלגלי-הכבישה ובין מסלול הזחלים. רוחב העקבה — 83 ס"מ.

עקרון הפעולה של ערכת-הפיצוץ מבוסס על דריכה על המוקשים ופיצוץם בכוח משקלם הכבד של גלגלי-הכבישה. הפגיעה בערכה, כתוצאה מהפיצוץ, היא שולית, והטנק עצמו אינו נפגע כלל. בין שתי מסגרות הגלגלים ישנה שרשרת סריקה אשר תפקידה לפוצץ "מוקשי-אנטנה" על-ידי הפעלת חישני המוקשים.

את ערכת הפיצוץ אפשר לנתק מהטנק במהירות על-ידי הפעלה חשמלית-פירוטכנית מתוך הטנק. משקלה הכללי של הערכה — 5.8 טון, משקל מכללי-הכבישה (שלושה גלגלים) — 2 טון, וקוטר גלגלי-הכבישה — 92 ס"מ.

חיל החימוש -

מאז ועד היום

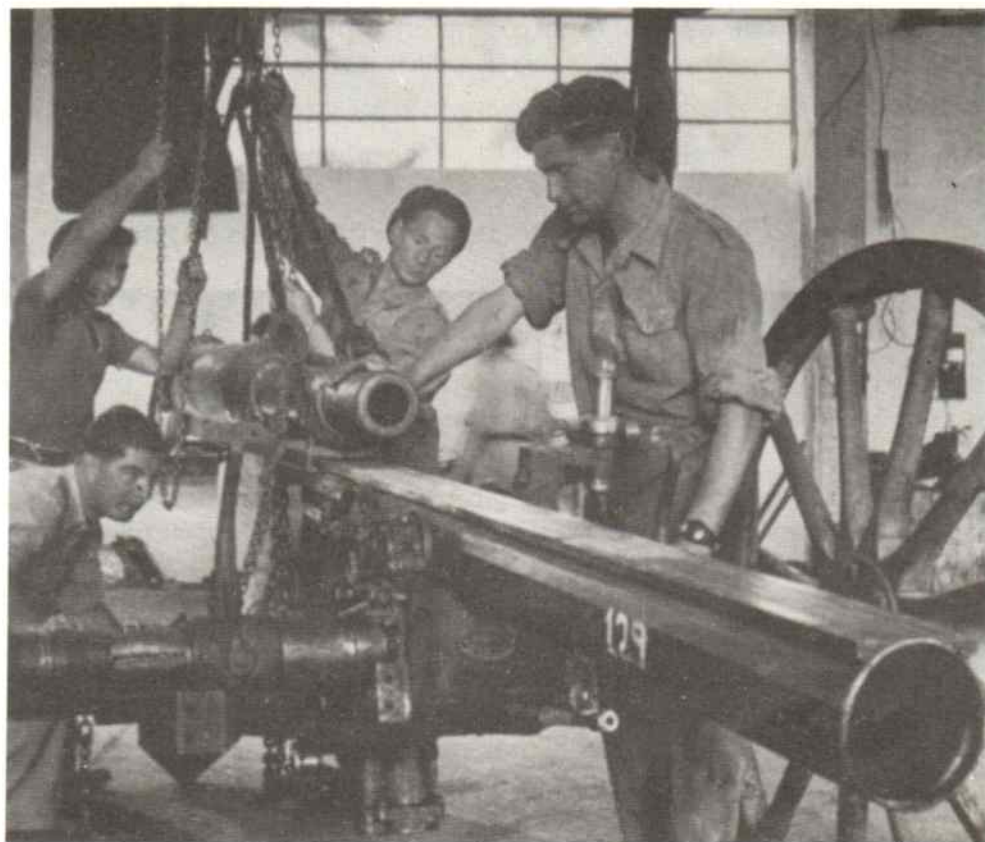
בנעשה בצבאות אחרים. התושיה הטכנית של יוצאי ה"הגנה" שבח" בורה השלימה את הסדר והדייקנות של בוגרי הצבא הבריטי.

ממרתף בית-הדר פרש חיל-החימוש את זרועותיו על-פני יחידות צה"ל כולן. ה"סליקרים" הותיקים, בוגרי הקורסים המקצועיים של הצבא הבריטי ומאות בעלי מקצועות טכניים, שעלו ארצה עם קום המדינה — כל אלה השתלבו במערך החיל. אז לא נזקקו לקטלוגים מפורטים שהוכנו על-ידי מחשב. די היה במשלוח מכתב: "דרושים לנו בדחיפות ברגים

של הצבא האוסטרי. וכך, אחד לאחד, מפה לאוזן הועברה השמועה על החיל החדש.

מאז שהוחלט על הקמת חיל-טכני שיהיה דומה במתכונתו לחיל-החימוש הבריטי (REME). החל הסדר לתפוס בהדרגה את מקומם של התורשיה העצמית, ורכישת הנשק באמצעות קשרים אישיים. כדי להכין תקנים מוגדרים ופקודות ברורות לחיל החדש, ישבו אז ימים ולילות על תקני הצבא הבריטי, התאימו את שיטות העבודה לצה"ל והתעניינו

חיל-החימוש, ולפני-כן, "חיל-טכני נאים", ו"שירות הנדסת-חימוש", נולד, רשמית, לפני 31 שנים. המשפחה הגדולה של החיל כיום, היתה בעבר משפחה קטנה "על באמת". כאילו רק אתמול התיישבה במרתפו של "בית-הדר" בת"א חבורה קטנה של בעלי מקצועות טכניים, אנשי-הגנה ובוגרי צבאות זרים, כדי להקים חיל ששמו טרם נודע. כיצד התקבצו האנשים? על-פי השמועה, אומרים הותיקים. וכיצד עמדו על כישוריהם? על סמך היכרות מן השירות בחיל-החימוש הבריטי, או על-פי מסמכים





בטחון-ישראל הם בבחינת קצהו של הקרחון. מאמצי הפיתוח של מהנ-דסי חיל-החימוש וטכנאיו הטביעו חותמם כמעט בכל סוגי הציוד המופעל על-ידי צה"ל, החל בהסבות הראשונות שבוצעו בעזרת הצרפתים בטנקי השרמן M50 ו-M51, דרך פי-תוחי תומ"טים 155 מ"מ שהיו התשתית לארטילריה המתנייעת בצה"ל, הסבות בטנקי פטון, צנטוריון ובטנקים הרוסיים T54, T55, וכלה בגולת הכותרת — פיתוח טנק המר-כבה. גודל האתגר ההנדסי שנטלו עליהם מדינת-ישראל, צה"ל, וחיל-החימוש הנושא בנטל התכנון של הפרויקט הזה, בולט עוד יותר על רקע העובדה שמספר המדינות בעולם המפתחות כיום טנקים אינו עולה על עשר.

מות הפיתוח במשימות האחזקה אינו מקרי. הפיתוח שניזון מלקחי האחזקה הניב אמצעי-לחימה יעיר-לים, נוחים לתיפעול ואמינים, שזכו להערכת הצבא והמדינה. בשנים 1962, 1969 ו-1970 זכו צוותי תיכנון של חיל-החימוש בפרסי ביטחון-ישראל על פיתוח מרגמה מתנייעת בקוטר 120 מ"מ, מרגמה מתנייעת בקוטר 160 מ"מ ועל שיפורים של טנק הצנטוריון. הפרס, שנקבע בשנת 1958 על ידי שר הבטחון דאז, דוד בן-גוריון, ניתן "עבור מחקרים מדעיים או הישגים טכניים בולטים, לרבות הישגים מיוחדים בשטח הבטחוני שתרמו להגדלת ביטחון המדינה וביצורה".

הנושאים שעבורם זכה החיל בפרס

קטנים לרובה", ובאפסנאות הטכנית כבר הבינו.

בחיל-החימוש דאז עסקו בכל הנר-שאים שעוסקים בהם כיום, רק בהיקף קטן יותר. ראשית, עשה החיל מאמץ להביא לידי אחידות בציוד. עשרות סוגים של כלים היו אז בר-שותו של צה"ל — ירושה שנמסרה לו מההגנה, שרכשה כמובן "מכל הבא ליד". לאחר מכן הושם הדגש על הכשרת כוח-אדם מקצועי, שיוכל להתמודד עם נשק חדיש ומתוחכם והוקמו מרכזים לשיקום ולאחזקה. בתקופה מאוחרת יותר עבר חיל-החימוש לייצור מקומי ולתכנון והסבה של כלי-נשק.

העיסוק בנושא האחזקה יצר תשתית מקצועית שאיפשרה לחיל להיכנס לפעילות פיתוח ענייפה. שילוב משי-



חטיבות כוח לטנק-המטרכה- כיום ובעתיד (ב)

מבחי ההשוואה שנערכו לא מכבר בין שני האבטיפוסים של הטנק האמריקאי החדש XM1 (הדגם שנבחר הוא של חברת קרייזלר) עוררו כמה חילוקי-דיעות וגם כמה בעיות מעניינות. אחת הבעיות הרגישות ביותר נוגעת לחטיבות-הכוח השונות שהותקנו בשני דגמי הטנקים, וליתר דיוק — הבחירה בין מנוע-הדיזל המקובל ובין טורבינת-הגז החדשה.

מאמר זה עוסק ביתרונות ובחסרונות של חטיבות-הכוח הנמצאות כיום בשימוש. חלק א' של המאמר, שפורסם בחוברת 68, עסק במנועי-דיזל. חלק ב' של המאמר עוסק בעיקר בטורבינות-גז ובחטיבות-כוח משולבות.

תודתנו נתונה לאשר שרוני, שקרא את החלק הזה של המאמר וסייע בהערותיו ובהארותיו להביא דברים על דיוקם.

מנועים סיבוביים (ואנקל)

כיום, נראה שרק חברת "רולס-רויס" הבריטית מעוניינת בפיתוחו של המנוע הסיבובי מסוג ואנקל ובהתאמתו לשימוש בטנק-מערכה. אף שכרגע מצוי מידע מועט על המנוע הסיבובי, נחשב המנוע הזה לעדיף מכמה בחינות ממנוע-הדיזל המקובל.

היתרון הבולט ביותר של המנוע הסיבובי, היא יכולתו לפתח הספק כשל מנוע-דיזל, למרות שנפחו קטן יותר. משקלו של מנוע-ואנקל כיום גדול יותר ממשקלו של מנוע-דיזל תואם, ולכן היחס בין הספק המנוע ומשקלו קטן יותר. הבעיות העיקריות העומדות בפני המהנדסים העוסקים בפיתוח המנוע הסיבובי קשורות ביחידות הקירור והדחיסה ובכוח ההתמך של המסות הסובבות. לכאן יש להוסיף את הבעיות הקשורות באחזקת המנוע הסיבובי.

במהלך פיתוחם של מנועים שונים מנסים להפחית ככל האפשר ממספרם של החלקים הנעים. באשר למנוע-ואנקל, דומה שמתקיימת בו מגמה הפוכה, וזאת בשל העובדה, שהוא יהיה מצויד במספר רב של חלקים סובבים בעלי ממדים גדולים. בכל זאת, יש לציין, שנעשים מאמצים ניכרים כדי להקטין את גודל הרוטור ומכאן את מומנט ההתמך. הנסיונות האלה צריכים להביא לחלוקת הספק בין כמה רוטורים והתוצאה תהיה שוב הגדלה במספר החלקים הסובבים, תכנון מורכב יותר ולבסוף — חטיבת-כוח גדולה יותר.

המנועים הסיבוביים צריכים להיות חסכוניים יותר מטורבינות-גז, אך קשה עדיין להעריך את כושרם האמיתי עד שיותקנו ברכב משוריין ויבחנו בתנאים מבצעים.

טורבינות-גז

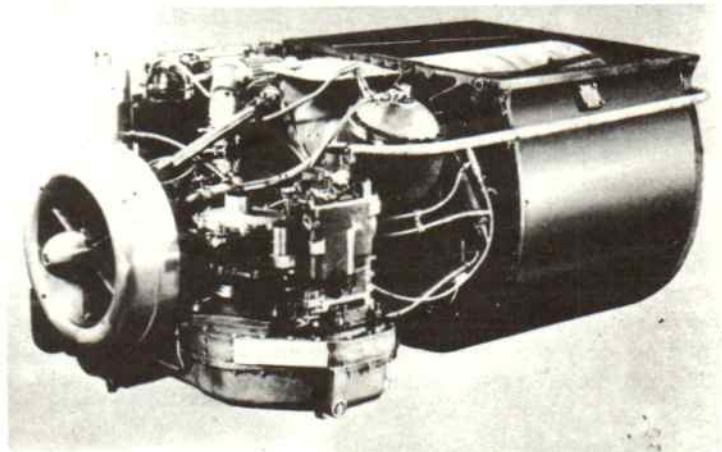
טורבינות-גז הן התשובה המסתמנת לבעיות של חטיבות-כוח המיועדות לטנקי-מערכה. הדברים אמורים על טורבינות הכוללות מחליף-חום, כלומר, טור-

בינות שבהן מנוצלת האנרגיה התרמית של הגזים השרופים בצאתם מהטורבינה לחימום האויר בכניסה לתא-השריפה. פעולה זו מביאה לחיסכון בצריכת דלק להספק נתון. טורבינה כזו היא ה-AGT-1500 מתוצרת Avco Lycoming. שהותקנה בטנק XM1 של חברת קרייזלר.

"הנקודות החזקות" של טורבינת-הגז הן כושר ההתנה המיידית, ויצירת מומנט גבוה בסל"ד נמוך. באשר לכושר ההתנעה, הרי המספר הקטן של החלקים הסובבים תורם לשמירת צמיגותו של שמן-הסיכה ברמה שהיא גבוהה בהרבה מזו שבמנוע-דיזל, במיוחד במזג אויר קר. באקלים חם, לעומת זאת, מתעוררות בטורבינת-הגז בעיות שונות הקשורות למערכת הקירור. הבעיות האלה לא נפתרו עדיין. כמו כן ידוע, שבאקלים חם מפתחות טורבינות-הגז הספק קטן והולך במידה ניכרת עם עליית הטמפרטורה (מנוע-בנזין כמעט ואינו מושפע מעליית הטמפרטורה ואילו מנוע-דיזל נמצא מבחינה זו בין טורבינת-הגז ומנוע-הבנזין). כל טורבינות-הגז שייכות לסוג המנועים הרב-דלקיים, והן יכולות לפעול בכל סוג דלק עד לאוקטן 100 ומעלה, בלי שתחול ירידה בהספקן כתוצאה מהשתנות איכות הדלק. במנוע-דיזל, לעומת זאת, עלול ההספק לרדת לעתים ב-25% כתוצאה מהשינוי בדלק.

שיעור המומנט של טורבינת-הגז, המגיע לשיאו בסל"ד נמוך, הוא גבוה מאוד ביחס למנוע-דיזל תואם. עם זאת, יש לזכור שיעילותה הגבוהה של טורבינת-הגז במהירויות גבוהות יורדת במידה ניכרת עם ירידת המהירות, ואת זאת יש לראות על רקע העובדות שטנק-מערכה פועל במהירות בינונית ונמוכה במשך 80% בקירוב מזמן פעולתו, ושצריכת הדלק המקסימלית מתרחשת בשעה שהמנוע פועל במהירות נמוכה. במנוע-דיזל לעומת זאת, צריכת הדלק הסגולית עולה, בדרך כלל, רק במהירויות הגבוהות, כלומר, במשך 20% מזמן הפעולה.

בהשוואה למהירות הסיבוב של גלי-הינע במנועי-דיזל (בממוצע 3,000 סיבובים לדקה) מגיעה מהירות



בתמונה — טורבינת-הגז AGT-1500 מתוצרת Avco Lycoming המותקנת בטנק XM1 של חברת קרייזלר. מספר החלקים במנוע הזה, בהשוואה למנוע-דיזל, קטן ב-30%. אין צורך להחליף בו שמנים, והמרחק המינימלי שניתן ליכור איתו בין טיפול יסודי אחד למשנהו מגיע ל-18,000 מיל — 29,000 ק"מ. הקצוות — הקר והחם — של טורבינת-הגז הם מודולריים, והמנוע בשלימותו ניתן להרמה עלידי מנוף בו 5 טון.

בסינון יוצרת בעיות רבות ברכב המונע ע"י טורבינת-גז ביחס ליכולתו לנוע במים, אם בצליחה ואם בשקיעה. במנוע-דיזל, לעומת זאת, רק האוויר הדרוש ליצירת התערובת נכנס לתא-השריפה.

נוסף על בעיות השטח ואיבוד ההספק הנובעות מיניקת אוויר ומסינונו ישנה בעיה של טמפרטורת-פעולה. הטמפרטורה שבה נכנס האוויר לטורבינה מעוררת בעיות חמורות, מפני שכל גידול קל בטמפרטורה מצמצם את אורך החיים המבצעי של הטורבינה אלא אם כן משתמשים בבנייה בחומרים יקרים העמידים בחום. כיום, טמפרטורת הפעולה הממוצעת של טורבינת-גז נעה בתחום 800—900 מעלות; ב-AGT-1500 הגיעו לטמפרטורה של 1190 מעלות.

על מנת להגיע לנצילות אופטימלית צריכות עדיין טורבינות-הגז לעבור שיפורים רבים, שיהיו יקרים מאוד ויצריכו מבחנים ממושכים. אף-על-פי-כן, טורבינות-הגז תהינה תמיד מערכות-כוח עדינות ויקרות יותר, אף אם יש להן, עדיין מהבחינה התיאורטית, יתרונות גדולים על-פני מנועי-הדיזל.

חטיבות-כוח משולבות

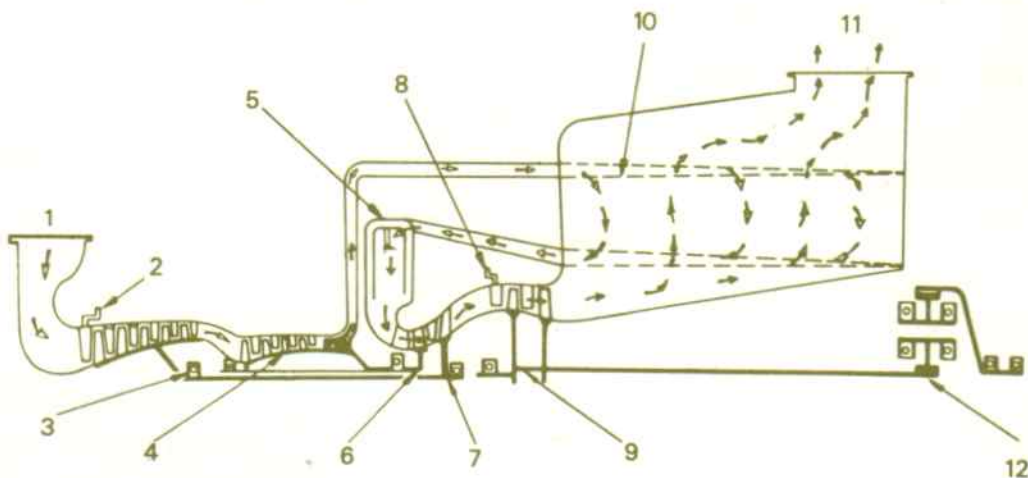
מערכת הנעה שיהיו בה מיתרונותיהם של מנועי-הדיזל וטורבינות-הגז גם יחד יכולה להיות חטיבת-כוח המשלבת את שני סוגי המנועים. בדרך זו ניתן לנצל את מנוע הדיזל לפעולה במהירות נמוכה ובינונית, ואת טורבינת-הגז לפעולה במהירויות גבוהות,

הסיבוב של גל "יצרן-הגז" של הטורבינה ל-30,000 סיבובים לדקה בממוצע. האינרציה הגבוהה המוענקת בעקבות זאת למסות הסובבות של הטורבינה יוצרת בעיית בקרה חריפה. הפתרונות הטכניים שניתנו בנושא זה מיועדים להגדיל את כושר הבלימה של ציר יצרן-הגז. בין הפתרונות: שילוב טורבינת-הלחץ-הגבוה בטורבינת-הלחץ-הנמוך וחיבורן אל תיבת ההילוכים באמצעות תיבת-הפחתה קבועה; התקנת בלם-הידרודינמי, או הפניית סילון-גז בכיוון מנוגד לכיוון הסיבוב של להבי הטורבינה. הפתרונות האלה מורכבים מאוד, והם מעוררים בעיות שונות ובהן בעיית הקירור. מבחינת הביצועים, טורבינת-הגז מקנה מהירות טובה למדי, והספקה במהירויות גבוהות טוב יותר מזה של מנוע-דיזל. היכולת לקבל מומנטים גבוהים בסל"ד נמוך מאפשרת לטנק המונע על-ידי טורבינת-גז לפתח תאוצות טובות יותר, וזו היתה אחת הסיבות לבחירת דגם הטנק XM20 של חברת קרייזלר.

בעיות הפיתוח של טורבינות-גז

טורבינת-הגז יונקת 20—30 ק"ג אוויר לכל ק"ג של דלק. כמות האוויר הגדולה הזו, המנוצלת ליצירת התערובת וגם לקירור, צריכה לעבור דרך הטורבינה ויש לסננה. פעולת הסינון מחייבת שימוש במסננים גדולים ובעלי תכונות מיוחדות. אולם מעבר לזאת, הכמות הגדולה של האוויר הנכנסת למנוע ומחויבת

בתרשים — חתך בטורבינת-הגז AGT-1500. אוויר מסונן נכנס לפתח היניקה (1) של המדחס הצירי הרבי-דרגתי (במדחס זה קיימות כפות מתכווננות — 2). האוויר זורם לדרגת-הדחיסה (4), יוצא משם בלחץ גבוה ונכנס למחליף-החום (10). ב-מחליף-החום עולה הטמפרטורה של האוויר ומתקרבת עד לכדי 60—70 אחוז מטמפרטורת הגזים השרופים. ממחליף-החום זורם האוויר החם לתא-השריפה (5). לתא הזה

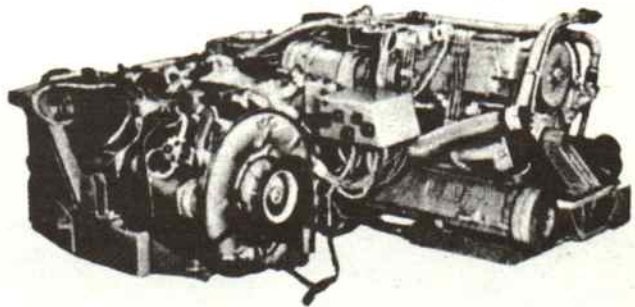


מוזרם דלק ברציפות וכן קיים בו אלמנט המספק ניצוץ רצוף; כתוצאה מכך מתחוללת בתא שריפה. הגזים השרופים עוברים דרך דרגות הטורבינה, כאשר טורבינת-הלחץ-הגבוה (6) מניעה את דרגת הדחיסה (4), וטורבינת-הלחץ-הנמוך (7) מניעה את דרגת הדחיסה (2). הטורבינות (6) ו-(7) הן הטורבינות של "יצרן-הגז" ותפקידן הבלעדי הוא להניע את המדחסים. משם זורמים הגזים השרופים אל טורבינת העבודה (9), או כפי שהיא נקראת גם "טורבינת-חופשית", אשר תפקידה להעביר את ההספק אל גל-היציא. הגזים השרופים עוזבים את טורבינת-העבודה, מחממים בדרכם את האוויר הזורם בצורת של מחליף החום ונפלטים החוצה דרך מערכת הפליטה (11). ההספק המתקבל מטורבינת-העבודה עובר דרך תיבת-הפחתה (12).

הנעת הטורבינה — באמצעות מתנע, מניעים את גל יצרן-הגז עד שהוא מגיע לסל"ד המתאים לתנאי העבודה ההתחלתיים. בשלב זה מתחילה הזרמת הדלק לתא-השריפה ובו בזמן מתחילה גם פעולת הניצוץ. עם התחלת תהליך השריפה, גל יצרן-הגז אינו תלוי עוד במתנע, והמערכת ממשיכה לפעול מעצמה, כלומר מתקיים מעגל סגור של יניקת אוויר, דחיסתו, שריפתו, וקבלת הספק על טורבינת יצרן-הגז וטורבינת-העבודה, וחוזר חלילה.

לתנועה בשטחים קשים או להתנעה מהירה במזג אויר קר.

רעיון ההתקנה של חטיבת-כוח משולבת מומש זה מכבר, בטנק השבדי "S". חטיבת-הכוח בטנק זה מורכבת ממנוע-דיזל A60 מתוצרת "רוולס-רויס" שהספקו 240 כ"ס ומטורבינת-גז, בואינג-502, בעלת הספק של 330 כ"ס. שני המנועים האלה מחוברים לממסרת משותפת, לתיבת-הפחתה ולממיר-מומנט הידרו-דינמי.



בתמונה — חטיבת-הכוח המשולבת המותקנת בטנק השבדי "S".

חטיבת-הכוח המשולבת, מנקודת-מבט של צריכת דלק, היא חטיבת-כוח חסכונית. ממחקרים התברר, שחטיבת-כוח משולבת, המורכבת ממנוע רב-דלקי לעומס נמוך (בעל יחס הספק משקל של 15 כ"ס לטון לפחות) ומטורבינת-גז לעומס גבוה, עשויה להיות יעילה מאוד עבור הספקים סגולים של 30 כ"ס לטון ומעלה.

הבעיה העיקרית בהתקנת חטיבת-כוח משולבת היא בעיית הנפח. המהנדסים מתמודדים מכבר בבעיות נפח חמורות בעת התקנת חטיבת-כוח מסוג אחד והתקנת שתי חטיבות-כוח בנפח המוגבל כבר עכשיו מסבכת עוד יותר את המצב בתחום שבו הפשרה היא גורם עיקרי. אחת ההשפעות בתחום הזה נוגעת לצמצום הנפח למכלי-הדלק. בעיות אחרות מעוררת ממסרת ההילוכים המסובכת הכוללת מערכת מורכבת להפחתה ולסינכרון, וכמובן שאין לשכוח את נושא האחזקה והחלפים עבור שתי חטיבות-כוח שונות.

סיכום

עד כה לא הראו טורבינות-הגז יתרון מכריע כלשהו שיעשה אותן עדיפות ממנוע-דיזל כחטיבת-כוח לטנק. אמת-המידה לפעולתה של טורבינת-הגז כחטיבת-כוח בטנק צריכה להיות בעיקר הטמפרטורה בתא-השריפה. אם תהיה אפשרות להגדיל את הטמפרטורה הזו, בלא שיגדלו כתוצאה מכך ההוצאות הבסיסיות לחומר מים ולפיתוח, יתרום הדבר לשיפור נצילותה של טורבינת-הגז. אפשרות השגתן של הטמפרטורות הגבוהות עשויה להתממש על-ידי שימוש ברכיבים

קרמיים עבור להבי-הטורבינה. עבודה על רכיבים כאלה נעשית כיום בארה"ב ובמקומות אחרים אך שילובם בטורבינות-הגז עדיין אינו בגדר הצעה מעשית.

לחטיבות-הכוח המשולבות לא צפוי שימוש נרחב בשל מחירן הגבוה, מנגנוני הפעולה המסובכים שלהן ובעיות האחזקה. עם זאת, זהו תחום שיכולים לבצע בו פיתוחים טכניים בהיקף רחב, אף אם הפיתוח יארך שנים וידרוש כספים רבים.

מנוע-הדיזל, כחטיבת-כוח לטנקים, הוכיחו עצמם כאמינים ביותר. שיפורים שנעשו לא מכבר במנוע-הדיזל AVCR-1360 העלו את הספקו ל-1750 כ"ס. במנוע MB-873 הניעו, בלי לבצע כל שינויים, להספק של 1800 כ"ס, וגרסה אחרת של המנוע הזה, בעלת הספק של 2200 כ"ס נמצאת כעת בבדיקה. בתהליך הפיתוח של מנוע-הדיזל בודקים גם את נושא שילובם של החומרים הקרמיים בתא-השריפה. אם יצליחו הניסויים הנעשים כיום במעבדות המחקר הצבאיות בארה"ב (TARADCOM) ובחברת "קמינס", עשויה להיפתר בעיית הקירור בטנקים אלה על כל מרכיביה. פישוט מתקני הקירור יביא להקטנה ניכרת במשקלם ובנפחם של המנועים האלה, ובנוסף לכך לא יזדקקו להספק הגבוה המנוצל כיום להפעלת המאווררים.

ניתן גם כן לסכם ולומר, שעל אף יתרונותיה של טורבינת-הגז הרי שלמשך 10-20 השנים הבאות יישאר מנוע-הדיזל כחטיבת-הכוח האמינה והמתאימה ביותר לטנקי-מערכה.

מקורות :

- 1) Armies & Weapons, 15.10.1977.
- 2) International Defence Review — Battle Tanks.
- 3) International Defence Review, 6/1978.

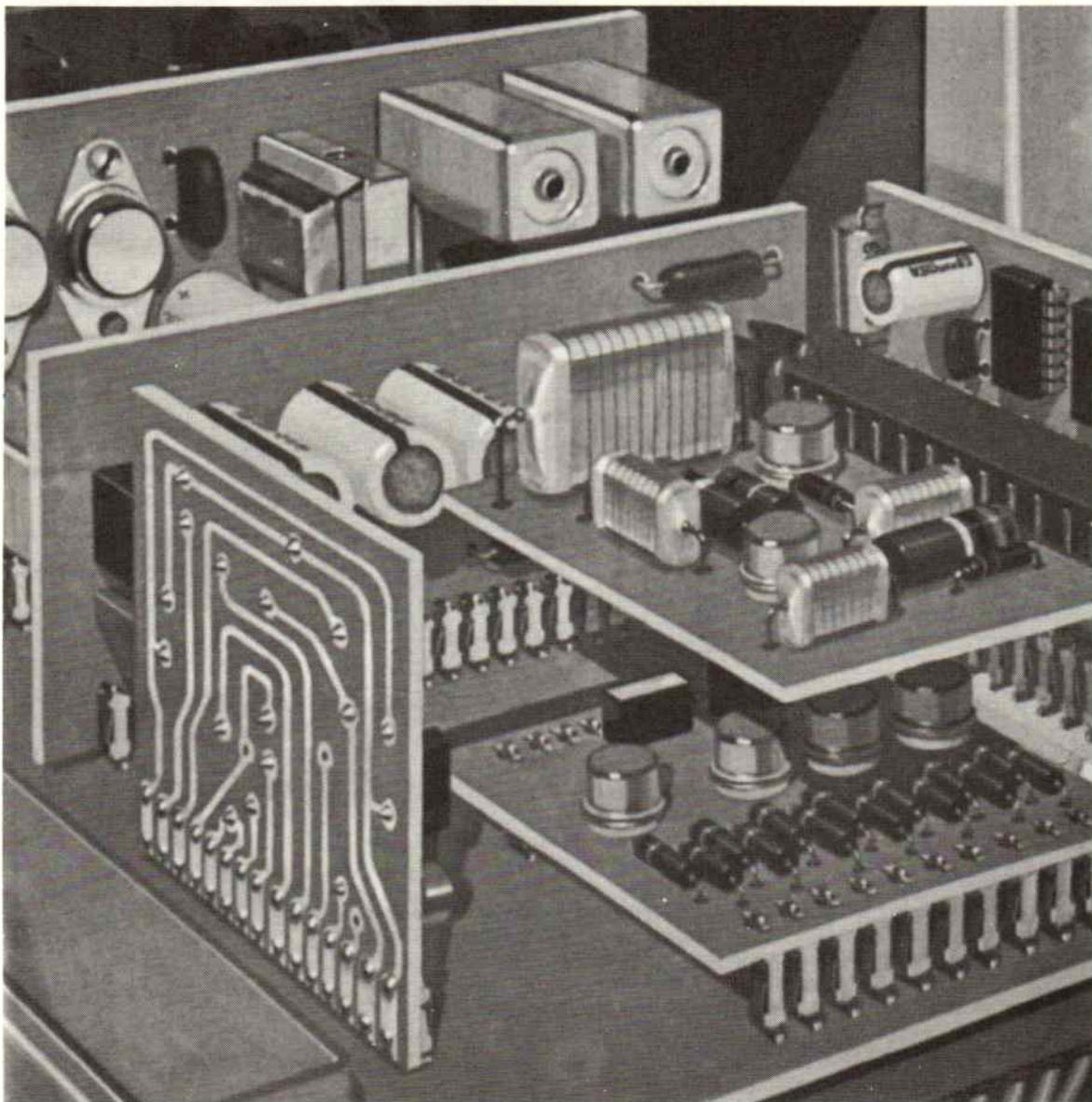
הודעה למנויי מערכות-חימוש :

1. כדי למנוע בעיות במשלוח החוברת, מתבקשים כל המנויים ששינו את מענם או את שמם להודיע על כך בכתב למשרד הביטחון, ההוצאה לאור — מדור מנויים, רח' דוד אלעזר 29 ת"א, או טלפוניית ל-212516.
2. מנויי קבע ועובדי-צה"ל, שיש להם בעיות הנוגעות לסכום הניכוי עבור "מערכות-חימוש", מתבקשים לפנות למת"ש — מדור שכר-קבע / עובדי-צה"ל.

מחשבות על אמינות דכיבים ומערכות

... בגלל מסמר ...
... אבדה פרסה ...
... פשל סוס ...
... נפל רוכב ...
... אבד קרב ...
... נפלה עיר ...

מאת שי קדרון



ניקח כדוגמה מערכת המורכבת מ-10 נגדים, שכל אחד מהם חיוני לפעולת המערכת, וכמו במקרה הקודם, פעולתם של הרכיבים בלתי-תלויה. המערכת תוכננה במקורה כמערכת אמינה ביותר, ולכן נבחרו לה נגדים בעלי זמן-ממוצע בין תקלות של 10^6 שעות ($\lambda = 10^{-6}$). נחשב כעת מהם הסיכויים לתקלה במערכת במשך 1000 שעות-עבודה:

$$R = 1 - R = 1 - e^{-(10^{-6} \cdot 10 \cdot 1000)} = 1 - 0.99 = 0.01 = 1\%$$

נראה כעת מהם הסיכויים לתקלה באותה מערכת במשך 1000 שעות-עבודה אם נחליף את אחד הנגדים בנגד פחות אמין, בעל זמן-ממוצע בין תקלות של 10,000 שעות ($\lambda = 10^{-4}$):

$$R = 1 - R = 1 - e^{-(10^{-4} \cdot 9 + 10^{-6})1000} = 1 - 0.9 = 0.1 = 10\%$$

מהתוצאה רואים, כי אמינות המערכת נפגעה במידה ניכרת; הסיכוי לתקלה במשך 1000 שעות-עבודה הוכפל פי-10 כתוצאה מהכנסת רכיב אחד בלבד בעל אמינות נמוכה מהמתוכנן.

מהנאמר עד כאן ניתן להסיק כמה מסקנות:

- במערכות מורכבות יש חשיבות רבה לחיזוי האמינות ובדיקת התאמתה ליעוד המערכת. עלול לקרות שמערכת שתוכננה שלא כהלכה תהיה בעלת סיכוי נמוך להשלים את משימתה אם הזמן-הממוצע בין תקלות לא עולה בהרבה על זמן המשימה (Mission Time).

- רכיב אחד בלתי-אמין במערכת מוריד את אמינותה במידה ניכרת.

אמינות-רכיבים

לצורך המשך הדיון נצא מן ההנחה כי תיכנון המערכת אינו לקוי, ואם היא תיוצר בתהליכי הייצור הנכונים ומרכיבים שאמינותם היא בהתאם לתיכנון, הרי היא תמלא את משימתה בהצלחה. מטרתינו עתה לוודא, כי הרכיבים שיוכנסו למערכת בעת ייצורה ואחזקתה השוטפת לא יפלו בתכונותיהם מאלה שעבורם תוכננה.

כל המצוי בנושא אמינות-הרכיבים יודע, כי "עולם הרכיבים" נחלק לשניים:

- רכיבים שהנתונים עליהם כוללים בעיקר פרטים תיפקודיים; רכיבים אלה יקראו להלן רכיבים "מסחריים".

- רכיבים שהנתונים עליהם כוללים, פרט לפרטים התיפקודיים, גם נתוני אמינות; רכיבים אלה יקראו להלן רכיבים "אמיניים".

אין להסיק מן האמור לעיל שרכיבים "מסחריים" טובים פחות מרכיבים "אמיניים"; אולם, עם זאת,

כפי שניתן לראות ממלות הפתיחה, הכירו כבר בימי-קדם בעובדה כי כשל (Failure) במרכיב אחד ופשוט לכאורה במערכת גורם לכשלון המערכת כולה ועלול לגרום לכשלונות נוספים במערך שבו מתפקדת המערכת.

שאיפת המשתמש במערכת היא, כמובן, לקבל לידי מערכת אמינה לחלוטין, אך שאיפה זו אינה ניתנת למימוש, וכל מערכת עלולה להתקלקל ביום מן הימים. השוואת מחירים בין מערכת אמינה ומערכת אמינה יותר מאותו סוג מראה מיד כי אמינות גבוהה מייקרת את מחיר המערכת.

מושגים באמינות

פיתוחם של כלי-טיס ומערכות-נשק מורכבות נתן דחיפה לטיפול כמותי בנושאי חיזוי האמינות והורחבתה. נזכיר כאן כמה מושגים עיקריים בשטח הזה, בלי להיכנס לחישובים הסטטיסטיים שמאחוריהם.

קצב-התקלות (Failure Rate) — זוהי ההסתברות לתקלה במשך יחידת-זמן ברכיב או במערכת. ההסתברות הזו מסומנת באות λ והיא מבוטאת לפעמים באחוזים.

זמן-ממוצע בין תקלות (Mean Time Between Failures) — זהו הזמן הממוצע החולף בין תקלה אחת לשניה. זמן זה יכול להיות מדוד או חזוי.

$$MTBF = \frac{1}{\lambda}$$

אמינות (Reliability) — זוהי ההסתברות שרכיב או מערכת יעבדו במשך זמן t ללא תקלה.

$$R = e^{-\lambda t}$$

כמובן שכל מערכת מורכבת מתת-מערכות ומרכיבים, ואמינות המערכת כולה נגזרת מאמינותם של מרכיביה. השימוש ברכיבים תקינים פתח אשנב לחיזוי אמינות המערכת מידיעת אמינותם של הרכיבים. נושא זה מפותח מאוד בשטח האלקטרוניקה אך בשום פנים אין הוא יחודי למערכות אלקטרוניות דווקא.

אם ידועים נתוני האמינות של הרכיבים ניתן לחשב את אמינות המערכת לפי הנוסחה שלהלן, הנוגעת למקרה שכל אחד מהרכיבים חיוני לפעולת המערכת, אך פעולתו אינה מותנית בפעולת הרכיבים האחרים.

$$R = e^{-(\lambda_1 t + \lambda_2 t + \lambda_3 t)}$$

כאשר:

R — ההסתברות שמערכת המורכבת מרכיבים 1, 2 ו-3 תפעל כהלכה במשך t שעות.

λ_i — קצב-התקלות של רכיב i .

וגם ה"מסחרי", באותם תהליכי-ייצור, והמחיר הנוסף יבטא את מחיר הבדיקות והסתברות הכישלון של הרכיבים שימכרו כ"צבאיים". לעתים מיוצרים הרכיבים ה"צבאיים" בקווי-ייצור נפרדים — נקיים יותר, מזוייקים יותר, או שמועסק בהם כוח-אדם טוב יותר, והתוצאה מתבטאת כמובן במחיר.

שילוב רכיבים במערכות

האיכות עולה בכסף. היצרן מצידו מנסה לחסוך בעלות-הייצור, והצרכן חייב לעמוד על המשמר על מנת להבטיח את אמינות המוצר לאורך ימים. נסקור להלן כמה הצעות של יצרנים עלומי-שם:

יצרן א', מה הוא אומר?

"למה לייקר את המוצר ללא צורך ולהמתין זמן רב לחלקים? אשתמש ברכיבים "מסחריים" משובחים בלבד; בין כה וכה צריך המוצר המוגמר לעבור בחינה על-ידי הצרכן, ואם הבחינה תסתיים בהצלחה נצא שנינו נשכרים.

זוהי גישה פסולה לחלוטין. בחינת הדגם, או בחינת הקבלה של המוצר, מיועדת לגלות פגמים בתיכונן המוצר ובביצועיו ולא ברכיבים שמהם הוא בנוי. להלן כמה דוגמאות לתקלות שמורות ברכיבים שלא תתגלנה בדרך כלל בבחינת המוצר המוגמר:

— אורך-חיים מוגבל של רכיבים כגון מפסקים, מימ-סרים, מחפרים וכו'; רכיבים אלה מופעלים בבחינת הדגם מספר הפעלות מזערי בדרך כלל.

— תקלות בחצאי-מוליכים הנובעות מזהומומים ומת-רחשות לאחר זמן מסוים מייצור הרכיב; פרק-הזמן שבו מבוצעת בחינת הדגם קצר בדרך כלל מזמן הופעת התקלות האלו.

— תקלות הקשורות לאחזקה — מעגלים-מודפסים שאינם עומדים בחום ההלחמה, סימונים נמחקים, רכיבים שאינם עומדים בפעולות אחזקה סבירות מבחינת החוזק המכני, העמידות בממיסים וכו'.

כאמור, אין לקבל את הגישה של יצרן א' ויש לדרוש ממנו להשתמש ברכיבים "צבאיים".

יצרן ב', מה הוא אומר?

"יודע אני שיצרן הרכיבים מבצע למעשה מיון של הייצור לרכיבים "מסחריים" ולרכיבים "צבאיים" — מדוע שירויה הוא? אקנה ממנו את הרכיבים הבלתי-ממוינים ואבצע את הבחינה והמיון בעצמי".

זהירות רבות! בחינת רכיבים לפי מיפרטים-צבאיים היא תהליך הדורש זמן ואמצעים בלתי-מבוטלים. ייתכן שבדעת היצרן לבצע רק חלק מן הבדיקות ויש לדעת בדיוק למה כוונתו. כמו כן לא ידועה מראש התפוקה (Yield) של תהליך המיון; תפוקה נמוכה תשאיר את היצרן ללא רכיבים ותגרום לפיגור באס-פקת המוצר.

ברור שאמינותם של הרכיבים המסחריים אינה ידועה מראש, והיצרן שלהם אינו מתחייב לאחידות ביו מוצריו מהבחינה הזו. לכן, כמסקנה מיידית, אפשר לומר, כי המכניס רכיב "מסחרי" למערכת שבה נדרשת אמינות גבוהה שם את אמינות המערכת על קרן הצבי.

מאחר שהדרישה לרכיבים "אמיניים" מקורה בדרך כלל בצבאות ובתעשיות התעופה והחלל, דאגו הגופים האלה להכנת מיפרטים מטעמים המגדירים את רובם המכריע של הרכיבים התקניים על מנת שלא להיות תלויים בהגדרות היצרן.

מיפרטי- MIL

המערכת המסועפת ביותר של הגדרת רכיבים היא המערכת של צבא-ארה"ב, הקרויה מערכת מיפרטי- MIL (Military Specification). מכאן גם נגזר הכינוי רכיב "צבאיים" לרכיבים המוגדרים במערכת הזו. הדברים בהמשך המאמר מכוונים למערכת הזו, אם כי מה שייאמר כאן נכון גם לכל הגדרה אחרת הכוללת את אותם הנתונים. כאן המקום להזהיר כי רכיב "צבאיים" עדיין אינו עושה אותו כשיר לכל שימוש, ואף ברכיבים "צבאיים" קיימות רמות-איכות שונות; מאידך, לגבי הרכיבים האלה קיים לפחות נתון בסיסי ביחס לאמינות הרכיב, נתון שלא קיים לגבי הרכיב ה"מסחרי". לצורך המשך הדיון נתרכז רק בהבדלי האמינות שבין הרכיבים ה"מסחריים" והרכיבים ה"צבאיים", ונניח, כי מכל יתר הבחינות הרכיבים האלה זהים ומיוצרים על-ידי כמה יצרנים לפי אותו מיפרט, כך שנושאי החליפות ומקורות האספקה אינם נמנים בין השיקולים — אם כי כשלעצמם הם נושאים חשובים ביותר.

מיפרט- MIL דורש מרכיב, פרט לתכונותיו התיפקודיות, גם עמידות בתנאי-סביבה שונים, אורך-חיים, סימון וכו', ומגדיר את שיטות הבדיקה לכל אחת מהתכונות הנדרשות מאותו רכיב. מאחורי הדרישות ושיטות הבדיקה עומד ניסיון רב-שנים של הנדסת-רכיבים ומחקר אופני-הפּשָׁל שלהם (Failure Modes). שיטות הבדיקה אמורות להבטיח, כי הפריט ייבחן כך שצורות הכשל השכיחות אמנם תתרחשנה ותובחנה כאשר איכות הרכיב לא תהיה בהתאם לנדרש. חלק מן הבדיקות במיפרט אינן ניתנות כלל לביצוע על רכיב מוגמר והן חייבות להיעשות בתהליך הייצור של הרכיב (לדוגמה, בדיקה חזותית של חצאי-מוליכים, לפני הסגירה, כדי לאתר זיהומים וטיב עבודה ירוד העלולים לגרום לכשל לאחר זמן). חלק אחר של הבדיקות נעשה על המוצר המוגמר בצורה מלאה (100%), או מידגמית מתוך סידרה.

מכל מה שנאמר עד עתה, ברור, כי מחירו של רכיב "צבאיים" גבוה יותר בדרך כלל מרכיב "מסחרי" בעל תכונות דומות. לעתים מיוצרים הרכיבים, גם ה"צבאיים"



חנו רבינוביץ בע"מ

רח' ב' הירש 3, בני-ברק, טל' 700198, 700197

- סרטי חגור למיניהם
- סרטי אסבסט למיניהם
- סרטי ניילון ופוליאסטר
- פתילים — מאסבסט ומכותנה
- חגור צבאי
- חגורות בטיחות למכוניות
- חגורות בטיחות לחשמלאים
- אהלים — ברזנטים — ובדים
- חגורות הרמה מניילון עד 6 טון



הידראוליקה

מכשירים הידראוליים ומוצרי אטימה
ת"א קבוץ גלויות 73, גבעת הרצל (בנין התעשייה)

טל. 821638 - 823564

- מערכות הידרוסטטיות
- מערכות הגה
- משאבות
- בוחרים
- אביזרים הידראוליים שונים
- אטמי שמן מכל הסוגים
- ייצור, תקון, יבוא, מכירה

יצרני, מה הוא אומר?

"הרכיבים, במערכת שאותה אני מייצר, אין צורך שיעמדו בכל הדרישות של המיפרט-הצבאי. אקנה רכיבים "מסחריים" ואבדוק רק את אותן התכונות החשובות לשימוש במערכת".

כאן יש על מה לדבר. יש לסכם מיפרט בדיקות שלא יכלול את החלקים במיפרט-הצבאי שאינם נדרשים מהרכיב לפי שימוש במערכת (לדוגמה, ביחידה יצוקה, אין כל סיבה, למשל, לבדוק את עמידות סימון הרכיב בים). הבדיקות במקרים האלה חייבות להיות פחות חמורות. בדיקות חמורות מהנדרש במיפרט (נקראות "מינון") מעוררות בעיות של חליפות, מקורות לחלפים ובעיות נוספות.

נסכם את דיוננו בהעלאת המסקנות העיקריות המתבקשות ממנו:

- המכניס "רכיב מסחרי" למערכת אמינה כמוהו כמהמר.
- המושג — מערכת "צבאית" הבנויה מרכיבים "לא צבאיים" — מוטעה ומטעה.
- רכיבים "אמינים" לפי מיפרט היצרן — כבדהו וחשדהו; המיפרט עלול להשתנות.
- בחינה עצמית של רכיבים (על-ידי יצרן המערכות) לצורך בדיקת עמידתם של הרכיבים במיפרטים "צבאיים" — רק במקרים מיוחדים ומוגדרים היטב.
- פרט להבטחת רמת אמינות, מבטיחים הרכיבים "הצבאיים" גם מערכת מתועדת היטב של דרישות, מקורות אספקה מגוונים ורשימת ספקים מאושרים שיכולתם לעמוד במיפרט הוכחה.

מקורות:

- (1) MIL-HDBK-217
- (2) MIL-STD-721
- (3) בירן דוד / מושגים באמינות — קשר ואלקטרוניקה, אוקטובר 1969.

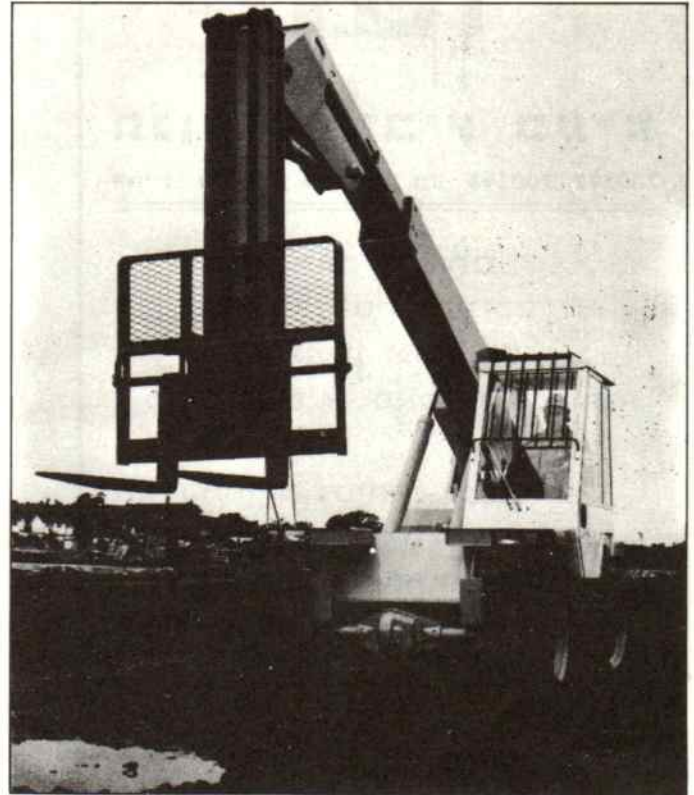
פורסם במערכות-חימוש:

- (1) אמינות — חוברת מס' 6, עמוד 12.
- (2) אמינות מערכות / א. רמון — חוברת מס' 22, עמ' 17.
- (3) מיפרטים טכניים, הכנתם והשימוש בהם / ב. יפה — חוברת מס' 31, עמ' 52.

רכב-אופני בעל עגורן טלסקופי

רכב 4-אופני מתוצרת בריטית המצויד בעגורן טלסקופי אמור לעורר מהפכה בפעולות טעינה ופריקה של חומרים בתעשיות הבניה, הייצור וההובלה. את התורן והתקן-הנשיאה של הרכב ניתן להתאים כך שתתאפשר תנועה אנכית של 1.52 מטר מעל לראש העגורן או מתחתיו. בעזרת העגורן אפשר להרים מטענים מעל מכשולים כגון קירות חיצוניים, או להיעצר איתו לפני ערימת-מטען ומאותה עמדה להניח את המטען ישירות על הפיגוס.

Machine Design, 26.5.77



כננת מיטלטלת לשיחרור רכב תקוע

כפיתרון להיחלצות עצמית של רכב תקוע יכולה לשמש הכננת המיטלטלת, הנראית בתמונה כשהיא מחוברת לאחד הגלגלים המניעים של הרכב (במקרה זה האחר-ריים).

את הכננת מחברים לטבור-הגלגל באמצעות מתאם מיוחד, שיש להרכיבו באופן קבוע מתחת למכסה הטבור. כאשר הרכב נתקע, מחברים שתי כננות כאלה לכל אחד מהמתאמים המחוברים כבר בשני הגלגלים המניעים. כעת פורשים את כבלי-הכננות לעבר עצם חזק בשטח שישמש כעוגן ומחברים את קצוות הכבלים ואת נקודות העיגון באמצעות חבל באורך 3.5 מטר. מהדקים כעת את הכננות למתאמים ולאחר שמאיצים את הרכב מת-בצעת ההיחלצות העצמית. המתאמים, שבאמצעותם מחברים את הכננות לטבור-ריים, מיוצרים מסגסוגת אבץ ILZRO12.

Design News, 12.6.76



צמיג בעל מידרס כפול-צורה

לצמיגים הרדיאליים של המכונית האיטלקית "פירלי-7" יש מידרס בעל שני משטחים — חלק וצורתו. הצד הפנימי של הצמיג, שהוא בעל מידרס צורתי, תורם ליציבות הפניה בדרכים רטובות וחלקות. הצד השני, החלק, של המידרס מעניק לרכב כושר היאחזות בדרכים יבשות. על הקטע הצורתי בצמיג הימני (ראה תמונה) נמצאים מעין "קוצים" שתפקידם ללכוד קרח.

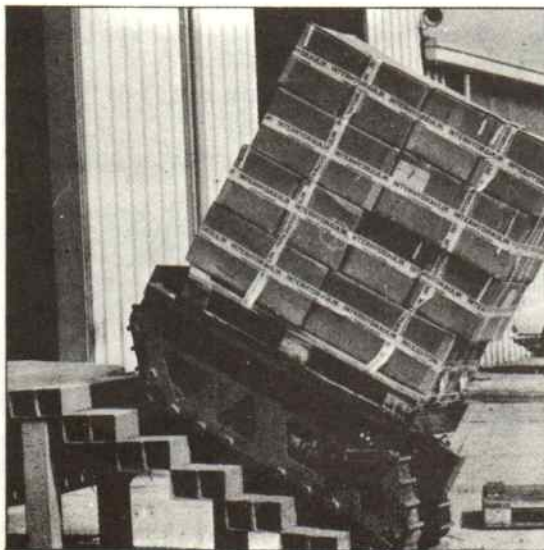


Popular Science, June 1978

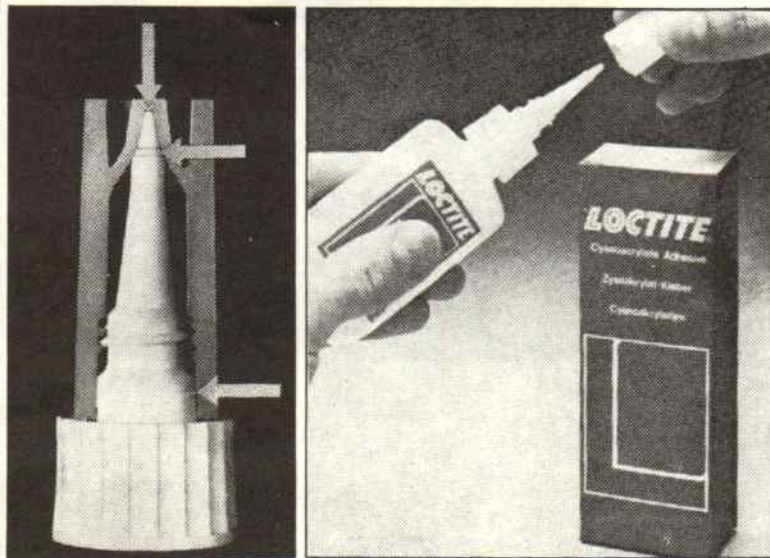
"סבל" המבוקר על-ידי אותות-רדיו

תנועתו של הרכב הזחלי הנראה בתמונה מבוקרת מרחוק על-ידי אותות-רדיו. בהתאם לפקודות יכול הרכב לנוע קדימה או אחורה וכן להסתובב במקום ימינה או שמאלה. כן ניתן לאזן הידרולית את משטח המטען בעת עליה או ירידה ממדרגות (השיפוע המקסימלי — 45°). משקלו של ה"סבל" 300 ק"ג וכושר הנשיאה שלו מגיע ל-800 ק"ג. היצרן היא החברה האוסטרית Interhydraulik GMBH.

Machine Design, 26.5.77



הדבר הראשון
שיעורר תשומת לב
בדבק ציאנואקרילט
(CYANOACRYLATE)
המעולה של **LOCTITE**
הוא פית המינון
עם 3 נקודות איטום.



חתך של פית המינון, מראה את שלושת נקודות האיטום.

16 היתרונות הנוספים מובנים מאליהם בעת השימוש.

פרטים מלאים על דבקי לוקטייט ציאנואקרילט
החדשים נתונים בחוברת מפורטת.
להלן סיבה אחת לפחות מדוע עליך לבקשה
בכתב: דבקי לוקטייט ציאנואקרילט המעולים
מאפשרים סוף סוף הדבקות מירב החומרים החדרי
שים המשמשים בהנדסה כגון, גומי עם פילרים —
E.P.D.M. חומרים שבעבר היה קשה להדביקם.

LOCTITE®

רוטל תעשיות ומסחר בע"מ
ת-א חרמורק 21 ת.ד. 33108 טל. 220375, 233735

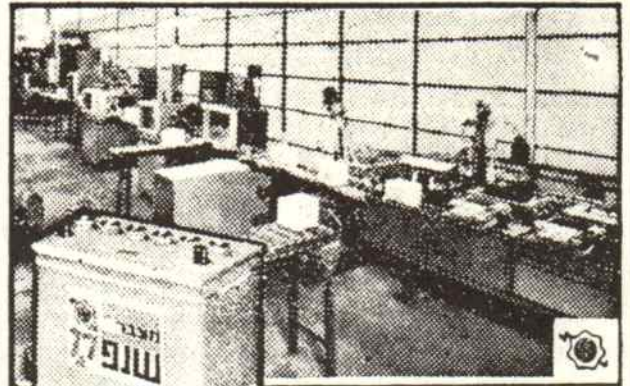


שנפ 77

המילה האחרונה במצברים!

SHNAPP 77 אחריות - 18 חודש!

SHNAPP 77 ארגז פוליפרופילן שקוף!



ע.שנפ ושות. בע"מ



סלם נקי צנרת בע"מ מס' בישראל שומר על נקינות גבוהה

שירות נקוי מערכות בלחץ מים גבוה עד 1,200 אטמוספירות

■ ניקוי בלחץ מים גבוה: מחלפי חום, צנרת, דוודים, מאיידים, תעלות, אוטוקלבים, מגדלי מים, מיכלים, רשתות ומתקנים, ממשקעי סידן, אבנית, כימיקלים וחומרים סינטטיים.

■ נקוי בסילון חול ומים במשולב להורדת צבע, גומי ללא אבק וניצוצות.

■ שרותי שאיבה של משקעים כימיים, שומנים, בורת ספיגה ורקב.



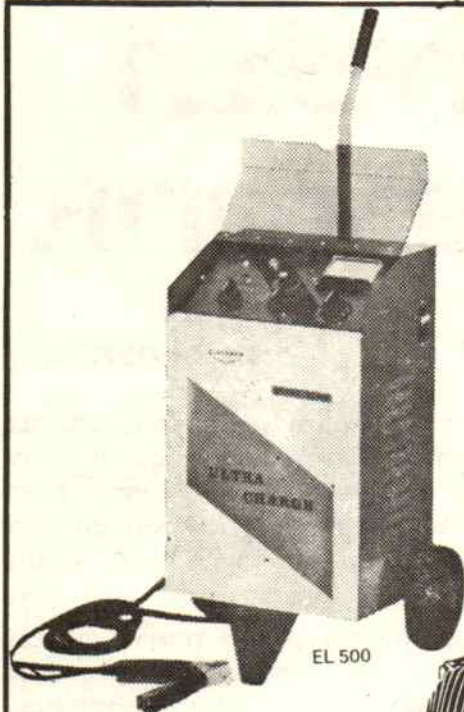
סלם נקוי צנרת בע"מ בני ברק, רח' ישמעאל 13 03-775240



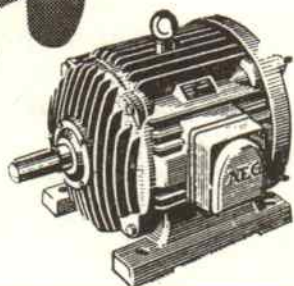
מרכז שירות ותיקונים

קרית המלאכה קבוץ גלויות 75

תל-אביב, טל' 823471



EL 500



- שירות לציוד אלקטרוני לתעשיה
- יצור מערכות ישור לתעשיה
- יצור מטעני מצברים וספקי-כח אלקטרוניים
- שירות יעוץ טכני

איש חיד חמוש! אנו מגיעים לכל פנה בארץ

הובלת רהיטים

אנו מובילים רהיטים לכל חלקי הארץ
ביעילות, מקצועיות ומהירות.

אריזה חינם!



- × בטוח מלא לכל הובלה
- × פרוק והרכבת הרחוט
- × מנהל עבודה בכל הובלה

ספק משרד הבטחון

מובילי הצפון טלפון 03-820316

03-833661

טל' ערב 03-884708

תכנן תקון כלים פניאומטיים



- × תקון כלים פניאומטיים
- × שיפוץ כל סוגי ציוד פניאומטי
- × בדיקת כלי אויר בציוד משוכלל
- × יעוץ בהתאמת כלי עבודה פניאומטיים

פריון מוגבר והגדלת הייצור
עם כלי אויר תקינים

תל-אביב, רח' המסגר 33, טל' 32483

תצפית

ארוכת-טווח

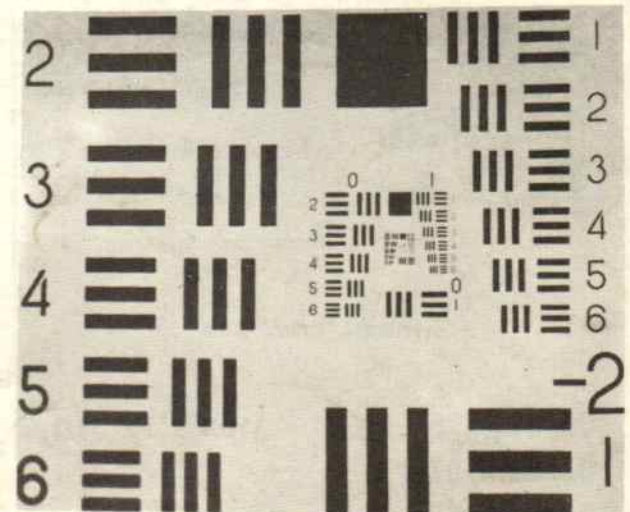
מאת אליעזר מנור

בני-אדם שואפים מאז ומתמיד לחדד את חושיהם על-ידי שימוש בעזרים שונים. אחת הדוגמאות הבר-לטות לכך נוגעת לחוש-הראייה, שמבין חמשת החושים, הוא זה המספק למוח את כמות המידע הגדולה ביותר ולפיכך הוא החוש היוצר את הקשר העיקרי בין האדם וסביבתו.

המכשיר הראשון שיצר האדם לחידוד חוש ראייתו היה הטלסקופ, אשר שימש אז וגם היום לתצפיות אסטרונומיות. הידע שנרכש בנושא הזה הופנה גם לפיתוח מכשירים לצרכים צבאיים, והתשתית הטכנולוגית שהתפתחה בעקבות זאת איפשרה לשפר את המכשיר הזה.

מושגי יסוד

אחד הנתונים הבסיסיים המאפיינים מערכת תצפית אופטית הוא כושר-ההפרדה. מושג זה מבטא את גודלם של העצמים הקטנים ביותר הניתנים להבחנה דרך מערכת-תצפית, ויחידת המדידה היא הזווית שתופס עצם קטן כזה. כעצם תקני כזה משמשת מטרה הבנויה פסים שחורים ולבנים לסירוגין, ואז, כושר-ההפרדה היא הזווית שתופס זוג קווים (שחור ולבן) מקבוצת הקווים הצפופה ביותר שניתנת להבחנה



ציור 1 — מטרה לבדיקת כושר-הפרדה.

(ציור 1). הזווית המבטאת את כושר-ההפרדה היא אם כך העובי של שני קווים (שחור ולבן) מהקבוצה הגבולית המחולק במרחק שבין מכשיר התצפית ובין המטרה שאליה צופים.

הנתון השני המאפיין את מערכת התצפית האופטית הוא שדה-הראייה, והוא מבטא את הזווית הכללית שעליה צופה המערכת מקצה אחד של התמונה לקצה השני שלה. שדה-הראייה, הנמדד ביחידות-זווית, קיים כמובן גם בגובה וגם באזימוט; כאשר התמונה עגולה, שדה-הראייה לגובה שווה לשדה-הראייה באזימוט.

הנתון השלישי היא ההגדלה, המבטאת את כושרה של מערכת התצפית לתת תחושה של התקרבות העצם הנצפה. לפיכך, ההגדלה היא היחס בין הזווית שבה העצם נראה דרך מכשיר התצפית ובין הזווית שבה העצם נראה בעין בלתי-מזוינת.

המערכת הטלסקופית והמערכת האלקטרואופטית

הביצועים המכסימליים של מערכת טלסקופית מבר-טאים בעצם על-ידי כושר-ההפרדה של המערכת; ככל שכושר-ההפרדה טוב יותר, כן ניתן לזהות פרטים קטנים ורבים יותר. כאן יש לציין שני דברים: האחד, שכושר-ההפרדה של המערכת הטלסקופית מוגבל תיאורטית והוא תלוי בנתוני המערכת, כגון המיפתח-האופטי ואורך-המוקד של האופטיקה; והשני — שמסיבות הנובעות מעקרונות אופטיים, כאשר מתכננים מערכת בעלת הגדלה גדולה יוצרים ב-זמן גם שדה-ראייה מצומצם מאוד, המגיע לקוטר של חצי מעלה ואף פחות מזה (לשם השוואה, שדה-הראייה של משקפת-שדה רגילה הוא כ-7°).

שדה-הראייה המצומצם של מערכת טלסקופית בעלת הגדלה גדולה גורם לכך שכל תאוצה קטנה מקפיצה את התמונה ממקום למקום, ומסיבות הנובעות מן התיכונן האופטי, המערכת הזו רגישה לתזוזות עיני הצופה וגורמת בעקבות זאת לאובדן בבואת התמונה. המגבלות הללו לא איפשרו שימוש במערכות תצפית טלסקופיות בעלות הגדלה גדולה לצרכים צבאיים, שכן, בנוסף לתצפיות הקרקעיות מעמדות נייחות נערכות התצפיות גם מעל כלי שיט וטיס שהם כידוע משטחים מאוד לא-יציבים.

כדי להתגבר על הבעיות שהתעוררו בעת השימוש במערכות תצפית ארוכות-טווח, שילבו בהן מערכת טלויזיונית ומייצב-אופטי. המערכת הטלויזיונית, שבאה במקום עינית-הטלסקופ, פתרה את בעיית הרגישות לגבי מיקום בבואת התמונה בעיני הצופה, מכיון שכעת התצפית נעשית מעל גבי מסך טלויזיוני. התוספת הזו הפכה את הטלסקופ ממערכת אופטית למערכת אלקטרואופטית "המתרגמת" את התמונה