

שנים

# מערכות-חימוש



שבט תשכ"ו - ינואר 1966





# מערכות-חימוש

חוברת מס' 21 - שבט תשכ"ו - ינואר 1966

## תוכן הענינים:

- 2 דבר המפקד . . . . .  
 3 כיצד נפחית את תאונות היחיד . . . ק.א. סטונקס  
 הקריטריונים לבחירת מנוע תעשיתי קטן —  
 7 חלק ב' . . . . . אריה רמון  
 12 ה"לזורים" נותנים את הטנח . . . . . וו.ט. אבל  
 יצירת חלקים באמצעות מטלורגית  
 15 האבקות . . . . . פרד.ל. סיגריסט  
 19 תאי דלק . . . . . גיילן ר. פריזינגר  
 28 יחס דחיסה משתנה . . . . . ס.ג. טימוני  
 31 עליה במדרגות באמצעות כסא גלגלים . . . . .

### רענן ידיעותיך:

- 26 מערכת ההצתה במכונית — חלק ב' . . . . .

### מדור אחזקה:

- 21 מצתים — הלכה ומעשה . . . . .

### טכנולוגיה חימושית:

- 32 הדף הלוע בתותחי טנקים ותופעות הלואי . . . . . דוד בנאור

### מענין ומועיל:

- 37 מצמדי מיסב כדוריים / תפס חדיש לחוטי חשמל /  
 נושא גייסות משורין / מתקן חילוץ עצמי / מחסום  
 הידראולי / משחית טנקים חדש / סימון הורים  
 באמצעות הרוטים / מהדקות פלאסטיות להידוק  
 צינורות / הברזות חורים ללא מוצא / מקבע לקדיחת  
 כדוריות . . . . .

### מכתבים למערכת:

- 40 . . . . .

תמונת השער: חמש שנים, "מערכות-חימוש"

### קורא נכבד

נושא שעד לתקופה האחרונה הוזנח בארץ הוא נושא ה-"cost-effectivnes", עתה הור" גשה התעוררות בחקר נושא זה אשר שמו בעברית, "ניתוח יעילות ההוצאות". במספר מאמרים שהופיעו ב"מערכות-חימוש" כבר נגענו בנושא זה, נאמנים לקו הפעולה שלנו — מצורפת לגיליון זה של "מערכות-חימוש" — חוברת שתוכנה הרצאה בנושא "מבוא — לנתוח יעילות ההוצאות".

### העורך

## מערכות

בית ההוצאה של  
צבא הנגה לישראל

עורך ראשי: אלוף-משנה אלעזר גלילי  
 סגן עורך ראשי: סגן-אלוף גרשון ריבלין  
 צוות המערכת: שרגא גפני, סרן נסים סולומון,  
 סגן שמואל בולוצקי, אסתר גולדברג  
 מרכזת המערכת: מרים נתנאל  
 "מערכות": העורך סא"ל צבי סיני  
 "מערכות-שריון": קצין-עריכה רביסרן מאיר איזנטל  
 "מערכות-יב": קצין-עריכה רביסרן עזריאל טל  
 "מערכות-הפלס": קצין-עריכה רביסרן ברוך ספיר

המערכת והמנהלה: הקריה — ת"א, רח' ב' מס' 1, טל' 69237

קצין עריכה — רב סרן יעקב להט  
 עורך משנה — סגן צבי פנאסוב





## דבר הנפקד

חלפו חמש שנים מאז הוחלט על הופעת הרבעון „מערכות-חימוש“. משך זמן נכבד התובע חשבון-נפש. רבות התלבטנו בשעתו כאשר באנו להגדיר יעודו, רמתו והיקפו. מידת השגת היעוד ב־20 החוברות שהוצאנו כסדרן עד כה היא הבוחן היחיד המאפשר הערכה אובייקטיבית למידת הצלחתנו.

התכנונו לגשר על פער, הקיים בין דרכינו המתפתחות בשטחים הטכנולוגיים הנוגעים לעבודתנו היום-יומית, ובין כמות מטען הידע הדרוש וגיווננו. התכנונו לעורר את סקרנותו של איש המקצוע ולהפנות תשומת לבו לשטחי טכנולוגיה חדישים. ביודעים אמרנו „לעורר סקרנותו“, מאחר ואין כונתנו, ולא היתה בעבר, ללמדו מעל דפי הרבעון את הנושא ביסודיות.

כיוונו התקופון לחוג קוראים בעלי השכלה מקצועית טכנית בשטחי פעולה שונים. החל מהנדסת ייצור וגמור בבקרה, ומעיבוד שבבי עד תיקון בלמים. השתדלנו לקיים רמה אשר תתבע מהקורא „קצת“ מאמץ על מנת שיצא נשכר. נראה לי כי 21 החוברות, צורתן, ואף היקף תפוצתן מאשרות כי אכן השגנו המטרה.

מובטחני כי בעזרת הקורא ותגובותיו נוכל להוסיף ולשפר התקופון ולהעלותו מעלה מעלה.

תודתנו לכותבי המאמרים, למתרגמים, למגיחים, לגרפי-קאים, לפועלי הדפוס ולכל אלה אשר נתנו ידם לסייע בידינו.

אלוף —  2011

קצין חימוש ראשי

# כיצד נפחית את תאונות היחיד!

תכנון חדש ויעיל של רשת הכבישים  
מקנה אמצעים חדשים להתגוננות בפני  
עלית מספר תאונות היחיד הקטלניות.

## סיווג התאונות

תאונות קטלניות של יחיד מסווגות תחת 3 סעיפים:

- לא-התנגשות.
  - התנגשות ברכבות.
  - התנגשות בגופים נייחים.
- בסעיף „לא התנגשות“ נכללות התהפכויות רכב וירידה מהדרך (הסיווג נעשה בהתאם ל„שלב“ הראשון של התאונה. למשל: אם כלי-רכב יורד מהדרך ואחר פוגע בעץ, התאונה מוכנסת בסעיף „לא-התנגשויות“).
- בסעיף „התנגשות ברכבות“ נכללות תאונות התנגשות ברכבות נעות או עומדות והתנגשויות של רכבות במכוניות עומדות במעברי חצייה.

תאונות היחיד של מכוניות מהוות כ-42% מכלל התאונות הקטלניות בדרכים. מחקר מיוחד נעשה בחברת ג'. מ. וכלל נסיונות שוטפים בתכנון מחדש של כבישים ראשיים, בעריכת התנגשויות, בבדיקת המעיכה והנזק, מסקנות המחקר וסקירת התאונות בדרכים מצביעות על דרכי המניעה הבאות:

- הסרת גופים, העלולים לשמש גורם לתאונה (עצים, חומות, סלעים, עמודים ומעברי רכבת).
- יישור וניקוי צדי הדרכים, כדי למנוע תאונות של התהפכות רכב שירד משולי הכביש.
- ביטול הכבישים הדורסיטריים, כדי למנוע תאונות בין שני כלי-רכב.

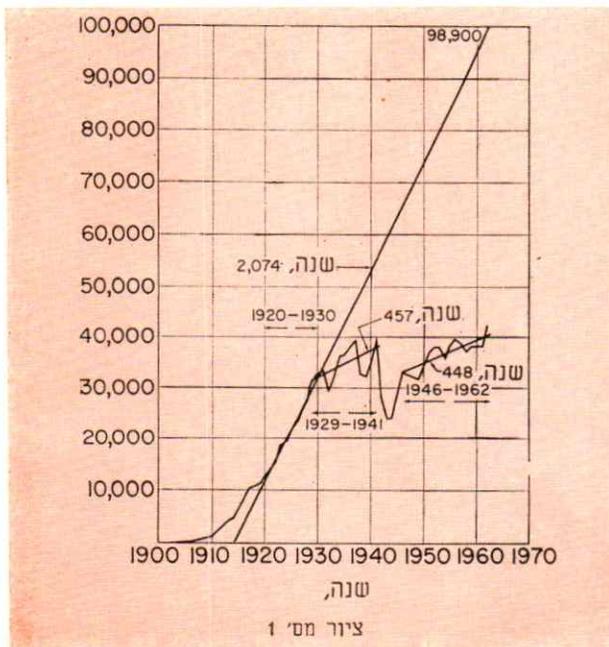
## סטטיסטיקת התאונות

מספר תאונות הדרכים הקטלניות נמצא בעליה מדהימה החל משנת 1900 עד שנת 1962, כפי שאפשר לראות בצירור מס' 1.

מ-1920 עד 1930 עלה מספר התאונות הקטלניות בארה"ב בלבד ביותר מ-2000 לשנה.

הפסקה פתאומית בעלית מספר התאונות חלה בשנת 1930. ומשנה זו ואילך נמשכת עלית התאונות (להוציא את שנות מלחמת העולם השנייה) במספרים כמעט קבועים, בסביבות 500 תאונות לשנה.

עליה פתאומית נוספת נרשמה שוב בשנת 1962, בה נוספו כ-3000 תאונות, ונמשכה לשנת 1963, בה היתה העליה תלולה עוד יותר. מצירור מס' 1 אנו רואים, שהחל משנת 1930 היו שינויים אחדים לפרק זמן קצר בקצב עלית התאונות. המסע למניעת תאונות דרכים לא הביא ליותר מאשר עיכוב זמני וקטן בגל הגואה של התאונות. אפשר אף לראות, שלמרות כל השפורים בבטיחות ב-30 השנים האחרונות, אין כל סימן, המראה על ירידה תלולה במספר התאונות הקטלניות, פרט לשנת 1930.

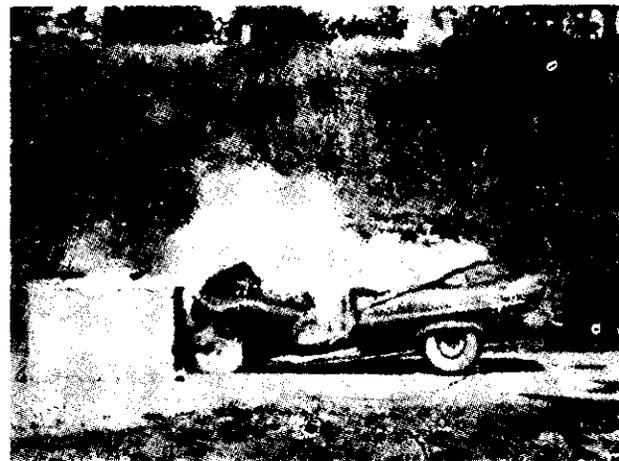


בציור 4 ניכר שיפור. כאן נלקח בחשבון היתרון בתלילות השיפוע של משטח לא־רגיל לצד הכביש. הפיכת המכונית מושגת על־ידי פניה הצידה, דבר היוצר גלגול, שהוא המעשי ביותר בין כל נסיונות ההתהפכות והקרוב ביותר למציאות.

הבחינות בגלגול עוזרות לפתח את כושר העמידות של הגג, של תומכי גוף מכונית, ושל תפסי הדלתות. הלימוד הדינמי של עמידות המכונית נותן אפשרויות למדוד את התנהגות האביזרים הפנימיים ברכב. בחינה אחת היא בהתנגשות פנים אל פנים. בציור מס' 5 אנו רואים מבחן אופיני שנעשה על־ידי שחרור המכונית להחליק במורד תלול ולהימחץ כנגד גוש בטון. מהירות הפגיעה 48 קמ"ש, והציור מראה כיצד



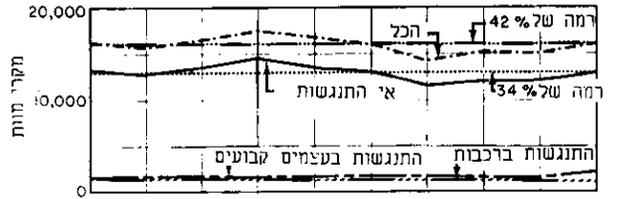
ציור מס' 4



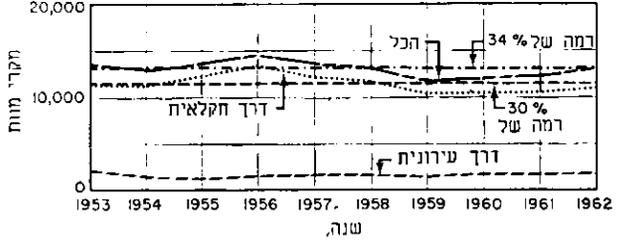
ציור מס' 5

מתקבלות התוצאות, שהן הרות אסון. אפילו במהירות נמוכה יחסית שכזו. בציור מס' 6 רואים את התוצאות של התנגשות בעץ במהירות של 56 קמ"ש. המכונית מוסעת בנהיגה מבוקרת מרחוק. בציור מס' 7 אפשר לראות האטה מכסימלית כפונקציה של

חקרי מוות של תאונות חוץ



מקרי מוות כתוצאה מהמנועות מהתנגשות



ציור מס' 2

בציור 2 למעלה אנו רואים, שהחלק הגדול ביותר של תאונות קטלניות נכלל בסעיף „לא־התנגשות“, כ־34% מכלל התאונות הקטלניות. בציור 2 (למטה) אפשר לראות, שרוב התאונות הקטלניות ב„לא־התנגשות“ מתרחשות יותר בדרכים פתוחות או כפריות מאשר בדרכים עירוניות או בכבישי אגרה. תאונות של ירידה מהכביש היוו 28% מכלל התאונות הקטלניות בסעיף „לא־התנגשות“ בשנת 1962.

התפתחות הבניה של כבישים חד־מסלולים מודרניים ושל כבישי אגרה מראה, כי בהם הירידה במספר התאונות ניכרת בהשוואה לתאונות בכבישים אחרים.

במסגרת זו של התפתחות הבניה יש אמצעי מניעה פוטנציאליים רבים לתאונות בדרכים הכפריות.

מחקרי התרסקות מצביעים על דרכי התכנון והבניה של כלי־רכב בטוחים.

ציור 3 מראה נסיון בהתהפכות מכונית דגם 1956. הדבר מבוצע על־ידי העלאת המכונית תוך כדי נסיעה על כביש משופע רק על צדה השמאלי. הוברר כי התהפכות זו אפקטיבית וחריפה יותר מאשר רוב ההתהפכות הרגילות, ולכן אינה משקפת בדיוק את המציאות.



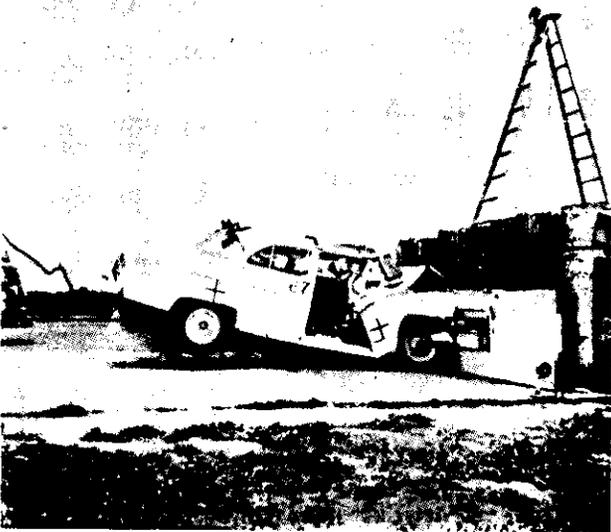
ציור מס' 3

של 2350 ק"ג במקום חיבורה לרצפה. אף-על-פי שרצועת הנהג לא הכזיבה, נמדד עומס מכסימלי של 2850 ק"ג. התנגשות זו מושווית בציור 9 עם התנגשות אחרת, שנעשתה במהירות של 64 קמ"ש, ובה בובת הדמה לא קרעו את המושבים ממקומם. בהתנגשות זו היתה ההאטה הגדולה ביותר שנמדדה 78g, כ"ג 53 אלפיות השניה אחרי המגע עם הקיר.

בשתי ההתנגשויות הונו צינור ההגה לאחור ונדחף למעלה על-ידי זרועותיו של הנהג שלא היה רתום ברצועה, למרות שבגיד אדם לא ישארו בחיים אחרי התנגשות כגון זו, הופקו לקחים מספר. הסתבר כי האטת החזה של הנהג (כמוכח, של בובת דמה), הנתון ברצועות בטחון היתה 92g בעוד שהאטת הנהג שלא היה קשור, הגיעה ל-135g; ואפילו נקרעו הרצועות, היתה האטת ראש בובת הדמה הקשורה לצד הנהג 100.98g אלפיות שניה לאחר הפגיעה, ואילו האטת ראש הבובה, שלא היתה קשורה, הגיעה ל-264g, 30 אלפיות שניה אחרי הפגיעה. ראש בובת הדמה הקשורה פגע בלוח המכשירים, ואילו ראש הבובה השניה, הבלתי קשורה, פגע בשמשה הקדמית. האנרגיה הקינטית של הרכב, עם ה"ק"ג שלו, נראית בציור 10 כפונקציה של המהירות.

#### אנרגיה קינטית רבה נספגת בזמן ההתנגשות

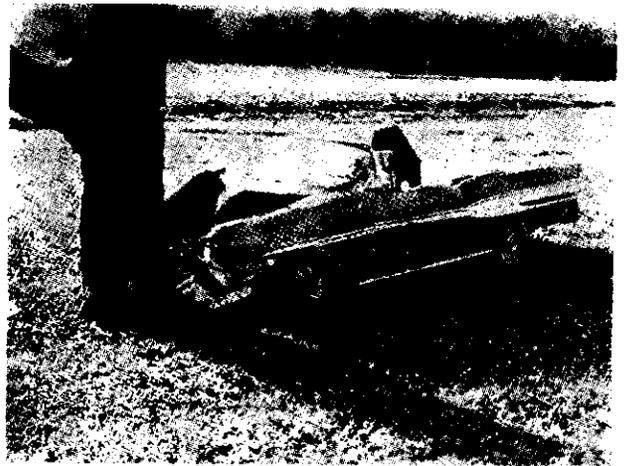
לגבי תחום המהירויות המותרות בערים ובחלק מהכבישים הבינ-עירוניים, ערך האנרגיה הקינטית של המכונית בתנועה הוא 740.000 קג"מ עד 1.110.000 קג"מ. אנרגיה זאת נקלטת, בשעה שהמכונית מתרסקת כנגד גוף יציב כמו מזח בטון, גשר, עץ, או כלירכב אחר.



ציור מס' 8

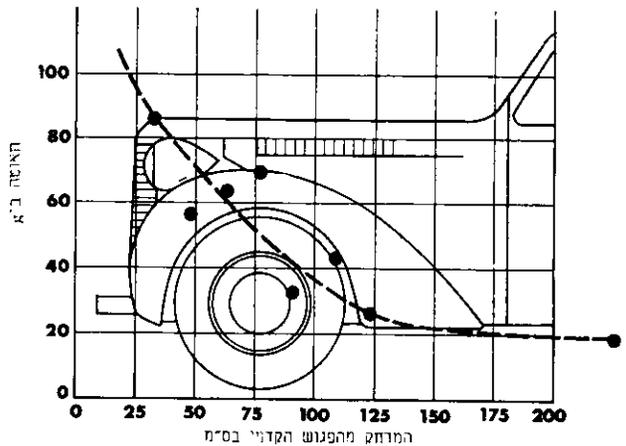
מהירות קליטת האנרגיה או ההספק (כוחות סוס) נראית כבציור 11 לגבי כלירכב, השוקל כ"ג 1850 ק"ג ונע במהירות, שאינה עולה על 130 קמ"ש. הספק ממוצע זה הוא פונקציה של משך הזמן בו מתרחשת ההתנגשות.

נתונים מעטים של משך הפגיעה במהירות גבוהה לא ניתנים להשגה, אולם בהנחה שמהירות הפגיעה היא 95 קמ"ש, ומשך הפגיעה בתא 0.1—0.3 שניה, ערך הביניים של האנרגיה



ציור מס' 6

המרחק ממקום הפגיעה. ההאטה תגיע עד 100g בחלקה הקדמי של המכונית, וחרד ככל שאנו מתרחקים לאורך הרכב לאחור. במקרה זה נקבל האטה של 20g בכל הנקודות על-פני הרכב, שמרחקו מנקודת הפגיעה גדול מ-1.5 מ'.



ציור מס' 7

הקטנה זו ב"ג מראה את השפעת המסגרת הקדמית, שבמקרה זה הקטינה את התוצאות החמורות ב"ג 80%. תוצאה זו אפינית להתנגשות חזיתית במהירויות של 40—70 קמ"ש. אפשר, כמוכח, לשער, שבמהירויות גבוהות יותר גם הערכים גבוהים יותר.

בציור מס' 8 רואים פגיעה של מכונית תוצרת פורד דגם 1955 בקיר בטון. בזמן ההתרסקות נמדדה האטה מכסימלית של 75g על רצפת המכונית מיד אחרי המושב הקדמי. האטה, המיצגת כוח של 137.000 ק"ג, ההאטה הגדולה ביותר, נמדדה 50 מ"מ מנקודת המגע עם הקיר. בזמן ההתנגשות התקפל המבנה הקדמי של המכונית כדי 60 ס"מ בקירוב. בובה במשקל 81 ק"ג, שהונחה על המושב הקדמי, נקשרה ברצועות מושב, שעמידתן המוצהרת היא 1800 ק"ג. הרצועה, שתפקידה להחזיק את הנוסע הקדמי הימני, נקרעה בעומס

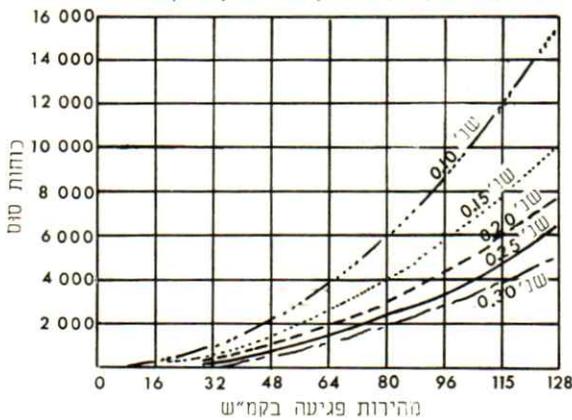
(\*) g — תאוצה או תאטה של 9.81 מ/ש<sup>2</sup>.

ההצלה, בשעה שהרכב נע ב- מהירויות גבוהות. אולם בשעה שדרגי ההתנגשות נמוכים יותר יש פוטנציאל גדול לסיפוק הבטיחות, לכן חיוניים המחקר רים לשיפור תכנון הרכב ול- הפחתת הנזק במהירויות גדולות יותר.

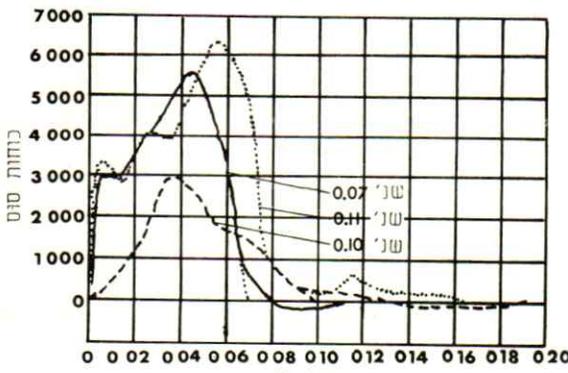
### הסרת מפגעים

דרך אחת להפחתת תאונות ה- יחיד היא הסרת מפגעים. על כביש טוב ויבש בו נעה מכר- נית במהירות של 96 קמ"ש, תעבור המכונית כ-60 מ' ב- הפעלה מפסימלית של הבלמים. אם המכונית ניתקת מהדרך, אזי כל גורם כמו חצץ, או חול קשה יגדיל את מרחק העצירה, וכל גוף הנמצא בדרכה של המכונית יגרום לתאונת יחיד; ואם הגוף הוא קשיח, עלולה התאונה להפוך לקטלנית.

חברת "ג'נרל מוטורס" עשתה ניסוי בירידת רכב מהדרך ובחברה בקטע דרך בן 100 ק"מ, לאורך דרך זו ישרו השוליים

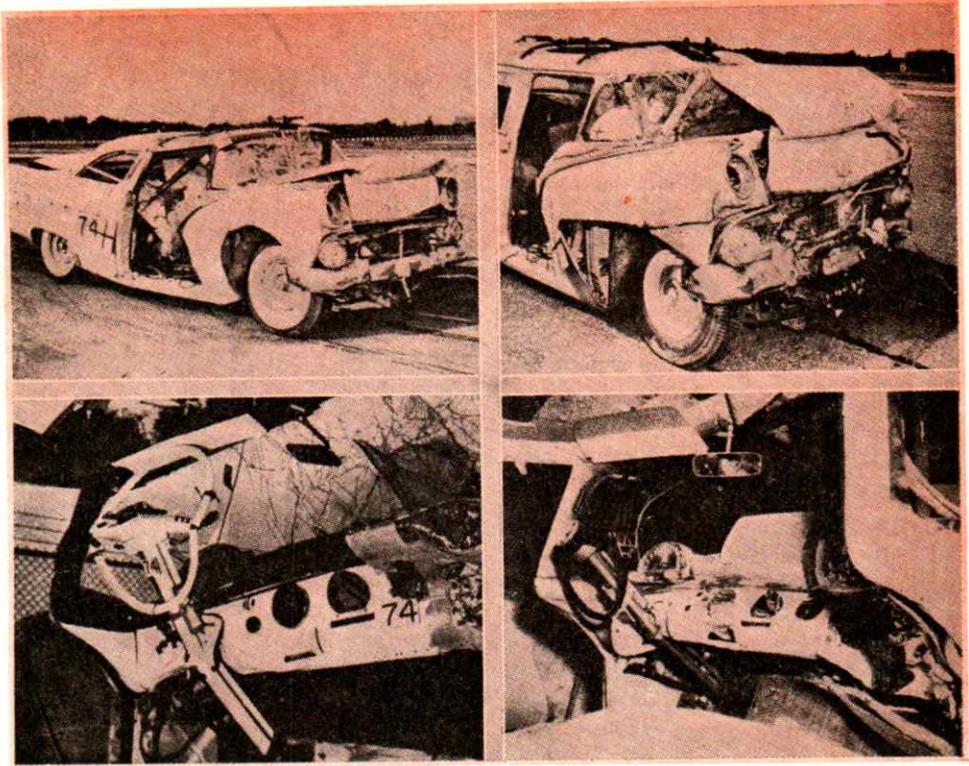


ציור מס' 11



ציור מס' 12

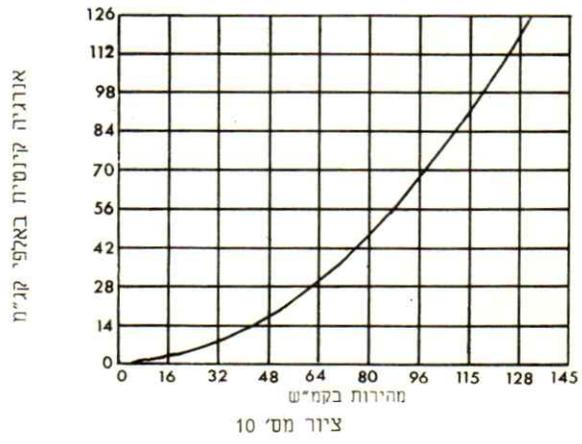
— המשך בעמ' 20 —



ציור מס' 9

הנקלטת הוא כ-3000—8700 כ"ס. כמות קליטת ההספק במהירויות נמוכות נראית בציור 12. העקומות מראות את הערך הממוצע והעליון של ההספק, המפותח בריסוק נגד קיר ב-40.7 קמ"ש (1) ו-53 קמ"ש (2), וכן בהתנגשות בין מכוניות במהירות של 72 קמ"ש (3).

אם נניח שזמן הפגיעה הישירה במהירות של 96 קמ"ש הוא 0.1 שני, ההספק הממוצע במקרה של התרסקות יהיה 8000 עד 9000 כ"ס, כאשר ההספק המכסימלי של הפגיעה יהיה



ציור מס' 10

15,000 עד 25,000 כ"ס. מכאן ברור עד כמה גבוה ערך ההפרדה הבין-מסלולית בכביש, כיון שהאנרגיה של שני כלי-רכב נעים המתנגשים קרבה לאנרגית תותחים קלים. מהנדסי המכוניות בעלי הנסיון נוכחו כבר, כי גבול הבטיחות, אליו אפשר להגיע ברכב על-ידי תכנון נכון וכן על-ידי "הידוק" הנוסע למושב בעזרת הרצועות, עדיין רחוק מגבול

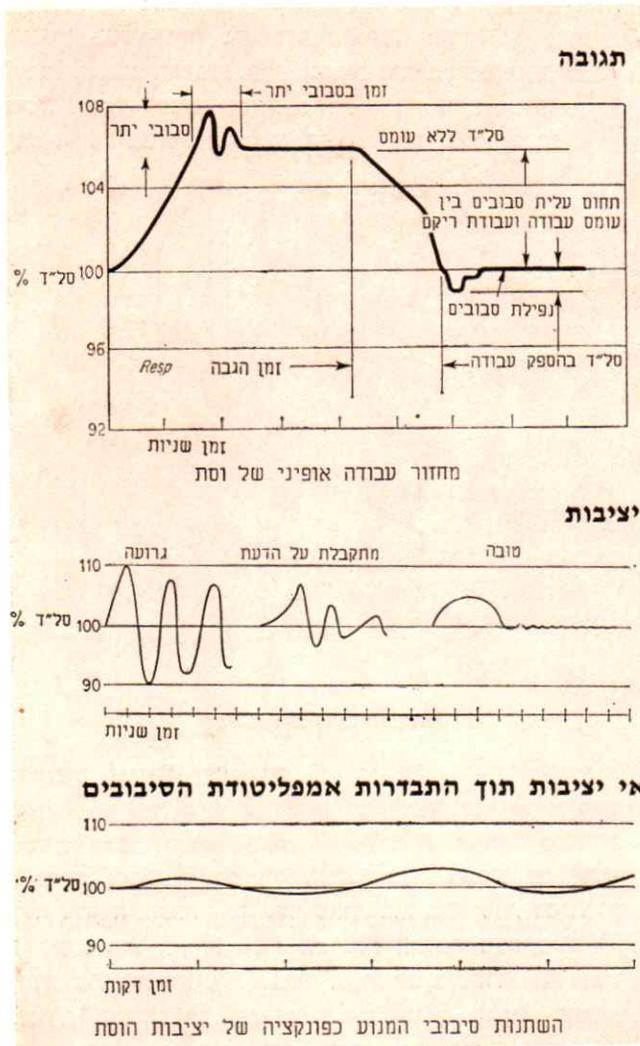
# הקריטריונים



אריה רמון

בהמשך המאמר נדון בקריטריונים לבחירת מנוע. כמו כן מוצעת סכניקה ודרך מחשבה לשימוש בקריטריונים אלה.

— חלק ב —



## הפעלה

בסעיף זה לא אתעכב על בעיות ההתנעה, כינן שבאקלים השורר בארץ (בגלל הטמפרטורות הגבוהות יחסית) הבעיה אינה חמורה.

רוב המנועים התעשייתיים אינם מופעלים על-ידי אדם. אלא על-ידי נקט הפותח וסוגר את מצערת המנוע בהתאם לעומס — דבר המנוע עליה פתאומית במספר הסיבובים עם ירידה מהירה של עומס או הקטנת מספר הסיבובים עם הגדלת העומס. תפקידו של וסת אידיאלי — לשמור על מספר סיבובים קבוע, דבר שהוא בלתי אפשרי מבחינה מעשית, כפי שיתברר להלן.

כמו במקרה של בעיות הנדסיות אחרות כשמדובר בוסתים, באין פתרון אידיאלי, משתדלים להסתפק בפשרה. דורשים מוסת טוב שיהיה רגיש ויציב. לרוע המזל שתי דרישות אלו סותרות זו את זו. נקט רגיש מגיב לכל סטייה, ולו הקטנה ביותר, ממספר הסיבובים הרצוי, לכן הוא תמיד "עסוק" בתיקון סטיות, והתוצאה — משחק מתמיד במצערת.

כדי למנוע תוצאה בלתי רצויה זו, יש להניח לוסת להגיב ולנסות לתקן סטייה רק כאשר נפילת הסיבובים היא ניכרת. קנה מידה לרגישותו של וסת הוא מספר הסיבובים, אשר מנוע מפסיד בין מצב עבודה בלי עומס למצב עבודה עם עומס. לדוגמה: מנוע עם נקט, העובד ב־3600 סל"ד ללא עומס. כאשר מעמיסים אותו בעומס מלא, הוא עובד ב־3200 סל"ד. ברור שאילו היינו מרכיבים על אותו מנוע וסת רגיש יותר, היה עובד בעומס מלא ב־3300 או 3400 סל"ד, אך אז היינו נתונים יותר לסכנה של שינוי מתמיד במספר סיבובים ולא-יציבות בפעולת המנוע.

להרכבת וסת השפעה על הספק המנוע. מנוע שמפסיד מומס הסיבובים המותרים לו הוא 2900, יעבוד ב־2600 סל"ד בערך, בעומס מלא. כלומר, מנוע זה יתן הספק מכסימלי לפי 2600 ולא לפי 2900 סל"ד.

המנוע נעצר. הוא בודק את סיבת הקלקול ומגיע למסקנה שהקלקול נגרם עקב סתימת מסנן אויר. כדי להבטיח את פעולת המנוע עליו להחליף את המסנן בחדש. שיטת אחזקה אחרת מתבססת על אורכי חיים משוערים של חלקים מסויימים והחלפתם בתום התקופה בה הם צריכים לעבוד תוך אחוז גבוה של אמינות. אחזקה זו נקראת אחזקה מונעת. למעשה, כל אחזקה היא אחזקה מונעת בחלקה, כינן שאין מחכים עם תדלוק המנוע שכל הדלק ייגמר.

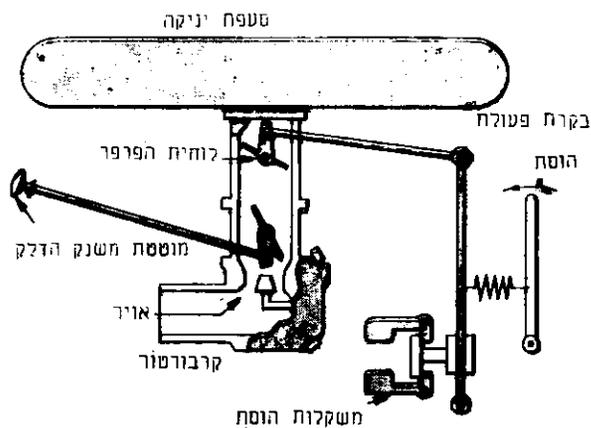
אחזקה מונעת היא יקרה כינן שהחלקים מוחלפים כשפעולתם עדיין תקינה. לדוגמה, אם נחליף מיסב בגמר אורך חייו המתוכנן, הרי אנו מונעים קלקולים בבטחון של 90% (90% מן המסבים עומדים באורך חיים מתוכנן). אך מחצית המיסבים המוחלפים היו עובדים זמן העולה פי חמישה ויותר על תקופת החיים המתוכננת. ז"א שמיסב מסוים יכול לפעול שבע תקר פות חיים, אלא במקום להשתמש בו בדרך זו, אנחנו מחלפים 6 מיסבים. כלומר, שילמנו מחיר של 6 מיסבים כדי להשיג בטחון של 90% שמיסב מסויים יפעל תקופה מתוכננת.

יש דרישות בטיחות, או מחיר, אי-פעולה" הופכים את מחירה הגבוה של אחזקה מונעת כדאי. כפי שמראים הגרפים המצורףים, קיים יחס הסוך בין מספר פעולות האחזקה ומחירן.



הקשור קשר הדוק לזמן הפעולה. במנועי 2 פעימות יש מספר רב של תקלות אך הן ניתנות לתיקון במהירות. דרך מנועי 4 פעימות קלים, 4 פעימות כבדים מגיעים למנועי הדיוז המהיים את הקצוניות השניה — פעולות אחזקה לעתים רחוקות. פעולות נדירות אלו הן למעשה מסדר גדול של שיקום. כלומר, זו פעולה המחזירה את המנוע לדרגת כושר הקרובה לזו של מנוע חדש.

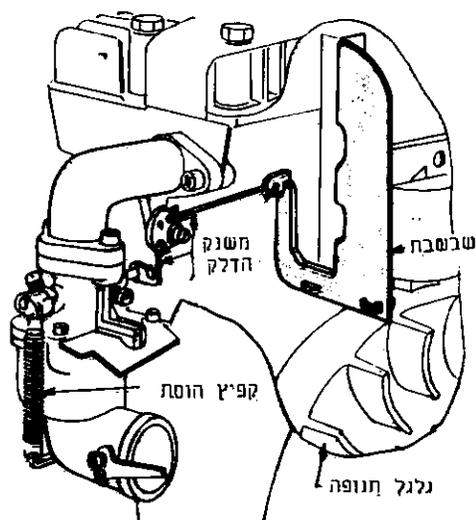
מכל האמור לעיל, ברור שאפשר לקבל אמינות רק ממנוע הדורש אחזקה לעתים רחוקות ואשר מתוחזק לפי שיטת האחזקה המונעת. כלומר, מנועי דיוז ומנועי 4 פעימות כבדים עולים יפה על דרישה זו, מנועי ארבע פעימות קלים — במידה פחותה, מנועי 2 פעימות קלים הם בעלי האמינות הנמוכה ביותר. למעשה, אפשר לאמר שהם אידיאליים לתנאים בהם לא ניתן לתת אחזקה של בעלי מקצוע מעולים, והמנוע עים עובדים תחת פיקוח מתמיד של אדם המסוגל להתגבר על חלק גדול של התקלות עם הדרכה מינימלית. כמרכן אין ההפסקה הקצרה לצורך האחזקה קריטית לגבי העבודה שמבצע הצידור המופעל עליידי המנוע. מנועים אלה נפוצים מאוד לצורך הנעת כלי עבודה שונים, כלי רכב קטנים וכו'. האחזקה המונעת במנועים אלה מצומצמת כינן שלרוב היא אינה כדאית ביחס למחיר הזול של המנוע עצמו.



מערכת ויסות צנטריפוגלית

המסקנה — שימוש בוסת מקטין את ההספק המכסימלי של המנוע ב-5 אחוזים בקירוב.

קיימים שני סוגים של וסתים: צנטריפוגלי ופנאומטי. הוסת הצנטריפוגלי הוא הנפוץ ביותר בגלל דיוקו. הוסת הפנאומטי מופעל עליידי אויר הקירור של המנוע. וסת זה מדויק פחות, אך אינו מושפע עליידי זווית ההטייה של המנוע. ההתנעה של רוב המנועים עד 4 כ"ס נעשית באמצעות חבל מנועים בעלי יותר מ-4 כ"ס מתניעים בידית או בהתנעה חשמלית. סוג ההתנעה תלוי במחיר ולא בסוג המנוע. מנועי דיוז, אפילו קטנים יחסית, מתניעים התנעה חשמלית בגלל יחס דחיסה גבוה של המנוע. הגורם לקושי בהתנעת יד.



מערכת ויסות פניאומטית

**אחזקה, שיקום ואמינות**

אחזקה היא סך הפעולות, אותן יש לבצע, כדי לקיים צידור מסוים במצב פעולה תקין. יש פעולות אחזקה בסיסיות, בלעדיון אי אפשר להפעיל מנוע. למשל, המנוע לא יעבוד ללא דלק או יעבוד זמן קצר מאוד ללא מירקורו. גם תיקון קלקולים הוא אחזקה מסוג זה. ללא החלפת מצת פגום לא יוכל מנוע חד צילינדרי לעבוד ומנוע רב צילינדרי לא יעבוד בצורה סדירה. יש אחזקה שבאה בגלל קלקול פתאומי באחד החלקים. למשל, אדם מתניע מנוע ואחרי פעולת מה

לרוב, אין משקמים מנועים קלים, בגלל היותם מתוכננים לאורך חיים קצר.

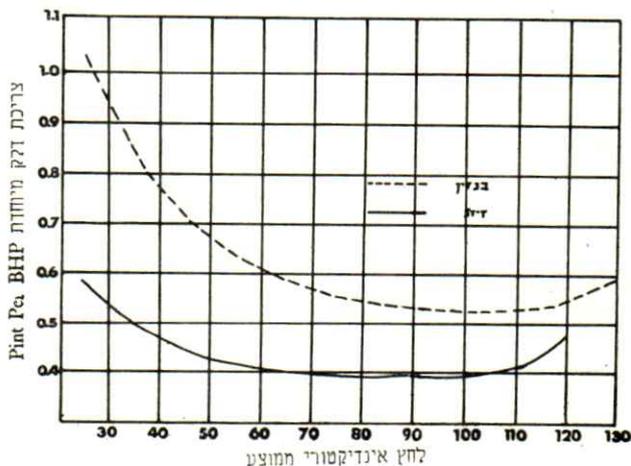
מנוע-דיזל נמצאים בקצה השני. הם בעלי אורך חיים גדול ודורשים פעולות אחזקה לעתים רחוקות. המחיר ההתחלתי הגבוה מצדיק השקעה באחזקה מונעת ויחד עם זה יש אמינות גבוהה. לדוגמה, אם עלינו לבחור מנוע לתחנת משאבות העיר בדת 24 שעות ביממה ללא השגחה, ברור שנבחר (וכאן נת-עלם מנימוקים אחרים כגון: אורך חיים, מספר סיבובים וכו') במנוע כבד, דיזל או לפחות במנוע 4 פעימות, כבד.

כל האמור לעיל נכון, כל זמן שאנו מתיחסים לאמינות המערכת כתלות של אמינות המנוע. אולם, ניתן להשיג מערכת אמינה ללא מנוע אמין כאשר בוחרים בדרך של מנוע כוננות. בשעה שמנוע אחד דורש אחזקה, אנחנו מפעילים מנוע כוננות אשר תוחזק בינתיים. כפי שהזכרתי בתחילה, גם באחזקה מונעת, כאשר מחליפים חלקי-מערכת לפי אורך חייהם המתוכנן יש אחוז סיכוי שחלק מסוים יתקלקל לפני הזמן שנקבע להחלפתו. אם נמצא שבמנוע יש, למשל, 10 חלקים שמחמת קלקולם נפסקת פעולת המנוע, וכל אחד מהם בעל אמינות של 95%, הרי האמינות של המנוע היא  $0.95^{10}$  או 60%. כלומר, קיים סיכוי של 40% שהמנוע יתקלקל תוך התקופה המתוכננת.

דוגמה זו היא עקרונית בלבד, אלא שהבעיה המעשית היא מסובכת יותר, כיון שלחלקים שונים יש אורך חיים מתוכנן שונה וסיכויי קלקול שונים. העקרון כעקרון נשאר, כי לעתים למרות מחירה היקר של האחזקה המונעת ההשקעה הגבוהה במנוע בעל אמינות גבוהה, עלולים לתת אמינות נמוכה משני מנועים בעלי אמינות נמוכה והמתוחזקים באחזקה מונעת רק באופן חלקי.

### חסכון בצריכת אנרגיה ומחיר ההפעלה

חסכון בצריכת אנרגיה מתבטא לרוב במחירו הנמוך של הדלק הנצרך על-ידי המנוע. לעתים לא זאת הנקודה החשובה, והחשיבות נודעת לנפח המינימלי של הדלק. שתי הדרישות האלו מזדהות. במנוע-דיזל הצורכים סולר ושורפים פחות דלק מבחינת משקל. כיון שדלק זה כבד יותר לנפח קבוע של מיכל, נכנס דלק לזמן ארוך יותר והוא גם זול יותר. הדיאגר-



השנאה של צריכת דלק סגולית בין מנוע דיזל ובין מנוע בנזין — כפונקציה של רחץ אינדיקטורי ממוצע

רמה המצורפת מראה יחסי צריכת דלק סגולית כפונקציה של לחץ אינדיקטורי ממוצע.

מחיר ההפעלה מחושב כמחיר כוח-סוס לשעה. הוא כולל: מחיר ראשוני ומחיר פעולות אחזקה צפויות (החלפת שמנים, מצתים וכו'). מחולק באורך החיים הצפוי של מנוע, הספק + מחיר של תצרוכת דלק סגולית של המנוע.

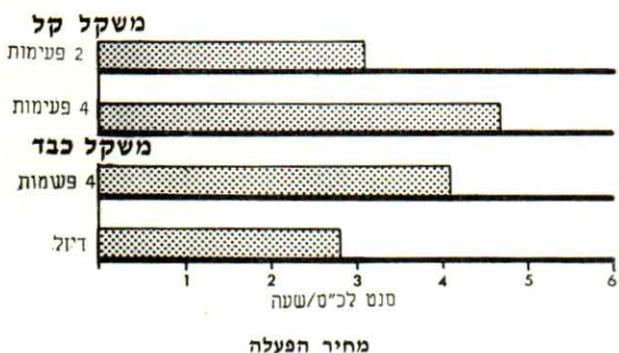
$$\text{מחיר הפעלה סגולי} = \frac{\text{מחיר ראשוני} + \text{מחיר פעולות אחזקה}}{\text{אורך חיים} \times \text{הספק}}$$

+ הוצאה לצריכת דלק.

הדיאגרמה המצורפת מראה מחירי הפעלה אופייניים של מנועים שונים.

מחיר ההפעלה עולה בצורה ניכרת אם לא מנצלים את אורך החיים המלא של המנוע. במקרה זה, מחירו הראשוני מתחלק במספר קטן של שעות. מסיבה זו חשוב מאוד לדעת אורכי-חיים של סוגי מנועים שונים.

כן מפורט מחיר ראשוני בצורה יחסית.



כך, למשל, אם ניקח מנוע דיזל המיועד לעבוד 25000 שעות, לתפקיד הדורש רק 5000 שעות, יסתבר שמחיר ההפעלה שלו גבוה ממחיר הפעלה של מנוע 4 פעימות קל.

תצרוכת הדלק מושפעת על-ידי תחום הסיבובים בו עובד המנוע. משתדלים שתצרוכת הדלק תהיה מינימלית בעומס מתוכנן של המנוע. מכיון שמתכננים את רוב המנועים לעבודה ב-80% מהספק מפסימלי הרי נקודת תצרוכת הדלק המינימלית צריכה להיות בסיבובים שמתאימים ל-80% מההספק המפסימלי של המנוע. בדרך כלל נקודה זו היא קרובה לסי-בובי מומנט מפסימלי מצד הסיבובים הגבוהים.

מנועי 2 פעימות בעלי משקיות נמוכה מאוד בתחום העומס הנמוך, עובדים בצורה החסכונית ביותר בין  $\frac{1}{2}$  ל- $\frac{3}{4}$  עומס.

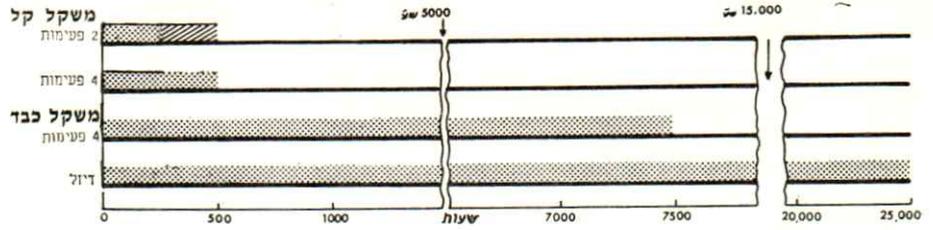
### הכמות הנדרשת וזמן האספקה

בחירת המנוע המתאים ביותר מתוך המנועים המופיעים בשוק, מותנית בתכונותיהם. אולם, אם הכמות אותה אנחנו צורכים הולכת וגדלה נוכל ביתר קלות, להשפיע על היצור, שיכניס שינויים שיתאימו את המנוע עד כמה שאפשר לצרכינו.

אין להתעלם מן העובדה שלא כל יצרן מוכן להתאים את המוצר לצרכינו. יתר על כן, יש לברר באיזה מנוע מן המנור עים המתאימים, קל ביותר להכניס את השינוי הדרוש.

לעתים, כשזמן האספקה הוא קריטי, יש לנתר על תכונות רצויות למען רוח, זמן.

**אורך חיים מתוכנן**



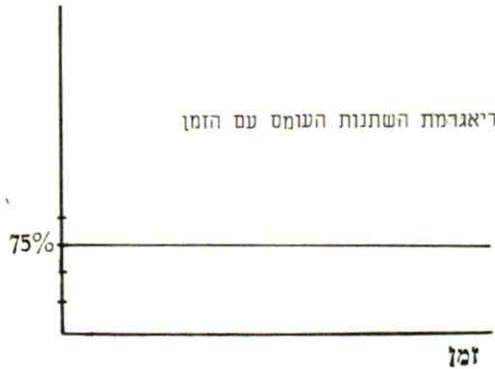
ראוי לציין כאן את מקדמי הבטחון הדינמיים המומלצים על-ידי יצרני קופלונגים. מקדם בטחון של קופלינג העובד עם מנוע חד-צילינדרי גדול ב-65% מקופלינג הדרוש למנוע רב-צילינדרי.

בסעיף העוסק בהעמסות של המנוע, דובר על גלגלי תנופה. גלגל תנופה הוא מטבע בעל שני צדדים. לעתים, הוא ממלא תפקיד של מגן על הציד מתנודות פיתול של המנוע.

**דוגמה לבחירת מנוע**

דרוש מנוע להנעת משאבה המורכבת על רכב העובד בתנאי שדה. נוסף למנוע ולמשאבה, מורכב על הרכב ציוד נוסף ובעית הנפח היא קריטית.

- (1) הפעולה הדרושה — 12 כ"ס ב-2000 סל"ד.
  - (2) העמסות מכניות — המנוע יעמוד בתאוצות 4 g.
- המשאבה המונעת היא משאבת כפות ועודף הספיקה עובר

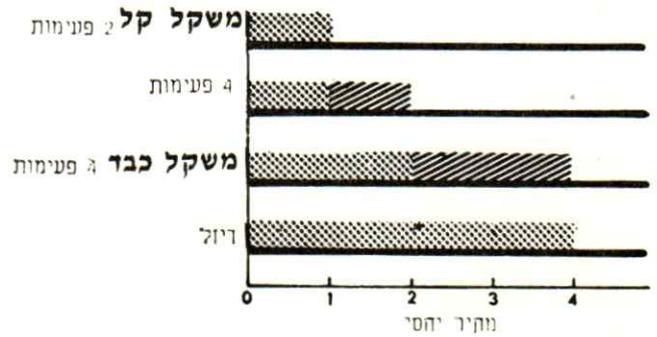


דרך שסתום פורק-לחץ. כלומר, המנוע עובד כל הזמן במומנט קבוע ללא תלות בספיקה הנצרכת. לכן העומס הוא גבוה וקבוע.

- (3) השפעות אקלימיות — עבודה עד  $40^{\circ}$  בגובה עד 500 מ'.
- (4) גורמים מכניים של הסביבה — בגלל תנאי מקום אורך מינימלי.
- (5) גודל — מינימלי.
- (6) משקל — קטן ככל האפשר.
- (7) הפעלה — על-ידי אנשים ללא ידע טכני רב, שימוש בוסת.
- (8) אחזקה — מינימום אחזקה בשדה, מפסימום בבסיס היציאה של הרכב.
- (9) חסכון בצריכת אנרגיה — חשוב מבחינת מרכיב של הוצאת תפעול, ונפח מיכל הדלק הוא מרכיב של גודל המנוע.
- (10) אורך חיים — כ-500 שעות.
- (11) אמינות — אמינות גבוהה.
- (12) מחיר תפעול — נמוך ככל האפשר.

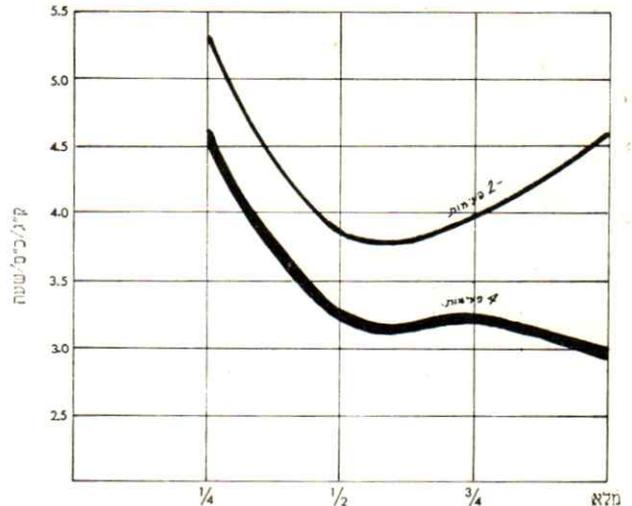
**רעש ורעידות**

רעש המנוע נשמע דרך הדפנות ודרך צינור הפליטה. הרעש המסתגן דרך דפנות המנוע גדול במנועי-קירור-אוויר הרעשיניים, הרבה יותר מאשר במנועי-קירור-מים, אשר בהם הדפנות הכפולים ומעיל המים בולעים חלק גדול מן הרעש. את



**מחיר יחסי לכוח-סוס**

רעש צינור הפליטה אפשר להקטין כמעט לכל דרגה רצויה. אך אליה וקוץ בה, ככל שמגדילים את העמם מגדילים את הלחץ הנגדי של המנוע ומקטינים את הספקו. כאשר בעית



השנאת צריכת דלק בין מנועי 2 פעימות ובין מנועי 4 פעימות כתלות בסיבובים

רעש המנוע מטרידה במיוחד, יש לברר בדיוק מהו הפסד ההספק בגלל העמם הדרוש, ולבחור במנוע חזק יותר.

אשר לרעידות, כאשר קונים מנוע חדש אין להניח שהיצרן לא איזן אותו כראוי, אלא שיש רכיבי רעידות שאין אפשרות לאזנם. מנועים בעלי צילינדר אחד, במיוחד, אינם נוחים מבחינה זו.



# ה"לזרים" נותנים את הטוח

בביה"ר לנשק פרנקפורד שבארה"ב פותח לאחרונה מד-  
הטוח "לזר" XM-23, המאפשר חיסול מטרות האויב על-  
ידי אש, "הפתעה" ללא צורך בטינוח הירי.

ראויות לתשומת לב. המטרה: הארטילריה חייבת להעסיק  
כל מטרות בכל כלי נשק באש-הפתעה. תכליות סומנו בכיוון  
של שיפורים במדידה, בתחמושת, בנתונים מטיאורולוגיים.  
בנשק, בציווד הכיוון, בחישוב של נתוני אש ובאיכון מטרה.  
צותי הצבא ומעבדות ותעשית ההגנה השיגו את המטרה  
שהוצבה.

דיוק המדידה בשדה שופר על-ידי פיתוח ציוד למדידת  
מרחקים ומכוין-וג'ירו (Gyro-orientators), שיפורים נוספים  
יושגו על-ידי הפיתוח הנוכחי של שיטת המדידה המהירה.  
פיוור תחמושת צומצם, היעילות הסופית הוגדלה, והשינויים  
מסדרה-לסדרה בפרמטרים בליסטיים הופחתו. האיטוף של  
נתונים מטיאורולוגיים נעשה באורח אוטומטי הודיוק של  
המדידות שופר. ניידות הארטילריה הוגברה, רקטות חופשיות  
וטילי ארטילריה פותחו כדי להגדיל את הטוח וכוח האש של  
משפחת כלי הנשק.

בית-הרושת לנשק פרנקפורד שבארה"ב שיפר את ציוד הכיוון,  
במיוחד בזווית הגבהה גבוהות. "ג'נרל אלקטריק" פיתחה  
כרונוגרף (רושם-זמן) מכ"מ מדויק ומחשב נתוני-תותח ספרתי  
"פאדאק" (FADAC), פותח על-ידי מחלקת האוטונוטיקה  
בחברת התעופה הצפון-אמריקנית, לפי הנחיות ביהח"ר לנשק  
פרנקפורד.

"פאדאק" אחד יכול לבצע חישובים בליסטיים בשביל חמש  
סוללות ארטילריה המצוידות בצירוף כלשהו של כלי נשק,  
ובכלל זה רקטות חופשיות. הפתרונות הם מדויקים בכל  
הנסיבות, הודות לנתונים בליסטיים מיוחדים המופקים במע-  
בדת המחקר הבליסטי ונתונים מטיאורולוגיים מפורטים שאפ-  
שר להשיגם עתה בשדה.

הכל ערוך עתה לאש הפתעה על מטרות שמיקומן היה ידוע  
במדויק. שיפורים במכשירים לגילוי סוללות, במכ"מים נגד  
סוללות ונגד מרגמות, ובציוד לאיכון מטרות מוטסות מבטיחים  
נתונים נאותים לאיכון מטרה במקרים רבים.

מכל מקום, יותר ממחצית הדרישות לאש ארטילרית הגיעו  
מקציני תצפית קדמיים. הנתונים שסופקו על-ידי קצין תצ-  
פית כוללים מדידות בלתי מעובדות של אסימות והגבהה  
אל המטרה ואומדנת הטוח שלו אל המטרה. בנסיבות אלו,  
היתה רק שיטה אחת לפגוע במטרה, והיא: לירות ואחרי כן

אש ארטילרית גורמת לשני שלישי של האבידות בשדה-קרב,  
אלא שהיא דורשת כמויות עצומות של תחמושת. בזמן הדרוש  
לכונן סוללות הארטילריה על המטרה, מספיק האויב להתחפר  
או להתפזר. אש הפתעה יעילה פי שלשה מאש שמקדימים  
אותה בכדורים מכוונים.

ניסויים במד-טנח "לזר" XM-23 (ציור 1) שפותח כדי לשמש  
קציני תצפית קדמיים ארטילריים, נסתיימו לאחרונה על-ידי  
פיקוד הצבא האמריקני לניסויים. מד-טוח זה, אשר יאפשר  
לקצין תצפית קדמי לאכן את מטרותיו בדיוקנות, הוא החול-  
יה הסופית בשרשרת הפיתוחים שחושלה מאז מלחמת העולם  
השניה כדי לאפשר לארטילריה להעסיק כל מטרות באש-  
הפתעה.

מפיהים בארטילריה רוח חיים כדי שתחלוש על שדה הקרב  
ברמה של יעילות אש לה משתוקק כל איש ארטילריה.  
בין 1946 ו-1949 נסחו מפעילי ארטילריה שורה של דרישות



ציור מס' 1  
מגלה טנח "לזר" XM-23

לבצע תיקונים לאומדנות הראשונים עד שהפגזים נחתו לבסוף בשטח המטרה.

במשך השנים נחקרו גישות שונות בניסיון מכשיר שיהיה מסוגל לאכן במדויק מטרה כשהיא מתגלה על-ידי קצין תצפית. מדי-טנח אופטיים מגודל ומשקל שקצין תצפית יוכל לשאתם לא היו מדויקים בטוחים של ענין טקטי. מודדי-טנח מכ"מים היו כבדים מדי. קרניהם הרחבות והפרדתן הזוויתית הרופפת הביאו לידי החזרות סותרות מהערבוביה הרווחת על פני השטח, כאשר מנסים לטווח על מטרות קרקע ניחות. בשנת 1955 פותח מכ"מ אופטי מיוחד. מראה גדולה הקרינה נצנזי-אור מר-חניצוץ אל המטרה. מדי-טנח מדד את הזמן עד שטלסקופ עם תא פוטו-חשמלי רגיש גילה את האור המוחזר אל מדי-הטוח. למכשיר זה היה דיוק טוח של מכ"מ. הואיל והוא פועל בספקטרום האופטי, יש לו החזרה טובה ושדה ראייה צר אשר מסלק את בעית הערבוביה על פני השטח של המכ"מ המקובל. אלא שהיו מגבלות בבהירות של הקרן שנוצרה, כנראה, על-ידי משדר רוח-ניצוץ. נורות מיוחדות פותחו, אך על-ידי הגדלת הספק הנורה הורחבה הקרן והיא לא נעשתה בהירה יותר. אי אפשר היה ל"הכוין" את המשדר בתדר יחיד. המקלט הפוטואלקטרי היה צריך לגלות את האות המוחזרת על רקע אור היום. התוצאה היתה, מגבלה חמורה בטוח-הפעולה המועיל של המכ"מ האופטי.

ב-1960 יצר ד"ר מיימן מחברת המטוסים, "HUGHES" קרן מכוונת היטב של אור חד-צבעי עם גביש אדום. כך נולד ה"לזר" — "LASER" — הוא ראשי תיבות של הגברת אור על-ידי פליטה מורצת של קרינה (Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation). הקרנים הראשונות של אור ה"לזר" הראו את הדרך לפתירת הבעיה של מכ"מ אופטי. הואיל ולקרן ה"לזר" צפופה הספק גבוהה, או בהירות בתדר אופטי יחיד, אפשר היה ל"הכוין" את המקלט של המכ"מ האופטי לתדר זה באמצעות מסנן-דיוק המסוגל לסלק את רקע אור היום. בדרך זו ניתן יהיה להגיע לביצוע ארוך טנח. כיון שאור ה"לזר" נוצר בקרן דקיקה, לא יהיה צורך במראה מכוונת בתוך המשדר, ומדי-הטוח יהיה קטן וקל.

מכל מקום, מייצג ה"לזר" לא רק מדופק אור אחד, אלא משורת דפקי-אור המסודרים בקצב באקראי. מאחר שהדפקים היו נפרדים בקצב זה מזה במיליוניות שניות, עלתה הפסקת-ההד של הטוח על הרוח שבין הדפקים. קשה היה להבחין באות המוחזרת שתתאים לדופק המשודר.

בניסויים המוקדמים שנערכו, נעשו ניסיונות להתגבר על מגבלה זו הקיימת במשדר ה"לזר" על-ידי שימוש בטכניקה מסובכת של מתאם נתונים במקלט. היה צורך למצוא טכניקה פשוטה המאפשרת בקרה על המשדר כדי לכוון את כל האנרגיה של הקרן לתוך דופק יחיד.

ב-1961 הצליחו כמה מעבדות ליצור דפקים יחידים גדולים מאוד בעזרת טכניקה המכונה "מיתוג-Q". המונח נוגע לבקרה או "מיתוג", יעילות ה"Q" של המסלול האופטי דרך חומר ה"לזר". מונעים מהאור אפשרות של תנודה הנה והנה דרך החומר כדי שייגיע לדרגת האנרגיה המקסימלית שלו. שהיא השגו הגבוה ביותר כמגבר אור. כשמאפשרים לאור לתנוד דרך התוך, אחר הגיעו לדרגת האנרגיה המקסימלית שלו, רמת ההספק גבוהה פי כמה מזו שקוימה והושגה לפני כן.

שיטת מיתוג "Q" היתה יחידה במינה מחמת פשטותה התפ"עולית. היא פותחה על-ידי מעבדת הפיתוח והמחקר האלק"טרוני של צבא ארה"ב. הטכניקה היתה בנויה כך שאחד ממחזירי-האור הסתובב באמצעות מנוע קטן (במחזירי אור השתמשו משני עברי גביש-הרובי המהווה את עיקר המכשיר, לכן הרווח בין שני מחזירי האור היה מתנד אופטי יעיל רק ברגע בו המראה המסתובבת היתה מקבילה למראה הנייחת בקצה האחר של המחילה.

בשנת 1962 נוסה דגם מעבדתי של מדי-טוח "לזר" אדום משיטת "מיתוג-Q" בפורט סיל, אוקלה שבארה"ב. התוצאות אשרו את השגתן של כל המטרות שהוצבו לגבי טוח-הפעולה גדול, ודיוק רב.

המשימה לקראתה חתרו היתה: דגם אופטי, מכני ואלקטרוני יעיל דיו להשיג מהימנות גבוהה במכשיר בעל גודל ומשקל מינימליים.



ציור מס' 2

מגלה טנח "לזר" XM-23 בשימוש ובנתיקי נשיאה קלים

במעבדה האופטית נערכה שורה ארוכה של ניסויים שמטרתה השגת יעילות מקסימלית ב"לזר". היה הכרח בהקטנת גודל ומשקל הסוללה והקבל, בהם השתמשו לאגירת אנרגיית-כניסה. להשגת פעולה של דופק יחיד שמעבר לתחום הטמפרטורה הצבאית הברורה, להבטחת חיים ארוכים של מנורת-נצנוץ ושל הפעלת המרכיבים האופטיים בקרן אור בעלת

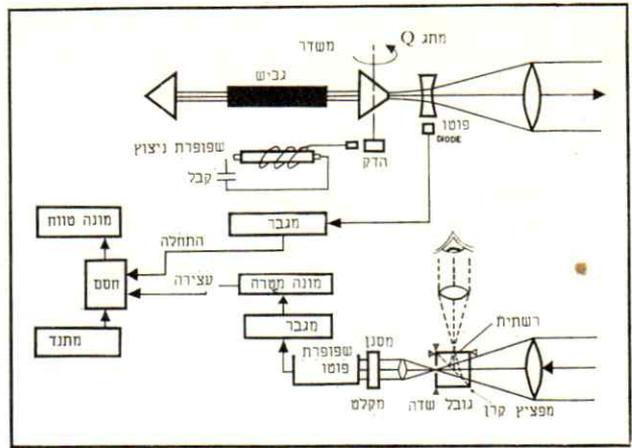
בתכנון ובייצור — עסקו מהנדסי תעשיה, מהנדסי אחזקה ומהנדסי ייצור בשיתוף מלא עם צוות הפיתוח כדי להבטיח שהמדגם כפי שהוא מתפתח עשוי להיות בעל מהימנות מקסימלית, כושר ייצור ונוח לאחזקה.

מדהטוח לקצין תצפית קדמי, בצורתו המוגמרת, שוקל 8 ק"ג בלבד. תלת-הרגל כולל מערכת למדידת האסימות וסוללה, המוכשרים לעסוק במאה קריאות טוח, שוקלים 4.5 ק"ג. משקל היחידה כולה בתיבות הנשיאה הפלסטיות קלות המשקל הוא 14 ק"ג (ציור 2). המערכת האופטית של מדהטוח (ציור 3) מכילה בתוכה את התקן הכיוון ואת המקלט הפוטוראלקטרי. שכלול זה מבטל את הצורך באיפוס מערכות אלו. התקן הכיוון מגדיל פי שמונה, ושדה הראיה שלו הוא 6 מעלות. מדידת הטוח נעשית על-ידי ספירת הדפקים מתוך מתנד בעל תדר גבוה, במשך רווח זמן שבין הדופק הנוצר על-ידי פוטור-דיודה, אשר חש את קרן האור היוצאת, והדופק הנוצר כאשר השפופרת של הפוטור-כופל מגלה את אור ה"לור" המוחזר מן המטרה.

נוסף על מדהטוח, כוללת מערכת הצידוד, המסופקת לקצין התצפית הקדמי, מטען-סוללה המורכב בג'יפ שלו. אפשר להפעיל יחידה זו מהמערכת החשמלית של הרכב או באמצעות כבל ממנוע-גנרטור של 115 וולט, הפועל ב-60 מחזורים או 400 מחזורים. היחידה טוענת מחדש אוטומטית את קבוצות סוללות הניקל-קדמיום שמשמשים בהן עם מדהטוח. היתרונות הטקטיים הנובעים ממדהטוח "לור" הם בולטים וחשובים ביישומים צבאיים רבים. מד-טנח "לור" XM-23 סלל את הדרך לפיתוח מרכיבים וטכניקות המאפשרות קידום דרישות אלו ממד-טוח, בשביל מערכות נשק של צבא.



ציור מס' 4  
הדגם הנראה בתמונה הוא גדול יותר ומבנהו שונה מהדגם הנראה בציורים 1, 2



ציור מס' 3  
דיאגרמת המערכת האופטית של מגלה הטנח

צפיפות הספק גבוהה, ולהשגת חוזק דרוש כדי לעמוד בפני תנאי השימוש בשדה.

התוצאות היו משכנעות. מכלל ה"לור" — אטום הרמטית ושוקל 560 גרם. הוא שומר על כיוון אופטי מדויק גם בזעזועים של 100 g. הוא מספק דופק אור של 2.5 מגאואט מן הכניסה של 110 ג'אול.

במקביל לניסויים ב"לור" נעשו גם ניסויים ופיתוחים במרכיביים אחרים של מדהטוח. ניסויים בגורמי-אנוש באמצעות דגמי מצלמה הוכיחו שהיה צורך בתלת-רגל, בשימוש בתנור עות אסימות והגבהה כדי להשיג את דיוק הכיוון לשם טיווח על מטרת קטנות.

כדי להדביר את ההשפעה של אור מתפזר לאחור מקרן בעלת הספק גבוה, בה בשעה שנשמרת רגישות אור המטרה פותחו מעגלי מקלט. כדי להסדיר את הקצב של מנורת הניצוץ בתחום 10 מיליוניות שניות במשך סיבוב אחד של מנוע מתג ה"Q" אחרי שזה הואץ מ-24,000 סיבובים לדקה ב-0.2 שניה נדרשו מעגלים אלקטרוניים.

ניסויי שדה גילו את ההכרח במונה כדי למסור למפעיל על אותות מוחזרים שנתקבלו דרך שדה-הראייה שרוחבו 3/4 אלפית של המקלט. לדוגמה, כשמטווחים על בנין, ייתכן שבחזית הבנין ימצא קו טלפון. מדהטוח צריך להעיד על קיום שתי "מטרות" כדי שהמפעיל לא יקבל מתוך אי ידיעה את הטוח לקו הטלפון כטוח אל הבנין.

תכנית זו הוצאה לפועל בתוך כתלי הבית בביח"ר לנשק בפרנקפורד והיתה הצעד הראשון בפיתוחו של התקן "לור". היה צורך בהרבה נסיונות בשדה חדש זה כדי להחליט על הפתרונות הטובים ביותר ליישום הצבאי. מעבדת הארי דיאמונד, חברת מרטין-מריאטה ואלקטרוניק אלדוראדו סייעו לתכנית על-ידי פיתוח מוניטוח מיקרומיניאטוריים בעלי תדר גבוה.

# יצירת חלקים באמצעות מטלורגית האבקות

פרד. ל. סיגריס



ציור מס' 1

החלקים המיוצרים מאבקה מקבלים טיפול נוסף בכור חום, כדי לתת להם כוח התנגדות גדול יותר לשחיקה

הטבעה, אשר מוסיף למחיר. אף-על-פי-כן, לחלקים, המיוצרים בעזרת טכניקה זו, יש סיבולות קטנות יותר, שטחי פנים חלקים יותר, תכונות מכניות משופרות, ואחידות בחלקים השונים המיוצרים.

סיבולת אופינית של המידות שיכולה להישמר בייצור היא  $\pm 0.03$  מ"מ על קוטר פנימי של עד 12.7 מ"מ.

## החדרת נחושת

יחידות מברזל או פלדה, אשר לתוכם מחדירים נחושת, מיוצרות באמצעות תהליך 3. החדירה יכולה להתבצע אחרי הסיני-טור, או במשך הסינטור של מרכיבים מסוימים, ומתקבל חלק חזק יותר, עם צפיפות גבוהה יותר. העליה בחוזק, שיכולה להתקבל בחלקים מברזל או מפלדה מסונטרים, היא בין 50% ל-300%. חוזק משיכה של פלדה מסונטרת — 1406 ל-4220 ק"ג לסמ"ר — תלוי בצפיפות ובהרכב. אולם החדרת 4220 נחושת יכולה להעלות ערך זה ל-5275 עד 7030 ק"ג לסמ"ר. תוספת של טיפול תרמי תעלה את החוזק ל-10,540 ק"ג לסמ"ר.

החדרת נחושת לחלקים מברזל יכולה להתבצע באופן סימול-טני יחד עם הסינטור, מפני שהפעולה האחרונה מתבצעת, בדרך כלל, ב- $1121^{\circ}\text{C}$ , כ- $38^{\circ}\text{C}$  מעל נקודת ההיתוך של המתכת האדומה.

נוסף לשינויים הנ"ל אפשר לסנטר מחדש חלק מוטבע וכמו כן לכבשו מחדש, או לתת לו טיפול תרמי. צעדים נוספים אלה הם יותר מאשר מוצדקים, כאשר המגמה דורשת רמה מסוימת של תכונות של חוזק, עמידות בפני מכה, ותכונות שיחוק — בשביל גלגלי-שיניים, זיזים, צפורנים-חוגרות ושאר פריטים קריטיים.

## אופן הייצור ההמוני

מיליוני חלקים, העשויים בשיטת מטלורגית האבקות, זה

במפעל למטלורגית האבקות באנגולה, אינדיאנה, של חברת מלורי למטלורגיה, מיוצרים חלקים מברזל, מפלדה, מפליה, מניקל, מכסף ומנחושת לשימוש נרחב בתעשייה, כולל תעשייה אוטומטיבית, מכונות חישוב, כלים שונים, מכונות חשמל וכלים חקלאיים.

לפני 25 שנים יוצרו החלקים באמצעות מטלורגית האבקות בשיטות פשוטות, כמו כבישה לצורה וסינטור בתנור.

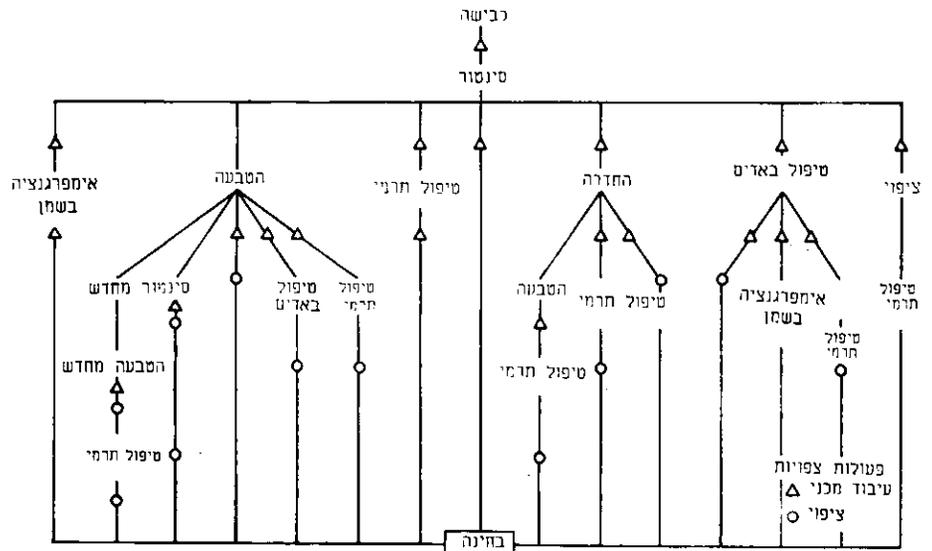
כיום קיימות לפחות 15 שיטות ייצור במטלורגית האבקות, ביניהן אפשר לבחור את המתאימה לייצור החלק בעל הספציפיקציות המסוימות. הטבלה בציור 1 מתארת את התחום הנרחב, שיש למהנדסי ייצור, לבחירה במתקני מלורי המודרניים באנגולה, אינדיאנה. כפי שהטבלה מראה, יש שבעה תהליכים ראשיים, המשתנים בהתאם לדרישות המוצר. ארבעה מהתהליכים הם:

- (1) דחיסה וסינטור (לחלקים בעלי צפיפות נמוכה).
- (2) דחיסה — סינטור — הטבעה.
- (3) דחיסה — סינטור — החדרה.
- (4) דחיסה — סינטור — הטבעה — סינטור מחדש וטיפול תרמי (בשביל חלקים בעלי דחיסות גבוהה).

בתהליך 1 מייצרים בדרך כלל חלקים צורתיים בעלי צפיפות נמוכה (על יסוד ברזל), כאשר דרושות תכונות מכניות ממוצעות בלבד, ומחיר זול.

תהליך 4 מותאם למרכיבים עם צפיפות גבוהה מברזל או מפלדה, בעלי תכונות טובות יותר מבחינת חוזק רקיעות, התנגדות למכה ולשחיקה. שינויים בתכונות מתקבלים על-ידי בחירת האבקות, וכן על-ידי בחירת טכניקה של דחיסה וסינטור.

תהליך 2 נבחר בדרך כלל בשביל ייצור ממתכות אלברזוליות ובשביל ייצור חלקי ברזל עם צפיפות גבוהה, כאשר נדרש חוזק טוב וסיבולת קטנה. שים לב שתהליך 2 כולל צעד נוסף,



דיאגרמה מס' 1

בדיאגרמה נראית דרכי היצור השונות בהן משתמשים לגבי חלקי האבקה המסלורגית. כל סידרת יצור מקנה צירוף מיוחד של תכונות. ונראה בכירור שסינטור והחדרה יכולים להיות מצורפים

בשביל סינטור בטמפרטורה נמוכה ולסינטור מכין. בתנור אטמוספירי רב-שימושי, (ציור מס' 1) יכולים לבצע פעולות טיפול תרמי, צימנוט וניטרציה. מכשירים אחרים כוללים מכשירים להטבעה עד לקיבולת של 50 טון, מתקני סלטול לשם הורדת גרדים של חלקים, מתקני אימפרגנציה בשמן, ומכשירי רים לעיבוד שני.

**תחזית רחבה של תכונות**

חוק משיכה הוא בין 1370 ק"ג לסמ"ר בשביל ברזל מסו נטר, עד 11.600 ק"ג לסמ"ר בשביל חלק מפלדה שקיבלה טיפול תרמי, ושהחדרה לתוכה נחושת.

הצפיפות היחסית משתנה ביחס לברזל תיאורטי, מ-72% לברזל בעל צפיפות נמוכה עד 95% לברזל מסונטר פעם נוספת, ולברזל אלקטרוליטי שנדחס מחדש, לנחושת אלקטרוליטית או לחומרים מחדשים.

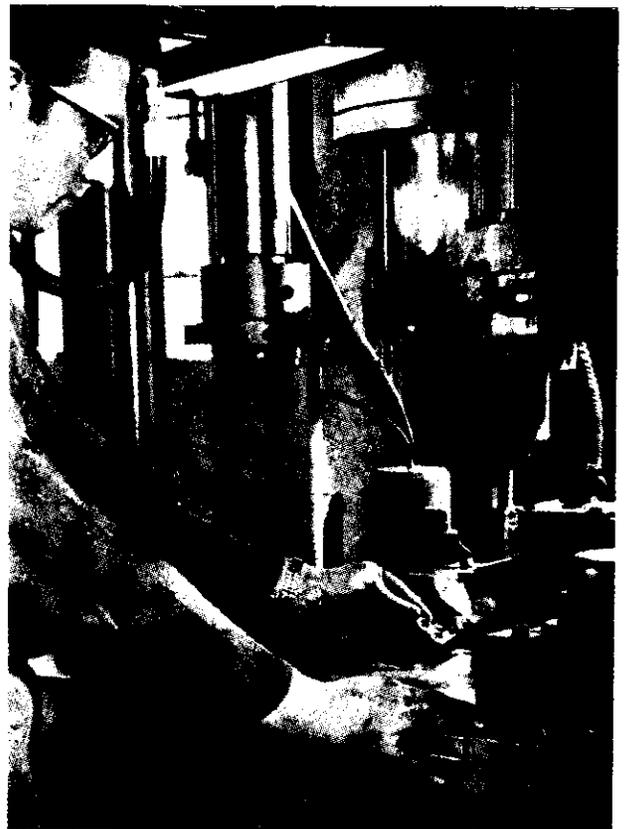
**מתכות ברזליות ונתכים**

מתכות על בסיס ברזל, המיוצרות באנגולה, כוללות ברזל נקי, פלדות פחמן, סגסוגות פלדה, פלדות ברזל-נחושת וכן פלדות עם נחושת מוחדרת. המתכות מאבקות ברזל ספוגית רגילה יכולות להידחס עד 75% של הצפיפות התיאורטית. סוג זה של חלקים מתאים לשימוש מטרות בניה הדורשות חוזק גמוך. הנקבוביות של חומר מסונטר עושה את החלק לאידיאלי בשביל אימפרגנציה בשמן, וכך מספקת שימון קבוע וכן התנגדות לקורוזיה.

חלקים העשויים מברזל ספוגי טהור למדי יכולים להידחס לצפיפות של עד 82% מהתיאורטית. חלקים אלה הם יותר חזקים, יותר רקיעים, ויכולים לצפות אותם, תחת תנאים מיד חדים, ואפשר להשתמש בהם, כשדרושות תכונות מגנטיות של ברזל רך.

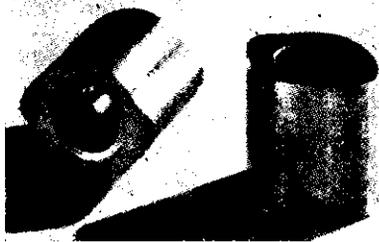
אלה שעשויים מברזל אלקטרוליטי טהור, יכולים להידחס עד 88% מהצפיפות התיאורטית ולהיכבש פעם נוספת עד 95%. כתוצאה מצפיפותו הגבוהה, אפשר לצמנט חומר זה, או לצפותו באותה צורה שמטפלים בברזל רך. סוג זה של ברזל נבחר לקטבים מגנטיים ולליפופי ממסרים בזכות התכונות המגנטיות של הברזל הרך, וכן לשימוש לחלקי מבנה בעלי חוזק רב, אחרי שעברו טיפול תרמי.

כוללים גלגלי-שיניים גדולים, זיזים חרישיניים, וצפורניים-חוגרות למכונות הישוב, מיוצרים כל חודש במפעל באנגולה. מתקנים חדשים, שהותקנו במפעל, כוללים מכבש תגובה של 200 טון (ציור מס' 2). מכשירים אחרים, קטנים יותר, בגדלים שונים, מ-4 עד 100 טון — בהם משתמשים לתהליכים השונים. משתמשים בתנורים מסתובבים לסינטור באוירה אנדותרמית או אקזותרמית מבוקרת, בעת שתנור רצועת רשת שימושי



ציור מס' 2

מכבש 200 טון יכול לייצר חלקים מאבקה מסלורגית בקצב של 10,000 יחידות ביום



ציור מס' 4  
פיקוח ברזל בצפי  
פוח גבוהה המיועד  
דות למכונת כתיבה  
השמלית, מיוצרות  
בטיבולת של 0.001  
מ"מ, על הקוטר  
הפנימי

לצפות בחומר זה, והוא נבחר בשביל חלקי מבנה המוליכים חשמל, צלעות קירור וסלילי סיכוך.

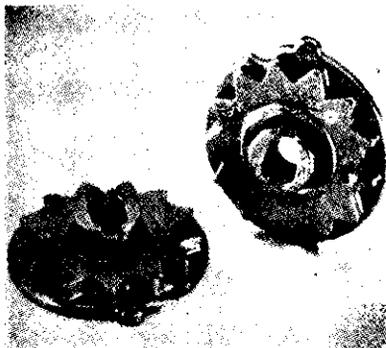


ציור מס' 5  
גלגל תזמון ושיי  
ניים חוגרות למכונ  
נת כביסה מיוצרים  
מברזל מסונטר עם  
תוספות פחמן

### השימושים הינם נרחבים

המעלות של טכניקת מטלורגית האבקות ליצירת מרכיבי מבנה כוללות קצב ייצור גדול, אפשרות טובה לייצור מחדש, השמטת פעולות עיבוד, פישוט בעבודת הגמר ופסולת נמוכה או אפסית. נקבוביות וצפיפות יכולות להיות מבוקרות להתאמתן לשימוש, וכן אפשר לקבל תרכובות מיוחדות. אפשר ליצר חלקים בטיבולת קטנות, נוסף להיותם משומנים שימון עצמי לשם הגדלת ההתנגדות לשחיקה לשם הבטחת אורך חיים גדול יותר. חלקים רבים ממטלורגית האבקות שבשימוש במערכות ייצור — אי אפשר ליצורם באופן משקי בכל שיטה אחרת.

הסיבה הראשונה לבחירת השיטה של מטלורגית האבקות היא האפשרות לייצור מדויק מחדש, וטיבולת קטנות ביותר שיכולות להיות מושגות גם בייצור גדול. אחרי הסינטור אפשר להטביע את חלקי הפלדה לשם השבחת הטיבולת של המידות טיפול תרמי אחרי ההטבעה מעלה את החוזק, הקושי וההתנגדות לשחיקה.



ציור מס' 6  
החלק הנראה ב  
תמונה מיועד למכונת  
שירי סלביזיה, מיוצ  
צר כך שהוא בעל  
התנגדות גבוהה ל  
שחיקה, יצורו זר  
מכינו שהוא עשוי  
כחלק אחד, ללא  
כל עיבוד נוסף

### פלדות פחמן ונתכים

פלדות פחמן מיוצרות מתערובת של ברזל ספוגי ואבקת גרפיט, המסונטרים באטמוספירה אנדותרמית מבוקרת, לשם שמירת אחוז הפחמן המתאים למבוקש.

חומרים אלה נבחרים למטרות הדורשות חוזק בינוני עד גבוה (1750—4220 ק"ג לסמ"ר), ואפשר להעבירם לטיפול תרמי לשם העלאת קשיותם וחוזקם למשיכה (ל-5273 ק"ג לסמ"ר). נתכי פלדה דחוסים מכילים כמויות משתנות של מוליבדן, ניקל, מנגן ונחושת ועוברים טיפול תרמי לחוזק רב ולקושי.

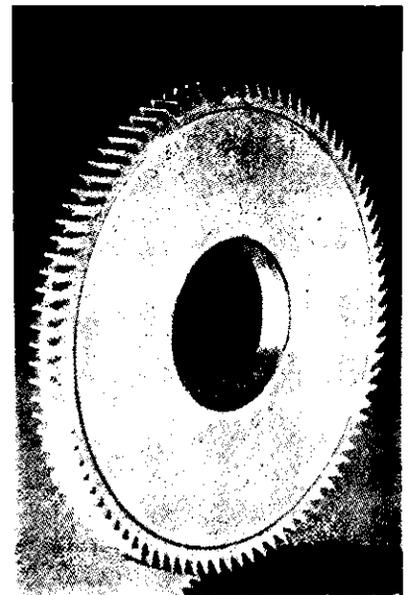
### פלדות ברזל-נחושת

פלדות ברזל-נחושת נעשות מברזל ספוגי, מעורב בכמות הדרושה של אבקת נחושת. התכונות המכניות משתפרות, ככל שתכולת הנחושת (עד 10%) והצפיפות עולות. לחומרים אלה יש קושי יותר גבוה וחוזק מקביל לפלדת פחמן. פלדות אלו שימושיות כחלקי מבנה ומיסבים, ואפשר לבצע בהן אימפרגנציה בשמן. ציפוי לא מומלץ.

### פלדות פחמן עם נחושת מיוחדת

פלדות פחמן עם נחושת מיוחדת שונות מפלדות פחמן-נחושת, בזה שהמתכת האדומה מתחברת על-ידי פעולת הדיפוזיה. חלקים אלה מאופיינים בצפיפות גבוהה ובחוזק, וכמו כן, בעמידות טובה בפני מכה וגזירה. אפשר לצפות חלקים עם נחושת מיוחדת בלי הכנה מוקדמת. טיפול תרמי אחרי ההדירה יכול להגדיל את חוזק המשיכה בכ-40%.

פלדות עם נחושת מיוחדת נמנות עם המתכות החזקות ביותר המצויות.



ציור מס' 3  
גלגל שיניים מדויק  
המשמש במכונת  
העתקות

### חלקים מאבקת מתכות אל-ברזליות

למתכות פליו, עם ובלי עופרת, יש תכונות המשתוות לפליו חשיל. אפשר לצפות את שני סוגי הנתכים במצב הכבוש פעם נוספת או לעצבם באותה הצורה כמו את הפליו החשיל. בניקל-כסף משתמשים לחלקים הדורשים התנגדות טובה לקורוזיה, וכן חלקים בעלי תכונות דקורטיביות.

לנחושת אלקטרוליטית יש מוליכות חשמלית מינימלית של 90% לגבי TACS בצפיפות סופית של 8.6 ג'ג/ס"מ<sup>3</sup>. אפשר

# הומור וטכניקה ...



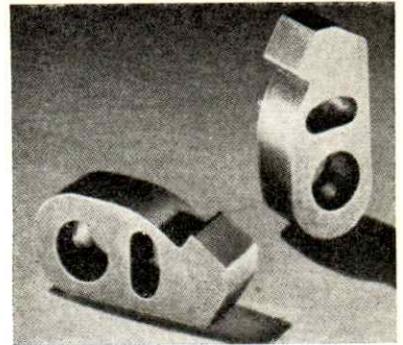
## פיקות ברזל בעלות צפיפות גבוהה

את פיקת הברזל בעלת הצפיפות הגבוהה למכונת כתיבה חשמלית (ציור 4) צריך ליצר בסיבולות של 0.03 מ"מ על הקוטר הפנימי ועל שטחי הפיקה. החלקים מוטבעים אחרי הסינטור. השטח מתקבל חלק בלי עיבוד נוסף. פיקות אלו מיוצרות בכמויות גדולות עם אפשרות טובה לייצור מחדש.

## גלגלי-שיניים וצפרניים-חוגרות

במפעלי מלורי למטלורגיה מיצרים אחוז גדול מהחלקים בטכניקת מטלורגית האבקות. על-ידי שימוש בתהליך זה, השיגה החברה כמה יתרונות.

לפנים היו עושים יחידות משני חלקים, ועתה — מחלק אחד. מערכת מפושטת זו נותנת אמינות טובה יותר, ומפחיתה את ההוצאות הכלליות. גלגלי התיזומון של מכונת כביסה עובדים באטמוספירה קורסיבית — לחות 95% בערך וטמפרטורה עד 60°C. נוכחות של כמה דטרגנטים מחמירה את בעיית הקורוזיה. האימפרגנציה של החלקים בשמן לא רק מפחיתה באופן



ציור מס' 7  
תפסי הרצועה שב-  
תמונה עומדים בפני  
כוח גזירה של 450  
ק"ג/סמ"ר

דרסטי את החלודה, אלא אף פותרת את הבעיה של שימון. גלגלי תיזומון ושיניים-חוגרות (ציור 5) למכונות כביסה, נע-שים מברזל מסונטר, עם תוספת של פחמן. החלקים מסונטרים עד לצפיפות של 62 ג' לסמ"ק, ומטופלים טיפול תרמי עד לקבלת קשיות של Rc 40—60. הסיבולות הינן בגבולות של 0.03 מ"מ על קוטר פנימי ו-0.075 בקוטר החלוקה. השיניים-חוגרות מיוצרות בכמויות של מיליונים, ואי-אפשר ליצרן באופן כלכלי אלא בשיטה זו.

## פיקות משוננות בעלות אורך-חיים רב

לפיקות המשוננות למכונני הטלביזיה חייבת להיות התנגדות טובה לשחיקה בגלל המיתר, הרוכב על שטח הפנים של הפיקה. לפיקות שנעשות בתהליך מטלורגית האבקות יש התנגדות גבוהה לשחיקה יותר מאשר לחלק דומה שנעשה מברזל חשיל, המטופל טיפול תרמי. נוסף לכך, ההוצאות הן נמוכות מפני שאת החלק הנראה בציור 6 אפשר ליצר כחלק אחד, ואין צורך בעיבוד נוסף.

## תפסי רצועת-מושב חזקים יותר

תפסי רצועת-המושב, הנראים בציור 7, עמידים בפני כוח גזירה של 421 ק"ג לסמ"ר בחתך של 6.35 מ"מ אף-על-פי שחלקים ממטלורגית האבקות עולים יותר מאשר חלקים המיוצרים במבלט ארבעה שלבי, הרי בהתחשב בהשמטת פעולות העיבוד הסופי ובאורך-החיים, המחיר הכולל של המוצר המוגמר, העשוי בשיטת מטלורגית המתכות, נמוך יותר.

כלי הרכב, בהם משתמש צבא ממונע מודרני, שונים במראם ובצורת הפעלתם, אולם הם זקוקים לזרם מתמיד של אנרגיה, כדי לפעול כהלכה.

כיום מסופקת אנרגיה זו על-ידי כמויות עצומות של מוצרי נפט, שהם יקרים וקשים לטיפול והחסנה. כדי להתגבר על בעיות אלו, מנסים עתה במעבדות צבא ארה"ב להפיק תועלת מהפוטנציאל העצום של תאי הדלק, ובסופו של דבר יתכן שאפשר יהיה לנהוג ברכב 200 ק"מ על גלון אחד של דלק.

# תאי דלק

גילן ר. פרייזינגר

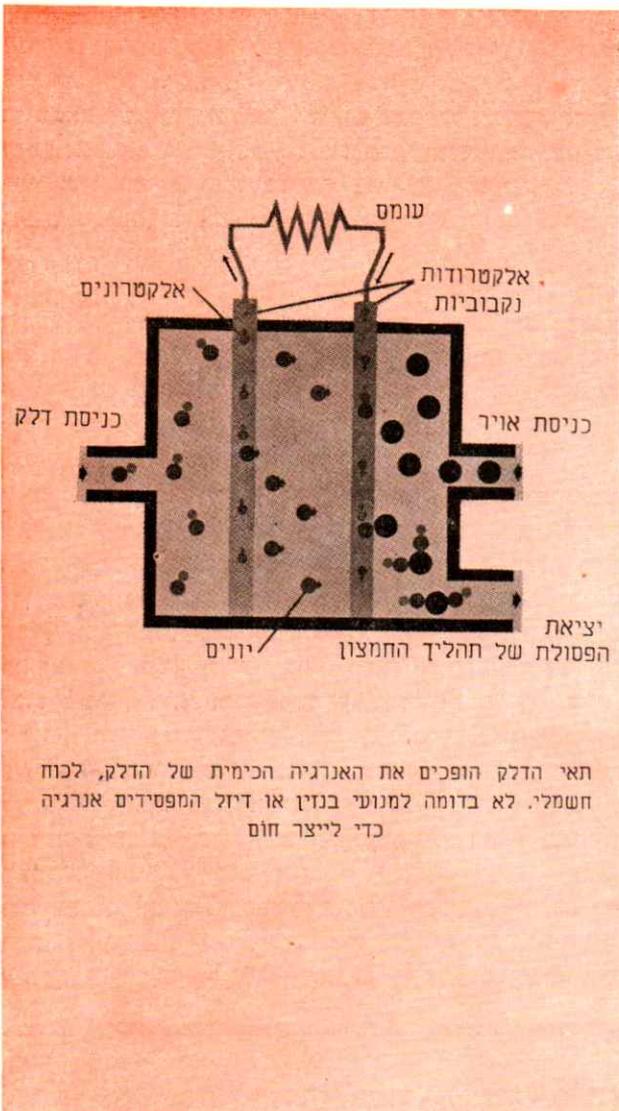
כוח חשמלי הינו חיוני לגייסות הצבא. בכל תכניות עתידות שהן, הפוטנציאל של תאי-הדלק הוא כוח, שיש להביאו בחשבון, כינן שהוא המחליף היעיל ביותר של אנרגיה מכנית לחשמלית.

על-ידי ביטול מחזור החום המקובל, נהפכים הדלקים הבסיסיים — מימן ואויר — לאנרגיה חשמלית כנצילות של 60-80 אחוז. פעולת הפיכה זו דומה לזו בסוללת מצברים שכיחה. אנרגיה חשמלית נוצרת בריאקציה אלקטרוכימית שקטה. בתוך התא, הדלק מהמיכל מוזן לאלקטרודות שנוצר בהן הזרם הישר.

את המימן החיוני אפשר לאגור במיכלים, להכיל אותו בתר-כובות כימיות ריאקטיביות כגון הידרזין או אמוניה, או לקבלו מפחמימנים מקובלים, הנמצאים לדורשיהם בשדה. הצבא המודרני, מחמת ניידותו ההולכת וגדלה, זקוק במידה הולכת וגוברת לדלק, כדי לסייע למבצעיו בשדה.

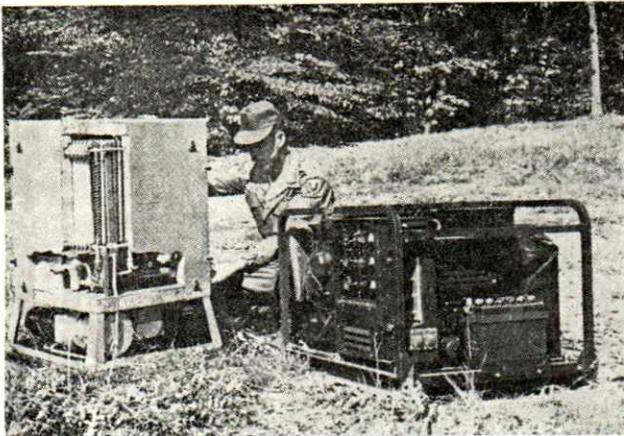
הנצילות ההולכת וגדלה בהפיכת דלקים לכוח היא דרך אחת להקל את הלחץ הלוגיסטי העולה. בחיפוש אחרי פתרון אפשרי חוקרות מעבדות הפיתוח והנדסת המחקר הניידות של פיקוד צבא ארה"ב (USAERDL) את המעשיות של גושים מניעים בעלי תאי-דלק.

הצבא זקוק לגושים מניעים, הפועלים באורח שקט במבצע שדה — למשל, בגיפ, שמורכב בו ציוד תקשורת או שמירה, כדי לדאוג לכושר שמירת לילה בשביל הטנקים. כדי לקדם דרישות אלו, מפתח צבא ארה"ב משפחה של גנרטורים של כוח, הפועלים באורח שקט. החל מ-300 נאט וכלה ב-15 קילו-נאט, ואשר משתמשים בדלקים פחמימניים נוזליים מקובלים, המצויים כיום בקרה-הספקה. לתאי-דלק פחמימניים נצילות הפיכה לאנרגיה גבוהה — 30 עד 40 אחוז בהפיכת האנרגיה של פחמימנים נוזליים לכוח חשמלי של זרם ישר או של זרם חילופין. הם, על-כן, חברים בעלי ערך במשפחת הגוש המניע השקט.



תאי הדלק הופכים את האנרגיה הכימית של הדלק, לכוח חשמלי. לא בדומה למנועי בנזין או דיזל המפסידים אנרגיה כדי לייצר חום

תאי-דלק — נוחים ביותר משום שהם שקטים. הם חסרי רעשים משחררי דחיסה, הנשמעים במנועי שריפה פנימית או במנועי דיזל. אפשר לעשותם כך, שאי-אפשר לשמוע אותם ממרחק של 15 מטר. נצילותם הגבוהה יותר מורה על כמויות קטנות יותר של חום נפלט, וזה מועבר על פי הסדר לתוך רדיאטורים ומאנררים קטנים יותר ולזרמי אויר חלשים יותר. גושים מניעים בעלי תאי-דלק לכוח שקט של 3 קו"ט (קילו-נאט), 5 קו"ט, 10 קו"ט ו-15 קו"ט נמצאים בפיתוח לקראת ניסוי בשירות ב-1968/70. ביחידות אלו נהפכים דלקי צבא סטנדרטיים למימן במתקן שינוי מכונס, ואת המימן מביאים לידי ריאקציה עם אויר, כדי ליצור כוח חשמלי. מקבלים 28 וולט בערך, של זרם ישר ממערכת תאי-הדלק, המורכבת מ-35 תאים יחידים בטור. מערכת זו מווסתת ומבוקרת בתוך מהפך בעל דרג מוצק, כדי להשיג את המתחים של זרם החילופין, הדרושים לשימושים בשדה. כתוצאה מהשימוש במהפך, יכולה יחידה אחת לספק בשיעור כוח נתון זרם ישר או 50, 60, או 400 מחזורים בזרם חילופין לפי התכונות החשמליות הקפדניות ביותר, הנדרשות מצידוד שדה מסובך חדיש. על יסוד נסיון, שהוא עדיין שלב בינוני של תכנון, אפשר



ההווה והעתיד — מיוצגים על ידי דוגמת תא דלק — הידרוקרבון של 5 קילונט אשר יהיה את מקור הכוח של העתיד. לעומתו, בצד ימין של התמונה, גנרטור מנוע סטנדרדי בעל אותו הספק

יהיה להשוות את המשקל הסגולי של הגושים המניעים השקטים בעלי תאי-דלק, עם גנרטורים מקובלים של מנוע, בסביבות 1968. מתוך 45 ק"ג בקירוב לקילורואט של הספק נקוב, 18 ק"ג לקילורואט נמצאים במדור, המיועד להכנת הדלק, 22 ק"ג לקילורואט הם מערכת גנרטור תאי-דלק ו-5 ק"ג לקילורואט מיועדים למהפך בעל הדרג המוצק. בשביל גושים מניעים גדולים יותר (50-100 קילורואט), מופחתים משקלים סגוליים פי שניים ומעלה.

בתכנוני מחקר מתקדמים של מערכות תאי-דלק של פחמימן, מעוצב המימן הפעיל מחדש מהפחמימן, אשר מנצל מבפנים את החום המיותר מהתא, או שהפחמימן מובא לריאקציה ישירות עם אלקטרודות תא הדלק. שיפורים עשויים לאפשר מידת פשטות גדולה יותר במערכת ולהביא ליצור גושים מניעים קומפקטיים יותר וגם יעילים יותר.

ישומים מסויימים יכולים לנצל הידרוזין, צורה ריאקטיבית יותר של מימן נוזלי כימי עם מעביר חנקן ( $N_2H_4$ ), גנרטור הכוח השקט טעון מטען דלק, המיועד למשימה בעלת משך זמן מוגדר (8 שעות עד 3 שבועות). בתום תקופת זמן זו אפשר יהיה לתדלק את אגד תאי-הדלק במהירות במטען חדש. תצורה זו למעשה מציעה את גנרטור הכוח הקומפקטי, קל המשקל והפשוט ביותר והפחות יקר לדרישות של כוח שקט; אך הוא תלוי בהספקתו של דלק מסוג מיוחד. דוגמה זו של פעולה לוגיסטית מספקת במידה נאותה יותר את הדרישות לכוח קטן יותר. בעזרתה יכולים לבטל טעינת מצברים או החלפת מצברים על-ידי הספקת דלק מיוחד, הארוז בנחיות, בשביל הגנרטור בעל תאי-הדלק.

בכל דיון על תאי-דלק מתעוררת תמיד הבעיה של הנעת כלי רכב. האפשרויות הכרוכות בגושים מניעים בעלי תאי-דלק עשויות לפתוח תקופה חדשה בתחילה. למשל, מכונת משפחה,

המסוגלת להגיע ל-150 עד 200 ק"מ בגלון אחד. דבר זה עשוי להיות מעשי עם תאי-דלק. כל צורת הנעת רכב, שהיא בעלת תאי-דלק, עשויה, בודאי, לכלול מערכת הנעה חשמלית — ודבר זה מאפשר אפשרות בקרה גמישה יותר.

עדיין לא הגענו לשנה, בה אפשר יהיה לראות — בתצוגות של יצרני מכונות — מכונות מונעות בתאי-דלק, אולם הברות של יצרני מכונות וכן גם מעבדות הפיתוח של צבא ארה"ב עורכות ניסויים במרץ בשטח זה. כתוצאה מהגברת צפיפות הכוח של תאי-הדלק, שאפשר יהיה להשיג על-ידי אלקטרודות פעילות במידה גבוהה יותר ועל-ידי מערכות פשוטות וקומפקטיות יותר, ישומים מיוחדים לכלי רכב מונעים עם תאי-דלק עשויים להיות מעשיים במשך העשור הקרוב.

### כיצד נפחית את תאונות היחיד - המשך מעמ' 6

עם ביטול הכביש הדו-סיטרי תימנענה כמובן, התאונות של התנגשות בין שני כלי-רכב הנעים בכיוונים מנוגדים. כמרכזן, יורד מספר הפגיעות בהולכי רגל בכביש דו-סיטרי לעומת כביש דו-סיטרי. מקום מועד לפורענות הוא הצומת, ככל שמספר הנתיבים גדול יותר, כן הזרימה גדולה יותר ומסובכת יותר.

#### תכנון חדיש של דרכים מקטין את מספר התאונות הקטלניות

איי-אפשר לשנות את כל הדרכים לדרכים חופשיות או לדר"כים בעלות תנועה חד-כיוונית בלבד. אולם על-ידי הקניית תכונות מתוכננות רבות ככל האפשר, של דרך חופשית (דרך ללא צמתים, הצטלבויות או כניסות לדרך אחרת) למערכות הדרכים, תושג ירידה ניכרת בתאונות הקטלניות. לא מזמן הוערך הנזק הכספי בתאונות הדרכים בארה"ב מאז 1953. סקירה על הנזק הכספי, שהגיע ל-7 ביליון דולר, מראה, כי ההשקעה בתיקון ובתכנון הכבישים הקיימים תהיה כדאית, שלא לדבר על העיקר — הקטנת מספר הקרבנות בכ-20,000 לשנה.

כ-30 מ' לכל צד, וסולקו כל העצמים שעלולים להיתקל בהם בשעת ירידה מהכביש. שטח זה נבחן במשך 10 שנים ונראה כי 107 תאונות, המהוות 72% מכלל התאונות, היו תאונות של ירידה מהכביש. רק 2% מהנהגים התרחקו יותר מ-10 מ' מקצה הדרך. מסקנות אלה מראות, כי תאונות יחיד קטלניות של ירידה מהכביש יוסרו, אם צידי הדרכים ישופרו ברוחב של 10 מ' מהכביש.

בחינות של רוחב השטח המפריד בכביש ראשי הראו כי רצוי שטח של כ-15 מ'. רק 10% מכלל כלי-הרכב עזבו את המסלול בזווית הגדולה מ-15°.

קרוב ל-15% מכלל כלי-הרכב חצו את התיכון ונכנסו למסלול התנועה הנגדי.

מפגע חמור, שמשום מה נוהגים להחשיב אותו כאמצעי הגנה, הוא פס המגן בצד הדרך. קצוותיהם של פסי המגן עלולים לשפד מכונות, שיצאה מתחת שליטת הנהג ולכן, יש לשפר את תכנון פסי המגן. מקום אפשרי לתאונה הוא כביש דו-סיטרי, הסכנה בזרימת רכב בכיוונים נגדיים גורמת להרבה ירידות מהכביש ולהתנגשויות במפגעים שונים בצד ימין של הכביש, כתוצאה מנסיון למנוע תאונת התנגשות על רכב הנע ממול.

מזור...

# אחזקה



## מצתים - הלכה ומעשה

### הלכה

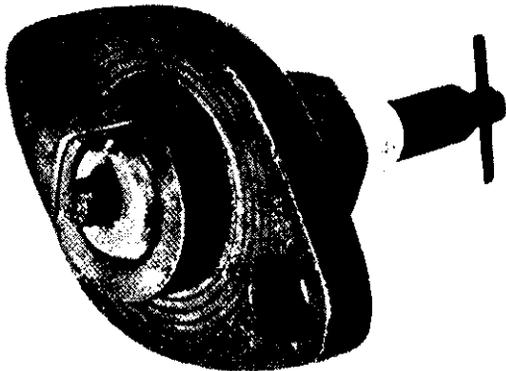
#### הבעיה

מכל המרכיבים במנוע שריפה פנימית נהוג המצת לתנאים המיגיעים ביותר ועליו לספק את הדרישות הסותרות ביותר. הואיל והמצת ממלא חור בתא השריפה, עליו להיות אטום בפני גזים ומסוגל לעמוד בלחצים מקסימליים של 60-75 ק"ג/סמ"ר — דבר לא קל, כשחומר האטימה אינו עשוי ברזל או פלדה, אלא מבדד הנוח להישרב. מבדד זה (אשר מפריד על-ידי חשמל את האלקטרודה המרכזית ממעטה-האלקטרודה המוארק) לא זו בלבד שצריך הוא להתגבר על לחצים גבוהים, אלא צריך גם להיות עמיד בפני זעזוע תרמי גדול. כשמתניעים מנוע קר בחורף, למשל, עלול הפנים של המבדד להיות בנקודת-קפאון, בעוד שלהבות בטמפרטורות של 2,000 עד 2,500 מעלות צלסיוס פוגעות בשטחו החצוני. נסה לצקת מים רותחים לתוך כוס זכוכית רגילה — תחום טמפרטורות בסביבות 80 מעלות צלסיוס מספיק כדי לשברה — ותקבל מושג על הבעיות הכרוכות בכך.

ובכן, לשתי האלקטרודות צריכה להיות התנגדות נאותה לאירוסייה וקורוסייה, כדי להעניק חיים מועילים של 20,000 ק"מ לפחות. לבסוף, המבדד צריך לקיים טמפרטורה, שהיא גבוהה מספיק כדי לשרוף פחם ומשקעים כימיים אחרים, היוצרים קצרה, אך גם נמוכה מספיק, כדי לא להביא לידי הצתה מוקדמת.

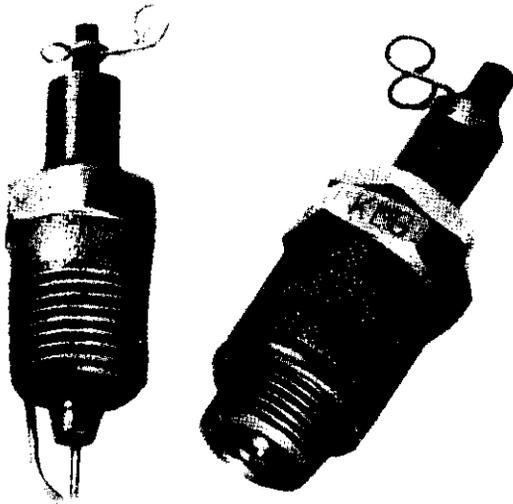
#### פתרונות ישנים

במצתים ישנים (ציור 1) השתמשו בחרסינה כמבדד, ובניקל בשביל האלקטרודות. שעה שאלקטרודות-ניקל הוכיחו שהן מתאימות למנועים להפליא, נתגלה שעל מבדדי החרסינה אי אפשר לסמוך. אף על פי שחרסינה הנה מבדד חשמלי טוב, יש לה מוליכות סגולית תרמית נמוכה יחסית, ולפיכך נוטה להתחמם יתר על המידה. מלבד זה, החוזק התרמי והמכני של



ציור מס' 1

מצת חרסינה מיושן בעל רגל ניצוץ הניתן להתאמה מבחוץ



ציור מס' 2

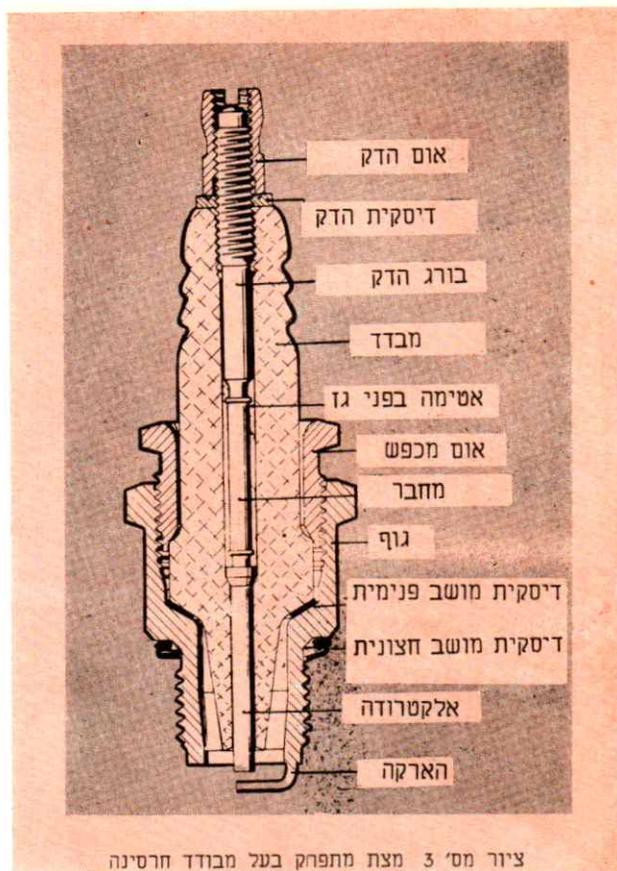
מצתי מיקה, בצד שמאל מצת עם אלקטרודות חוט ברזל שהיה בשימוש בפורד דגם T המפורסם. המצת בצד ימין הוא מצת מכונניות מירון משנות ה'20

מתכת תבריגי (ציור 3). זכוכית אטמה את האלקטרודה המר־  
 כזית אל המבדד ורוח הניצוץ הושלם על־ידי אלקטרודה מסוג  
 „תיל עליון“, או על־ידי אלקטרודה מסוג שלושה חודים.  
 מצתים מסוג זה כונו „מתפרקים“, משום שאפשר היה להסיר  
 את המבדד על־ידי התרה של אום הידוק תיל המתח הגבוה  
 כך, שניתן היה להרחיק בנוהיות רבה יותר את משקטי הפחם.  
 בימינו מעטים הם האנשים המוכנים להסתכן בפירוק מצת  
 כדי לנקותו, כך שלמעשה כל המצתים החדשים הם מסוג  
 ה„אחוד“ (שאי־אפשר לפרקו), שהמבדד שבו נאטם בקביעות  
 לתוך גוף המצת (ציור 4). לבד מן ההבדל היסודי הזה, שונים  
 מצתי ה„אחודים“ מקודמיהם ה„מתפרקים“ רק בפרטים הנוג־  
 עים לשיפורי התכנון וטכניקת הייצור. האלקטרודה המרכזית  
 ופין ההדק של הסוג המתפרק הישן (ציור 3), כללו בתוך  
 מבניהם שני רתכים. יתר על כן, מאחר שהזכוכית המקיפה  
 אותו לא היתה בלחץ בעת תהליך האטימה, יוצר חלקו המר־  
 כזי מסגסוגת יקרה של ברזל־קובלט־ניקל עם מקדם־התרח־  
 בות, המתאים לזה של הזכוכית והקרמיקה, כדי שלא יתפתח  
 בו שום רוחים.

במצת המתפרק החדש (ציור 4) פין ההדק והאלקטרודה הם  
 שני חלקים נפרדים זה מזה, המחברים יחד על־ידי אטימה של  
 זכוכית מוליכה חשמל, הממלאה כליל את החלל במרכז  
 האלקטרודה, שכן פין ההדק נדחק לתוכו בלחץ, כשהזכוכית  
 עדיין מותכת.

#### תחומי חום

הדרישה החשובה ביותר ממצת היא זו, שהמבדד שבו צריך  
 להישמר בטמפרטורת „ניקוי עצמי“ בתחום של 500–600



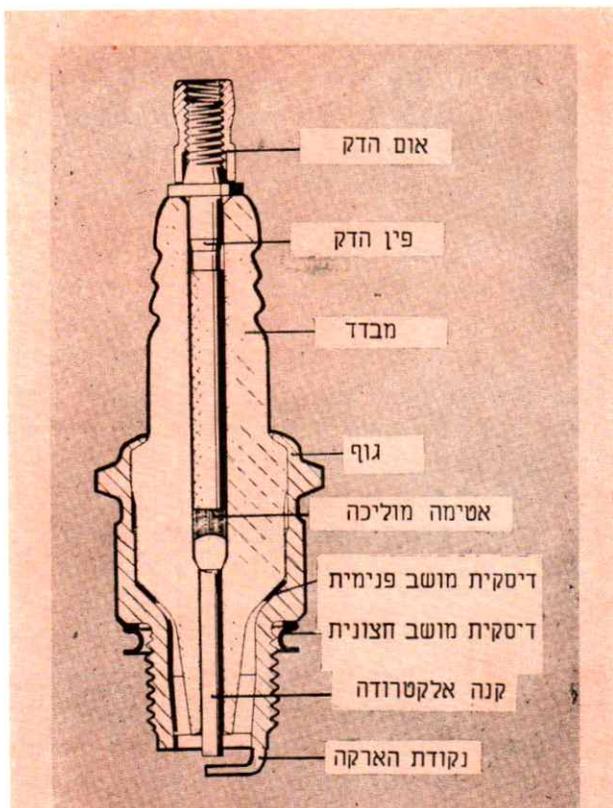
ציור מס' 3 מצת מתפרק בעל מבדד חרטינה

חרטינה נמוך מדי, ומנועים של מכוניות רבות נהרסו על־ידי  
 שברי חרטינה, שנפלו לתוך הצילינדרים. קשיים אלה נפתרו  
 על־ידי הכנסת מיקה כחומר בידוד. מצתי־מיקה (ציור 2)  
 נשארו בשימוש באופן משיבוע רצון בשנות ה־30, ומקצתם  
 עדיין מיוצרים כיום למטרות מיוחדות.

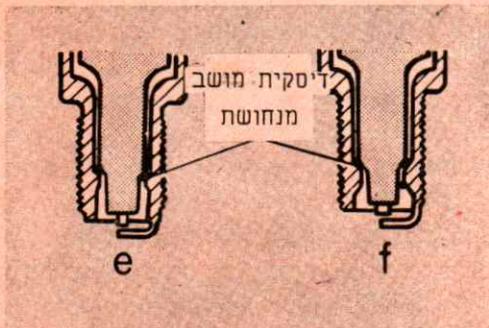
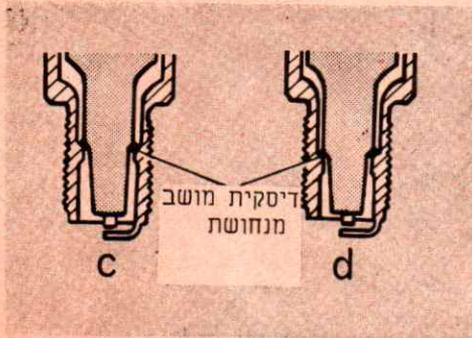
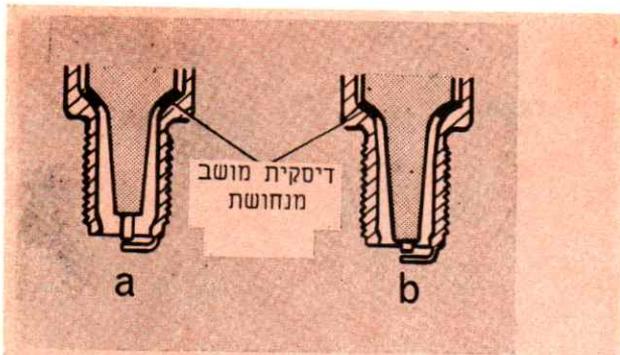
#### המצת החדש

המצת העשוי ניקל־מיקה התחיל להיעלם לפני מלחמת העולם  
 השנייה, כאשר היה זה נוהג שכיח להגדיל את ההתנגדות  
 לדטונציה (נקישה) של דלקי הבנזין על־ידי הוספת טטרה־  
 אתיל־העופרת (משמש להשבחת בנזין). הן הניקל והן המיקה  
 הותקפו באופן חמור על־ידי העופרת, דבר שסימן סופה של  
 תקופה נוספת בהיסטורית המצתים. כדי לפתור את הבעיות  
 האלו, סוגג הניקל של האלקטרודות במנגן וסיליקון, והש־  
 תמשו בקרמיקה תחת המיקה בשביל מבדדים. למעשה, גופים  
 רבים, העשויים חומר שנכרה מהאדמה, נקראים קרמיקה, כך  
 שהמונח לא רק כולל את החרטינה של סוגי מצתים ישנים  
 אלא גם צלחות משושלת „מינג“. אולם בעולם הטכנולוגיה  
 קרמיקה היא תחמוצת מתכת — בדרך כלל אלומיניום, המחו־  
 מם בצורת אבקה בכבשן ל־1,500 מעלות צלסיוס ומעלה.  
 החומר היוצא הוא קשה מאוד, בעל מוליכות סגולית וחוזק  
 תרמי נאותים, עמידות חשמלית טובה, חוזק מכני מספיק  
 להתנגדות גבוהה לשחיקה והתקפה כימית. באשר לקושי —  
 שבר של מבדד מצת ישן עשוי לחתוך אפילו זכוכית.

עד לפני שנים מספר היה מצת טיפוסי מורכב בעיקר מאלק־  
 טרודה מרכזית, העוברת דרך מבדד־קרמיקה מוחזק בגוף



ציור מס' 4 מצת מודרני בעל אלקטרודה קבועה עם ראש מוארך

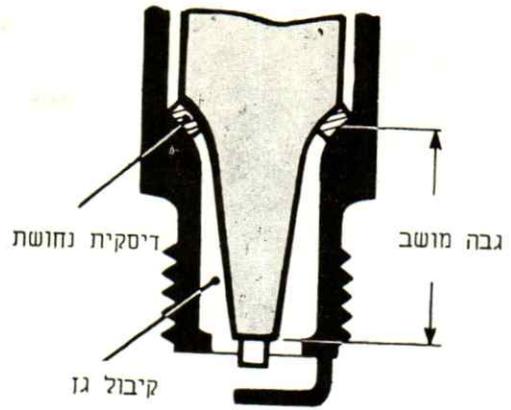


ציור מס' 6

סדרה של מצתים בעלי הולכות תרמיות שונות המשתנות בהדרגה מרך (a) לקשה (f)

שינוי קיבול הגז אפשר לבקר את כמות החום המגיעה למבדד המצת. עיקר שני הוא "גובה המושב", הקובע את האורך של מסלול זרם החום — מן החוד של המבדד לדיסקית הנחושת, המאפשרת להוליך את החום הלאה לתוך גוף המצת.

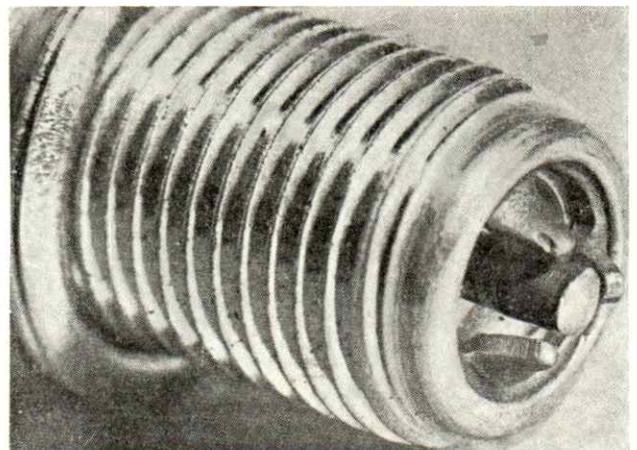
מצת המיועד למנוע בעל הספק נמוך — כדי להתחמם בתנאים קרים — מכונה מצת "רך" ויש לו קיבול גז גדול ומושב גבוה (ציור 6 — a) ולהיפך, מצת המתוכנן למנוע בעל הספק גדול (ציור 6 — f), צריך להתקרב בתנאים חמים ויש לו קיבול גז קטן ומושב נמוך. מצתים רכים שדיסקיות המושב העשוי נחושת שבהם, יושבות גבוה במצת מעל החלק התבריגי, מתוארים כבעלי מושב "עליון", בה בשעה שמצתים קשים, שדיסקיות הנחושת שבהם יושבות נמוך סמוך לחלל המצת, מתוארים כבעלי מושב "תחתון".



ציור מס' 5  
קיבול הגז — ראה במאמר

מעלות צלסיוס, הרבה מעל לטמפרטורה בה מתרחש זיהום מופרז על-ידי משקטי הפחם — בסביבות 350 מעלות צלסיוס — אך עדיין די מתחת לטמפרטורה של הצתה מוקדמת. המתרחשת ב-950 מעלות צלסיוס בערך. כדי לספק דרישה זו, צריך לבחור את שיעור הפסד החום מהמבדד לגוף, כדי להתאים את כמות החום הנמסרת למצת בכל מחזור שריפה. במנוע בעל הספק נמוך כמות החום הנמסרת למצת היא קטנה, ותא השריפה נשאר קר יחסית, למרות שבאותו זמן צריך מבדד המצת להתחמם מספיק כדי למנוע זיהום. לכן, שיעור הפסד החום מהמבדד לגוף המצת וראש הצילינדרים צריך להיות קטן.

במנוע בעל הספק גבוה ניתן חום רב מאוד למצת, אשר צריך להתקרר כדי למנוע הצתה מוקדמת. מכאן ששיעור המוליכות התרמית מהמבדד צריך להיות גדול. הואיל וההספק של מנוע בהצתת מצת יכול להשתנות מ-20 כ"ס לבלימה לליטר, או פחות במנוע נפט שבמערבל-בטון, עד ל-150 כ"ס בלימה לליטר במנוע-מירוץ, מיוצרים סוגים רבים של מצתים, שלכל אחד מהם מוליכות תרמית שונה. תחום זה של מוליכות תרמית מושג על-ידי הכנסת שינוי בשני העיקרים של מבנה המצת. עיקר ראשון הנו "קיבול הגז", שהוא נפח החלל בין המבדד ובין הגוף (ציור 5), הנוח לגישה להבות השריפה. על-ידי



ציור מס' 7  
מצת 3 חודים

זה הוקטן עד 14 מ"מ. הגודל המקובל של מצת נוכחי. מצתים למכוניות-מירוך, כגון אלה שנמצאים בשימוש בקובנטרי קלייניקס ובי.ר.מ. הם לעתים קרובות בעלי גודל של 10 מ"מ.

## נועה

### הסרה והחלפה

טיפול נאות במצתים מתחיל בהסרתם מעל המנוע. אם אין משתמשים במפתח-מצתים מתאים, עלול המבדד להיסק (ציור 9) או להיפגע. סדק דקיק, שכמעט לא נראה לעין, יביא לידי השארת עקבות, כשמחליפים את המצת במנוע.

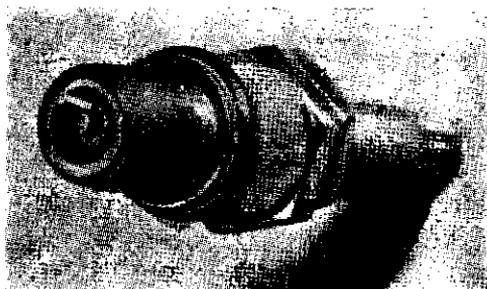
את דיסקית-המושב, היוצרת אטימה בפני גאזים ומסייעת בהולכת חום מהמצת אל ראש הצילינדר, צריך להחליף מדי פעם, כאשר מתקנים את המצתים, אחרי שנוקו. אסור להדק את המצת בכיוון מטה יתר על המידה, משום שדבר זה יענת את הדיסקית ויפגע בביצוע העבודה. פיתול בסביבות 21 ק"ג/מטר הנו המידה הנכונה למצתים בני 14 מ"מ, וכדאי לחוש מידת פיתול זו בעזרת מפתח-פיתול, כשאתה עובד במצתך. עצה מועילה לתיקון מידת הפיתול היא: להדק מטה את הדיסקית ואחרי כן להוסיף חצי סיבוב — אך לא יותר.

### ניקוי

באשר לניקוי, החלק החשוב של מצת, הוא המבדד המתכסה במשקטי פחם בתרכובות עופרת מוליכות. משקט זה יוצר קצר חלקי ומקטין את המתח השימושי באלקטרודות. המצת הישן מסוג "מתפרק", אפשר לנקותו על-ידי פירוק ועל-ידי ניקוי המבדד בנייר זכוכית. אסור בתכלית האיסור לגרד את המבדד באולר או בכלי דומה, שכן דבר זה פשוט יגרום להצטברות המתכת המוליכה על המשטח הקשה של הקרמי-קה — בדיוק אותו סוג של משקט. שאתה מנסה להסיר. מצתים חדישים מסוג ה"אחד" אפשר לנקות רק על-ידי מפתח-חול. את הניקוי רצוי לעשות בהתפרצויות קצרות אחדות יותר מאשר בהתפרצות אחת ארוכה, וזאת כדי להבטיח שכל

ציור מס' 8

מצת  
למכונית  
מירוך  
בעל  
אלקטרודה  
צדדית



ייתכן שהדבר המביך ביותר על אודות מצתים ותחומי חום הוא הפניון בו משתמשים לגבי אחדים מהנהגים והמכונאים. מצת חם הנו מצת המיועד למנוע בעל הספק גבוה או מנוע חם, ומצת קר מיועד למנוע בעל הספק נמוך. בגלל סיבות אלו יש להעדיף את המונחים "רך" ו"קשה", שהם חד-מש-מעיים יותר.

### סוגי אלקטרודות

למעשה כל המצתים המיוצרים כיום הם בעלי אלקטרודה מסוג "עליון" (ציור 4). המצת בעל שלושת החודים, שהיה מקובל פעם (ציור 7), נמצא כיום בשימוש לעתים נדירות. להלכה, אם הכיוון של הערבול בתא השריפה הוא בפנים-המצת במקביל לציר האורך שלו, תתן האלקטרודה בעלת שלושת החודים את התוצאות הטובות ביותר, שכן התערובת תעבור אחרי-כן דרך המצת, ומהלך ההצתה יהיה יעיל ביותר. כמריכו, אם כיוון הערבול, הוא מעבר לחלל המצת, בזווית ישירות לציר האורך שלו, נמצא שהמצת מסוג "עליון" הוא המועיל ביותר. מכל מקום, נמצא שערבול עשוי להיות בכיוון אחד לרצו, אולם ישנה כיוונו בסביבות מקסימליים. בכל תחום מהירות מושלם יהיה זה אך מקרי, שלסוג אחד של מצת לא יהיו יתרונות על פני סוג אחר.

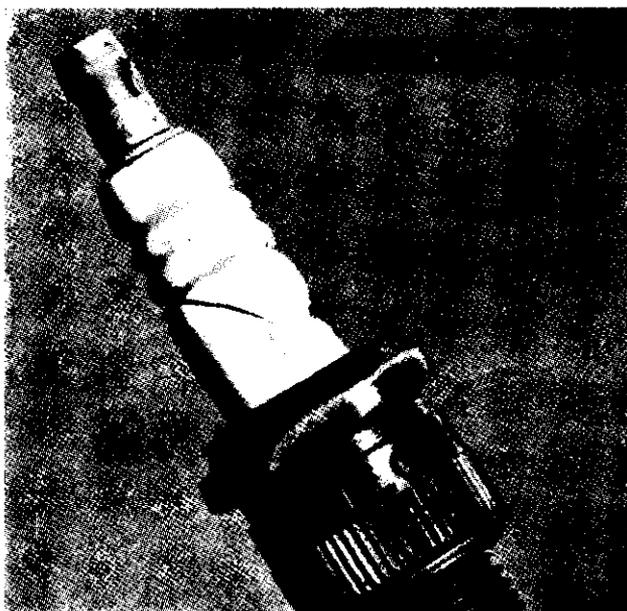
אולם בניגוד לסברה המקובלת, שיעור האירוסייה גבוה במצת בעל שלושת החודים (שלושה שטחים נוטים להשתחק באלק-טרודה המרכזית) מאשר במבחר של אלקטרודות מסוג "עליון". מלבד זה, קביעת רוח-הניצוץ של מצת בעל שלושה חודים היא קשה הרבה יותר, ויוצא אפוא, שהסוג "עליון" הוא כיום כמעט כל-עולמי, למרות שהמוליכות התרמית הגבוהה והרוח המוגבל המצוי מכריעים לטובת השימוש באלקטרודות-צד בעלות גומחה במצתים, המשמשים מכוניות-מירוך (ציור 8).

### עומק

העומק של מצת נקבע אך ורק על-ידי הישובים של חוזק מכני. בבריטניה למרביתם של המצתים עומק של  $\frac{3}{4}$  אינץ' המתאים לראשים עשויים סגסוגת קלה (שיש להם תברייגים הלשים יותר מאשר לראשים עשויים יצקת); אולם למען הנוחיות של תקנון (האחדה) משתמשים לעתים קרובות גם בראשי יצקת, אם כי אפשר להשיג גדלים אחרים. בארה"ב, כדי לצמצם את הזמן הדרוש להחליף קבוצה של שמונה מצתים, משתמשים בעומק של  $\frac{3}{8}$  אינץ' בראשי יצקת. למצתים האירופיים בדרך כלל עומק של 12.7 מ"מ ( $\frac{1}{2}$  אינץ').

### גודל

מצת-המיקה המשוכלל ומצת-הקרמיקה שלפני מלחמת העולם השנייה היו בדרך כלל בעלי גודל של 18 מ"מ (הגודל מתיחס לקוטר של החלק התברייגי). אך בטכניקה החדשה גודל



ציור מס' 9

שימוש במפתח לא מתאים להוצאת המצת עלול לגרום לסדקיח

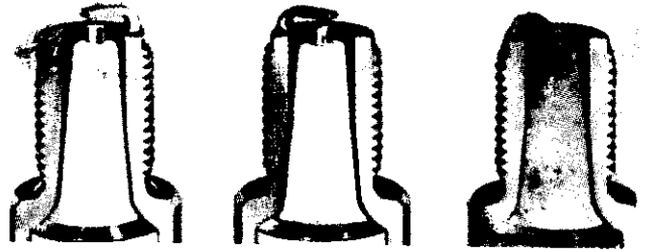
אחרי תנועה של מאות אחדות של קילומטרים יכול מראה המצת להעיד באופן גס מאוד על מצבי תא השריפה, אך אם אלה חמורים מאוד, ספק אם המצת אינו מתאים, ייתכן שלא דבקו בהמלצות היצרן או שהמנוע תוקן בדרך שלא התנסה בה קודם לכן. כדי ל"קרוא" את המצתים בדרך זו, יש לחמם את המנוע היטב, להפעילו בסיבובים מקסימליים בעומס לפרק-זמן (נאמר, לשלושה עד חמישה קילומטרים בהילוך בינוני), להפסיק את המנוע (שמוסיפים ללחוץ על המנוג) ולא להחליף את ההילוך לאחר מכן. אם המנוע והמצת מתחממים יתר על המידה, יהיה המבדד נטול-צבע, האלקטרודות לבנות כמות והתברייגים התחתונים כחולים עם מעט חום (ציור a11). כאשר כל דבר מתאים, יצטברו משקטים פתיתיים לבנים-אפורים על פה-המצת וצבע "שוקולד חלב" יופיע על המבדד (ציור b11). לעומת זאת אם המצת קר מדי, התערובת עשירה מדי, או שמן עובר את טבעות הבוכנה או את כוננת השסתומים, המצת יהיה שחור ומכוסה פיח או שמן (ציור c11).

### סוג של מצת

חשיבות רבה נודעת לשימוש בסוג הנכון של מצת, כפי שהוסמך על-ידי יצרן המכונית, או כשמבקשים שינוי של האיות, כפי שמצוין ברשימת ההמלצות של יצרן מצתים. שימוש בסוג לא נכון עלול להביא לידי השתמנות, לבעירת שיא מהירה, או במקרים קיצוניים, לנזק ממשי למנוע. במנוע בלוי, בו הסוג התקני של מצת משתמן לעתים קרובות, אפשר להשתמש באורח זמני בסוג רך יותר, כדי לדחות את מועד שיפוץ המנוע.

זכור, שהמצת מן הסוג הנכון יפעל רק כפי שהועידו לו, אם נשמר רוח ניצוץ ככל האפשר לפי המומלץ. הכנסה של מצת "ישר מן החבילה" אינה יעילה, משום שאפילו קבעו היצרנים את הרוח בצורה נכונה למכוניתך, ייתכן שהמצת הופל או נמדך מקצה אל קצה; על-כן בדוק תמיד את רוח הניצוץ במועדים קבועים.

ציור מס' 11 מצת שהתחמם יותר מדי (a) מצת תקין (b) מצת קר מדי (c)



ציור מס' 10 משתאל לימין — מצת חדש, מצת נקי הניתן עדיין לשימוש ומצת שאי-אפשר להשתמש בו

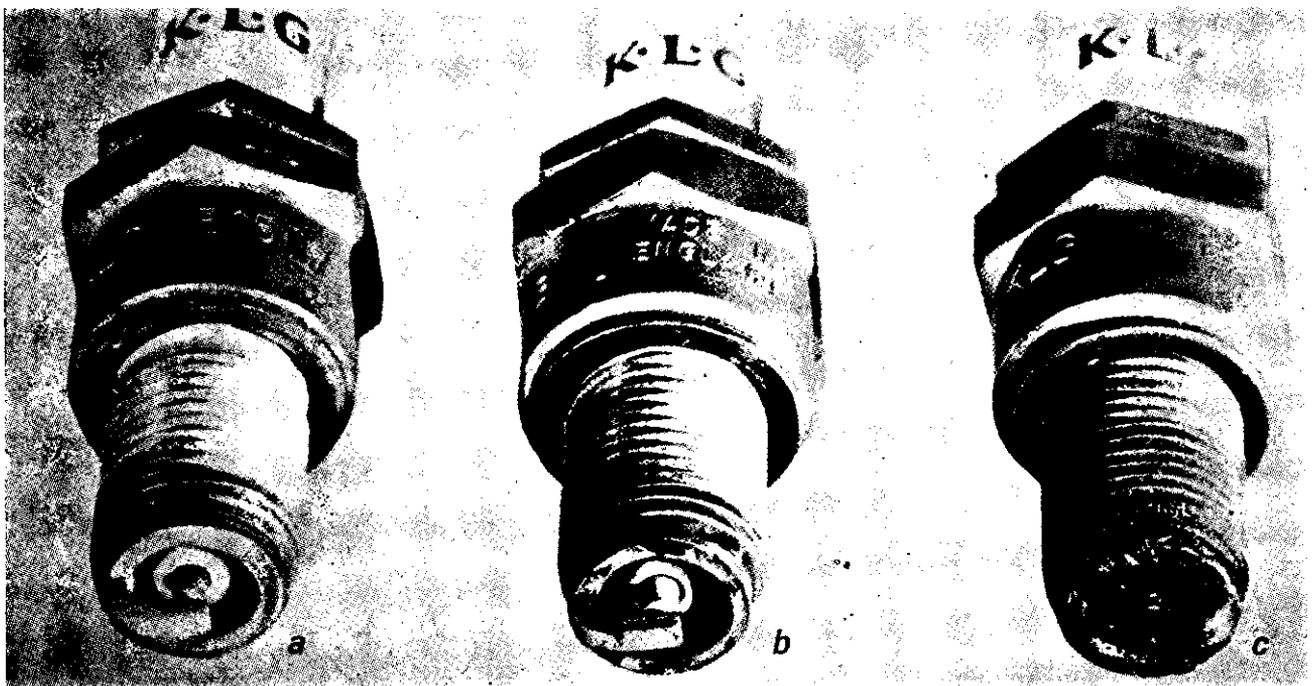
המשקטים יתנקו — אך שמשטח הקרמיקה לא יישחק. מבדד שלא שינה עדיין את צבעו אחרי ניקוי (ציור 10), מורה שהמשקטים חדרו עמוק מדי לתוך המשטח של המבדד, ומצת מעין זה לא יתאים כלל לשימוש נוסף.

### רוח ניצוץ

כאשר מגלים את רוח הניצוץ, כדי לקבוע אותו מחדש, יש לדחוק את עלה המדירה לעבר שפת המצת יותר מאשר לעבר האלקטרודה המרכזית, פעולה זו עלולה למנוע נזק חמור, שלא תמיד נראה לעין בבקורת חזותית, אותו נזק, המביא לידי פעולה לא תקינה.

### קריאה

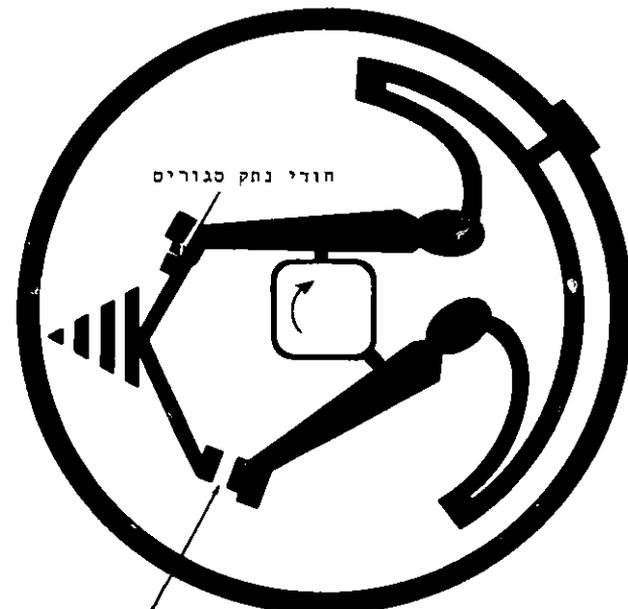
"קריאת" הצבע של מצתים, כדי לקבוע את הדיוק של סוג המצת ושל ההצתה והפחמון, כפי שהדבר נעשה על מסלול-המירוץ, הנה קשה וענין שנוי במחלוקת, והיא בהחלט למעלה מיכולתו של אדם שאינו בעל מקצוע. אם מנסים "לקרוא" אחרי ביצוע עבודה, כגון סילוק הפחם, אי אפשר יהיה לאכזר את הליקוי, כל ליקוי בתנועה יורגש בהתבוננויות אחרות, לפני שמגלים שינוי ניכר של צבע במצת נקי אחרי תנועה קצרה.



# רענון ידיעותיך!

## מערכת ההצתה

חלק ב'



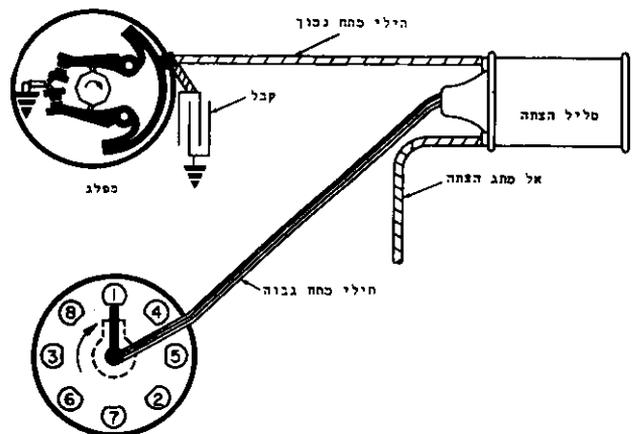
ציור מס' 11

מפלג בעל מערכת חודי נתק כפולה לפעולות חילופין

זמן ארוך יותר כדי ליצור שדה־מגנטי בסלילה־ההצתה. פעולה במשולב — שיטה נוספת לשימוש במערכת כפולה של חודי־נתק היא השיטה במשולב. שיטה זו מאפשרת להאריך את הזמן בו סגורים חודי־הנתק, וליצור עלי־דיכך שדה־מגנטי חזק יותר. המערכת הכפולה של חודי־הנתק מחוברת באופן חשמלי במקביל, אך משתמשת בפיקת מפלג, שבה נמצאות מחצית הפיקות מאלו הקיימות בסוגים האחרים. מערכת זו מוצבת כך, שזוג חודי־נתק ייסגר מיד אחרי שבן זוגו ייפתח (ציור 10). עלי־דיכך ייצצר פרק־זמן מפסימלי בו תהיה מערכת חודי־הנתק סגורה. בציור 11 יש תיאור סכמטי של מערכת כפולה של חודי־נתק במנוע בעל 8 צילינדרים. ולעומת זאת מתאר ציור 10 מערכת כפולה של חודי־נתק במנוע בעל 8 צילינדרים, אך מספר הפיקות שעל גל הרוטור שלה הוא כמספר הצילינדרים.

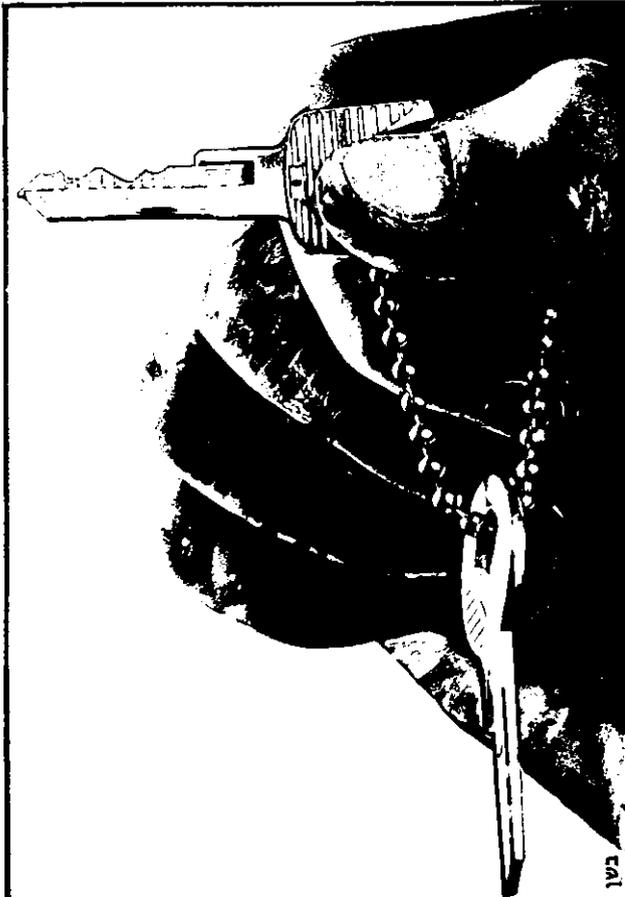
מפלג בעל מערכת כפולה של חודי נתק מספר מפלגים כוללים מערכת כפולה של חודי־נתק. המוצב בים במקביל זה לזה. המטרה היא לסגור את חודי־הנתק לזמן ארוך יותר, כך שייצצר שדה־מגנטי חזק יותר של סלילה־ההצתה. בדרך כלל משתמשים בסוג זה של חודי־נתק במנועים בעלי 8 צילינדרים ויותר.

פעולה במקביל — כדי לבטל תופעות של הקפצה עצמית בחודי־הנתק, וכן כדי למנוע עומס גדול מדי עליהם, אפשר להשתמש במערכת כפולה של חודי־הנתק, המוצבים במקביל ומכוונים להיפתח בעת ובעתה אחת (ציור 10). אם זוג אחד של חודי־נתק נוטה להקפיץ את עצמו במהירויות גבוהות של המנוע, תהיה גם לזוג האחר של חודי־הנתק נטיה להקפצה, אם כי בפרקי־זמן שונים. עקב כך ייסגר המעגל בצורה יעילה יותר מאשר בעת שימוש זוג אחד של חודי־נתק. חודי־הנתק מכותים כך, שזוג אחד של חודי־נתק (למרות היותו מחובר במקביל) נפתח זמן קצר לפני הזוג האחר של חודי־הנתק. המעגל עצמו נפסק עם פתיחת הזוג האחר של חודי־הנתק. אך מטרת הכוונה היא לפתוח את זוגות חודי־הנתק בשלבים, כדי להגיע לתוצאות שהוזכרו לעיל. שני הזוגות של חודי־הנתק פתוחים למשך זמן קצר ביותר, דבר המאפשר פרק־



ציור מס' 10

חודי נתק כפולים מסודרים לפעולה במקביל



# להתנעה מיידית - מצבר וולקה

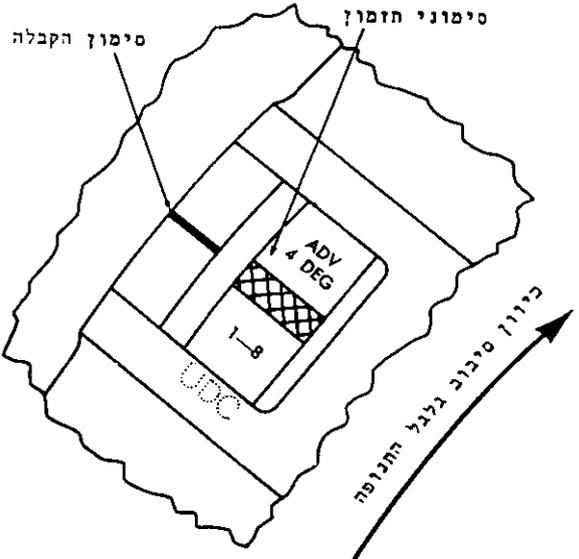


שרות נאמן  
אחריות מלאה

**סולכור** המפיצים



נשן

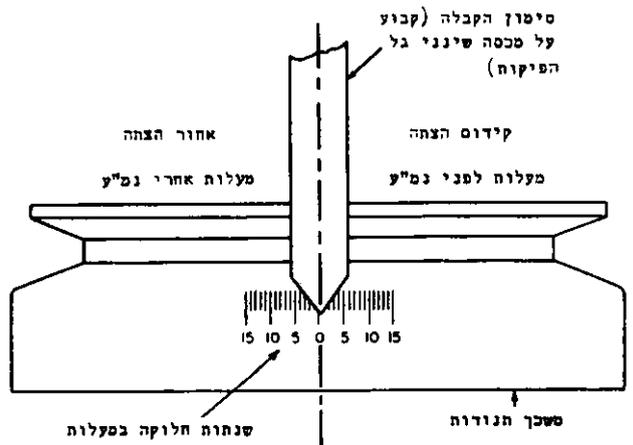


ציור מס' 12  
סמני תזמון על גלגל התנופה

### תזמון ההצתה

תזמון ההצתה במנועים דרוש, כדי שחודי-הנתק ייפתחו בזמן המתאים לתנועת הבוכנה בצילינדר, וכדי להבטיח שהרוטור במפלג יעביר את המתח הגבוה באותו הזמן לאותו הצילינדר. לעתים דרוש שינוי בתזמון ההצתה כתוצאה ממצבו המכני של המנוע. לרוב המנועים יש סימני תזמון על גלגל התנופה או על גלגל-משכך-התנודות (ציורים 12 ו-13). את הסימור נים המתאימים בגלגל-התנופה או בגלגל-משכך-התנודות יש להזיז לעבר חץ הסימון שבגוף המנוע. הסימנים מול החץ מציינים, בדרך כלל, כי הבוכנה בצילינדר מס' 1 נמצאת בנמצ"ע. יש לנודא באיזה מהלך נמצאת הבוכנה; אם המהלך הוא סוף מהלך-הפליטה, יש להשלים סיבוב נוסף של גל-הארכובה כדי להקביל את הסימונים לחץ. יש שתי שיטות מקובלות לקביעת תזמון ההצתה: האחת היא שיטת התאורה בעזרת נורה בעלת מתח נמוך (על-פירוב, מתח המערכת

- המשך בעמ' 30 -



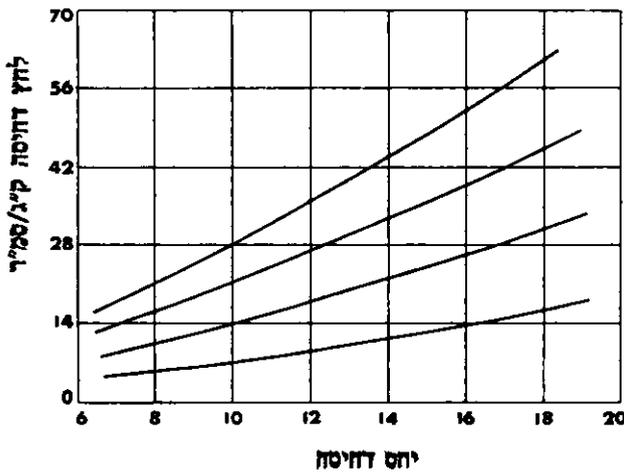
כיוון סיבוב גל הארכובה

ציור מס' 13  
סמני תזמון על משכך התנודות

# יחס דחיסה

## משנתנה

דו"ח על מחקר שנעשה במנוע דו-פעימי, בעל הצתת דחיסה, שנועד באופן מיוחד למגדש-טורבו



ציור מס' 1

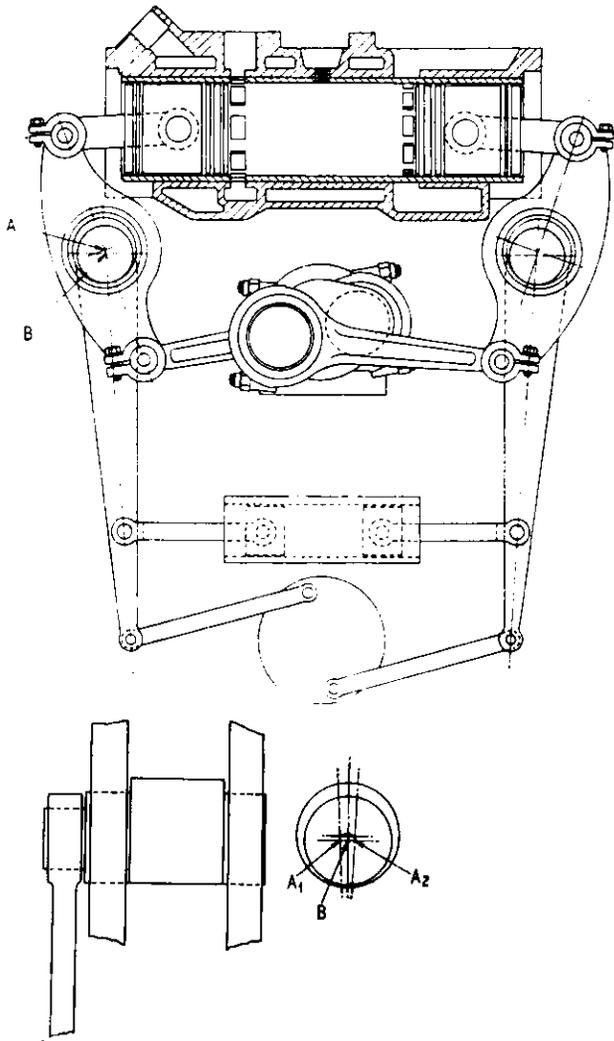
לחצי דחיסה כפונקציה של יחס הדחיסה והלחץ של המטען הכלוא

אם מבדילים את יחס הדחיסה של המנוע. תופעה זו משפרת את תצורות מנוע בבנוי, הפועל בעומס-חלקי. ידוע היטב שבמנוע דיזל, מטען של אויר נקי, בעל צפיפות קבועה בקירוב בכל העומסים, נשאב לתוך הצילינדר ונדחס. דלק מוזרק קצת לפני הנקודה המתה העליונה והטמפרטורה הגבוהה של האויר הדחוס גורמת להצתת הדלק. בקרת העומס של מנוע דיזל מושגת על-ידי שינוי חוזק התערובת. היינו, על-ידי שינוי כמות הדלק המוזרקת לתוך מסה קבועה של אויר; בכל העומסים תהיה הצפיפות של אויר זה קבועה בקירוב. יחס הדחיסה המינימלי נקבע על-ידי אותו יחס הדרוש, כדי ליצור טמפרטורה גבוהה מספיק על-מנת להצית את תערובת האויר עם הדלק. לעומת זאת יחס הדחיסה המפסימלי נקבע על-ידי גורמים שונים, כמו: ניצול האויר,

גבולות המינימום והמפסימום ליחס הדחיסה, בו אפשר להשיג תמש, לצורך השגת פעולה אופטימלית במנוע, נקבעים על-ידי גורמים מספר. ברור, שבכל המנועים, יהיה הגבול המפסימלי גבוה יותר בעומס קטן, מאשר בעומס גדול. מסיבה זו, יהיה צורך ביחס דחיסה משתנה (Variable Compression Ratio — V.C.R.), כדי להשיג את התנאים האופטימליים לאורך כל תחום ההעמסה של המנוע. את בעיית ייצורו של מנגנון, המשנה את יחס הדחיסה, ניסו לפתור רוב מתכנני המנועים בזמן מן הזמנים.

בקרת-העומס של מנוע בעל הצתת ניצוץ, מושגת על-ידי שינוי צפיפות התערובת האחידה, של אויר ובנוי, הנשאבת לתוך הצילינדר. כיוון שכך, תגיע התערובת בתחילת פעימת הדחיסה של מנוע naturally-aspirated הפועל בעומס נמוך ללחץ אבסולוטי של 0.350 ק"ג/סמ"ר, אבל בעומס מלא יגדל לחץ אבסולוטי זה ל-1.0 ק"ג/סמ"ר.

יחס הדחיסה השימושי, המפסימלי מוגבל על-ידי הופעת הדטר נציה ועל-ידי לחצי השיא המפסימליים, המותרים בצילינדר במשך הפעימה. בדרך כלל, מהווה הדטונציה את הגורם המגביל, מפני שאת הלחץ המפסימלי ניתן לבקר בשלב התכנון. ציור מס' 1, מראה בצורה גרפית את השפעת הלחץ (בתחילת הדחיסה) על שיא-הלחץ בדחיסה עבור יחס דחיסה מסוים. לחץ שיא זה, הוא גורם חשוב, המשפיע על דטונציה התערובת. אם משיגים, במנוע מסוים, פעולה ללא דטונציה בלחץ דחיסה שהוא מתחת ל-17.5 ק"ג/סמ"ר, הרי ברור, שמבחינת הדטונציה, מוגבל יחס הדחיסה האופטימלי לזה אשר נתון לחץ זה. באמצעות אומדנת מלבד (extrapolation), מראה ציור מס' 1 עקומה (ציור 2) את יחס הדחיסה המתאים ללחץ דחיסה של 17.5 ק"ג/סמ"ר לאורך תחום העומס-המלא. גוסף ליתרון של יחס דחיסה משתנה לצורך בקרת הדטונציה, התברר לאחרונה, שאפשר לשרוף תערובות אויר-דלק עניות יותר,



ציור חס' 3

שרטוט דיאגרמטי של מנוע V.C.R. דיפעימי שחוכנו במיוחד לגידוש טורבו. יחס הדחיסה מכוונן בעזרת צילינדר הידרואלי המתואר מעל למנועון הסינכרוני; הציר של הגל בתוך אחד ממנופי הכיוון נראה ב-B, והציר של הנדנדו ב-A. בהשלכה מן הצד של ציר אחד הנדנדוים בציר הקטן -  $A_2$  ו-  $A_1$  הם המצבים הקיצוניים של ציר הנדנדו

נוצרת על-ידי שסתום כדי לאפשר תנאי פליטה שונים, לאלה שהיו דרושים כדי ליצור את לחץ ההמרצה מפליטת גזי מגדש טורבו. נסיונות קודמים עם מנוע זה, בהצתת ניצוץ של תערובת אויר-בנוזל, נתנו ביצועי עומס-מלא טובים, אך בעומסים חלקיים היו התוצאות דלות. כדי להגיע לתוצאות אידיאליות, היו צריכים להשיג תנאי עומס-חלקי, על-ידי שימוש במטען שכבתי. אלא, שדבר זה, הסתבר, קשה להשיג באופן מעשי בכל תחום-העומס ותחום-המהירות שעמדו לבדיקה.

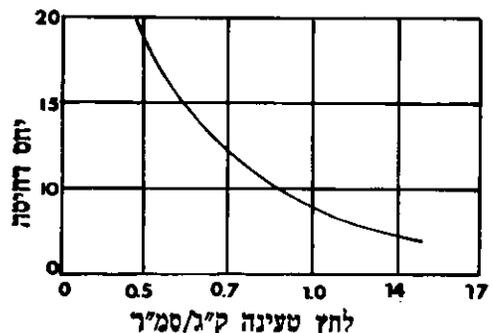
פעולתו של מנוע, כמנוע דיזל, אינה מהוה קושי. עבור גדלים של מנועים המפתחים עד 600 כ"ס בלימה, עשויה מערכת ה-V.C.R. להוכיח את עצמה. עבור מנועים גדולים יותר, תהיה בוכנת Bicara, המאפשרת יחס דחיסה משתנה, בעלת יתרונות. מחיר ייצורן של מכונות אלו יקר וההוצאה הנוספת תשולם ביתר קלות על-ידי קונה מנוע גדול מאשר קטן. בוכנת Bicara טיפוסית מתוארת בציר מס' 5. בתכנון זה של בוכנה, ניתן להשיג קרקטריסטיקת פעולה הדומה לזו של מנוע די-

היעילות הנפחית ושיא-הלחץ במשך הפעימה. להתנעה קרה והפעלה תחת עומס קל, דרוש יחס דחיסה גבוה יחסית, אבל כאשר המנוע עמוס מאוד, הרי הקטנת יחס הדחיסה עלולה להיות לעתים יתרון. דבר זה, הוא בעל חשיבות מיוחדת במנועים רבי-דלקיים. אם המנוע מוגדש על-ידי מגדש טורבו המנצל את גזי הפליטה, דרושה הקטנה של יחס הדחיסה בעומס כבד להשגת פעולה אופטימלית. כדי להגיע מגדש טורבו בעומסים נמוכים, יש אנרגיה קטנה מאוד בגזי הפליטה וגם לא נוצר גדוש ניכר של האויר. לכן, כדי לאפשר כושר התנעה בקור ופעולה בעומסים קלים, ידרוש המנוע יחס דחיסה של 14 עד 18 ל-1. עם הגברת העומס, תגבר גם אנרגיית גזי הפליטה. מסיבה זו יוצר יותר כוח על-ידי טורבינת גזי הפליטה, ואויר בכמויות גדולות יותר יסופק על המדחס אותו היא מניעה.

בעומס מלא, תהיה אנרגיית גזי הפליטה ניכרת, ומגדש הטורבו יוכל ליצור אז רמה גבוהה של הגדשה. בבחירת יחס דחיסה של 14 ל-1 יושגו לחצי-שיא, אשר יעברו כנראה 140.5 ק"ג לסמ"ר. כיון שכך, המנוע חייב יהיה להיות חזק וכבד יותר, מאשר הוא צריך להיות, אילו היו משתמשים ביחס הדחיסה המינימלי, הדרוש כדי לקבל הצתת המטען גם בתנאי עומס מלא.

מן האמור לעיל מתברר, שסידור לשינוי יחס הדחיסה יהיה יתרון במנוע הצתת ניצוץ ובמנוע דיזל באותה מידה. למעשה, הנסיונות להכניס מגדש טורבו המנצל גזי פליטה לתחומיו, אינם מהוים יתרון בלבד, אלא גם הכרח המציאות. שתי שיטות מעשיות של שינוי יחס הדחיסה היו בפיתוח במשך העשור האחרון. האחת היא בוכנת Bicara והשניה הוא מנוע ה-V.C.R. דיפעימי של הקולג' האוניברסיטאי בדובלין. בוכנת ה-Bicara מתאימה במיוחד למנועים גדולים יותר, בעלי ארבע פעימות המפתחים כ-100 כ"ס בלימה בכל צילינדר. לעומת זאת, מנוע V.C.R. דיפעימי מתאים יותר לרכב כבד או קטרים, יחידות המפתחות כ-50 כ"ס בלימה בכל צילינדר.

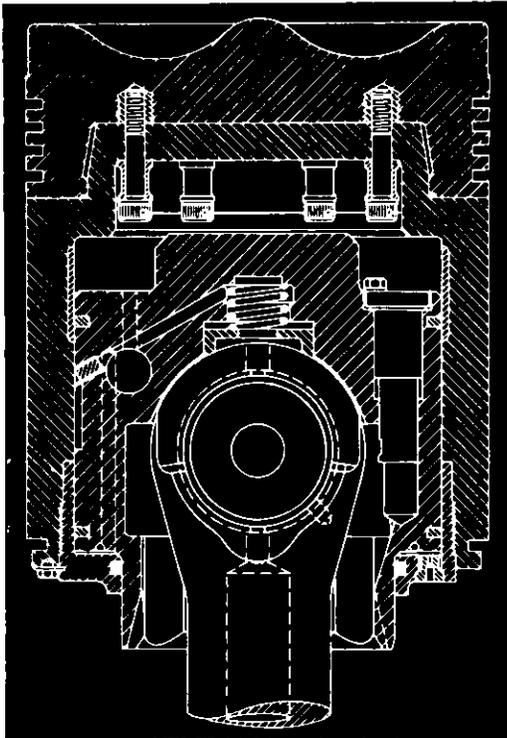
מנוע ה-V.C.R. דיפעימי בבית-הספר האוניברסיטאי בדובלין, מתוכנן במיוחד עבור מגדש טורבו. הוא הופעל בהפסקים של 1 כ"ס בלימה לאינץ' של קיבול הצילינדר עם לחצי שיא מתחת ל-98.5 ק"ג/סמ"ר. שרטוט סכימתי של מנוע זה נראה בציר מס' 3. מובלט בו ההתקן לשינוי יחס הדחיסה. למנוע זה קיבול צילינדר של 30 אינץ', עקומת פעולה טיפוסיות בעומס-מלא נראות בציר מס' 4. הספקת אויר חיצונית בלחץ גבוה יוצרת את תנאי ההמרצה הגבוהים. מערכת הפליטה



ציור מס' 2

השינוי של יחס הדחיסה הנותן לחץ דחיסה קבוע של 17.5 ק"ג/סמ"ר

להספק ספציפי גבוה יותר. אם ישתמשו בשיטת תכנון כזו, הרי קיימת אפשרות שההספק הספציפי של מנועי דיזל בעל מגדש-טורבו יתעלה על זה של מנועי בנזין רגילים. למעשה,



ציור מס' 6  
חתך של בוכנת Bicer

יוכל כנראה ההספק של מנועי דיזל ביחס לגודלם ומשקלם במשך עשר השנים הבאות, מבלי להפסיד מעילותם או אמינותם.

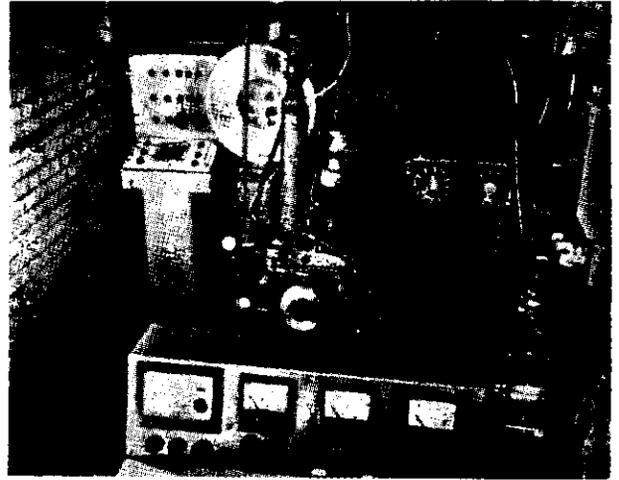
מתוך: AUTOMOBILE ENGINEER, VOL. 54, No. 5, 1964

### מערכת ההצתה - המשך מעמ' 27 -

החשמלית של הרכב); השניה שיטת התאורה באמצעות נורת-ניאון.

בשיטה הראשונה מחברים את הנורה לחדי-הנתק ולמקור זרם באמצעות תילים. על-ידי סיבוב המנוע נפתחים חדי-הנתק הנורה ככה. במצב זה יש לודא שהסימונים על גלגל-התנופה מקבילים זה לזה. אם הסימונים אינם מקבילים, יש להקביל ולהזיז את גוף בית-המפלג למצב בו תכבה הנורה. עם השלמת פעולה זו, יימצא צילינדר מס' 1 במנוע במצב הצתה.

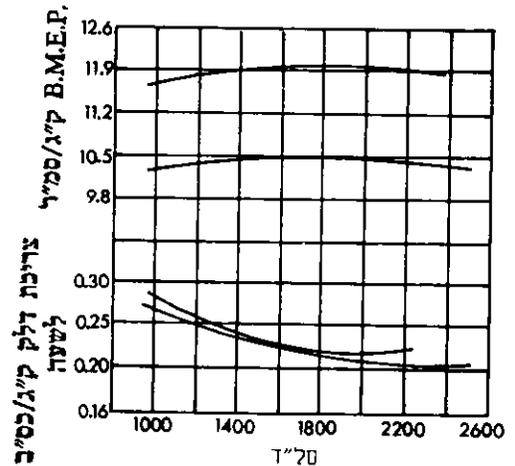
בשיטה השניה משתמשים בנורת-ניאון, המחוברת לצילינדר מס' 1 במנוע, בעוד שהנורה עצמה מכוננת לפתח-הביקורת או לגלגל-משכך-התנודות. תזמון-ההצתה נעשה כאן בעת שהמנוע פועל, ולכן יש לתזמן לפני כן את המנוע לפי השיטה הראשונה ולכוון בדיוק באמצעות נורת-הניאון. אם המפלג מצויד במערכת כפולה של חדי-הנתק, יש לבצע סנכרון מערכת חדי-הנתק בינם לבין עצמם, לפני תזמון ההצתה.



ציור מס' 4  
מנוע 2 פעימות עם צילינדר V.C.R. יחיד בבדיקות במעבדה

פעימי, בעל יחס דחיסה משתנה ממנועים בעלי מבנה מקובל יותר. הוכח, שבוכנה זו היא בעלת ערך רב בהשגת הספק ספציפי גבוה ממנועים, שתוכננו עבור קטרים ועבור שימוש ימי. מנועים אלה, הפועלים ב-4 פעימות, הוכיחו בשעת ניסוי, שהם מסוגלים לשמור על B.M.E.P. קבוע העולה על 14 ק"ג/סמ"ר, כאשר משתמשים במגדש-טורבו המופעל על-ידי גזי הפליטה. קיימים מספר דגמים של מנועי V.C.R., אך אלה נועדו למטרות מחקר בלבד, מבלי שיהיה להם שימוש מעשי. באחד מהם מתוכנן ראש הצילינדר בצורה כזאת, שאפשר להרימו או להורידו בעזרת בורג כיוון עדין, כדי להגדיל או להקטין את המידות בין ציר גל הארכובה וראש הצילינדר. בצורה זו משנים את נפח החלל מבלי לשנות את צורתו החיצונית פרט לשינוי בגובהו. למרות, שמנוע זה הוכיח את עצמו בעבודה במעבדה, אין הוא מתאים לייצור המוני בשעה שיש צורך במנוע רב-צילינדרים.

נראה כי מנוע דיזל עם מגדש-טורבו, המצויד באמצעים לשינוי יחס הדחיסה יגיע לצרכן כהתפתחות הגיונית של השאיפה

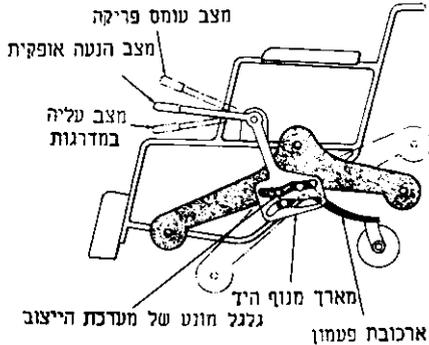


ציור מס' 5

עקומות סיפוסיות של פעולה בעומס מלא של מנוע V.C.R. בעל פעימות שיא מוגבלות. לחץ השיא המכסימלי בעקומות העליונות, גבוה מהלחץ המכסימלי בעקומות התחתונות

# עליה במדרגות בעזרת כסא גלגלים

משנה את היחס הזויתי הרונח בין מסגרת הכסא למוטות המתלה, ומשאירה את מסגרת הכסא במצב האנכי הרצוי. כשהמתלה מגיע לזווית הנטייה הסופית שלו, מביא סיבובה הנוסף של הפיקה להתרת ממסרת גל הפיקות מתוך מערכת גלגלי השיניים, ובכך לניתוק מערכת הבקרה המפקחת על מצב הכסא.



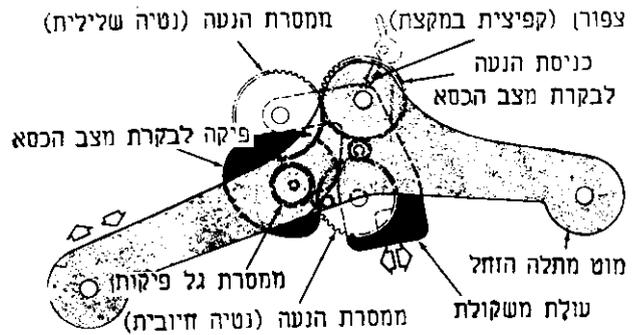
**דרך פעולה** הן של נסיעה רגילה והן של עליה במדרגות מתבצעת על ידי גלגלי יד נפרדים ומערכת הנעה המונעת ברצועה. שינוי במיקום הגלגלים מבטיח מרכז כובד נמוך יותר דבר החשוב במיוחד בעת עליה או ירידה במדרגות.

מערכת בקרה חדשה זו נמצאת בשימוש בכסא-גלגלים מדגם חדש לנסיעה במישור האופקי וכן לעליה במדרגות. תכליתה — להחזיק את היושב בכסא במצב אנכי בעת עליה או ירידה וכן למנוע סכנת נפילה בשעת מעבר מעליה לירידה או להיפך.

הכסא עצמו מצויד בשתי מערכות הנעה נפרדות המונעות בכוח שרירים, באמצעות רצועה. מערכת אחת מניעה זוג גלגלים לשם נסיעה במישור האופקי. האחרת מניעה זחל לשם עליה במדרגות. המעבר מדרך פעולת הנעה אחת למשנה נעשה על ידי הגבהה והנמכה של זוג גלגלים קטנים מתקפלים והעברת גלגליהם. סידור של מנועולי-בטיחות נועל את הזחלים בבטחה כאשר אין מניעים אותם.

כסא-הגלגלים החדש ניתן לקפול לצרכי הובלה.

מערכת גלגלי-שיניים, מורכבת על עולת משקולת. נמצאת בשימוש במערכת בקרה שתפקידה לבקר את מצבו של כסא-הגלגלים כשזו עלולה במדרגות. מערכת גלגלי-השיניים מחוברת בצידה האחד לגלגל יד, המספק כוח מניע, היא מחזקת במישור יחס קבוע החדות לפעולת משקולת האנך של העולה. מערכת גלגלי-השיניים משתלבת באורח אוטומטי כל פעם שמצב כסא-הגלגלים משתנה עקב נטיה קלה באחד הכיוונים. בעת השילוב, מניעה מערכת גלגלי-השיניים ממסרת גל-פיקות. כאשר הפיקות מסתובבות, פועלים הפרופילרים לים שלהן כנגד גלגלים — מונעים המותקנים אל מוטות המתלה שבשני צדי ההינע הזחלי. פעולה זו היא אשר



ממסרת הנעה לבקרת מצב הכסא, מחוברת לעולה המסתובבת על אותו ציר המורכב במסגרת-הכסא כמו ממסרת הכניסה. הודות למשקולת שומרת העולה תמיד על מצב קבוע ביחס לאנך. כאשר מוט המתלה של ההינע הזחלי סוטה ממצבו האופקי, משתלב גל הפיקות לאחת ממסרות הנעה הביניים (תלוי בכיוון הנטייה). כאשר הפיקות המורכבות במסגרת — מסתובבות, משתנים הפרופילרים שלהן ופועלים כנגד גלגלים חונטים המותקנים במוטות המתלה. פעולה זו גורמת להנעת מסגרת הכסא כפי הדרוש, למניעת שינוי מצבו



גלגלים קטנים המתקפלים בעת עליה למדרגות מעלים את הזחלים מעל פני השטח בעת נסיעה רגילה. כדי לשמור על הבטיחות, פני היושב חייבים תמיד להיות מופנים כלפי מטה, אם בעליה ואם בירידה.

טכנולוגיה

# חיימתושיית

## הדף הלוע בתותחי טנקים ותופעות הלואי

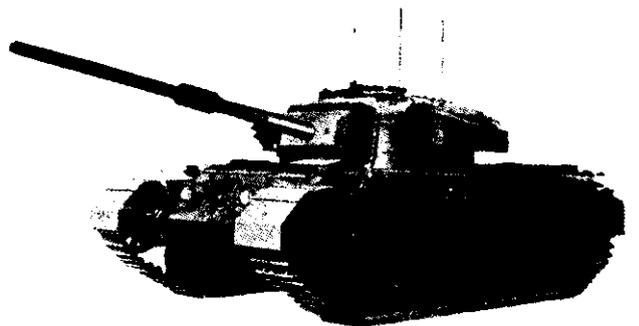
ביצוע ירי בתותח טנק נראה, לכאורה, תהליך פשוט למדי. אולם, עם הלחיצה על ההדק מתרחשת שורת תופעות אשר בחלקה עלולה להביא לידי קשיים בביצוע מדויק ויעיל של הירי. במאמר זה ניגע במספר תופעות הקשורות בהדף הלוע, ננסה לעמוד על סיבותיהן ונראה מה מידת השפעה יש להן לגבי המשך הירי.

דוד בנאור

התותח ובמהירות הלוע. במהירות הלוע המקובלת כיום בתותח 105 מ"מ בריטי (של כ־1475 מטר לשנייה), בלתי אפשרי כמעט לאכן את הפגיעה בטוחים הנופלים מ־1200—1500 מטר. גם בטוחים ארוכים יותר, נדרש מאמץ רב לאיכון הפגיעה, אף בתנאים הטובים ביותר. בירי בתנאי מדבר נוצר קושי נוסף, אשר בחומרנו עלול לעלות על כל הקשיים שנימנו לעיל — והוא: העלאת אבק לפני הטנק כתוצאה מהדף הלוע. האבק נוצר במהירות כזו, עד כי תוך פרק זמן של פחות משנייה, מתכסה הטנק בענן אשר אינו מאפשר ראית המטרה. לפיכך, אפילו אם נתגבר על חלק מהקשיים שנזכרו לעיל — לא נוכל לתקן את הירי. יחד על כן — משך קיום האבק הוא ארוך למדי, ועלול להגיע ל־7—12 שניות. במשך פרק זמן זה נשאר הטנק מנוטרל ועלול להיפגע מאש האויב. מאידך גיסא — כל שגיאה שנעשתה ביריה הראשונה — במקרה של חוסר פגיעה — סימניה בקרבת המטרה נמוגו בינתיים, ואנו נמשיך בשגיאה סיסטמטית במשך זמן רב מבלי להשיג אפילו פגיעה אחת. גם במקרים של תנאי קרקע טובים יותר קיימת התופעה הזו, אם כי בצורה פחות חמורה. ברור שמצב זה הוא בלתי נסבל ויש לתת את הדעת על סיבות התופעה כדי לאפשר פתרונה, או לפחות להפחית במידה ניכרת את השפעת הדף הלוע.

### בעית בקרת האש

אחת הבעיות הקשות ביותר, העומדות בפני מפקד הטנק והתותחן, היא: בעית בקרת האש. בהעדר אפשרות בקרה, לא תיתכן הנחתת אש יעילה. למרות כל המאמצים אין להניח כיום שטכוי הפגיעה, בכדורי ראשון, בטוחים המוגברים הנדרשים, הוא כזה המאפשר ביטול הצורך בתיקון הירי. הגורמים העיקריים המפריעים לבקרת אש יעילה, הם: ההלם בעת הירי, סנוור בגלל הרשף, קשיים בהבחנת הנתיבה בזמן מעוף הקליע וקשיים באיכון הפגיעה במקום המטרה. קשיים אלה מחריפים והולכים ככל שאנו עולים בקליבר



טנק צנטוריון. אין כל התקן על הלוע

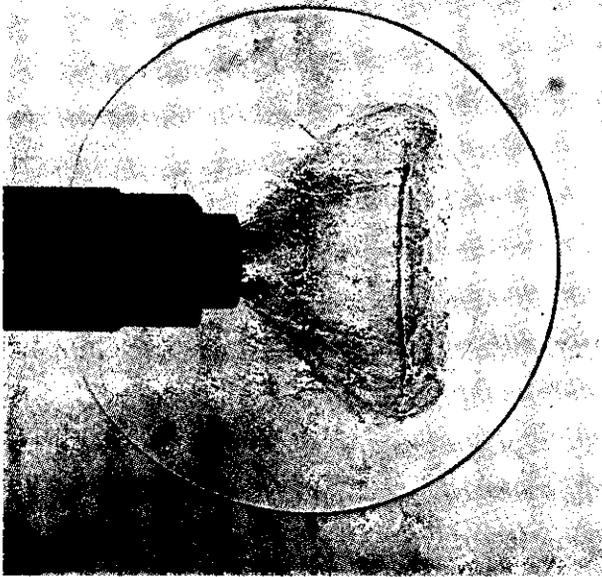
## התפרצות גלי הלחץ

התופעה של יציאת הגזים מהלוע, היא תופעה טרנויאנטית (חולפת-מהירה). זמן התרוקנות הקנה מהגזים הוא בסדר גודל של מאיות שניה. במשך זמן קצר זה יוצאת כל כמות הגזים דרך הלוע ומתפשטת בתחום קצר יחסית, של כמה מטרים, לפני הקנה. חלק קטן מאוד מהגזים מצליח להתפרץ מהלוע עוד לפני הקליע, וכך נדחס האויר לפני הקליע ויוצר גלי-לחץ הפורץ החוצה, מעבר הקליע דרך אזור זה גורם בחלקו לאי-דיוק (פיזור) הנוצר בהמשך התעופה.

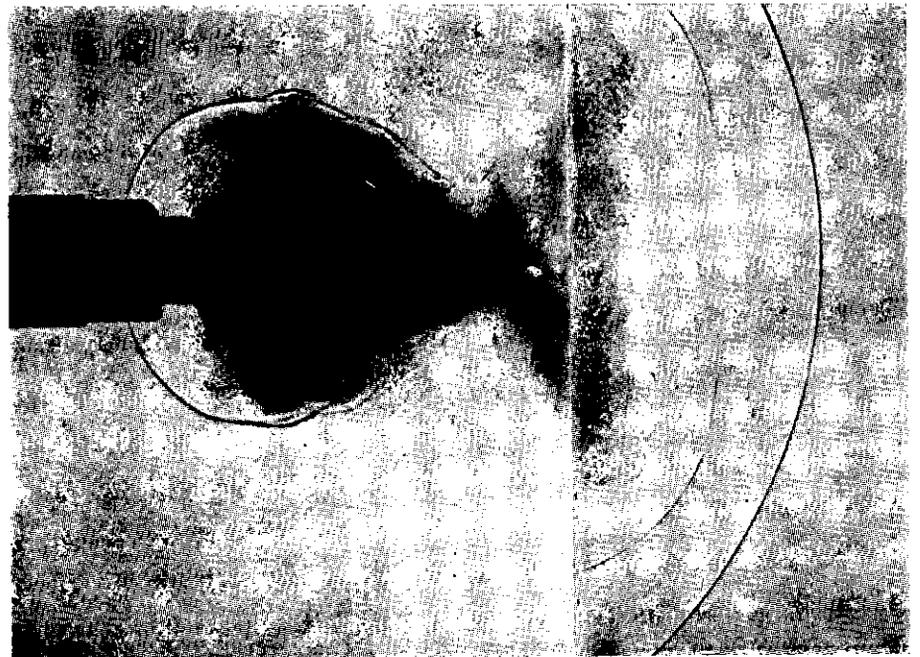
אנו עדים איפוא, לסדרה רצופה של גלי לחץ המתפשטים בסביבה, אשר בעקבותיהם באה כל מסת הגזים הפורצת מהלוע וסוחפת איתה את אויר הסביבה. פגיעת גלי הלחץ בקרקע גורמת לתנועה מהירה ולהתרופפות חלקיקי המשטח העליון שלה, ומשמשת כעין „מפתח“ המאפשר המשך התופעה. מסת הגזים הפוגעת אחריהם בקרקע באה, איפוא, לשטח ש„הוכשר“ מראש ויכלה לסחוף איתה גם את חלקיקי הקרקע. כל התופעה מתרסנת מהר מאוד בגלל הזמן הקצר ובגלל התנגדות האויר. אולם, הרוח הנוצרת כתוצאה מהתנועה ניספיקה כדי להעלות את האבק — על כל תוצאותיו.

## בעית האבק

ההשפעה על הסביבה חלויה במידה רבה בעצמת התופעה

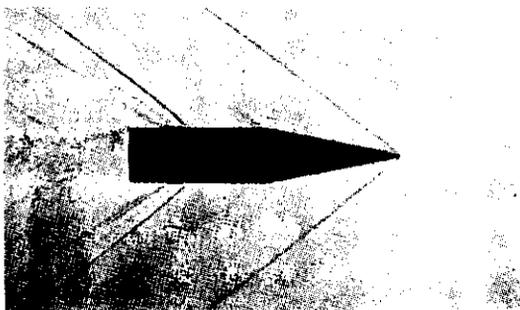


צילום מהיר של גזים הפורצים מהלוע לפני הקליע. שים לב לגל הלחץ הכדורי המתפשט לסביבה מסביב ללוע



הקליע עובר דרך איזור הגזים

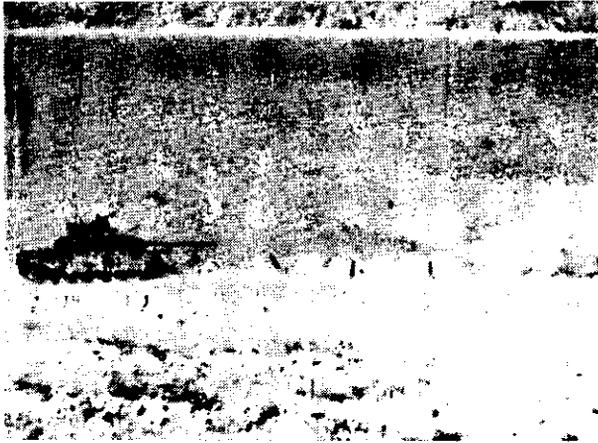
תנועת הקליע המהירה יוצרת אף היא מצידה גלי הלם (shock waves) המלוים את הקליע



שתוארה לעיל, ותלויה כמובן במיב הקרקע. ישנה חשיבות רבה לגודל החלקיקים שיש להרים (אדמה כבדה או אדמת לס). כמובן, חשוב מאוד מצב הקרקע (האם הקרקע רטובה, האם קיים קרום-עליון בלתי מופרע, או שהתופעה מתרחשת מעל גבי קרקע יבשה שהתרופפה בגלל תנועה מעליה או בגלל ירי קודם). מבלי להכנס לקביעת תרומת כל אחד מהגורמים לתופעה הכללית מבחינה כמותית, ניתן לציין, שלפי הנסיון, ידוע לנו כי קיים תחום שמתחתיו ניתן לסבול

את הסף-הכל של תופעת העלאת האבק. תותחים בעלי קליבר 75 מ"מ, בעלי מהירות-לוע שאינה עולה על 1000 מטר לשנייה, עשויים לשמש דוגמא לערך סף כזה. בעיה זו צצה זה מכבר. במלחמת העולם השנייה, כתוצאה מהמלחמה במדבר המערבי, נערכו מחקרים בארה"ב. מחקרים

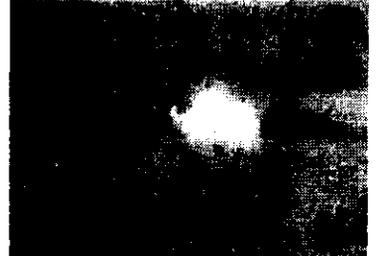
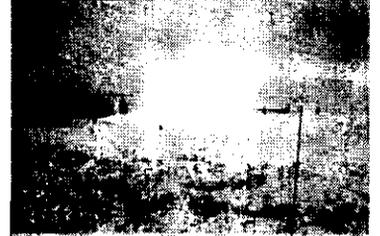
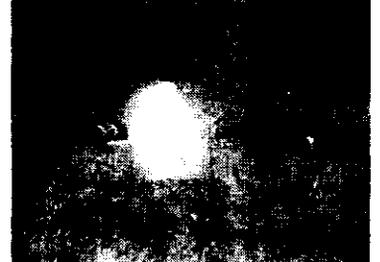
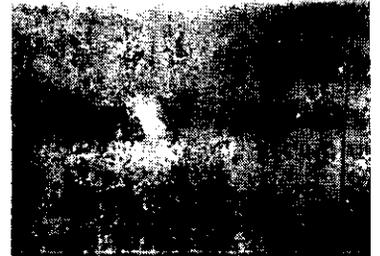
רצף-תמונות של הדף-הלוע (שים לב לסנק ברקע)



הפרש זמן בין תמונה לתמונה 1/60 שנייה בערך

הרשף כתוצאה מהגזים הליהטים

המשך: גזי ההדף מתרחקים. הזמן 7/10 שנייה אחרי היריה



התרוממות האבק. הזמן — בערך שנייה אחרי היריה

המשך התרוממות האבק. השיא בערך 3 שניות אחרי היריה. ענן האבק מסתיר לחלוטין את הסנק ברקע

הגזים שוטפים את הקרקע בעיקר בתחום 4 מטר לפני הקנה. עדיין אין אבק

