

מערכות חינוך

חזרת 41

טבת תשל"א - ינואר 1971



◆ ◆ ◆
חוברת זו מסכמת עשור להופעת „מערכות-חימוש“.

מטרתנו בהוצאת הביטאון היתה והינה, לשמש במה המיועדת לאיש המקצועות הטכניים בכלל, ולאיש חיל החימוש בפרט.

בראשית דרכנו קבענו לעצמנו כי רמת חלק מהמאמרים תהיה מעט מעל ל„פופולריזציה“ המקובלת, ותתבע מהקורא „קצת“ מאמץ. אולם אנו ערים גם שהביטאון לא ייהפך לנחלתו הבלעדית של חוג מצומצם, אנו משתדלים להתאים את החומר לחוג קוראים בעלי השכלה מקצוע-עית טכנית בשטחי פעולה שונים.

התפתחותה המהירה של הטכנולוגיה, מחייבת אותנו להקפיד שבעתיים להיות מעודכנים, מה גם שאנו מופיעים מדי שלושה חודשים. פרק הזמן בין כל חוברת וחוברת, מוקדש רובו ככולו למעקב אחר חומר שלא יאבד מרעננותו, עד שיצא לאור. לא פעם פוסלים אנו מאמרים, אשר הושקעה בהם עבודה רבה, רק בגלל העובדה שהחומר „התיישן“. מידת השגת הייעוד בארבעים ואחד הביטאוניס שיצאו כסדרן עד כה, הוא הבוחן היחיד המאפשר הערכה אוביקטיבית למידת הצלחתנו.

בעזרתך הקורא, הערותיך ותגובותיך יאפשרו לנו להוסיף ולשפר את הביטאון.

תודתי נתונה לאל"מ גרשון ריבלין, עורך ראשי „מערכות“, ולאנשי צוותו על עזרתם ועצתם. לכותבי המאמרים, למתרגמים, לעובדי הדפוס ולכל אלה אשר נתנו ידם לסייע בידנו.

העורך

מערכות חינוך

ינואר 1971

◆ טבת תשל"א ◆

חוברת מס' 41

תוכן הענינים :

- 2 דבר המפקד
- 3 א. גורדון חילוף דרישות טכניות ומבצעיות מרכב
- 10 פ.גדלר מגמות בהתפתחות החומרים ובתהליכי העיבוד בשנות ה-70
- 15 מ. ניצן פרקי מחשבה באחזקה צבאית
- 17 ב. בן-בשט סיבוב והיגוי בטנקים
- 24 ג. ארגון תותחים מתנייעים מאז ועד מחר
- 31 צ. אורבך ניווד רכב צבאי
- 42 ש. קינן מדידות אלקטרוניות במערכות נשק
- 49 מ. פרנסיס לייזרים ושימושיהם

תמונת השער : הוצאת יחידת כוח מטנק, תחריט עץ של צבי גמדי

מערכות

בית ההוצאה של
צבא הגנה לישראל

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

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

קצין עריכה : רס"נ פנחס עמית
עורך משנה : אברהם דושניצקי
גרפיקה : צבי גמדי





דבר הנפקד

חלפו עשר שנים מאז הוחלט על הופעת הביטאון „מערכות-חימוש“. משך אותה תקופה גדל צה"ל, התעצם כוחו והוצב בפני אתגרים רבי-תנופה. בד-בבד גדל אף חיל החימוש, ו„פלש“ לתחומים טכניים רבים ומגוונים. „פלישה“ זו נתחייבה נוכח צרכי צה"ל מחד-גיסא, והתפתחותה המהירה של הטכנולוגיה מאידך-גיסא.

הדרישות המקצועיות מאנשי החיל גוברות מדי יום, הן מבחינת האיכות והן מבחינת הכמות. מערכות-הנשק אשר צה"ל קולט, מושתתים על שדות טכנולוגיים מתקדמים. החובה כיום להיות צמודים וערים להתפתחויות חדשות, גדולה כיום פי-כמה מאשר לפני עשור שנים. כדי לעמוד לנוכח הדרישות המוכתבות, חייבים אנשי החיל להקיף חומר טכני רב ומגוון ולהתעדכן באופן רצוף. פעמים, בשל התמחות ספציפית, נעלמת מאיש המקצועות הטכניים ידיעה טכנולוגית חשובה. יתר-על-כן, עקב הזמן המצומצם העומד לרשות איש המקצוע אין ביכולתו לעקוב באורח שוטף אחר כל התפתחות ותגלית. חלפו הימים בהם ידע איש המדע „הכל על הכל“, כיום הוא תחום בד' אמות התמחותו.

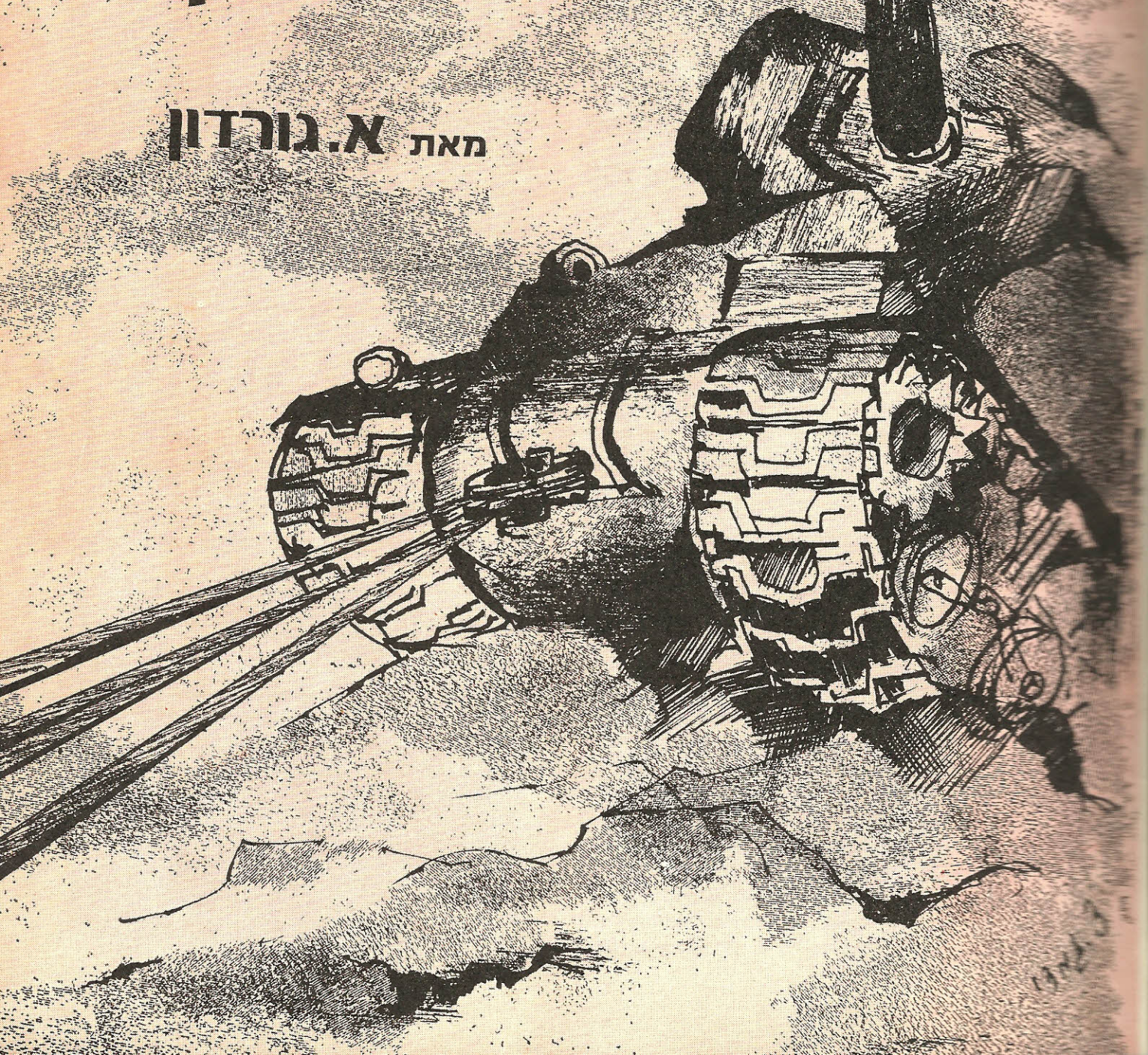
ב„מערכות-חימוש“ רואה אני גורם מסייע ומדרבן להגברת הידע הביטאון אינו מלמד, אלא מכוון ומהווה מעין „זרקור טכנולוגי“. ארבעים ואחד הביטאונים שיצאו עד כה באופן שוטף, מהווים הוכחה ברורה לצדקת דרכו.

א. ח.

ח. דומי — תא"ל
קצין חימוש ראשי

דרישות טכניות ומבצעיות מרכב חילוץ

מאת א. גורדון



המושג „חילוץ” אינו קשור במובנו הרחב ביותר בפעולות המוצאות-לפועל על-ידי טנקי-חילוץ או על-ידי רכב חילוץ מיוחד. מושג זה מבטא פעולות חילוץ תקניות, מוכרות או מאולתרות, במגמה לאפשר לכלי-רכב פגוע להמשיך בדרכו. מגמה זו קיימת בכל עת ללא תלות באמצעי החילוץ או בשיטות המאולתרות המותאמות לפי הצורך על-ידי הצוות תות החולצים. מטרת מאמר זה, לנתח את אפשרויותיו הטכניות והמבצעיות של רכב יעודי לחילוץ, לסוגיו השונים, לפעולה בדרכים סלולות ובלתי-סלולות.

פעולות החילוץ בדרכים בלתי-סלולות, או בדרכים סלולות, מתחייבות כתוצאה מתקלות מכניות ברכב, מתאונות, מ" שקיעה בחול או בבוץ, מהידרדרות לתעלות ומפעולות אויב. מטרת פעולות החילוץ היא, להביא את הרכב הפגוע למצב המאפשר תיקון במקום, גרירה, העמסה על משטח מוביל או על אמצעי תובלה אחרים – שמטרתם פינוי הרכב לסדנא המתאימה.

ההזנחה בתחום טנקי החילוץ רבה עוד יותר. את הסיבות לכך נפרט בהמשך.

רכב-חילוץ אופני

חילוץ בדרכים סלולות

פעולות החילוץ במערך הצבאי בדרכים סלולות, דומות בעיקרן לחילוץ הנהוג בשוק האזרחי. חילוץ זה נעשה בעיקר בגרירה במתלה (היינו גרירה בהרמה), פרט למקרים בהם נפגע הרכב, כתוצאה מתאונה או מהידרדרות לתעלה. במקרים כאלה יש צורך לחלץ את הרכב הפגוע ולמושכו בעזרת כננת החילוץ או בעזרת אמצעי אחר אל הדרך, זאת כדי לאפשר פינויו בגרירה במתלה. כל עגורני הגרירה המותקנים על רכב-חילוץ מסחרי, הם בעלי כננת אחת או שתיים ומשמשים להרמת הרכב הפגוע. הם ניתנים להפעלה בפעולות חילוץ בעת הצורך (כבלי הפלדה המותקנים על כננות אלה מתוכננים לפעולות חילוץ, ומתאימים למטרה זו מבחינת מידותיהם וחוזקם). רכב החילוץ חייב להיות מצויד: בכננת קדמית שתפקידה לעגון את הרכב הגורר בעת פעולות החילוץ ולעזור בחילוץ עצמו. זווית גרירה, התקן המאפשר שמירה על מרחק קבוע בין הרכב הגורר לנגרר, והמותקן בקביעות על חלקו האחורי של הרכב הגורר ומחזיק ברכב הנגרר בעזרת שתי שרשרות בעלות קרסים בקצותיהן.

שיטת הגרירה במתלה היא הבטוחה ביותר בתנאי, כמובן, שפעולות החילוץ והגרירה נעשות על-ידי נהג חילוץ המאומן בשיטות מקובלות המפעיל ציוד תקין.

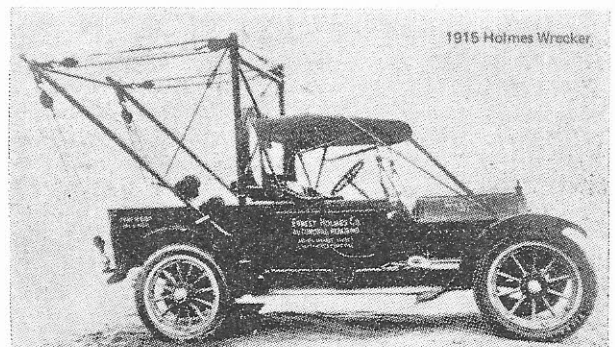
רכב-חילוץ המיועד לגרירה בדרכים סלולות, די אם יהיה בעל הנעה 4x2. השימוש ברכב בעל הנעה של כל האופנים למטרה זו מיותר ובזבזני, בדומה לגרירת מכונית נוסעים בגודל ממוצע על-ידי רכב-חילוץ כבד.

סוגי רכב-החילוץ, הדרושים למערך הצבאי, בעלי הנעה 4x2, לשימוש בדרכים סלולות, נובעים ישירות ממשק הרכב הכללי-צבאי. קנה-המידה לחלוקת רכב-החילוץ לקבוצות, הוא גודל הרכב הנגרר ומשקלו. ליתר דיוק, העומס המופעל על-ידי

ייעוד החילוץ

הצורך באמצעי חילוץ צבאיים התעורר עם הכנסת הרכב הממונע והמשוריין לשימוש נרחב בצבאות העולם. מאז מלחמת-העולם הראשונה, עברו על הטנקים ועל כלי הרכב הממונעים שינויים מרחיקי-לכת רבים, במטרה לשפר את מהירותם, כושר תמרוןם, עוצמת אישם וטיב שריונם. אולם אמצעי החילוץ נותרו מיושנים ומפגרים מבחינה טכנית ומבצעית. הסיבה למצב זה נעוצה בכך שהוקדשה שימת-לב יתרה לפיתוח ולמחקר של רכב-קרב, בעוד שנושא החילוץ הוזנח מבחינה טכנית ותקציבית. החילוץ דורך במקום הנמוך בסולם העדיפויות. אומנם, השוק האזרחי קולט סדרות גדולות של רכב-חילוץ לשימוש בדרכים סלולות (הודות לכך קיים רכב זה בכמויות גדולות גם בצבאות השונים). אך גם בשוק האזרחי לא יוחסה לנושא החילוץ חשיבות מספקת. עד כדי הקדשת אמצעים למחקר ופיתוח של רכב אשר נועד מיסודו לפעולות חילוץ. בשוק האזרחי הסבו עגורנים מסחריים לרכב חילוץ והתקינו אותם על רכב מסחרי קיים. רכב החילוץ הראשון שנבנה מתחילתו ועד סופו לשם פעולות חילוץ בלבד (תכנון שלדה וציוד-עזר מיוחד) הוצג השנה על-ידי החברה הבריטית „Dial-Holmes” בתערוכת המכוונות בלונדון, בשם המסחרי „Invader”.

מכונית החילוץ הראשונה הולמס 1915



שלדה בעלת מבנה חזק במיוחד, או שיש לחזקה בנפרד בצורה שתוכל לעמוד בעומסים האמורים.

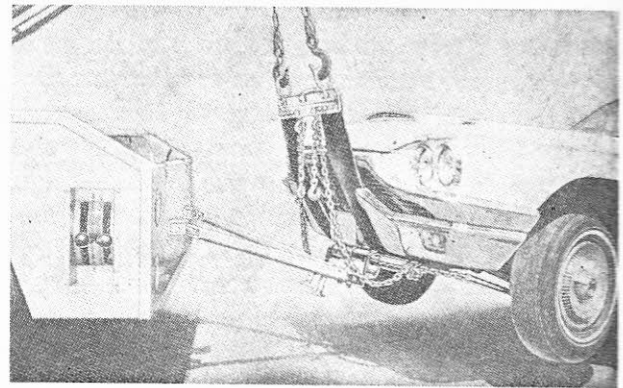
אם נבחן ביתר פירוט את השלדות, המוצעות עלידי יצרני העגורנים לגרירה במתלה, נבחין כי אלה הן שלדות מסחריות שאינן עומדות כלל בעומסים המוצהרים עלידי יצרני העגורנים. השלדות שהן חלשות מן העגורנים, אינן מאפשרות לנו ברוב המקרים לנצל באופן מלא את העגורנים לגרירה במתלה. כתוצאה מכך, עולה אורך החיים של העגורנים במידה רבה על זה של השלדות.

הדבר שונה, כמובן, אם השלדות תוכננו ויוצרו מראש להתקנת עגורן בעומס מסויים. העומסים המוצהרים עלידי יצרני העגורנים, הם למעשה העומסים הסטטיים המותרים על השכבה הראשונה בכנת או במבנה הפלדה של העגורן, זאת מבלי להביא בחשבון, כמובן, ברוב המקרים את אורך חיי הכבל, ואת התאוצות הנגדיות הנגרמות בעקבות התנדודות הדינמיות בעת נסיעה. נתונים אלה מקטינים שוב, במידה רבה, את העומס המותר בגרירה לפי הצהרות היצרנים.

אמצעים נוספים המיועדים לגרירת רכב הם האמצעים הרשמיים, כלומר, אלה אינם מחייבים רכב מיוחד לחילוץ וגרירה אלא ניתן להיעזר בהם בכלי-רכב שונים. המשותף לאמצעים אלה היא העובדה, שרמת הבטיחות בעת השימוש בהם קטנה מזו הקיימת ברכב חילוץ יעודי.

אחד האמצעים לגרירת רכב פגוע הוא עגלות הגרירה (Dollies). עגלות אחרות כאלה מאפשרות גרירת רכב שאינו ניתן לגרירה במתלה, מפאת נזקים בסרנים ובאופנים. מקרים כגון אלה מחייבים העמסה על משטחים המוכרים בשם „Dolly Platforms“. עגלות מסוג אחר ניתנות להטיית והורדה לשם הטענה עצמית וקרויות: „Tilting-Bed Trailers“. בשל שיקולי בטיחות בדרכים, אין זה רצוי להשתמש בעגלות גרירה ללא משטח מלא (קיימות עגלות עם מסגרות בלבד). אף אורך החיים של עגלות אלה קצר יחסית. הרכב הגורר חייב להצטייד בשרשרות הבטחה בעת חיבור העגלה לגורר, אם משקל העגלה והרכב הנגרר עולה על 1,800 ק"ג, ויש להעביר כתוצאה מכך אמצעי בלימה מן הגורר לגורר.

רכב שתוכנן מיסודו לחילוץ — מוצג בתערוכת המכונות בלונדון



גרירה קלה במתלה

הרכב הנגרר, על וו ההרמה של העגורן ברכב החילוץ. בהתאם לאמור לעיל ובהתאם לסוגי הרכב הקיימים במערך הצבאי, נחלק את רכבי החילוץ לשלושה סוגים:

- מכונת חילוץ קלה, המבוססת על שלדת רכב-קל בעל הנעה 4x2 (טנדרים למשל), המיועדת לשאת באופן בטוח עומס מקסימלי של 1,200 ק"ג על וו ההרמה, ולנסוע בצורה בטוחה.
 - מכונת חילוץ בינונית (הנעה 4x2) בעלת עומס הרמה וגרירה מותרים על וו ההרמה עד 2,500 ק"ג.
 - מכונת חילוץ כבדה (הנעה 4x2) בעלת עומס הרמה וגרירה עד 5,500 ק"ג ואף יותר על וו ההרמה.
- בעיית רכב-החילוץ מתעוררת במלוא חריפותה כשרוצים להסב שלדת רכב מסחרי למטרות חילוץ וגרירה. במקרים רבים אין מבנה השלדות מתאים מבחינת חוזק, ועל-כן צריך להשקיע מאמצים ואמצעים בהוספת „טלאים“ וחזוקים. לעתים אין מידות הרכב מתאימות לגרירה, שכן הוא אומץ למטרה זו מחוסר שלדות מתאימות. יש להטעים שכל שלדה מחושבת על-פי חלוקת עומסים מסויימת על הסרנים (40% לטרך על הסרן הקדמי ו-60% על הסרן האחורי). חלוקה זו מתקבלת עלידי חלוקת העומס על הרכב בצורה סבירה. בגרירה במתלה, חלוקת העומס על הרכב הגורר יוצאת מן הכלל האמור. כך שנקודת העומס מצוייה מחוץ למרווח הסרנים ובמרחק לא קטן מן הסרן האחורי. המומנט הנוצר כתוצאה מצורת העמסה זו, גורם להעמסת יתר על הסרן האחורי ולהפתחת העומס על הסרן הקדמי. דבר זה עלול לגרום לעתים לאובדן השליטה בהגה וליצירת מאמצי כפיפה גדולים במיוחד בשלדת הרכב. קיימות שתי אפשרויות למנוע מצב זה:

- בחירת שלדה בעלת סרן אחורי יחיד, במקום סרן כפול. מבנה כזה יאפשר הקטנת המומנט עם קירוב וו ההרמה לסרן האחורי וחיתוך חלק מהשלדה הבולט מעבר לסגר הקפיץ האחורי (כל זאת, בתנאי כמובן, שהסרן היחיד והקפיצים יהיו מסוגלים לעמוד בעומס המופעל).
- בחירת רכב בעל שלדה ארוכה יותר. אפשרות זו אינה משפרת אומנם את העומסים על הסרן האחורי, אך היא משפרת את העומס על הסרן הקדמי ומפחיתה את סכנת „אובדן ההיגוי“. במקרה זה, נתונה השלדה הארוכה במיוחד במאמצים גדולים יותר. דבר המחייב בחירת

ביותר בעת התנועה בשדה. להבהרת הנושא נסביר: ברור שדרכים סלולות הן חלקות למדי, ונהג חילוץ מנוסה מסוגל על-ידי נהיגה זהירה ושימת-לב מרובה למנוע טלטולים מיותרים ותאוצות גדולות. לעומת-זאת בעת נסיעה בשדה, גם הנהג המנוסה אינו מסוגל למנוע, ברוב המקרים, תנודות פתאומיות הגורמות לתאוצות גדולות הנגרמות בשל קרקע סלעית או בוצית (המסתירה בורות וגבנונים). נוסף לאמור לעיל, טבע האדם עלול להגדיל את התאוצות האמורות בהיותו תחת אש או בהיותו חושש מפעולות אויב. מובן, אם כן, שפעולות חילוץ וגרירה במתלה בשדה, מחייבות רכב-חילוץ חזק וכבד יותר מזה הנע בדרכים סלולות, אם נתייחס לאותו עומס נגרר. הבדל נוסף בין הרכב המיועד לגרירה בדרכים ובין זה המיועד לשדה הוא: בעוד שרכב החילוץ הנע בדרכים עיקר תפקידו הוא לחלץ ולגרור בגרירה-במתלה לסדנא המתאימה, רכב פגוע כתוצאה מתקלה טכנית או מתאונה, הרי שעל רכב-חילוץ הכבד בשדה מוטלים תפקידים נוספים, שלמילויים דרוש ציוד-עזר, ולכן אין צידוק להגבילו לפעולות גרירה-במתלה בלבד. כתוצאה מכך, נהגים לסווג את רכב-החילוץ בשדה כרכב-חילוץ וטכני. הפעולות הנדרשות מן הרכב הטכני בשדה הן רבות ומגוונות כגון: החלפת מכללים ראשיים, כולל יחידות-כוח שלמות, העברתן לרכב הפגוע וממנו, פעולות ריתוך וחיטוך במערכת-זחלים-קפיצים-מרכוב של רכב זחלי ועוד. העגרון הקיים ברכב-החילוץ, הנע בדרכים סלולות והמיועד לגרירה במתלה בלבד, אינו מתאים לפעולות אלה. כדי לפתור בעיות אלו קיים עגרון הידראולי רב-עוצמה בעל תחום ציוד רחב ומייצבים הידראוליים. בעת שזרוע העגרון נתמכת על חלקו האחורי של הרכב, ניתן להשתמש בו בגרירה במתלה של רכב כבד ביותר.

כדי לאפשר את פעולתו התקינה ומילוי תפקידו, יש לדאוג לרכב החילוץ בשדה לתאורה מתאימה הכוללת:

- זרקור רב-עוצמה בעל אלומת אור מרוכזת, המיועד לאיתור הרכב הפגוע בשטח.
- זרקור אחורי בעל אור מפוזר, המותקן בדרך-כלל על זרוע העגרון, להארת שטח הפעולה.
- זרקור למפעיל העגרון המאפשר לו תמרון מתאים.

הכנת הקדמית חייבת להיות מותקנת בחזית כל רכב-חילוץ, ובעיקר בחזית רכב-חילוץ בשדה, זאת כדי לאפשר חילוץ עצמי ועיגון בעת חילוץ רכב תקוע.

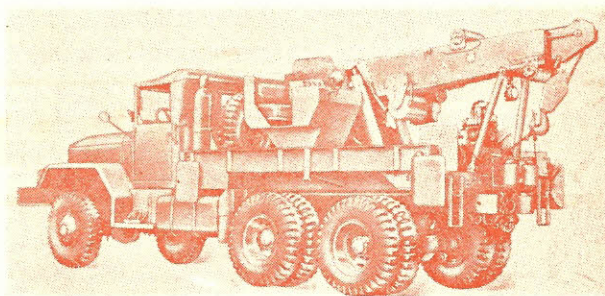
מן האמור לעיל עולה, שאין צורך בחלוקה לשלוש קבוצות לגבי רכב-חילוץ בשדה, כפי שחלקנו בעת תיאורנו על רכב-חילוץ בדרכים. במקרה זה די בשתיים בלבד, היות וניתן בהחלט לוותר על רכב-חילוץ קל. רכב-החילוץ הקל, אף אם יותקן על שלדה בעלת הנעה 4x4, לא יהיה מעשי בשל הורדת עומס הגרירה המותר שכן לא יהיה לו שימוש כלשהו (רכב-קל, אינו פועל בדרך-כלל בשדה).

הדרישות מרכב חילוץ בשדה הן:

רכב-חילוץ קל ובינוני: רכב זה יהיה בעל הנעה 4x4, על שלדה מחוזקת עם אופנים בודדים. העגרון יתאים רק לגרירה במתלה בעל עומס מותר עד 2,000 ק"ג על וו ההרמה.

האמצעי הפשוט והנפוץ ביותר קרוי מוטות גרירה. מוטות אלו עדיין תקינים בצבאות שונים וקיימים גם בשוק האזרחי בכמות גדולה. יש להטעים שהגרירה באמצעות מוטות אלה אינה יכולה לשמש תחליף לגרירה במתלה. הגרירה באמצעות המוטות מסוכנת ביותר, אך אין אפשרות לעקרה מפאת המחסור התמידי ברכב-חילוץ לגרירה במתלה. הסכנה בגרירה קיימת באופן מיוחד, כאשר המוטות מאולתרים על-ידי בעלי מוסכים שאינם רוצים לרכוש מוטות מוכנים או כאשר יחידות צבאיות שונות משתמשות במוטות שאינם תקינים. אלתורים אלה גורמים לאסונות-בנפש לא מעטים. יש לזכור, כי הגרירה במוטות מאולתרים אסורה בתכלית האיסור.

לסיכום יש לציין שרכב פגום כתוצאה מתקלה טכנית או מתאונה, מהווה מטרד חמור ומשמש סכנה-בכוח לתאונה לכל הנוסע בדרכים. יש לדאוג שרכב פגוע זה יפונה במהירות האפשרית. כדי לאפשר פינוי הדרכים מרכב פגוע, להביאו לסדנא המתאימה ולהחזירו לשירות במהירות, דרושים בראש ובראשונה אמצעי גרירה מתאימים.



M-543 תכנית חילוץ כבדה

חילוץ בדרכים בלתי-סלולות (חילוץ-שדה)

הגישה לבעיות חילוץ וגרירה בשדה, חייבת להיות שונה מן הגישה לחילוץ וגרירה בדרכים סלולות. זאת, לא רק בשל הפעולות הנוספות שעל רכב החילוץ לעשות בשדה, אלא גם בגלל תנאי השטח. רכב-החילוץ הפועל בשדה נתון למאמצים רבים יותר, עקב התנודות הרבות ובשל תנאי השטח והעבירות הקשים פ"כמה מאלה הקיימים בדרכים סלולות. מסיבות אלה יש לנתח ולבדוק את אפשרויות החילוץ והגרירה במתלה של כל רכב, על-מנת להתאימו לתנאי השדה. הדרישה היסודית לרכב-חילוץ בשדה, היא יכולת הנעה מלאה על כל הסרנים. בלתי אפשרי כמעט, להפעיל רכב-חילוץ בשדה אם אין הוא בעל הנעה בכל האופנים. בבחירת רכב-חילוץ, מועדפים כלי-רכב בעלי אופנים בודדים ובעלי צמיגי בלון בעלי קוטר גדול, המשפרים במידה רבה את כושר העבירות של הרכב בשטחים חוליים או בוציים. במקרה זה יש להתאים את רכב החילוץ לכלל הרכב הקיים במערך, כדי למנוע בעיות לוגיסטיות בעת החלפת חלפים ומתן אחזקה שוטפת לרכב.

בראשית הניתוח של תכונות רכב החילוץ, יש להתעכב על בעיית הכוחות הפועלים על הרכב בעת תנועתו בשדה, כתוצאה מן התאוצות הגדולות יחסית הנמדדות בתנועה זו. התאוצות הקיימות בתנועת רכב בשדה, גדולות במידה רבה מאלו הנמדדות בתנועת הרכב על דרכים סלולות. מובן שאף הכוחות הפועלים על הרכב, והנמצאים ביחס ישיר לתאוצות, גדולים

כננת, מנגנון-ציוד, זרוע טלסקופית ואחרים, יהיו בעלי הפעלה הידראולית.

לפעולות חילוץ יכול להרכב כננת חילוץ אחורית בעלת כוח רב (20 טונות לערך על השכבה הראשונה), בהפעלה מיכנית או הידראולית בעלת מנגנון הטלת כבל. יש להשתמש לעיגון הרכב לפעולות אלו בכננת הקדמית או במעדרי עיגון אחוריים המגבירים את כוח ההיאחזות של רכב החילוץ. כדי לפנות את סיפון הרכב לנשיאת יחידת-כוח רצוי לא להתקין את כננת החילוץ בקצה האחורי של הרכב. ברכב-חילוץ כבד יותקנו, בדרך-כלל, ציוד ריתוך וחיתוך קבוע, המשמשים לעזר בפעולות חילוץ. מכשיר עזר נוסף הוא מפתח-כוח הידראולי בעל מומנט פתיחה רב. זרוע הגרירה המחזק במיוחד לתנועה בשדה יותקן על חלקו האחורי של הרכב, כאשר כוח ההרמה לגרירה במתלה של הווי יהיה מעל 5.000 ק"ג.

לסיכום ניתן לומר, שכל המתואר לעיל מהווה את הדרישות המקסימליות לרכב-חילוץ בתנועתו בשדה. במציאות, יש לדאוג שרכב-חילוץ יהיה מדגם הוזה לזה של רוב הרכב המנהלתי הקיים, כדי לאפשר זרימה סדירה ושוטפת של חלפים ואחזקה מתאימה.

מקדם הבטיחות בתכנון מערכת העגרון כפול בדרך-כלל, מזה המתוכנן לנסיעה בדרכים כבושות. זרוע גרירה בינוני (מחזק לגרירה בשדה) יחובר לציוד האחורי של הרכב ויאפשר פינוי רכב פגוע בגרירה במתלה. ברכב מסוג זה משמשת כננת העגרון אף ככננת חילוץ. לאחר הורדת הכבל מעל גלגלית העגרון, כדי לאפשר פעולות מהירות וקלות, יש להפעיל את כננת העגרון על-ידי מנוע הרכב, באמצעות מפרשי כוח. רכב מסוג זה יכול, בדרך-כלל, ערכה מיטלטלת לחיתוך כדי לעזור בביצוע פעולות החילוץ. זאת, בנוסף למערכת הכבלים הגדולה יותר הקיימת על רכב זה, מערכת הגדולה יותר מזו של רכב הנע בדרכים.

רכב-חילוץ וטכני כבד: רכב זה יהיה בעל הגעה בכל האופנים. בעל שלדה המחזקת על-ידי שלדה עליונה נוספת, כדי לאפשר לו לעמוד בטלטייל הדרך בעת גרירה במתלה. העגרון יהיה, כאמור, הידראולי בעל צידוד בתחום רחב. גובה וו ההרמה וכושר העגרון יאפשרו הוצאת יחידות-כוח והחלפת קני התותחים של הטנקים (בעל מומנט של כ-18—20 טונה/מטר). לייצוב הרכב בעת פעולות ההרמה ישמשו 4 מייצבים בעלי הפעלה הידראולית. רצוי שגם כל שאר מרכיבי העגרון:

ט נ ק י ח י ל ו ן

● המפקד המבצעי אף יעמוד על כך, שטנקי-חילוץ יהיו מבוססים על סוג ודגם, הוזה לזה של הטנקים המבצעיים הנמצאים ביחידתו, או לפחות שטנקי-חילוץ יכולו לכלול מכללים ראשיים זהים כגון: מנוע, ממסרת, הנעים סופיים, מערכת-חלים-קפיצים-ומרכוב וכדומה.

דרישות אלה באות לפתור, או לפחות למנוע, בעיות לוגיסטיות העוללות להתעורר בעת מתן אחזקה שוטפת והספקת חלפים לטנקי-חילוץ. לדעת המפקד המבצעי, חייב הציוד היעודי המתקן על טנקי-חילוץ לאפשר פתרון לכל הבעיות הטכניות או לבעיות החילוץ המתעוררות בשדה כתוצאה מתקלות מכניות, מפעולות אויב או מתנאי שטח.

אם נפנה, באותה שאלה במקביל, למפקד הטכני ולאנשי החילוץ, יסתבר כי על-אף שאינם חולקים על דעתו של המפקד המבצעי ביחס לדרישותיו, הרי שדרישותיהם רבות יותר ומוגדרות מבחינה טכנית. לדעתם יש לפשט את פעולות כננת החילוץ, העגרון, ציוד הגרירה, מפתח-כוח, אמצעי ריתוך וחיתוך, ולהקל על אפשרות נשיאת חלפי-קפיצים-ומרכוב על טנקי-חילוץ. יתר-על-כן, הם היו מעדיפים להעביר גם יחידת-כוח שלמה לטנק פגוע בשטח על טנק החילוץ.

לשם תמיכה בדרישותיהם, יעלו אנשי הצוות הטכני בעיות מן העבר, בהן נתקלו במגבלות בתחום ציוד החילוץ. לדוגמה — בשל כננת חילוץ בעלת כושר משיכה נמוך, הם נאלצו להתקין מערכת הכפלות מסובכות עד ליתרון של 1:3. במקרה כגון זה, נתקצר טווח הפעולה של המערכת בגלל אורכו המוגבל של הכבל, והם נאלצו להקים מערכת זו פעמים אחדות כדי לבצע בשלבים את פעולת החילוץ. תהליך זה גרם לעיכובים ממושכים ומסוכנים בתנאי השדה, במיוחד

לאחר שסקרנו את אפשרויותיו הטכניות של רכב-חילוץ האופני, נשאלת, איפוא, השאלה: מדוע דרושים טנקי-חילוץ, המסובכים מבחינה טכנית, והיקרים מבחינה תקציבית. בהמשך המאמר ניווכח לדעת, שטנקי-חילוץ, לא זו בלבד שנחיצותם למערך הצבאי רבה, אלא היא אף מהוייבת המציאות.

חילוץ בעזרת כננת, למשל, בכוח משיכה של 90.000 ק"ג (במשיכה ישירה או בהכפלה), עם אפשרות עגינה עצמית מתאימה, אינו אפשרי ברכב-חילוץ אופני.

ברור מעל לכל ספק, כי כאשר חוליה טכנית נמצאת ביחידת שריון בעלת ניידות רבה ועליה לפתור בעיות חילוץ ובעיות טכניות שונות, רק טנקי-חילוץ יוכל לפתור בעיות אלה, בעוד שרכב-חילוץ אופני לא יצליח למטרה זו.

הטנק המבצעי הנמצא כיום בשירות רוב הצבאות, הוא בעל מבנה בינוני או כבד. נסתפק, איפוא, בניתוח מבנה טנק החילוץ הכבד בלבד. ניתוח זה, מתאים עקרונית גם לגבי טנקי-חילוץ קלים הפועלים במסגרת יחידות סיור, או יחידות בעלות ציוד-קל מיוחד.

לו פנינו למפקד מבצעי ביחידת שריון, כדי ללמוד מהן דרישותיו מטנק חילוץ, היה הוא מציג דרישות כגון אלה:

● עקרונית, על טנק החילוץ להיות בעל תכונות זהות, מבחינת העבירות, טווח הנסיעה, מהירות הנסיעה וביצועים בשדה, לטנקים המבצעיים הנמצאים ביחידתו.

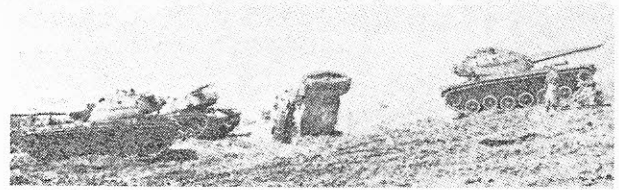
● על טנקי-חילוץ לספק, לדעתו כמובן, הגנה מתאימה לאנשי הצוות מבחינת הנשק והשריון.

● טנקי-חילוץ חייב להיות מצויד במכשירי קשר, במכשירים אופטיים, ובכל יתר הציוד הנמצא בטנקים מבצעיים (פרט למערכות הקשורות בהפעלת התותח וכיוונו).

הצוות הטכני להחליף יחידות-כוח בשדה. לא תמיד ניתן היה להגיע, אפילו עם רכב בעל הנעה בכל האופנים, לטנק הפגוע. לפיכך נאלצו הצוותות להסתפק באמצעים שברשותם, להביא את יחידת הכוח על רכב אל הטנק הפגוע ולדאוג לרכב כבד בעל עגרון טוב המתאים להחלפת יחידת-הכוח בטנק. ניתן היה לחסוך זמן ואמצעים, ואף לבצע פעולה כגון זו במקרים בהם אין אפשרות לבצעה באמצעים אחרים, לו אפשר היה להתקין על טנק-החילוץ את יחידת הכוח על הסיפון, להובילה אל הטנק הפגוע, ולהחליפה בעזרת עגרון עצמי סובב.

לו נעשו כל הפעולות הטכניות שהוזכרו, על-ידי טנקי-חילוץ בעלי ציוד מתאים, היו אלה חוסכות פעולות גרירה רבות ומיותרות של טנקים פגועים, שניתן היה לתקנם במקום.

כל הדרישות והבעיות שציינו לעיל אינן בגדר הגזמה. אלה הן אך חלק מן הבעיות בהן נתקלים אנשי החילוץ והצוות הטכני בשדה. בדוננו על רכישת טנקי-חילוץ לדרג השדה או בנייתו, אין להתעלם מבעיות אלה. אומנם, איש הצוות הטכני ידרוש את מקסימום הציוד, ללא התייחסות כלשהי לבעיות משקל ונפח שיתעוררו. דרישות אלה, עלולות לעמוד בסתירה לדרישות המבצעיות (ניידות וביצועים בשדה) אותן העלה, לעיל, המפקד המבצעי ביחידת שריון.



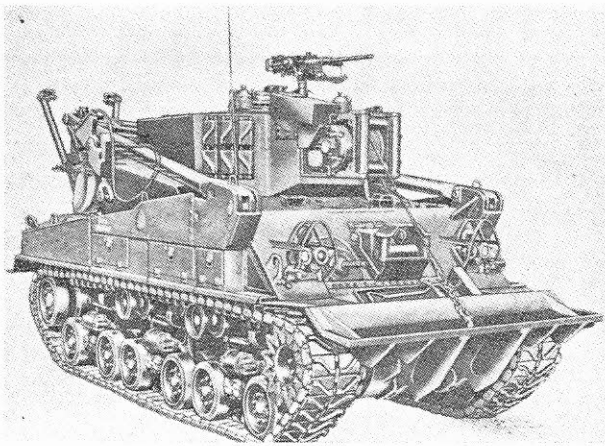
פעולת חילוץ והפיכת טנק

תחת אש אויב. כדי לקצר את תהליך החילוץ, נטלו על עצמם צוותי החילוץ לא פעם סיכון ומשכו עם הכננת במשיכה ישירה. פעולה כגון זו, גרמה לגזירת פיך-ההבטחה או לקריעת הכבל, שתיקונם והחלפתם גזלו לאחר-מכן שעות עבודה רבות. קרו מקרים שכבל הכננת נסתבך ופגע כתוצאה מחוסר מתיחה או מחוסר מנגנון-ליפוף מתאים. תקלות אלו גרמו לא פעם לפגיעה בכננת, עד כי זו לא ניתנה לתיקון בתנאי שדה. במקרים אחרים נדרשה הארכה של כבל הכננת, כדי לאפשר חילוץ טנק פגוע משטח „המכוסה“ באש אויב.

מתוך נסיונם המר ימליצו אנשי הצוות הטכני להתקין על טנק החילוץ כננת בעלת כוח משיכה מקסימלי, מנגנון-ליפוף משוכלל שיבטיח פעולה תקינה בכל התנאים, וכבל כננת בקוטר גדול וזבאורך של כמה מאות מטרים (!). הצוות הטכני אינו מפריז בדרישותיו. הוא זוכר, בודאי, את הקשיים בהעברת כבל החילוץ אל הטנק הפגוע, במיוחד בתנאי מזג-אוויר קשים, או תחת אש אויב, שעה שהצוות הטכני מונה 4 אנשים בלבד, ואחד מהם חייב להפעיל את הכננת, ויתר השלושה נאלצים לסחוב את הכבל. לאחר נסיון מר זה הם לא יהסו לדרוש כננת-עזר למשיכת הכבל לטנק הפגוע. בעיה נוספת המטרידה את אנשי החילוץ והצוות הטכני היא בעיית העגרון. ברוב המקרים, קיים על טנקי-חילוץ עגרון בעל מבנה „A“ ללא ציוד. כדי להשתמש בעגרון מסוג זה, נאלצים אנשי הצוות להעביר את כבל כננת החילוץ מעל גלגלית הנמצאת בראש העגרון. פעולה זו, גוזלת זמן רב, מה גם שכושר ההרמה הנמוך ובלמי כננת החילוץ שלא תוכננו לפעולות הרמה, גורמים להחלקתם של הבלמים ולנפילת המטען. עגרון מדגם זה אינו מיועד ואינו מתאים לפעולות טכניות.

הצורך לחלץ טנקים פגועים, נובע לעתים קרובות לא רק עקב תנאי השטח הקשים, אלא גם בגלל פגיעות במכללים השונים של הטנקים המבצעים הנגרמות בשל מאמצייהם להיחלץ ולצאת בכוחות עצמם משטחים אלה. במקרה זה, מן הראוי לצייד את טנקי-החילוץ בכלים, כעגרון הידראולי סובב, שבעזרתו ניתן להחליף את המכללים הפגועים. עגרון הידראולי סובב מקנה לטנק החילוץ נוסף לתכונות חילוץ, גם תכונות טכניות. לביסוס דרישתם מציינים אנשי החילוץ, כי לא אחת הידרדרו טנקים לתעלות. במקרים כאלה, אין בכוחה של כננת החילוץ לעזור, ויש צורך בעגרון בעל כושר הרמה גבוה, או אף בשני עגורני טנקים הפועלים במקביל, כדי לעזור בהרמה בעת פעולת החילוץ.

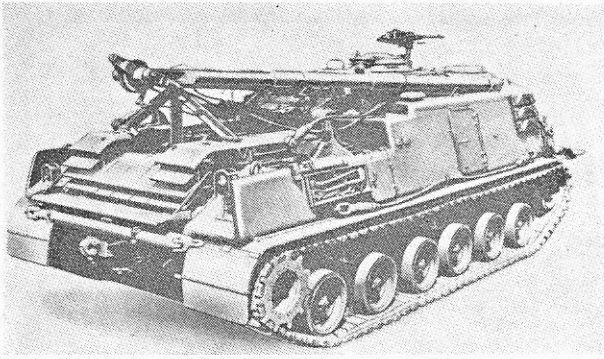
פעמים רבות עושים צוותי החילוץ פעולות החלפה ועבודות במערכת-הזחלים-קפיצים-מרכוב של הטנקים. פעולות אלו גוזלות זמן רב, ניתן היה לקצרן לו היה בידי הצוותות מפתח-כוח בעל מומנט פתיחה גדול. במקרים רבים נאלצו אנשי



טנק חילוץ אמריקני M74

בכל פיתוח של טנק מבצעי מסתמנת פשרה מסויימת בין שלושת יסודות הכלי המשוריין — ניידות, עוצמת-אש, שריון. בטנקי החילוץ מתעוררות בעיות נוספות. החורגות מן העקרונות הנ"ל והנמצאות בתחום הטכני, כגון אפשרות גרירת טנקים פגועים בעזרת טנקי-חילוץ.

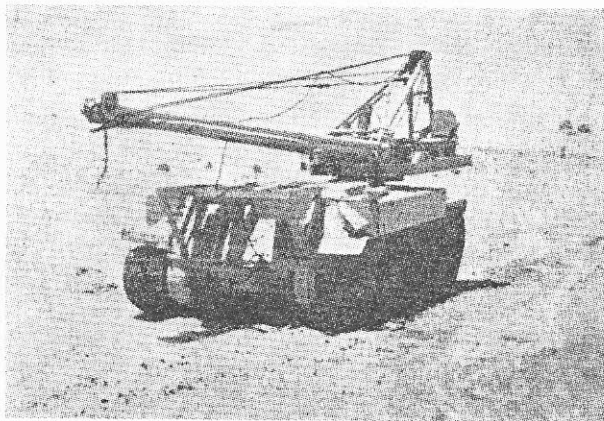
השאלה העיקרית עליה יש להשיב תחילה היא: האם טנק החילוץ יתוכנן מתחילתו ועד סופו כטנק חילוץ, או שמא יוסב טנק מבצעי לטנק חילוץ וטכני, המסוגל לאפשר גרירת טנקים? אם נבחר בתחילה, את האפשרות של תכנון טנקי-חילוץ חדש, הרי שהמודד יהיה על קליטת ציוד חילוץ מקסימלי, זאת כדי שהטנק יוכל להוציא לפועל במהירות מקסימלית את כל הפעולות הטכניות ופעולות החילוץ, תוך שימת-דגש על בטיחותם של אנשי הצוות. כן יתאים הטנק לדרישות המבצעיות הכוללות — ביצועים בשדה, ניידות וטווח פעולה. אם נתעלם,



טנק חילוץ אמריקני M88

התאמת טנק ליעדו כטנק גרירה, ביחס ישר ליכולת העמידה של מערכת קירור המנוע של הגורר בעת נסיעה אטית ממושכת, למרחקים ארוכים ובטמפרטורה חיצונית גבוהה (כפי שקורה בתנאי אקלים טרופיים).

גרירת טנקים תלויה רבות גם במערכת-הזחלים-הקפיצים והמרכוב של הטנק הגורר. בטנק מבצעי רגיל, מחולק העומס בצורה שווה פחות או יותר, ומועבר כך גם למערכת-הזחלים-הקפיצים והמרכוב, ובהתאם לכך שווה לחץ הקרקע לכל אורך הזחל. בעת גרירה משתנה צורת ההעמסה על הזחלים, כך שהחלק האחורי עמוס יותר בעוד שהלחץ על החלק הקדמי מופחת. מצב כזה מקטין את כושר האחיזה של הזחלים בקרקע, וכתוצאה מכך נוצרים תנאים אפשריים להחלקתם, על כל התוצאות השליליות המשתמעות מכך. תוצאה נוספת למצב



טנק חילוץ רוסי SKP-5

זה היא, ההעמסה הגדולה על גלגלי המרכוב האחוריים, אשר אינם מתוכננים, בדרך-כלל לשאת עומס זה. במקרה זה, יקוצר אורך חייהם של גלגלי המרכוב באורח קיצוני.

בעת תכנון טנק-חילוץ הנועד מלכתחילה למטרה זו, ניתן להתגבר על בעייה זו. פתרון אחד יחייב התקנת מערכת-בקרת-נהג נוספת, לכיוון לאחור (מצדו האחורי של הצריח הקבוע), כדי לאפשר נסיעה לאחור של הטנק. סידור כגון זה מחייב

(המשך בעמ' 13)

לרגע, מבעיית הגרירה המסובכת כשלעצמה, הרי ברור מראש, שאין כל הגיון לשמור על אחידות המכללים הראשיים ולהשתמש באלה של הטנקים המבצעיים. אין כל טעם לתכנן טנק חדש ולהגביל מראש את בחירת הציוד הייעודי, בעל כושר ביצוע מעולה וביצועים טכניים וטקטיים טובים, בשל שיקולים לוגיסטיים, כמו למשל מניעת אפשרות של גרירת טנקים על-ידי טנק החילוץ.

טנקי-החילוץ משרתים ביחידות שונות. ברמות הנמוכות (גדוד ופלוגה). מובן כי השיקולים המבצעיים והלוגיסטיים הם בעלי חשיבות ראשונה במעלה. אולם השיקול העיקרי לגבי טנקי-החילוץ המשמש את הדרג העורפי, חייב להיות טכני גרידא, כלומר — יכולת הביצוע של טנק החילוץ בתחומי חילוץ, גרירה, ועזר לצוות הטכני.

מן האמור לעיל משתמע, כי ישנה הצדקה מלאה לתכנן לדרגים הגבוהים טנק-חילוץ שאפשר יהיה בעזרתו לפתור את כל בעיות החילוץ, ולו גם החמורות ביותר, ללא תלות במכללים מסויימים כלשהם. בעוד שלדרג הפלוגתי והגדודי יש לבנות טנק-חילוץ המבוסס על טנק מבצעי מוסב, בעל מכללים אחידים, אך מוגבל מבחינת אפשרויותיו היעודיות. חלוקה זו נראית הגיונית וסבירה, אולם המגבלה העיקרית המתעוררת אז היא — בעיית הגרירה, שהיא אחת מהתפקידים העיקריים של טנק-החילוץ.

רוב סוגי הטנקים המודרניים הנמצאים כיום בשירות הצבאות, והנחשבים לטנקים מבצעיים טובים, אינם מסוגלים לגרור טנק פגוע מאותו סוג למרחקים ארוכים, בלא שייגרם נזק רב לחלק ממכללי הטנק. בטרם נחליט אם להסב טנק מבצעי לטנק חילוץ, יש לבדוק היטב אם הוא מתאים מבחינה טכנית למטרה זו. קיימת אפשרות סבירה שטנק מבצעי המיועד להסבה יהיה בעל מימסרת אוטומטית וממיר-מומנט, אולם קיימת גם האפשרות שהטנק המיועד להסבה, אינו בעל יחס „הספק למשקל“ המתאים למטרת גרירה.

טנק מבצעי בעל מימסרת אוטומטית וממיר-מומנט, עשוי להיות טנק מבצעי מעולה, אך עלול גם לאכזב ביותר בעת גרירת טנקים מקבילים. הסיבות לכך נעוצות בתכונות ממיר-המומנט וביחסי ההעברה של המימסרת, כך שבעת גרירת טנק אחר אין הוא מתאים למלא יעוד זה. החום הנוצר, למשל, בממיר-המומנט בעת פעולתו במומנט מקסימלי ובמהירות נמוכה, עלול לגרום להרס מוחלט של ממיר-המומנט. זאת כיוון שהמערכת הקיימת בטנק מבצעי אינה מיועדת להולכת חום מוגברת מן העומס הנוסף במהירות נמוכה. רוב הטנקים המבצעיים המודרניים, הם בעלי יחס הספק למשקל של 15—20 כ"ס לטונה. יחס זה מספק, במיוחד בהתקרבו לערך העליון, את רוב צרכיו ודרישותיו של הטנק, בכל תנאי שטח ומזג-אוויר. אולם בעת פעולות גרירה, יש להתחשב בעובדה שגרירת הטנקים הפגועים נעשית במהירות נמוכה. במקרה זה נמצאת

מגמות בהתפתחות החומרים ובתהליכי העבוד בשנות ה-70

מאת: פ. נדלר

פלדות — בתעשיית הפלדות מורגש כיום מחסור ההולך וגובר, במתכות מסגסגות. ניקל, למשל, עלול להיחפז למי-חכת נדירה בשנים הראשונות של עשור זה. לדעת מומחים, יורגש לקראת 1980 מחסור ניכר גם במתכות נחושת, עופרת, אבץ, טונגסטן, טיטניום וקובלט. המחסור בניקל דיו, כדי להחיש ולדרבן אחר מחקר ופיתוח פלדות המכילות מעט, או בטולות לחלוטין, מתכות מסגסגות.

ייצור פלדות בעלות חוזק גבוה ודלות ביסודות מסגסגים יתאפשר, בעיקר, על-ידי פיתוח תהליכי היתוך טובים ומבוקרים, על-ידי שימת-דגש מיוחד על מבנה הפלדות והרכבן הכימי, על-ידי בקרה אוטומטית על כמות הזיהומים ועל-ידי שימוש בוואקום (ריק) לשחרור גזים לא רצויים והפגתם. צעדים אלה, ייאפשרו שימוש נרחב בלוחות דקים בעלי תכונות משיכות טובות וחוזק גבוה.

ניתן יהיה לייצר פלדות מבנים, למשל, על-ידי תהליכי דפור-מציה מבוקרים או על-ידי תהליכים תרמיים מהירים. ניתן יהיה לחזק פלדות אלו על-ידי חיסום בזיקוק וטיפול תרמי בתחום הבינויני.

פלדות בעלות חוזק גבוה, העשויות על-ידי צינון מבוקר, תוך כדי עירגול, עשויות להחליף פלדות מסוגסגות שעברו טיפול תרמי. כיום ניתן כבר להשיג פלדה מעורגלת, ללא טיפול תרמי, בעלת חוזק כניעה של 80,000 פ' לאינץ' (קיימת אפשרות להגיע גם עד ל-100,000 פ' לאינץ'). פלדה זו הולכת

במאה הנוכחית התפתחה הטכנולוגיה בצע-די ענק, יותר מאשר בכל המאות הקודמות, בעקבות האתגרים שהחברה המודרנית הצי-בה לעצמה.

מה צופן בחיבו העשור השביעי של המאה העשרים?

כיצד תתפתח תעשיית החומרים ולאילו כיוו-נים תתפרס, ואיזו צורה ילבשו תהליכי העי-בוד בעידן המודרני?

שאלות כגון אלו, העסיקו מאות מומחים ב-עולם עם פרוס שנות ה-70. במאמר זה נסקור בקצרה את השקפותיהם של המומחים בשני תחומים ראשיים, האחת — בתחום החומרים והאחרת — בתחום תהליכי העיבוד.

חומרים

הצורך לספק את דרישות הצרכנים בצורה מלאה ובמחיר זול יותר, יהיה האתגר העיקרי שיעמוד בפני מהנדסי החומרים בשנות השבעים. מן המהנדסים יידרש מאגף-יתר בניסוח הגדרות הנדסיות ובאפיון חומרים. דרישה זו תביא בהכרח לחיפוש אחר תחליפים, אחר הפשטות ואחר שיפורים, ובאותה עת גם לשיפור המוצר ולשמירה קפדנית על איכותו.

לים להעברת כוח חשמלי, מיסבי החלקה, מחליפיי-חום, מולי-
כים, ומתקני חשמל שונים.

טיטניום — מזה 25 שנה, חודר הטיטניום יותר ויותר לתחום
התעשייה. זאת בשל ריבוי מחצבי טיטניום מחד-גיסא, וחזקו
היחסי למשקל, העולה על זה של פלדה וחמרן, מאידך-גיסא.
הטיטניום נמצא בשימוש נרחב בפיתוח מכשירים לטיסות על-
קוליות וטיסות חלל, שבהן חשובים במיוחד יחסי חוזק-לצפי-
פות. די בסיבות אלה, כדי להסביר את הדחיפה הרצינית שחלה
בפיתוח מתכת זו וסגסוגותיה, וכן ליישום תהליכי העיבוד
כגון: חיטול, עירגול, שיחול וריתוך.

סגסוגות חזקות, בעלות חוזק משיכה של יותר מ-200,000 פ'
אינר, להן תכונות טובות לשבר ולעמידה בטמפרטורות
גבוהות, ואשר ניתן לשפרן עלידי ציפויי מגן, יחדרו לתחום
תעשיית המנועים, לייצור חלקים כבדים, ולמערכות הידראו-
ליות, ולצנרת ללחצים גבוהים.

מגנזיום — השימוש במגנזיום ופיתוח תהליכים חדישים ליי-
צור סגסוגותיו, בדומה ליתר המתכות הקלות, נמצאים כיום
בעליה מתמדת. עוד בשנים הראשונות של עשור זה, תוכפל
הכמות המופקת, יוזלו הוצאות ההפקה והעיבוד, והמגנזיום
ייהפך למתחרהו המסוכן ביותר של החמרן. תעשיית הרכב
תאמץ את המגנזיום לשימוש נרחב בייצור בוכנות, בגושי
מנועים, באופנים ובתחומים אחרים.

נחושת, אבץ ועופרת

נחושת — השימוש בנחושת וסגסוגותיה ילך ויקטן בהדרגה,
בשל עליית מחירי הנחושת עקב מחסור הגובר והולך ובעיות
פוטנציאליות בהשגת מחצבים. לכן יש לעודד חיפוש אחר
תחליפים כגון: חמרן, טיטניום ופלסטיק. לדוגמה נציין כי
בעתיד יצומצם השימוש במוליכים מוצקים העשויים מנחושת
ויוחלפו בתרכובות פלדה מצופה נחושת. חלקים למערכות
אלקטרו-מכניות העשויים כיום, בדרך-כלל, מפליז וארה,
יוחלפו בעתיד בפלדות מצופות וכיוצא באלה.

על-אף הירידה הצפויה במידת השימוש בנחושת, צפויות
עדיין התפתחויות רבות בתחומי השימוש בה, כמרכיב מחזק
בחומרים פלסטיים שונים וכמרכיב של סגסוגות מתכתיות
בעלות חוזק כניעה גבוה של 200,000 פ' לאינר בקירוב,
בעלות כושר התנגדות טוב לקורוזיה.

תהליכים כשיחול רציף של אבקות נחושת לצינורות ומוטות,
עיצוב חלקים בלחצים גבוהים וריתוך צינורות במהירויות
גבוהות, עשויים להתפתח תהליכים תעשייתיים בקנה-מידה
גדול.

אבץ ועופרת — עתידן של שתי מתכות אלה אינו ברור. בשל
חומרים אחרים שכבשו להם מקום בצידן בתחומי הרכב, ה-
מצברים ומעטי הכבלים. בתחומי הרכב עשוי האבץ לחזור
ולכבוש מחדש את מקומו הן כמתכת ציפוי, והן ביציקות-לחץ
של חלקים בעלי דפנות דקים. לעופרת, לעומת-זאת, צפויה
תחרות קשה בתעשיית הכבלים והמצברים.

וכובשת מקומה בצד פלדות שעברו טיפול תרמי, באותו תחום
חוזק. כן צפויה אפשרות שימוש בפחי פלדה בעלי חוזק כניעה
של 100,000—125,000 פ' לאינר, בעלי תכונות עיצוב של
פלדות רכות, זאת כתוצאה מטיפולי זיקון והתבדלות וטכנולו-
גיות עיבוד בתחום הסופר-פלסטי. סוגים אלה של פלדה ימצאו
שימוש נרחב בשטחי הבניה, במבני קונסטרוקציה וברכב
תובלתי כבד.

במחצית השניה של העשור הנוכחי יפותחו פלדות המתכות
באמצעות קרן אלקטרונית ובעלות עמידה טובה למאמצי
התעייפות, לשימוש בתעשיית המיסבים. תתאפשר הפעלת
תנורים באמצעות קרן-אלקטרונית בקיבולות עד 200 טונה,
לייצור פלדות בעלות חוזק גבוה ביותר, ללא גידול ניכר
בהוצאות.

שימת-לב מיוחדת תוקדש לבעיות הקורוזיה ולדרכי פתרונה.
פחי פלדה יצופו בתהליכי דיפוזיה. יותר ויותר ישתמשו
בפחים נסוכים, צבועים ומעובדים מראש כדי לשפר את
התנגדותם לקורוזיה או כדי לשפר את כושר עיצובם. ניתן
יהיה לעצב פחי פלדה, הן אם יצופו באמייל והן אם יהיו
צבועים מראש בצביעה סופית.

ייצור פלדות אל-חלד וצריכתן, יגדלו במהירות בתנאי שניתן
יהיה להשיג ניקל בכמויות מספיקות. בתחומי שימוש רבים
ידחקו פלדות פריטיות מטהרות, את סגסוגות הניקל-נחושת,
ניקל ופלדות האל-חלד האוסטניטיות.

ניתן לסכם כי שימוש בתהליכים חדשים בייצור פלדה, כגון
היתוך וזיקוק באמצעות קרן אלקטרונית, עשויים לשפר את
הבקרה על תכולת הפחמן ועל האלמנטים השאוריים, ובכך
לשפר את העיבוד, הרתיכות וההתנגדות לקורוזיה של הפלדות,
תוך שמירה על חוזק גבוה.

מתכות קלות

חמרן — החמרן וסגסוגותיו הפכו, במשך המאה הנוכחית, לאחד
המתכות השימושיות ביותר בתעשייה, להוציא את הפלדות.
בשנים האחרונות חודרת מתכת זו באורח נרחב ביותר,
לתחומי תעשיות שונות. מייצרים מחמרן, בין השאר, כלי-
קובל למזון ולמשקאות, מתקני קירור, כלים להובלה ולהחסנה
של גזים נוזליים, מתקני מים, מכליות, מכונות, אניות ומבנים.
החמרן ממשיך לחדור לתחום ממלכת הרכב. בעתיד יפותחו
סגסוגות לגושי מנועים, העשויים לעמוד בטמפרטורה עד
390° פרנהייט, לתקופת זמן ממושכת. כן עשוי החמרן לשמש
לגופי משאבות, לרדיאטורים, להגהים וכיוצא באלה. תכונות
סיוחדות, כגון חוזק, עמידה בהתעייפות וקורוזיה, ישופרו —
עלידי בקרה יעילה יותר של התרכובות ובמיוחד עלידי
זיקוקייתר של המבנה. כמו-כן יפותח בעתיד היישום של
תהליכי החיטול והשיחול על סגסוגות בעלות חוזק גבוה.

צפי שימוש נרחב בחמרן עם מיגוון רב של ציפויים אלקטרו-
כימיים, הן בתחום הפונקציונלי והן בתחום הקישוט. בד-בבד
עם השיפור המתמיד של הסגסוגות ותהליכי הייצור, יאמיר
היחס בין הנחושת לזה של החמרן בוכות האחרון. לפיכך
יחזק החמרן את הנחושת בתחומי שימוש שונים כגון: כב-

סגסוגות עמידות בחום

פיתוח מהיר של סגסוגות העמידות בטמפרטורות גבוהות ומציאת שימושים יעילים להן יספקו, במידה רבה, את צרכי התעשייה המתפתחת של טורבינות-הגז. שימת-לב מיוחדת הוקדש בעתיד לפיתוח סגסוגות מעולות על בסיס ברזל, ניקל וקובלט, בד-בבד עם מחקר מקיף לשיפור תכונותיהן המכניות והפיסיות, על-ידי הבנה טובה יותר של תכונותיהן המטלורגיות. אין כל ספק, שסגסוגות מעולות המבוססות על ניקל וקובלט ישמרו על המוניטין שלהם שנים רבות.

על-אף שהדרישות הנוכחיות לעמידה בטמפרטורות עד $2,000^{\circ}$

קובלט של למעלה מ-30,000 טונה לשנה, בינתיים ניתן להפיק תוך-כדי הפקת המגנזיום מקרקעיות האוקיינוסים. לקראת שלהי עשור זה צפוי שימוש נרחב בקולומביום כציפוי לכפות ולתאי-שריפה במנועי סילון, ובטנטלום וסגסוגות קולומביום-טנטלום כציפוי של מערכות כלים לשימושים בחקר החלל. מתכות אלה וסגסוגותיהן עמידות בטמפרטורות גבוהות והן, כך משערים המומחים, יעזרו לפתרון בעיית החימצון — שהיא הבעייה העיקרית במתכות החשופות לחום גבוה.

סגסוגות למטרות מיוחדות

ההתקדמות הגדולה ביותר תהיה, כפי הנראה, בחומרים לשימוש בשטח האלקטרוניקה, ובמיוחד בתחום המוליכים-למחצה. בפקות מ-10 שנים עלו, בארה"ב בלבד, המכירות השנתיות של מערכות אלה ליותר מ-3 מיליארד דולר.

הסיליקון יוסיף להיות החומר העיקרי לייצור מוליכים-למחצה להספקים גבוהים. אומנם קרביד-הסיליקון מתאים יותר למתקני בקרה, בהיותו עמיד יותר בטמפרטורות גבוהות, אולם יחלפו שנים אחדות עד שיוכנס לשימוש נרחב. בייצור נגדים בשכבות עבות, צפוי ניצול רב יותר של אינידיום, תליום ורוטיניום. בדיודות העשויות גליום-ארסניד ייעשה שימוש רחב עבור מתקני מיקרו-גלים.

אינידיום-אנטימונית ואינידיום-ארסניד יישמשו גלאים לקרני תת-אדום. המומחים מקווים לפתור את בעיית יישומן של קרני-לייזר במתקני תקשורת, באמצעות ליטום-קולומבית וליטום-טנטלת.

התפתחות האוטומציה והמיכשור בתעשייה, מביאה לידי צורך גובר והולך בחומרים מגנטיים מוצקים ורכים. הקובלט ימלא תפקיד חשוב בתחום זה. סגסוגות קובלט, במיוחד אלה המבוססות על לנטום, עתידות לשמש כמגנטים בעלי עוצמה רבה.

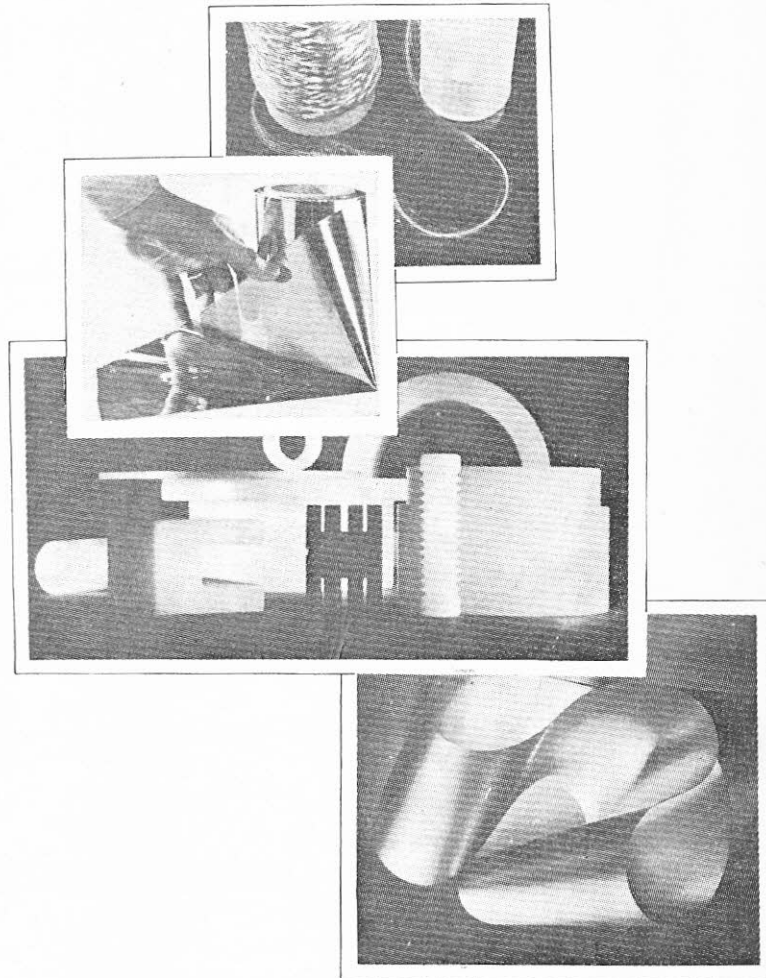
לבריליום, המשלב חוזק, קשיחות ומשקל נמוך, שמור מקום נכבד בייצור לווניום, טילים ארוכי-טווח, מכשירים לטיסות החלל ומיתקנים במטוסים.

עתידו של הבדיל תלוי במידה רבה בהתפתחות התעשייה הכימית האורגנית והאל-אורגנית. כן תלויה מידת השימוש בו בהתפתחות מטלורגית האבקות בהיותו מסייע בסינטור מרכיבי הברזל.

הדרישה לחומרים בעלי רגישות נמוכה לשינויי טמפרטורה הולכת וגוברת. חומרים בעלי אפס התפשטות בשינויי טמפרטורה, חיוניים לחלקי מערכות מדוייקות החייבות לפעול באמינות רבה שנים רבות.

חומרים פלסטיים

הגברת הצריכה של החומרים הפלסטיים תלויה במידת ההתאמה של חומרים אלה לתנאים קשים יותר. ללא ספק שיעשה שימוש רב יותר בחומרים פלסטיים בשנות השבעים בשטחי הבנייה, בייצור מכונות ובתחומים חשובים נוספים. המומחים משערים כי עד 1976, תצרוך תעשיית הבנין בלבד קרוב ל-6 מיליון טונות פלסטיק לשנה, פי-שלושה מאשר כלל התצרוכת כיום. השימוש בחומרים פלסטיים בתעשיית הרכב יגיע בשנות ה-70 המוקדמות ל-0.5 מיליון טונה לשנה



שיפור האיכות וסיפוק דרישות הצרכנים בצורה מלאה ובמחיר זול יותר, יהיה האתגר העיקרי שיעמוד בפני מהנדסי החומרים בשנות ה-70.

פרנהייט יעלו בעתיד הקרוב, הרי כיום לא נראה כי יוכלו לפתח בעתיד הקרוב סגסוגות עמידות בטמפרטורות גבוהות, שניתן לייצרן מחומר המצוי בשפע, ובמחיר נמוך יחסית.

מהנדסי מחקר ופיתוח חומרים, מבססים את מחקריהם על שימוש רב יותר בניקל וקובלט במתכות עמידות בחום כגון: טנטלום וקולומביום ובחומרים אל-מתכתיים כגון: קרמיקה, זכוכית וגרפית. המחסור הנוכחי בניקל ידאש ללא-ספק פיתוח מהיר יותר של סגסוגות הקובלט. לקראת 1980, צפויה תפוקת

צירופים ואל-מתכות

ארבע התפתחויות חשובות יתרחשו בתחום הצירופים:

- סיבים בעלי חוזק גבוה ישמשו לעצוב מוצרים וסרטים במטריצות פלסטיות.
- יפותחו מערכות שרפיות העמידות לטמפרטורות גבוהות שבין $1,000^{\circ}$ ל- $2,000^{\circ}$ פרנהייט.
- מטריצות מתכתיות יחזקו בסיבים.
- יפותח דור חדש של חומר-יגלם בלתי דליקים, לבניית כלי-תחבורה יבשתיים, אוויריים וימיים, במטרה לצמצם את סכנת השריפה.

עבודות מחקר, יפתחו ויביאו לידי שימוש תעשייתי נרחב של פחם וגרפית. יפותחו גופים גרפתיים גמישים יותר, בעלי סיבי גרפית חזקים אשר יבטיחו חוזק משיכה של 100,000 פ' לאינץ' עד 200,000 פ' לאינץ' ומודול אלסטיות של 30×10^6 פ' לאינץ'.

מעל למשפחת החומרים פלסטיק-פחמן ומעבר לה עומדים צירופים קלים וחזקים יותר של מטריצות חמרו, טיטניום וניקל המחזקות בסיבי בור.

מפעלי תעשייה לייצור חומרים אלה, ידמו למפעלי טקסטיל ענקיים, בהם מליונים של גדילי סיבים יזינו מכונות אוטומטיות לסידור סיבי חיזוק, להכנת מרכיבים ולשילובם במוצרים המוגמרים.

כאשר יקטנו הוצאות היצור ויפותחו שיטות יעילות לחיבור כגון: הלחמה קשה, הדבקה באמצעות דיפוזיה, ריתוך בהתכה והדבקות מעולות, יהפכו חומרים פלסטיים מחזוקים לחומר-גלם חשוב ביותר. חומרים פלסטיים המחזוקים בסיבי זכוכית ומשופרים בתוספות כימיות יבטיחו יציבות, קשיות, גמישות ועמידות בטמפרטורות גבוהות, וישמשו לבניית מבני קיט טרומיים, סירות, מרצפות צבעוניות, רהיטים, מחיצות, מכונות-כביסה, מזגני-אוויר, מקררים וכדומה. □

לפחות, בעוד שבתחומים חשובים אחרים תגיע הצריכה הכללית ב-1976 ל-0.3 מיליון טונה לשנה. בקצב הגידול הנוכחי בתעשיית הפלסטיק, נראית התחזית של 100 ק"ג למכונת, לקראת 1975, מציאותית ביותר. הניסיון מלמד כי 1 ק"ג של חומר פלסטי, הוא שווה-ערך ל-2 ק"ג של מתכת.

בתחום הבנייה, יתרחב השימוש ביחידות מוכנות וטרומיות במידה ניכרת. לדוגמה, צנרת למערכת המים והביוב, חדרי אמבטיה מוכנים מראש עם קירות פלסטיים המחזוקים בסיבי זכוכית, אבזרים מפוליאסטר יצוק, אמבטיות ואסלות מחומרים אקריליים המעוצבים בריק (ואקום). החומרים הפלסטיים ישמשו תחליף מוצלח במיוחד לנחושת וליצקת הברזל.

גם בתחום האלקטרו-ציפויים תחול מהפיכה. רובם של חלקי המתכת המצופים כגון: אלה העשויים מאבץ, חמרו וכד', יוחלפו בחלקים מחומרים פלסטיים שתוכננו ופותחו במיוחד למטרות ציפוי. צופים כי יחול שינוי קיצוני בהסבת תהליכי הציפוי והתאמתם לציפוי פלסטיק. צפויה תחרות בין פלדה ומלט בתעשיית הצנורות, לבין צנורות מפוליאטילן לשימושים בשדות הנפט. להעברת גזים ולשימושים תת-קרקעיים אחרים. חומר זה אמור להיות עמיד לאיכול (קורוזיה) הנגרם ממי-ביוב, ממי-מלח, מנפט גולמי, מחומצות מינרליות, מתמיסות בסיסיות ומרוב הממיסים על בסיס נפט בטמפרטורות מתחת ל- 100° פרנהייט.

לקראת 1980 תוגבר תחרות זו ותוחרף עם הופעתם של סוגים עמידים לחום גבוה. לדוגמה — פולימרים אנ-אורגניים אשר יוכלו לעמוד בטמפרטורות בסביבות $1,800^{\circ}$ פרנהייט וסוגים בעלי עמידות טובה יותר בלחות, שחיקה ועומס כשרפים עם תוספת הלוגנים או קבוצות אורגניות יציבות יותר.

דרישות טכניות ומבצעיות מרכב חילוף

(המשך מעמ' 9)

שהמימסרת תהיה דור-תכליתית, בעלת אותם חילוכים — אחורה וקדימה. במקרה זה, בעת נסיעה מנהלתית, נוטה מרכז הכובד מעט לאחור. אולם, לעומת זאת בעת גרירה, כאשר הטנק נוסע אחורנית והנגרר מחובר לחלקו הקדמי, יועם הטנק הגורר כך שמרכז הכובד יחזור למרכז הגיאומטרי, או מעט מעבר לו, אך לבטח לא יוצר מצב קריטי בדומה למצב של גרירה באמצעות טנק רגיל. בעת הסבת טנק מבצעי לתפקיד טנק-חילוף וגרירה, ימצא הפיתרון, מבחינת הגרירה, בהתקנת רוב הציוד היעודי (עגורן, כננת-חילוף, מעדר) בצד הקדמי. פתרון זה יקנה לטנק את התכונות האמורות לעיל, בתנאי שהמימסרת תהיה מכנית ולא בעלת ממיר-מומנט. במקרה

זה, ניתן להשתמש במעדר התמיכה של העגורן כמעדר עגינה לכננת, אך יש לציין כי כושר העגינה של מעדר דור-תכליתי זה יקטין במידה רבה את כושר החילוף של הכננת (קרוב) למחצית כושר העיגון של מעדר המיועד לכך).

לנוכה האמור לעיל, ברור כי הסבת טנק מבצעי לטנק גרירה בלבד (על-ידי הסרת הצריח), אינה פותרת את הבעיה. זאת, כיוון שבמבנה זה מוקטן משקלו של הטנק על-ידי הסרת הצריח, ומרכז הכובד ברוב הטנקים נע לאחור. כתוצאה מכך גדל גורם ההחלקה של הטנק, וכמובן קטן כושר גרירתו. הפיתרון לכך הוא — התבססות על משקל של טנק מבצעי מקורי, והעברת ציוד החילוף — לפנים, זאת כדי להתגבר על הבעיות המתעוררות בעת גרירה. □



התעשייה האווירית לישראל בע"מ

משרד הבטחון
הרשות לפיתוח אמצעי לחימה



מודיעים על

כנס ארצי במטלורגיה תעשייתית וסיורי יעוץ למפעלים ולמוסדות

שיערך באולם בית הסטודנט קרית הטכניון, חיפה
בימים ג' ד' 14-13 אפריל 1971

מטרת הכנס

לרגלי הכנסתם הנוכחית והצפויה לעתיד של טכניקות יצור משניות חדשות במפעלי מתכת רבים בארץ, יוצר מצב של תקופת מעבר בה יהיה הכרח במפעלים השונים לקבל החלטות באשר לרכישת ציוד, דרכי קליטתו והטכניקות החדשות הנובעות מכך. וזאת, בנוסף לצורך שיגבר במפעלים לטפל בסגסוגות מתוחכמות יותר על רקע הדרישות של צרכי התעשייה בארץ בעתיד הקרוב.
בנוסף לבעיות הנ"ל, קיימת הדעה במוסדות להשכלה הגבוהה מחד, ובתעשייה מאידך, שיש צורך להדק את הקשר ביניהם, ובמיוחד לכוון את תוכן הלימודים והמחקרים המבוצעים במוסדות אלה בכדי שיותאמו יותר לדרישות ולצרכים של התעשייה בארץ לעתיד לבוא.
אי לכך קיימת הצדקה רבת משקל לארגן כינוס ארצי, אליו יוזמנו מומחים מחו"ל ומהארץ שיציגו וינתחו את החידושים האחרונים במספר תחומים, וכן ידונו בצרכים הקיימים בהווה ואלה שיהיו בעתיד.

תכנית הכנס

מוקדשת לארבעה נושאים, כאשר לכל נושא מוקדש מושב בן הצי יום בו תערך הרצאה מרכזית של מרצה אורח מחו"ל בנושא, ולאחר מכן הרצאות קצרות של מומחים מהארץ ודיון של פנל בנושא.
יום ג' 13.4.1971
מושב ראשון – טיפול תרמי של פלדות
מרצה אורח – מר נ. קייטס, מנהל מרכז טכנולוגי בחברת לינדברג, שיקגו, ארה"ב.
מושב שני – חינוך מטלורגים עבור התעשייה
מרצה אורח – פרופ' ג. ג'. בואל, ראש המחלקה למטלורגיה פיסיקלית, הקולג' המלכותי למכרות' לונדון, אנגליה.
יום ד' 14.4.1971
מושב שלישי – טכנולוגיה של ריתוך
מרצה אורח – פרופ' ה. ל. אפס, פרופסור לטכנולוגיה של ריתוך, המכון הטכנולוגי קרנפילד, בדפורד, אנגליה.
מושב רביעי – יציקת סגסוגת אלומיניום
מרצה אורח – ד"ר ג. ר. גרדנר, סגן מנהל אגף היציקות והחישולים של מעבדות מחקר „אלקוה“, קליבלנד, ארה"ב.

סיורי יעוץ למפעלים ולמוסדות

לאחר הכנס יערכו המרצים מחו"ל סיור במפעלים המעוניינים לשם מתן יעוץ והכוונה על בעיות הצטיידות וטכניקות חדשות במטלורגיה תעשייתית. כמו כן יבקרו במוסדות להשכלה גבוהה להחלפת דעות באשר לכיוון הלימודים והמחקר בהתאם לדרישות התעשייה.
בתום סידרת הביקורים יגישו מומחי חו"ל אלו סקר בנושאים הנ"ל למועצה הלאומית למחקר ופיתוח.

הרשמה

קטלוג מפורט ובו פרטים על שאר נושאי ההרצאות ונושאי הפנלים יופץ בחודשים פברואר-מרץ לכל המעוניין.

דמי השתתפות

— 65 ל"י כול ארוחת צהרים וכיבוד קל.

דבר פרטים נוספים והרשמה : נא לפנות למדור ללימודי חוץ, ת. ד. 4959, חיפה
טלפון 67818, 68101.

פרק'ל' מתלשבה בא/לצורה צבאית

מאת: נ.נ.ר.

מתימטיים, סטטיסטיים וכלכליים, התואמים מצבים מוגדרים בתעשייה ובמפעל.

כיוון שכך, נותרו „הפיתוחים המתמטיים” הדיונים המופשטים והתיאורטיים בגדר נעלם, הרחוקים מלבם של מרבית הקצינים בחיל-החימוש, או כפי שמתבטא חלק מהם: „דברים בשמים”. המציאות האפורה והתובענית, המעסיקה את קציני החיל 24 שעות ביממה, „מקרקעת” את „הדברים בשמים”. המציאות מחייבת אותם לעמוד ללא הפוגה, צמודים היטב לקרקע, מתחת לכלי-הרכב המקולקלים והפגועים, בחפירות ובעמדות הנשק. שמים וקרקע — צמד מילים זה מזכיר לי את חלומי של יעקב „...והנה סולם מוצב ארצה וראשו מגיע השמימה...”. הארץ מסמלת לדידי את הריאליזם, המציאות, השמים — את האידיאלים, השאיפה. הסולם הוא היסוד הדינמי המקשר ביניהם. סולם שרגליו לא תוצבנה על קרקע איתנה, לא יעמוד איתן. סולם קצר מדי, לא יביאנו ליעד.

לבנות סולם — משמעו, לקשר בין התיאוריות של האחזקה, לבין המציאות. לבנות סולם כגון זה — היא משימה שראוי להתכבד בה.

אשתדל, עד כמה שיכולתי מגעת, להקים סולם זה, באמצעות קובץ מאמרים „פרקי מחשבה באחזקה צבאית”. להלן הראשון בהם.

„כמה כלים יהיו מוכנים עד תחילת הפעולה?”
„הניתן לסיים, עד תחילת הפעולה, תיקונם של כלים נוספים?”

„כמה כלים חזרו מהפעולה?”

„כמה כלים, נתקעו עקב תקלות טכניות?”

„אילו תקלות קרו?”

שאלות כגון אלו, שומע או משמיע איש החימוש מיום בו הוסמך כבעל-מקצוע חימושי או כקצין בחיל-החימוש. שאלות אלו — דווקא, ולא אחרות, מקפלות בתוכן גישה אחת: מסוימת, השמה דגש על שני הנושאים הבאים:

- זמינות הציוד — אחוז הציוד התקין בכל נקודות זמן, מכלל הציוד העומד לרשותינו.
- מהימנות — אחוז הציוד שימצא תקין מבחינה טכנית עם סיום הפעולה.

גישה זו היא מציאותית ביותר, ללא כחל וסרק. אין לפסול את הדאגה לנושאים אלה; יש לזכור כי גישה זו אפשרה לנו להשיג, בעבר, הישגים נכבדים ביותר בשדה-הקרב. חובתו של כל מפקד מבצע לשאול שאלות אלה, אולם לדעתי הגיע הזמן כי נשאל עצמנו שאלות אחדות נוספות שטרם נשאלו:

- האם שיטת האחזקה, המקובלת כיום, אינה משעבדת לצרכיה כוח-אדם רב מדי, והתוצאה — פגיעה בהקמתן של יחידות לוחמות?
- האם הארגון העכשווי, אינו משהה את הציוד בתיקונים, דבר המקטין את זמינותו?
- האם איננו „מאחזקים” ציוד, אשר זול יותר להחליפו, מאשר להשקיע בו כוח-אדם, חלפים וכד'?
- האם גישתנו לאחזקה, לוקחת בחשבון את סה"כ ההשקעות הבאות: — כוח-אדם, מיכשור וכלי-עבודה, חלפים, חומרים, מבנים, ידע מקצועי וכד'? כלום לא ניתן לבצע את אותן משימות אחזקה בפחות השקעות?

לגבי השוק האזרחי אין שאלות אלה בגדר חידוש. נושאי האחזקה והעלות (Cost), לעומת היעילות, נדונו באופן אקדמי ומדעי באוניברסיטאות, בטכניונים ובמוסדות אקדמיים אחרים. רוב העוסקים בנושא זה, „צמחו” בשדות אקדמיים של שטחי הכלכלה, הסטטיסטיקה, וחקר הביצועים; הם פיתחו מודלים

הגישה המעגלית לנושא האחזקה

בכל רמה, או בכל דרג, נמצא פרקי נושא המחברים זה לזה כשלשלת ומהווים בסור פו של דבר את „מעגל האחזקה”. הסכמה להלן מציגה את הרכבי מעגל האחזקה. „מעגל האחזקה” מתקיים בפועל החל בדרג הנמוך ביותר של העוסקים בנושא, וכלה בדרג הגבוה ביותר. השוני בין הדרגות מות מתבטא במידת ההתערבות הפעילה והשפעתו על כל אחד ממרכיבי המעגל. לדוגמה, מדיניות האחזקה מתקיימת ביחידה הקטנה ביותר אולם ליחידה השפעה

קטנה ביותר על קביעת המדיניות ועיצור בה. הבה נסביר בשלב זה כל אחד ממרכיבי המעגל.

מדיניות האחזקה

היא הקובעת, למעשה, מה הוא סוג הציוד אשר יימצא בשימוש, ולא להא לה סוגי טיפולים ותיקונים הוא נזקק. בניית הציוד והאחזקתיות שלו (Maintainability) נקבעות ברמה זו. המדיניות ניוונה מניתוח הי

החלטות בעבר ומפיתוח אלטרנטיבות חדשות ומזינה את המשך המעגל, בכך, שהיא קובעת בפועל את משימות האחזקה.

הגדרת משימות האחזקה

המשימה מוגדרת על-ידי כך, שהמדיניות קבעה את סוג הציוד וכמות הציוד אשר יימצאו בשימוש. משימות האחזקה באות לתרגם את המדיניות למספרים ולכמות, למועדים ואילוצים, תוך התייחסות לרמות המהימנות והזמינות הנדרשות.

טרנטיבות וכיוצא באלה, בעוד, שלמעשה נעוצה הסיבה בביצוע בלתי מתאים.

ניתוח הנתונים

הנתונים חייבים לעבור עיבוד וניתוח לאור הקריטריונים של העבר, תוך ביצוע ניתוחי רגישות אשר יאפשרו לנו לפתח את השלב הבא והוא:

פיתוח אלטרנטיבות חדשות

— כל שצויין לעיל, בא לאפשר פיתוח של אלטרנטיבות חדשות שסופן להשפיע על המדיניות בה ננקוט.

זהו, אסֶכָה, המעגל המתקיים בכל דרג ודרג. המאפיין דרג נמוך הוא שימת דגש על הביצוע, בזמן שבדרג הגבוה ביותר מושם הדגש על המדיניות שסופה להשפיע על המערכת כולה.

נשאלת איפוא השאלה: כיצד יש להת-ייחס לנושאים דלעיל ברמות השונות? על כך אשתדל לענות במאמרי הבא אשר יוקדש רובו ככולו לנושא האחזקה ברמת היחידה.

(מאמר ראשון בסידרה)



הלמו את המשימות, מאפשר לבחון עד כמה אנו מתקרבים מדי רגע להשגת המטרות ובסופו של דבר הוא אשר יאפשר לנו ללמוד על החלטותינו בעתיד.

ריכוז נתונים

דרושה מערכת המסוגלת לרכז את הנתונים הדרושים לשם עריכת ניתוח נכון של הביצוע. מערכת זו צריכה לאפשר איתורן של תקלות אשר קרו בדרג המבצע, אחרת „נזקוף“ כל סטיה לחובת המדיניות, האל-

האלטרנטיבות לביצוע האחזקה ניתן לבצע אותן משימות עצמן בדרכים ובאופנים שונים. ההיקף והשיטה יוצרים אלטרנטיבות אותן יש להביא בחשבון לפני החלטה בדבר ביצוע (דוגמה לכך יכולה לשמש הישענות על שירותי אחר זקה של מפעל המספק את המוצר או אחזקה במסגרת צבאית).

ניתוח התמורות לעומת ההשקעות כדי להחליט מהי האלטרנטיבה הרצויה, עלינו לדעת מה תורמת כל אלטרנטיבה לעומת ההשקעה הנדרשת.

החלטה על האלטרנטיבה הנבחרת החלטה זו צריכה ליפול לאחר קביעת אמת-מידה או אמות-מידה לתוכם מוכנסים הנתונים המתקבלים, מניתוח התמורות לעומת ההשקעות.

ביצוע האחזקה

זהו השלב בו מבוצעת ההחלטה ובו גלור מים העבר, ההווה והעתיד; אבהיר זאת: שלב זה מאפשר לנו לשפוט אם ההחלטות

קינג בע"מ

ייצור נויסביים
למונועים



הולון — איזור התעשייה — רח' הפתת 13

ט.ל. 846609

אחים סמי

ייצור הנוני באוטונוטים
עד קוטר 65 נ"מ
ייצור כבלים לנועצורים

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

נופעל לנוצרי גונוי

ספק מוכר של משרד הכטחון

תל-אביב, רחוב בן עזאי מס' 2 (רחוב 239)
טלפון 826018

סיבוב והיגוי בטנקים

ב.בן-בשט

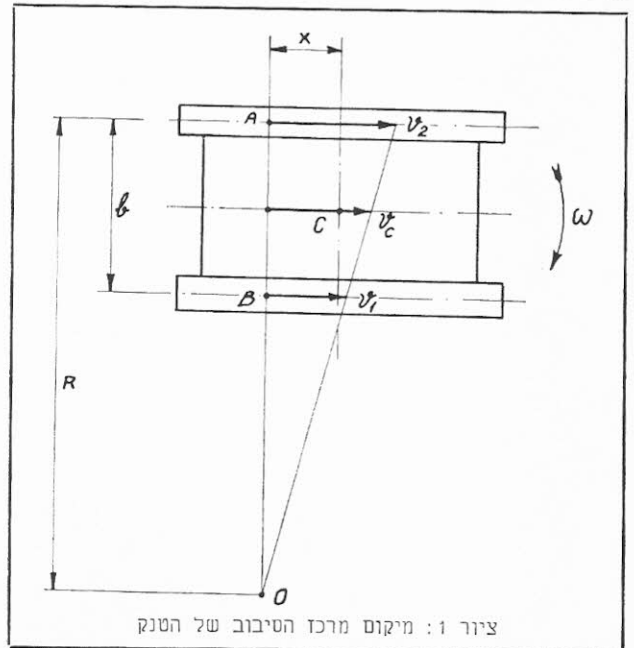
פעולת ההיגוי בכלי-רכב זחליים, מהווה אתגר הנדסי מעניין מאז צעדי ההתפתחות הראשונים של משפחה מיוחדת במינה זו, אשר נציגה הבולט ביותר הוא הטנק. שורש הבעיה נעוץ בעצם היות הזחלים קשיחים במישור התנועה של הטנק, ועל-כן הם בלתי ניתנים להטייה בזווית לציר התנועה. כתוצאה מכך, העיקרון שהונח במרבית מערכות ההיגוי של טנקים, הינו יצירת הפרש בין הכוחות המופעלים על-ידי שני הזחלים על הקרקע. על-ידי-כך מתקבל מומנט סיבוב הגורם להחלקת הזחלים ולסיבוב הטנק. בטרם נסקור את מערכות ההיגוי הללו לאורך שלבי התפתחותן, ננתח את פעולת הסיבוב של הטנק, הכוחות המשתתפים בה ואת יחסי הגומלין בין הגדלים הפיזיקליים השונים הלוקחים בה חלק.

במשך תנועת הסיבוב של הטנק, נוכל לקבוע בכל עת את הקו המהווה את ציר הסיבוב הרגעי. השלכתו של קו זה על מישור הסיבוב של הטנק הוא מרכז הסיבוב הרגעי שלו. בתלות באופי הסיבוב ישאר מרכז סיבוב זה קבוע או ינוע לאורך קו עקום כלשהו. אם נתבונן בשעת הסיבוב על כל זחל בנפרד, נוכל לחלק את תנועתו לשני מרכיבים:

- תנועה בקו ישר, יחד עם מרכז הסיבוב הרגעי. תנועה זו היא בכיוון הרגעי של הזחל.
- תנועת סיבוב מסביב למרכז הסיבוב הרגעי. ההתנגדות לשתי תנועות אלה נקבעת על-ידי מקדמי ההתנגדות התלויים בסוג הקרקע עליו נעשה הסיבוב ומקורה:
 - התנגדות לתנועה קווית, שמקורה בצורך בכבישת הקרקע — היינו: גרימה לדפורמציה בכיוון האנכי. התנגדות זו נקבעת על-ידי מקדם ההתנגדות הקוית — f .
 - התנגדות לתנועה סיבובית, שמקורה בצורך לגרום להתחלק הזחל על-פני הקרקע, במשולב עם גזירת שכבות הקרקע — לפי המקרה. התנגדות זו נקבעת על-ידי מקדם ההתנגדות לסיבוב — μ .

ערכים אופייניים של f — לחול 0.1 ולכביש 0.01 — ערכים אופייניים של μ — לחול 0.7 ולכביש 0.5. ניתן להניח בקירוב מספיק, כי הכוחות הנוצרים עקב התנגדויות אלה פועלים בניצב לציר האורך של הזחל. כאמור לעיל, מושג הסיבוב על-ידי הקניית מהירויות קוויות שונות לשני הזחלים, על-ידי שימוש במערכת היגוי שעל עקרונותיה נעמוד בהמשך. נסתפק בשלב זה בעובדה כי הזחל החיצוני, היינו הרחוק יותר ממרכז קשת הסיבוב של הטנק, מפתח מהירות גדולה יותר — V_2 , בעוד שהזחל הפנימי מפתח מהירות — V_1 .

מוקדי התנועה הסיבובית של הזחלים, שמהירותם המוחלטת מתאימה למהירות הסיבובית של הזחלים, מהווים את מרכזי הסיבוב של הזחלים — ראה נקודות A ו-B בציור 1.



ציור 1: מיקום מרכז הסיבוב של הטנק

כפי שנראה בציור, מרכזי הסיבוב של הזחלים אינם נמצאים בהכרח על ציר הרוחב של הטנק — C. מרכזי סיבוב אלה נעים במשך הסיבוב מצד לצד לאורך הזחל, מיקומם הרגעי מותנה בתנועת הטנק המסתובב. מרכז הסיבוב הרגעי של הטנק — 0 נקבע מחד-גיסא על-ידי מיקום מרכזי הסיבוב של הזחלים ברגע נתון, ועל-ידי המהירויות הרגעיות V_1 ו- V_2 מאיך-גיסא. בציור 1 נראה מרכז הסיבוב הרגעי של הטנק בהיקבעו גרפית בפגישת הקו העובר דרך מרכזי הסיבוב של הזחלים עם הקו המחבר את קצוות וקוטרי המהירות V_1 ו- V_2 .

המרחק בין מרכז הסיבוב של הטנק וציר הזחל החיצוני קרוי רדיוס הסיבוב של הטנק.

המהירות הזוויתית ω של הטנק תיקבע על-ידי

$$\omega = \frac{V_2}{R} = \frac{V_1}{R-B}$$

$$\omega = \frac{V_c}{\frac{B}{R - \frac{B}{2}}}$$

וכן

כאשר:

B — המרחק בין מרכזי הזחלים.

V_c — מהירות מרכז הכובד, במקרה היפוטטי זה, למעשה זו המהירות הממוצעת של נקודה במיפגש רדיוס הסיבוב עם ציר האורך של הטנק. מתוך המשוואות הללו ניתן לחשב את רדיוס הסיבוב R ואת המהירות הזוויתית ω . כמו-כן נוכל לקבל את יחסי המהירויות. על-ידי הצבת R ו- ω נקבל:

$$V_c = \frac{V_1 + V_2}{2}$$

במשך הסיבוב נשארים הערכים של V_1 , V_2 ו-R קבועים. במקרה בו משתמשים בדיפרנציאל פשוט (כפי שיוסבר בהמשך) והפרש המהירויות מתקבל על-ידי בלימת זחל אחד, נקבל מהירות ממוצעת בלתי משתנה של הטנק בשעת הסיבוב. זאת בתנאי שסיבובי המנוע ישארו קבועים, וכן בזכות העובדה שהדיפרנציאל הפשוט מביא לתוספת מהירות כדי V_2 השווה להפחתת מהירות כדי V_1 ולשמירה על ערך קבוע של V_c .

כוחות חיצוניים הפועלים על הטנק בשעת סיבוב

ניטול תחילה מקרה פשוט של סיבוב בשטח מישורי במהירות זוויתית קבועה, היינו רדיוס סיבוב קבוע. כמו-כן נניח מספר הנחות להפשטה:

- מרכז הכובד של הטנק נמצא במרכז הגיאומטרי של הזחלים.
 - משקל הטנק מתחלק באורח שווה לאורך הזחלים.
 - אין צורך להתחשב בשלב זה בהשפעת הכוח הצנטריפוגלי, בשל מהירויות קטנות יחסית.
- בהתחשב בכל אלה נקבל בצורה סכימתית, את מערך הכוחות הנראה בציור 2.

הצד הימני של משוואות (3) ו-(4) מהווה את מומנט ההתנגדות לסיבוב M_c

$$a = \frac{L}{2} \quad \text{נקבל (2) במשוואה}$$

על-ידי הצבה של ערך זה במשוואה (4) נקבל:

$$(5) \quad M_c = \mu \frac{GL}{4}$$

ואילו משוואות (3) ו-(4) ניתנות עתה לכתובה כדלהלן:

$$(R_1 - P_1) b = \mu \frac{GL}{4}$$

$$(P_2 - R_2) b = \mu \frac{GL}{4}$$

נציב לתוך משוואות אלה את ערכיהם של R_1 ו- R_2 ונקבל:

$$R_1 = R_2 = f \frac{G}{2}$$

$$(6) \quad P_1 = \frac{fG}{2} - \frac{\mu GL}{4b}$$

$$(7) \quad P_2 = \frac{fG}{2} + \frac{\mu GL}{4b}$$

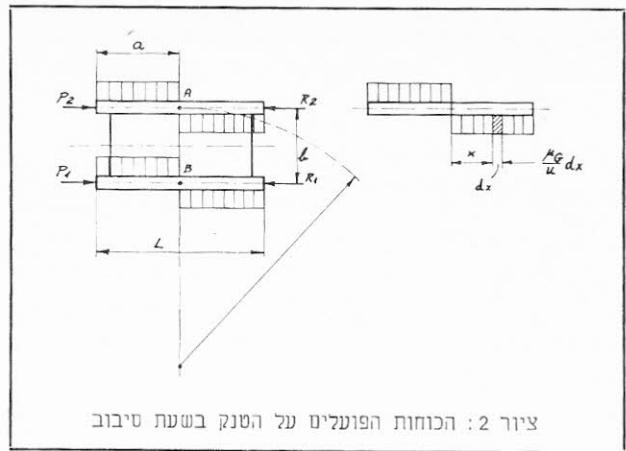
אלה הן המשוואות הנתונות את ערכי הכוחות הדרושים בזחלים בשעת סיבוב.

התבוננות במשוואות אלה תלמדנו מספר דברים:

- הכוחות, אותם יש לפתח בזחלים לשם סיבוב, תלויים לגבי טנק בעל משקל נתון הן בהתנגדויות לתנועה קוית וסיבובית והן ביחס בין אורך המגע של הזחלים בקרקע למרחק בין מרכזי הזחלים.
 - עבור טנק בעל נתונים קבועים, הגורם המשפיע ביותר על הכוחות בזחלים בשעת סיבוב הינו מקדם ההתנגדות μ שהוא גדול ביחס ל- f .
 - כתוצאה מהאמור לעיל עולה כי הכוח בזחל החיצוני P_2 הוא בעל ערך חיובי — כלומר הוא חייב להתקבל מהמנוע של הטנק.
 - הכוח בזחל הפנימי הוא שלילי — כלומר שכייוונו הונח הפוך למציאות, והוא למעשה כוח בלימה.
 - הכוח P_2 המופק ממנוע הטנק הוא גדול יותר מהדרוש לשם תנועה בקו ישר.
 - הקטנת האורך L והקטנת מומנט ההתנגדות M_c , משפיעים רים את כושר הסיבוב של כל טנק בעל משקל נתון G .
- במציאות אין העומס בטנקים מחולק בצורה שווה לאורך הזחל, ועל-כן מתקבלים ערכים שונים עבור M_c . מאספקט הסיבוב בלבד היה רצוי לשאוף לדיאגרמת עומס בעלת מבנה משולש שקדקודו במרכז הטנק.
- במקרה כזה מתקבל ערך מומנט:

$$M_c = \frac{\mu GL}{G}$$

אולם קשה מאוד להגיע במציאות לחלוקת עומס כזו, מה



ציור 2: הכוחות הפועלים על הטנק בשעת סיבוב

כאשר:

P_1 — הכוח המפותח על-ידי הזחל הפנימי בכיוון התנועה הקוית של הטנק.

P_2 — הכוח המפותח על-ידי הזחל החיצוני באותו כיוון. משקל הטנק. G

f — מקדם ההתנגדות לתנועה קוית.

R_1 ו- R_2 — ההתנגדויות בזחלים לתנועה קוית.

L — אורך המגע של הזחל עם הקרקע.

לנוכח ההנחות שהינחנו הרי:

$$R_1 = R_2 = \frac{fG}{2}$$

כוחות ההתנגדות לסיבוב מתוארים על-ידי השטחים המקוריים בציור 2. אלה הם כוחות התגובה של הקרקע על הזחלים והם מורכבים מהתנגדות להחלקה של הזחל, מהתנגדות לגזירה ומהתנגדות להערמה ודחיפה. בתנאי קרקע קבועים מותנה ערך ההתנגדות לסיבוב במשקל הטנק G בלבד. על-כן ניתן לבטא על-ידי G ומקדם ההתנגדות μ .

$$\frac{G}{2}$$

אם המשקל הפועל על כל זחל הוא:

בהתאם להנחה של חלוקה שווה, הכוח ליחידת אורך זחל

$$\frac{G}{2L}$$

יהיה: $\frac{G\mu}{2L}$ וכוח ההתנגדות ליחידת אורך:

נערוך עתה את מאזן הכוחות והמומנטים ביחס למרכזי הסיבוב של הזחלים A ו-B.

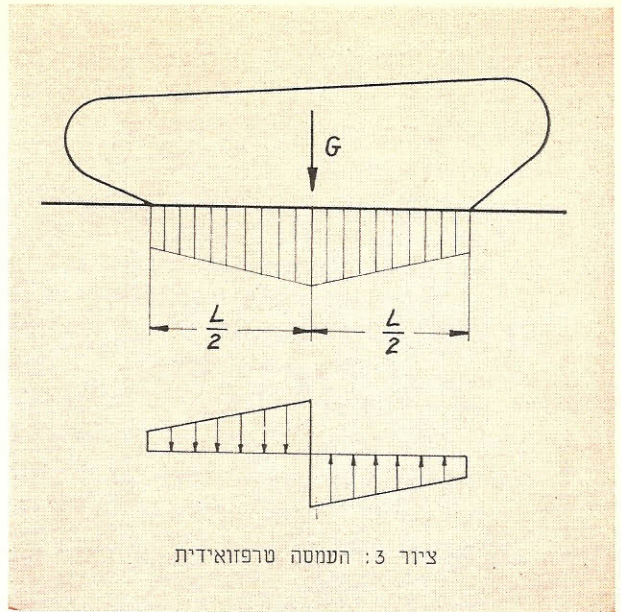
$$(1) \quad P_1 + P_2 - R_1 - R_2 = 0$$

$$(2) \quad \frac{G\mu}{L}(L-a) - \frac{G\mu}{L}a = 0$$

$$(3) \quad (R_1 - P_1) b = 2 \int_0^{L-a} \frac{\mu G}{2L} x dx + 2 \int_0^a \frac{\mu G}{2L} x dx =$$

$$\frac{\mu G}{2L} (L-a)^2 + \frac{\mu G}{2L} a^2$$

$$(4) \quad (P_2 - R_2) b = \frac{\mu G}{2L} (L-a)^2 + \frac{\mu G}{2L} a^2$$



גם שהיא פוגעת בכושר התמרון של הטנק. מקנים, אם-כן, לטנק בדרך-כלל חלוקת עומס כפי הנראה בצור 3. במקרה זה נקבל את המשוואות:

$$(8) \quad M_c = \frac{\mu GL}{5}$$

$$(9) \quad P_1 = \frac{fG}{2} - \frac{\mu GL}{5b}$$

$$(10) \quad P_2 = \frac{fG}{2} + \frac{\mu GL}{5b}$$

נרשום את משוואת המומנטים סביב ציר הסימטריה של הטנק

$$(P_1 + P_2) \frac{b}{2} = M_c$$

נציב את ערכו של M_c ממשוואה (5) ונקבל

$$(11) \quad (P_1 + P_2) \frac{b}{2} = \frac{\mu GL}{4}$$

הביטוי $(P_1 + P_2) \frac{b}{2}$ קרוי מומנט הסיבוב.

עתה נוכל לרשום את הכיוונים האמיתיים של הכוחות הפועלים בשעת הסיבוב — כמודגם בצור 4.

בניתוח של משוואה (11) ומשוואה (1) אנו יכולים להסיק שלגבי סיבוב במהירות קבועה ורדיוס סיבוב קבוע, P_1 ו- P_2 הם גדלים קבועים. הגדלת אחד מהם מביאה לגידולו של מומנט הסיבוב. כיוון שמומנט ההתנגדות M_c נשאר קבוע נקבל תאוצה סיבובית. התוצאה תהיה סיבוב לא אחיד — בעל רדיוס משתנה.

בחישובינו אלה התעלמנו מהשפעת הכוח הצנטרופוגלי. מבלי להיכנס לניתוח כמותי של הכוחות הפועלים, כאשר מביאים בחשבון את הכוח הצנטרופוגלי, נסתפק כאן בציון תחומי וכיווני השפעתו:

- מרכז הסיבוב של הזחל ינוע אל צדו הימני של ציר הרוחב של הטנק (ביחס לצור 2).
- העומס הכולל על הזחל החיצוני יהיה גדול יותר מהעומס על הזחל הפנימי. כתוצאה מכך ישתנו ההתנגדויות לתנועה קוית וסיבובית של שני הזחלים ללא קיום שוויון ביניהם.
- כתוצאה מהאמור לעיל, בסיבוב במהירות נמוכה גורם הכוח הצנטרופוגלי להגדלת P_2 ולהקטנת P_1 . השינוי בולט במיוחד ברדיוסי סיבוב קטנים.
- בסיבוב במהירות גבוהה גורם הכוח הצנטרופוגלי להקטנת P_1 ו- P_2 עד שמרגע מסוים חדל P_1 להיות כוח בלימה והופך לכוו משיכה המופק מהמנוע.
- בסיבוב במהירות גבוהה גורם הכוח הצנטרופוגלי להקטנת P_1 ו- P_2 עד שמתחננו סיבוב במהירות וברדיוס קבועים. נעיף מבט שטחי בלבד באספקטים של סיבוב בלתי אחיד. סיבוב כזה נעשה כאשר קיימת תאוצה זוויתית (ראה לעיל). לשם קיום תאוצה זוויתית על מומנט הסיבוב M_c להיות גדול ממומנט ההתנגדות M_c .

$$M_v > M_c$$

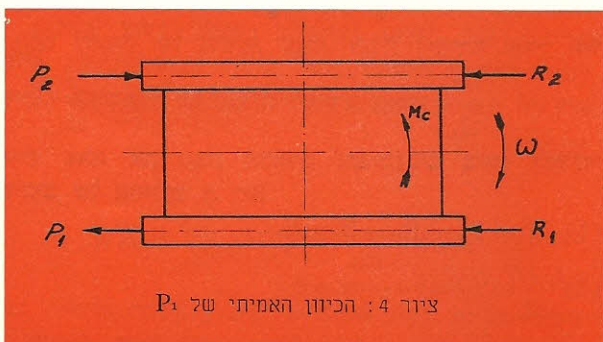
במקרה כזה תקבל משוואת הסיבוב את הצורה הבאה:

$$(P_1 + P_2) \frac{b}{2} - M_c = M_\alpha$$

כאשר:

$$M_\alpha = J_0 \alpha''$$

כאן J_0 — מומנט האינרציה הפולרי סביב ציר אנכי העובר דרך מרכז הסיבוב.
 α'' — התאוצה הזוויתית.
 ככל שהסכום $P_1 + P_2$ גדול יותר, כן תגדל התאוצה הזוויתית α'' והטנק יגיע מהר יותר למהירות הסיבובית הדרושה לרדיוס המתאים. כאשר סכום זה, וכן מומנט ההתנגדות M_c מגיעים לערכים קבועים מתקבל גידול אחיד של המהירות הסיבובית.



כאשר מומנט ההתנגדות הוא בגודל קבוע, מתקבלים ארבעה מקרים אופייניים של סיבוב אחיד:

- תנועה קצובה של מרכז הכובד בליווי תאוצה זוויתית קבועה.
- תנועה בתאוצה קבועה של מרכז הכובד בליווי סיבוב בתאוצה קבועה.
- תנועה בתאוצה קבועה של מרכז הכובד בליווי סיבוב בתאוצה קבועה.

לזחלים, לשם קבלת הכוחות הללו. בהמשך נסקור את הסוגים השונים של מערכות אלה, — שתכליתן המשותפת — היגוי. כדי להבין את עקרונות זרימת ההספק במערכות אלה, נייחד תחילה את הדיבור על שלושה מהסוגים הבסיסיים ונפתח עבורם את משוואות ההספק.

עקרונית מתחלקות מערכות ההיגוי לשני סוגים:

מערכות היגוי דיפרנציאליות — בהן נעשית בשעת ההיגוי חלוקת המהירויות לשני הזחלים בהתאם ליהס קבוע, או יחסים קבועים.

מערכות מזווגבלט — בהן מואטת התנועה הנמסרת לאחד הזחלים.

נבדוק תחילה מערכת מזווגבלט פשוטה:

במערכת כזו מתבצע הסיבוב על-ידי ניתוק המזווג, והפעלה של הבלם על הזחל הפנימי. כל הספק המנוע מועבר עתה לזחל החיצוני, הספק זה יהיה:

$$N_D = \frac{P_2 V_2}{270\eta}$$

כאשר:

V_2 — המהירות הקונית של הזחל החיצוני ב"קמ"ש.

η — הנצילות המיכנית.

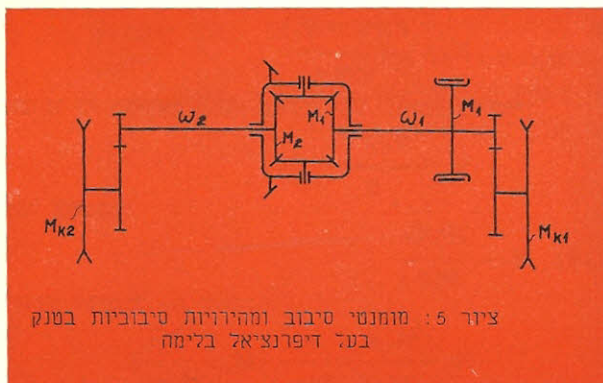
הספק זה צריך לשמש לשם התגברות על ההתנגדות לנסיעה וסיבוב, וכן לשם בלימת הזחל הפנימי. הספק הבלימה של הזחל הפנימי הוא:

$$N_T = \frac{P_1 V_1}{270\eta}$$

ההספק N_0 הנותר לשם התגברות על הכוחות החיצוניים מתקבל מתוך:

$$(12) \quad N_0 = N_D - N_T = \frac{P_2 V_2 - P_1 V_1}{270\eta}$$

מתוך המערכות הדיפרנציאליות נתעכב על שתיים מהפשוטות ביותר:



היגוי על-ידי דיפרנציאל בלימה

סכימה אופיינית למערכת זו נראית בצויר 5.

הספק המנוע N_0 מתחלק לשני הזחלים ושווה לסכום החסיקים בהם.

$$(13) \quad N_D = \frac{M_2 \omega_2}{75\eta_1} + \frac{M_1 \omega_1}{75\eta_1}$$

● תנועה בתאוצה משתנה של מרכז הכובד בליווי סיבוב בתאוצה משתנה.

עבור המקרה הראשון נקבל את רדיוס הסיבוב R בעת סיבוב הטנק בזווית ידועה α

$$R = \frac{V_0}{\sqrt{2\alpha''}} + \frac{b}{2}$$

$$\omega = \sqrt{2\alpha''}$$

כאשר:

V_0 — מהירות קצובה של מרכז הכובד.

α — זווית הסיבוב של הטנק.

α'' — התאוצה הזוויתית.

b — המרחק בין מרכזי הזחלים.

ω — המהירות הסיבובית בסוף הסיבוב.

עבור המקרה השני נקבל בהתאמה:

$$R = \frac{V_0 + at}{\alpha'' t} + \frac{b}{2}$$

כאשר:

V_0 — מהירות מרכז הכובד עם הכניסה לסיבוב.

a — התאוצה הקונית.

t — הזמן לגביו מחושב רדיוס הסיבוב.

בכל בדיקותינו עד כה, ראינו כי הגדלת הכוח בזחלים תביא לתאוצה זוויתית מוגדלת והקטנה של רדיוס הסיבוב. אולם בנוסף למגבלה הקיימת והטמונה בהספק המקסימלי של מנוע הטנק הנתון, קיים גורם מגביל לכושר הסיבוב, התלוי בסוג הקרקע — הוא מקדם ההיאחזות ξ . על-ידי הגדלת הכוח בוחל אנו מתקרבים למצב של החלקת סרק, עלינו לשמור על האי-שוויון הבא:

$$P_2 < \xi \frac{G}{2}$$

לגבי הזחל החיצוני:

$$f \frac{G}{2} + \mu \frac{GL}{4b} < \xi \frac{G}{2}$$

מתוך אי-שוויונים אלה, נוכל ללמוד אחד מהעקרונות המנחים בגיאומטריה של טנקים:

$$\frac{L}{B} < 2 \frac{\xi - f}{\mu}$$

לקרקע קשה ויבשה הערכים הם:

$$\xi = 0.7, f = 0.05, \mu = 0.6$$

$$\xi = 0.7, f = 0.1, \mu = 0.7$$

לחול:

$$\frac{L}{b}$$

נחשב את הערך המקסימלי ל-

$$\frac{L}{b} = 2.1$$

לקרקע קשה:

$$\frac{L}{b} = 1.7$$

לחול:

לאחר שסקרנו בקצרה את מערך הכוחות והתאוצות המש-תפים בפעולת סיבוב הטנק, נדון באופן העברת הספק המנוע

$$M_{K_1} = P_1 r$$

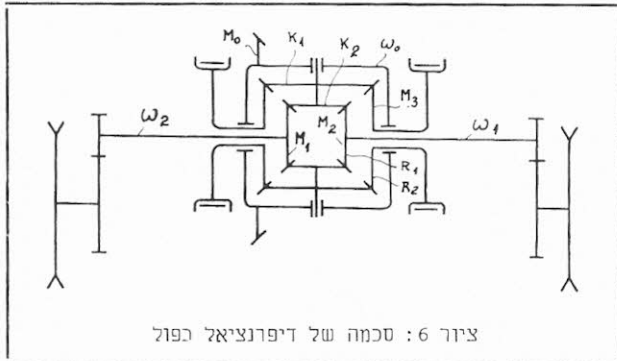
$$\omega_1 = \frac{V_1 i}{3.6 r}$$

נציב ונקבל:

$$(15) N_T = \frac{(P_2 + P_1)V_1}{270 \eta}$$

מכאן נמצא את ההספק להתגברות על הכוחות החיצוניים בשעת הסיבוב:

$$(16) N_o = N_D - N_T = \frac{P_2 V_2 - P_1 V_1}{270 \eta}$$



ציור 6: סכמה של דיפרנציאל כפול

היגוי על-ידי דיפרנציאל כפול

סכימה אופיינית למערכת זו נראית בציור 6.

במערכת זו קיימים הקשרים:

$$\omega_1 = (1 - i_0) \omega_0 + i_0 \omega_2$$

$$\omega_2 = (1 + i_0) \omega_0 - i_0 \omega_1$$

$$i_0 = \frac{R_2 K_1}{R_1 K_2}$$

כאשר:

ω_1 — המהירות הסיבובית בציר היציאה אל הזחל הפנימי.

ω_2 — המהירות הסיבובית בציר היציאה אל הזחל החיצוני.

ω_0 — המהירות הסיבובית של בית הדיפרנציאל.

R_1 — רדיוס שינן הציר המחובר לזחל.

R_2 — רדיוס תוף הבילום הימני.

K_1 — רדיוס שינן הדיפרנציאל הקטן.

K_2 — רדיוס שינן הדיפרנציאל הגדול.

מתוך הנ"ל אנו מקבלים:

$$\omega_1 + \omega_2 = 2 \omega_0$$

הספק המנוע הדרוש לסיבוב הטנק הוא:

$$N_D = \frac{M_0 \omega_0}{75 \eta_1} = \frac{M_0 (\omega_1 + \omega_2)}{2 \times 75 \eta_1}$$

כאשר:

M_0 — המומנט המועבר לבית הדיפרנציאל ב"מק"ג.

η_1 — מקדם להפסדים מיכניים.

מאזן המומנטים בדיפרנציאל יהיה:

$$M_0 = M_2 - M_1 + M_3$$

וכן:

$$\frac{M_3 K_2}{R_2} = \frac{M_2 K_1}{R_1} + \frac{M_1 K_1}{R_1}$$

כאשר:

M_1 — מומנט הסיבוב בשינן המחובר בתמסורת לזחל הפנימי

ב"מק"ג.

M_2 — מומנט הסיבוב בשינן המחובר בתמסורת לזחל החיצוני

ב"מק"ג.

ω_1 ו- ω_2 מהירויות הסיבוב המתאימות של שיננים אלה

ב- $\frac{1}{\text{sec}}$

η_1 — מקדם להפסדים מיכניים בין המנוע לשיננים אלה.

במערכת כזו, בשעת סיבוב אחיד, דוגמתו עסקנו בראשית

דברינו שווים המומנטים על השיננים:

$$M_1 = M_2$$

לכן תהפוך משוואה (13) ל-

$$N_D = \frac{M_2}{75 \eta_1} (\omega_2 + \omega_1)$$

כיוון ואנו רוצים להגיע לקשר בין ההספק לכוחות והמהי-

ריות בזחלים, נרשום את המשוואות הבאות:

$$M_2 = \frac{P_2 r}{i \eta_2}$$

כאשר:

r — רדיוס הגלגל המניע במ'

i — יחס המסירה בהינע הסופי

ω_{K_2} — המהירות הסיבובית בגלגל המניע של הזחל החיצוני

$$\omega_2 = \omega_{K_2} i = \frac{V_2 i}{3.6 r}$$

ω_{K_1} — המהירות הסיבובית בגלגל המניע של הזחל הפנימי

$$\omega_1 = \omega_{K_1} i = \frac{V_1 i}{3.6 r}$$

η_2 — מקדם להפסדים מכניים בהינע הסופי בזחל

המכפלה $\eta_1 \times \eta_2$ נותנת את סך-הכל להפסדים ואפשר

לרשום במקומה η

על-ידי הצבת כל הגדלים למשוואת ההספק נקבל:

$$N_D = \frac{P_2 (V_2 + V_1)}{270 \eta}$$

ובזכרנו כי מהירות מרכז הכובד V_C נתונה על-ידי:

$$V_C = \frac{V_2 + V_1}{2}$$

נקבל בהצבה:

$$(14) N_D = \frac{2 P_2 V_C}{270 \eta}$$

ההספק לבילום N_T יהיה:

$$N_T = \frac{M_r \omega_1}{75 \eta_1} = \frac{\omega_1}{75 \eta_1} \left(M_1 + \frac{M_{K_1}}{i \eta_2} \right)$$

כאשר:

M_r — המומנט בתוף הבילום ב"מק"ג.

M_{K_1} — המומנט בגלגל המניע ב"מק"ג.

כדי לפלוט את הגדלים הבלתי רצויים מהמשוואה האחרונה

נשתמש ב:

$$M_1 = M_2 = \frac{P_2 r}{i \eta_2}$$

כאשר:

M_1 — המומנט בציר היציאה אל הזחל הפנימי.

M_2 — המומנט בציר היציאה אל הזחל החיצוני.

M_3 — המומנט המושקע בבלימה.

מכאן:

$$M_3 = \frac{M_2 K_1 R_2}{K_2 R_1} + \frac{M_1 K_1 R_2}{K_2 R_1} = M_2 i_0 + M_1 i_0$$

נציב את ערכו של M_3

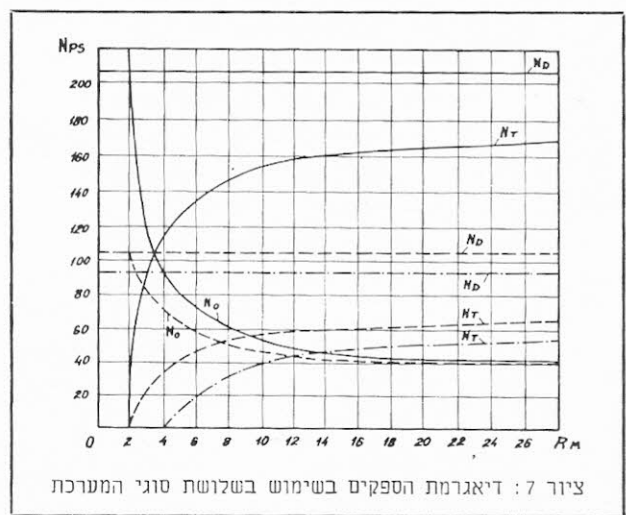
$$M_0 = M_2(1 + i_0) - M_1(1 - i_0)$$

עתה נציב את ערכי M_1, M_2, ω_1 ו- ω_2 בדרך בה עשינו זאת בדיפרנציאל הבלימה ונקבל במשוואת ההספק

$$(17) \quad N_D = \frac{V_1 + V_2}{540\eta} [P_2(1 + i_0) - P_1(1 - i_0)]$$

כיוון וההספק הדרוש להתגברות על הכוחות החיצוניים אינו משתנה נוכל לרשום

$$N_T = \frac{P_2 V_2 - P_1 V_1}{270 \eta}$$



מכאן נוכל לחשב את ההספק הדרוש לבלימה בדיפרנציאל כפול.

$$(18) \quad N_T = N_D - N_0 = \frac{P_2 - P_1}{540 \eta} [(V_1 + V_2)i_0 + V_1 - V_2]$$

נבדוק עתה את אשר קיבלנו. כאשר תוף הבלימה בלום לח לזיין מתקבל רדיוס הסיבוב המינימלי R_{min} . במקרה זה המהירות הסיבובית של תוף הבלימה היא $\omega_3 = 0$ במקרה זה נקבל:

$$\frac{\omega_2}{\omega_1} = \frac{1 + i_0}{1 - i_0}$$

ואולם קיימים גם היחסים:

$$\frac{\omega_2}{\omega_1} = \frac{V_2}{V_1} = \frac{R_{min}}{R_{min} - b}$$

b — המרחק בין מרכזי הזחלים.

מכאן:

$$(19) \quad \frac{R_{min}}{R_{min} - b} = \frac{1 + i_0}{1 - i_0}$$

אם נתבונן במשוואת ההספק ניווכח כי ההספק הכולל קטן עם הקטנת i_0 . מאידך R_{min} האפשרי גדל עם הקטנת i_0 . בדרך-כלל, $R_{min} = 2b$. במקרה זה:

$$i_0 = \frac{1}{3}$$

ואז יהיה ההספק:

$$N_D = \frac{V_1 + V_2}{3 \times 270 \eta} (2P_2 - P_1)$$

אם נבחר עתה מערכת נתונים ונחשב בעזרתם את ההספקים הדרושים לסיבוב, בשלושת המערכות בהן עסקנו, נגיע למסקנות הבאות:

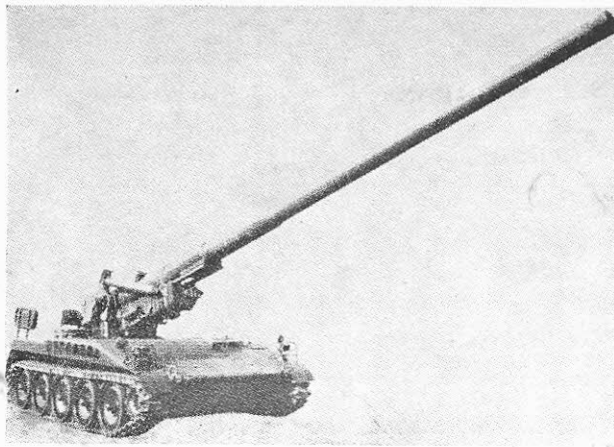
- ההספק הדרוש לסיבוב במערכות מזוגי-בלם הוא חצי מזה של מערכת דיפרנציאל בלימה.
- ההספק הדרוש הקטן ביותר מתקבל במערכת דיפרנציאל כפול.
- ההספק הדרוש להתגברות על כוחות חיצוניים גדל עם הקטנת רדיוס הסיבוב.
- הספק הבלימה קטן עם הקטנת הרדיוס. את הנ"ל ניתן לראות בצירור 7.

על מערכות ההיגוי הקיימות בטנקים ותכונותיהן — במאמר הבא.

תותחים מתנעיים מאז ועד מחר...

מאת: ג. ארגון





תותח מתנייע M-107 אמריקני בעל קליבר 175 מ"מ

התותחים הנחשבים כיום כארטילריה בינונית שוקלים כ-8 טון. משקל זה מתחלק, בדרך-כלל, שווה בשווה בין החלקים הנעים בתותח (קנה, מנגנון רתיעה, עריסה ואוכף). לבין המרכבה ומערכת ההסעה. מערכת ההסעה של כלים במשקל כזה, מצויידת ב-2-3 צירים ו-4-10 אופנים. צוות תותח כזה מונה, בדרך-כלל, 8 אנשים.

בדוננו על נידוד התותח, עלינו להתחשב בשני נושאים עיקריים:

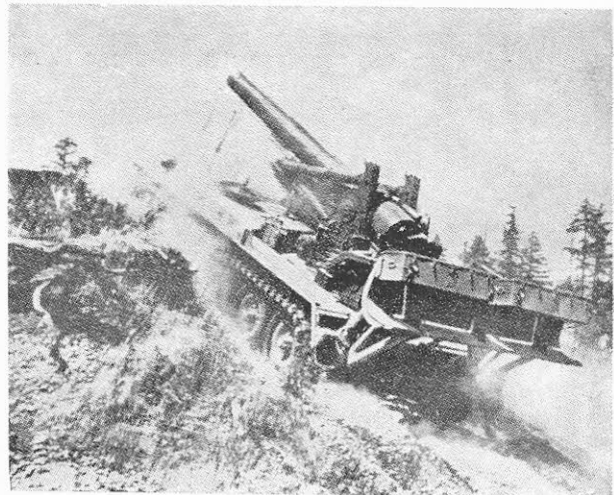
- תנועת התותח בדרכים סלולות, או בשטח.
- הצבת התותח לירי, והכנתו לתזוזה.

הרכב הגורר, גורר את התותח בדרכים או בשטח, אולם את כל שאר הפעולות חייב לבצע הצוות בעבודת כפיים. עבודות אלה כוללות:

- ניתוק התותח מהרכב הגורר.
- הכנסת התותח לעמדתו המתוכננת.
- הצבת התותח למצב ירי, פעולה הכוללת, בדרך-כלל, תקיעת יתדות אחדות לעומק של כ-40 ס"מ.

עם גמר פעולות הירי, כאשר רוצים להחליף עמדה או נאלצים לעשות כן בגלל אש נגד סוללות אויב, יש לחזור על

תותח מתנייע M-110 אמריקני בעל קליבר 203 מ"מ

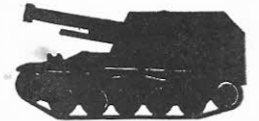


המושג — „תותח מתנייע“, כפי שהוא מוכר לנו כיום, כולל למעשה שני סוגים של תותחים מתנייעים:

- תותח בעל הנעה עצמית, הקרוי בפי הגרמנים (Selbstfahrlafette).

- תותח מתנייע (Panzerkanone). האמריקנים אינם מבדילים בין הסוגים, ולשניהם כינוי משותף (Selfpropelled gun/howitzer). בחלקו הראשון של המאמר נתייחס לשני הסוגים כאל אחד, נבחן מהו, למעשה, הכלי הקרוי אצלנו תותח מתנייע ומהם הגורמים המשותפים לשני הסוגים והמאפיינים אותם.

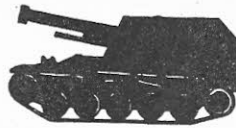
תותח מתנייע? כוהו?



ההגדרה הפשוטה לתותח מתנייע היא: תותח שהוסרה ממנו מערכת ההסעה, והותקנה לאחר-מכן, על טנק ממנו הוסר תחילה הצרית. התקנת התותח בשיטה זו, מאפשרת ניצול-יתר של כוח האש, זאת — על-ידי החלפת עמדות מהירה, ותקיפת כמה מטרות הפזורות על-פני שטח גדול. נוסף על כך, מאפשרת תכונת הניידות של התותח שילוב פעולה עם כוחות שריון מתקדמים. כן מאפשרת ניידותו של התותח המתנייע, למפקדי עוצבות „זרזר“ במהירות את נשקם הכבד לכל מקום בו הוא דרוש, מבלי שבעיות התובלה והעכירות יהיו מגבלה. כדי להבין את בעיית הניידות ואת השיבותו של הנושא, רצוי כבר בשלב זה, לפרט כמה גורמים המשפיעים על גודל התותח ומשקלו. אכן, גורמים אלה משפיעים אומנם בצורה עקיפה אך מכרעת, כאשר מדובר בניידות התותח.

כדי לירות קליע, שמשקלו עשרות אהדות קילוגרמים, למרחק של 15-30 ק"מ דרושים כוחות גדולים. כוחות אלה פועלים בעת ובעונה אחת הן על בסיס הקליע והן על התותח. כשם שאנו מעוניינים לתת לקליע תאוצה גדולה, כך אנו מעוניינים לייצב את התותח בעת ירי, כלומר — אסור שהתותח יזוז בעת ירי לאחור, או לכל כיוון אחר. לפיכך שואפים המתכננים להקטין את הכוחות הפועלים על מרכבת התותח ומערכת ההסעה שלו, על-ידי התקנת מנגנונים גמישים (קפיציים או הידרופנימטיים). מנגנונים אלה קרויים מנגנוני רתיעה, ומותקנים בין הקנה לבין המרכבה. מנגנונים אלה סופגים אומנם חלק ניכר מהכוחות הפועלים על התותח בעת ירי, אולם, על-אף פעולות המנגנונים, נותרים עדיין כוחות בלתי-מבוטלים המועברים למרכבת התותח. כוחות אלה, נעים באר-טילריה בינונית מודרנית בין 30 ל-50 טונה. מובן איפוא, שיש לבנות את התותח מבחינת חוזק וצורה כך, שיוכל לעמוד במאמצים הגדולים הפועלים עליו.

תותח בעל הנעה עצמית



תותח מסוג זה, מותקן על גבי חלקו האחורי של הטנק. המנוע והמסרות נמצאים בחלקה הקדמי של שלדת הטנק. כלים מסוג זה אינם מוגנים על-ידי שריון (פרט לחלקו המקורי של הטנק).

בתותח זה קיים מקום ישיבה לחלק מהצוות בלבד, ואינו מצויד במחסני תחמושת. ביצועי התותח (אשר היה נגרר), אינם מוגבלים בשל התקנתו על-גבי שלדת הטנק.

תותח מתנייע



בתותח מסוג זה, מותקן התותח, במרכז שלדת הטנק, בערך. כל מערכת ההנעה מוזזת קדימה, עד כמה שהדבר ניתן לביצוע. חלקה האחורי של השלדה מנוצל לקליטת התותח ומשמש תא-לחימה ממנו מפעיל הצוות את התותח.

ניתן לראות בתותח המתנייע, את הכלי הארטילרי המושלם, שכן הוא כולל בתוכו את כל הדרוש ללחימה. אפשר להגידו ככלי עצמאי המסוגל לנוע וללחום ללא סיוע, היות והוא נושא עליו את התותח, את הצוות, את התחמושת, את מכשירי הקשר ואת כל יתר ציוד-העזר הדרוש לפעולתו. נוסף על-כך מאפשר התותח המתנייע, וזאת בהתאם לדגמים השורשים, הגנה מלאה או חלקית לצוות הן בעת תנועה והן בעת פעולה.

מספרם של התותחים המתנייעים בצבאות המערב הולך ורוב. כן נמצאים דגמים נוספים בתהליכי פיתוח. בצבאות ברית-רושה נודעת לתותח המתנייע חשיבות משנית בלבד. הבדלי גישות אלה, מקורם בתפיסות טקטיות שונות, תפיסות העשויות בהחלט להשתנות באחד הימים, וגם צבאות הגוש המזרחי יצטיידו בעתיד הקרוב או הרחוק בתותחים מתנייעים.

מרגמה כבדה מתנייעת



גם את המרגמות הכבדות המתנייעות 120 מ"מ ו-160 מ"מ, ניתן בהחלט לצרף למשפחת התותחים המתנייעים. אף כאן מותקנת המרגמה על-גבי רכב זחלי (טנק), או זחלי-למחצה (חול"מ). כל האמור לגבי היתרונות הטמונים בניוד תותחים, חלים גם במרגמות הכבדות, זאת על-אף משקלן העצמי הקטן יותר מזה של התותחים. בנושא נידוד מרגמות כבדות ושיר לובן בפעילות מבצעית, מתקדם צה"ל יותר מצבאות רבים אחרים. ראוי לציין שרק השנה צויד צבא גרמניה המערבית במרגמות כבדות מתנייעות 120 מ"מ. המרגמה הגרמנית מותקנת על-גבי נושא גייסות משוריין אמריקני M-113.



תותח מתנייע M-55, "פטון" אמריקני בעל קליבר 203 מ"מ

הפעולות הנ"ל בסדר הפוך. אין אפשרות להעריך את משך הזמן המדויק הדרוש לפעולות ההצבה וההכנה לתזווה של התותח. זמן זה שונה בכל כלי ותלוי בסוגו של כל תותח, כמור כן תלוי הזמן באימון הצוות ובכושרו הגופני.

גם תנאי הקרקע תורמים לא במעט את חלקם להקלה או הכבדה על פעולות אלה. אם נקציב לפעולות הנ"ל פרק זמן ממוצע של 15 דקות, הרי שאין זה בגדר הגזמה. אולם יש לזכור כי פרק זמן זה יקר מאוד, במיוחד בתנאי קרב.

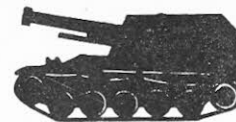
ציינו לעיל, כי הרכב הגורר פותר את בעיית ההובלה של התותח בדרכים סלולות ובשטחים. אולם נותרת עדיין בעיית הניווט בשטחים בלתי עבירים, שאין בהם דרכי גישה. קיימים רק מעט מקומות היכולים לשמש עמדת ארטילריה אידיאלית, אולם לא ניתן להגיע אליהן באמצעות הרכב הגורר. האמריקנים והרוסים ניסו לפתור בעיות אלה, על-ידי שימוש ברכב זחלי, שתפקידו לגרור את התותח. רכב זה שיפר אומנם את הביצועים לעומת הרכב האופני, אולם אין הוא מסוגל לשמש תחליף לתותח בעל נידוד עצמי. הרוסים עדיין משתמשים ברכב זחלי לגרירת תותחיהם, בעוד שהאמריקנים הפסיקו את השימוש בו מאז תום מלחמת-העולם השנייה.

מן האמור לעיל נראה, שעל-ידי ביטול המגבלות שזכרו, ניתן לקצר את הזמנים הדרושים לתזווה, ניתן להחליף עמדות לפני שהאויב הספיק לגלותנו ולהנחית עלינו אש, וניתן להעריק מספר רב יותר של מטרות.

תותח מתנייע M-108 אמריקני דגם 1963 בעל קליבר 105 מ"מ



תותחים נותניעים עבר, הווה ועתיד



הדור הראשון של התותחים המתניעים הופיע ב־1942. היה זה במסגרת הסבות דביזיות רגליות לדביזיות משוריניות וממוכנות. תהליך זה חייב ניוד ומהירות רבה יותר של הנשק הכבד המסייע.

הדור השני של התותחים המתניעים, הוא תוצאה ישירה של לקחי מלחמת קוריאה, והופיע באמצע שנות החמישים. הדור השלישי הופיע בתחילת שנות ה־60, ואין לראות בו „סוף פסוק“.

הדור הראשון של התותחים המתניעים, היה למעשה שילוב של תותחי שדה וטנקים, אף כי הם לא תוכננו מראש להתקנת התותח. הדוגמה הבולטת היא של התותח המתנייע M7. בתותח זה, מרותכת המרכבה של התותח הנגרר על טנק „שרמן“ לאחר שכל החלקים ה„מיותרים“ של המרכבה פורקו ונחתכו.

באותו זמן הכירו אף הגרמנים בצורך בניוד תותחי שדה,



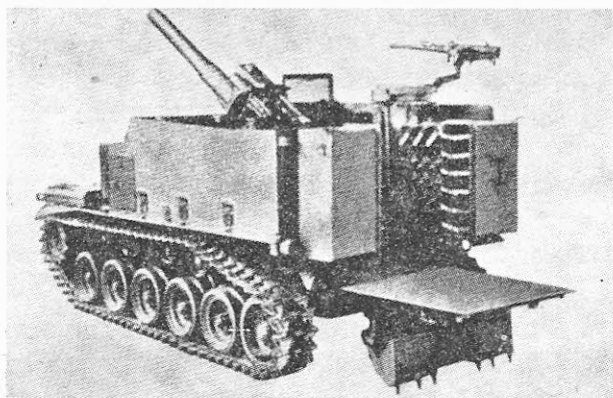
תותח מתנייע AMX-105A צרפתי בעל קליבר 105 מ"מ

ופיתחו מספר רב של תותחים מתניעים בקוטר 105 מ"מ ו־150 מ"מ בצורות רבות ושונות. יש לזכור כי התותחים המתניעים הגרמנים נבנו אז בלחץ של זמן, ומתוך המלאי שהיה ברשותם. באותה תקופה פותחו תותחים מתניעים אשר תותחם גרמני — ואילו שלדת הטנק עליו הותקן התותח היה שלל צרפתי.

טנק ה„שרמן“ שימש בסיס ל„משפחה“ הראשונה של התותחים המתניעים. „משפחה“ זו נתפצלה ל־4 ראשים, במגוון רחב. מגוון זה נתאפשר בשל שלדתו של ה„שרמן“ ומערכת ההסעה החזקה והמוצלחת שלו.

משפחה זו כללה:

- תותח מתנייע M7 בעל קליבר של 105 מ"מ.
- תותח מתנייע M12 בעל קליבר של 155 מ"מ, משנת 1917.
- תותח מתנייע M40 בעל קליבר של 155 מ"מ.
- תותח מתנייע M43 בעל קליבר של 203 מ"מ.



תותח מתנייע M44, וולקר בולדוג אמריקני בעל קליבר 155 מ"מ

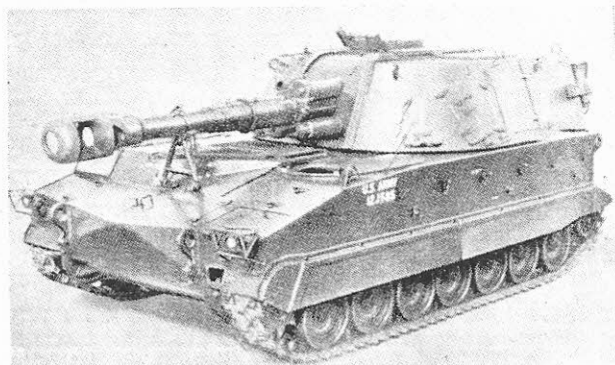
שלושת הדגמים האחרונים, צויידו במעדר גדול מאחור כדי למנוע תזוזת התותח לאחור בעת הירי.

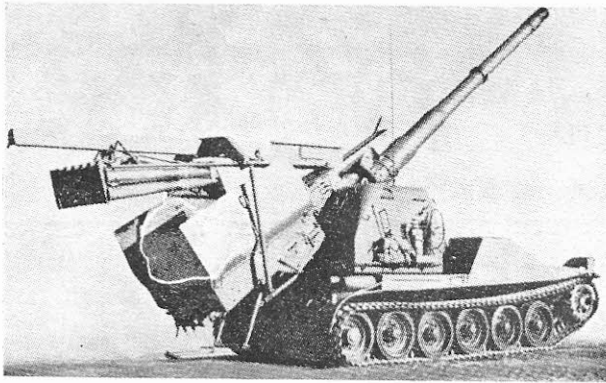
לקראת תום מלחמת העולם השנייה, בנו האמריקנים את התותח המתנייע בעל הקליבר הגדול ביותר, עד ימינו. קוטר התותח היה 203 מ"מ. כלי זה לא הספיק להשתתף במלחמה, והוצא מהשירות לאחר מלחמת קוריאה. בתותחי כוחות היבשה הגיעו לשיא בבניית תותח שקוטרו 280 מ"מ. תותח בקוטר זה יוצר במטרה לירות תחמושת בעלת ראש נפץ גרעיני. בתחילת שנות ה־60 הצליחו האמריקנים לפתח פגז בעל ראש נפץ גרעיני בקוטר 155 מ"מ. עם השלמת פיתוח פגז בקוטר זה, הנחשב לארטיילריה בינונית, הוצא תותח ה־280 מ"מ מהשירות.

מאז מלחמת העולם השנייה, האמריקנים הם היחידים השמים דגש על פיתוח דגמים של תותחים מתניעים. דגמים בודדים פותחו גם על־ידי הבריטים, הצרפתים והשוודים, אולם אלה לא הוכנסו לשימוש נרחב. לאחר מלחמת קוריאה פותחו דגמים חדשים, במטרה לענות על המגרעות שנתגלו במלחמת קוריאה.

השוני העיקרי בדגמי הדור השני של התותחים המתניעים היה בזה, שניסו להגן על הצוות מפגיעות נשק קונבנציונאלי וגרעיני. בדור זה נותרה עדיין השיטה של ההאמת תותחים נגררים על־גבי שלדות של טנקים סטנדרטיים. אומנם, לא כל המטרות הושגו, אך באופן כללי ניתן לציין כי חל שיפור לעומת הדור הראשון, והוגדלו גם תחומי הצידוד של התותחים.

תותח מתנייע M109 אמריקני בעל קליבר 155 מ"מ





תותח מתנייע VK-155 שוודי בעל קליבר 155 מ"מ, תותח זה אינו מופיע בטבלה בעמ' 30

דבר נוסף המאפיין את הדור השלישי הוא, תכנון רכב מיוחד לנשיאת התותח ובנייתו, והימנעות מלהשתמש בשלדות סנקים כבעבר.

לדור זה שייכים ארבעת הכלים הבאים:

- תותח מתנייע M-108 בעל קליבר 105 מ"מ — כלי זה מתיישן, ונמצא בשימוש מוגבל בלבד.
- תותח מתנייע M-109 בעל קליבר 155 מ"מ — כלי זה זהה לקודמו, פרט לקנה.
- תותח מתנייע M-107 בעל קליבר 175 מ"מ.
- תותח מתנייע M-110 בעל קליבר 203 מ"מ — כלי זה זהה ל-M-107 פרט לקנה.

מתוך קבוצה זו, עונים למעשה רק ה-M-108 וה-M-109 על הדרישות הידועות והרגילות של תותח מתנייע, שהם: ניווד עצמי, צריח מסתובב, תא-לחימה סגור, נשיאת כמות סבירה של תחמושת, הימצאו של חלק מהצוות בבטן הכלי והיותו מוגן שם.

בשל הדרישה ליבילות-אוויר נבנו שני הכלים האלה מחמרון, דבר המפחית ממשקל הכלי. גם יתר המכללים של התותחים המתנייעים כיום, קטנים וקלים יותר מאלה המצויים בדרך-כלל בטנק. כמובן שזה מגביל את ביצועי התותח ולדוג-מה: — טווח ה-M-109 הוא כ-15 ק"מ, טווח זה אינו משיביע רצון, ושוקדים כיום למציאת פיתרון להגדלתו.

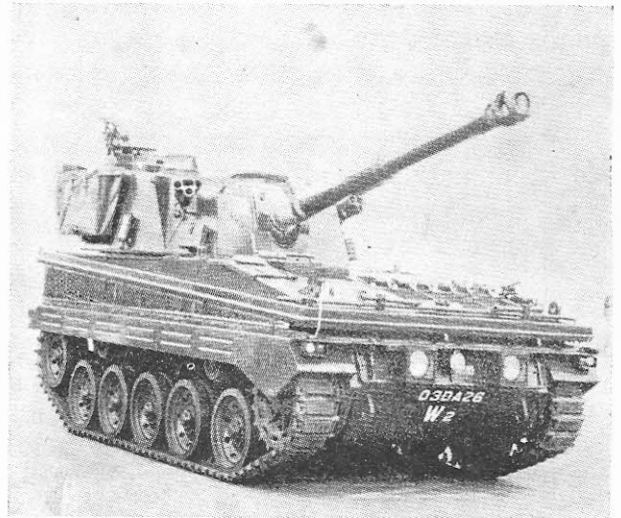
תותח מתנייע ישראלי בעל קליבר 155 מ"מ



לדור זה שייך התותח המתנייע הצרפתי AMX 105 מ"מ בעל תא-לחימה סגור, והתותח המתנייע האמריקני M-52 בעל תותח בקוטר 105 מ"מ. תותח זה נמצא בשימוש בכמה צבאות (תותחים מסוג זה נלקחו שלל מהירדנים, עלידי צה"ל, במלחמת ששת-הימים).

הבריטים התקינו תותח בקוטר 149 מ"מ, על-גבי טנק „צנטוריון“ זאת על-ידי שינוי כיוון הנסיעה של הטנק. הצר-פתים התקינו את תותח השדה 155 מ"מ על רכב זחלי בעל אופני מרכב פנומטיים.

דגמים אלה לא הוכנסו לשירות, ונותרו כדגמים נסיוניים בלבד. האמריקנים בנו גם שני תותחים מתנייעים כבדים המבור-סים על משפחת טנקי ה„טורן“. היו אלה, התותח המתנייע M-53 בעל תותח שקוטרו 155 מ"מ, ותותח מתנייע M-55 בעל תותח שקוטרו 203 מ"מ (8 אינץ'). כלים אלה וכן התור-ח המתנייע M-52, כללו שינוי מהפכני למדי ביחס לכל הידוע עד אותו הזמן. אמנם התותחים, מבחינת התחמושת והבליסטיקה, היו זהים לאלה שהותקנו בשנות ה-40 על-גבי



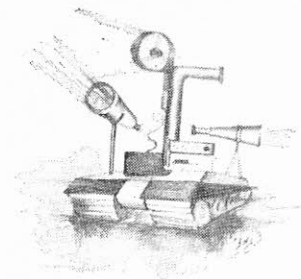
תותח מתנייע „אבוס“ בריטי בעל קליבר 105 מ"מ

הטנק „שרמן“, אך התקנתם נעשתה בדומה להתקנת תותחים בטנקים. בשיטה כגון זו, מקצרים את רתיעת התותח עד למינימום, כדי לאפשר את הכנסתו לתא לחימה סגור, ויחד עם זאת כדי לאפשר צידוד אופטימלי.

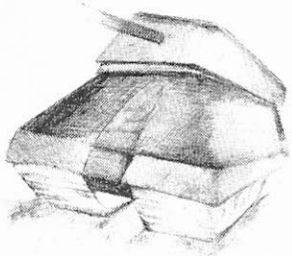
שלושת התותחים של כלים אלה הוכנסו לתוך תא לחימה סגור, מעין צריח, אשר הסתובב על-גבי שלדת הטנק. על-אף שיטת הבנייה החדשה של הצריח, הוגבל צידוד התותחים עד ל-30° לכל צד. את כיוון הנסיעה של שלדת הטנק שינו, כך שהמונע נמצא בחזית התותח המתנייע, ואילו בחלק האחורי מותקן הצריח.

הדור השלישי, ועד כה האחרון, נבנה על-פי קריטריונים חד-שים, אשר המתכנן בעבר לא נדרש לעמוד בהן, למשל, יבילות-אוויר. דרישה זו מגבילה בשני מישורים: משקל הכלי ונפחו; החייבים להתאים מבחינת עומס ומידות כדי שמוסעי התובלה יהיו מסוגלים לקלוט ולשאת. ברור, איפוא, שכדי לענות על דרישות אלו, חייבים היו „לשלוט“ בתכונות אחרות.

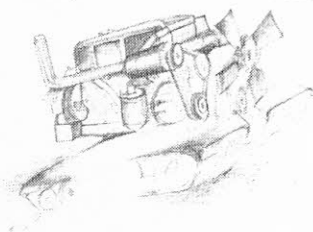
לו היינו מתכננים טנק, במקרה שלנו תותח מתנייע, כפי שמציעים המתכננים השונים, היינו מקבלים את הפתרונות כדלהלן



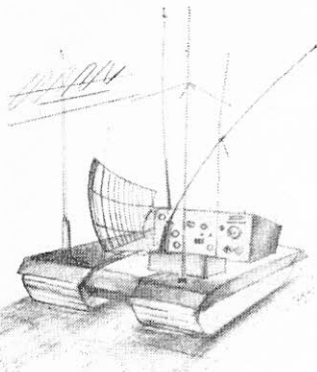
**איש
המערכות
האופטיות**



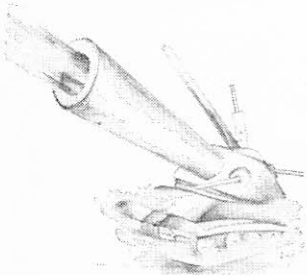
**איש
השריון**



**איש
המערכות
האוטומטיביות**



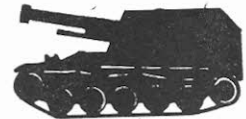
**איש
מערכות
הקשר**



התותחן

בשל מגבלות של משקל ונפח, "חוזרים" ה-M-107 וה-M-110 בני הדור השלישי, לדור הראשון. בכלים אלה, אין כלל הגנת שריון, וקיים מקום ל-2 פגזים בלבד, שגם אותם אין הוא מסוגל לירות ללא הרכב הנושא את התחמושת, מאחר שחומר ההדף מצוי על רכב זה. כן קיימים מקומות ישיבה אחדים לצוות, המוסע בגלוי על הכלי (פרט לנהג הנמצא במקום מוגן, כפי שמקובל בטנק). כדי לפתור את בעיות ההגנה של הצוות, מתכננים כיום דפנות מתקפלות מחומר פלסטי מיוחד. ה-M-107 וה-M-110, ממחישים בבהירות את המחיר שיש לשלם כאשר מעדיפים גורם מסויים. יש להניח כי כלים אלה היו שונים בתכונותיהם לו לא היו האמריקנים חייבים לענות על בעיית יבילות-האוויר.

**תותחים
מתנייעים
תכנון ויצור**



לאחר שסקרנו את שלבי התפתחותם של התותחים המתנייעים, נתבונן קמעה בבעיות הצעות ובלבטים המתגלים בעת תכנון תותח מתנייע חדש. הלבטים הבסיסיים בפיתוח תותח מתנייע דומים מאוד ללבטים בפיתוח טנק. הצוירים להלן מתארים את הטנק בעיני המתכננים השונים, צוירים אלה ממחישים את הבעיות הצעות בעת תכנון כלי חדש. אמנם, חסר בצוירים גורם עיקרי אחד — הצרכן, שהוא למעשה הגורם למענו נעשה מאמץ התכנון והפיתוח. לו היינו מכניסים גם את דרישותיו של הצרכן לצויר, הרי שהיה צורך לבנות טנק שיאחד את כל הפתרונות הבודדים שהוצעו כאן. הצוירים נראים דמיוניים, אולם אין הדבר כך. קיימות התלבטויות רבות הנובעות מההתנגשות בין דרישותיו של הצרכן, במקרה שלנו — התותחן, לבין המתכנן. מטבע הדברים שואפים שניי הם לטוב ביותר, אולם ברור שהמתכנן רואה מראש כי דרישות רבות לא תוכלנה לצאת אל הפועל בשל מגבלות הנדסיות ותקציביות.

צוותי הפיתוח הם, בדרך-כלל, אנשים בעלי רעיונות רבים ומגוונים. אך, בדרך-כלל, הם משוללי נסיון ואינם מכירים את בעיות האחזקה בשדה, ואת תנאי העבודה בהם צריכים הכלים לפעול. לכן נכנס לתמונה גורם "מרסן" — מנהל הפרויקט, שתפקידו לראות את התמונה הכללית, החל מתכנון וכלה בבעיות האחזקה בדרג השדה. על מנהל הפרויקט להחליט ולסכם איך ייראה הכלי, ואלו מערכות ומכללים יתנו לצרכן כלי מושלם. להלן אמות-המידה המכתיבות לנו את צורתו של התותח המתנייע ואת ביצועיו. יש להטעים כי אמות-מידה אלה, אינן מובאות לפי סדר עדיפות, היות וסדר זה שונה בכל צבא, בהתאם לתנאי הלחימה או גורמי עדיפות אחרים:

- קליבר התותח.
- טווח
- גזרת אש (ציוד).
- עבירות.
- מהירות נסיעה.

התותחים המתנייעים הנמצאים כיום בשימוש הצבאות

| תחמושת בטן (פגזים) | משקל התותח (טון) | טווח (ק"מ) | משקל הפגז (ק"ג) | קוטר התותח (מ"מ) | ארץ יצור | סימון הרכב וסוגו |
|--------------------|------------------|------------|-----------------|------------------|----------|---------------------|
| 69 | 24 | 11.5 | 15 | 105 | ארה"ב | M7B1 - "שרמן" |
| 102 | 25 | 11.5 | 15 | 105 | ארה"ב | M52, "וולקר בולדוג" |
| 86 | 21 | 11.5 | 15 | 105 | ארה"ב | M108 - מיוחד |
| 56 | 17 | 12 | 15 | 105 | צרפת | AMX105A |
| 40 | 17 | 15 | 15 | 105 | בריטניה | "אבוט" - מיוחד |
| 6 | 25 | 20 | 43.5 | 155 | ארה"ב | M12 - "שרמן" |
| 20 | 38 | 23.5 | 43.5 | 155 | ארה"ב | M40 - "שרמן" |
| 24 | 28 | 14.5 | 43.5 | 155 | ארה"ב | M44, "וולקר בולדוג" |
| 20 | 49 | 23.5 | 43.5 | 155 | ארה"ב | M53 - פטון |
| 28 | 25 | 18 | 43.5 | 155 | ארה"ב | M109 - מיוחד |
| 36 | 38 | 18 | 43.5 | 155 | ישראל | M50 - "שרמן" |
| — | 18 | 20 | 43.5 | 155 | צרפת | AMX - M50/33 |
| 14 | 46 | 25 | 48 | 155 | שוודיה | VV 155 - L50 |
| 2 | 28 | 32 | 66.5 | 175 | ארה"ב | M107 - מיוחד |
| 12 | 37.6 | 17 | 90 | 203 (8") | ארה"ב | M43 - "שרמן" |
| 10 | 48 | 17 | 90 | 203 (8") | ארה"ב | M55 - "פטון" |
| 2 | 24 | 17 | 90 | 203 (8") | ארה"ב | M110 - מיוחד |

וההרכב של הכוחות ושיטת האספקה, כלומר תנאים לוגיסטיים, המשפיעים על הדרישות. על הגורם הקובע את הדרישות עליהן חייב לענות התותח המתנייע, לשקול איזה גורם להעדיף ואיזה לבטל.

- טווח פעולה (טווח נסיעה).
- כמות תחמושת בבטן.
- הגנת הצוות (שריון).
- אמינות.
- אפשרות הגנה נגד מטוסים.
- זוויות הגבהה והנמכה של התותח.
- מחיר.
- הזמן המוקצב לפיתוח.
- אמצעי הייצור העומדים לרשות צוות הפרויקט.

תותחים נותנייעים ב"צה"ל



הדגמים שנבנו ב"צה"ל הם התותח המתנייע 155 מ"מ והמר"גמה הכבדה המתנייעת 160 מ"מ. כלים אלה משתייכים לקטגוריה של שילוב והתאמה הדדית בין שני גורמים — הנשק והטנק. קטגוריה זו הוכתבה בשל הפוטנציאל התעשייתי הקיים בארץ.

גורמים אלה, כמעט ללא יוצא מהכלל, משפיעים הדדית אלה על אלה. נוסף על כך קיימות בעיות טופוגרפיות הקשורות לתנאי התובלה והעבירות בכבישים. תנאים אלה משפיעים בעת תכנון הכלי מבחינת רוחב, גובה ומשקל. המתכננים חייבים להתחשב גם בבעיות הגשרים, אם המדובר במעבר מעל לגשר או מתחתיו, וכן בבעיות הובלה ברשת הרכבות של כל מדינה. יש אף לזכור בעת תכנון הכלי את הארגון

במאמר זה נדון בקבוצה קטנה, יחסית, של כלירכב, אשר חוללה תמורה מהותית בשיטות הלחימה ובאמצעיהן. כל הרוצה להשוות שיטות לחימה מודרניות, עם אלה שהיו נהוגות לפני כ-60 שנה, יוכח במהירה במהפיכה שחלה. מהפיכה זו מתבלטת במיוחד בשני התחומים הבאים:

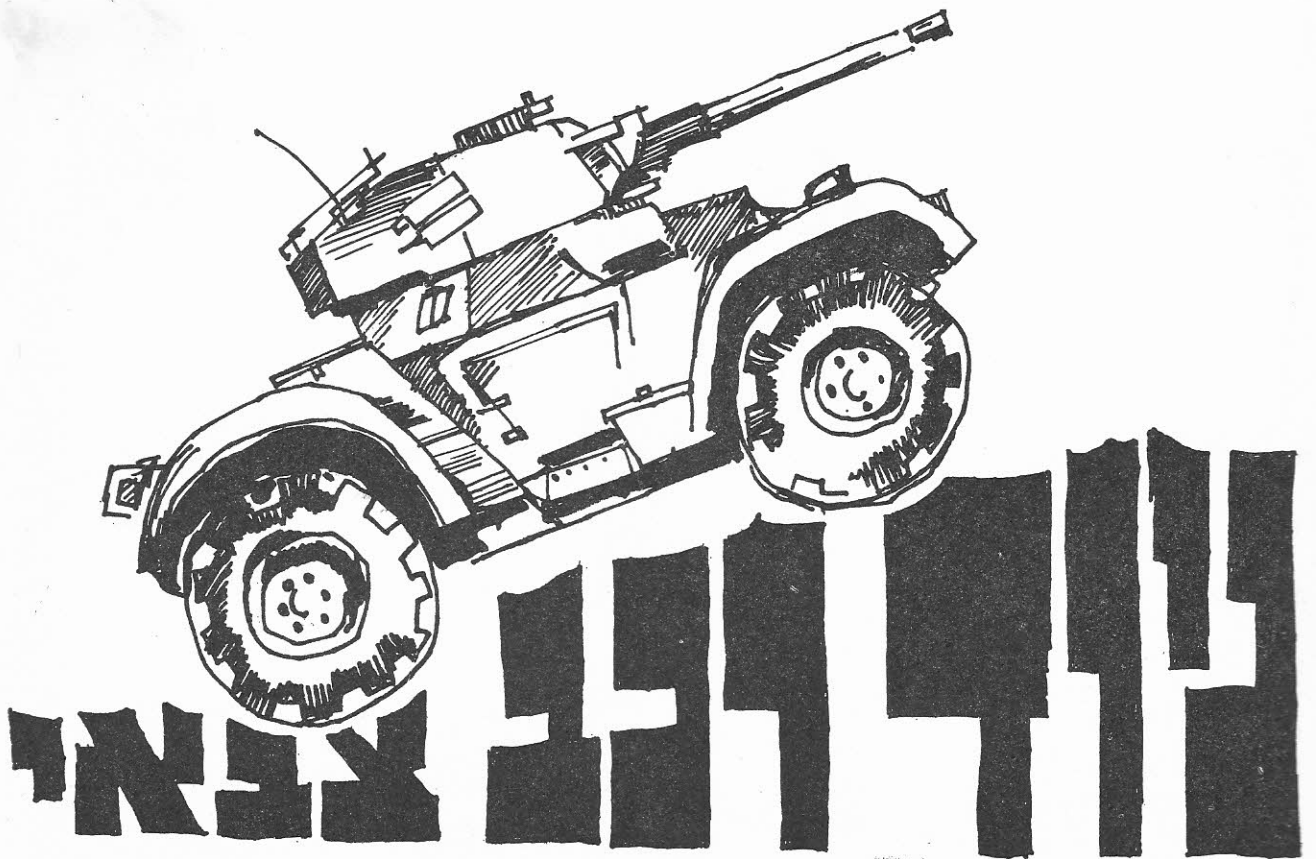
□ ניידות הכוחות – המתבטאת בעצם האפשרות לעבור בשטחים, בקצב ותנופת התנועה ובטווחי הלחימה.

□ עצמת האש הסגולית – כלומר, כמות האש המופקת על-ידי חייל או יחידה.

שני השינויים הללו, ורבים אחרים, התפתחו הודות להכנסתו של הרכב הצבאי כאמצעי לחימה ישיר או עקיף. ננסה, אם-כן, לסקור כמה מן התכונות הדרושות לרכב צבאי, מנקודת השקפה צרה, המתייחסת לביצועיו או לניידותו. אין אנו מתיימרים להקיף את הנושא במלוא היקפו ועמקו, או להכתיב „מרשמים“ בדוקים לכל מקרה.

מגמתנו לברר כמה מונחים ותכונות של הרכב והקרקע, לבחון את הקשר ביניהם ולהצביע על כיווני הפתרונות בהווה ובעתיד.

נאט צבי אורבך



- התאמת המכללים והמערכות לתנאי העבודה הצפויים, תוך הבטחת מהימנות ואורך חיים מקסימלי.
- התאמה לשיטות אחזקה הנהוגות בצבא מהבחינות הבאות: גישה לטיפולים, כיוונונים, החלפות, זמני טיפול ואחזקה קצרים, הכשרה פשוטה וקצרה לבעלי מקצוע.
- אחידות, — מינימום חלקי-חילוף, כלים וחומרים מיוחדים.

דרישות מיוחדות

- הגנה לצוות ולמכללי הרכב, בפני נשק־קל, בפני נשק נ"ט, בפני ארטילריה, בפני הפצצה אווירית, בפני מיקוש ונשק גרעיני, ביולוגי וכימי.
- אפשרות להתקנת כלי־נשק והפעלתם לשימוש ברכב בסיסי ליעדים שונים.
- כושר פעולה במיגוון רחב של תחומים (ורסטיליות).
- התאמה להפעלת מערכות־קשר, מערכות תצפית תת־אדומות וכד'.
- יבילות ביבשה, בים ובאוויר (הובלה, הצנחה, הסטה, הנחתה).

דרישות משקיות

- מחיר רכישת הרכב.
- הוצאות סבירות באחזקה שוטפת (דלק, שמנים, חלקי־חילוף, צמיגים, שעות־עבודה לתיקונים, לטיפולים וכד').
- הוצאות עקיפות כגון: הכשרת צוותות ובעלי מקצוע, רכישת אמצעי אחזקה, בינוי וכד'.
- הדרישות הנ"ל, ורבות שלא הוזכרו, מכתיבות פתרונות הנדסיים מיוחדים במינם, אשר, בדרך־כלל, אינם קיימים ברכב למטרות אזרחיות. השפעתן של הדרישות חלה על כל שלבי התכנון, החל במבנה הכללי של הרכב, וכלה באחרון מכלליו.
- במאמר זה, נצטמצם בתאור תחום אחד בלבד של ביצועי הרכב הצבאי, זאת תוך הימנעות מחישובים מסובכים ומניתוח תיאורטי מעמיק, נתרכז בנושא הניידות, ונבהיר מונחים מקובלים, דרישות, אמות־מידה ופתרונות.

ניידות — עבירות

לשני המונחים הנ"ל, פירוש אחד המקובל בעולם בשם „Mobility”, שניתן להגדירו גם כ„יכולת תנועה”. הכוונה כאן, למכלול מגוון של תכונות, אשר בסופו של דבר מאפשרות לרכב לנוע ממקום אחד למשנהו בזמן סביר (מהירות), במסלול הטוב ביותר מהבחינה המבצעית (סוג הקרקע והמכשולים), בכל תנאי סביבה (מוזג־אוויר, ראות וכדומה), ובמהימנות מקסימלית.

ככל שהרכב „עביר” יותר או „נייד” יותר, כן קטנות המגבלות בבחירת שטח הפעולה ומסלול התנועה, ויחד עם זאת גדלה ההסתברות להגיע ממקום למקום במהירות גדולה. נערכו מחקרים רבים, בשיטות אנליטיות ואמפיריות גם יחד, תוך נסיון להגדיר ולחזות עבירות בצורה כמותית וחד־משמעית.

לפני שניגש לפירוט הנושא, נבהיר בקצרה את התכונות והדרישות המיוחדות לרכב צבאי. המושג „רכב צבאי”, מתייחס לקבוצת רכב מצומצמת למדי המהווה אחוז אפסי מסך 250 מיליון כלי־רכב הנעים בעולם. ניתן למצוא בקבוצה זו, מגוון רחב ביותר של סוגים, דגמים ותצורות. החל מרכב „קטן” כגון: פרדים מכניים וגייפס, רכב לוגיסטי, וכלה בנגמ"שים ובטנקים. מבחינת היעודים מכסה הקשת הרחבה הזו את המטרות הבאות:

- רכב־קרב קל למטרות סיוור, נ"ט, פיקוד וכדומה.
 - רכב־קרב משוריין, — נגמ"שים, טנקים וכדומה.
 - רכב לוגיסטי, — משאיות, מכליות וכדומה.
 - ניווד מערכות נשק, — תומ"תים, מרגמות כבדות מתנייעות, משגרי רקטות וטילים וכדומה.
 - רכב לתפקידים מיוחדים, — למטרות פינוי, קשר, הנדסה, רכב טכני וכדומה.
- המיוחד בכל סוגי הרכב הצבאי והמשותף להם הן הדרישות החמורות בהן עליו לעמוד מבחינת התכנון, הייצור, התפעול והאחזקה.
- נציין בקצרה דוגמות אחדות הממחישות את הבעיות ואת האתגרים הניצבים בפני העוסקים בנושא זה. יש להטעים כי סדר הסעיפים דלהלן, אינו בהכרח לפי עדיפותן של הדרישות השונות. בכל מקרה ספציפי, נקבעות הדרישות והעדיפויות בהתאם ליעוד הרכב ולשיקולים אחרים.

ביצועים

- מעבר שטחים בעלי התנגדות הגדולה פי עשר ויותר, בהשוואה לרכב אזרחי.
- כושר טיפוס של 60% ומעלה, לעומת כ־15%—20% ברכב אזרחי.
- מעבר מכשולים כגון: ערוצים, קפלי קרקע וסלעים.
- כושר תנועה בקרקעות רכות כגון: חול, בוץ וכדומה.
- כושר צליחת מכשולי־מים.
- מהירות תנועה בשדה.
- תמרון (סיבוב האצה).
- טווחי פעולה.
- כושר גרירה וחילוץ.
- עמידות בתנאי סביבה
- תנאי אקלים קיצוניים (טמפרטורות גבוהות, אבק, קרינת־שמש, רוח, מימטרים, תנאים קורו־יביים וכדומה).
- הלמים ותנודות, בעת תנועה בשדה ומעבר מכשולים.
- עבודה בשיפועי אורך וצד גבוהים.
- מהימנות מבצעית וטכנית
- יכולת פעולה ממושכת בתנאי מאמץ קשים, תוך פגיעות מינימלית.

תפועל

- התאמה לדרישות הנדסת־אנוש.
- בטיחות מקסימלית.
- פשטות הפעלה ונוחיות הפעלה, אשר יחייבו נתונים מינימליים מהמפעילים ותקופת הכשרה קצרה.

לפיכך, חיזוי עבירות או השוואת כלי הרכב מבחינה זו על סמך נתונים תיאורטיים, הוא אחד מהאתגרים למהנדסי רכב ולכל העוסקים בתחום זה.

נסווג להלן, לצורך המאמר, את כל הדרישות או התכונות ל-4 קבוצות עיקריות שידונו בנפרד:

- כושר תנועה או כושר מעבר.
- מעבר מכשולים.
- מהירות התנועה.
- כושר תמרון.

בטרם נפרט, נדגיש כי תכונת הניידות היא שילוב של תכונות רבות, שיש ביניהן יחסי גומלין והשפעה הדדית. לכן אין להסיק בשום אופן מסקנות פזיזות, המתבססות על בדיקת או השוואת אחת מהן.



כושר תנועה

כוונתנו במונח זה להסביר את כושרו של הרכב לנוע על-גבי קרקע קשה למעבר, תוך התגברות על ההתנגדויות גדולות, ועל מכשולים טבעיים או מלאכותיים.

תכונה זו מותנית ביחסי גומלין בין הפרמטרים השונים של הקרקע והרכב, אשר, חקירתה, ב-20 השנים האחרונות, הפכה למדע שלם העומד בפני עצמו, והקריו — תורת המכניקה של מערכת רכב-קרקע. נסקור להלן בקצרה כמה מן המונחים המייצגים את מהות הבעיות ואת סוגיהן ונדגים פתרונות וקריטריונים.

ההתנגדות לתנועה (p)

זו מוגדרת כסך-הכל הכוחות הפועלים על הרכב, בכיוון ההפוך לכיוון התקדמותו. כוחות אלה (ראה צורף 1) כוללים התנגדויות הנובעות עקב פני הקרקע, והנמסרות דרך אופני הרכב או חליו והתנגדות האויר המופעלת על השטח החזותי. בדוננו על רכב צבאי ותנועה בשדה, ניתן להתעלם לחלוטין מגורם התנגדות האויר, זאת בשל המהירויות הנמוכות (לגורם זה השפעה ניכרת ביותר, ברכב הנע בכבישים

המגמה היא, לסווג כלי-רכב וקרקעות על-פי נתניהם הפיזי-קליים והגיאומטריים, תוך קביעת ציונים („אינדקס“), ובדרך זו ניתן להגיע לאמות-מידה של go—no-go לכלי-רכב מסויים, בתנאי קרקע נתונים. במקרים שונים חשוב יותר לדעת את כושר המעבר של שיירת כלי-רכב באותו תוואי, כאשר רכב אחד נע בעקבות רעהו ותוך כדי כך משתנות תכונות הקרקע.

על-אף כל המאמצים והכספים שהושקעו עד כה בפיתוח נושא זה, טרם הצליחו להגיע לתוצאות מושלמות וחד-מש-מעיות. זאת, עקב ריבוי סוגי הקרקע וגיוון פני השטח מחד-גיסא, וריבוי הפרמטרים המשפיעים על הרכב מאידך-גיסא.

הקשיים והלבטים בהגדרה כמותית של דרישות הניידות, בולטים בצבאות המודרניים עד עצם היום הזה. אם נשווה את המצב מבחינה זו לתכונות אחרות של מערכות-נשק, נראה שמרבית התחומים ניתנים להגדרה על-ידי דרישות כמותיות ברורות כגון: דרישות טווח, פיזור, כושר חדירה, מרחק-יגילוי, קצב-אש וכו'. לעומת זאת, בשטח הניידות עדיין נוהגים להגדיר דרישות בצורה כללית ביותר כגון: „רכב בעל ניידות גבוהה בשדה“, או „ביצועים שווים לפחות לאלה של...“ (רכב נתון מוגדר).

כתוצאה מהגדרות כלליות, מסוג זה, מתעוררות בעיות וצצים קשיים בשלבי תכנון הרכב, ובמיוחד בשלבי הניסוי, כאשר המטרה להבטיח ולאמת שהרכב ישיג מבחינת הניידות את הרמה הנדרשת. מסתבר שלעיתים קרובות קובעות התכונות הנראות לכאורה משניות, בתנאים מסויימים, את מידת הניידות של הרכב. להבהרת דברינו נביא להלן שלוש דוגמאות:

ב ניסוי סטטיסטי השוואתי של 9 כלי-רכב צבאיים, התברר להפתעת הכל שמבחינת מהירות התנועה הממוצעת פיגר רכב M-113, הנחשב לכל הדיעות כאחד מהמשוכללים, אחרי רכב אופני מיושן (גיפ M-38 A1). הניתוח שלאחר הניסוי הראה, שהסיבה נעוצה בשדה הראיה המוגבל של הנהג בנגמ"ש (M-113), בניסיעה עם מדפים סגורים. אגב, באותו ניסוי הוכתב גם גורם ההשפעה של טכניקת הנהיגה על ביצועי הרכב.

ג נסיון הלחימה בויטנאם הסתבר, שה-נגמ"ש M-113, עולה בביצועיו, בשדות אורז וביצות, על „אחיו הקטן“ M-114, על-אף שלאחרון הספק סגולי גבוה יותר (20 לעומת 17.5), ולחץ קרקע נמוך יותר (4.5 לעומת 7.5). משערים שנחיתותו של ה-M-114, במקרה זה, נובעת ממרווח גחון נמוך יותר ומצורת החרטום והזחלים וכתוצאה מכך נוצרת תופעת „דחפור“.

ד דר"חות שונים מסתבר שה-„גואר“ (M-520) עולה, באזורים מסויימים בויטנאם, בתקופת המונסון, על כלי-רכב זחליים כולל M-113, על-אף היותו רכב אופני בעל לחץ קרקע של 9 פ' לאינ"ר והספק סגולי נמוך (10). נוטים לייחס עליונות זו של ה-„גואר“ למבנהו הפרקי, לאופניו הגדולים ומרווח הקרקע הגבוה (57.5 ס"מ).

במהירות העולה על 50 קמ"ש, אזי גדל כוח ההתנגדות יחסית לריבוע המהירות). ניתן לסווג את ההתנגדויות הנובעות מתנאי הקרקע, ל-3 סוגים, הפועלים בנפרד או במשולב:

- התנגדות לגלגול.
- התנגדות השיפוע.
- התנגדות המכשול.

ההתנגדות לגלגול (Rolling Resistance) — (R)

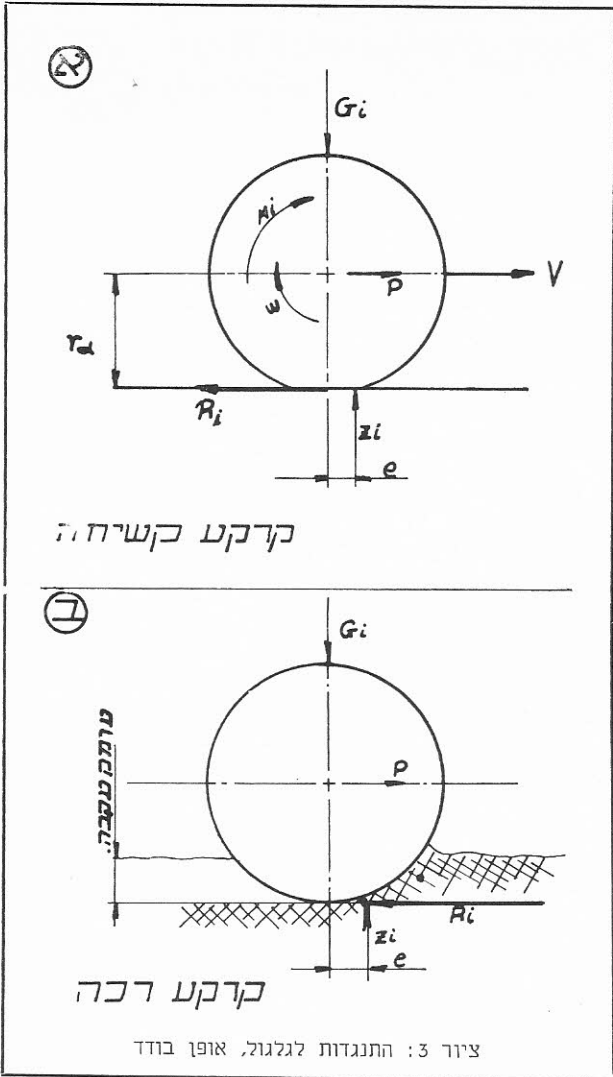
זהו הכוח עליו יש להתגבר כדי שרכב נתון ינוע בקרקע נתונה במישור אופקי (ציור 2). נוהגים להגדיר התנגדות זו, בדומה לכוח החיכוך כאמצעות מקדם הגלגול על-ידי:

$$(1) R = fG$$

כאשר:

- G — משקל הרכב.
- R — התנגדות לגלגול.
- f — מקדם הגלגול.

ברור מכאן, שכוח ההתנגדות גדל יחסית עם גידול משקלו של הרכב, וכן עם גידול מקדם הגלגול. שיעורו של מקדם הגלגול f נחשב בקירוב מספיק כגודל קבוע אשר תלוי בתנאי הקרקע, בתכונות מערכת ההסעה (אופנים, זחלים, מתלה) ובמידה מסויימת במהירות התנועה. קיים הבדל מהותי בין גורמי ההתנגדות בקרקע קשיחה (ציור א3) כגון: כביש, דרך כבושה, ובקרקע רכה כגון: חול, בוץ, שלג. בקרקע קשיחה נובעת התנגדות לגלגול בעיקר מחיכוך פנימי והפסדי אנרגיה בתוך מערכת ההסעה, ובמידה מסויימת מכוחות החיכוך והמשיכה בשטח המגע בין הרכב והקרקע. לעומת זאת, בקרקע רכה (ציור ב3), נובע עיקר ההתנגדות מהאנרגיה המושקעת, "בעיבוד" הקרקע על-ידי האופן או הזחל, כולל הידוק, יצירת עקבה (ה"קולי") ופעולת "דחפור" (Bulldozing).



קרקע קשיחה

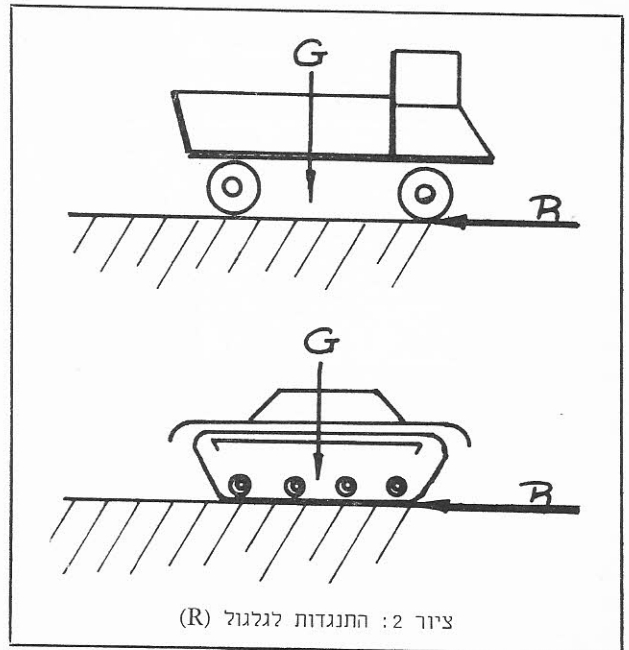
קרקע רכה

ציור 3: התנגדות לגלגול, אופן בודד

בדיאגרמה שבציור 4, מובאים שיעורי ההתנגדות לגלגול בסוגי קרקע אופייניים. מהדיאגרמה בולט ההבדל המהותי בין ההתנגדות המתקבלת בתנועה בדרכים סלולות (בסדר גודל של 10-30 ק"ג לטונה משקל של הרכב), לבין זו בתנועה בשדה (בתחום של 100-400 ק"ג לכל טונה משקל). כן ניתן לראות את ההבדלים בין המקדמים לרכב אופני ורכב זחלי.

השפעת הלחץ הסגולי

הפתרון המקובל והיעיל להקטנת ההתנגדות בקרקע רכה, הוא על-ידי השגת לחצי מגע קטנים בין האופן או הזחל והקרקע. "פתרון" זה ידוע מעשית לכל העוסק בתנועה רכב בשדה — הרקת אויר מהצמיגים הוא "רצפט" בדוק. אם הלחץ הסגולי, ברכב הנע בכביש, הוא בתחום של 2-6 אטמוספירות, הרי שברכב צבאי נדרש למעבר בקרקע רכה 0.5-1.0 אטמוספירות. בכלי-רכב מיוחדים, המתוכננים לתנועה בשטחי חולות, בוץ, שלג וכדומה, מגיעים כיום לשיעורי לחץ בסדר גודל של 0.05 אטמוספירות.



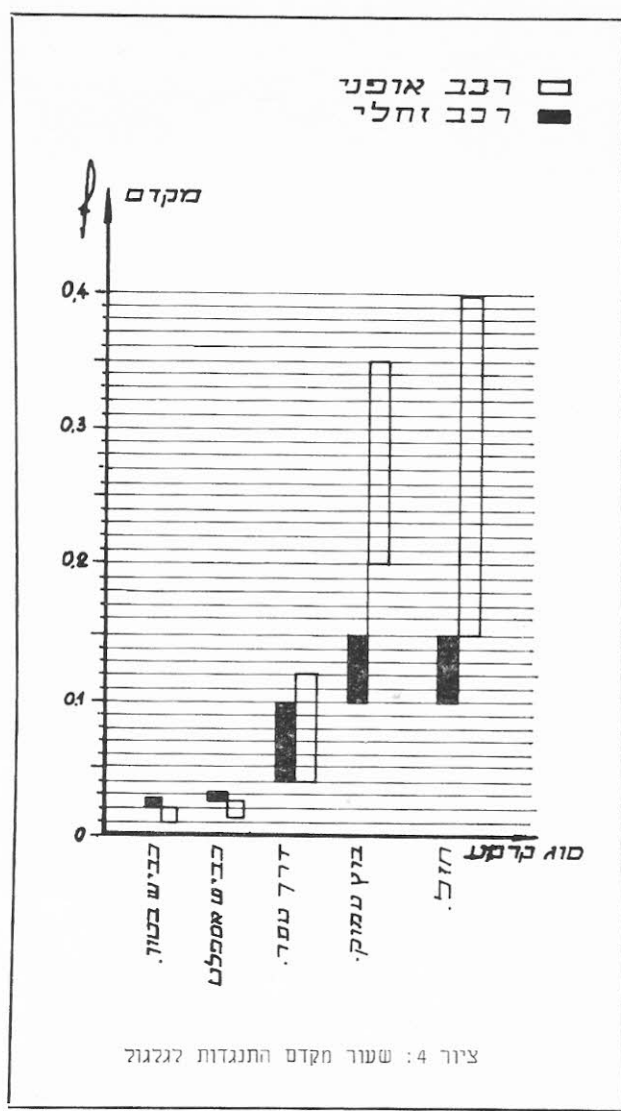
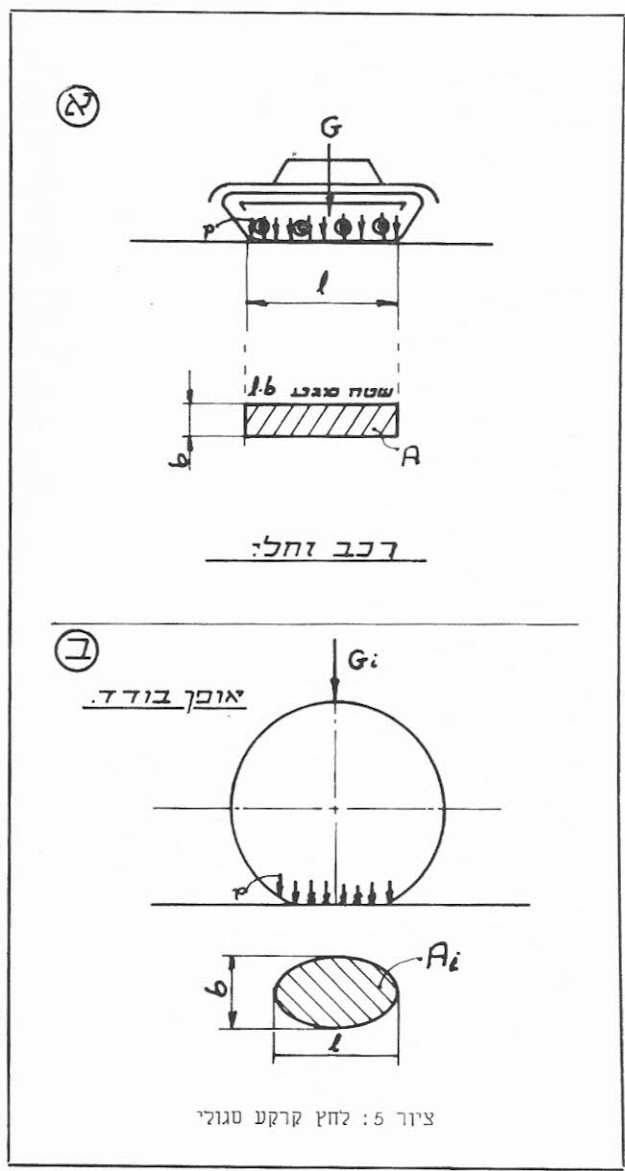
ציור 2: התנגדות לגלגול (R)

בקרקות רכות, משתנה לחץ הקרקע גם עם השקיעה של האופן או הזחל (דבר זה לא נפרט במסגרת המאמר).

הדיאגרמות בציר 7, ממחישות את השפעת לחץ המגע על ההתנגדות. מהעקום בציר 7א ניתן לראות שככל שהלחץ הסגולי יקטן, כן יקטן עומקה של העקבה. כלומר, האנרגיה הדרושה ליצירת העקבה ולדחיפת הקרקע לפני האופן, תקטן אף היא. היות ואנרגיה זו, היא הגורם העיקרי שיקבע את התנגדות הגלגול במקרה זה, ברור שנקבל עקום דומה למקדם הגלגול כתלות של לחץ הקרקע (ציר 7ב).

מהאמור לעיל, ניתן להסיק על כמה מגמות בולטות בתכנון הרכב הצבאי, כאשר השאיפה היא להקטין עד למינימום את התנגדות הגלגול בשדה:

- א. — הקטנת משקל הרכב (בעיקר היחס בין המשקל העצמי וכושר ההעמסה).
- ב. — במרבית סוגי הקרקע תהיה עדיפות, מבחינה זו, לרכב זחלי לעומת רכב אופני מקובל.



במקרה של זחלים (ציור 4א), הקטנת הלחץ הסגולי, מושגת על-ידי הגדלת רוחב/אורך הזחלים, כאשר:

$$P = \frac{G}{A} = \frac{G}{l \times b}$$

כמובן שהלחץ האמיתי בקרקע, אינו שווה בכל שטח העקבה, אולם כאן לא נתייחס לענין פילוג הלחצים, יחסי אורך-רוחב של הזחל וכו'. גם ברכב אופני, מותנה לחץ הקרקע הסגולי בשטח המגע ובעומס על כל אופן (ציור 5ב).

$$P_i = \frac{G_i}{A_i} = \frac{G_i}{Klb}$$

$$(K < 1)$$

כאן שטח המגע A_i , הוא בקירוב אליפסה. לגבי עומס נתון (G_i) על האופן, תלוי גודל שטח המגע בתכונות הצמיג ובלחץ האויר בו. נראה לדוגמה השתנות שטח המגע כתלות של לחץ האויר (ציור 6), לחץ המגע גדול, במידה מסויימת, מלחץ האויר בצמיג — $P_i > P_a$. שיעור התוספת תלוי בתכונות הצמיג, בעיקר ממידת גמישותו. יש להעיר כי

ג. — כדי לקבל ברכב אופני, התנגדות גלגול דומה לזו של רכב זחלי דרוש:

● צמצום העומס על כל אופן על-ידי משקל כולל נמוך, או ריבוי אופנים.

● שימוש באופנים גדולים, ככל האפשר בקוטר וברוחב (יש חשיבות לבחירת היחס הנכון ביניהם וכן לצורת המדרס).

● יישום צמיגים מיוחדים המסוגלים לעבוד בלחץ אויר נמוך, תוך מגבלות מינימליות.

● תכנון שיבטיח תנועת אופנים — זה בעקבות זה — על-ידי כך תושקע אנרגיה קטנה יותר ביצירת עקבות, וגם הידוק יעיל יותר.

ד. — הקטנת הלחץ הסגולי, ברכב זחלי, על-ידי רוחב ואורך הזחלים, תוך שאיפה לפילוג שווה, ככל האפשר, של הלחץ לאורך הזחל (צורה, גודל ורווחים של גגלות המרכוב, המתלה, מיקום מרכז הכובד).

ה. — הקטנת החיכוך הפנימי במערכת ההסעה, בשני סוגי הרכב — זחלי ואופני.

חשוב להבחיר שכל אחת מהדרישות הנ"ל כרוכה במגבלות שונות. השגת התכונות האופטימליות נעשית, בדרך-כלל, על-ידי התפשרות בין דרישות סותרות ומציאת „שביל הזהב“.

התנגדות השיפוע (S) — כושר טיפוס

כידוע לגבי כל גוף הנע על-פני שיפוע בזווית α (ציור 8), יוצר כוח הכובד G (משקל הרכב), שני רכיבים, Q — בניצב למישור המשופע, ו-S במקביל לו. הכוח S הוא המתנגד לתנועת הרכב במעלה שיפוע (Slope resistance) ושיעורו:

כאן נקבעת ההתנגדות לגלגול על-ידי הריאקציה Q:

$$R = fQ = fG \cos \alpha$$

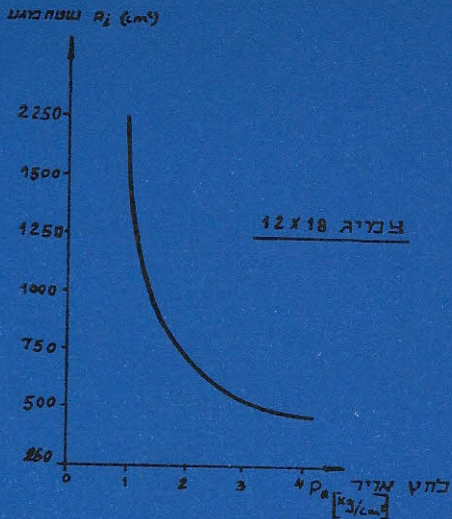
את כושר הטיפוס של הרכב מבטאים על-ידי α גבולי, במעלות או באחוזים, כאשר: $100 \times \tan \alpha = (\%)$ שיפוע של 100% הוא 45° , ו-60% כ- 31° . לעתים רחוקות (באנגליה), נוהגים לבטא את השיפוע על-ידי יחסי צלעות המשולש — לדוגמה 1:3.

השיפוע המקובל בסלילת כבישים אינו עולה, בדרך-כלל, על 15%, ובמקרים קיצוניים כ-18%. התכנון כיום לכבישים חדשים, מוגבל לרוב ל-11%. לעומת ערכים אלה, הרי שברכב הצבאי נדרש, כושר טיפוס של לפחות 60%, כלומר, ההתנגד דות S, גדולה ממחצית משקל הרכב ($\sin 31^\circ > 0.5$).

למעשה, „כושר הטיפוס“ המוגדר כאחד מנתוני הרכב, בא לבטא לא רק את זווית השיפוע התיאורטית, אלא בעיקר את זרורות הכוח, או יכולתו וביצועיו הכלליים. כושר הטיפוס מחושב ונמדד על-גבי מישור משופע הבנוי בטון או אספלט, כלומר בעל מקדם גלגול נמוך מאוד. מובן שבמציי אות, בעת תנועה בשדה, מותנה השיפוע הגבולי בו הרכב יוכל לעבור, בטיב הקרקע, כאשר ההתנגדות הכללית היא הקובעת (מתקבל מנוסחות 1 ו-2):

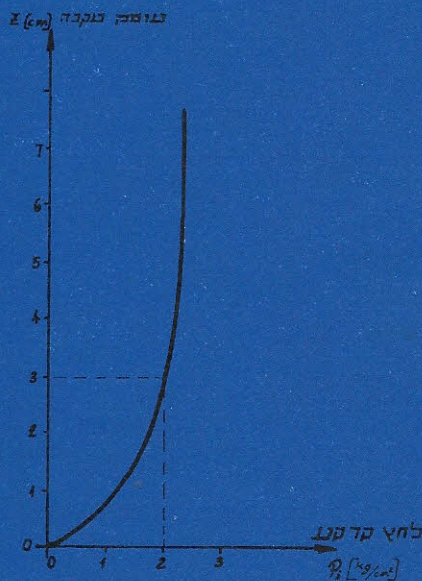
$$(3) P = R + S = G (f \cos \alpha + \sin \alpha)$$

כאשר מדובר בזוויות קטנות, או בחישוב מקורב, מסתפקים,

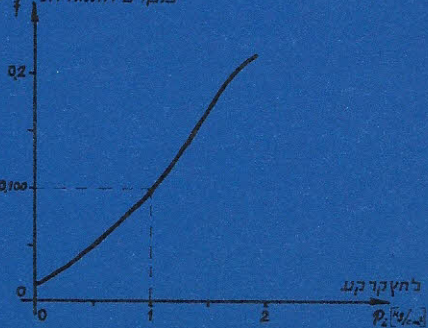


ציור 6: השפעת לחץ האויר על שטח המגע של רצמיג

(A)



(B)



ציור 7: השפעת לחץ הקרקע על:

א: עומק העקבה

ב: התנגדות לגלגול בתנועה בשטח זחלי

בדרך-כלל, בנוסחה פשוטה יותר (בהנחה ש- $\cos \alpha \approx 1$)

$$P \approx G (f + \tan \alpha)$$

כאן $\tan \alpha$ מבטא ישירות השיפוע באחוזים. כאשר כוח ההנעה של הרכב שווה או גדול מ- P , ניתן להתגבר על מכלול ההתנגדויות $(f + \tan \alpha)$ אם בחול ששם f גדול (ראה ציור 4), אפשר להתגבר על שיפועים קטנים יחסית, $(\alpha = 20-40\%)$ הרי שבקרקע כבושה או בדרך עפר שבהם המקדם f קטן, יהיה כושר הטיפוס קרוב ל-60% או אף יותר.

בצבאות אחדים מחמירים הרבה יותר בדרישות כושר הטיפוס, על-ידי הגדרת קריטריון השיפוע כ-65%—70%, על דרך עפר, כאשר הרכב עמוס וגורר משקל מקסימלי מותר. למעשה, ניתן לראות כיום דוגמות רבות של רכב מודרני, שפותח בשנות ה-60, המתוכנן לשיפועים של 75%—90%, „כושר הטיפוס“ כולל בתוכו דרישות רבות נוספות כגון: תנועה בשיפוע משולב, אורכי ורוחבי, יציבות, כושר היגוי ובלימה, פעולה תקינה של כל המערכות בשיפוע נתון וכיוצא באלה. במסגרת המאמר, לא נוכל לדון בכל אותן דרישות, אולם בעיות אחדות הקשורות בכושר הטיפוס ידונו בפסקה הבאה.

ההיאחזות וכוח ההנעה

כל תנועה של רכב, על-גבי הקרקע, מותנית ביכולתו להפעיל כוח הנעה דרך אזור המגע, בינו לבין הקרקע בכיוון התנועה. התופעה של החלקת האופנים או הזחלים או „התחפרותם“, כאשר אלה מסתובבים במהירות מבלי שתושג התקדמות הרכב הן מן התופעות הנפוצות. במקרה כזה, „מרותק“ הרכב עקב אי-יכולתו לפתח תגובה מתאימה בקרקע — הוא נכשל, למרות היותו, אולי, בעל הספק מספיק, זאת מפאת חוסר „היאחזות בקרקע“.

תיאורטית, מתקבל כוח ההנעה המקסימלי של הרכב, מהנוסחה הפשוטה הבאה:

$$(4) F = \frac{M \cdot I_o \cdot \eta_o}{\text{reff}}$$

כאשר:

F — כוח ההנעה באופן או בזחל.

M — המומנט המקסימלי שמספק המנוע.

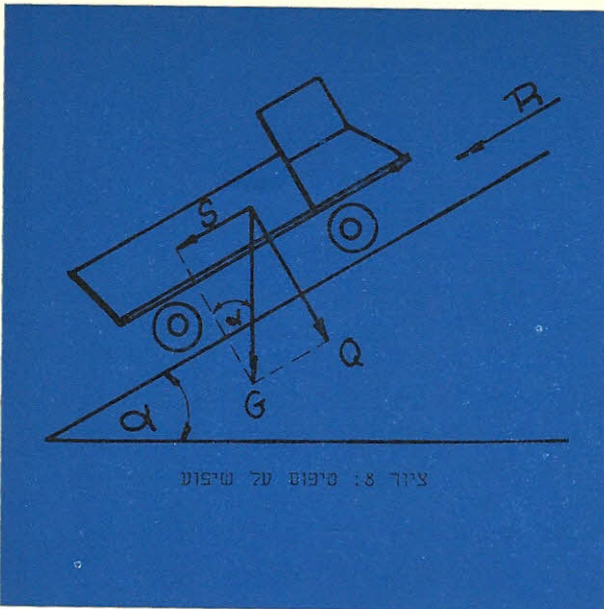
I_o — יחס העברה כולל של מערכת ההנעה.

η_o — נצילות מכנית כוללת של מערכת ההנעה או ההסעה.

reff — הרדיוס האפקטיבי של האופן המניע.

אולם מסתבר שכוח ההנעה המעשי של רכב, תלוי לא רק בנתוני המנוע ומערכת ההנעה, כנזכר לעיל, אלא גם במידת ההיאחזות. דהיינו, המידה בה ניתן להעביר את כוח ההנעה לקרקע. כוח ההיאחזות (T) הוא גודל התגובה שרכב נתון מסוגל לפתח בתנאי קרקע נתונים, והוא גם כוח ההנעה המקסימלי שהרכב יכול לנצל.

התופעה של היאחזות, היא מורכבת מאוד, ושימשה נושא למחקרים רבים (במסגרת תורת המכניקה של מערכת קרקע



ציור 8: טיפוס על שיפוע

דכב). ניסו לבודד ולנתח את מרכיביה, במגמה להגיע להגדרות אנליטיות ואמפיריות של הגורמים המשפיעים. כללית, ניתן לראות את התגובה בין הרכב והקרקע כתרכובת של:

כוחות הדבקה (אדהזיה) בין שכבות המגע של האופן או של הזחל לבין הקרקע.

כוחות פנימיים, קוהזיה חיכוך וגזירה, בין המולקולות של הקרקע אשר מתחת לאיזור המגע.

לפי התורה המקובלת כיום, מבוטא כוח ההיאחזות בקירוב על-ידי המשוואה:

$$(5) T = \frac{G}{P} (C + P \tan \phi)$$

כאשר:

T — כוח ההיאחזות.

G — המשקל על האופן או הזחל המניע.

P — לחץ קרקע סגולי.

C — מקדם כוחות דביקות (קוהזיה) בין גרגירי הקרקע

$\tan \phi$ — מקדם החיכוך בין גרגירי הקרקע.

K — מקדם, המבטא את ההחלקה של האופן או הזחל על הקרקע.

יש להטעים, שהיחס $\frac{G}{P}$ מבטא למעשה את שטח המגע (A).

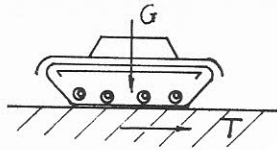
המקדמים C ו- ϕ , מבטאים את תכונות הקרקע והם בעלי ערכים קבועים בקרקע נתונה, בעוד ש- K הוא גורם משתנה

התלוי במידת ההחלקה וצורת פילוגה.

בקרקע חולית יבשה, בעלת גרגירים גדולים, זניחים כוחות הקוהזיה ($C \approx 0$) וכוחות החיכוך הגבוהים למדי $\phi \approx 35^\circ$

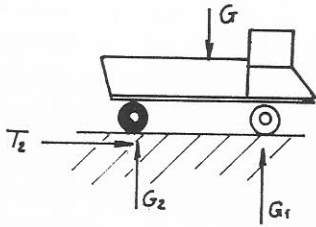
לעומת זאת, בקרקע בעלת גרגירים דקים מאוד, באדמה שחורה למשל, המצב הפוך — לקוהזיה השפעה ניכרת

($C \approx 0.5$) ואילו החיכוך קטן יחסית $\phi \approx 10^\circ$ מרבית סוגי הקרקעות במציאות, הן בעלות תכונות ביניים, בין „החול הגס“ לבין „האדמה הדביקה“.



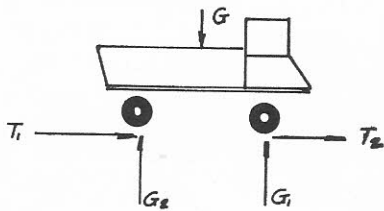
$$T = \mu \cdot G$$

רכב זחלי



$$T = T_2 = \mu \cdot G_2$$

רכב 4x2



$$T = T_1 + T_2 = \mu (G_1 + G_2)$$

$$T = \mu \cdot G$$

רכב 4x4

ציור 10: כוח היאחזות בסוגי רכב שונים

להלן נתייחס לנושא ההיאחזות בצורה פשטנית ביותר, והשימושית עד היום כקירוב מספיק. שיטה זו מבוססת על ההנחה שקיים יחס ישר בין התגובה האופקית (T_i) — כוח ההיאחזות) לבין התגובה האנכית (משקל על האופן G_i). בשטח המגע בין הרכב והקרקע. פירושה של הנחה זו היא שהביטוי:

$$(6) \quad K \left(\frac{C}{P} + \tan \phi \right)$$

במשוואה 5, הוא בעל שיעור קבוע בקרקע ורכב נתונים. כאמת-מידה לגודל כוח ההנעה, שמסוגל רכב מסויים לפתח בתנאי קרקע נתונים, משמש „מקדם ההיאחזות“.

מקדם ההיאחזות μ — מוגדר כיחס בין כוח ההנעה המקסימלי שאפשר להפעיל באיזור המגע, לבין הכוח הניצב לשטח זה. במקרה של אופן בודד כמתואר בציור 9 הרי ש-

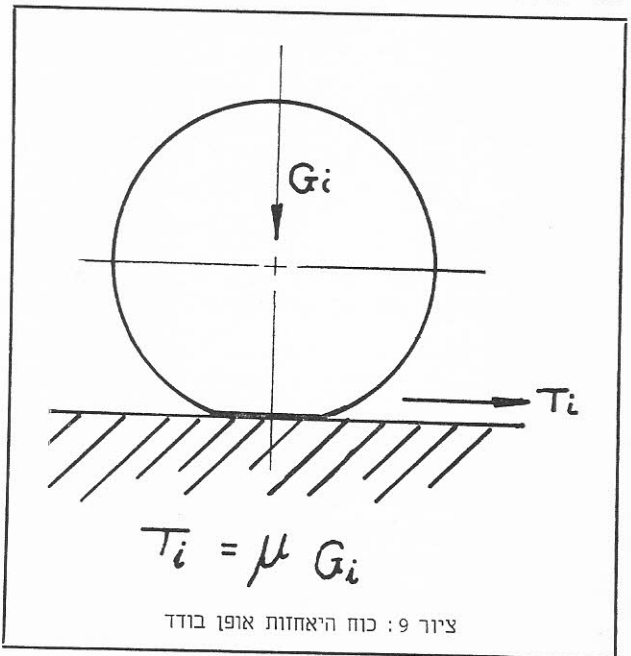
$$\mu = \frac{T_i}{G_i}$$

או

$$(7) \quad T_i = \mu G_i$$

(אפשר להסיק מכאן, שמקדם ההיאחזות μ , הוא למעשה הביטוי שבנוסחה 6). מכאן וממשוואה 5, עולה בבידור, שככל שנעמים את האופן המניע, נוכל לפתח כוח הנעה גדול יותר. תכונה זו ידועה משכבר לחקלאים, המוסיפים משקל לאופנים המונעים של הטרקטור על-ידי משקולות או מים בצמיגים, ומיושמת גם במשק ההובלה הכבדה — שימוש בגרורים נתמכים (סמיתריילר) המנצלים חלק ניכר מהמשקל הנגרר להעמסת הסרנים המונעים.

ברכב צבאי, ששם ההתנגדיות לתנועתו גדולות מאוד, השגת כוח-הנעה מקסימלי הוא אחת מהדרישות הבסיסיות. כדי להשיג זאת, יש לנצל את כל משקלו של הרכב להפקת כוח היאחזות. מכאן נובע שרכב צבאי חייב להיות או זחלי או אופני — בעל הנעה בכל האופנים. ציור 10, ממחיש



$$T_i = \mu G_i$$

ציור 9: כוח היאחזות אופן בודד

את גודל כוחות ההנעה ביחס למשקל, המתקבלים בצורות הנעה שונות. ברכב בעל הנעה על סרן אחד בלבד — 4x2, כוח הנעה מקסימלי שאפשר להשיג יחסי ל- G_2 , שהוא רק חלק מהמשקל הכולל של הרכב (G). לעומת-זאת ברכב זחלי או ברכב בעל הנעה בכל האופנים, כל המשקל (G_i) מנוצל להנעה. נדגיש שוב, שכוח ההנעה F , לפי נוסחה 4, הנובע מעצמת המנוע ויחסי הממסרות, לא יוכל להיות מנוצל ברכב בעל כוח היאחזות T נמוך ממנו. הכוח F הוא תכונה של הרכב בלבד ואינו תלוי בקרקע, בעוד ש- T , הוא תכונה משולבת

וגודלו תלוי הן ברכב והן בקרקע. רכב צבאי מתוכנן עם זרזורה מסויימת של כוח הנעה כלומר:

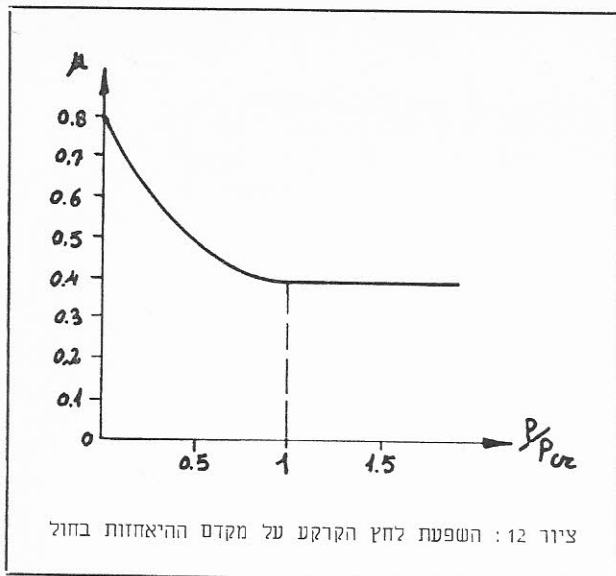
$$F_{max} \geq T_{max}$$

שיעורו של מקדם ההיאחזות μ —

שיעור זה מגלם בתוכו את תכונות הצמיג או הזחל מחד גיסא, ותכונות הקרקע מאידך גיסא. כמוסבר לעיל, תחום הערכים המקובלים בקרקעות שונות נתון בדיאגרמה שבציור 11.

מציור 11 נראה, כי תחום ההישתנות של מקדם ההיאחזות הוא $0.1 < \mu < 0.9$, כאשר הערכים הגבוהים מתקבלים בכביש או בקרקע מהודקת, בעלי התנגדות גבוהה לגזירה, ואילו הערכים הנמוכים מתקבלים בחול יבש, ששם הכוחות בין הגרגירים קטנים מאוד ובקרח שם החיכוך באזור המגע קרוב ל-0. בניסויים שונים הצליחו להשיג מקדמי היאחזות הגבוהים מ-0.9 (עד 1.1), אולם לצורך חישובי עבירות מקובל לא לעלות על שיעור זה. אפשר גם ללמוד מהדיאגרמה, שעבור אותו סוג של קרקע תושג היאחזות שונה במידה ניכרת ברכב אופני וברכב זחלי, כאשר, בדרך-כלל, ההיאחזות של רכב זחלי גבוהה יותר (פרט לכביש בטון או דרכי אבנים, שם מתקבלים ערכים נמוכים בזחלי פלדה, בגלל החיכוך הקטן יותר לעומת גומי).

עבור אותו סוג של רכב ובאותה הגדרת קרקע, מתקבל תחום שיעורי μ רחב למדי (הפרשים עד 200%). התופעה מוסברת על-ידי כך, שמצד אחד, כל סוג קרקע, כמוגדר לעיל, הוא למעשה קשת רחבה למדי מבחינת התכונות, ומצד שני קובעות במידה רבה תכונות שטח המגע בין הרכב והקרקע, גודל שטח המגע וצורתו, לחץ סגולי והתפלגותו.



ציור 12: השפעת לחץ הקרקע על מקדם ההיאחזות בחול

צורת המדרס של הצמיג או הזחל ועוד. לדוגמה, נביא תיאור גרפי של תלות מקדם ההיאחזות בלחץ הקרקע (ציור 12). עקומה זו אופיינית לחול — שיעור μ קטן בצורה תלולה עם עליית לחצי המגע עד התייצבות באזור „הלחץ הקריטי“ (מעניין להשוות זאת עם ציור 7 ששם רואים עליה תלולה בעומק השקיעה והתנגדות לגלגול בחול עם גידול לחץ הקרקע).

תנועה במישור

ראינו לעיל, (ראש-פרק ההתנגדות לתנועה $[P]$), כי במקרה של תנועה במישור אופקי, מבלי להתחשב בהתנגדות הרוח ובכוחות הדרושים להאצה, יש להתגבר על התנגדות לגלגול $P = fG$. ברור שכוח ההנעה צריך להיות גדול מכוח ההתנגדות.

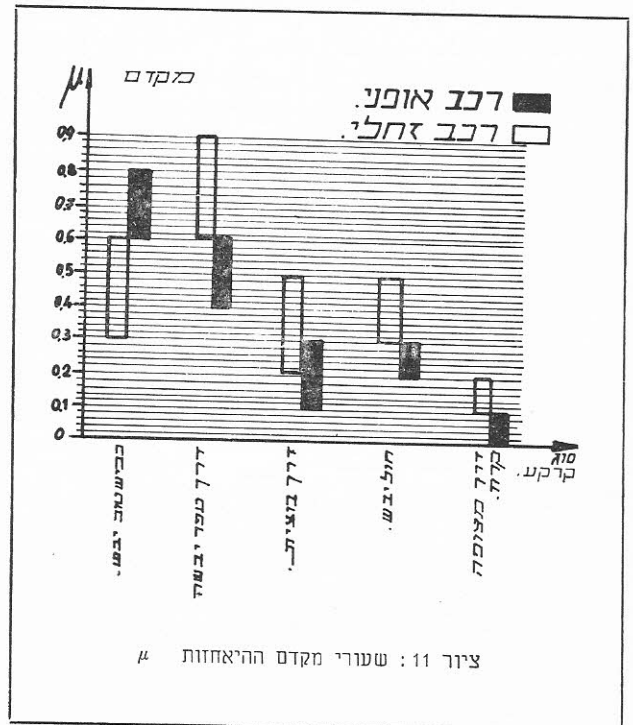
$$T > P$$

$$\mu G > fG$$

מכאן התנאי לתנועה במסלול אופקי.

$$(8) \mu > f$$

מעיון בערכים של שני המקדמים, ניווכח בנקל שכל עוד מדובר בכבישים או קרקע מהודקת (דרך-עפר, כורכר) לא תתעורר כל בעייה. לדוגמה, רכב שמשקלו 10,000 ק"ג, $G = 10,000$ ק"ג, יפתח בכביש אופקי התנגדות של בערך 200 ק"ג, $P = 200$ ק"ג ($f = 0.02$), ואילו כוח ההיאחזות, בהנחה שכל אופניו מונעים, יהיה לפחות 6,000 ק"ג, $T = 6,000$ ק"ג. למעשה מספיקה בהחלט, במקרה זה, הנעה על סרן אחד. אין המצב כך באותו רכב אופני שינוע בחול, כאשר ההתנגדות לגלגול עשוייה להיות 4,000 — 1,500 ק"ג, $P = 1,500$ ק"ג, בעוד שכוח ההנעה המקסימלי, שיוכל להפיק יהיה בתחום 3,000 ק"ג — $T = 2,000$ ק"ג. כדי לפתור בעיה זו, יש לשאוף להקטנת מקדם הגלגול למינימום, ולהגדלת מקדם ההיאחזות למקסימום. כלומר יש להגיע בדוגמה זו ל- $P \approx 1,500$ ק"ג ל- $T \approx 3,000$ ק"ג. דבר זה



ציור 11: שיעורי מקדם ההיאחזות μ

הטיפוס. במקרה קיצוני, כאשר הרכב אינו מתוכנן כראוי, עלולים לקבל כבר בזווית קטנות יחסית, תגובה קרובה ל-0° (G'1), בסרן הקדמי, ואז על הרכב להעביר, כמעט, את כל כוח ההנעה דרך הסרן האחורי. דבר זה גורם להגדלה ניכרת של לחץ המגע (גם ברכב זחלי כמובן — בחלקו האחורי), ובמקרה של קרקע חולית או בוצית ירותק הרכב כתוצאה מהגדלת ההתנגדות והקטנת מקדם ההיאחזות — דהיינו מצב „התחפרות” (יש גם תופעות לוואי שליליות: אובדן כושר הבלימה, היגוי וסכנת התהפכות). אם נשווה שוב את כוח ההתנגדות (ראה הפרק הקודם — משוואה 3) ואת כוח ההנעה, נוכל לבטא את התנאי ליכולת התנועה של הרכב, על גבי שיפוע כך:

$$T \alpha > P$$

$$\mu G \cos \alpha > G (f \cos \alpha + \sin \alpha)$$

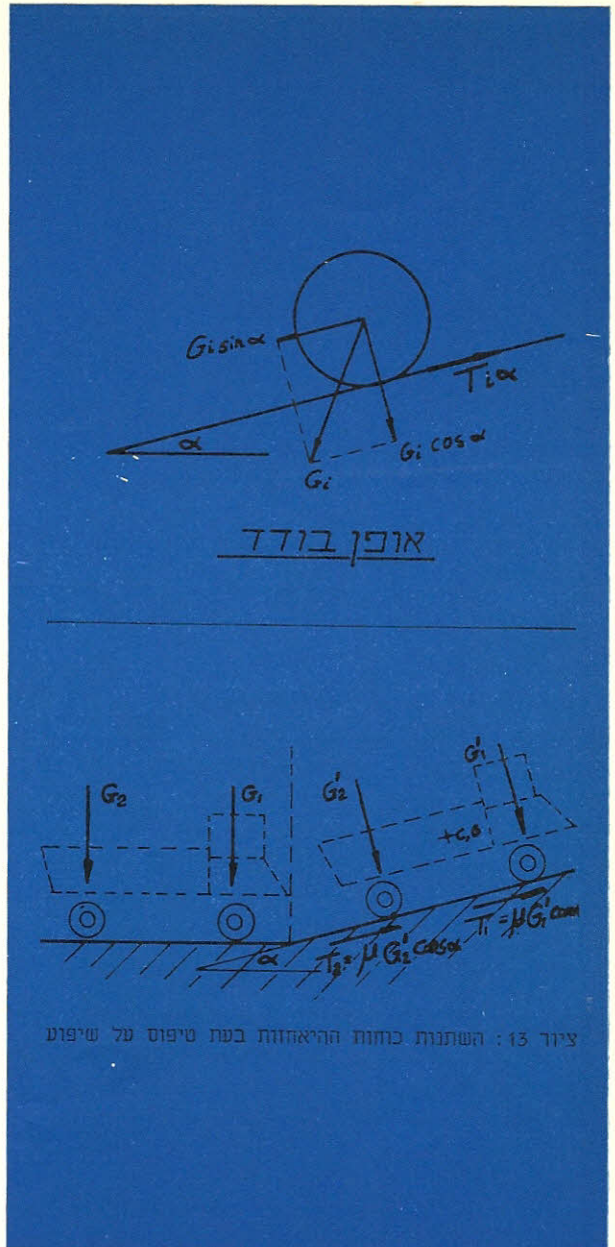
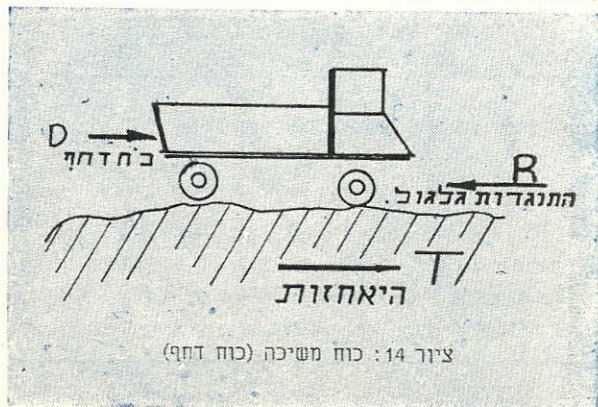
$$(10) \quad \mu > f + \tan \alpha$$

ממשוואה זו אפשר להסיק, תיאורטית, מה תהיה זווית הטיפוס המקסימלית, שרכב יוכל לעבור בתנאי קרקע נתונים. בהנחה כמובן שאין מגבלות מבחינת ההספק והמבנה של הרכב. כאשר מדובר בקרקע קשיחה (כביש וכו'), מותר להתעלם מגורלו של מקדם ההתנגדות f ומכאן גבול כושר הטיפוס $\mu \approx \tan \alpha$ במקרה האידיאלי נקבל $\mu = 1.0$, כלומר $\alpha \approx 45^\circ$ ($\tan 45^\circ = 1$). במציאות שיעורו של μ אינו עולה לרוב על 0.8 ואם ניקח בחשבון את ערכי f נקבל זווית גבולית בת פחות מ-40° או 80% (ראה פיסקה קודמת הדנה בכושר טיפוס).

נבדוק מקרה נוסף של כושר טיפוס בחול. נניח מקרה אידיאלי של רכב זחלי בו: $f = 0.1$, $\mu = 0.5$ מהתנאי (10) $0.5 > 0.1 + \tan \alpha$ מתקבלת זווית גבולית של 21° לערך (40%).

כוח משיכה

כאן המקום להזכיר את המונח המקובל „Drawbar Pull” או „כוח משיכה”. זהו למעשה עודף הכוח שיש לרכב הנע במישור אופקי והוא ההפרש בין כוח ההנעה המקסימלי האפשרי T וכוח ההתנגדות לתנועה P (ציור 14) $D = T - P$ (11) או $D = G(\mu - f)$ זהו למעשה הכוח „העומד לרשות הרכב”, לצורך ההתגברות על שיפוע (במקרה זה $D = \tan \alpha$), האצת הרכב (ראה בהמשך) או גרירת גרור. מונח זה או כוח משיכה סגולי כלומר $\frac{D}{G}$ משמש לעתים כאמתימדיה להשוואת ביצועי הרכב.



יושג, כפי שראינו מהדיאגרמות על-ידי הקטנת לחץ הקרקע למינימום. ברכב זחלי, המצב מבחינה זו טוב בהרבה. עבור רכב באותו סדר גודל נקבל בחול התנגדות של כ-1,500—1,000 ק"ג וכוח היאחזות של 3,000—5,000 ק"ג.

טיפוס על שיפוע

כאשר מדובר בתנועה בשיפוע (ראה ציור 13), רק חלק קטן ממשקל הרכב פועל בניצב לשטח המגע, והוא המרכיב $G_1 \cos \alpha$, על-כן כוח ההיאחזות באופן יהיה: $T_1 \alpha = \mu G_1 \cos \alpha$ (9) ולגבי רכב שלם: $T \alpha = \mu G \cos \alpha$ כאן יש לזכור, שהוריאקציות של המשקל על הסרנים משתנות לעומת המצב האופקי. העומס על הסרן הקדמי קטן $G_1^1 < G_1$ וגדל בסרן האחורי $G_2^1 > G_2$. מידת העברת המשקל מלפנים לאחור, תלויה במיקום מרכז הכובד ובזווית

התפלגות כוח ההנעה

נעיר עוד כמה הערות לגבי התפלגות כוח ההנעה בין אופני הרכב או זחליו. המקרה היסודי ביותר נראה בציור 15 א', בשני אופנים המונעים על סרן אחד. כידוע, מחולק הכוח המניע בין שני האופנים באמצעות דיפרנציאל. בנסיעה בקו ישר, במישור אופקי, אם העומס על שני האופנים שווה ($G_1 = G_2$) ותכונות הקרקע בשטח המגע שוות ($\mu_1 = \mu_2$) נקבל בכל אחד מהאופנים כוחות היאחזות/הנעה שווים $T_1 = T_2 = \mu G_1 = \mu_2 G_2$. הבעיות צצות כאשר אחד מהאופנים, נניח הימני, נתקל בקרקע בעלת תכונות היאחזות נחותות. לדוגמה, אחד האופנים שוקע בבוץ או בחול, בעוד שהשני ניצב על קרקע יציבה. כאן יתקבל $\mu_2 < \mu_1$ ובגלל עקרונות הפעולה של הדיפרנציאל, יהיה כוח ההנעה המקסימלי $T = (G_1 + G_2) \mu_2$. כלומר לפי היאחזות הקטנה יותר. מקרה אחר הוא, כאשר אותו הרכב נע על גבי שיפוע רוחבי ומקדם היאחזות שווה בשני האופנים, $\mu_1 = \mu_2$. נקבל העברת משקל מאופן הגבוה יותר לאופן הנמוך יותר כלומר,

$$\begin{aligned} Q_1 &> G_1 \\ Q_2 &< G_2 \\ (Q_2 < Q_1) \end{aligned}$$

כוח היאחזות המקסימלי יקבע שוב לפי התגובה הקטנה יותר, כלומר:

$$T = 2 Q_2 \times \mu$$

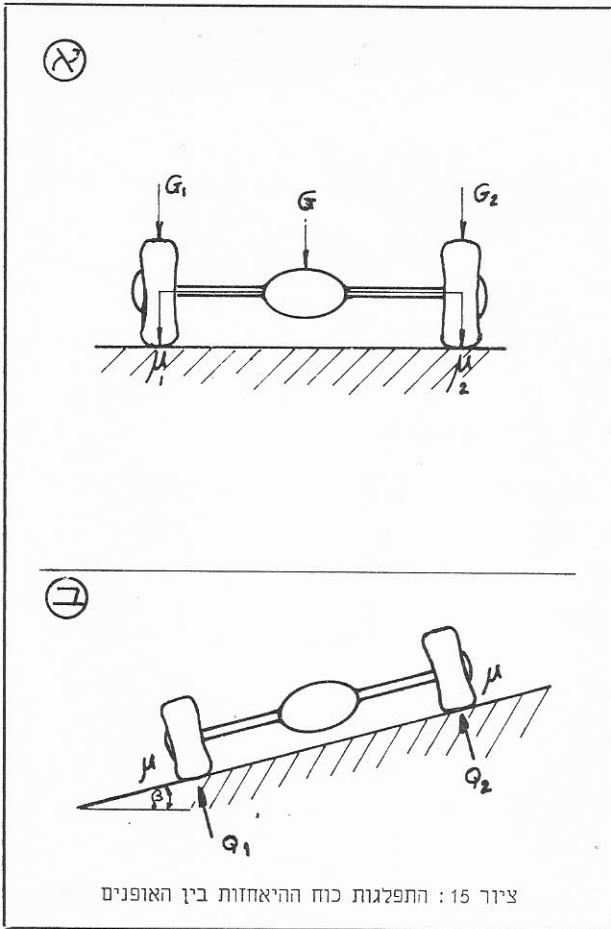
כאשר הרכב יגיע למצב שהאופן הימני יתחיל להחליק, הוא ירוחק. כדי להתגבר על תופעה זו, מציידים רכב מודרני במתקן „נעילת דיפרנציאל“. ברכב זחלי, במצב דומה, ניתן לנעול את אחד הזחלים באמצעות מנגנון היגוי/בלימה ובכך מתגברים על הבעיה.

תופעה אחרת של אובדן זמני של כוח היאחזות, מופיעה עקב „הינתקות“ אחד האופנים מהקרקע. הדבר קורה, בדרך-כלל, בעת מעבר מכשול, כאשר אחד האופנים מתרומם באויר או אפילו ממשיך לגעת בקרקע, אבל העומס הנמסר ממנו לקרקע קרוב ל-0. ברור שברגע זה, אין אופן זה תורם לכוח ההנעה של הרכב ובמקרה של דיפרנציאל קונבנציונלי גם האופן השני באותו סרן אינו יעיל. הפתרונות לבעיות מסוג זה הם: מתלה נפרד לכל אופן, או רכב פרקי (Articulated vehicle) שהזוכר כבר לעיל.

הנושא מסובך יותר כאשר מדובר בפילוג כוחות ההנעה בין סרנים רבים של אותו רכב. גם כאן נתקלים בפתרונות של דיפרנציאלים בין הסרנים, נעילת דיפרנציאלים, שילוב אוטומטי של סרנים וכמובן מתלה נפרד ומבנה פרקי תורמים רבות לפתרון הנושא.

לסיכום פרק זה, אי-אפשר שלא להזכיר לפחות כי תכונה זו — „היאחזות“ קובעת לא רק בהנעת הרכב, אלא גם לשליטה בו. כל כוחות הבקרה: בלימה, היגוי, האצה, תלויים במידת היאחזות של הרכב בקרקע. התופעות של החלקה בסיבוב בכביש רטוב ואובדן שליטה בעת תמרון על קרקע רכה או מכשולים ממחישות עובדה זו.

לסיכום נושא היאחזות, ננסה לרכז את המסקנות העיקריות

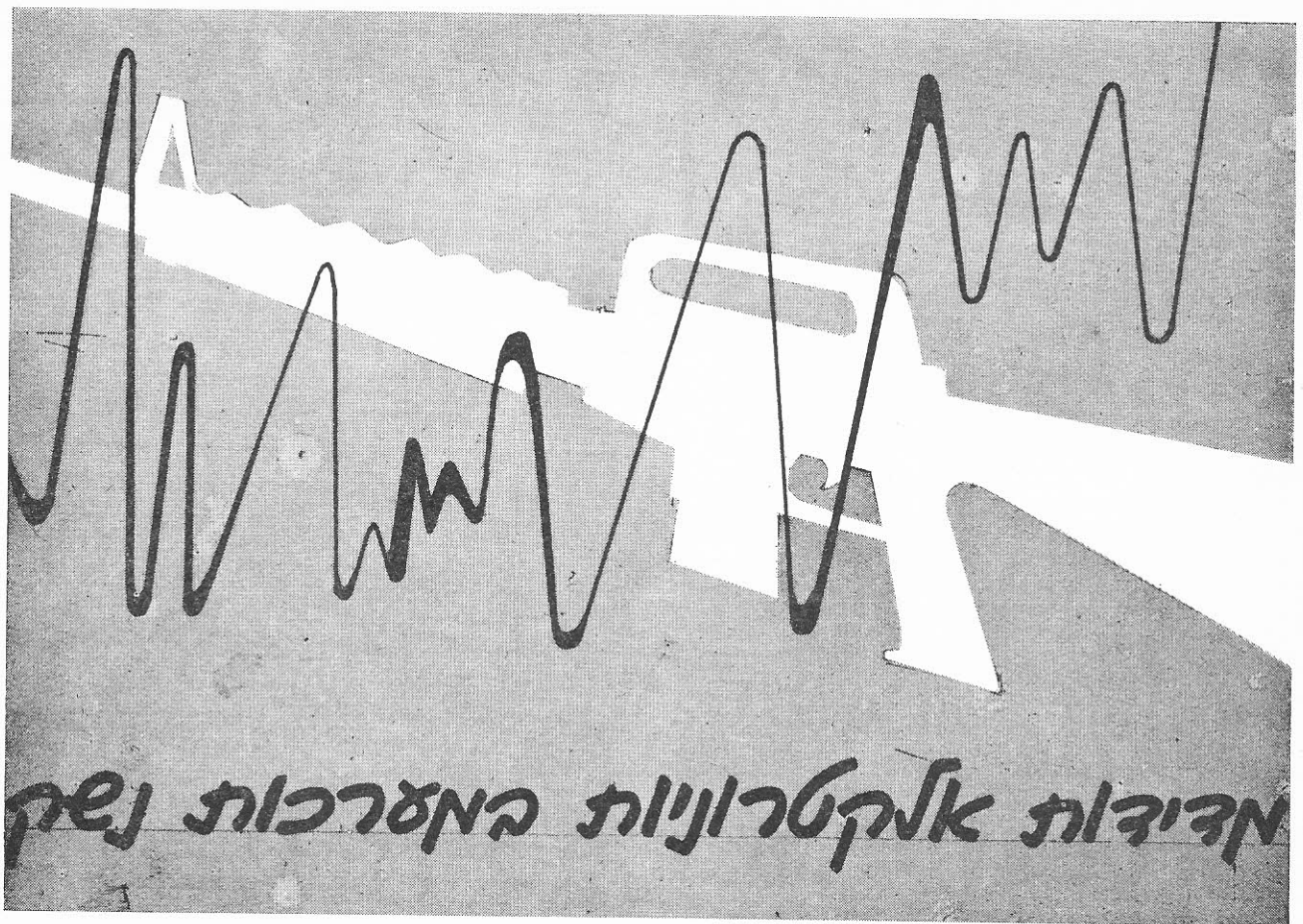


ציור 15: התפלגות כוח היאחזות בין האופנים

לגבי תכנון הרכב הצבאי, כשהמטרה המנחה היא להגיע לכוח הנעה מקסימלי:

- רכב זחלי, עדיף ברוב המקרים של תנועה בשדה, על הרכב האופני.
- רכב צבאי אופני, חייב להיות בעל הנעה בכל האופנים.
- יש לשאוף ללחצי קרקע סגוליים מינימליים, במיוחד חשוב הדבר בקרקע רכה. על-ידי כך מתקבל גם μ גדול יותר וגם f קטן יותר, כלומר: „כוח משיכה“ (Drawbar Pull) מקסימלי.
- תכנון הרכב צריך להבטיח פילוג מתאים של העומס על האופנים לאורך הזחל, גם בזוויות שיפוע גבוהות — הדבר יושג על-ידי מיקום נמוך של מרכז הכובד.
- עדיף רכב בעל „נעילת דיפרנציאל“ בתוך הסרנים וביניהם.
- מתלה נפרד לכל אחד מהאופנים, יבטיח היאחזות טובה יותר מרכב בעל מתלה רגיל (סרן קשיח).
- ברכב פרקי אפשר להשיג כוח הנעה גבוה יותר, מאשר ברכב „קשיח“ בעל נתונים דומים ובמיוחד בעת מעבר מכשולים.

(מאמר ראשון בסידרה)



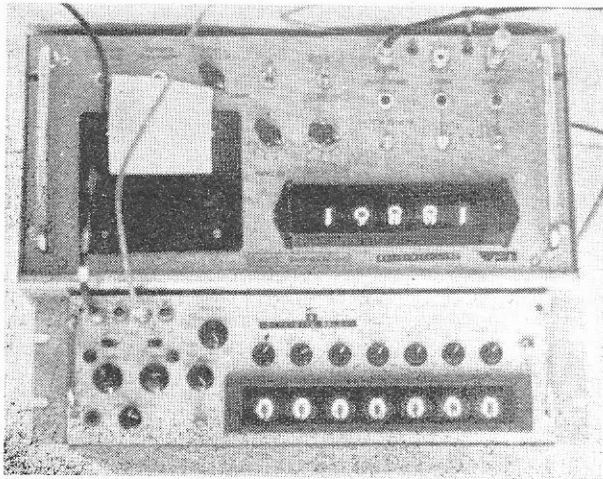
נואת ש. קינן

הצבאות המודרניים משתמשים כיום בשיטות ני-
סויים שונות, שמטרתן המוגדרת היא להגיע לרי
מדוייק ואמין.

מטרת מאמר זה להקנות מושגים ראשוניים על חלק
מהשימושים הנעשים באלקטרוניקה בניסויי מער-
כות-נשק. בהמשך נתאר את שימושם של מכשירי
מדידה אלקטרוניים במדידות של בליסטיקה פנימית
וחיצונית. במדידות בליסטיקה פנימית נעקוב אחר
המתרחש בקנה, החל מהצתת חומר ההדף ועד יצי-
את הכדור מהקנה. במדידות בליסטיקה חיצונית
נעקוב אחר הכדור משלב יציאתו מהקנה ועד הגיעו
למטרה.

ראוי לציין כי חלק ניכר ממכשירי המדידה, המתו-
ארים בהמשך, נבנו בחיל-החימוש והותאמו לצרכיו
המיוחדים.

מונה אלקטרוני (Electronic Counter)



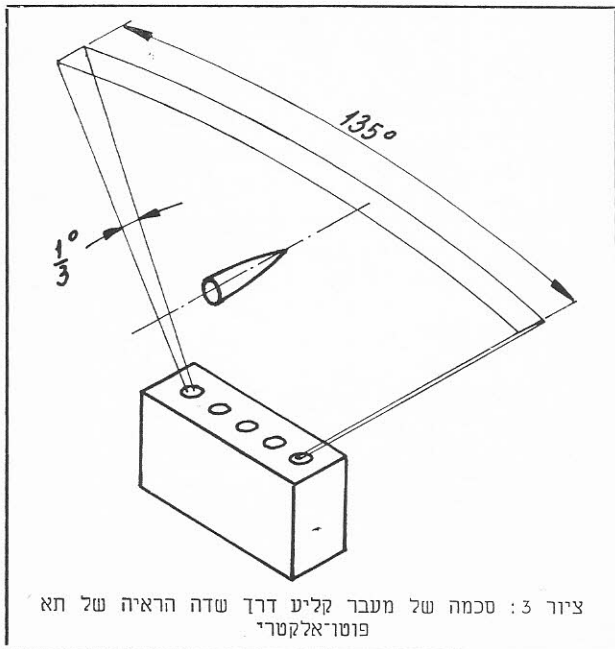
ציר 2: מונים אלקטרוניים. המונה העליון מונה רגיל, המונה התחתון כולל בתוכו מדפסת

מחושים (Sensors)

מכשירים אלה חשים בתכונות פיזיקליות (אור, חום, רעש, שדה מגנטי), והופכים אותם למתח חשמלי היחסי לגודל התכונה.

למדידות בליסטיות משתמשים במחושים הבאים:

- תא פוטו-אלקטרי — שופרת אלקטרונית המספקת מתח חשמלי יחסי לכמות האור הנופלת עליה. התא מותקן בתוך מערכת אופטית הגורמת לכך ששדה הראיה יהיה גדול בכיוון האחד וקטן בכיוון האחר. גוף העובר בניצב לשדה הראיה הגדול, עובר גם את שדה הראיה של המכשיר כעבור קלף דק. המערכת האלקטרונית גורמת לכך שתופעות מהירות בלבד ישפיעו על התא. פגו או כדור החולפים מעל תא כזה, יוצרים עקומת מתח הדומה לצורתם. התאים מופיעים בשתי צורות, תא הפועל ברקע השמים כתאורה (ציר 5), ותא הפועל בתאורה מלאכותית (ציר 6).

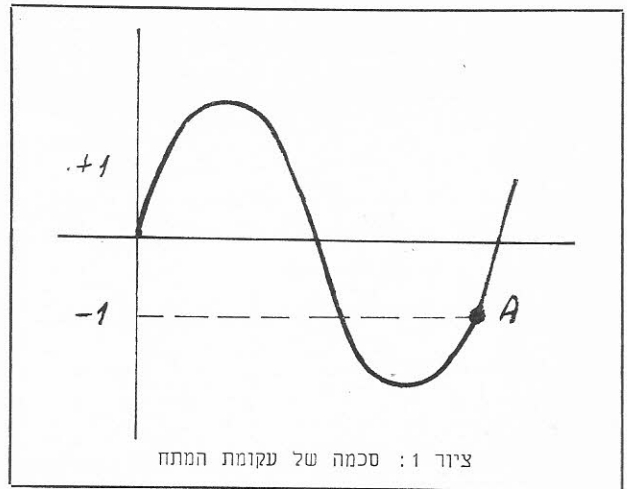


ציר 3: סכמה של מעבר קליע דרך שדה הראיה של תא פוטו-אלקטרי

מכשיר זה, בצורתו הפשוטה, הוא למעשה שעון. במכשיר מצוי גביש הנשמר בטמפרטורה קבועה, והמספק מתח בתדר מדוייק ביותר. תדר זה מועבר לצג עשרוני (Nixie פרוות), המחולק באמצעות מעגלי חלוקה לעשיריות (דקדוט), בהן מפעיל כל פולס עשירי את הסיפרה משמאל — כפי שנעשה הדבר בחיבור מספרים. אם יהיה הגביש בעל תדר של 1 מגהרץ, יופיע מספר עוקב כל מליונית השניה. כלומר, קריאה של 5,000, תלמדנו שחלפו 5 אלפיות השניה מוזן הפעלת המונה. הספרות יכולות לעבור ממספר עוקב אחד למשנהו בצורות הבאות:

- המספרים עולים באופן יחסי למשך הזמן בין פקודת התחלה, לבין פקודת הפסקה (Time Interval Meter) כפי שנעשה הדבר בשעון עצר.
- כל פקודה עוקבת מעלה את המספר באחד, כלומר בין שתי פקודות קיצוניות (מונה) או בפרק זמן קבוע (מד-תדירות).

הפקודות אותן מקבל המונה (הן להתחלה והן להפסקה), הן מתח חשמלי. במונה קיים מנגנון לניתוח הפקודה שיפעילו. מנגנון זה כולל את המתח המינימלי שיפעיל את המונה



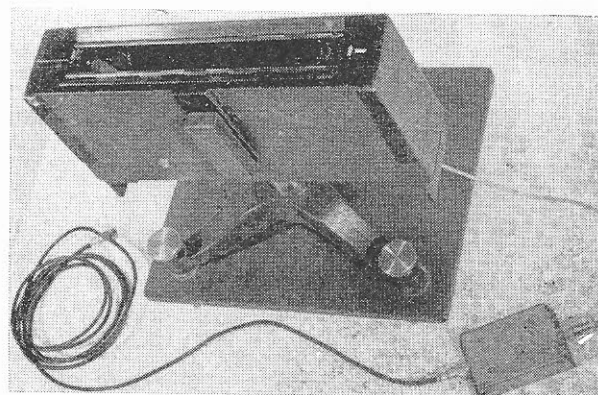
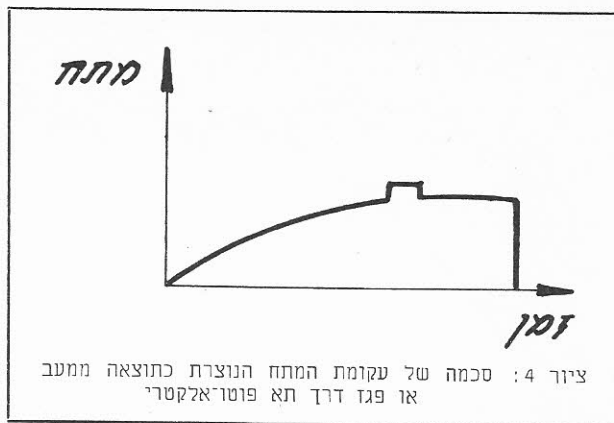
ציר 1: סכמה של עקומת המתח

(Level), את סימנו של המתח (+ או -) ואת הנגזרת (Slope) של המתח, שתפעל רק משעולה המתח או יורד. דוגמה לכך ניתן לראות בעקומת המתח (ציר 1), יש באפשרותינו לגרום לכך שהמונה יופעל בנקודה "A", עלידיי כך שנכוון את הרמה (Level) ל-1 וט, את הסימן ל-(-) ואת הנגזרת ל,"עליה".

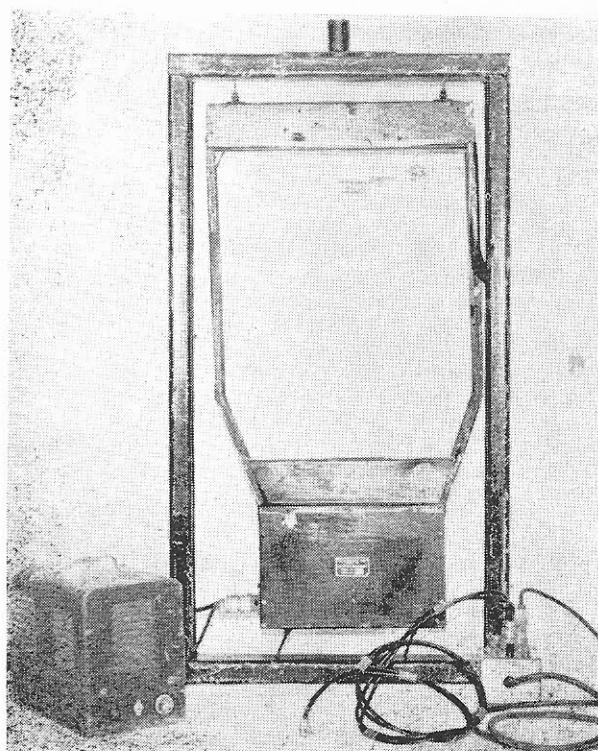
במונים קיימות יציאות של בסיס זמן קבוע, וכן יציאה בקוד עשרוני של קריאת המונה — זאת לצורך שימוש במדפסת או הכנסה לתאי-זכרון של מחשב. ציר 2 מראה את שני הסוגים של המונים; המונה העליון — מונה רגיל, המונה התחתון — כולל בתוכו מדפסת והוא מסוגל להדפיס תוצאות של הפרשי זמנים (Time intervals) בין פקודות התחלה והפסקה (Start-stop), בקצב של 12,000 בדקה.



ציור 7: כרונוסקופ



ציור 5: תא פוטו־אלקטרי הפועל ברקע השמים כתאורה



ציור 6: תא פוטו־אלקטרי הפועל בתאורה מלאכותית

● כרונוסקופ — מורכב מתא פוטו־אלקטרי וממערכת אופטית. התא רגיש לאור תת־אדום ולכן משמש למתן אות חשמלי, משמופיע רשף בתותח, או בהתפוצץ הפגז.

● סלילים — מיועדים למתן פקודה בעת מעבר קליע מתכתי דרך סליל. כידוע מגנט העובר בסליל יוצר מתח. כן גורם כל גוף מתכתי העובר דרך סליל, לשינוי ההשראות שלו. קיימות שלוש צורות לניצול סלילים כמחושבים.

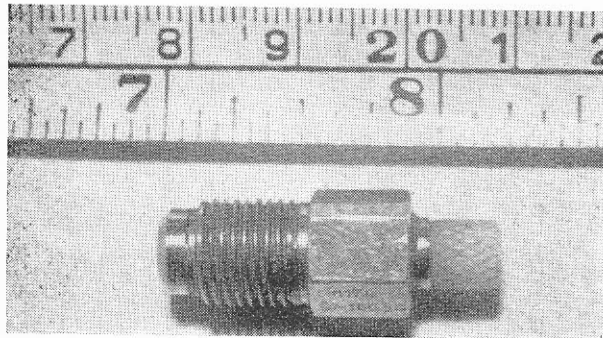
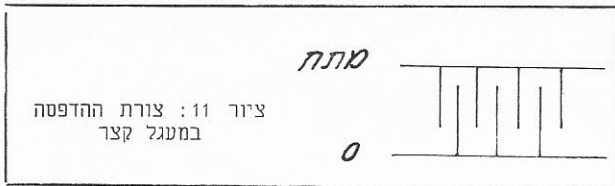
1. מיגנוט הפגז לפני הירי.

2. שימוש בשני סלילים צמודים, כאשר באחד מהם זורם חשמל הגורם לפגז להיות אלקטרו־מגנט.

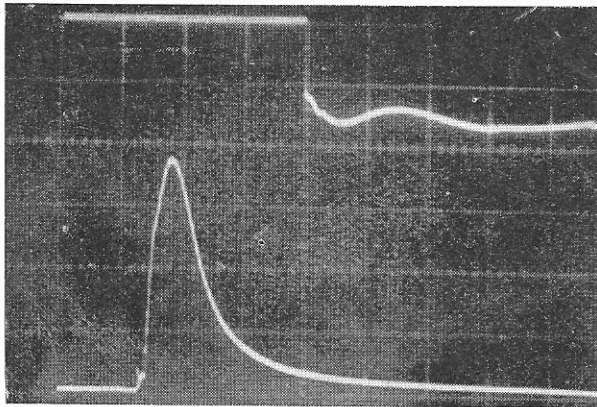
3. ירי פגז ללא מיגנוט, דרך סליל אחד, כאשר ההשראות נמדדת והופכת למתח באמצעים אלקטרוניים.

בציור 8, ניתן לראות שימוש בסלילים למדידת מהירות. בציור 9 ניתן לראות את עקומת המתח הנוצרת כתוצאה ממעבר קליע דרך סליל. המגבר והמחדד (Shaper), הצמודים למערכות הסלילים, גורמים להפקת דופק במעבר המתח בנקודה A.

● מחוש אקוסטי — תפקידו לתת אות חשמלי בעת רעש, הנוצר כתוצאה מירי, או בעת זעזוע המטרה כתוצאה מפגיעת הקליע. רעשי־ירי הוא תופעה גלית הנמשכת פרק זמן ממושך יחסית (מספר מאיות השניה). אם נשתמש במקול (מיקרופון) בלבד כמחושש אקוסטי, נקבל בירי צורות עקומת מתח הנראית בציור 10. כיוון שיש ענין באות אחד בלבד לכל כדור, נבנתה מערכת אלקטרונית הנותנת אות חשמלי (הקו המקווקו), עם תחילת הרעש, ולאחר מכן היא משותקת עד גמר הרעש (נקודה A). לאחר גמר הרעש, מתחייב המערכת וממתינה לכדור הבא.



צויר 12: מחוש פיזו־אלקטרי



צויר 13: תצלום ירי בתותח 20 מ״מ, כל משבצת מייצגת 0.5 אלפיות שניה, בציר האופקי ו־1,000 אטמוספירות בציר האנכי

בירי שוטף, מוקלטת עקומה זו ברשמקול מיוחד, או מוכנסת לתא־זכרון (צויר 14). הזכרון נותן לכל כדור את הלחץ המקסימלי (Peak) ואת האנרגיה הכוללת.

לאחר שהיכרנו את המכשירים היסודיים, נעיין במערך מדידה אופייני לירי שטוח־מסלול בנשק אוטומטי. במערך כגון זה אנו מעוניינים לערוך את המדידות הבאות:

- עקומת לחץ.
- לחץ מקסימלי.
- משך הזמן משלב הנקירה עד לשלב בעירת חומר ההדף (זמן יזום).
- זמן שהייה בקנה (משלב הנקירה ועד לשלב יציאת הכדור).
- מהירות לוע.
- מהירות נותרת.

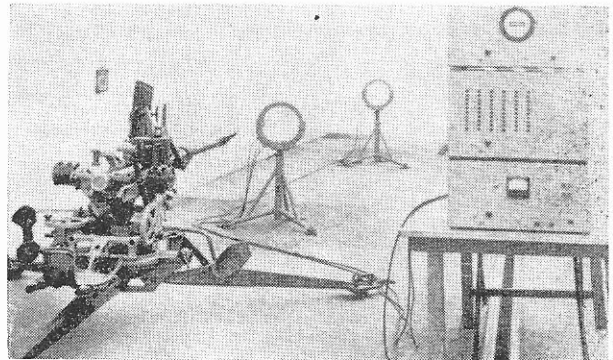
● מעגל קצר — מכשיר פשוט ומדויק. תפקידו להוציא אות חשמלי ברגע בו נוגע הגוף בגוף אחר. משתמשים במעגלי הקצר הבאים:

1. סנדוויץ — שני עלי חומרן המופרדים על־ידי נייר. בעת מעבר קליע, או גוף אחר (בוקר למשל) דרכם, גורם הסנדוויץ לקצר בין שני העלים ולהיווצרות מתח על העלה שהיה ללא מתח.

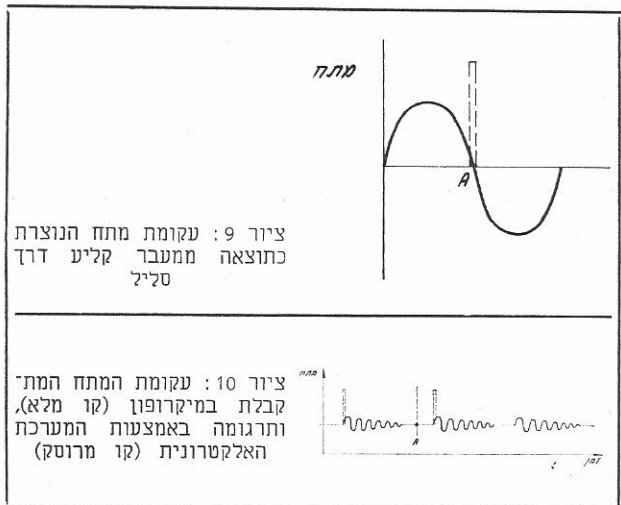
2. מעגל מודפס — זהו מעגל המודפס לסירוגין. נגיעת גוף בתוך המעגל גורמת לקצר בין הקו העליון לבין הקו התחתון (צויר 11).

3. נוקר מבודד — הנוקר מבודד מיתר חלקי הנשק. בעת מגעו בפיקה נוצר הפרש מתחים.

● מחוש פיזו־אלקטרי — מחוש כזה נראה בצויר 12. הוא מורכב מגביש קוארץ הנתון ללחץ הגזים המתפתחים בבית הבליעה ובקנה התותח. הגביש נטען במטען חשמלי היחסי ללחץ המופעל עליו. מגבר מיוחד הופך את כמות המטען למתח יחסי. עקומת המתח המתקבלת מוצגת על־גבי משקף־תנודות (אוסצילוסקופ) ומצלמת באמצעות מצלמת פולרואידי. בצויר 13, נראה תצלום של ירי בתותח 20 מ״מ. כל משבצת מייצגת 0.5 אלפיות שניה בציר האופקי, ו־1,000 אטמוספירות בציר האנכי.



צויר 14: שימוש בסלילים למדידת מהירות



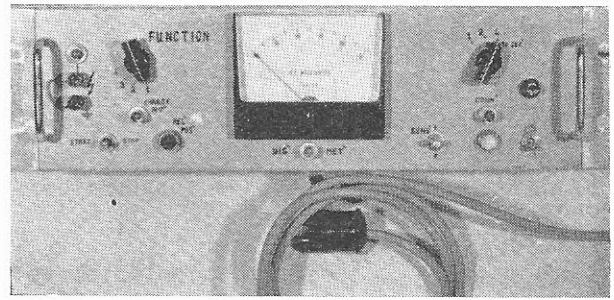
צויר 9: עקומת מתח הנוצרת כתוצאה ממעבר קליע דרך סליל

צויר 10: עקומת המתח המתקבלת במיקרופון (קו מלא), ותרגומה באמצעות המערכת האלקטרונית (קו מרוסק)

מידודתג בזמן מעוף הקליע (מהירות-לוע, מהירות נותרת, זמן תעופה)

מידדת מהירות קליע נמדדת על-ידי מדידת זמן מעבר הקליע בין שני מחושים, אשר המרחק ביניהם ידוע במדויק. מרחק זה, המחולק בזמן, נותן לנו את המהירות. כדי לקבל מושג על דיוק המכשירים נתאר לעצמנו קליע הנורה במהירות של 1,000 מטר לשנייה, כאשר המרחק בין המחושים הוא 1 מטר. כל זמן מעבר הקליע בין המחושים הוא אלפית שנייה. אם אנו רוצים להשיג במהירות הלוע דיוק של 1 שנייה, נזדקק למונה הנותן קריאה כל מליונית השנייה. אכן מונים כאלה נמצאים בשימוש, הם נותנים קריאות של מליונית השנייה, וחלקם גם של עשירית מליונית השנייה. הדיוק הנרכש מחייב אותנו גם להוציא את האות באותו המקום בקליע, וזה נעשה על-ידי מנגנון ניתוח הפקודות במונה.

בדוגמה שלנו, נמדדת מהירות הלוע על-ידי סלילים (נמדד הזמן בין t_4 ל- t_5) באמצעות מונה ג', ומהירות נותרת בטווח קבוע מראש, על-ידי תאים פוטוראלקטריים (נמדד הזמן בין t_6 ל- t_7), באמצעות מונה ד'. מונה ו' שתפקידו למדוד את זמן התעופה, מופעל על-ידי הכרונוסקופ — רואה הרשף (t_8), המופסק על-ידי מעגל קצר המודבק על מטרת הפלדה (t_8). אם המטרה רחוקה ממקום הירי, מועברת פקודת ההפסקה בטלמטריה (אלחוט). הזמן בין t_8 ל- t_9 הוא זמן התעופה של הכדור. מעגל הקצר מפעיל ברזומנית מונה ה' למדידת זמן השהיית המרעום. מונה זה מופסק בעת פיצוץ הכדור על-ידי כרונוסקופ נוסף (t_9). הזמן בין t_8 ל- t_9 הוא זמן השהיית המרעום.



ציור 14: תאי זכרון לניתוח עקומת לחץ

● זמן תעופה.

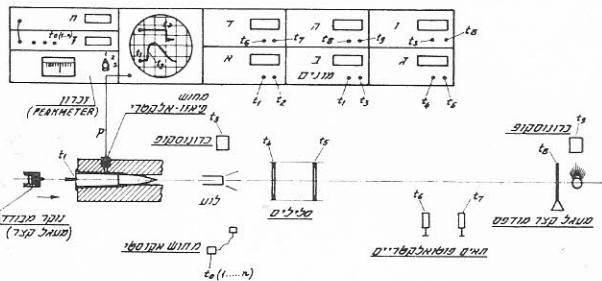
● זמן השהיית מרעום (מפגישה לפיצוץ).

● קצב-אש.

נבחן עתה כיצד נעשות הבדיקות דלעיל באמצעות המכשירים האלקטרוניים שמגיבו.

מידודות בעת שהיית הכדור בקנה (עקומת לחץ, לחץ מקסימלי, זמן יזום, זמן שהייה)

הלחץ נמדד בבית הבליעה באמצעות גביש פיזוראלקטרי. המטען בו נטען הגביש, הופך למתח באמצעות מגבר מטען, המתח מוצג על-גבי משקף-תנודות. כפי שציינו לעיל, מופיע המתח במשקף-התנודות בציר האנכי והזמן באופקי. הקרן מת-חילה לנוע ימינה (sweep) ברגע t_1 . מוגדר כזמן 0 למשקף-התנודות, והוא הזמן בו נוגע הנוקר המבודד בפיקה וסוגר מעגל קצר. סגירת מעגל זה מפעילה (פטר trigger) את תנועת הקרן, כן מפעילה היא שני מונים אלקטרוניים א' ו'ב'. פרק זמן מסוים חולף, מרגע הנקירה עד לתחילת עליית הלחץ. זהו פרק הזמן הדרוש ליוזום הפיקה. ברגע t_2 מתחילה עליית הלחץ. מונה א' נעצר בזמן שהלחץ מתחיל לעלות ונותן לנו את זמן הייזום. לאחר עליית הלחץ, מתחיל הכדור לנוע בתוך הקנה והלחץ ממשיך לעלות עד שהבעירה נגמרת (פעולה זו מתרחשת בשליש הראשון של הקנה בערך). הגזים מתחילים אז להתפשט (תוך ירידת הלחץ) והכדור ממשיך להידחק לעבר הלוע. כל התהליך של הלחץ נרשם בינתיים במשקף-התנודות, ומוכנס במקביל לתאי-זכרון. ברגע שהכדור יוצא מהקנה, מתגלים מאחוריו הגזים הלוהטים (רשף). הרגע בו יוצא הכדור מהקנה מוגדר כ- t_3 . רגע זה נקלט על-ידי הכרונוסקופ. פקודת הכרונוסקופ מפסיקה את מונה ב', אשר יציג לנו את זמן השהייה בקנה — ובמקביל נותנת אות על משקף-התנודות והזכרון ומפעילה מונה שתפקידו למדוד את זמן התעופה. על-ידי סיבוב כפתור, לאחר הירי, מנתח הזכרון את העקומה ומציג על צג את הלחץ המקסימלי, האנרגיה הכוללת של אבק השריפה וחיותו.



ציור 15: דוגמה של מערך מכשור לניסוי ירי שטוח מסלול

מידודות קצב-אש

עד כה ניצלנו את תכונת המונים כשעוני-עצר. למדידת קצב-אש משתמשים באחד המונים כמונה אירועים. הכדור הראשון מפעיל באמצעות המחוש האקוסטי את מעגל הספירה במונה ז' וברזומנית מופעל מונה ח' כשעון. מונה ז' מונה 11 כדורים ועם הכדור ה-11 מעביר פקודת הפסקה למונה ח'. הזמן הרשום במונה ח', הוא הזמן ל-10 רווחים בין כדורים. 600 מחולק לזמן הרשום, הוא קצב האש בדקה.

ס י כ ו ם

במאמר זה תיארונו כמה מן השיטות הנהוגות בניסויים בליסטיים פשוטים. במקרים בהם נדרש מידע נוסף, קיימות שיטות לרישום רציף של התנהגות הפגז באויר. על כך במאמר נוסף. □

"מאיר"

חברה למכונות ומשאיות בע"מ
בבעלות מאיר קז ובניו,

הסוכנים הבלעדיים בישראל של

VOLVO

תל-אביב, רח' קרליבך 23, טל. 269191.

חברתנו מפעילה עתה גם מכונות בשיטת

LEASING

בתנאים נוחים.

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

מוסך מרכזי מודרני לשרותים

"מאיר" בע"מ.

פתח-תקוה, קרית מטלון, טל. 911133.

טרקטורים ומנועים

בולינדר - פנטה

"הדר"

תכנון וביצוע בע"מ

המפעל: תל-אביב, דרך שלמה 12,
טלפון: 826174.

★ פלדות כלים

★ פלדות קונסטרוקציה –
EN 202 משוך

★ פלדות משוגשות –
בקושי טבעי שחור
בקושי טבעי מלוטשות

★ מוטות טרנסמיסיה

★ פלדות לאוטומטים –

FREE CUTTING STEEL
LEAD ALLOYED STEEL
SAE 1045 LEADED

★ צינורות פלדה HOLLOW BARS

★ צינורות ברונזה משוכות בקר
COLD DRAWN

★ מוטות ברונזה משוכות בקר
COLD DRAWN

★ ברונזות יצוקות ומחושלות
לפי מידת הלקוח
מכל סוגי הברונזה

□

וחתוכים באוטומטים
גם עם חומר של הלקוח

המפעל היחיד בארץ בו קיים השילוב של
אספקת מתכות והקשאת המוצר המוגמר.

"הקשאה בע"מ"

טפול טרמי במתכות השחרה (פרקר)
המפעל: תל-אביב, דרך שלמה 12
טלפון: 825352.

אוטומטל בע"מ

מוסך מרכזי
לטרקטורים

איזור התעשייה יהוד

טל. 756897

המוסך המרכזי לטרקטורים פורד

מבצע אספקת הטרקטורים החדשים
דגם פורד, לכל הלקוחות
מבצע תקוני תקופת האחריות
משפץ מנועים, מערכות הדראוליות
מערכות דלק, תיבות הילוכים
רגילות ואוטומטיות

ויקטורי אוטומי שמן

בע"מ

רח' הסתת 10 חולון, אזור התעשייה

טל. 842407 — 845825



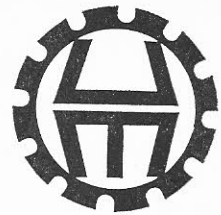
ייצור אוטומי שמן לרכב,
טרקטורים, תעשייה ורכב זחלי.



משרד מכירה:

שימ — גור

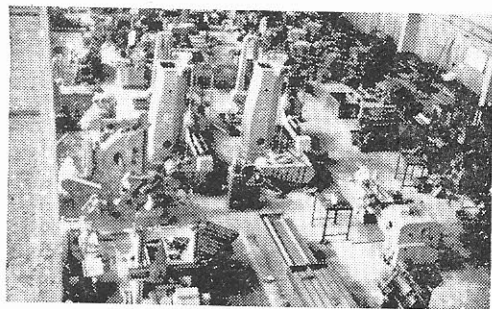
יצחק שדה 36, ת"א, טל. 39620



אנחם אורמן ושותי בע"מ

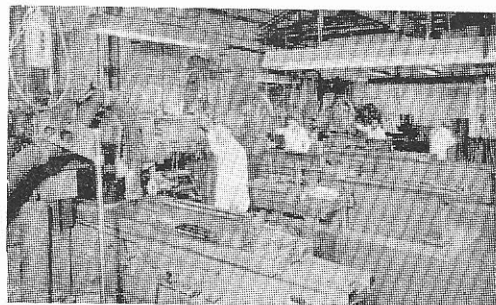
אזור תעשייה יהוד.

ת.ד. 56, טל. 759759



● קניה ומכירה של מכונות בענף המתכת:
מפעלינו שמח להודיעכם כי רכש מלאי נוסף של 150 מכונות
עבוד שבבי חדשות וציוד עזר נוסף.

- השחזה מדוייקת:
 1. כמו כן מעמיד מפעלינו לרשות לקוחותינו מחלקת השחזה מדוייקת לגופי מכונות, מובילי מחרטות וכו' עד — 5 — מ' אורך.
 2. השחזה עגולה של מיסבי כדוריים וטבעות עד ל — 3 מטר קוטר.
 3. מחלקת השחזה עגולה במכונות מדגם CINCINNATI אוניברסליות להשחזה עגולה.



- שפוץ ובנית מכונות בציוד מיוחד חדיש.
- עבוד שבבי כבד בכרסום — הריטה — הקצעה.
- העברה והרכבת מפעלים.
- בצוע בדיקות שלזינגר למכונות בענף המתכת.

בשנת 1960 בא לעולם מקור אור מסוג חדש לחלוטין, אשר נותן מחד-גיסא, עוצמת אור הגדולה בכמה סדרי גודל מאלה שהיו ידועות עד אז (עוצמת האור של מקור זה — הלייזר — קרובה לזו השוררת על-פני השמש החיצוניים), מאידך-גיסא היא ניתנת לבקרה, בקלות יחסית. קרן האור של הלייזר שהוצגה לראשונה היתה יכולה לקדוח חור בלוח מתכת דק, אולם כמות האנרגיה שבה (ממוצעת) נמוכה מאד. תכונותיה הן העיקריות של קרן הלייזר הן: מונוכרומטיות (אור בעל אורך גל מוגדר) וקוהרנטיות (אין הפרשי מופע (פזה) בין הקרניים, כתלות של זמן ומקום).

האטום והאור

חוקים מסויימים מגדירים מצבים אנרגטיים נתונים, באטומים בהם מסוגל האטום לקלוט אנרגיה או לפלוט בצורת אור. כידוע מסתובבים האלקטרונים סביב גרעין האטום במסלולים מעגליים ובמרחקים ידועים ממנו. כל עוד נעים אלקטרונים אלה במרחקים מסויימים קבועים, ניתן לומר כי האטום נמצא במצב של שיווי משקל. אך אם מסיבה כלשהי יתרחקו האלקטרונים מהגרעין (לעומת מצבם היציב), תלווה ההחזרה למצב של שיווי משקל, בדרך-כלל, בפליטה של אור. אם נבדוק לדוגמה את קווי הפליטה הספקטרליים של אטום המימן, ניווכח לדעת שקיימים מספר של מצבים מוגדרים בהם עלול להימצא אלקטרון במצב שיווי משקל. האלקטרון היחיד יימצא ברמה אנרגטית 0. אם האטום יחומם תתווסף אנרגיה.

כאשר יחזור האלקטרון למצבו הרגיל תשוחרר אנרגיה זו בצורת אור. תדירות האור שישתחרר, כתוצאה ממעברו של האלקטרון ממצב אנרגטי אחד למשנהו תהיה על-פי נוסחת פלנק

$$(1) E_2 - E_1 = h \times \nu$$

כאשר: —

E — רמות אנרגטיות של האלקטרונים.

h — קבוע פלנק.

ν — תדירות האור.

פליטת אור במעברים ללא אילוצים, קרויה פליטה ספונטנית, כלומר, כל אלקטרון שעורר יעבור למצב אנרגטי גבוה יותר, ולאחר זמן-מה יחזור למצבו הקודם. מעבר זה נמשך, בכל החומרים, פרק זמן קבוע. פרק הזמן קרוי T_s .

עירור אלקטרונים — שאיבה

עירור אלקטרונים למעבר ממצבים אנרגטיים נמוכים, למצבים אנרגטיים גבוהים, ניתן להיעשות בכמה צורות. אחדות מהן ידועות ונפוצות, כמו למשל, מעבר זרם דרך נורה, דבר הגורם לחימום אלקטרונים ובהכרח לעירורם, וכך שבפליטתם מתקבל אור. צורה אחרת לקבלת אור היא מעבר זרם חשמלי דרך גז.

קיימת שיטה, החשובה לענייננו, והגורמת לעירור אלקטרונים על-ידי הקרנה של אור. אנרגית הפוטונים הנפלטים ממקור אור, נקבעת על-ידי נוסחת פלנק (1). אם פוטונים אלה יוקרנו על חומר ויבלעו בו, יתערער שיווי המשקל האנרגטי באטום, ואלקטרונים יקבלו תוספת אנרגיה. אנרגיה זו תגרום לאלקטר-

לייזרים ושימושיהם

נואת כו. פרנסיס

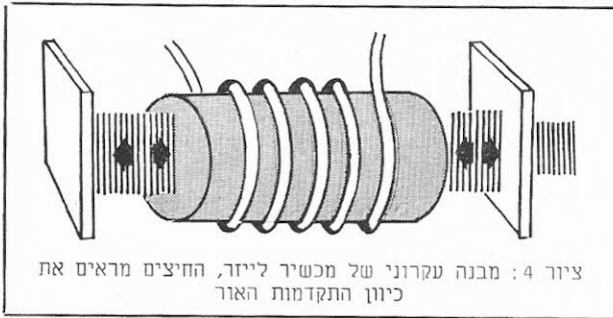
המבנה העקרוני של הלייזר

השם לייזר (LASER) הוא ראשי תיבות של Light Amplification Through Stimulated Emission of Radiation. זוהי קרן אור, צבעונית על-פירוב, שאחת מתכונותיה העיקריות היא האפשרות לרכזה לאלומה צרה מאוד, כמעט מקבילה; כל-זאת ללא שימוש בעדשות ובמחזירי אור. כתוצאה מכך קטנים ביותר הפסדי העוצמה.

הלייזר מורכב מ-3 מרכיבים עיקריים

תווך אקטיבי — תווך אקטיבי הוא חומר שנוכל לקבל ממנו, לאחר עירורו, פליטה מאולצת (העברת אלקטרונים מרמות אנרגטיות נמוכות לרמות אנרגטיות גבוהות — תיקרא להלן שאיבה).

מהוד — המהוד מורכב משתי מראות, הנמצאות בשתי קצוות התווך האקטיבי, ומשמשות מעגל תהודה לאור המתקבל. אלמנט מעורר — אלמנט זה שונה בסוגים שונים של לייזרים. הוא משמש באופן עקרוני כמקור אנרגיה (בלייזרים מוצקים משמשת לתפקיד זה נורת קסנון) הגורם לשאיבת אלקטרונים.



על-פי הפיתוח בעמ' 54 ראינו שהגברת-האור הוא:

$$I = I_0 e^{KL}$$

כאשר:

I_0 — עוצמת האור הנכנסת.

I — עוצמת האור היוצאת.

L — אורך התווך האקטיבי.

K — גורם ההגבר.

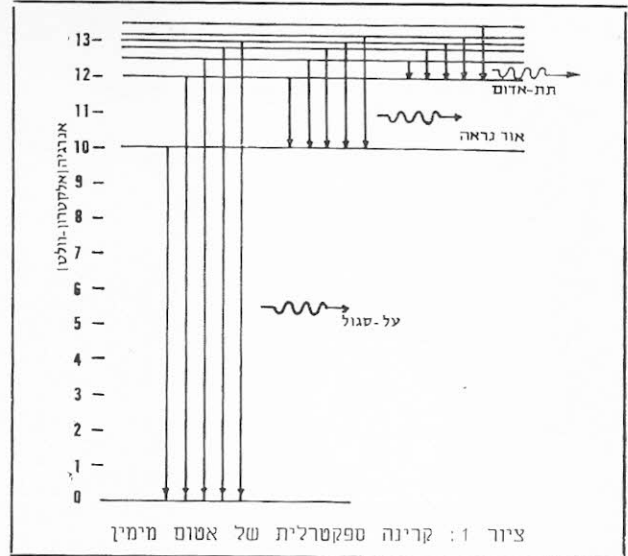
$K < 0$ — הוא תנאי לקבלת מגברת-האור.

כדי ליצור מקור אור משתמשים בעיקרון המשוב, הידוע בעיקר מתורת הבקרה. אם נכניס פוטון אור למערכת אקטיבית זו, הרי שביציאה יהיו יותר פוטונים משהכנסנו. פוטונים אלה יחזרו לתווך. ביציאתם תתקבל הגברה נוספת, וחזור חלילה.

המהוד הוא אינטרפרומטר של פבריק פרו, המשמש בנוסף ליצירת מעגל המשוב, גם ליצירת אור בעל אורך גל יחיד. כידוע, האור הוא גל אלקטרומגנטי בעל רכיבים של עוצמות שדה חשמלי E ושל עוצמות שדה מגנטי H . כדי ליצור משוב חיובי במהוד, על הגלים הנעים הלך וחזור בתווך האקטיבי להיות בונים ולא הורסים. כלומר, כדי לקבל הגברה ותנדודות, צריך להתקיים בתווך האקטיבי גל עומד. המאפיין אינטרפרומטר זה הוא תכונתו להגביר אורכי גל מסוימים.

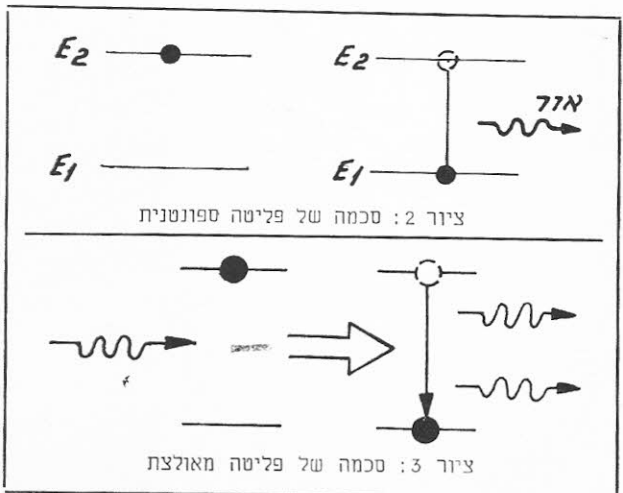
היחס בין אורכי גל אלו, לבין אורכו, נתון בנוסחה:

$$L = n \lambda$$

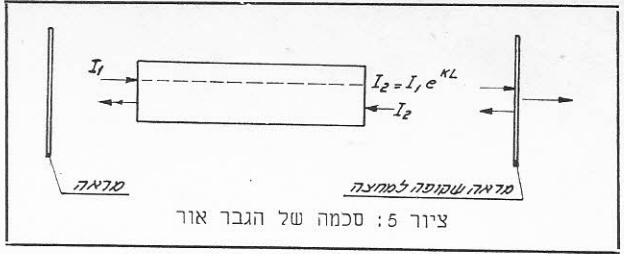


רון לעבור מרמה אחת לאחרת. כדי לחולל תופעה זו, יש לוודא שיש של העירור יתאים בערך ל- ν שיפלט מהאטום, עם החזרת האלקטרון ממצבו המעורר. כלומר, האנרגיה שנעביר לגרעין, חייבת להיות זהה לאנרגיה הדרושה לאטום כדי לעוררו.

ב-1917 הוכיח אלברט איינשטיין, בצורה תיאורטית, עובדה בעלת חשיבות ראשונה במעלה. עד אז הכירו רק את תופעת הפליטה הספונטנית (ראה ציור 2). אלברט איינשטיין הוכיח שתופעת החזרה למצב הנמוך יכולה להיעשות בפרק זמן קצר מ- T_s . מעבר זה יתחולל אם יפגע באטום זה פוטון, שהאנרגיה בו תהיה שווה בדיוק להפרשי האנרגיות $E_2 - E_1$, דבר שיגרום לפליטת שני פוטונים מהאטום. יתר-על-כן, איינשטיין הוכיח ששני הפוטונים ינועו לאותו כיוון (ציור 3). פליטה מאולצת היא אם כן, התופעה שבה נכנס פוטון אחד לאטום ויוצאים ממנו שני פוטונים. תופעה זו מעניינת במיוחד, שכן ברור כי ישנה אפשרות מעשית לקבל הגברי אור. ב-1958 נכתב מאמר על-ידי המדענים Townes & Arthur L. Schawlow, שהוכיחו כי קיימת אפשרות מעשית לקבל הגברת-אור (ראה עמוד 54, פיתוח נוסחות הגברת-אור). שנתיים מאוחר יותר נבנה הלייזר הראשון.



ותגבר, עד אשר כל האלקטרונים יחזרו מרמה 2 לרמה 1. חזרה זו תהיה, כאמור, מלווה בפליטת אור. פעולת המהוד האופטי בלייזר זה שונה מהשיטה שהוזכרה קודם לכן. פעולת יצירת המהוד קרויה „Q Switching”. המהוד נוצר על-ידי סיבוב פריזמה. כל זמן שהפריזמה אינה במצב כמודגם בצירוף 9 — אין מהוד והלייזר לא יפעל. אם הגיעה הפריזמה למצב הצוי כמודגם בצירוף 9, יתקבל מהוד ואז תחל פעולת הלייזרה.



כאשר:

L — אורך המהוד.

λ — אורך גל הקרינה.

n — מספרים שלמים 1, 2, ...

נוכל לראות באופן חזותי, שאם נכניס לאינטרפרומטר אור לבן, המכיל ספקטרום רחב של אורכי גל, נקבל ביציאה אור המורכב מאורכי גל דיסקרטיים (צירוף 6).

$$\lambda_i = \frac{L}{i}$$

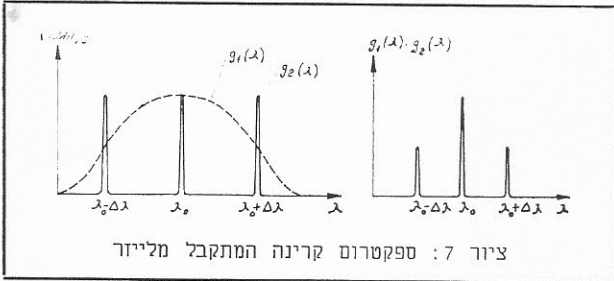
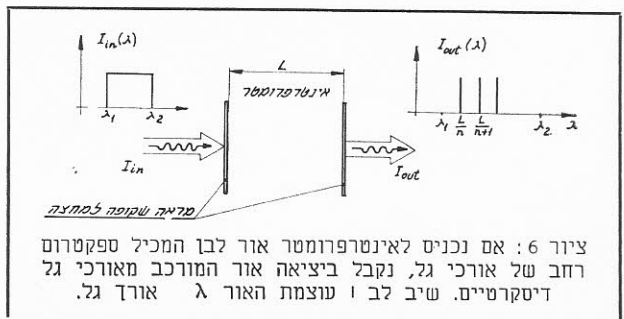
$$i = 1, 2, \dots$$

שילוב יכולת ההגבר של התווך האקטיבי (המוגבל לתחום של אורכי גל מסויימים והקשור ברמות אנרגטיות של האלקטרונים שבו), יביאו ליצירת אור מונוכרומטי. $g_1(\lambda)$ יהיה הגבר האור של התווך האקטיבי כתלות באורך הגל ו- $g_2(\lambda)$ יהיה הגבר הסלקטיבי של האינטרפרומטר. התוצאה מהכנסת תווך אקטיבי במהוד מסוג זה, תהיה שההגבר הכללי הוא מכפלת ההגברים. בשיטה זו יצרנו מתנד-אור, הדומה בעק-רונות פעולתו למתנדים האלקטרוניים. האור מתקבל ממתנד זה, מאחר ואחת המראות של המהוד היא שקופה-למחצה ומעבירה חלק מהאור הפוגע בה החוצה, וחלקו האחר מוחזר למערכת להמשך פעולת הלייזר.

לייזרים במצב מוצק

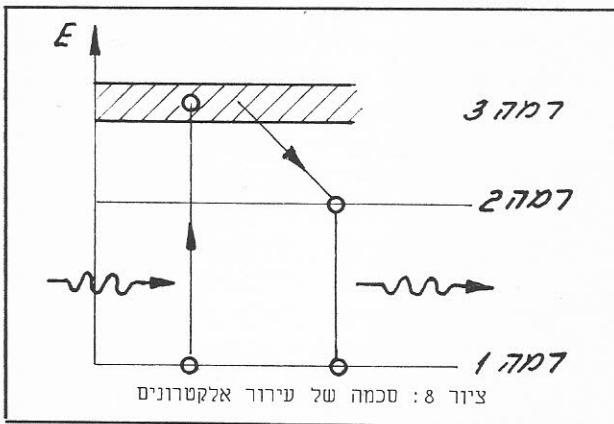
לייזרים אלה ידועים כפולס לייזרים, בהם ניתן להגיע להספקים עד 10^9 וט"אור למשך זמן קצר, 10–20 ננו-שניות. החומרים האקטיביים העיקריים בלייזרים אלה הם: כרום Cr^{+3} בלייזר האודם (Ruby) או נאודיניום. לייזר האודם מכיל כאמור אטומים של Cr^{+3} המפוזרים בגביש של תחמוצת החמרן.

עם עירור הגביש על-ידי שפופרת קסנון, עולים האלקטרונים מרמה 1 לרמה 3. זו האחרונה אינה יציבה, וממנה עוברים האלקטרונים במהירות לרמה 2. במצב זה שוהים האלקטרונים משך זמן של כמה מילי-שניות. בפרק זמן זה, אם תתרחש פליטה מקרית של פוטון אחד, תחל פעולת הלייזר ותלך



מגבלות השימוש בלייזר זה, בצורה רצופה או אפילו בפול-סים בתדירות גבוהה, היא בעיית חימומו. כאמור, יוצא רק חלק קטן מהאור המופק משפופרת הקסנון מהלייזר בצורת אור, שאר האנרגיה הופכת לאנרגיית חום, וזו גורמת לחימום הגביש ולהשחתתו. כדי לקבל נצילות גבוהה של האור, נבנה, בדרך-כלל, המהוד בחלל אליפטי מחוזר, כשבמוקד אחד נמצא גביש האודם ובשני שפופרת הקסנון. כל קרן אור היוצאת מהשפופרת מוחזרת לכיוון האודם (צירוף 10).

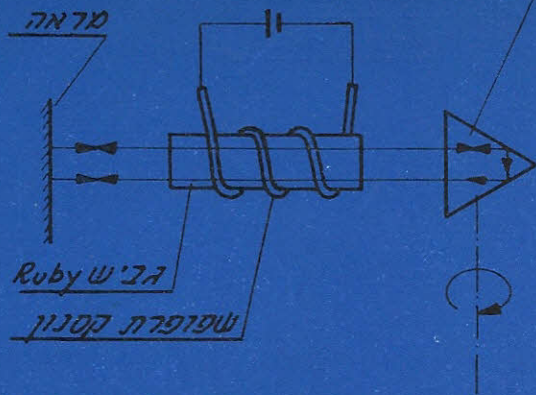
לייזר האודם מקרין בתחום האור האדום. מגבלת החימום הביאה ליצירת גבישים חדשים. הנפוץ ביניהם הוא גביש (YAG — Yttrium Aluminium Garnet), שלתוכו מומס נאודיניום. לנאודיניום כחומר פעיל, יתרונות על האודם. החשוב ביניהם הוא היכולת לעורר אטומים בקלות יחסית. לפיכך נמוכות יותר עוצמות אור העירור ובהתאם לכך יש אפשרות ליצירת פולסים בתדירות גבוהה יותר. לייזר נאודיניום מקרין אור בתחום התת-אדום (1.06μ)



גז-לייזרים

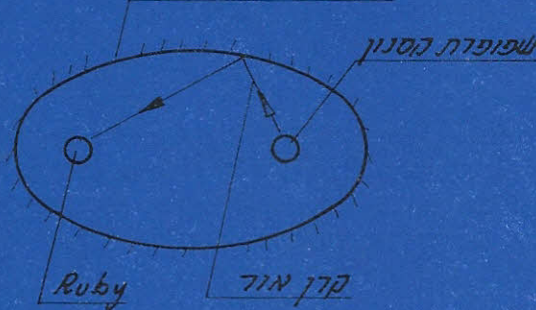
מבנם העקרוני של גז-לייזרים שונה מעט מזה של לייזרים במצב מוצק. התווך האקטיבי מורכב מגז (CO_2 , NeHe) וכיו) הנתון בתוך שפופרת זכוכית. בשתי קצוות השפופרת מותקנות מראות המשמשות כמהוד.

פריזמה מסתובבת



ציור 9: סכמה המציגה קבלת מהוד ותחילת פעולת הלייזר

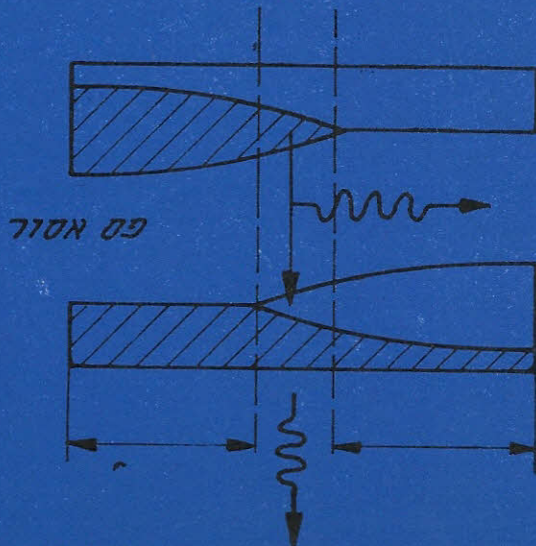
מראה אליפטית



ציור 10: כדי לקבל נצילות גבוהה של האור, נבנה בדרך כלל, החוהוד בחלק אליפטי מחזיר, כשבמרכז אחד נמצא גביש האודם (ruby) ובשני שפופרת קסנון

| פס אסוד | פס אסוד | פס אסוד |
|------------------|-----------------------|-----------------------|
| | | |
| מוליך למחצה טהור | מוליך למחצה עם דיופוס | מוליך למחצה עם דיופוס |
| | הוסף בעל שדה אלקטרוני | הוסף במסך אלקטרוני |
| | N type | P type |

ציור 11: כמות אלקטרוני בקליפה החיצונית של חומר מוליך למחצה עם תוספות



ציור 12: היפוך אוכלוסין בלייזר מוליך למחצה

עירור הגז נעשה על-ידי הזרמת זרם חשמלי דרכו. לייזרים מסוג זה, פועלים בצורה רצופה ואורכי גל הקרינה הם מאור נראה (הליום, נאון), ועד לתת-אדום הרחוק (דור-תחמוצת הפחמן). ההספקים המתקבלים מלייזרים אלה נעים בין מיליווטים עד כמה קילווטים (בלייזר דור-תחמוצת הפחמן). לייזר מוליך-למחצה

לייזר מוליך-למחצה הוא דיודה העשויה מחומר מוליך-למחצה, חומר מוליך-למחצה טהור הוא מוליך חשמלי גרוע, כלומר אין לאטומים שבו אלקטרונים חופשיים שהם נושאי מטען למעבר הזרם החשמלי. הכנסת חומרים בעלי אלקטרוני נים חופשיים בתוך החומר המוליך-למחצה, תהפוך חומר זה למוליך, כשנושאי המטען הם אלקטרונים, אם נכניס חומר שחסרים בקליפתו החיצונית אלקטרונים, גם אז ייהפך החומר למוליך, כשנושאי המטען יהיו נעדכונים (ציור 11).

כאשר מצמידים חומר P וחומר n ומזרימים דרכם זרם, ייוצר מצב של "היפוך אוכלוסין", כלומר, אלקטרונים מרמות נמוכות יעברו לרמות גבוהות. מצב כזה יאפשר פעולת לייזרה בצומת. המהוד ללייזר נעשה על-ידי הבקעת הגביש במישורים קריסטלוגרפיים ראשיים, כך שביקוע זה יוצר מראות המשמשות כמהוד (ציור 12).

שימושי הלייזר

מכשיר הלייזר משמש בתחומים רבים. בתעשייה, ברפואה, ובשימוש הצבאי תופס הלייזר מקום נכבד. טרם מוצו עד כה כל אפשרויות השימוש בלייזר, נציין להלן שימושים אחדים ידועים ונפוצים.

לייזרים בתקשורת

נוכח הגדלת כמות השיחות במערכות התקשורת בעולם, נוצר צורך למצוא שיטה יעילה וזולה יותר להעברת שיחות. קיימת כיום אפשרות להעביר מספר מוגבל של שיחות בכבל טלפון, עשרות או מאות אחדות בלבד. הוצאות ההנחה של הכבל ואחזקתו הן גדולות מאוד.

השימוש בלייזר מבטיח רבות בתחום התקשורת. העיקרון המונח ביסודו של רעיון זה, הוא היכולת לאפנן קרן אור. כאשר נותנים מתח בקצותיהם של גבישים מסויימים, גורמים הם לשינוי מקדם השבירה של החומר. שינוי זה, גורם לשינוי עוצמות האור ביציאתו מהגביש. אם המתח המאפנן, ביציאה מהגביש, יהיה קולו של אדם, תצא קרן אור מאופננת בתדר המתאים לקולו. חשיבותה של השיטה טמונה ביכולת להעביר כמות גדולה מאוד של שיחות בקרן אחת. דוגמה לכך, ניתן לראות בהעברת שיחות בעזרת גלי רדיו; ניתן להעביר בערוץ אחד כמה מאות עד כמה אלפי שיחות. אולם המגבלה בשיטה זו נעוצה בעובדה שעבור כל שיחה יש לשמור על רוחב סרט של כ-10 קילו-הרץ. אם תדירות השידור היא בסביבות 100 מגהרץ כי אז כמות השיחות הניתנות להעברה היא לערך:

$$N = \frac{100 \times 10^6}{10^4} = 10.000$$

תדירות האור, לעומת זאת, היא בסביבות 10^{15} מגהרץ, וכמות השיחות שאפשר להעביר בה היא לערך:

$$N = \frac{10^{15}}{10^4} = 10^{11}$$

קיימות בעולם כמה מערכות ניסיוניות לתקשורת בעזרת לייזרים, אולם אין להניח שבעתיד הקרוב יבנו מערכות מסוג זה לצורכי מסחר.

הלייזר ברפואה

ברפואה הוכנס הלייזר לשימוש בצורה אינטנסיבית. כיוון וקרן הלייזר צרה מאוד, ובעלת אנרגיה גבוהה, היא יכולה לשמש כמכשיר חיתוך עדין בעל ביצועים גבוהים. יתרונו של מכשיר זה, לעומת איזמל ניתוחים רגיל הוא; יכולתו להקריש את הדם בחתך, עקב הטמפרטורות הגבוהות של הקרן. בכירורגיית עיניים נפוץ השימוש בקרן הלייזר, כאמצעי ריתוך של הרטינה (פגיעה ברטינה גורמת לעיוורון).

מיקוד הקרן לתוך העין נעשה דרך עדשת העין, שילוח פולס אור קצר בעוצמה גבוהה גורם להיתוך נקודתי ולריפוי. יתרונה של השיטה הוא בכך, שאין צורך לבצע ניתוח מסובך, שמשך ההחלמה ממנו ארוך. כל התהליך נמשך דקות ספורות והסבל הנגרם לחולה הוא מועט.

במחקר רפואי וביולוגי ניתן להשתמש בלייזר לשימוש כמבקע תאים. קרן-אור שתוחדר דרך מיקרוסקופ תרכוז עד כדי כך שתאפשר חיתוך תאים בודדים. חיתוך זה מאפשר טיפול בשטחי מחקר חדשים שלא נודעו עד כה.

גירוסקופ

חברת Honeywell פיתחה שיטה למדידת מהירויות זוויתיות ע"י לייזר (ציור 18). החברה פיתחה גריסקופ הפועל באמצעות קרני לייזר, והמאפשר מדידה מדוייקת מאוד של מהירות זוויתית. יתרונו הגדול של הגירוסקופ הוא במהירות תגובתו הגבוהה, שכן אין בו אלמנטים מכניים מסתובבים, כדוגמת הגירוס-קופים הנמכרים בשוק. כן אין בו אלמנטים מגנטיים ותת-מכללים שתגובתם תלויה בטמפרטורה.

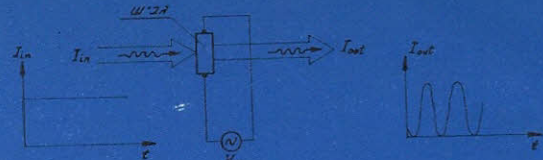
פעילותו של גירוסקופ זה מיידית, בעוד שבגירוסקופ רגיל דרוש זמן חימום של 15-30 דקות. יתרון נוסף חשוב הוא, העדר השפעת תאוצות על הגירוסקופ ה"נ"ל בניגוד לגירוס-קופים הרגילים, שבהם משפיעות תאוצות ומהירויות צדדיות על דיוק המדידה. אין בגירוסקופ זה בעיות סחיפה עם הזמן, תופעה המגבילה בצורה חריפה את יכולת הגירוסקופ למדוד בצורה מדוייקת במשך זמן ארוך.

גירוסקופ זה פועל על-ידי שני קרני לייזר משודרות הנעות בשני כיוונים, עם כיוון השעון ונגדו. כל זמן שהמערכת עומדת, שווה אורך מסלול הקרן בשני הכיוונים. אם המערכת מסתובבת, מתקצרים המסלולים ה"נ"ל ומתארכים לפי מהירות הסיבוב, ולכן בהתאבכות יורגש שינוי. שינוי זה נקלט בקלות ומתורגם למהירות סיבוב המערכת.

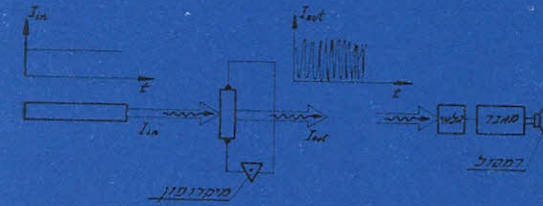
לאחרונה נעשים בלייזרים שימושים נרחבים בתחומי הצבא, להלן אחדים מהם:

הלייזר כמד-טווח

אחד מהשימושים הנפוצים בלייזרים, במערכות נשק, הוא כמד-טווח (ציור 15). בפעולת הלייזר, עוברת חלק מהקרן, באמצעות מראה, לגלאי ההופכה לאות חשמלי. אות זה מוגבר ומשמש לדירבון מעגל הפותח שער אלקטרוני. משמחזר האות

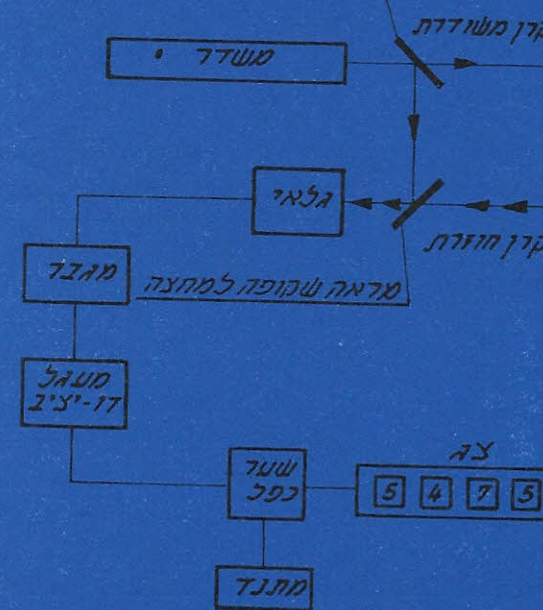


ציור 13: אפנון אור באמצעות מתחים חשמליים I out עוצמת אור האופנות ביציאה בתדירות f מתח אפנון בעל תדירות f I in עוצמת אור נכנסת שאינה תלויה בזמן

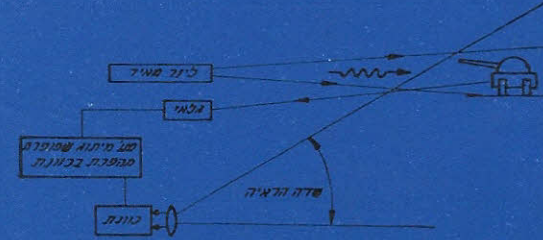


ציור 14: תקשורת על-ידי אפנון אור

מראה שקופה למחצה

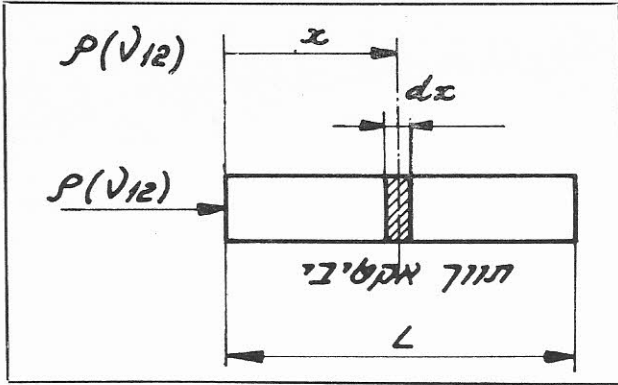


ציור 15: דיאגרמת משבצות של מד-טווח לייזר



ציור 16: תאור סכמטי של כוונת לילה

הגבר בתווך אקטיבי



$$(1) \frac{dI}{dx} = (N_2 B_{21} - N_1 B_{12}) \rho(v) h \nu g (v - v_0)$$

כאשר:

- I — עוצמת אור כתלות של אורך מסלול המעבר.
- N_2 — מספר אלקטרונים ברמה 2.
- B_{21} — הסתברות מעבר ליחידת זמן, ליחידת אנרגיה של מעבר אלקטרון מרמה 2 לרמה 1.
- N_1 — מספר אלקטרונים ברמה 1.
- B_{12} — הסתברות מעבר של אלקטרונים ליחידת זמן ליחידת אנרגיה מרמה 1 לרמה 2.
- $\rho(v)$ — מספר פוטונים ליחידת נפח של אור הנכנס לתווך כפונקציה של אורך גל.

h — קבוע פלנק.

$g(v - v_0)$ — פונקציית ההגבר של המהוד.

v — חדרית האור

N — סה"כ אלקטרונים חופשיים.

שינויי עוצמות האור ליחידת אורך, תלויים במספר האלקטרונים נים שיעברו מרמה 2 לרמה 1, פחות כמות האלקטרונים שיעברו מרמה 1 לרמה 2, וכן בעוצמת אור הכניסה. במשך וואה זו, הוזנחה הפליטה הספונטנית, כיוון שמשך קיום האלקטרון ברמה 2 גדול מאוד, לעומת קיום התהליך בפליטה מאולצת.

$$(2) I = \rho \times C$$

$$(3) N_1 + N_2 = N$$

כאשר:

C — מהירות האור

בהצבה של נוסחה 2 לנוסחה 1 יתקבל

$$\frac{dI}{dx} = (N_2 B_{21} - B_{12} N_1) \frac{I}{C} h \nu g (v - v_0)$$

בהנחה מקורבת ש- $B_{12} = B_{21}$

$$\frac{dI}{dx} = (N_2 - N_1) \frac{K}{C} h \nu g (v - v_0)$$

$$I = I_0 e^{Kx}$$

$$I(L) = I_0 e^{KL}$$

$$K = (N_2 - N_1) \frac{B_{21}}{C} I h \nu g (v - v_0)$$

כדי לקבל הגבר בתווך הנ"ל $N_2 - N_1 > 0$, כלומר, צריך להתקיים התנאי של היפוך אוכלוסין.

$$T = \frac{I}{F}$$

$$K = \frac{C}{2F}$$

L — יחסי ישר למספר המחזוריים שנספרו בעת מעבר הקרן הלוך וחזור. דיוק מדידת הטווח תלוי, בעיקר, בתדירות המתנד F, ובהכרח ביכולת המגברים לטפל באותות

מהמטרה, הוא נקלט שנית על-ידי הגלאי, מתורגם לאות חשמלי ומשמש לסגירת השער הינ"ל.

פרק הזמן $\Delta t = t_1 - t_0$, הוא משך הזמן בו נמצא האות במרחב, או פרק הזמן הדרוש לאור לעבור את פעמיים המרחק מהלייזר למטרה. הקשר בין Δt והמרחק הוא:

$$\Delta t \times C = 2L$$

$$L = \frac{\Delta t \times C}{2}$$

כאשר:

L — מרחק המטרה.

C — מהירות האור.

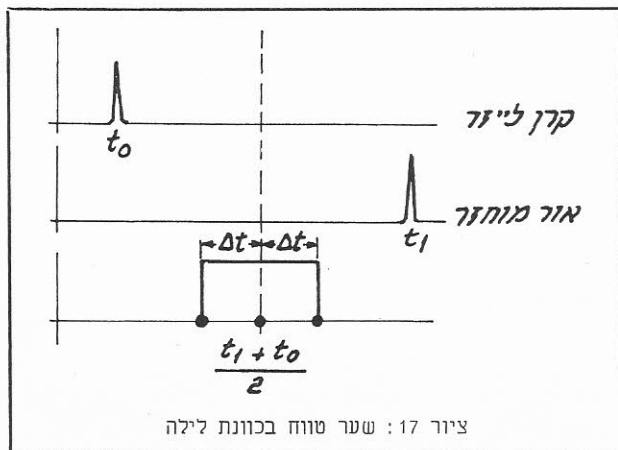
האות המרובע ביציאה מהמעגל, הדו-יציב, נכנס למכפל שלתוכו מוזן מתח חילופין בתדירות F (מקובלות תדירויות מ"מ 15-60 מגהרץ, ציור 17). כל זמן שקיים V_1 , יעבור מתח החילופין ויכנס למונה. המונה ימנה את מספר המחזורים שעברו במכפל בפרק הזמן Δt , מספר זה יהיה N. ידיעת N, נותנת לנו אפשרות למצוא את המרחק לפי הקשרים:

$$N = \frac{\Delta t}{T} = \Delta t \times F$$

$$L = \frac{N}{F} \times \frac{C}{2}$$

כיוון שכל הגדלים ידועים אזי:

$$L = K \times N$$



ציור 17: שער טווח בכוונת לילה

בתדירות הנ"ל. הדיוק המקובל במדידתו צבאיים הוא, ± 5 מטר, קיימת אפשרות מעשית לקבלת דיוקים עד סנטימטרים ספורים.

הפצצה מדוייקת

אחת הבעיות של הכוחות האמריקנים בויאטנאם, היא הקושי להפציץ מטרות קטנות בדיוקים גדולים. הלייזר פתר בעיה זו. לדוגמה — מטוס קטן, מסוג „ססנה“, הוסב כך שרעש מנועו יהיה מינימלי. מותקן בו לייזר על פלטפורמה אי-נרציאלית המאפשרת החזקת קרן לייזר על מטרה, למרות תנודות המטוס והתקדמותו. מטוסים מגביהי-טוס, משלחים פצצות בקרבת המטרה. ביכולתן של פצצות אלה להתביית על הכתם הנוצר עקב קרינת הלייזר, והן מגיעות לכתם בדיוק של מטרים ספורים.

היתרון המושג בשיטת הפצצה זו הוא רב, שכן ניתן להשתמש במטוסים סטנדרטיים להפצצת מטרות המחייבות שימוש במטוסים אטיים הפגיעים לאש כוחות-הקרקע.

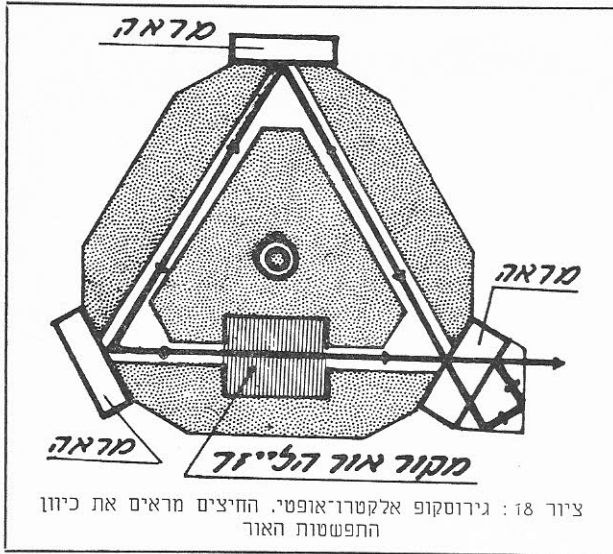
כוונת לילה

במערכת נשק של טילים נ"ט, קיימת דרישה לפעולה בלילה. בארה"ב נבנתה כוונת המאפשרת תצפית בלילה, לשימוש במערכת טילים נ"ט מסוג TOW. הכוונת מורכבת מפולס לייזר מסוג נאודיניום ושפופרת מהפכת הניתנת למיתוג. כלומר, ניתן להשפיע על עיתוי פעולת השפופרת. הלייזר פועל בפולסים בקצב יחסי גבוה, כ-10 פולסים בשניה, הספק האור של הפולס גבוה ויכול להתקרב עד ל- 10^7 וט אור. לאחר קבלת ההד מהפולס הראשון, יודעת המערכת את טווח המטרה בפולס הבא.

מערכת מיתוג השפופרת מחשבת לפי הטווח את מועד פתיחתה וסגירתה, והיא פותחת אותה למשך זמן

$$\frac{t_1 - t_0}{2} \pm \Delta t$$

כלומר האור שיכנס לשפופרת ויובחן על-ידי האדם, יהיה



ציור 18: גירוסקופ אלקטרו-אופטי, החיצים מראים את כיוון התפשטות האור

האור המגיע מהעצם ומסביבתו הקרובה. אם תישאר השפופרת פתוחה כל הזמן, עלולים להיגרם הפרעות ורעשים של הסביבה, ואיכות התמונה עלולה להיות גרועה. סידור של פתיחת השפופרת אך ורק למשך זמן, בו יש החזרה מהמטרה, משפרת איכות התמונה. במונחים מקצועיים, היא משפרת את יחס האות לרעש של התמונה. היכולת לצפות בעצם, למרות שמשך זמן שידור הלייזר קצר מאוד, נובעת מעוצמת הפולס של הלייזר ומהזיכרון של המסך בשפופרת.

סיכום

הזכרנו אך אחדים מן השימושים הרבים שעושים בלייזרים בתחומי התעשייה, הרפואה ומערכות הנשק השונות. בעתיד הרחוק, עם שכלול ייצור הלייזרים והגדלת כמויות המכשירים שבידי המהנדסים והחוקרים, ימצאו למכשירים אלה שימושים חדשים שיהפכוהו למכשיר רבי-ערך בקידום המחקר והטכנולוגיה. □



אלקטרונית בע"מ

ייצור וחידוש חלקי חשמל למכוניות
רכב כבד וטרקטורים



עוגנים נותנים, דינמו, אלטרנטורים



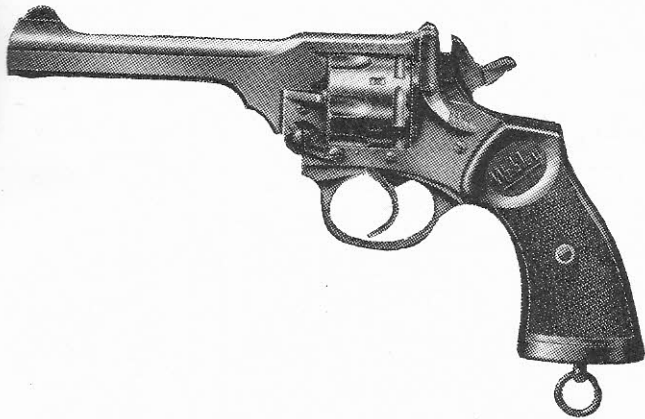
עמנואל טרכמן,

תל-אביב, רח' שלמה 40, טלפון 826172



דרך פתח תקוה 28, טל. 36423

**נשק תחמושת ואביזרים
חומר נפץ ומכשירי פיצוץ**

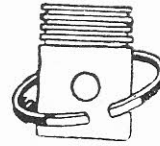


בוכנות זוביליה בע"מ

תל-אביב, רח' עשר טחנות 16

ת.ד. 13041

טלפון: 772883, 770360



ייצור בוכנות וטבעות לבוכנה
למנועי שריפה ולקומפרסורים

- ספק של מושרר הכטחון
- תחת השגחת מכון התקנים

אסבסטוס וכימיקלים

חברה בע"מ

יצרני סרטי בלמים, מעצורי דיסק
ובטנות למצמידים לרכב אזרחי וצבאי

חופי, חבלי, סרטי ובדי אסבסט



טל. 778121-3

תל-אביב

ת.ד. 86

בית יציקה הידרו לחץ

- יציקות אל ברזליות
- יציקות לחץ
- יציקות חול
- יציקות מבלטיד (קוקיליים)



רח' סלמה 46, תל-אביב, טל. 825113

הגש הצעתך לייעול

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



הצעתך לייעול הגש לוועדה הארצית מטכ"ל/משבי"ט או הוועדה היחידתית

מאת

1971-1961. עשור ל"מערכות-חימוש"

