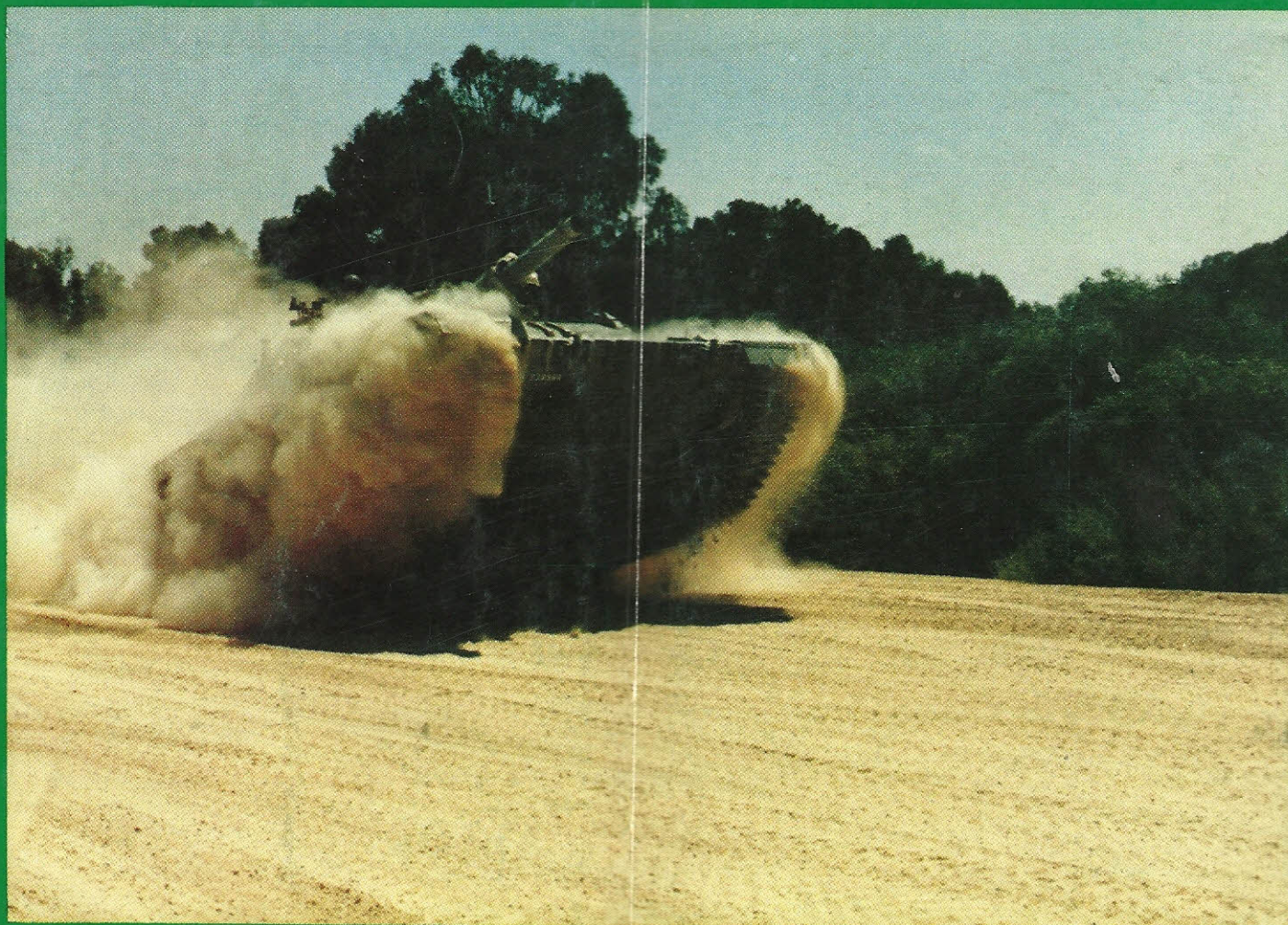




מן התוכן:

- עם אנשי חימוש בבאלי"ש
- איכות הנסיעה ברק"ם/רכב בהיבט הנדסת אנוש
- גילוי וזיהוי חל"כים — כיום ובעתיד
- חימוש עיקרי לטנקי-לחימה — כיום ובעתיד



חוברת מס' 95 • טבת תשנ"א — ינואר 1991

בתוכן:

העורך: רס"מ נסים נפתלי

2 עם אנשי חימוש בבאלי"ש מאת נסים נפתלי

בבאלי"ש — בסיס האימונים ליחידות שדה — צה"ל מאמן את מערך המילואים הגדול של יחידות השיריון, החי"ר, התותחנים וההנדסה. אנשי החימוש בבסיס צריכים להכשיר את הרק"ם, הרכב והנשק ליחידות, לצאת איתן לאימונים, ולהכשיר את כל הכלים למחזורי המילואים המגיעים ברצף. אל"ם ש', סגן מפקד המתקן, קשר להם זרים, וגם אנחנו.

בשער החוברת: "מרכבה" קופצת מעל אדנים. צילם: אסא דוברת (ראה כתבה בעמ' 14).

צילומים לכתבה החילית ולמאמר בנושא איכות נסיעה — מעבדת הצילום ביח' ד"צ 01154.

14 איכות הנסיעה ברק"ם/רכב בהיבט הנדסת-אנוש מאת יקי רוזן

רמת התיפקוד של צוותי הרכב והרק"ם היא, בין השאר, נגזרת ישירה של רמת החשיפה שלהם לתנודות במהלך הנסיעה. הכרת היכולת הפיזיולוגית והפסיכולוגית של האדם לספוג תנודות יכולה לשמש בסיס ליצירת תנאים אופטימליים לתיפקוד יעיל. על כך, במאמר.

22 גילוי וזיהוי חל"כים — כיום ובעתיד חומרי הלחימה הכימיים (חל"כים) מסוגלים להסב אבדות כבדות. ואולם אם הצד המותקף מצויד באמצעי מגן וישנם בידיו אמצעי גילוי וזיהוי לקבלת התראה מוקדמת, הוא יכול להוריד למינימום את ערכה של ההתקפה. על החל"כים עצמם ועל האמצעים לגלותם ולזהותם — בכתבה זו.

28 חימוש עיקרי לטנקי-לחימה תחום הגנת השיריון מציב שוב ושוב את משוכותיו כנגד תותח הטנק ומאלץ את הצבאות השונים להכין מענה הולם. המאמר סוקר את תמונת המצב כיום בתחום חימוש הטנקים ומפרט את האפשרויות השונות להעלות את רמת הביצועים בתחום הזה, בעיקר מבחינת מערכת הנשק.

מדורים:

■ עולם החימוש 12, 34

■ מעניין ומועיל 13, 38

מען המערכת: ד"צ 02128, צה"ל ■ מדור המנויים: הקריה, רח' דוד אלעזר 25, טל' 6975628 ■ הודפס באמצעות: משרד הבטחון / ההוצאה לאור ■ ביצוע: דפוס נידט בע"מ. ■ מודעות: משהב"ט / הו"ל, טל' 380849/90. המערכת אינה אחראית לתוכן המודעות.

עם אנשי חימוש בבאלי"ש

מאת ניסים נפתלי • צילם: שלומי פילו



באלי"ש — בסיס אימונים ליחידות שדה — הוא המתקן שבו צה"ל מאמן את מערך המילואים של ארבעת חילות השדה שלו — החי"ר, השיריון, התותחנים וההנדסה. כמובן, מדובר באוכלוסיית מתאמנים גדולה מאוד, גם בקנה-מידה עולמי, ובציווד לחימה רב ומגוון העומד לרשותם. קומץ אנשי חימוש, ללא כל יחס לכמות העבודה הנדרשת, עושים בבאלי"ש דבר שקשה להסבירו, כמו שאומר סגן מפקד המתקן, אל"ם ש'. בעבודת יום ולילה סביב השעון אנשי החימוש מכשירים את הטנקים, הנגמ"שים, הרכב והנשק ליחידות המתאמנות, יוצאים עם היחידות לתרגילים כדי לדאוג שהתרגיל יעבור חלק מהבחינה הטכנית, ולאחר מכן נכנסים למירוץ קדחתני נגד השעון במאמץ להכשיר שוב את כל הצל"ם ליחידות המילואים החדשות, וכך לאורך השנה. עברנו בין המרכזים השונים במתקן האימונים הענק כדי לפגוש באנשים הנותנים להצגה הגדולה הזו להימשך באין מפריע.

בנסיעה דרומה, בואכה באל"ש, מעיר קובי הנהג את תשומת-ליבנו, שהנה הוא נוסע כבר כמה קילומטרים טובים ואין הוא רואה כל-יירכב הנוסעים בכיוון הנגדי. אנחנו שמכירים את קובי, לא בטוחים שהעניין רציני, אבל, באופן טבעי אנחנו מתחילים לשים לב לדרך, ומתברר שהבן-אדם צודק; לא רואים צורת רכב בכיוון הנגדי. ואז מעלה קובי את ההשערה, שלמקום שאליו מועדות פנינו רק נכנסים... בסוף, כשכבר העניין נהיה רציני והתאוריה של המקום שאין יציאה ממנו הולכת ומוכחת כמעט סופית, רואים באופק איזו נקודה על הכביש, ולאט לאט מבחינים גם שמדובר במשהו גלגלי. השרירים המתוחים שלנו עוברים איזו הרפיה; הנה, סוף סוף מגיע הרכב שישבור את התאוריה. ובסוף הוא מגיע... סתם טרקטור של איזה מושבניק, שעולה מן השדה לכביש ושובר לנו את הלב.

אז זהו, כך נראה הכביש בבאל"ש בסתם יום של חול; סטייל נגב. וסוף סוף מתחילים לראות אפס קצה של הבסיס, שבשטחיו הנרחבים מתאמן כל כוח המילואים היבשתי של צה"ל. גם מבלי לנקוב במספרים שאסור לנקוב בהם, די להבין שבהיקף שנתי מדובר כאן בכוח-אדם אדיר המתאמן במרוכז במתקן אימונים אחד. "מול כל חיל מחילות היבשה" – אומר לנו סא"ל יוסי, קצין החימוש של באל"ש – קיים כאן מרכז, שאליו מגיעים אנשי המילואים להתאמן בצידוד היעודי. בסיום התרגילים הנפרדים, הכוחות מתאחדים ומבצעים תרגיל משולב. הכוח המתאמן נהנה כמובן ממעטה לוגיסטי, הכולל – מלבד המזון, הדלק, התחמושת והציוד האישי – את ציוד הלחימה ואת אנשי החימוש. את ציוד הלחימה היעודי – הטנקים והתומות"נים של מרכז שיריון, הנגמ"שים של מרכז חי"ר, הצמ"ה של מרכז הנדסה והגיפים של מרכז מודיעין וסויר – מאחזקים אנשי החימוש של המרכז הנוגע. בכל יתר ציוד הלחימה, ציוד המשותף לכל המרכזים – הרכב החום לסוגיו, הנשק, הציוד האופטי וציוד בתי-מלאכה – מטפלת פלוגת האחזקה של באל"ש. "לבאל"ש, מוסיף סא"ל יוסי, ישנו עוד צד חימושי, חדש יחסית, הנוגע ליחידות החימוש במילואים. איש החימוש", הוא אומר, "הוא לא רק בעל-מקצוע בגדוד, אלא הוא גם חייל, שיוזר מנגמ"ש בשעת הצורך, שמשתמש באמצעי הגנה מפני חל"ץ וכיו"ב. לכן הוחלט לעשות כאן בבאל"ש אימוני מסגרת וחילול למחלקות החימוש הגדודיות. העניין הזה רץ כבר שנה, ואנו מקבלים מהאנשים תגובות חיוביות עליו.

במשימות אנשי החימוש בבאל"ש ניתן להבחין בשלושה שלבים עיקריים: שלב מתן האחזקה בזמן האימון, שבו חוליות החימוש מצטרפות לכוח המתאמן ומאפשרות לו, על-ידי תיקונים בשטח וחילוצים, להשלים את המטלות בזמן; שלב הטיפול בגמר האימון, שמטרתו להכין את הצל"ם במהירות לאימון הבא; ושלב הטיפול המעמיק יותר בתקופות הפגרה, התקופות שבהן לא מתקיימים אימונים.

בבאל"ש, כמו בכל היחידות הסדירות, המשוב על עבודת איש החימוש הוא מהיר מאוד, מפני שמה שמתקנים ומטפלים היום, רץ מחר בשטח בלי חשבון. אז יפה שהצלחת לעמוד במטלות באימון אחד ובאימון השני והשלישי, אבל כשאתה צריך לשמור על אותה רמת שירות בכל האימונים ולאורך כל השנה, אתה זקוק לכוחות נפש רבים. אז יש, אולי, כאלה מבין צרכני



יפה בבאל"ש. חוץ מזה אני שיריונר, ואני אוהב אנשי חימוש, ואני יודע שבלעדיהם אי אפשר לנסוע לשום מקום. מבחינתי כצרכן, מסכם ש', "מה שעושה החימוש בבאל"ש זה ממש מדע בדיוני!"

הפלוגה הכי יפה

טפיחה אמיצה זו של אל"ם ש' על שכמם של אנשי החימוש בבאל"ש, יותר משהיא נעימה למישמע אוזניים, היא, לעניות דעתנו, אותו סוג של חומר דלק המאפשר לאנשים, בכלל, ובמקרה זה לאנשי החימוש, להתעלות על עצמם ולעמוד במשימה שהיא גדולת ממדים לכל הדעות. בהרגשה הטובה הזאת של הכרת-תודה אנו יוצאים ממשדרו עמוס המפות של ש' אל פלוגת האחזקה, הנמצאת בפיתחו של הבסיס. כשאנו

אל"ם ש' מכיר תודה

בבאל"ש, כמו בכל היחידות הסדירות, המשוב על עבודת איש החימוש הוא מהיר מאוד, מפני שמה שמתקנים ומטפלים היום, רץ מחר בשטח בלי חשבון. אז יפה שהצלחת לעמוד במטלות באימון אחד ובאימון השני והשלישי, אבל כשאתה צריך לשמור על אותה רמת שירות בכל האימונים ולאורך כל השנה, אתה זקוק לכוחות נפש רבים. אז יש, אולי, כאלה מבין צרכני



"כמו שאתה רואה", ממשיך יוסי, "נושא הסדר והניקיון מקבל כאן עדיפות גבוהה, כי יש לו השפעה גדולה על החשק של החייל לעבוד. כדי לפתח בחיילים איכפתיות לנושא, אנחנו עורכים בפלוגה כל חודשיים תחרות בין המחלקות ובין החדרים של חיילי החובה. המחלקה או החדר הנקיים והמטופחים מקבלים יום חופשה וכן תמונת נוף ממוסגרת עם הקדשה. חוץ מזה, צריך גם להינפש, אז פעם בחצי שנה, בתקופת הפגרה בבאלי"ש, כל הפלוגה יוצאת לטיול".

מסות שלא נגמרות

אין ספק, שהטיפול האישי בחייל וטיפול סביבת העבודה יוצרים מוטיבציה גבוהה לעבודה, ואם הדבר נכון ככלל, בוודאי שהוא נכון, ועוד יותר מזה חיוני במקומות הסובלים מעודף עבודה כמו בפלוגת האחזקה. המשימה המרכזית של הפלוגה — בדומה למרכזי האחזקה האחרים בבאלי"ש — היא להכין את הצל"ם לאימונים. נוסף על כך הפלוגה נותנת שירות בחלפים, בסיכה ובתיקון תקרים לכל המרכזים ואחראית גם על ביצוע חילוץ בכל מרחב באלי"ש. אבל בניגוד למרכזים האחרים, שבהם אנשי החימוש אחראים לאחזקת הצל"ם היעודי של אותו מרכז, כאן אחראים לאחזקת הצל"ם המשותף לכל המרכזים: זה אומר — כל הרכב החום לסוגיו; כל כלי-הנשק, כל הציוד האופטי וכל ציוד בתי-המלאכה של כל המרכזים. "למי שלא מבין את המשמעות", אומר יוסי, "מדובר פה בכמויות אדירות: כל שבוע נשפכים לכאן מאות כלי רכב חומים; בכל חודש אנו מטפלים באלפי כלי-נשק אישיים וכיתתיים, במרגמות ובכנות; אנחנו מאחזקים גרורים, גרטרורים, מקדחות קוברה, מדחסים קבועים וניידים, כלי חשמל יעודיים וכלי הרמה, ומטפלים בכמויות ענק של ציוד אופטי — משקפות, מצפנים ומכשירי ראיית לילה. תוסיף לכל זה את שירותי החלפים, הסיכה, תיקון התקרים והחילוץ לכל

עומדים יחד עם יוסי המ"פ בפתח מחלקת האחזקה של הפלוגה, אנו נזכרים בדבריו של ש' על הפלוגה הכי יפה בבאלי"ש. אחר כך, כשניכנס למחלקה ונהרהר בקול בשאלה, איך מתיישב עומס העבודה הרב עם הטיפול, הסדר והניקיון במחלקה, יאמר לנו יוסי, ש"סדר וניקיון הם חמישים אחוז מהחשיה לעבודה. חמישים האחוז הנותרים הם ציונות — אני מסביר לאנשים כמה חשוב הטיפול שהם עושים". יוסי, תושב באר-שבע, נשוי ואב ל-4 בנים, הוא בוגר ביה"ס מקצועי שפיר במגמת חשמל בנין ואוטומציה. את עיקר שירותו עשה בשבטה, מטוראי ועד סגן, תחילה כחשמלאי תומ"תים ואחר כך כאחראי תפ"י ומ"פ סדנאות. לאחר מכן היה מפקד מרכז טיפולים אוגדתי במשך 3 שנים ומשם הגיע לתפקיד הנוכחי, שאותו הוא ממלא זה כשנתיים. חלומו הגדול של יוסי הוא לסגור, בבוא הזמן, את מעגל שירותו הצבאי במקום שבו התחיל אותו, בחולות שבטה.



רס"ן יוסי, מ"פ אחזקה: "המשימה הראשונה היא טיפוח האדם".

כשאנו מתחילים לדבר על משימותיה של פלוגת האחזקה בבאלי"ש, מעיר לנו יוסי, שהמשימה הראשונה לדעתו היא טיפוח האדם. "כשאתה לא דואג לחייל, אין לו מוטיבציה לעבוד, ואי אפשר לדבר איתו על משימות. הדאגה לחייל", אומר יוסי, "מתחילה כאן מיד עם בואו לפלוגה. הוא נכנס אלי לראיון, אני לומד על הרקע שלו, ומברר אם יש לו בעיות. אם יש בעיות, אני לא מנסה להיות רופא או קצין ת"ש. סיכום הראיון עובר מיד למי שיכול לטפל בבעיות בצורה מקצועית. כשהחייל מתחיל לעבוד, באופן טבעי הוא רוצה להתקדם ועניין השלבים והדרגות מתחיל להטריד אותו. כאן בפלוגה, החייל לא צריך לרוץ אחרי הדברים האלה. אני מנהל מעקב אחרי כל חייל, וברגע שהוא צבר את הפז"ם הנדרש, אני מכין לו טופס ואומר לא — תכין פה כיבוד קל, בעוד שעה אתה מקבל דרגה!"

טוראי מיכאל יהודה מרחובות, חשמלאי רכב, ורב"ט רפי רפאלוב משדרות, מכונאי רכב וחיל מצטיין פלוגתי הנמצא ביחידה רק 7 חודשים. כולם מרוצים מן השירות, בפירוש, אבל גם אינם שוכחים לציין שהעבודה קשה. "יוצאים הרבה לשטח", הם אומרים, "אבל יש סיפוק מהעבודה, מרגישים שעושים משהו". "כדי שתבין", אומר לי יוסי המ"פ, "החברה האלה היו בתרגיל ביום חמישי בלילה; הם נשארו בשבת בתורנות, ומהיום – יום ראשון – ועד יום שלישי בצהריים הם ישתתפו בתרגיל. בגמר האימון הם האחרונים שיצאו מהשטח, הם יישנו כמה שעות ואחר כך ימשיכו לעבוד עם כל הפלוגה במסגרת הזיכוי של החטיבה".



רס"ב יעקב אֶסאָו: "את כל העצים פה שתלתי בידיים שלי".

רס"ב אֶסאָו נזכר

מג"ד המילואים תופש מהר את מקומינו וממשיך בתדריך לחיילי יחידות החילוץ, ולנו לא נותר אלא להצדיע להם לבחורים הצעירים האלה. פנינו אל הרקבה, שבימי הזיכוי קשה למצוא בה פיסת קרקע פנויה. עכשיו היא שלווה. רמפות השטיפה, הבחינה והסיכה, שש מכל אחת, עושות עכשיו סיאסטה בשמש. אחרי הכל, גם להן מגיעה איוו הרפיית מאמצים עד לבום הקרוב. אנחנו נכנסים למשרד הבוחנים הצמוד לרחבה ופוגשים ברס"ב יעקב אֶסאָו, אחראי המחלקה. יעקב, תושב אשקלון, נשוי ואב לשתי בנות ובן, משרת כבר 20 שנה בצבא, 16 מהן בבאלי"ש, כמנין שנותניו של הבסיס. הוא סיים את לימודי מכונאות הרכב באורט רחובות, ושירת בחובה ואחר כך גם שנה בקבע כמכונאי רכב בחטיבה 7. עם סיום שנת הקבע השתחרר ועבר לשרת במשטרה. "יום אחד", מספר יעקב, "פוגש אותי ברחוב אביגדור קהלני, שהיה המג"ד שלי בחטיבה, ואחרי שאני מספר לו מה אני עושה היום, הוא אומר לי – תעזוב ובוא איתי, מקימים יחידה חדשה, בבאלי"ש."

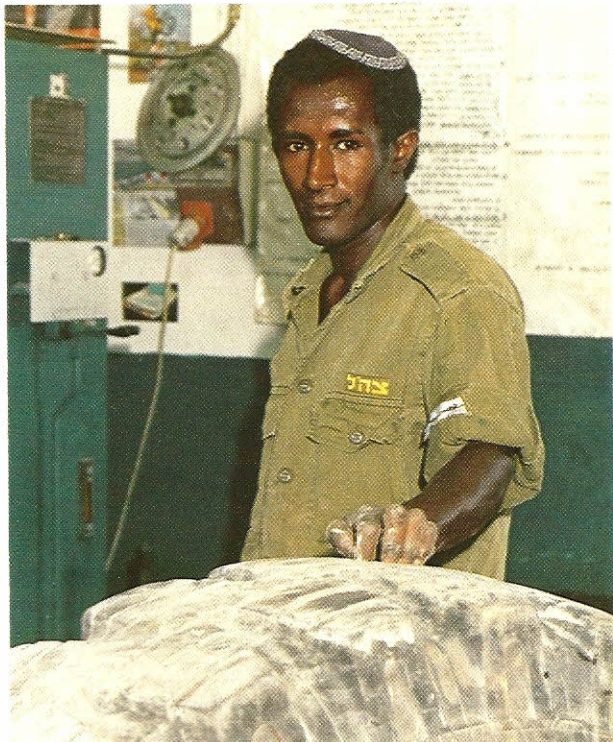
היחידות במרחב בבאלי"ש, ותבין באילו היקפים אנו מטפלים. כדי להרים את המשא הזה צריכים כמובן הרבה ידיים עובדות ובוודאי שיותר ממה שיש לנו בפועל. כל כוח-האדם שלנו, שמורכב מחיילי חובה וקבע, 2 אזרחים וכ-20 אנשי מילואים מתוך הכוח המתאמן, מגיע בסך הכל לכמה עשרות בודדות. קח לדוגמה את נושא הרכב, שהוא הדומיננטי כאן. רכב שסיים אימון נכנס לפלוגה ומגיע לבוחנים. על פי הרישומים בספר הרכב הוא מקבל סיכה, מתקנים בו תקרים, ואם צריך גם שוטפים אותו. מעלים את הרכב על הרמפה לבחינה טכנית, ומשם, עם כרטיס התיקון, הרכב עובר בין המחלקות לביצוע תיקונים, לרבות ביצוע תיקוני דרג ב' על-ידי פלוגה מהיחש"ם העורפי. עם סיום העבודה נערכת לרכב בחינה חוזרת, והוא מוסע לרחבת הכלים הגמורים. כשצריך לזכות חטיבה בגמר האימון, וזה קורה כאן בתדירות גבוהה מאוד, מאות כלי רכב מגיעים לכאן, וכל אחד מהם צריך לעבור את המסלול שתארתי. בזיכוי כזה אין שעות. צוות החובה והקבע יחד עם המילואים עובדים ברציפות כדי לסיים את הטיפול כמה שיותר מהר. במקרה של חטיבה, זה אומר עבודה עד 12 – 11 בלילה, כשביום השני מתחילים לעבוד בבוקר שעה קודם, ב-7. חוץ מזה, הכלים יכולים להגיע בכל יום, גם ביום שישי. הנה, ביום שישי האחרון הגיעו כללי-הרכב של אחד הגדודים בשעה 12:30, כשהאנשים כבר עומדים לצאת הביתה; כמובן שהייתי צריך להשאיר מהם לפחות נהג, סיכאי ומתקן תקרים".

שמש נגבית של צהרי היום קופחת על ראשינו שעה שאנו יוצאים ממשרד הפלוגה אל האנשים בעבודה. היום לא צפוי זיכוי ליחידה שסיימה אימון, ולאנשים מן הסתם יהיה זמן לענות על שאלותינו. יוסי מזכיר לנו שאנשי יחידת החילוץ שלו צריכים לצאת בכל רגע לתרגיל חטיבה, וייתכן שנוכל לחטוף איתם שיחה קצרה לפני כן. ואכן, כשאנחנו מגיעים, אנו פוגשים ארבעה חברים בהיכון ליד ריו-חץ ונ"נ וגם מג"ד



מילואים שהגיע לתדרך אותם. הרבה אי אפשר לדבר, כי כולם כאן בלחץ, אבל מסתדרים. הארבעה הם, רב"ט אריה פִּטְוֹן מאשדוד וטוראי דוד אַשְׁרָף מדימונה – שניהם נהגי חילוץ,

ברפיו ובקציעות. "המקום הזה", אומר גבריאלי, "מאמן את כל הצבא, ועבודה יש בלי סוף. היום זה יום חלש, אבל יש ימים שאין זמן ללכת לשירותים". הבוחן השני, משה ביטון, הוא תושב אופקים, נשוי ואב לשני בנים, עובד בבאלי"ש זו השנה ה-15. "יש הרבה מה ללמוד כאן", אומר משה, "יש פה זיכויים של מאות כל-ירכב, ואתה לומד להכיר הרבה תקלות וצובר ניסיון רב".



רב"ט יוסף מנגיסטו — שש שנים ללא המשפחה.

חדר תיקון התקרים ותחנת הסיכה החדשה של הפלוגה סמוכים זה לזה. בחדר תיקון התקרים אנו פוגשים את רב"ט יוסף מנגיסטו. יוסף, מנס-ציונה, משרת ביחידה 5 חודשים. הוא עלה מאתיופיה לבדו לפני כשש שנים, ואחריו עלתה המשפחה. את ההכשרה שלו כמתקן תקרים קיבל בקורס בבה"ד 20. יוסף ממעט בדיבור, ועל כל שאלה שאנו שואלים הוא עונה לכל היותר בשתי מילים. אז כשאנו שואלים אם הוא עובד כאן קשה, הוא עונה — "לפעמים", ואיך השירות בכלל — "אפשר להסתדר", הוא עונה.

בתחנת הסיכה הנקייה והיפה עומד גיפ אחד מול אחת משש עמדות הסיכה. יוסי המ"פ קורא לאשר. אחרי חצי דקה הוא יוצא מבור הסיכה ושואל, מה קרה? אז ככה, אשר הוא אחראי תחנת הסיכה, שנתיים וחצי בבאלי"ש. הוא בוגר עמל רחובות במגמת מכונאות רכב, וכמו יוסף מהתקריה, כל מלה אצלו זה בדולרים. "בסופי שבוע יש לחץ עבודה, אבל מסתדרים", הוא אומר. עם אשר עובד גם זוהר מלקו. זוהר, תושב אשדוד, עלה מאתיופיה לבדו לפני שש שנים ורק לפני חודש עלתה משם משפחתו. בבאלי"ש הוא משרת כבר שנה וחצי.

פלוגת האחזקה, כפי שאמרנו, אחראית לא רק לטיפול ברכב החום של המרכזים השונים בבאלי"ש, אלא גם לאחזקת הנשק, הציוד האופטי וציוד בתי-המלאכה שלהם. לצורך זה קיימות בפלוגה חוליות ביקורת, העובדות במרכזים לפי תוכנית

כשהגענו, ממשיך יעקב, "היה כאן בסיס מפורק; חמורים וכבשים הסתובבו פה חופשי. אני ישנתי בצריף הישן של מפקד המתקן, וקהלני ישן בצריף הסמוך. שאלתי אותו, מה מקימים פה, והוא עונה לי: לך קח חמש כלים ממחנה עופר ותביא לכאן. הבאנו כלים בגרירה, פה תיקנו אותם, וככה לאט, לאט הגדלנו את הכמות. את נושא האחזקה בבאלי"ש", נזכר יעקב, "התחלנו במגרש חולי תחת כיפת השמיים, עם רמפה אחת ועם פנסים לעבודות לילה. ככה עבדנו שנתיים. בינתיים התפתחה יחידה סמוכה והעבירה לנו כמה תאי-עבודה. תנאי העבודה באותם ימים היו נוראים. היו נכנסות מסות של כלים; 100, 150 כלים היו עומדים בשמש בשיירות, וכשהיינו צריכים להוציא שני כלים מטופלים, היה צריך להזיז את כל הטור הזה לאחור. כמות העבודה היתה כזאת, שימי השבוע לא היו מספיקים, והיינו באים במוצאי שבתות להשלים את החסר. היום, כמו שאתה רואה, תנאי העבודה השתנו ללא היכר, אבל המסות נשארו. מאות כלים מגיעים לכאן כל שבוע, וכמובן שעובדים לילות כדי להספיק. אתה שואל אותי, מה מחזיק אותי כאן? — זה הסיפוק מכך, שבזכות העבודה שלנו צה"ל לא נוגע בכלים שבימ"חים. במקום שהיחידה המתאמנת תפתח את הימ"חים שלה ותוציא משם כלים לצורך האימון, היא באה לכאן ומשתמשת בכלים של המתקן. ככה נמנע הרס של כלים שמיועדים לחירום, וזה נותן סיפוק". כשאנו בוחרים מקום לתמונה, מציע יעקב תמונה ליד אחד העצים הסמוכים, וזה לא סתם: "כשהגעתי לפה", הוא אומר, "היתה כאן שממה. ביקשתי ממילואימניק אחד שיביא שתילים, שיהיה לנו קצת ירוק בעיניים. את כל העצים שאתה רואה כאן שתלתי בידים שלי".

במחלקה פגשנו עוד שני בוחנים — רס"ר גבריאלי אלימלך וע"צ משה ביטון. גבריאלי, תושב אשקלון, נשוי ואב לשלושה בנים, משרת בבאלי"ש 3 שנים. הוא סיים את ביה"ס רוגוזין אשקלון במגמת מכניקה עדינה ועוד שנת הכשרה מקצועית כמכונאי רכב, שירת בחובה במרש"ל כמכונאי ולאחר מכן בקסטינה,



ע"צ משה ביטון: "יש פה זיכויים של מאות כל-ירכב".



המילואים אומר שהאימון עבר חלק ואף כלי לא נתקע. כל המחמאות במקרה הזה שייכות לחימוש". במסגריה אנו פוגשים את סמ"ר רוני יעל מאשקלון. רוני הוא אחראי מסגריה, וזו לו השנה השניה בקבע ביחידה. עם רוני עובדים עוד שני חיילים, וכדבריו, יחד הם מסתדרים בזמן הלחץ. רוני מתאמן בריצה באגודת הפועל אשדוד, ובזמן הקרוב הוא גם מתכוון להינשא לבחירת ליבו. אז תרוץ חביבי מהר, ותספיק מה שיותר, לפני שתבוא הטבעת. יוסי עוזב אותנו כדי לסגור כמה עניינים. אחרי הכל, הוא המוליך והמביא אותנו, ולא רק בפלוגה, אלא גם בכל יתר המרכזים בבאלי"ש, ואנחנו למעשה גמרנו לו את היום. אנו עושים את דרכנו במחלקה, וליד אחד הכלים המטופלים אנו פוגשים את רב"ט גד מלכה, מכונאי רכב מאופקים. לגד, הנמצא ביחידה 7 חודשים, יש רק מלים טובות על השירות בה; "ממש תענוג לעבוד פה", הוא אומר, "חבריה טובים, מפקד מעולה, מנהל עבודה – הכל פה בסדר. המפקדים פה פתוחים לשמוע אותך, ובמיוחד יוסי המ"פ. אם יש לך בעיה, הוא שומע, מדבר איתך כמו חבר ועוזר מכל הלב". הערכה גלויה למ"פ אנו שומעים גם מפי סמ"ר דוד זוהר. דוד, מכונאי רכב, משרת כאן 4 שנים. "השירות בסדר גמור", הוא אומר, "יוסי הוא להיט, דואג אישית לכל אחד".

ציונות כמוטיבציה

אנו נכנסים לחשמליה, ושם רס"ר נפתלי מדמוני מסביר לאחד מחייליו איך לפרק את אחד המכללים. מדמוני הוא אחראי החשמליה בפלוגה, תושב שדרות, נשוי ואב לבן ובת. הוא בוגר ביה"ס המקצועי-תורני נחלים במגמת חשמל, ומשרת כבר 14 שנים, וכולן בבאלי"ש. "לפני 14 שנה עבדנו בתנאים קשים מאוד", אומר מדמוני, "עבדנו כמו במעברה, בשמש ובתוך פחונים, ומאחר שהיינו מעטים, עבדנו יום ולילה. היום הראשון

עבודה שנתית. אחת מהן היא חולית הביקורת לנושא נשק ואופטיקה, שעליה אחראי רס"ר שמעון כהן. שמעון, תושב נתניה, נשוי ואב לבן משרת בבאלי"ש 8 שנים. "התרגלנו לעומס העבודה", הוא אומר; "כבר לא מתרגשים. השירות כאן באמת טוב, רק המרחק מקשה". בחוליה של שמעון עובד גם סמל אבי לוי. אבי, בוגר ביה"ס "עמית" ברשל"צ במגמת מיכשור ובקרה, הוא בוחן אופטיקה בחוליה, ומשרת בבאלי"ש כשנתיים. סמ"ר יוסי מסיקה מבאר-שבע הוא אחראי מחלקת צב"ם. את השירות הסדיר עשה בחיון כמכונאי גנרטורים ובבאלי"ש הוא נמצא כחצי שנה. "השירות בסדר", הוא אומר, "התאקלמנו, ואני מתכוון להישאר כאן".

יוסי מצדיע לאבנר

דרך למחלקת האחזקה של הפלוגה רואה יוסי את אבנר בן-חמו וקורא לו. עד שהבחור מגיע, אומר לי יוסי: "זה חייל צעיר, בסך הכל כמה חודשים פה, והוא בחור מעולה"! אבנר, מכונאי רכב, בוגר אורט ג'וליס, הקטן בין שמונת אחיו, מגיע אלינו כשחיון שפוף על פניו. הוא משרת בבאלי"ש בסך הכל 4



חודשים. "התרגלתי", הוא עונה, כשאנו שואלים אותו על עומס העבודה בפלוגה. וכשאנו שואלים איך השירות במקום בכלל, הוא עונה במלה אחת – "שיגעון". כשאבנר עוזב אותנו, אומר לנו יוסי, שביחידה מתכוונים להמליץ עליו כחייל מצטיין ליום חיל החימוש.

אנו נכנסים למחלקת האחזקה ויוסי קורא לאליאס. אליאס, רס"ר, הוא מנהל העבודה במחלקת האחזקה, תושב אשדוד, נשוי ואב לבן, 12 שנים בצבא, 11 מהן בבאלי"ש. ימי הדיכויים, אותו מושג המיוחד לאנשי באלי"ש וביותר לאנשי פלוגת האחזקה, משמש כמובן גם את מנהל העבודה. "בימי הדיכוי", אומר אליאס, "אנו מטפלים במאות כלים במשך יום, יומיים. הלחץ הוא אדיר. מה שצריך לעשות בימים האלה מבחינתי, זה לפרוש נכון את האנשים, ולנצל את כל כוח-האדם העומד לרשותי, כולל שילוב פקידים טכניים לצד המכונאים. הסיפוק שלי בעבודה, הוא לשמוע את מפקד כוח

קבע שעזב, אמר לי — אתה מטורף, אתה לא תחזיק מעמד. אתה שואל אותי, מה מחזיק אותי כאן — תאמין לי, רק ציונות; זאת המוטיבציה שלי. אחרון המרואיינים שלנו בפלוגת האחזקה הוא סמ"ר עמי רווח, אחראי מחסן החלפים. פגשנו אותו במחסן עם עוזריו המפ"טים — זהבה משרדות ויואל גמארי ממושב זרעה. עמי, תושב נתיבות, בוגר קרית החינוך עזתה במגמת מכונאות, שירת בחובה כמפ"ס-חימוש בגדוד קשר, ואת שירות הקבע שלו התחיל בבאלי"ש לפני שנה וחצי. "במחסן שלנו יש אלפי פריטים שמשותפים לכל המרכזים, ורמת הצריכה שלהם היא גבוהה מאוד. בגלל קצב האימונים אנחנו עובדים ברציפות וכמעט תמיד בלחץ".

החימוש במרכז חי"ר

התחנה הבאה שלנו ביחידות החימוש של באלי"ש היא יחידת האחזקה של מרכז חי"ר, אבל לפני שאנו מגיעים אליה אנו עוברים דרך מפקדת החימוש של באלי"ש כדי לפגוש שני רס"בים ותיקים המשרתים כאן מאז הקמת הבסיס. הראשון הוא פרוספר קדוש, קצין האחסנה של באלי"ש. פרוספר, תושב אופקים, נשוי ואב לבן ובת, משרת כבר 20 שנה, 15 מהן בבאלי"ש. תחילה שירת כאחראי מחסן בפלוגת האחזקה, אחר כך כמנהל עבודה, והיום הוא מטפל בהזמנות החלפים של כל המרכזים. "כשטנק עומד פה", אומר פרוספר, "ארבעה אנשי מילואים לא מתאמנים; אז נוסעים אפילו למש"א צפון כדי להביא את החלק החסר". הרס"ב השני הוא ציון ביטון, קצין רכבי-ק"ם של באלי"ש, המשרת כאן, גם הוא, מאז ההקמה. ציון אחראי על תוכניות העבודה של הטיפוליים היוזמים המבוצעים בצל"ם של באלי"ש על-ידי היחש"מים ונותן הנחיות להכנסת הכלים לטיפול.

במשרדו שבמרכז חי"ר מסביר לנו רס"ן משה, קצין החימוש, את תפקידו של המרכז ואת המטלות של החימוש בתוכו. "מרכז חי"ר", אומר משה, "מאמן את כל מערך המילואים של כוחות החי"ר-חיר"ם בצה"ל לקראת מלחמה. מבחינת החימוש



רס"ר נפתלי מדרמוני: "מה מחזיק אותי כאן — רק ציונות".

שלי ביחידה הסתיים ב-10 בלילה. אנו זוכר שתקעו ארבעה עמודים באדמה, מתחו עליהם ברזנט ואמרו לנו — זאת החשמליה שלכם, קחו ותעבדו. הלכנו לעבוד, הרוח שיחקה עם הברזנט עד שיום אחד העיפה אותו, ובוזה נגמר סדר חשמליה. עד 84 היה קשה. ב-84 נכנסנו לסככה הגדולה והתנאים השתנו מן הקצה אל הקצה. נפח העבודה אומנם גדל, אבל גם התפוקה שלנו גדלה, בזכות התנאים. אני חושב", אומר מדרמוני, "שזהו המקום עם התפוקה היומית הכי גדולה בצבא. נכון", הוא מוסיף, "שלא כל אחד מסתגל לקצב העבודה כאן. אצלינו פה הרכב לא מספיק להיכנס וכבר מתלבשים עליו. איש



צוות מחסן החלפים בפלוגת האחזקה — יואל גמארי, עמי רווח, נאווה כהן וזהבה מויאל.

לצאת לשטח בלילה, יוצאים. בתנאים האלה", אומר משה, "צריך לדבר עם האנשים ולהסביר להם מה עושים עם הכלים שהם מאחזקים. האנשים כאן טובים מאוד מבחינה אנושית ומקצועית, הם משקיעים את מירב זמנם ומירצם בעבודה ועובדים בדביקות, בלי לקטר ובלי להתמרמר".

ואכן יש כאן חברה משקיענים, כאלה שחיים בשלום עם עומס העבודה, ואין ספק שעבודה זו קשורה באותה הערכה שרוחש להם המ"פ. קחו למשל את רס"ר אלי פרץ. אלי, תושב באר שבע, נשוי ואב לשתי בנות, הוא אחראי מחסן החלפים במרכז חי"ר, ונוסף על כך גם מרכז את הטיפול בצל"ם ואחראי על הבטיחות במחלקה. את השכלתו המקצועית רכש בתיכון מקיף ה' בבאר-שבע במגמת אלקטרוניקה, שירת בחובה בקציעות ובביה"ס לנ"ט, ומשם, כבר 9 שנים, בבאלי"ש. "נכון שבעבודה שלנו אין שעות קבועות", אומר אלי, "אבל זאת העבודה, ואני אוהב אותה". "אלי הוא בחור יקה", יאמר לי אחר כך יוסי, מ"פ פלוגת האחזקה, המלווה אותנו בסיוור, "כשאתה מבקש ממנו סיוע בתחום שהוא אחראי עליו, הוא מתייחס לבקשה שלך בכל הרצינות. לבחור הזה", הוא מוסיף, "אושר כבר לפני שנה לצאת לשנת בגרות, אבל הוא לא הסכים לצאת מפני שלא היה לו מחליף".



מן המחסן של אלי אנו יורדים אל משטח העבודה של הנגמ"שים. מבחינת תנאי העבודה, המראה אינו מלבב. סכנות אחת, פס בטון והרבה חול. המראה הזה, כך נדמה לנו תואם פחות או יותר את התנאים שהיו בבאלי"ש בתקופת ההקמה. ואכן התנאים קשים, כפי שיאשרו אחר כך סמל יוחנן זיגדון וטוראי יצחק אמסלם, שני מכונאי נגמ"ש הנמצאים במקום. "כל העבודה נעשית תחת כיפת השמיים", הם אומרים. ואף על פי כן, העבודה נעשית ועל הצד הטוב ביותר, כפי שאומר יוחנן. יוחנן, שלו עוד תשעה אחים, כ"י, משרת במקום שנתיים וחצי. "בעבודה", הוא אומר, "אנחנו נותנים את הכל, ואת התוצאות רואים אחר כך בשטח. אנחנו מקבלים מחמאות מאנשי המילואים, וקציני החימוש של הגדודים שולחים לנו מכתבי הוקרה". יצחק, חברו של יוחנן, משרת כאן 5 חודשים בלבד, אבל הוא כבר נכנס מזמן לתלם. "החיים כאן מאה אחוז", הוא אומר כשאנו שואלים אותו על השירות במקום. יצחק סיים את התיכון המקיף באופקים במגמת מכונאות רכב, וגם הוא, כחברו יוחנן, בן למשפחה ברוכת ילדים, המונה יחד איתו שנים-עשר נפשות, כ"י.



רס"ן משה, קח"ש מרכז חי"ר: "האנשים כאן עובדים בדביקות, בלי לקטר ובלי להתמרמר".

זה אומר להכשיר את הכלים לקראת האימונים ולאחזק אותם במהלכם, וכמובן לטפל בכלים בגמר האימון. האימונים נערכים בקצב אינטנסיבי, ובכל אחד מהם משתתפים עשרות נגמ"שים. צוות החימוש במרכז, שאינו מגיע לשני מניינים, מאחזק לא רק את הנגמ"שים של המרכז, אלא גם את הטנקים שעושים שתי"פ עם החי"ר וגם את הנשק של הכוחות. אז עבודה לא חסרה כאן, וכמו שאומרים, עובדים מצאת החמה עד צאת הנשמה. עובדים ברציפות וגם בפגרה, ואם צריך



רס"ר אלי פרץ: "נכון שבעבודה שלנו אין שעות קבועות, אבל זאת העבודה, ואני אוהב אותה".

מו"ס – הניווט כחימוש



ובמהלכן טיפס מתפקיד מכונאי עד לתפקיד מ"מ קח"ש – ואחר כך כקח"ש מו"ס, תפקיד שאותו הוא ממלא זו השנה הרביעית. "כמו שהסביר בני", אומר פנחס, "ענף הכשרות במו"ס הוא הענף שיש לנו זיקה ישירה אליו, אם כי גם לענפים האחרים, המתבססים על סיוע חיוני בתוך כוח המילואים, אנחנו עוזרים בעת הצורך. כל קורס בענף הכשרות נמשך חודש, חודש וחצי. הג'יפים יוצאים ממו"ס ועושים ניוטים לאורך 2000 ק"מ בממוצע. מובן שהשחיקה של הכלים גבוהה, יש הרבה בעיות, בעיקר במערכת המיתלה, בתיבות ההילוכים ובמצמדים. במהלך האימון אנו מבצעים טיפולים שבועיים בשטח לכל הכלים, וזה כולל סיכה, בחינה ותיקוני דרך א'. בסוף האימון הג'יפים חוזרים לבאלי"ש לטיפול יסודי, ואז יש לנו כמה ימים כדי להחזיר אותם לרמה סבירה עבור הקורס הבא".

מאנשי הכתק"לים של מו"ס פגשנו שלושה – את רב"ט אורי סוגבקר, את רב"ט ששון קירל ואת סמל ברוך ועקנין. אורי מערד, הוא מכונאי רכב, בוגר ביה"ס הקדם-צבאי אורים שבקרית טבעון. במו"ס הוא חדש, חודש וחצי בסה"כ, אבל בבאלי"ש הוא נמצא כבר שנה וחצי. "פה במו"ס, השירות הרבה יותר טוב", אומר אורי, "כאן יש לי רצון לעבוד". במה זה תלוי, אנו שואלים, והוא עונה – "במיוחד באנשים שעובדים איתך, בחברה ובמפקדים". ששון קירל הוא חשמלאי רכב, בוגר ביה"ס מכס-פיין. מתוך השנה וחצי שהוא נמצא בבאלי"ש, 8 חודשים הוא במו"ס, ומרוצה. מה זה מרוצה. – "עלה-כיפק". ברוך ועקנין הוא מכונאי נגמ"ש, בוגר ביה"ס המקיף יהוד במגמת מכניקה עדינה. "יש פה הרבה אקשן", אומר ברוך, הנמצא במו"ס שנה; "יורדים הרבה לשטח, ומרגישים שתורמים".

מרכז שיריון – אוניברסליות ככוח

בשעות אחר הצהריים המאוחרות ולקראת שקיעה אנו עושים

אל מו"ס, מרכז המודיעין והסיוע בבאלי"ש, אנו נוסעים כברת דרך הגונה. בדרך אנו חולפים על פני שיטחי כינוס של היחידות המתאמנות, כל יחידה ושטח הכינוס שלה. לפני העיקול האחרון אנחנו מאטים; בצד הדרך שלט המזכיר שכאן אירעה תאונת דרכים. עוד כמה מאות מטרים ואנחנו כבר מאחורי שער הכניסה של מו"ס. בפנים, בתוך מיקבץ מיבנים בני-קומה אנחנו מחפשים את רס"ם ראש, קצין החימוש של מו"ס. כשאנו מגיעים למבנה הנכון, אומר לנו סגן בני, קח"ש ענף הכשרות במרכז, שראש נמצא בישיבה ואי אפשר להוציא אותו. קצת חבל לנו, למען האמת, ולא רק מפני שעד עכשיו נתנו את הכבוד לקציני החימוש לספר על החימוש במרכז, אלא גם מפני שמדובר בקח"ש-מרכז שהוא נגד. על כל פנים, זהו טבעה של העבודה, שהיא קודמת למבקרים, ומאחר שאין לנו שום דבר נגד בני, אנו כמובן יושבים איתו ושומעים בקצרה על מו"ס והחימוש שבו. "במו"ס", אומר בני, "מאמנים את יחידות המודיעין והסיוע של המילואים ומכשירים משקי סיור וקציני סיור למערך המילואים ולסיירות הסדירות. אנשי החימוש במו"ס עסוקים בעיקר עם ענף הכשרות, המכשיר מפקדים בתחום הסיור, והם מאורגנים בו בשתי כיתות-תיקונים-קלים המבצעות ימי טיפול ותיקוני דרג א' במהלך הקורסים. בסיום כל קורס", אומר בני, "נשאלים אנשי המילואים והחיילים הסדירים לחוות-דעתם על הקורס ובין היתר גם על עבודת החימוש במהלכו. בכל חוות-הדעת, החימוש מקבל ציונים גבוהים". את הסיפור של החימוש במו"ס מרחיב מעט קצין החימוש, רס"ם פנחס ראש, שכמה חודשים לאחר הביקור שלנו הגיע אלינו, על פי בקשתנו, לספר על החימוש ועל עצמו ולהצטלם לכתבה. פנחס, תושב באר-שבע, נשוי ואב לבן, הוא בוגר אורט ג'וליס במגמת מכונאות רכב. את כל שירותו עשה בבאלי"ש, תחילה במרכז חי"ר – שם שירת 10 שנים,



רס"ם פנחס ראש, קח"ש מו"ס: "השחיקה של הכלים גבוהה ויש הרבה תקלות".



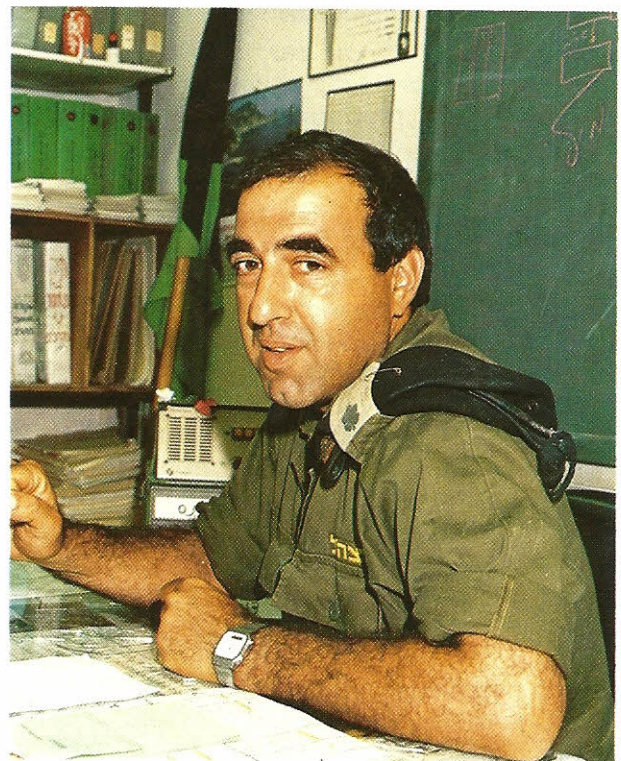
החימוש שלנו צריכים להיות אוניברסליים, והם באמת כאלה. מכונאי מגח עובד עכשיו על שוט, ומכונאי שוט עובד כעת על מגח, ואותו חמש-צריח שלמד על מגח צריך להכיר את הצריחים של כל הטנקים האחרים. התחלופה של הכלים משפיעה כמובן חזק גם על נושא החלפים. עד שאני צובר מלאי לטנק מסוג אחד מגיעים טנקים אחרים, וליהנות מן המלאי הקודם אי אפשר, כי דורשים ממך להחזיר יתרות.

אֶסֶאוֹ-אֶס באמצע הלילה

"בכל ענף", מוסיף שמעון, "יש קצת יותר מעשרה אנשי חימוש — מכונאים, חשמלאים, חמש-צריח, מכשירנים וגם קצין חימוש ענפי. חוץ מאנשי החימוש בענפים יש לנו כאן גם פלוגת רק"ם הנותנת שירותים לענפים בתיקוני דרג ב', עבודות מסגרות, ושירותי מנוף וחלפים. כל האנשים שלנו, בכנות, הם אחד, אחד. בזכותם, אותם טנקים שצאו לאימון, נוסעים, יורים ופוגעים, וגם חוזרים, כולם. איש החימוש כאן הוא המלאך המושיע, במיוחד על רקע העובדה שמדובר באנשי מילואים שאינם מעודכנים כל כך בשיפורים ובשינויים הנעשים כל הזמן בצי הטנקים. אתה מקבל אֶס-אֶס באמצע הלילה על עשרה טנקים מושבתים, ומאחר שמדובר באימון לילה, אין ברירה; אתה מקפיץ את האנשים. כשהם מגיעים לכלים, מתברר שבסך הכל אנשי הצוות שכחו להפעיל איזה מתג, או שהם לא מוצאים איזו תיבת-הפעלה, שבינתיים שינתה את מקומה. אז האנשים שלנו משקיעים גם בהדרכה, אבל הזמן שלנו בנושא הזה, קצר".

בשעה זו של שקיעה, קשה למצוא חיילים מאנשי החימוש של מרכז שיריון כדי לגלגל עמם כמה מלים. חלק נמצאים בחדר האוכל ובמקלחות וחלק גם בשטח; אבל כמו שאומרים, מן הון להון מצליחים לקבץ כמה חבר'ה, והנה הם לפנינו. סמל ישראל אביאב מת"א הוא מכונאי נגמ"ש, בוגר אורט סינגלובסקי במגמת מכניקה עדינה, שנתיים במרכז שיריון. "רוב העבודה פה", אומר ישראל, "היא בתקופת הפגרה, כשהמילואים מפסיקים להתאמן. אז מתחילה העבודה

את הדרך בחזרה כדי להגיע אל מרכז שיריון בבאלי"ש. במפקדת המרכז אמור להמתין לנו קצין החימוש, רס"ן שמעון. אנו נכנסים. שמעון, הצמוד לשפופרת הטלפון, נראה מותש: "רק אתמול הלך מוט פיתול לתומ"ת", הוא אומר למכונאי בצידו השני של הקו, "ועכשיו אתה אומר לי שעוד אחד הלך". המכונאי מסביר לשמעון שהיום התומ"ת ירה, וכנראה שהצירוף של מוט פיתול אחד שבור מאתמול ומאמצי הרתיעה של הירי היום גמרו עוד מוט פיתול. שמעון מאזין עוד דקה או שתיים להסברים ואחר כך מניח את השפופרת במקומה. הוא מהרהר בינו לבין עצמו עוד כמה שניות, ואחר כך אומר: "כאן כמו מלחמה. אתה לא מספיק לשמוע על בעיה אחת וכבר באה השנייה, והשלישית והרביעית, ואתה יודע שלבעיה אחת לפחות אין לך כרגע פיתרון. ואת מי זה מעניין; אם טנק לא יצא לאימון, זה יפול מיד על החימוש". אנו מניחים, אף שאיננו בטוחים עד הסוף, שהלחץ וההתשה, שהם מנת חלקו של שמעון בתפקיד קח"ש מרכז שיריון, גדולים יותר מאלה שהיו לו רק לפני עשרה חודשים כשניהל מפעל טקסטיל. שמעון תושב מעלה-אפרים, נשוי ואב לשתי בנות ובן, נמצא כעת בשירות קבע חוזר. את שירות הקבע הראשון שלו התחיל כקח"ש חטיבה בבקעה, ולאחר מכן היה קח"ש פיקוד הנח"ל, מ"פ בלבנון וקח"ש חטיבת מילואים. כאן לקח פסק-זמן של שש שנים, שבמהלכן למד טכנאות טקסטיל ובמקביל ניהל את פרויקט חוף קליה בים המלח. "מרכז שיריון", אומר שמעון, "מאמן את כל יחידות המילואים של השיריון לפי תוכנית אימונים שנתית. המרכז מחולק לענפים, ובסה"כ יש כאן הרבה טנקים, נגמ"שים וגם תומ"תים. מאחר שהמרכז מאמן את כל יחידות השיריון, מתחלפים כאן גם סוגי הטנקים, וזה קורה כמעט כל חצי שנה. היום למשל יש שוט, ולפני כן היו מרכבות. לעובדה הזאת יש משמעות ברורה מבחינתנו והיא, שאנשי

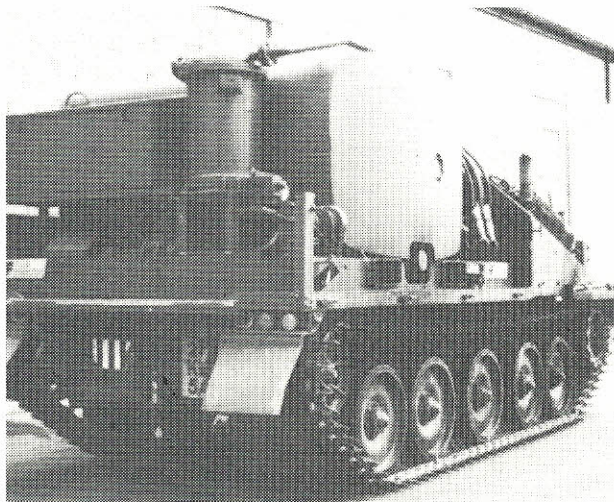


רס"ן שמעון, קח"ש מרכז שיריון: "כאן כמו מלחמה".



רכב תידלוק על תובת רק"ם

רק"ם התידלוק "סטריקר" שבתמונה פותח בידי חברת "אלו"ס" עבור הצבא הבריטי, כלקח ישיר מהקרבות באיי פולקלנד. בקרבות הללו הוכר הצורך ברכב תידלוק לרק"ם ולמסוקים,



המסוגל לנוע בשטחים קשים. מערכת התידלוק מורכבת על תובת הנגמ"ש הבריטי "סטריקר", וכוללת מיכל 2730 ליטר. צוות רכב התידלוק מוגן בתא משוריין.

מסוף תקשורת ידני לסיוע באיתור תקלות

לרשות אנשי האחזקה של רכב הלחימה לחי"ר, "בראדלי", עומדת מערכת בדיקה מפושטת (STE), שפותחה במקורה עבור טנק הלחימה האמריקאי M1 והוסבה לשימוש ב"בראדלי". מערכת הבדיקה, המבוססת על מעבד זעיר, מתחברת למערכות האלקטרוניות של ה"בראדלי" דרך תיבת בקרה. איש האחזקה יוצר קשר עם המערכת באמצעות מסוף תקשורת נייד, HT-7, הכולל מצג רחב ל-40 תוים בשתי שורות, ולוח מקשים בן 20 מקשי ספרות ופקודות. באמצעות מערכת הבדיקה והמסוף יכול איש האחזקה לאתר את המודול הפגום בתוך דקות, במקום (לעתים) בתוך שעות. המסוף אינטראקטיבי באופן מלא, ומצויד בכבל באורך 2.4 מטר, המאפשר לאיש האחזקה לנוע עם המסוף בחופשיות מסביב לרק"ם. על מצג המסוף מופיעות שאלות מדריכות, ואיש האחזקה מקליד את תשובתו על פי תוצאות המדידה של מערכת הבדיקה. בתגובה, המערכת מבצעת חישובים ומציגה על המצג מידע המכוון את איש האחזקה אל המודול או הכבל הפגום.

העיקרית שלנו, להכשיר את כל הכלים לתקופת האימונים הבאה, ויש הרבה מה לעשות, כי אלה כלים שרצים כל הזמן". סמ"ר משה בן חמו הוא מכשירן, בוגר אורט קרית-ביאליק במגמת טכנאות מיכשור ובקרה. "העבודה כאן מעניינת", אומר משה, הנמצא במרכז שיריון כבר 4 שנים. "אתה עובד עם אנשי מילואים, וזה שונה, וגם מכיר הרבה סוגי טנקים, מהישנים ועד לחדשים ביותר". העובדה, שהציבור שעמו הם עובדים הם אנשי מילואים, עולה שוב ושוב בדברי האנשים ומוזכרת לטובה דווקא. אנשי המילואים מביאים עמם את 'ריחה' של האזרחות, ריחה של מסגרת צבאית יותר מבחינת מיגוון העיסוקים וההתנסויות וכמובן גם פחות לחוצה מזו שלהם, וזה עושה משהו לאנשים. וכמו משה, כך גם אהוד בענין הזה. אהוד, בן מושב צלפון, הוא מכונאי נגמ"ש, בוגר הפנימיה הקדם-צבאית של חיל החימוש, שנתיים במרכז שיריון. "השירות כאן בכלל לא רע", הוא אומר, "והעבודה מעניינת". ולמה מעניינת – "אתה פוגש פה הרבה אנשים, כל מיני טיפוסים ומקצועות, וזה נחמד. חוץ מזה", הוא מוסיף, "אני אוהב את המקצוע". סגן גבי מאיו הוא קצין החימוש של אחד הענפים במרכז. בוגר אורט מילטון בת-ים במגמת אלקטרוניקה. "זהו עבודה מעניינת", אומר גבי. "חוץ מזה, קיים גם סיפוק מהתרומה של החימוש. בתקופת הפגרה אנחנו משקיעים הרבה בכלים, וכשהגדוד חוזר מהאימון בלי שאף כלי נתקע, אתה יודע שזה בזכותך".



השמש השוקעת על חולות צאלים מושכת עמה בטובה את גלי החום שעשו כאן עבודה לא רעה במשך היום. אנחנו מציעים לקצין החימוש, ולאנשים שהיו איתנו תמונה למזכרת, ועולים על משטח הבטון שעליו מסודרים הטנקים בחית. איש מילואים, אורז ציוד בסל הצריח ומוחיק לעברינו. המצלמה נוקשת. זהו. אנו נפרדים מרס"ן שמעון, קח"ש מרכז שיריון, ומרס"ן יוסי, מפקד פלוגת האחזקה, שטרח עימנו לאורך כל היום ביחידות החימוש של באל"ש.

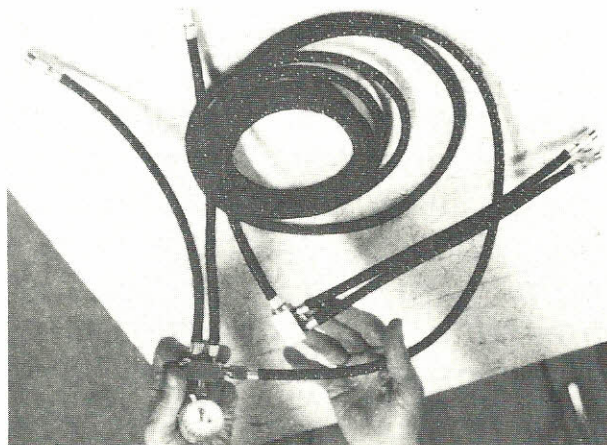
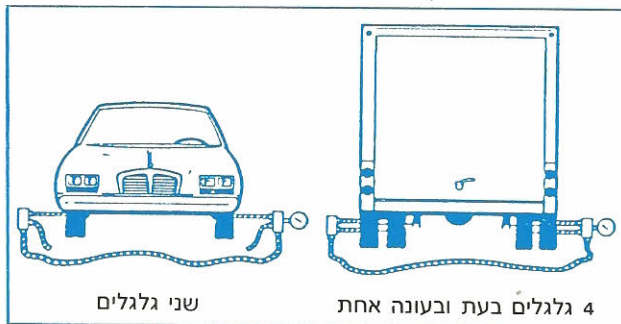
לפני סיום, צריך כמובן להתנצל על שלא הצלחנו לדחוס לתוך שעות האור שהיו לנו גם מיפגש עם אנשי החימוש של מרכז הנדסה בבאל"ש, ולכל הפחות נזכיר כאן, שקצת יותר ממנין אנשי החימוש של המרכז, ובראשם קצין החימוש רס"ב מיכאל סטאנקו, מופקדים על אחזקת טרקטורים, דחפורים, נגמ"שים, ציוד אב"ך, וחל"די מרחס, גשרי מישר, טג"שים ואמצעי סער אחרים. המיגוון הרחב של הכלים מחייב את האנשים להיות מומחים לכל, והם אכן כאלה.

אנו נכנסים לרכב ויוצאים מבאל"ש. בדרך חזרה אנו פותחים את הדריי לחדשות שש. לקראת הסוף מודיע הקריין על אי אלו כבישים שהיו סגורים למעבר רכב לרגל תרגיל צה"ל. הפעם הידיעה הזו מדברת אלינו קצת; אחרי הכל, כמעט היינו בסרט הזה. ■



מערכת להשוואת לחץ האויר בגלגלי הרכב

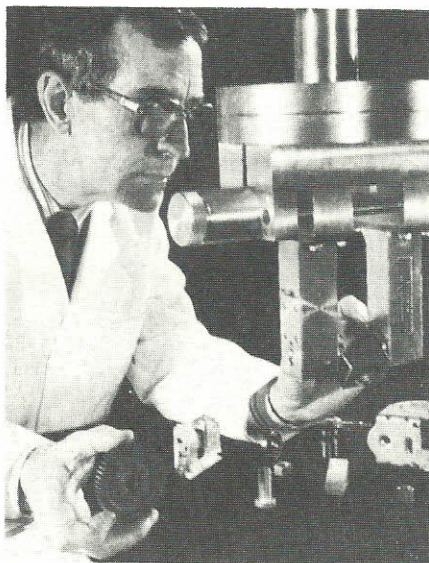
ההנחיה הפשוטה הזו לשמור על לחץ אויר מומלץ בגלגלי הרכב, כאמצעי לשיפור בטיחות הנסיעה ולשיפור הביצועים, מוזנחת לעתים קרובות. רוב הנהגים ממלאים אויר באורח לא סדיר, ולעתים רחוקות, אם בכלל, מאמתים את קריאת הלחץ בתחנת הדלק על-ידי מד-לחץ נפרד. כתוצאה מכך יכולים להיות הבדלי לחץ אויר של 2 או 3 פאונד לאינץ' (1 פאונד = 0.06 אטמוספירה) בין צד ימין לצד שמאל, אפילו לאחר מילוי אויר. לבעיה הזו של הבדלי לחץ בין ימין ושמאל מצא מהנדס אמריקאי, בשם ג'ק גילברט, פיתרון פשוט ויעיל, המבוסס על צנרת ומד-לחץ. מד הלחץ מחובר בקצהו האחד לאחד הגלגלים ובקצהו השני לגלגל המקביל, ובצורה זו מושג אוטומטית איזון לחצים. לחץ שלישי במד הלחץ מאפשר להעלות את הלחץ או להורידו. לחץ אויר שווה בשני צידי



הרכב מאפשר נסיעה ישרה, המתבטאת במשך-קנים גדול יותר של הצמיגים, בניהוג ובלימה משופרים וכן בחיסכון בדלק. במצב חירום ניתן להשתמש במערכת הזו להשגת אויר מהגלגל החלופי. המערכת מיוצרת בשתי גרסות – אחת למכוניות ואחת למשאיות. המערכת המיועדת למשאיות משווה לחץ אויר בשני צמדים של גלגלים מקבילים (4 גלגלים) בעת ובעונה אחת. מחיר המערכות 15 דולר ו-30 דולר, בהתאמה.

הקניית כושר חישה אנושי לתפשניות רובוט

באוניברסיטת ניוקסל בבריטניה פותח חישן מיוחד המסוגל לסייע בהקניית כושר אחיזה מציאותי לתפשניות רובוט. החישן מסתייע במידע חזותי, המתקבל ממצלמה זעירה מסתובבת, ובמידע מישושי, המתקבל מיותר מ-1000 מתמרים זעירים.

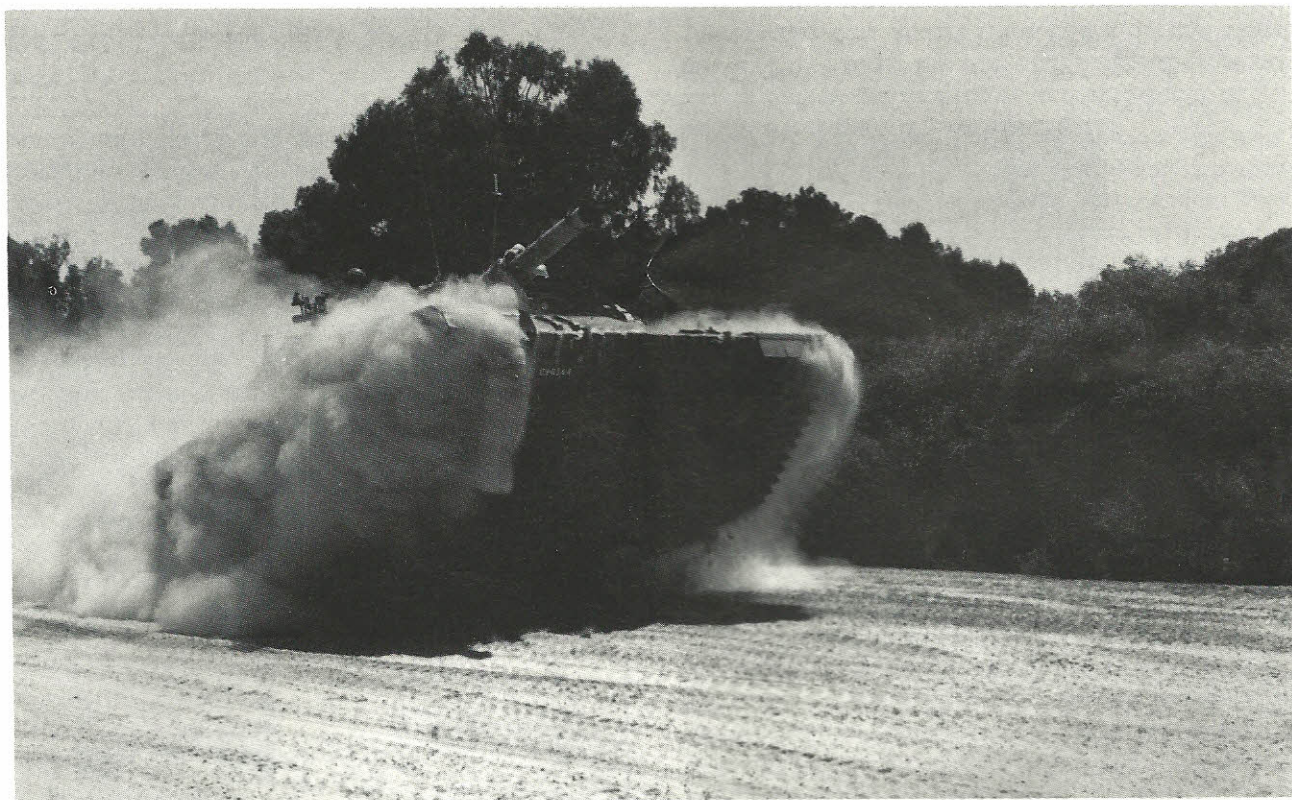


מתמרים אלה ממירים את הלחץ שמפעילות התפשניות על העצם לתמונה ויזואלית – בדומה לפעולת המישוש שמבצע אדם עיוור על חפץ כדי לזהותו. רובוט עם חישן מסוג זה לומד להבחין בין עצמים רבים, ועל פי המידע שקלט הוא מגיע לבחירות נכונות.

ריסון תנודות באמצעות יצירת תנודות נגדיות

מערכת ריסון תנודות, שפותחה על-ידי החברה האנגלית "מוג", מצמצמת את רמת התנודות הנוצרות במבנים שונים. המערכת מפעילה על הנקודות הקריטיות במבנה כוח שתדירותו זהה לתדירות הכוח היוצר את התנודות אך כיוונו מנוגד לו. המערכת מורכבת מיחידת בקרה הניתנת להתאמה, ממדי-תאוצה ומסדרת מנגנונים ליצירת תנודות. חישנים, העוקבים אחר התנודות, מעבירים את הנתונים לבקר וזה מפעיל את המנגנונים היוצרים על התנודות המקוריות תנודות שעוצמתן שווה אך כיוונו מנוגד. התהליך כולו נמשך כמה שניות. הרווח מן המערכת מתבטא בהקטנת הכשל הנובע מתנודות, בהקטנת הרעש ובצימצום עלויות הטיפול.

איכות הנסיעה ברק"ם/רכב בהיבט הנדסת־אנוש



מאת יקי רוזן

בשדות הקרב של ימינו בולט מאוד חלקו של היסוד הממוכן. הכוח הלוחם נע אל היעד בתוך פלטפורמות משוריינות, והוא גם נלחם מתוכן. לאיכות הנסיעה – כלומר למשטר התנודות שאליהן נחשף הנוסע – יש בהקשר הזה השפעה גדולה על תיפקודו של הלוחם, בין אם מדובר בתותחן שצריך להציב צלב על המטרה, תוך שהוא מתאמץ לשמור על יציבות ישיבתו, ובין אם מדובר בחיילי חרמ"ש שצריכים להסתער על יעד לאחר נסיעה ממושכת בנגמ"ש. במקרים האלה ובדומיהם, טיב הביצוע של הצוות הלוחם הוא, בין היתר, נגזרת ישירה של רמת החשיפה שלהם לתנודות במהלך הנסיעה. הכרת היכולת הפיזיולוגית והפסיכולוגית של האדם לספוג תנודות – ובכלל זה כמובן הכרת הגבולות של אותה יכולת – יכולה לשמש בסיס ליצירת תנאים אופטימליים לתיפקוד יעיל. זהו תפקידה של הנדסת־אנוש, ובהיבט האמור של תפקידה זה עוסק המאמר שלפנינו.

ובכלל זה – הגנת שיריון, מהירות ודיוק פגיעה (יסודות חומרה ותוכנה), אך בפרופיל המשימה שלו לא הוגדרה משימה של תקיפה משולבת של שיריון וח"י"ר (מימשקים אדם-חומרה; אדם-סביבה). מבחינת הביצועים, הטנק עמד בדרישות האופיון, בעיקר בזכות מנועו הסילוני ומערכות הייצוב המשוכללות שהותקנו בו. אך בעת בחינת הטנק במיתאר לחימה עם ח"י"ר – שכאמור לא הוגדר בפרופיל המשימה – התברר שגזי הפליטה החמים של המנוע לא מאפשרים לכוחות הח"י"ר לצעוד מאחורי הטנק (מימשק אדם-סביבה). כדי לפתור את הבעיה, התקינו את צינור הפליטה של המנוע מעל הטנק. פעולה זו אומנם שיפרה את מצבם של חיילי הח"י"ר הצועדים אחרי הטנק, אך גרמה להזרמת האויר החם אל מול האופטרוניקה של מערכות הכינן והפכה אותן לבלתי-יעילות (מימשק חומרה-סביבה). כתוצאה מכך, כמובן, חל פיגור בלוח הזמנים של הפיתוח והמפתחים חרגו מן התקציב שנקבע לפרויקט. דוגמה זו ממחישה את הגדרת היסודות של המערכת המוכללת ואת יחסי הגומלין בין היסודות, לרבות המימשק בין האדם והסביבה שבו נעסוק במאמר מכאן ואילך.

מימשק אדם-סביבה

לסביבה שבה האדם מבצע את תפקידו יש השפעה מכרעת על טיב תיפקודו בה. כאשר האדם פועל בסביבה שתנאיה רחוקים מן התנאים האופטימליים, חלה ירידה חדה ברמת התיפקוד שלו. לדוגמה, חשיפה לרעש מעל עוצמה מסוימת גורמת בטווח הקצר לפגיעה ביכולתו של האדם לקלוט מסרים בעזרת חוש השמיעה. אם תימשך החשיפה לאותה עוצמת רעש זמן ממושך, ייגרם נזק קבוע לאברי השמיעה. מסיבה זו מציידיים את צוותי הטנקים והטייסים, את עובדי המנועיות ואת מפעילי הצמ"ח באוזניות-מגן. דוגמה נוספת להשפעת תנאי הסביבה היא החשיפה של העין בלילה לאור לבן. חשיפה זו, לזמן מה, גורמת לירידה בכושר ראיית הלילה של העין במידה כזו, שמשך תקופת ההסתגלות לראיית לילה תקינה לאחר אותה חשיפה יכול להגיע לכמה שעות. מהכרת עובדה זו, מאירים את גשר הפיקוד ואת אזור המגורים של הצוות בצוללות ובספינות מלחמה וכן את תא-הלחימה ברק"ם באור אדום, שהחשיפה אליו אינה פוגעת בכושר ראיית הלילה של עין האדם.

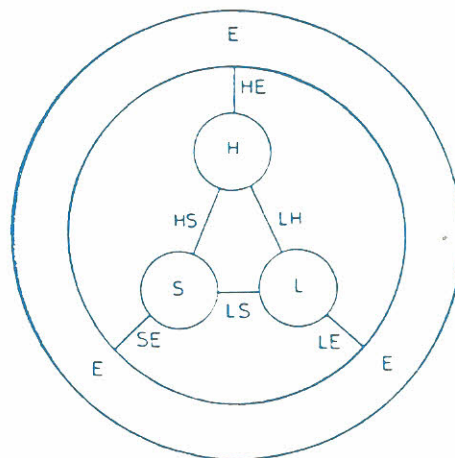
כדי לעצב סביבה אופטימלית עבור האדם, צריך להגדיר את הקריטריונים למאפייני סביבה כאלה. הבעיה היא, שהאדם, כרכיב פיזיולוגי במערכת המוכללת, הינו מערכת מורכבת בפני עצמה. מורכבותה של המערכת הפיזיולוגית האנושית והשונויות בין בני-האדם מקשים על הגדרת קריטריונים לתנאי סביבה שבהם האדם יתפקד בצורה אופטימלית ובכלל זה גם על היכולת להעריך כיצד ישתנה תיפקודו של האדם בתגובה לשינויים בתנאי הסביבה. יתר על כן, גם אם קיימת הערכה לגבי קריטריונים כאלה ואחרים, לא תמיד ישנה למתכנן היכולת לשלוט עליהם ולכוונם לערך הרצוי מבחינת האדם. כמות קרינת השמש, למשל, או החשיפה לגשם, בוץ ואבק, הם מן הגורמים הסביבתיים שאין למתכנן שליטה עליהם. לעומת זאת, סוג התאורה ועוצמתה, קצב האיורור, ועוצמת החשיפה לתנודות ולרעש, הם מן הגורמים שיש למתכנן שליטה עליהם, באופן מלא או חלקי. בגורם אחד מן הקטגוריה הזו – החשיפה לתנודות, וביתר דיוק, החשיפה לתנודות הנסיעה ברק"ם/רכב – נעסוק כעת בהרחבה.

תפקוד יעיל של הלוחם היה ויהיה תמיד המפתח להשגת עליונות בשדה-הקרב. כדי לאפשר ללוחם לתפקד ביעילות, צריך שאמצעי-הלחימה הניתנים בידיו יהיו לא רק בעלי פוטנציאל גבוה להכריע קרב, אלא גם בעלי התאמה טובה ליכולתו ולמגבלותיו כמפעיל אותם אמצעים. זוהי עבודתה של הנדסת-אנוש, ודוגמאות להתערבותה פרושות בכל התחומים שבהם קיים מימשק בין האדם והמכונה, בין האדם והסביבה או בין האדם והתוכנה. בשדה הקרב העתידי, יידרש מן החייל להפעיל ציוד מתקדם במצבי לחץ, והעומס הנפשי עליו יהיה גבוה. כדי לאפשר לו לתפקד ביעילות במצב זה, מן ההכרח לממש את עקרונות הנדסת-אנוש בתהליכי התכנון של אמצעי-הלחימה העתידיים.

בתחום התכנון ההנדסי קיימות שתי גישות בסיסיות מבחינת התייחסות למרכיבים המשפיעים על התכנון. גישת התכנון האחת מסתפקת בבדיקת יחסי הגומלין שבין האדם והמכונה בלבד, ואילו הגישה השנייה, המכונה גישת המערכת (System approach), רואה את התכנון במבט כולל יותר. במודל המייצג של גישת המערכת (מודל SHEL, ציור 1), קיימת התייחסות לארבעה מרכיבי תכנון יסודיים:

- תוכנה (S) – SOFTWARE.
- חומרה (H) – HARDWARE.
- בני-אדם (L) – LIVEWARE.
- סביבה (E) – ENVIRONMENT.

לכל אחד מהיסודות האלה ישנם יחסי-גומלין (מימשקים) עם היסודות האחרים במערכת ועל סמך הכרת אותם יחסי-גומלין מתקבלות החלטות התכנון. התעלמות מאחד היסודות או בחינה חלקית של המימשקים שביניהם, עלולה לפגוע בצורה קשה בתהליך הפיתוח ולהביא לכשלונו. דוגמה אופיינית למימוש חלקי כזה של גישת המערכת היא פרויקט הפיתוח האמריקאי של טנק-לחימה בעל מנוע סילון. באופיון של טנק זה הוגדרו כמעט כל הדרישות המתחייבות מטנק-לחימה



ציור 1 – מודל SHEL. מודל זה מייצג את גישת המערכת, שלפיה בכל תכנון הנדסי יש לבחון את קשרי הגומלין בין ארבעה מרכיבים בסיסיים – תוכנה (S), חומרה (H), סביבה (E), ובני-אדם (L). התעלמות מאחד מקשרי הגומלין עלולה להביא לכשלונו של התכנון.

בשער המאמר – "מרכבה" קופצת מעל אדנים במסגרת ניסויים שתכליתם לעמוד הן על ביצועי הטנק והן על איכות הנסיעה בו מנקודת המבט של הנדסת-אנוש.

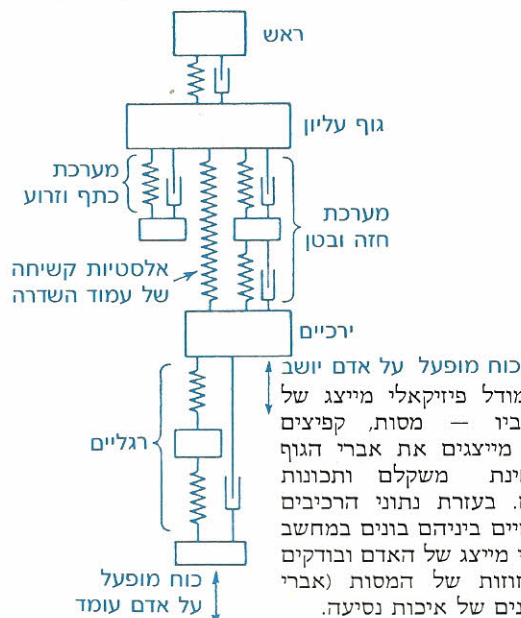
הגורמים המשפיעים על איכות הנסיעה

החשיפה לתנודות, ובעקבותיה התאוצות המופעלות על האדם, מגדירה למעשה את איכות הנסיעה. איכות הנסיעה נקבעת מצד אחד על-ידי תנאי השטח, ומצד שני על-ידי מספר גורמים הקשורים בכלי הנוסע. מבחינת תנאי השטח, ברור שרמות התאוצה המתפתחות בעת נסיעה במסלול שדה תהייה גבוהות מאלו המתפתחות בנסיעה באותו כלי בדרך סלולה.

גורמי איכות הנסיעה הקשורים בכלי הנוסע כוללים את מהירות הכלי, משקלו, מומנט האינרציה שלו, מיקום מרכז הכובד בכלי, סוג המתלה, מיקום אנשי הצוות בחלל הכלי ומבנה כסאות הצוות. מבחינת המהירות, ברור שככל שזו גבוהה יותר, גם רמת התנודות גבוהה יותר. מן הראוי להעיר כאן, שברוב המקרים, מיגבלת המהירות המקסימלית המותרת בשדה אינה מיגבלת הביצועים של הכלי, אלא המיגבלה המוכתבת על-ידי מידת יכולתו של האדם לספוג את רמות התאוצה המתפתחות באותה מהירות. אם רוצים לעבור את מיגבלת המהירות (משקולים מבצעיים בדרך כלל), חייבים לבצע שינויים בתכנון הכלי, כגון שינוי רמת הריסון של רכיבי המיתלה, כדי להמשיך ולהישאר בתוך תחום התאוצות המותר מבחינת האדם. מבחינת משקל הכלי – ככל שזה גדול יותר, רמת התנודות קטנה יותר. מומנט האינרציה של הכלי (ביחס למרכז המסה) הוא גודל המבטא את ההתפלגות במרווח של המסות החלקיות המרכיבות את הכלי. ככל שהמסות החלקיות (לדוגמה – חטיבת הכוח, הצריח, התותח וכו') ממוקמות רחוק יותר ממרכז הכובד של הכלי, כן יש לכלי מומנט אינרציה גדול יותר ועל כן הוא רגיש יותר לתנודות. מבחינת מרכז הכובד – ככל שנקודה זו נמוכה יותר, הכלי פחות רגיש לתנודות. ובאשר למיתלה; המיתלה ברכב מכיל את הרכיבים הקובעים באופן ישיר את רמת התנודות שיתפתחו בכלי כתוצאה מכל הגורמים שהזכרנו עד עתה. ככל שמערכת המתלה 'רכה' יותר, רמת התנודות של הכלי בשטחים קלים לתנועה תהיה נמוכה, ובשטחים קשים – גבוהה, ובמתלה 'קשה' – להיפך. כיום קיימות ברק"ם מערכות מתלה הידרופנימטיות, שבהן ניתן לשנות את רמת שיכוך התנודות בהתאם לתנאי השטח. מבחינת המיקום של אנשי הצוות בחלל הכלי – ככל שמקומות הישיבה קרובים יותר לציר ע"רוד, שסביבו מסתובב הכלי בעת העליה והירידה ממכשול, כן תקטן השפעת התנודות על היושבים בהם. ציר הסיבוב האמור ממוקם בדרך כלל מתחת למרכז הכובד של הכלי, בגובה מרכז הגלגלים, ולכן הנהג, לדוגמה, בגלל ריחוקו מציר הסיבוב, נחשף לרמת תנודות גבוהה יותר מזו שנחשפים אליה הלוחמים בצריח. הגורם האחרון והלא-פחות חשוב ברשימת גורמי איכות הנסיעה התלויים בכלי הוא מבנה כסאות הצוות. כאן יש להבחין בין המבנה הגאומטרי, המתוכנן לאפשר תנוחת ישיבה נכונה בעת הפעלת הציד ההיקפי, לבין מבנה מערכת הספוגים בכיסא, המתוכננת לרסן את התנודות, המועברות מפני השטח דרך מערכת המיתלה ומבנה הכלי אל האדם. תכנון נכון של מערכת הספוגים צריך להבטיח בראש ובראשונה ריסון יעיל של תנודות הנסיעה, וכתפקיד משני – גם ליצור פילוג אחיד של הלחץ במהלך הישיבה, לחץ שבאופן טבעי איננו אחיד בגלל מבנה עצם האגן.

השפעת איכות הנסיעה על האדם

מערכת השרירים והעצבים של האדם מכילה מנגנוני משוב, שאחת ממטרותיהם היא לשמור על יציבות גוף מסוימת. למשל, אם האדם יושב, מנגנוני המשוב ישמרו על תנוחה זו כל עוד לא יבצע האדם פעולה רצונית לשינויה. כאשר האדם יושב בתוך רכב הנע בשדה, הוא נחשף למשטר-תנודות הגורמות לאבריו להתנועע באופן לא-רצוני. מנגנוני המשוב – במקרה זה, הרפלקסים – פועלים לשמור על תנוחת הישיבה על-ידי פעולה עצבית-שרירית. בעקבות פעולה זו, האדם מתעייף וביצועיו יורדים. מכיון שעייפות פיזיולוגית איננה פרמטר כמותי שניתן למדוד אותו ישירות, מגדירים בתקנים השונים פרמטרים פיזיקאליים שונים, כגון רמת תאוצה, הספק נספג וזמן חשיפה לתנודות, כפרמטרים מדידים לאיפיון עייפות האדם.



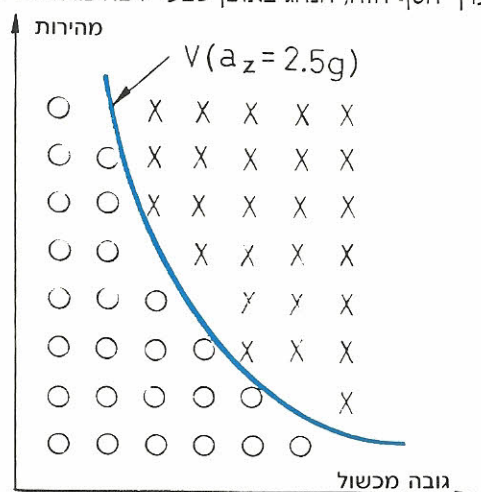
שלב המחקר והפיתוח בתכנון רכב/רק"ם כולל ביצוע הדמיות (סימולציות), האמורות לספק הערכה הן על ביצועי הכלי והן על איכות הנסיעה בו מבחינת האדם. כדי להעריך את איכות הנסיעה בכלי מבחינת האדם, מגדירים מודל של אדם המורכב מרכיבים פיזיקאליים – מסות, קפיצים ומשקכים – המייצגים את אברי הגוף השונים מבחינת משקלם ותכונות הריסון שלהם. בעזרת נתוני הרכיבים והקשרים הפיזיים ביניהם בונים במחשב מודל משוואתי מייצג של האדם ובורקים באמצעותו תזוזות של המסות (אברי הגוף) מול נתונים של איכות נסיעה.

שלב המחקר והפיתוח בתכנון רכב/רק"ם כולל ביצוע הדמיות (סימולציות), האמורות לספק הערכה הן על ביצועי הכלי והן על איכות הנסיעה בו מבחינת האדם. כדי להעריך את איכות הנסיעה בכלי מבחינת האדם, מגדירים מודל של אדם המורכב מרכיבים פיזיקאליים – מסות, קפיצים ומשקכים – המייצגים את אברי הגוף השונים מבחינת משקלם ותכונות הריסון שלהם (ראה ציור 2). על סמך הקשרים הפיזיים בין החלקים השונים במודל ועל סמך הנתונים של המסות, הקפיצים והמשקכים שבו, מגדירים מערכת משוואות ומזינים אותן למחשב בעזרת תוכנה יעודית. בשלב זה, שבו קיים במחשב מודל משוואתי מייצג של האדם, מזינים את המחשב בנתונים של איכות נסיעה ומקבלים פלט המתאר את התזוזות של כל מסה במודל כפונקציה של הזמן. ניתן למשל להזין למחשב קלט המאפיין תנודות בכסא ו/או ברצפת הרק"ם ולקבל פלט של תנודות הראש של איש הצוות. באמצעות הפלט הזה ניתן ללמוד, למשל, על היכולת של התותחן להביט מבעד לאמצעי התצפית תוך כדי נסיעה, או להעריך כמה זמן יכול איש הצוות להיחשף לתנודות האלה עד לירידה בכושרו כתוצאה מעייפות.

הבסיס לתקנים השונים הן עבודות מחקר, שבמהלכן בני-אדם נחשפו לתנודות על גבי מְרַעַד מעבדתי. עבודות הללו נמצא מיתאם גבוה בין גדלים פיזיקאליים מדידים ובין תחושות של משתתפי הניסויים, ועל סמך מיתאם זה נקבעו רמות-הסף. נציג כעת את הקריטריונים לרמות-סף בחשיפה לתנודות.

קריטריון לתאוצה אנכית – 2.5G

קריטריון 2.5G הוא רמת-סף שנקבעה על-ידי TACOM, הפיקוד בצבא ארה"ב האחראי על מערכות אוטומוטיביות לרק"ם. קריטריון זה קובע, שתאוצת השיא האנכית המקסימלית שאותה יכול האדם לסבול היא 2.5G (24.5 מטר לשנייה²). ערך זה נקבע כרמת-סף בהסתמך על תגובותיהם של נהגים שהשתתפו בניסוי. הנחת היסוד בניסוי היתה, שהנהג, כגורם המשפיע באופן ישיר על מהירות הנסיעה – ומכאן על רמת התנודות – ימשיך להאיץ את הכלי כל עוד רמת התאוצות האנכיות אינה עולה על ערך-סף נסבל. ברגע שהתאוצות יעברו את ערך-הסף הזה, הנהג באופן טבעי ירפה מדוושת ההאצה.



ציור 3 – עקום מהירות נסיעה כפונקציה של גובה מכשול, הבנוי מנקודות מהירות שבהן נמדדה בתא הנהג תאוצה אנכית של 2.5g. עקום זה מציין את הגבול בין האזור המותר לנסיעה (0), שבו מתפתחות תאוצות אנכיות הקטנות מ-2.5g, לבין האזור האסור לנסיעה (X), שבו מתפתחות תאוצות אנכיות הגבוהות מ-2.5g.

מאחר שחשיפת איש הצוות לתאוצה אנכית הגבוהה מ-2.5G פוגעת ברמת תפקודו, עלינו להגדיר את מעטפת הביצועים של הכלי בהתחשב בערך-סף זה. לשם כך עורכים סדרת ניסויי נסיעה על מכשולים בגבהים שונים – באופן כזה, שעל כל מכשול בגובה נתון עוברים מספר רב של פעמים ובכל פעם במהירות אחרת – וכל זאת כדי להגיע בכל ניסיון כזה לתאוצה אנכית בתא-הנהג השווה או קרובה ל-2.5G.

אם נציג את תוצאות הניסויים על פני מערכת צירים של מהירות הנסיעה כפונקציה של גובה מכשול ונרשום את כל נקודות המהירות שבהן נמדדה בתא הנהג תאוצה אנכית של 2.5G כפונקציה של גובה המכשול, נקבל בעת חיבור הנקודות עקום מהירות נסיעה המגדיר את מעטפת הביצועים של הכלי (ראה ציור 3). עקום זה מציין את הגבול בין האזור המותר לנסיעה (0), שבו מתפתחות תאוצות אנכיות הקטנות מ-2.5G, לבין האזור האסור לנסיעה (X), שבו מתפתחות תאוצות אנכיות הגבוהות מ-2.5G.



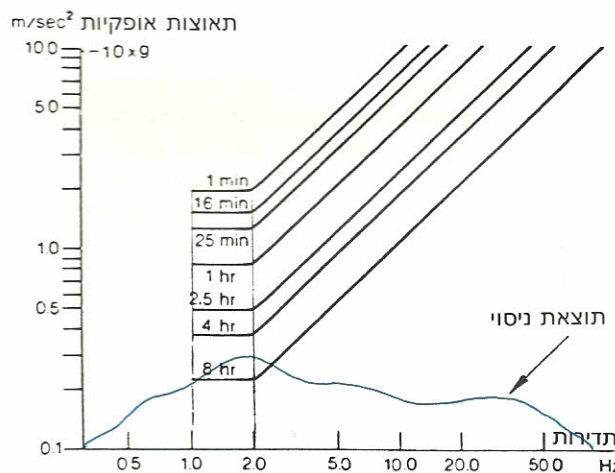
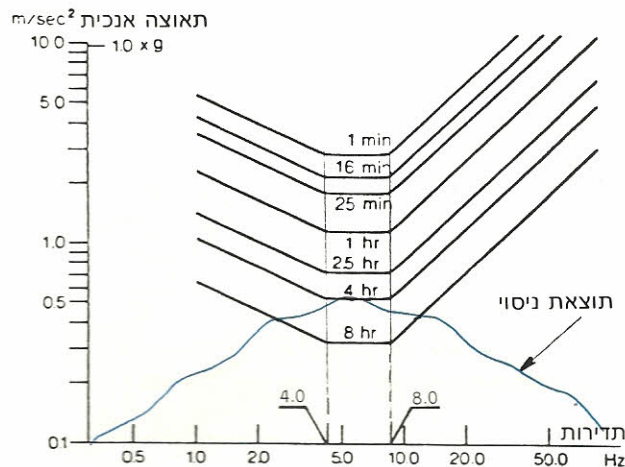
אחד הגורמים הקריטיים בתחום התנודות – במערכת כלשהי, ובאדם בכלל זה – הוא תופעת התהודה. תופעה זו מתרחשת כאשר תדירותו של הגורם המאלץ את המערכת להתנווד שווה לתדירות הטבעית של המערכת, והביטוי המעשי לכניסה לתהודה הוא שבאותה נקודת שיוויין בין שתי התדירויות, המערכת תתנווד בעוצמה הגבוהה ביותר מבין כל התדרים האחרים שהיא תיחשף להם. האדם, כמערכת הנתונה לתנודות הנסיעה, גם הוא יכול להיכנס למצב בלתי רצוי זה של תהודה, כאשר תדירותו של התנודות שהוא ייחשף אליהן תשתווה לתדירותו הטבעית. מאחר שהמודל הפיזיקאלי המייצג של האדם הינו מודל מורכב, המכיל מספר מסות ומספר קפיצים ומרסנים, תדר התהודה שלו אינו ערך בדיד אלא תחום של תדרים. תחום תדרי התהודה של האדם הינו 4 – 8 הרץ בציר האנכי, ו-1 – 2 הרץ בצירים האופקיים, וכאשר הוא נחשף לתנודות שתדירותן נמצאת בתחומים האלה, איבריו נכנסים לתהודה. במצב זה אין האדם מסוגל לסבול רמות תאוצה גבוהות ואם הוא נחשף אליהן, הוא עלול לאבד שליטה על איבריו וגם עלול להינזק. לעומת זאת, אם האדם נחשף לתנודות שתדירותן שונה מתדרי התהודה, הוא מסוגל לסבול רמות תאוצה גבוהות. בידיעת עובדה זו, דואגים מתכנני מערכות המיתלה שתדרי התהודה של הרכב/רק"ם יהיו רחוקים ככל האפשר מתחום תדרי התהודה של האדם.

תקנים לאיכות הנסיעה

בצבאות ארה"ב ומדינות אירופה, ובארגונים בינלאומיים העוסקים ברכב/רק"ם, קיימים תקני הנדסת-אנוש המגדירים פרמטרים פיזיקאליים כקריטריונים לאיכות הנסיעה. הפרמטרים הם – משרעת התנודה (אמפליטודה), הספק התנודה וזמן החשיפה. באמצעות הפרמטרים האלה מגדירים בתקנים השונים רמות-סף – כגון תאוצת-שיא בכיוון אנכי, זמן חשיפה כפונקציה של התדירות ומישרעת התאוצה, והספק נבלע בגוף – שעד אליהן מובטח תפקוד תקין של האדם.

תקן לזמן חשיפה מותר — ISO 2631

התקן ISO 2631 הוא תקן תנודות של ארגון התקינה הבינלאומי שאומץ על-ידי רוב צבאות אירופה וצבא ארה"ב וכן על-ידי חברות רכב אזרחיות. התקן מציג את זמני החשיפה לתאוצות המותרים לאדם כפונקציה של מישרעת התאוצה בצירים השונים, בכל תחום התדרים האופייני לנסיעה בשדה (80 – 1 הרץ). בתקן מבחינים בין שני כיווני חשיפה עיקריים לתאוצות — חשיפה לתאוצה אנכית, וחשיפה לתאוצות אופקיות (מצד לצד; קדימה אחורה), כפי שניתן לראות בתרשימים שבציור 4. התרשים העליון מציג את זמני החשיפה המותרים כפונקציה של מישרעת התאוצה האנכית, והתרשים התחתון מציג את זמני החשיפה המותרים כפונקציה של מישרעת התאוצה האופקית. בשני התרשימים נראה בבירור, שבתחום תדרי התהודה של האדם — 4 – 8 הרץ בציר האנכי, ו-2 – 1 הרץ בצירים האופקיים — זמני החשיפה המותרים הולכים וקטנים ככל שרמת התאוצות עולה. ועוד ניתן לראות, שעבור זמן חשיפה נתון, רמות התאוצה שהאדם יכול לספוג בציר האנכי



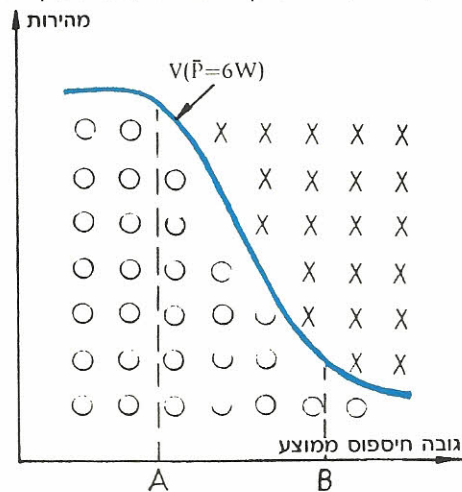
ציור 4 — זמני חשיפה לתאוצות המותרים לאדם, כפונקציה של מישרעת התאוצה בציר האנכי (למעלה) ובצירים האופקיים (למטה). בשני התרשימים נראה בבירור, שזמני החשיפה המותרים הולכים וקטנים ככל שרמת התאוצות עולה.

ברוב התדרים הינן נמוכות יותר מן התאוצות שיכול האדם לספוג בצירים האופקיים. לעובדה אחרונה זו, שרבים מאיתנו מכירים מן הניסיון, יש הסבר פיזיולוגי. עמוד השדרה של האדם, המשמש גם כבולס-זעזועים, מוגבל ביכולתו לשכך תנודות לאורכו. אם נוסיף לכך את העובדה, שרמת התאוצות האנכיות המתפתחות בכסאות הצוות בעת נסיעה בשדה גדולה יותר מרמת התאוצות האופקיות, נבין מדוע התאוצות הקובעות בסופו של דבר את זמן החשיפה המרבי המותר לאדם הן דווקא התאוצות האנכיות.

כדי לקבוע באמצעות התקן את זמני החשיפה המותרים לאדם בנסיעה ברכב נתון, מבצעים ניסוי נסיעה במסלול ובמהירות מוגדרים ומודדים את התאוצות המתפתחות בכסאות הצוות בכל הצירים. תוכנת מחשב יעודית מעבדת את המידע הנמדד ומציגה את עקום תוצאות הניסוי על גבי עקומי הזמן המוגדרים בתקן (ראה ציור 4). את זמן החשיפה המותר קובעים על פי השיא של עקום התוצאות. אם השיא נופל בדיוק על אחד מעקומי הזמן שבתקן, הרי שזמן החשיפה המותר הוא הערך הרשום על עקום זה, ואם הוא נופל בין שני עקומי זמן (כמו בדוגמה שבציור), ניתן לחשב את זמן החשיפה המתאים על-ידי אינטרפולציה מתמטית של שני הערכים התוחמים את השיא.

קריטריון להספק נבלע — 6W

הקריטריון של הספק נבלע באדם כביטוי לחשיפה שלו לתנודות פותח על-ידי TACOM ונמצא בשימוש בצבא ארה"ב. בתקן המבוסס על קריטריון זה, ההספק הנבלע מוצג כפונקציה של מהירות הנסיעה ותנאי השטח, ונקבע בו כי הספק התנודות הכולל שמותר לאדם לספוג הוא 6 ואט. עקריסוף זה מבוסס על מחקרים וניסויים בצבא ארה"ב שהצביעו על מיתאם גבוה בין רמת ההספק הנבלע בגוף לבין חוות-דעת סובייקטיביות של נהגים. אף שהערך 6 ואט נקבע כערך הספק מרבי, נמצא בניסויים הנ"ל, כי נהגים מקצועיים מסוגלים לספוג הספקי תנודות בתחום 10 – 20 ואט ויותר, אם כי לפרקי-זמן קצרים. מבחינת הכלל, אלה ערכי הספק גבוהים הגורמים נזק לרכיבי המיתלה.



ציור 5 — עקום מהירות נסיעה כפונקציה של גובה החיספוס הממוצע של פני השטח, הבנוי מנקודות מהירות שבהן נמדד ברכב הספק של 6 ואט. עקום זה מציין את הגבול בין האזור המותר לנסיעה (O) שבו מתפתחים הספקים הקטנים מ-6 ואט, לבין האזור האסור בנסיעה (X), שבו מתפתחים הספקים הגדולים מ-6 ואט.



בצורה השנייה של הוצאה משיווי משקל, שהיא כאמור חשיפה לתנודות, המערכת נחשפת לסידרה של עירעורים, שבשלבי המעבר שביניהם, אמצעי הריסון המכניים והפיזיולוגיים אינם מספיקים לבצע החזרה מושלמת של המערכת למצב שיווי משקל. החשיפה לתנודות מתרחשת בעת נסיעה במסלול שדה אופייני, המכיל בדרך כלל מספר רב של מכשולים טבעיים, ובניסוי מדמים אותה על-ידי הנחת מספר רב של אדנים על גבי המסלול. כדי לקבל את כל תחום התנודות האופייני למסלולים שונים, עורכים סדרת ניסויי נסיעה שבהם משנים את מהירות הנסיעה על גבי המסלול ו/או את הגובה והמערך של האדנים. הקריטריונים העוסקים בניתוח תנודות הם הנתון לזמן חשיפה מותר ISO 2631, או הקריטריון להספק נבלע 6 ואט של TACOM. אף שמדובר בפרמטרים פיזיקאליים שונים (זמן, הספק), שני הקריטריונים תואמים מבחינת הערכתם את אופי התנודות, והבחירה ביניהם נתונה לשיקולו של מתכנן הניסוי.

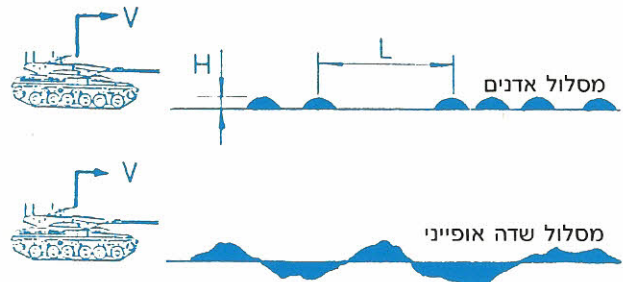
ניסויים חימושיים

הניסויים להגדרת מעטפת הביצועים של רכב/ק"ם מבחינת התנודות הם חלק מן הניסוי החימושי, המבוצע על-ידי יחידת הניסויים של חיל החימוש. מטרת הניסויים היא לקבוע עבור הכלי הנוגע את המהירות המרבית המותרת במסלולי הנסיעה השונים, בהתאם לקריטריונים של הנדסת אנוש בתחום החשיפה לתנודות ולהלמים. הניסויים מבוצעים בשני סוגי מסלולים — מסלול אדנים ומסלול שדה אופייני (ציור 6). מסלול אדנים הוא מסלול כורכר קבוע שעליו מונחים אדני מתכת בגבהים שונים (11, 15, 32, 42 סמ') ובמרחקים שונים זה מזה. על-ידי שינוי גובהי האדנים ו/או שינוי המרחקים ביניהם, ניתן לשנות את ערך החיספוס הממוצע (RMS) של המסלול ובצורה זו לדמות מיגוון מסלולים מבחינת קשיי התנועה. כאן טמון יתרונה העיקרי של מסלול האדנים — אין צורך לשנע את הכלי הנוגע לכל אתרי הלחימה הפוטנציאליים, ובכך נחסכת כל הלוגיסטיקה הנילווית. יתרון נוסף של מסלול האדנים הינו רמת ההדירות הגבוהה של תוצאות הניסוי — דהיינו,

מאחר שספיגת הספק מעל 6 ואט פוגעת ברמת התיפקוד של הצוות, צריך להגדיר את מעטפת הביצועים של הרכב הנתון בהתחשב בערך-סף זה, כלומר לקבוע אילו תחומי מהירות ותנאי שטח מותרים או אסורים מבחינת האדם. את פני השטח מאפיינים על-ידי גובה החיספוס הממוצע (באנגלית — R.M.S.), שהוא הגובה הממוצע של המכשולים בשטח. מסלול RMS 1", לדוגמה, מוגדר כמסלול נסיעה קל; RMS 1.7" — מסלול בינוני; RMS 2.5" — מסלול קשה. כעת מבצעים סדרת ניסויי נסיעה במהירויות שונות ועל פני מיגוון שטחים מבחינת ערכי RMS במטרה להגיע למספר רב של מקרים, שבהם, כתוצאה ממהירות ומערך RMS מסוימים, יוצרו ברכב תאוצות בהספק של 6 ואט. אם נציג את תוצאות הניסויים על פני מערכת צירים המתארת את מהירות הנסיעה כפונקציה של גובה החיספוס הממוצע, ונרשום את כל נקודות המהירות שבהן התקבל הספק של 6 ואט כפונקציה של גובה חיספוס ממוצע, נקבל עקום המגדיר את מעטפת הביצועים של הכלי (ראה ציור 5). עקום זה מציין את הגבול בין האזור המותר לנסיעה (O), שבו מתפתחים הספקים הקטנים מ-6 ואט, לבין האזור האסור לנסיעה (X), שבו מתפתחים הספקים מעל 6 ואט. הירידה החדה המובחנת על עקום מהירות הנסיעה בין הנקודות A ו-B שעל ציר החיספוס הממוצע, מתארת תגובה אופיינית של המערכת כל-י-אדם בכניסה למסלול קשה. הכלי מגיב בסגירת מהלך מתלה/מהלך גלגל מרכוב, מצב הגורם להעברה ישירה של תנודות הנסיעה למרכב/תובה, והאדם (הנהג), שיכולתו לספוג הספק הינה מוגבלת, מוריד בתגובה את מהירות הנסיעה בצורה חדה.

בחירת הקריטריונים

הוצאה משיווי-משקל יכולה להתבצע בשתי צורות: הלם (Shock), ותנודות (Vibrations). הלם הוא עירעור חד-פעמי, שכתוצאה מהחשיפה אליו, המערכת מגיעה לשיא התזוזה ביחס לעוצמת העירעור, ולאחר מכן מתרחש תהליך ריסון לאורך זמן עד שהמערכת חוזרת למצב שיווי-משקל. בשטח, תופעת ההלם מתרחשת בעת עליה על מכשול יחיד תוך כדי נסיעה בדרך מישורית, ובניסוי מדמים אותה באמצעות זוג אדנים (אדן לכל אופן/זחל) בעלי גובה וצורה תקינים, המונחים על גבי מסלול כורכר קבוע שעליו נוסע הכלי. כדי לקבל את כל תחום התאוצות שתופעת ההלם יוצרת בשטח נתון, עורכים סדרת ניסויי נסיעה, שבמהלכם משנים את מהירות הנסיעה על גבי אותו זוג אדנים, או משנים בכל פעם את גובה האדן. לניתוח תופעת ההלם בניסוי משתמשים בקריטריון לתאוצה אנכית 2.5G.



ציור 6 — מסלול אדנים ומסלול שדה אופייני. אופי פני השטח בשני המסלולים מוגדר על-ידי גובה חיספוס ממוצע (RMS), שהוא הגובה הממוצע של המכשולים בשטח.

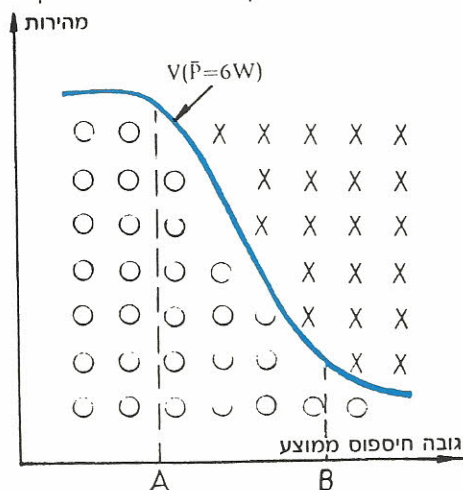
תקן לזמן חשיפה מותר — ISO 2631

ברוב התדרים הינן נמוכות יותר מן התאוצות שיכול האדם לספוג בצירים האופקיים. לעובדה אחרונה זו, שרבים מאיתנו מכירים מן הניסיון, יש הסבר פיזיולוגי. עמוד השדרה של האדם, המשמש גם כבולס-עזוועים, מוגבל ביכולתו לשכך תנודות לאורכו. אם נוסף לכך את העובדה, שרמת התאוצות האנכיות המתפתחות בכסאות הצוות בעת נסיעה בשדה גדולה יותר מרמת התאוצות האופקיות, נבין מדוע התאוצות הקובעות בסופו של דבר את זמן החשיפה המרבי המותר לאדם הן דווקא התאוצות האנכיות.

כדי לקבוע באמצעות התקן את זמני החשיפה המותרים לאדם בנסיעה ברכב נתון, מבצעים ניסוי נסיעה במסלול ובמהירות מוגדרים ומוודדים את התאוצות המתפתחות בכסאות הצוות בכל הצירים. תוכנת מחשב יעודית מעבדת את המידע הנמדד ומציגה את עקום תוצאות הניסוי על גבי עקומי הזמן המוגדרים בתקן (ראה ציור 4). את זמן החשיפה המותר קובעים על פי השיא של עקום התוצאות. אם השיא נופל בדיוק על אחד מעקומי הזמן שבתקן, הרי שזמן החשיפה המותר הוא הערך הרשום על עקום זה, ואם הוא נופל בין שני עקומי זמן (כמו בדוגמה שבציור), ניתן לחשב את זמן החשיפה המתאים על ידי אינטרפולציה מתמטית של שני הערכים התוחמים את השיא.

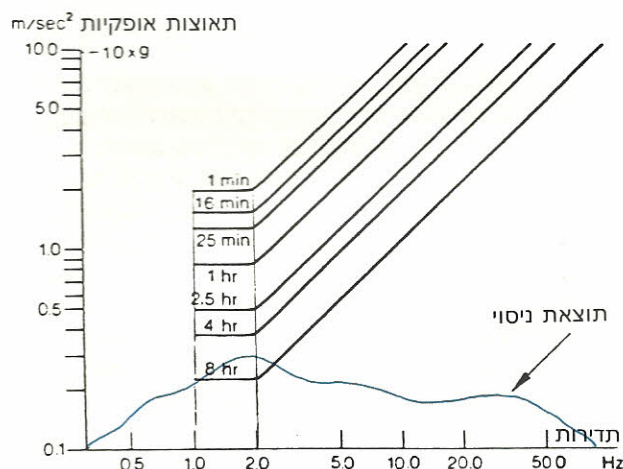
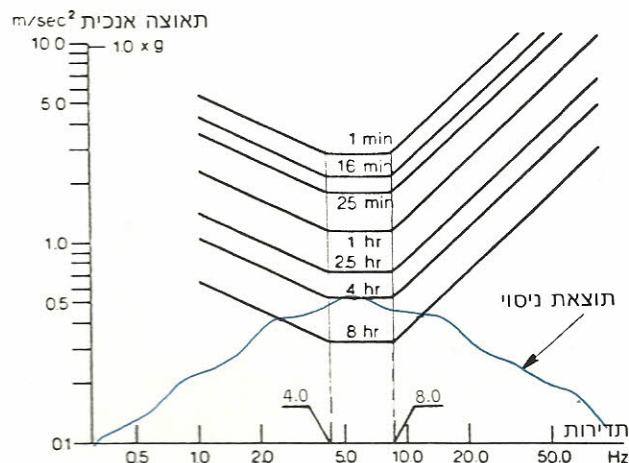
קריטריון להספק נבלע — 6W

הקריטריון של הספק נבלע באדם כביטוי לחשיפה שלו לתנודות פותח על-ידי TACOM ונמצא בשימוש בצבא ארה"ב. בתקן המבוסס על קריטריון זה, ההספק הנבלע מוצג כפונקציה של מהירות הנסיעה ותנאי השטח, ונקבע בו כי הספק התנודות הכולל שמותר לאדם לספוג הוא 6 וואט. ערך-סף זה מבוסס על מחקרים וניסויים בצבא ארה"ב שהצביעו על מיתאם גבוה בין רמת ההספק הנבלע בגוף לבין חוות-ידעת סובייקטיביות של נהגים. אף שהערך 6 וואט נקבע כערך הספק מרבי, נמצא בניסויים הנ"ל, כי נהגים מקצועיים מסוגלים לספוג הספקי תנודות בתחום 20–10 וואט ויותר, אם כי לפרקי-זמן קצרים. מבחינת הכלל, אלה ערכי הספק גבוהים הגורמים נזק לרכיבי המיתלה.



ציור 5 — עקום מהירות נסיעה כפונקציה של גובה החיספוס הממוצע של פני השטח, הבנוי מנקודות מהירות שבהן נמדד ברכב הספק של 6 וואט. עקום זה מציין את הגבול בין האזור המותר לנסיעה (O) שבו מתפתחים הספקים הקטנים מ-6 וואט, לבין האזור האסור בנסיעה (X), שבו מתפתחים הספקים הגדולים מ-6 וואט.

התקן ISO 2631 הוא תקן תנודות של ארגון התקינה הבינלאומי שאומץ על-ידי רוב צבאות אירופה וצבא ארה"ב וכן על-ידי חברות רכב אזרחיות. התקן מציג את זמני החשיפה לתאוצות המותרים לאדם כפונקציה של מישרעת התאוצה בצירים השונים, בכל תחום התדרים האופייני לנסיעה בשדה (80–1 הרץ). בתקן מבחינים בין שני כיווני חשיפה עיקריים לתאוצות — חשיפה לתאוצה אנכית, וחשיפה לתאוצות אופקיות (מצד לצד; קדימה אחורה), כפי שניתן לראות בתרשימים שבציור 4. התרשים העליון מציג את זמני החשיפה המותרים כפונקציה של מישרעת התאוצה האנכית, והתרשים התחתון מציג את זמני החשיפה המותרים כפונקציה של מישרעת התאוצה האופקית. בשני התרשימים נראה בבירור, שבתחום תדרי התהודה של האדם — 4–8 הרץ בציר האנכי, ו-2–1 הרץ בצירים האופקיים — זמני החשיפה המותרים הולכים וקטנים ככל שרמת התאוצות עולה. ועוד ניתן לראות, שעבור זמן חשיפה נתון, רמות התאוצה שהאדם יכול לספוג בציר האנכי



ציור 4 — זמני חשיפה לתאוצות המותרים לאדם, כפונקציה של מישרעת התאוצה בציר האנכי (למעלה) ובצירים האופקיים (למטה). בשני התרשימים נראה בבירור, שזמני החשיפה המותרים הולכים וקטנים ככל שרמת התאוצות עולה.



בצורה השניה של הוצאה משווי משקל, שהיא כאמור חשיפה לתנודות, המערכת נחשפת לסידרה של עירעורים, שבשלבי המעבר שביניהם, אמצעי הריסון המכניים והפיזיולוגיים אינם מספיקים לבצע החזרה מושלמת של המערכת למצב שיווי-משקל. החשיפה לתנודות מתרחשת בעת נסיעה במסלול שדה אופייני, המכיל בדרך כלל מספר רב של מכשולים טבעיים, ובניסוי מדמים אותה על-ידי הנחת מספר רב של אדנים על גבי המסלול. כדי לקבל את כל תחום התנודות האופייני למסלולים שונים, עורכים סדרת ניסויי נסיעה שבהם משנים את מהירות הנסיעה על גבי המסלול ו/או את הגובה והמערך של האדנים. הקריטריונים העוסקים בניתוח תנודות הם התקן לזמן חשיפה מותר ISO 2631, או הקריטריון להספק נבלע 6 ואט של TACOM. אף שמדובר בפרמטרים פיזיקאליים שונים (זמן, הספק), שני הקריטריונים תואמים מבחינת הערכתם את אופי התנודות, והבחירה ביניהם נתונה לשיקולו של מתכנן הניסוי.

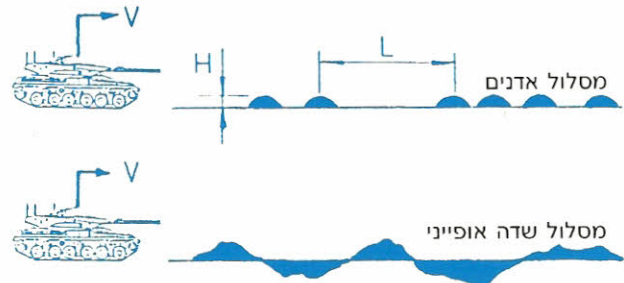
ניסויים חימושיים

הניסויים להגדרת מעטפת הביצועים של רכב/רק"ם מבחינת התנודות הם חלק מן הניסוי החימושי, המבוצע על-ידי יחידת הניסויים של חיל החימוש. מטרת הניסויים היא לקבוע עבור הכלי הנוגע את המהירות המרבית המותרת במסלולי הנסיעה השונים, בהתאם לקריטריונים של הנדסת אנוש בתחום החשיפה לתנודות ולהלמים. הניסויים מבוצעים בשני סוגי מסלולים – מסלול אדנים ומסלול שדה אופייני (צויר 6). מסלול אדנים הוא מסלול כורכר קבוע שעליו מונחים אדני מתכת בגבהים שונים (11, 15, 32, 42 סמ') ובמרחקים שונים זה מזה. על-ידי שינוי גובהי האדנים ו/או שינוי המרחקים ביניהם, ניתן לשנות את ערך החיספוס הממוצע (RMS) של המסלול ובצורה זו לדמות מיגוון מסלולים מבחינת קשיי התנועה. כאן טמון יתרונה העיקרי של מסלול האדנים – אין צורך לשנע את הכלי הנוגע לכל אתרי הלחימה הפוטנציאליים, ובכך נחסכת כל הלוגיסטיקה הנילווית. יתרון נוסף של מסלול האדנים הינו רמת ההדירות הגבוהה של תוצאות הניסוי – דהיינו,

מאחר שספיגת הספק מעל 6 ואט פוגעת ברמת התיפקוד של הצוות, צריך להגדיר את מעטפת הביצועים של הרכב הנתון בהתחשב בערך-סף זה, כלומר לקבוע אילו תחומי מהירות ותנאי שטח מותרים או אסורים מבחינת האדם. את פני השטח מאפיינים על-ידי גובה החיספוס הממוצע (באנגלית – R.M.S.), שהוא הגובה הממוצע של המכשולים בשטח. מסלול RMS 1", לדוגמה, מוגדר כמסלול נסיעה קל; RMS 1.7" – מסלול בינוני; RMS 2.5" – מסלול קשה. כעת מבצעים סדרת ניסויי נסיעה במהירויות שונות ועל פני מיגוון שטחים מבחינת ערכי RMS, במטרה להגיע למספר רב של מקרים, שבהם, כתוצאה ממהירות ומערך RMS מסוימים, ייווצרו ברכב תאוצות בהספק של 6 ואט. אם נציג את תוצאות הניסויים על פני מערכת צירים המתארת את מהירות הנסיעה כפונקציה של גובה החיספוס הממוצע, ונרשום את כל נקודות המהירות שבהן התקבל הספק של 6 ואט כפונקציה של גובה חיספוס ממוצע, נקבל עקום המגדיר את מעטפת הביצועים של הכלי (ראה צויר 5). עקום זה מציין את הגבול בין האזור המותר לנסיעה (O), שבו מתפתחים הספקים הקטנים מ-6 ואט, לבין האזור האסור לנסיעה (X), שבו מתפתחים הספקים מעל 6 ואט. הירידה החדה המובחנת על עקום מהירות הנסיעה בין הנקודות B ו-A שעל ציר החיספוס הממוצע, מתארת תגובה אופיינית של המערכת כלפי-אדם בכניסה למסלול קשה. הכלי מגיב בסגירת מהלך מתלה/מהלך לגלגל מרכוב, מצב הגורם להעברה ישירה של תנודות הנסיעה למרכב/תובה, והאדם (הנהג), שיכולתו לספוג הספק הינה מוגבלת, מוריד בתגובה את מהירות הנסיעה בצורה חדה.

בחירת הקריטריונים

הוצאה משווי-משקל יכולה להתבצע בשתי צורות: הלם (Shock), ותנודות (Vibrations). הלם הוא עירעור חד-פעמי, שכתוצאה מהחשיפה אליו, המערכת מגיעה לשיא התווה ביחס לעוצמת העירעור, ולאחר מכן מתרחש תהליך ריסון לאורך זמן עד שהמערכת חוזרת למצב שיווי-משקל. בשטח, תופעת ההלם מתרחשת בעת עליה על מכשול יחיד תוך כדי נסיעה בדרך מישורית, ובניסוי מדמים אותה באמצעות זוג אדנים (אדן לכל אופן/זחל) בעלי גובה וצורה תקינים, המונחים על גבי מסלול כורכר קבוע שעליו נוסע הכלי. כדי לקבל את כל תחום התאוצות שתופעת ההלם יוצרת בשטח נתון, עורכים סדרת ניסויי נסיעה, שבמהלכם משנים את מהירות הנסיעה על גבי אותו זוג אדנים, או שמשנים בכל פעם את גובה האדן. לניתוח תופעת ההלם בניסוי משתמשים בקריטריון לתאוצה אנכית 2.5G.



צויר 6 – מסלול אדנים ומסלול שדה אופייני. אופי פני השטח בשני המסלולים מוגדר על-ידי גובה חיספוס ממוצע (RMS), שהוא הגובה הממוצע של המכשולים בשטח.



פעמים — וכל פעם במהירות אחרת — כדי למפות בצורה מלאה את מעטפת הביצועים שלו. במהלך הנסיעות מודדים את הנתונים הנדרשים ומקליטים אותם ולאחר מכן מגיע שלב הפיענוח, הצגת התוצאות והסקת המסקנות.

איכות הנסיעה כגורם בתכנון הקרב

תכנון הקרב כולל, בין היתר, את תכנון נתיבי הנסיעה לרק"ם ולרכב. על סמך מפות טופוגרפיות, תצלומי-אוויר ומודיעין, ניתן להגדיר את המסלול כמותית (אורך, רוחב) ולהעריך את אופיו מבחינת רמת החיספוס הממוצע, שהוא הממד לקושי הנסיעה. על בסיס נתוני המסלול, מצד אחד, ומעטפת הביצועים של הכלי, מצד שני, קובעים את מהירות הנסיעה המרבית המותרת באותו מסלול מבחינת השפעת התנודות על רמת התיפקוד של אנשי הצוות. עד כמה טיב הביצוע של צוותי הקרב הוא, בין השאר, נגזרת ישירה של רמת החשיפה לתנודות, ניתן להבין מהדוגמה של התותחן, המנסה בתוך פלטפורמה מתנודדת להציב צלב על המטרה, או מהדוגמה של חיילי חרמ"ש, שצריכים להסתער על יעד לאחר נסיעה מתישה בנגמ"ש. ההתחשבות במגבלות הנובעות מן החשיפה לתנודות היא דרישה הנובעת ממגבלות אנושיות, ומן ההכרח למלא אחריה כדי לאפשר ביצוע תקין של המשימה. ■

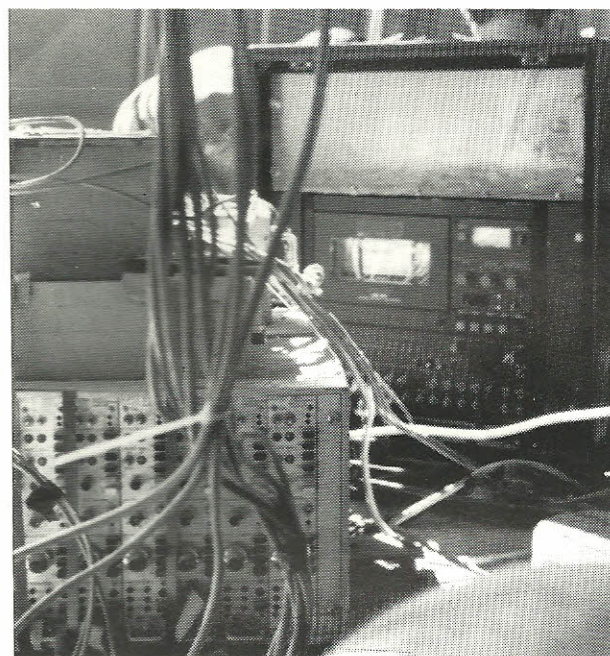
מקורות

1. הנדסת-אנוש — ניתוח רמת תאוצות/תקן יח' ניסויים מס' 3208.
2. תקן ISO 2631.
3. הנדסת גורמי אנוש למערכות אדם-מכונה/יהודה מנור/רמות.
4. TACOM — Technical Report No. 11551.
5. Comparison of measures of vibration affecting occupants of military vehicles/Waterways experiment station/Corps of Engineers/Techincal Report GL-86-18.

היכולת לקבל בו, באותם תנאי סימולציה, אותן תוצאות שוב ושוב. תכונה זו נובעת מן העובדה, שמסלול האדנים איננו משתנה כתוצאה מהנסיעה על פניו ואיננו מושפע ממזג האוויר (מה שאין כן, בדרך כלל, במסלול שדה טבעי). לפיכך ניתן לשחזר בו ניסויים לכלים שונים בתקופות שונות של השנה ובמקומות שונים ברחבי העולם ובכל פעם לדמות מסלול זהה. תכונה זו של מסלול האדנים משמשת בסיס לשיתוף פעולה בניסויי אמל"ח בין שדות-ניסויים של צבאות שונים ברחבי העולם. חסרונם העיקרי של מסלול האדנים נעוץ בעובדה שהסימולציה המבוצעת באמצעותו איננה מכילה את כל תחום התדרים של מסלול שדה אופייני. חיסרון זה בא לידי ביטוי בניסויי השוואתי בין כלים שונים, או בין תצורות שונות של אותו כלי (כגון סוגי מיתלה שונים), כאשר השוני בין הביצועים של הכלים העומדים להשוואה קטן ואינו עולה על 15%. במקרה זה מסלול האדנים איננו מצליח לאפיין מובחנות בין הכלים או התצורות השונות.

תהליך הניסוי

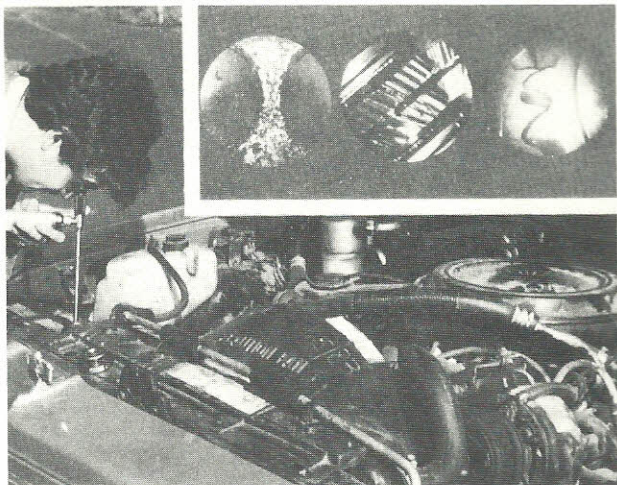
הבסיס לקביעת מעטפת הביצועים של הכלי מבחינת תנודות הוא פרופיל המשימה של הכלי, שממנו גוזרים את מסלול השטח האופייני באזורי הלחימה שלו. את המסלול הזה מתרגמים למסלולי הנסיעה של יחידות הניסויים, הכוללים מסלול סלעי בולת, מסלול חולי, מסלול הררי-סלעי ומסלול מדברי.



המיכשור הנדרש לניסוי כולל את אמצעי המדידה וההקלטה ואת אמצעי הפיענוח והצגת התוצאות. אמצעי המדידה — מתמרי תאוצה, או מתמרים יעודיים לפי התקנים השונים — מותקנים על גבי כסאות אנשי הצוות, ואמצעי ההקלטה — טייפ מגנטי או אוגר נתונים — מותקנים על גבי הצריח ובתוכו. הסרט המגנטי, המכיל את מדידות התאוצה במהלך הנסיעה, מפוענח באמצעות מחשב ותוכנות יעודיות ומוצג בדרך גרפית או מספרית על-ידי תוֹן (פלֹוטר). במהלך הניסוי מסיעים את הכלי על פני המסלול מספר רב של

משקף אופטי לבדיקה פנימית של מכללי הרכב

הקושי הגדול ביותר באחזקת רכב לעתים קרובות הוא לאבחן את הבעיה מבלי לבצע פירוק מכללים ברמה כזו או אחרת. חברת "לנוקס" מפנסילבניה ייצרה אמצעי המקטין במידה ניכרת את הקושי האמור. מדובר במשקף אופטי מיטלטל, המבוסס על שילוב של עדשה מגדילה פי-3 עם מקור אור קוורץ-הלוגן בעל עוצמה גבוהה. המשקף מצויד בבחון דק באורך 22 ס"מ, שאותו מכניסים למכלל מבעד לפתח הקיים בו.



לדוגמה, על-ידי הכנסת הבחון לקדח המצת, ניתן לבחון, ב- 360° , את ראש הצילינדר, את שסתומי היניקה והפליטה ואת קירות הצילינדר. באותה צורה ניתן לבחון סתימות ודליפות ברדיאטור, לבחון דיסקות בלמים ולאתר מוקדי חלודה. בפינת התמונה ניתן לראות פגמים שונים שניצפו מבעד לבחון: מימין לשמאל — בלאי גג"ש בדיפרנציאל, שיני גג"ש שבורות בממסרת, והצטברות פחמן על שסתומים.

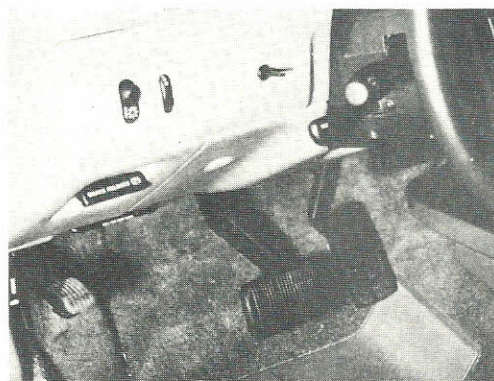
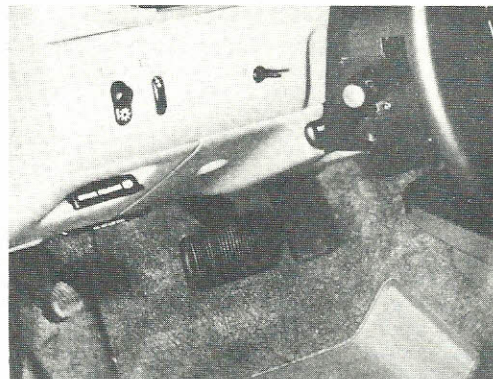
אלקטרוניקה קרה

מודענים במעבדת המחקר הימית בצבא ארה"ב עוסקים כעת בפיתוחה של טכנולוגיה חדשה הנקראת אלקטרוניקה קרה (cold electronics), במטרה לשפר את הביצועים של התקנים מוליכים-למחצה ושכבים זעירים. הגישה המקובלת כיום לשיפור הביצועים מבוססת על הקטנה הדרגתית של ממדי כל התקן והצבת ההתקנים קרוב וקרוב יותר זה לזה. ואולם, כאשר ממדי ההתקנים יורדים אל מתחת למחצית המיקרומטר — חצי אלפית המ"מ, כמאית מקוטרה של שער אדם — נעשה קשה מאוד לייצרם. בטכנולוגיה החדשה, גורסים החוקרים, ניתן לעקוף את הבעיה על-ידי קירורם של ההתקנים והשבבים לטמפרטורות חנקן נוזלי, שהיא בקירוב -200°C . בתחום הטמפרטורות האלה, מהירותם של האלקטרונים הנעים בהתקנים גבוהה פי-3 מאשר בטמפרטורת החדר ומכאן שהם יכולים לנוע מרחק גדול יותר באותה יחידת זמן. לפיכך, התקנים אלקטרוניים גדולים יותר, המבוססים על אלקטרוניקה קרה, יכולים להגיע לאותה מהירות עיבוד מידע שמשגיגים התקנים קטנים יותר בטמפרטורת החדר. בכך נמנעים מבעיות הייצור הקשות הנובעות ממיזעור הרכיבים האלקטרוניים ומתאפשר ייצור רכיבים בעלי תפוקה גבוהה.



דוושות מתכווננות ברכב

קורה לא אחת, שגם לאחר התאמת המרחק של מושב הנהג מדוושות הבלימה וההאצה, עדיין קשה להגיע אל הדוושות. חברת "דקופר" ממישיגן, ארה"ב, פתרה את הבעיה על-ידי תכנון דוושות מתכווננות. מדובר במערכת, המאפשרת בפעולה אחת לכונן את מרחקן של דוושות הבלימה וההאצה בתחום של 10 ס"מ, ממצב מקסימלי תחתון (תמונה עליונה) עד



למצב מקסימלי עליון. מנגנון דוושת הבלם מורכב מחלק נע, המונע על-ידי מנוע חשמלי, ומחלק נייח. במהלך כיוון המרחק, החלק הנע של הדוושה נע ביחס לחלק הנייח, אך בעת הבלימה שני החלקים מתנהגים כמיקשה אחת. כדי להבטיח שהשינוי במרחק הדוושה לא ישפיע על מידת הכוח שיש להפעיל בבלימה, קיים בחלק העליון של מנגנון הדוושה טבור, הנע מעלה או מטה בתוך חריצים אנכיים במיקבע הדוושה ושומר על יחס קבוע של 3:1 בין מרחק הטבור ממשטח הדוושה לבין מרחקו מפין הדחוף המחובר לחלק הנייח.

גילוי וזיהוי חל"כים – כיום ובעתיד



תגובתו של העולם החופשי לשימוש שעשתה עיראק בנשק כימי בקרבות נגד איראן ונגד אזרחיה הכורדים, מעידה על כך שהשימוש בנשק הכימי אינו נראה יותר בלתי־קביל מבחינה מוסרית. לפיכך נראה, שבעימותים צבאיים בעתיד, נשק זה יופעל ככל נשק אחר, ואולי אף בעדיפות ראשונה.

חומרי הלחימה הכימיים מסוגלים להסב אבידות כבדות כאשר הם נוחתים בהפתעה על כוח לא מוגן. ואולם אם הצד המותקף מצויד באמצעי מגן, וישנם בידוי האמצעים לקבלת התראה מוקדמת – ואפילו קצרה ביותר – על התקפה כימית הממשמשת ובאה, הוא יכול לנקוט בצעדי ההתגוננות הדרושים ובכך כמעט לבטל את ערכה של ההתקפה מבחינת מספר הנפגעים. בידיעת עובדה זו, משקיעים כיום במערב מאמץ ניכר במחקר ובפיתוח של מערכות גילוי וזיהוי ברמות השונות. על המערכות הקיימות ועל אלה שבפיתוח, בכתבה זו.

את ההבדל בין שיעור נפגעים נמוך עד בינוני לבין קטל המוני. האמצעים לגילוי חומרי לחימה כימיים הנמצאים כיום ברשות מדינות נאט"ו מסוגלים, על בסיס טכנולוגיות שונות, לגלות, לבדוד ולזהות במהירות חל"כים הנישאים באויר. ככלל, אלו אמצעים המגיבים לכל הצורות של גזי העצבים מהסדרות G ו-V, לגז החרדל ולגזים — לוואיסט, פוסג'ין, הידרוגן-ציאניד וציאנוגן-כלוריד — בכמות שהיא הרבה מתחת לרמה



האיום הצבאי שמעמידים חומרי הלחימה הכימיים והביולוגיים מצוין על-ידי הקלות שבה ניתן לייצרם. בדומה לתהליך שעברו המפעלים לחומרי הדברה ומפעלי התרופות — מייצור בטכנולוגיה מקובלת של עיבוד כימי לייצור בקנה-מידה רחב מאוד — יכול להתרחש, בקלות יחסית, תהליך דומה בתחום הייצור של חומרי לחימה כימיים וביולוגיים. על האיום הכימי הקלאסי נוסף, כאמור, גם האיום הביולוגי בעקבות התפתחותה של הביוטכנולוגיה. הנדסת החלבונים, ההתססה ושיבוט גנים מאפשרים כיום לייצר חומרי לחימה במיגון רחב הרבה יותר. וירוסים ובקטריות במיוחד, ניתן לעשותם קטלניים יותר באמצעות שיטות ההנדסה הגנטית, ורעלנים רבים ניתנים כיום לייצור בכמויות גדולות. אף שהאמנה בנושא חומרי הלחימה הכימיים והביולוגיים משנת 1972 אוסרת את הפיתוח, הייצור והצבירה של רעלנים וחומרים ביולוגיים לשימוש עוינים, אין בה פירוט של הסוגים או הכמויות של החומרים האלה. יתר על כן, אמנה זו מתירה את המחקר, הייצור והשיפור של אותם חומרים למטרות מוצהרות של רפוי, הגנה ומטרות אזרחיות אחרות. מאחר שהאמנה אינה מדברת על אמצעים שבעזרתם יהיה ניתן לאמת את כוונות הפיתוח, יוצא שאותם חומרים המיוצרים בהיתר יכולים לשמש, בצורה גלויה או בהסתר, למטרות צבאיות. עובדת קיומו של איום כימי וביולוגי פעיל מול מציאות פוליטית של אמנה החשופה לפירושים רחבים וסותרים ואינה ניתנת לאימות, מחייב, איפוא, נקיטת עמדת התגוננות חזקה. העובדה שחומרי לחימה כימיים וביולוגיים אכן מופעלים בעימותים בינלאומיים חייבת גם היא להילקח בחשבון בעת הערכת האיום. באמצעי התיקשורת דווח בהרחבה על השימוש שעשה הצבא הסובייטי בנשק כימי באפגניסטן, הצבא העיראקי — במלחמתו עם אירן, וכן השימוש בנשק כימי באנגולה, וככל הנראה גם בלאוס ובקמבודיה. השימוש הזה בנשק כימי אומנם עורר מידה מסוימת של כעס בינלאומי אך מעט מאוד נעשה בפועל על מנת לעצור אותו. עובדה זו משתלבת במגמת העליה במספר המדינות המקיימות בידיהן את היכולת להפעיל נשק כימי וביולוגי, ושתי המגמות יחדיו מעידות על כך, שהאיום הכימי והביולוגי הולך ומתרחב.

אמצעי גילוי וזיהוי במדינות נאט"ו

במשך זמן רב ידעו מנתחי המצב בברית נאט"ו, שההגנה הטובה ביותר מבחינת עלות-יעילות כנגד התקפה כימית הממששת ובאה היא התראה מוקדמת. מערכת גילוי כלשהי, שתוכל לתת בידי המטרה המיועדת אפילו כמה דקות של התראה מוקדמת, לא תסולא בפז. עם זאת, הגילוי המהיר של חומרי לחימה קטלניים הינו רק חלק מהבעיה. עובדת גילויו של ענן הגז המתקדם לא תועיל הרבה אם היא לא תגיע בזמן אל החיילים. עיכוב של חצי דקה בהגעת המידע יכול לעשות

בשער המאמר — רכב סיור אב"ך, המצויד במערכת גילוי וזיהוי (גו"ז) מתוצרת "אלביט". המערכת, שפותחה עבור צה"ל, פועלת על עקרון הפוטומטריה של להבה, ומסוגלת לגלות ברציפות חל"ך עצבים מהקבוצות G ו-V וחל"כים גורמי כוויות.

בתמונות, למעלה — חייל בריטי, לבוש חליפת אב"ך תקנית, מציג את ערכת הגו"ז האישית שלו. למטה — מערכת גו"ז ניידת מתוצרת EMI, הקשורה למתקני התרעה.

חומרי לחימה כימיים

חומרי לחימה כימיים מסווגים בדרך כלל על פי השפעתם המיוחדת או המטרה שלשמה מפעילים אותם. על פי החלוקה הזו מדובר ב־5 קבוצות חל"ך עיקריות: חל"כים תוקפי מערכת העצבים; חל"כים גורמי כוויות; חל"כים מגרים; חל"כים שוללי כושר, וחל"כים גורמי חנק. להלן מספר פרטים על כל אחת מן הקבוצות.

חל"כים תוקפי מערכת העצבים

החל"כים בקבוצה זו הם הקטלניים ביותר, וקטלניותם נשמרת בין אם הם נשאפים ובין אם הם נספגים דרך העור. הם פועלים על הגוף בדרך של שיתוק מרכזי העצבים וגורמים בכך למוות בתוך דקות ספורות. נוסף על מהירות השפעתם הם יעילים ביותר גם בכמויות קטנות מאוד. מגע עם 1 מיליגרם של חל"ך עצבים VX מספיק כדי לגרום מוות.

את החל"כים בקבוצה זו נוהגים לחלק בחלוקת-משנה לשתי קבוצות — חל"כים מסוג G וחל"כים מסוג V. בקבוצה G נכללים החל"כים טבון, סרין וסומן (המצוינים בצבא ארה"ב כ־GA, GB ו־GD, בהתאמה) ובקבוצה V נכללים החל"ך VX ונגזרותיו, כגון VR-55 שהוא תוצאה של ערבוב VX עם סומן.

חל"כים גורמי כוויות

חל"כים מן הקבוצה הזו תוקפים את העור ואת הקרומים הריריים. הסוגים הנפוצים ביותר בקבוצה זו הם חרדל ולואיסיט. החרדל הוא נוזל שמנוני ירקרק-צהבהב, שהופעל לראשונה על-ידי הגרמנים בשנת 1917, ונגזרותיו הן תרכובות חנקניות שלו. החל"ך לואיסיט, שנטל את שמו מאיש הצבא האמריקאי שפיתח אותו בשנת 18–1917, גם הוא נוזל שמנוני, המתקבל מריאקציה בין אצטילן לבין כלוריד-אצטני.

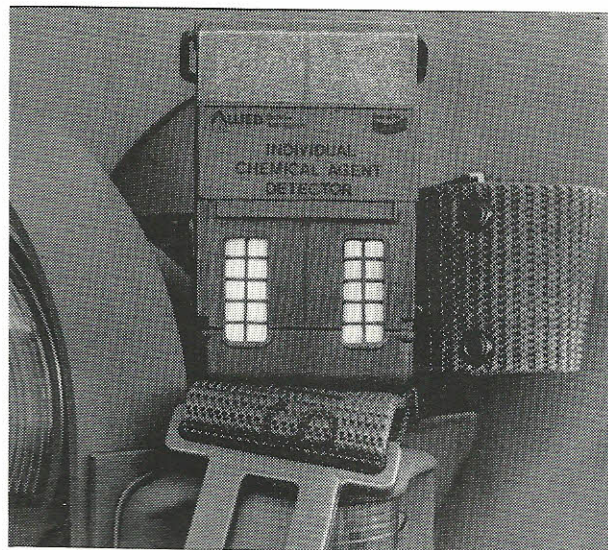
חל"כים מגרים

החל"כים בקבוצה זו אינם קטלניים, אך הם תוקפניים ביותר כנגד העיניים, העור ומערכת הנשימה. מבין הידועים ביותר שבהם ניתן למנות את החל"ך CS, המוכר בשם גז מדמיע, חל"ך CN, וחל"ך CR הגורם לעיטוש. החל"כים בקבוצה זו היו הראשונים שהופעלו בקרב. פגזי ארטילריה שהכילו את החומרים הללו שוגרו על-ידי הגרמנים בתחילת 1915.

חל"כים שוללי כושר

החל"כים בקבוצה זו פועלים בדרך של התערבות זמנית בתפקוד הרגיל של מערכת העצבים. החומרים הידועים ביותר בתכונה זו (לאו דווקא בהקשר השימוש הצבאי) הם B2 ו־LSD. לקבוצה זו מקובל לשייך גם את החל"ך

הקטלנית. זמן התגובה הכולל של המערכות הללו לנוכחותם של גזי עצבים מסוג GA, GB, GD ו־VX, הוא 2 שניות בקירוב.



בתמונות, למעלה — גלאי חל"ך אישי BxICAD, בשימוש צבא ארה"ב. הגלאי בנוי משני תאי חישה אלקטרוכימיים, ומסוגל לגלות חל"ך עצבים, כוויות, דם וחנק. למטה — משגוח-חל"ך נייד, בשימוש צבאות ארה"ב, בריטניה וקנדה, עוקב אחר נוכחות חל"ך עצבים וכוויות ובהתאם לכך מאשר קיום של התקפה כימית או מגדיר אזורים בטוחים.

DM וכן את הארסנים, הגורמים לבחילות ולהקאות, ובריכוזים גבוהים – אף לחנק. חל"כים אלה הוכנסו לשימוש לראשונה בשנת 1917 על ידי הגרמנים.

גזי חנק

זוהי קבוצת גזים קטלניים מאוד, הפועלים על מערכת הנשימה או ישירות על הדם. בקבוצה זו נכללים הגזים כלורין, פוסגין (בארה"ב – CG) ו-CX ונגזרות שלהם, כגון חומצה ציאנורית, ציאנוגן-כלוריד וכמה סוגי ארסנים.

מלבד החלוקה הנזכרת, תיתכן גם חלוקה לפי ההרכב הכימי של החל"כים. בסיווג הזה תהיה הבחנה בין תרכובות אָנאורגניות – כגון כלוריד פוסגין, חרדל ותרכובות ארסניות כגון לואיסיט – לבין תרכובות אורגניות על בסיס זרחני, כגון חל"ך-עצבים.

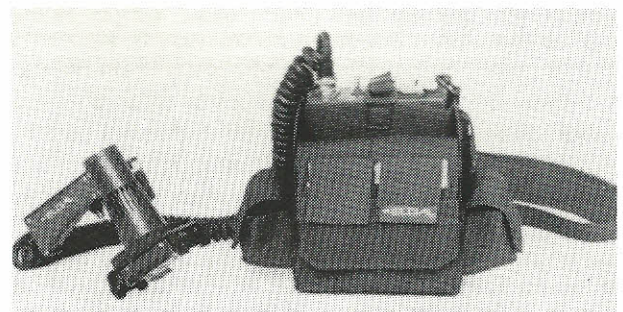
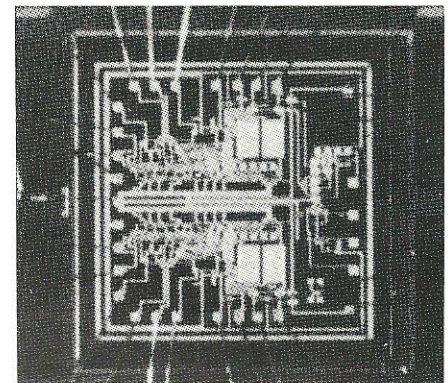
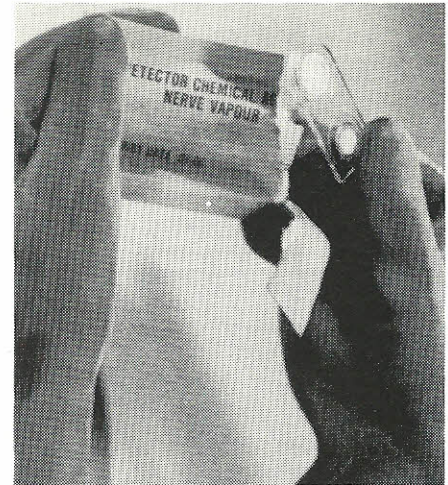
ועל גבי רכב, ואילו ציוד הגילוי האלקטרוכימי (כגון ICAD) הוא המתאים ביותר לשימוש אישי.

שיטת גילוי רביעית, המפותחת בצרפת ובארה"ב, היא שיטת הספקטרומטריה בקרני לזר. שלא כשיטות הגילוי הקיימות, המסוגלות לדגום אויר בקירבתן המיידית, ניתן, באמצעות טכניקות-לזר מתקדמות, לדגום גזי עצבים במרחק של כמה ק"מ מציוד הגילוי. עוד פיתוח צרפתי מבטיח הוא המערכת AP2C, המתבססת על שיטות אידי מדיקות מאוד כדי לזהות עקבות של תרכובות זרחן אורגניות שקודם לכן לא היו מסוגלים לגלותן.

כדי להתמודד עם הבעיה המורכבת של גילוי מוקדם, ניתן המימצאים והתראה מיידית, נוקטים במדינות נאט"ו בקר פעולה המבוססת על יצירת עודף של מערכות התראה בכל הרמות. ברמה האישית משתדלים לצייד מספר חיילים רב ככל האפשר בגלאים אישיים, הנמצאים כל הזמן במצב הפעלה והמגיבים על גילוי חל"ך בהתרעה קולית ברורה. כדי להגדיל את זמן ההתראה במרחב ההפעלה של החטיבה או הדיוויזיה, מתכוון צבא ארה"ב להשלים את מערך הגילוי האישי שלו, המבוסס על המערכת BXCAD, על-ידי הוספת מערכת חישנים מוכללת, שפותחה במשותף על-ידי הסוכנות לאנרגיה גרעינית בארה"ב ושתי חברות אמריקאיות. המערכת, שכנייה ANBACIS, מתוכננת למוג מיידית את המידע המתקבל ממגוון רחב של מקורות – החל במערכות גילוי באתרים קבועים, רכב סיור אב"ב, ומערכות גילוי מוטסות, וכלה במערכות מטאורולוגיות ניידות, מן הסוג המשמש את מערכות בקרת-האש של הארטילריה.

תוכנית-האב של צבא ארה"ב

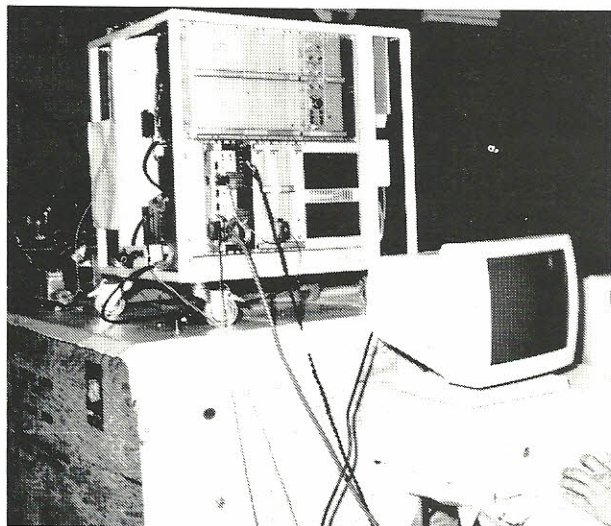
מהכרת האתגרים הכרוכים בהתגוננות מפני לוחמה כימית וביולוגית, ומראית נשוא הגילוי כנושא המוביל בתחום הזה, עיבד מרכז המחקר והפיתוח ההנדסי של צבא ארה"ב לנושא הלוחמה הכימית תוכנית-אב לנושאי הסיור הכימי, הגילוי והזיהוי. תוכנית זו משמשת כקו-מנחה להרכשת מערכות גילוי נקודתיות ומערכות לגילוי מרחוק, והיא מבוססת על צורכי המידע הנובעים משדה-הקרב ועל הטכנולוגיות שיוכלו לענות על הצרכים הללו.



בתמונות, למעלה – גלאי אדים של חל"ך-עצבים מתוצרת "אנכמיה", קנדה, בעת הוצאתו מהאריזה. במרכז – שבב סיליקון, האמור לשמש בסיס לגלאי חל"ך-עצבים שניתן יהיה לעונדו על היד. על השבב הזה אמורים למקם הן את מערכת עיבוד המידע והן את החישן הזעיר, המבוסס על טכנולוגיה של גל-שטח אקוסטי. למטה – מערכת IDENT, מתוצרת חברת "אלגל" בכרמיאל, המיועדת לגלות ולזהות חל"כים מקבוצות העצבים, הדם והכוויות.

כיום ישנן שלוש שיטות גילוי בסיסיות העונות על הדרישות. השיטות הן – גילוי באמצעות אנזימים, גילוי אלקטרוכימי, ויוניזציה יבשה. לכל שיטה, יתרונות וחסרונות משלה. שיטת היוניזציה היבשה היא, קרוב לוודאי, שיטת הגילוי הרגישה ביותר מבין השלוש, ולעומת זאת שיטת הגילוי האלקטרוכימית מאפשרת לבנות את הגלאים המבוססים עליה קטנים וקלים יותר מן האחרים. לפיכך, ציוד הגילוי המבוסס על שיטת היוניזציה היבשה (כגון M43A1, המיוצר בגרמניה המערבית), הוא המתאים ביותר להצבה באתרים מרוחקים.

כימיות אופייניות, ואלה מזוהות לאחר מכן על-ידי השוואתן עם בסיס מידע רחב של חתימות כימיות מוכרות. ספקטרומטריה מסות האמריקאי – בשל כושר הגילוי שלו, הטוב בהרבה, ובשל ממדיו הקטנים הרבה יותר – מיועד להחליף את מקבילו הגרמני, המופעל כיום מעל גבי רכב הסויר "פוקס". בהשוואה למכשיר הגרמני, המסוגל לגלות חומרים כימיים בלבד, מגלה הספקטרומטר החדש לא רק כימיקלים אלא גם חומרים ביולוגיים, רעלנים ופולימרים. הוא מסוגל



לזהות למעלה מ-120,000 תרכובות שונות ברמת ברירות גבוהה בהרבה, ולגלות בתוך 15 שניות נוכחות של חומר מאיים כלשהו – לעומת דקה בספקטרומטר הגרמני. תהליך זיהוי של החומר וקביעת ריכוזו מתרחשים בתוך 2 דקות. מבחינת הממדים והמשקל, מדובר על מכשיר שיתפוס נפח קטן מאוד ושמשקלו יגיע ל-18 ק"ג בלבד – פי כמה פחות מן המכשיר הגרמני. הספקטרומטר החדש גם יבצע בעצמו כיוונונים וכיולים וגם יבדוק את עצמו. דגם ראשון של המכשיר החדש נמסר לצבא ארה"ב לפני כשנתיים.

הגלאי הביוכימי

האתגר, שאולי הוא הגדול באתגרים שבתחום גילוי חומרי לחימה, הוא היכולת לפתח גלאי אוטומטי קל משקל במיוחד, שיוכל לדגום, לגלות ולסווג חומרי לחימה כימיים וביולוגיים באויר ועל פני השטח, ושניתן יהיה לעדכן עם הזמן בשינויים המתחייבים מהתקדמות הטכנולוגיה ומהשתנות האיומים. הגלאי שעליו מצביעה תוכנית-האב של צבא ארה"ב כמתאים ביותר לדרישות האלה הוא הגלאי הביוכימי, שבפיתוחו עוסק כעת מרכז המר"פ לנושא הגילוי בצבא ארה"ב. מיני-גלאי מודולרי זה, שכאשר תושלם בנייתו יתפוס נפח של $28 \times 28 \times 28$ ס"מ ומשקלו יגיע ל-4.5 ק"ג, מיועד בעיקרו לשמש כמכשיר התרעה טקטי. הוא יוכל לבצע, אוטומטית, דגימות אויר במשך יותר מ-24 שעות ברציפות, ויכל לגלות מיגוון רחב של חומרים כימיים וביולוגיים ויתריע על כך קולית וחזותית, תוך ציון דרגת החומר וריכוזו. שלושה סוגים של חישנים זעירים ישולבו בגלאי הביוכימי – חישן אלקטרואופטי, חישן סיליקון מאופנן-אר, וחישן אלקטרוכימי. באמצעות שלושת החישנים הללו יחדיו, יוכל

תוכנית-האב מציינת כנקודות-מטרה שלוש מערכות גילוי – ספקטרומטר-מסות לחומרים כימיים וביולוגיים, מערכת גילוי ביוכימית, ומערכת לגילוי מרחוק על בסיס מכ"ם-ליזר. פעילות המחקר והפיתוח בשלוש הטכנולוגיות האלה מתקיימת בעת ובעונה אחת, משום שאין טכנולוגיה אחת מתוך השלושה היכולה, לבדה, לענות על הביצועים הנדרשים בכל מיתארי הלחימה. לכל אחת מהטכנולוגיות האמורות ישנה היכולת המיוחדת הטבועה בה. ספקטרומטר-המסות, לדוגמה, נמצא ככלי החשוב ביותר לזיהוי מדויק של חומרים ידועים ולא ידועים. ניתן לקבל ממנו איפיון מיוחד במינו של חומרי לחימה כימיים וביולוגיים וגם של רעלנים אחרים שאינם משמשים כיום כחומרי-לחימה אך עלולים להימצא בשדה הקרב. הגלאי הביוכימי, לעומת זאת, המבוסס על חישן זעיר, הוא הגלאי הנוח ביותר למיזעור, ומכאן – גם המתאים ביותר לשימוש אישי. לעומת שתי הטכנולוגיות האלה, הטכנולוגיה של מכ"ם ליזר היא המבטיחה ביותר לנושא הגילוי מרחוק, בשל יכולתה לצפות ולסרוק קדימה. שלוש הטכנולוגיות האלה יחד, כך מקווים, יוכלו לספק את צורכי המידע הכימי והביולוגי בשדה הקרב.

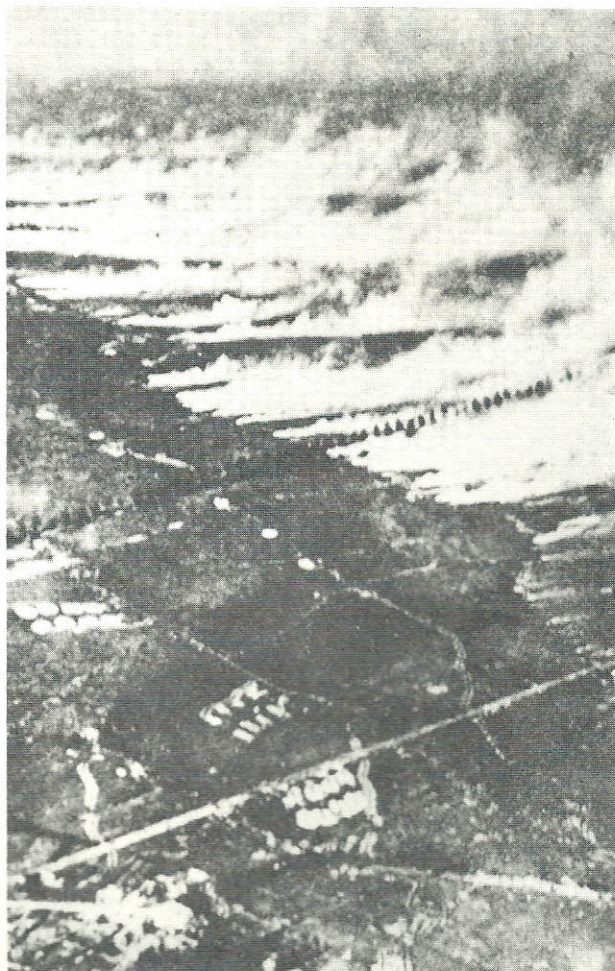
ספקטרומטר-המסות

בתוכנית-האב של צבא ארה"ב לנושא הגילוי והזיהוי של חומרי לחימה כימיים וביולוגיים, מזוהה ספקטרומטר-המסות¹ כמערכת הגילוי של הדור הבא, הנישאת על גבי רכב סויר, המותקנת באתרים קבועים ואף המותאמת לנשיאה על-ידי החייל בפעולות רגליות. מערכת זו, הנמצאת כעת בשלבי פיתוח, מתוכננת לגלות, לזהות ולקבוע ריכוזים של חומרי-לחימה כימיים וביולוגיים הנמצאים באויר בצורת אדים, תרסיס או טיפות נוזל, ומתוכננת לפעול ללא השגחה במשך 24 עד 72 שעות.

כדי לפתח ולשלב את המרכיבים השונים של ספקטרומטר-המסות – בכלל זה, המרכיבים המטפלים בהרכשת הדגימה והטיפול המקדים בה, היינון והאנליזה של המסה הנבדקת, הגילוי באמצעות יונים, עיבוד האותות והצגת המידע על המירקע, נקטו המפתחים בגישת המערכת, וריכוז את הפונקציות השונות בשלושה מודולים – מודול איסוף ודגימה, מודול אנליזה המסה ומודול המחשב. בניה מודולרית זו תאפשר בעתיד לעדכן את המערכת הן בחידושי הטכנולוגיה, והן בשינויים שיחולו בטיבו של האיום הכימי והביולוגי.

ספקטרומטר-המסות מזהה חומרים כימיים בקלות ובמהירות. לעומת זאת, רוב הספקטרומטרים המקובלים מתקשים לזהות חומרים ביולוגיים, מפני שמשקלם המולקולרי של החומרים האלה חורג בדרך כלל מטווח המשקל המולקולרי שהם מודדים. כדי שספקטרומטר-המסות יוכל לזהות את החומר הביולוגי, צריך לפרק עבורו את החומר לתרכובות שהוא מכיר, ואת זאת יכול לעשות ספקטרומטר מיוחד המבצע פירולייזה (הפרדת חומרים אורגניים על-ידי חום גבוה). בתום תהליך ההפרדה, מתקבלות תרכובות הנושאות חתימות

¹ ספקטרומטר-מסות – מכשיר בסיסי בפיסיקה אטומית המשמש להפרדת חלקיקים טעונים בעלי מסות שונות, ואת לשם קביעת שכיחותם באלומת חלקיקים ולחקירת תכונותיהם. בעיקרון, המכשיר מורכב ממקרר יונים (יונים – אטום או קבוצת אטומים בעלי מטען חשמלי עודף, שלילי או חיובי). היונים מועברים דרך שדה מגנטי וחשמלי ובו הם מופרדים בהתאם למסה שלהם.



בתמונה — צבאות בנות הברית גומלות לגרמנים בהתקפת גז במלחמת העולם הראשונה. כיום, באמצעות מערכות גילוי וזיהוי על בסיס מכ"ס-ליזר, ניתן לגלות את ענני הגז המתקדמים ממרחק של כמה ק"מ.

CO₂ בעלי עירור רוחבי, מקלט אופטי, וכן ציוד בקרה, וציוד לעיבוד מידע ולאיתחון תקלות. המערכת המקבילה לשימוש אוירי נועדה לפעול מתוך מטוס דו-מנועי. שתי המערכות עברו ניסויים מקיפים בשטחי הניסויים בדגווי, ארה"ב, ושתיהן הצליחו לגלות ענני כימיקלים עד למרחק של 7 ק"מ ממקור תפוצת הענן.

עד כה דיברנו על מכ"ס-ליזר הקורנים באור תת-אדום ומסוגלים לגלות חומרי לחימה כימיים. את בעיית חומרי הלחימה הביולוגיים מתכוונים לפתור על-ידי פיתוח מכ"ס-ליזר הקורנים באור על-סגול. שני סוגי המכ"ס האלה יחד יתנו את הפיתרון המלא לנושא הגילוי מרחוק של חומרי לחימה בשדה הקרב. ■

מקורות:

1. Chemical Detection Systems — Now and Tomorrow/Military Technology 3/89.
2. New-Detection Approaches for Chemical and Biological Defence /Army R.D. & A Bulletin, Jan.-Feb. 89.

הגלאי הביוכימי לגלות חל"כים מקבוצות העצבים והכוויות, גורמי מחלות ורעלנים. החישן האלקטרואופטי, למעשה, הוא מוט קוורץ דק המצופה אנזימים, נוגדנים, או מולקולות-קולטן ביולוגיות, המיוחדות לסוגים או לקבוצות מסוימות של חומרי לחימה. כאשר חומר הלחימה בא במגע עם המוט, הוא גורם לנגיחת אור תואם מפני שטחו. האור הזה חודר מרחק קצר לתוך דגימת האויר שנלקחה על-ידי הגלאי ומעורר את מקורות נגיחת האור שבה. שדה העירור, שגודלו 10^{-4} מ"מ, מאפשר ליצור הפרדה יעילה בין האטומים הנוהרים הקשורים למשטח לבין אלה הנמצאים באופן חופשי בתמיסה, והפרדה זו מאפשרת מדידה אנליטית של החומר הנדגם בכמויות של 10^{-12} של הגרם. חישן הסיליקון מאופנן-האור מכיל שבב סיליקון, המצופה בשכבת תחמוצת של סיליקון חנקני, וכן דיודה הפולטת אור תת-אדום. העברת זרם חילופין דרך הדיודה גורמת ליצירת זרם חשמלורי התלוי בפוטנציאל הכימי של שכבת התחמוצת. כאשר חומר לחימה בא במגע עם שכבה זו, הוא גורם לשינויים ברמת ה-PH שלה, ושינויים אלה משתקפים במישרת הזרם החשמלורי של הדיודה. ניתן כמובן לשנות את הרכב שכבת הציפוי של השבב כדי לגלות סוגים שונים של חומרי לחימה כימיים וביולוגיים. החישן האלקטרוכימי מכיל מד-זרם וולטה, הנמצא בתוך תא אלקטרוכימי, ופעולת הגילוי שלו מתבססת על כימיון אלקטרוכימי ישיר של החומר הנדגם. גלאי זה מתאים לגילוי חל"כים גורמי כוויות, כגון חרדל ולואיסיט. שלוש טכנולוגיות הגילוי האלה ואחרות יוצרות את הבסיס לפעולתו של הגלאי הביוכימי, ויחדיו הן מבטיחות את היכולת לגלות באמצעותו חומרי לחימה מכל סוג שהוא בשדה הקרב.

גילוי מרחוק על-ידי מכ"ס-ליזר

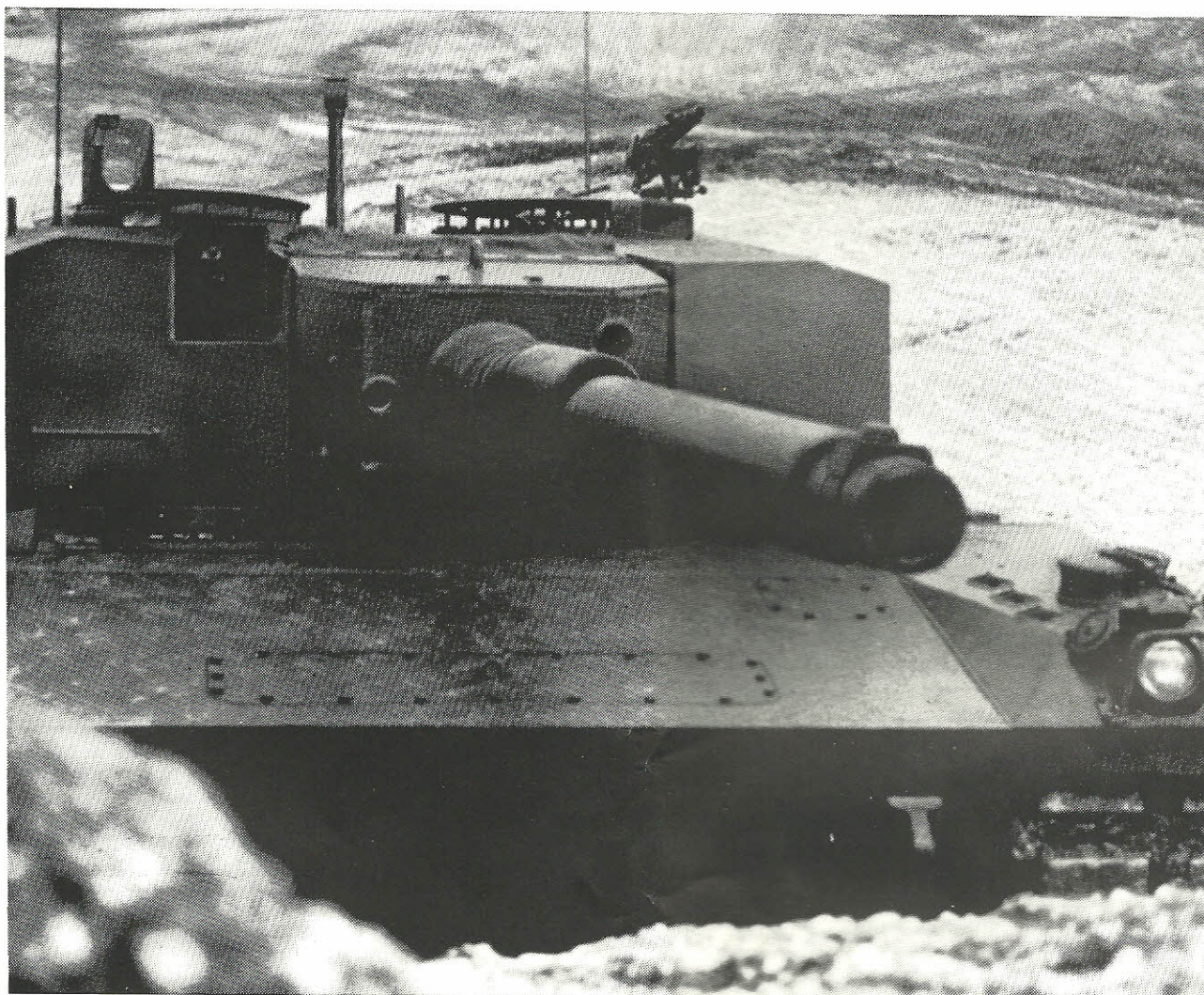
היכולת לגלות חומרי לחימה מרחוק היא יכולת חיונית לאתרי גילוי קבועים ולאמצעי סיור ביבשה ובאוויר. האמצעי שעליו מצביעה תוכנית-האב של צבא ארה"ב כבעל מירב הפוטנציאל לממש יכולת זו הוא מכ"ס-ליזר. בתוכנית מוזכרים שני סוגים של מכ"ס ליזר — מכ"ס פיזור דיפרנציאלי, לגילוי חל"ך בצורת תרסיס וטיפות, ומכ"ס ספיחה דיפרנציאלי — לגילוי אדי חל"ך.

מכ"ס-ליזר המשמשים לגילוי חומרי לחימה כימיים הם מכ"סים הקורנים באור תת-אדום. ליזרים אלה מפרשים את המידע שהם קולטים בכמה דרכים, ואחת מהן היא על פי ההחזרים הטופוגרפיים. קרינת הליזר משודרת בכמה תדרים, והגילוי מתבסס על ההחזר הטופוגרפי של כל תדר. אם אכן קיימים עננים כימיים, הם יספגו קרינות בתדרים מסוימים, ועל פי הספיגה האופיינית הזו ניתן לגלות את סוג החל"ך, ריכוזו ואורך הנתב שבו הוא מתקדם. מכ"ס-ליזר המיועדים לגלות חל"ך בצורת תרסיס הם מכ"סים בעלי עוצמה רבה יותר. לאחר שידור הקרינה התת-אדומה בתדרים שונים, מתקבלים החזרים שונים. כל החזר מאופיין על-ידי שער-הזמן שלו, ומכאן ניתן לקבוע טווח, ריכוזים וכו'. מכ"ס-ליזר המיועדים לגלות חל"ך בצורת טיפות באוויר או על פני השטח פועלים בצורה דומה, דהיינו — הגילוי מבוסס על התדירויות המיוחדות שבהן חוזרת הקרינה אל הגלאי.

באשר לפעילות שנעשתה כבר בתחום הזה בארה"ב, נציין שעוד בשנת 1985 נבנו שני דגמים של מכ"ס-ליזר לגילוי חל"ך — דגם קרקעי ודגם אוירי. הדגם הקרקעי כלל שני משדרי ליזר

חימוש עיקרי לטנקי- לחימה – כיום ובעתיד

האם התותח המבוסס על הודף נוזלי או התותח האלקטרומגנטי נמצאים באופק?



בטנקי הלחימה הבולטים כיום במערב מותקן תותח בקוטר 120 מ"מ. זהו תותח בעל ביצועים גבוהים, המשמש מענה יעיל לשריון של היום ויש לו פוטנציאל לעשות זאת גם בשנים הבאות. יחד עם זאת, מאחר שגם תחום הגנת השריון מתפתח ומציב שוב ושוב את משוכותיו כנגד החימוש העיקרי, נדרש מן הצבאות השונים להכין בעוד מועד מענה הולם לו, והם אכן עושים זאת. המאמר סוקר את תמונת המצב כיום בתחום החימוש העיקרי של הטנקים ומפרט את האפשרויות השונות להעלות את רמת הביצועים בתחום הזה, בעיקר מבחינת מערכת הנשק.

החימוש העיקרי כיום

כל טנקי הלחימה הקיימים כיום חמושים בקנה-התותח המקובל, במיגוון קליברים רחב. במונח מקובל אנו מתכוונים לקנה בעל קדח – מחורק או חלק – שמתוכו נורים קליעים בעלי מסלול תעופה בליסטי. התחמושת יכולה להיות אחודה – כלומר הקליע והחומר ההודף מהווים יחידה אחת (ההודף בתוך התרמיל), או לא אחודה – הקליע והחומר ההודף הם יחידות נפרדות. טכנולוגית כלי הנשק בעשורים האחרונים הגיבה על ההתקדמות בטכנולוגית השיריון בהגדלת הקליבר של תותח-הטנק. במערב בא הדבר לידי ביטוי במעבר מקליבר 90 מ"מ לקליבר 105 מ"מ ולקליבר 120 מ"מ (הן מחורק-קדח והן חלק-קדח), ובמזרח – מעבר מקליבר 100 מ"מ לקליבר 115 מ"מ ולקליבר 125 מ"מ (שניהם חלקי-קדח). הצבא הבריטי היה יוצא-דופן במערב, בזה שכבר לפני יותר מעשרים שנה צייד את טנק-הלחימה שלו ציפטיין בקנה-תותח בקליבר 120 מ"מ (מחורק-קדח).

בטנקי הלחימה העיקריים של צבאות המערב בולט כיום השימוש בתותח חלקי-הקדח בקליבר 120 מ"מ, והכוונה היא בעיקר לתותח מתוצרת המפעל הגרמני "ריימטל". תותח זה, שהוכנס לשימוש בראשונה בטנק המערבי-גרמני ליאופרד-2 והתפרסם בביצועיו המעולים, אומץ על-ידי צבא ארה"ב בטנק M1A1 ונמצא בשימוש גם בצבאות שווייץ והולנד מאז שהמדינות הללו החליטו לרכוש את הטנק המערבי-גרמני. תותח חלקי-קדח בקליבר 120 מ"מ מיועד לשמש כחימוש עיקרי גם בטנק הלחימה העתידי של צבא צרפת, "לוקלר", אם כי כאן מדובר בתותח מתוצרת מקומית (GIAT).

לצידו של התותח בקליבר 120 מ"מ, המאפיין את טנקי הלחימה המערביים מן השורה הראשונה, ניצב התותח מחורק-הקדח בקליבר 105 מ"מ. תותח זה, שפותח על-ידי הבריטים, נהנה עדיין מן התפוצה הגדולה ביותר במערב כחימוש עיקרי לרק"ם, במיוחד בטנקי M48 ו-M60, ליאופרד-1 וצנטוריון. תותח מחורק-קדח בקליבר 105 מ"מ משמש גם כחימוש העיקרי בטנק הלחימה הנוכחי של צבא צרפת, AMX30B2. החימוש העיקרי של טנק הלחימה משפיע במידה ניכרת על התכנון הכולל של הטנק, כפי שממחיש זאת המעבר לקליבר גדול יותר. עם העליה בקליבר, גדלים ממדי התותח ומשקלו ובעקבותיהם גדלים ממדי הצריח ומשקלו – במיוחד ביחס לצריחים הבנויים על פי התפישות המקובלות – ואלה משפיעים כמובן על התובנה, לפחות במה שקשור למתלה ולמערכת האוטומוטיבית. הגידול בממדי התחמושת ובמשקלה משפיעים גם הם על התכנון הכולל, ובאופן מיוחד על תפקידו של המפעיל. באומדן גס, כל הגדלה של קליבר התותח גורמת להגדלת משקל התחמושת בגורם 3. כך לדוגמה, המעבר מקליבר 105 מ"מ לקליבר 120 מ"מ (גידול של 15 מ"מ) יגרום לעליה של 50% בקירוב במשקל התחמושת – בהנחה שהתחמושת בקליבר המוגדל הינה אחודה – ולקבלת כדור שמשקלו כ-30 ק"ג. כדור בקליבר גדול יותר עשוי להיות גם ארוך יותר ולגרום לקשיים בטעינתו בתוך הצריחים הדחוסים של ימינו. את הבעייה הזאת ניתן לפתור, לדוגמה, על-ידי פיצול הכדור לשני מרכיבים נפרדים – קליע מזה וחומר הודף מזה. בצורה זו ניתן לצמצם בצורה חדה את המשקל והנפח של כל מרכיב, התחמושת נעשית נוחה לאיכסון, ומה שחשוב יותר – ניתן לאכסן את ההודפים באזורים המוגנים יותר של תא הלחימה. ואולם, יש גם כמה

חסרונות: כל ירי מחייב טעינה של שני מרכיבים, עובדה הגורמת להאטת תהליך הירי ולהגדלת זמן התגובה של הטנק; קשה לפרוק את התחמושת מן התותח; קיימת אפשרות של החלפת סדר ההכנסה של ההודפים והקליע לקנה; קיימת השפעה שלילית על הלוגיסטיקה של התחמושת בכל מה שכתוב בארגון המחסנים, הובלת התחמושת והזמן הנדרש לחידוש מלאי התחמושת של הטנק; ולבסוף – התחמושת הלא-אחודה פחות מתאימה למערכת הטעינה האוטומטית מאשר התחמושת האחודה.

אפשרות אחרת להקטין את תוספת המשקל הנובעת מהגדלת



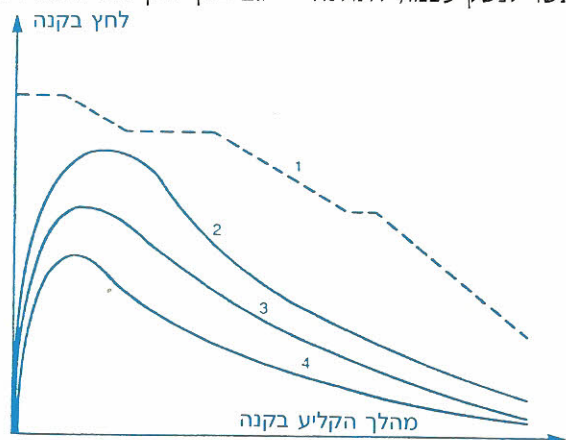
בתמונה – משגר-מסילה אלקטרו-מגנטי שפותח על-ידי ג'נרל אלקטריק. המשגר מורכב משני פסי-פלדה מצופי-נחושת, שביניהם מחליק הקליע. הזרם העובר דרך פס אחד ממשיך דרך עוגן מוליך בבסיס הקליע ומגיע אל הפס השני. הזרם הזורם במעגל זה יוצר שדה מגנטי, המגיב עם הזרם העובר דרך העוגן וגורם להאצת הקליע.

הקליבר, היא להשתמש בתחמושת אחודה שהתרמיל שלה עשוי מחומר מתפלג או מתכלה-למחצה. במקרה של שימוש בתרמיל מתכלה, יש לדאוג למערכת אטימה מיוחדת בסדן, ובמקרה של התרמיל המתכלה-למחצה, בסיס התרמיל יוצר את האטימה הדרושה. שני סוגי התרמילים הללו, מלבד יתרון המשקל שלהם, הינם פחות רגישים מתרמילי המתכת לחירירת רסיסים, והם תורמים להקטנת כמות הגזים המצטברים בתא-הלחימה לאחר הירי, בהיעדר תרמילי המתכת הגדולים. כנגד זאת, יציבותם המכנית של התרמילים הינה נמוכה והדבר אמור במיוחד על התחמושת עם התרמיל המתכלה.

התחמושת הלא-אחודה והתחמושת בעלת התרמיל המתכלה/מתכלה-למחצה אכן נבחנו כפתרונות לבעיות

הטוב ביותר לעניין הזה יכול להיות חימום התחמושת קודם הכנסתה לטנק, ואולם אז מדובר בחימום מחסני תחמושת, שהוצאות לחימום הן עצומות. האפשרות השניה, היא לפתח חומר הודף שתהליך התפתחות לחץ הגזים ממנו יהיה ברובו בלתי-תלוי בטמפרטורה. במקרה זה, לחץ הגזים צריך להיות קרוב לערך שהוגדר כערך המקסימלי שהקנה יכול לעמוד בו, והתנאי הבסיסי הוא, שאותו חומר הודף יוכל לייצר את הלחץ האמור בלא שנצטרך להגדיל את מסתו.

ובאשר לנשק עצמו, לתותח – גם כאן ישנן שתי אפשרויות



בציור – עקומי לחץ הגזים בקנה במהלך הירי, בטמפרטורות הודף שונות: 1 – עקום הלחץ המרבי מבחינת תכנון הקנה; 2 – עקום לחץ בטמפרטורת הודף הגבוהה ביותר; 3 – בטמפרטורת הודף בינונית; 4 – בטמפרטורת הודף הנמוכה ביותר.

להגדיל את אנרגיית הקליע. האפשרות האחת היא להאריך את מסלול התנועה של הקליע בתוך הקנה על-ידי התקנת קנה ארוך יותר. האפשרות הזו באה בחשבון אם אין הרק"ם הנוגע נדרש להיות בעל ביצועים מקסימליים בתחום ייצוב התותח ובתחום נידודת הטנק, או כאשר התותח קצר יחסית. לדוגמה, הקנה בקליבר 105 מ"מ של הליאופרד-1 והקנה בקליבר 120 מ"מ של הליאופרד-2 הינם קצרים יחסית, ועל כן האפשרות הזו של הארכת הקנה קיימת לגביהם. מכל מקום, אם מתקנים קנה ארוך יותר, צריך לעדכן את מערכת בקרת-האש של הטנק בנתוני הבליסטיקה החיצונית החדשים, וככל הנראה גם להכניס שינויים במערכת ייצוב התותח, וכן יש להביא בחשבון את הגידול בעומס על מערכת הרתיעה.

האפשרות השניה מתחום התותח היא, כמובן, הגדלת הקליבר – ומכאן הגדלת השטח היעיל של הקנה שעל פניו פועל לחץ הגזים. הדוגמאות למימוש האפשרות הזו הן רבות: נזכיר, לדוגמה, את הפטון M48, שתותחו המקורי, בקליבר 90 מ"מ, הוחלף בקנה 105 מ"מ, ואת הטנק M1, שתותחו המקורי, בקליבר 105 מ"מ, הוחלף בקנה 120 מ"מ. ראוי להזכיר כאן, שהשיפור בביצועים בעקבות המעבר לקנה בעל קליבר גדול יותר בא לידי ביטוי לא רק בהשפעה של התחמושת הקינטית (ח"ש), אלא גם בהשפעה של התחמושת בעלת המטען הצורתי (חלול), הואיל ונתאפשר שימוש במטען צורתי גדול יותר.

פיתוח תותח חדש

כאשר האפשרויות שהוזכרו עד כה כדרכים להגדלת הביצועים של תותחים קיימים אינן מספיקות, מתעורר הצורך לפתח

הנובעות מהגדלת הקליבר ומומשו בצורות שונות. הבריטים, לדוגמה, עברו לתחמושת לא-אחודה עבור התותח בקליבר 120 מ"מ ונוסף על כך השתמשו באריזה מתכלה עבור החומר ההודף (בדומה לאריות ההודפים בארטילריה). גם הסובייטים עברו לתחמושת לא-אחודה עבור התותח בקליבר 125 מ"מ (בטנקי T64 ו-T72), ואולם אריות ההודף הינה מתכלה-למחצה, והטעינה מתבצעת באמצעות מטען אוטומטי. לעומת זאת, הצבא המערבי-גרמני, עבור התותח בקליבר 120 מ"מ של הליאופרד-2, בחר בתחמושת אחודה בעלת תרמיל מתכלה-למחצה. הפיתרון הזה מאפשר לשמור על משקל ואורך תחמושת הקרובים לאלה של הכדור בקליבר 105 מ"מ של הליאופרד-1, ובזה הוא עושה את הכדור החדש מספיק נוח לניטול.

הגדלת עוצמת האש בטנקים הנוכחיים

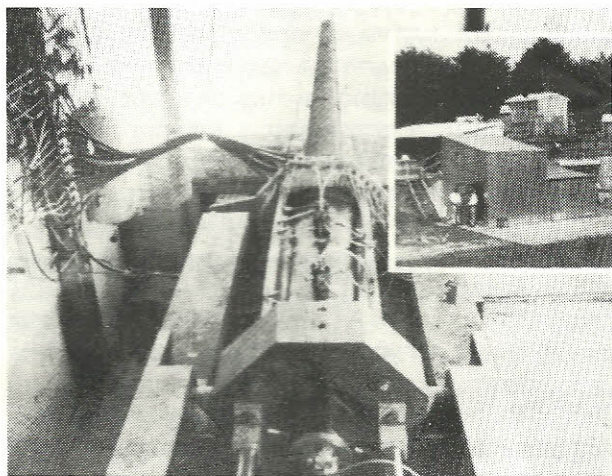
שני הסוגים העיקריים של תחמושת טנקים כיום הם הכדור ה"חלול", או כדור מטען צורתי, החודר את מטרת השיריון בכוח אנרגיה כימית של חומר-נפץ, וכדור ח"ש, החודר את המטרה בכוח אנרגיה קינטית של חודקן קשיח. יעילותו של הכדור החלול ניתנת להגברה על-ידי שימוש בחומר-נפץ בעל ביצועים גבוהים יותר, או על-ידי עיצוב שונה של המטען (נתעלם לרגע מן האפשרות הנוספת – הגדלת קוטר המטען, המותנית בהגדלת קליבר התותח). כלומר, בתחום הקליבר המסויים, אין לתותח מה לתרום לשיפור יעילותו של הכדור החלול.

במקרה של התחמושת הקינטית המצב שונה לגמרי. יעילותה של התחמושת הזו תלויה בחומר שממנו עשוי החודקן הקשיח ובמסה שלו, בגאומטריה ובעיצוב של החודקן ושל הקליע בכללו, ובכמות האנרגיה הקינטית שהחודקן מעביר למטרה בעת הפגיעה. שני הפרמטרים הראשונים – חומר ומסה, גאומטריה ועיצוב – הם פרמטרים של הכדור לבדו ואילו הפרמטר השלישי – אנרגיה קינטית – מושפע הן מן המסה של החודקן והן מן המהירות הסופית שמקנה התותח לחודקן. האנרגיה הקינטית של החודקן ברגע הפגיעה היא ההפרש בין האנרגיה הקינטית שלו בעת היציאה מלוע התותח לבין האנרגיה הקינטית של המינעל וגזי שריפת ההודף (שגם הם מואצים) ולבין האנרגיה הקינטית שהפסיד החודקן במהלך תעופתו כתוצאה מהתנגדות האוויר. מכאן, שאם רוצים להגדיל את ממדי הנזק במטרה ויחד עם זאת לשמור על נתוני הקליע, חייבים להגדיל את האנרגיה הקינטית ההתחלתית כלומר את זו המוקנית לקליע ביציאה מלוע התותח. מהן איפוא, האפשרויות להגדיל את האנרגיה המוקנית לקליע?

במה שנוגע לחומר ההודף, קיימות שתי אפשרויות: האפשרות הראשונה היא ליצור את התנאים שבהם טמפרטורת ההודף, לפני הצתתו, תהיה הגבוהה ביותר שאפשר, שכן ככל שטמפרטורת ההודף גבוהה יותר, הלחץ שהוא יוצר עם שריפתו גדול יותר (ראה תרשים). התנאי הבסיסי להשגת המטרה הזאת הוא קיומו של תא-תחמושת אטום בטנק וכמובן הוספת מערכת חימום עבור מסת תחמושת של 1000 ק"ג בקירוב. מדובר, אם כן, לא רק בתוספת נפח ומשקל לטנק, אלא גם בתוספת נכבדת של אנרגיה, שכן מערכת החימום הנזכרת תצטרך לפעול כל הזמן. הפיתרון

טנקים, יש כמה יתרונות על פני ההודפים המוצקים הנמצאים כיום בשימוש. היתרון הראשון הוא יתרון האיחסון והניידות של ההודף בתוך הטנק – הנובע מעצם עובדת היותו נוזל – וצימצום הנפח הנדרש כיום לתחמושת כפועל יוצא מכך. היתרון השני הוא היכולת להגיע לצפיפות טעינה של הודף בקנה הגבוהה יותר מזו של הודף מוצק, וכשמדובר על מסה מסוימת, ההודף הנוזלי אנרגטי יותר מהודף מוצק בלמעלה מ-30%. למקצת הודפים נוזליים יש טמפרטורת שריפה נמוכה, עובדה שיש לה השפעה חיובית מבחינת בלאי הקנה. ולבסוף, ההודפים הנוזליים אמורים גם להיות פשוטים וזולים יותר לייצור.

השימוש בהודף נוזלי בטנק לחימה מבוסס מראש על ההנחה שמדובר בתכנון חדש לגמרי של התותח או, לפחות, של הסדר. על פי התכנונים הללו, ישנן כיום שתי שיטות הזנה שונות המוכיחות עצמן כניתנות למימוש – שיטת ההזנה, שניתן לכנותה "רגילה", ושיטת ההזרקה הרגנטטיבית (בתמונה). בשיטת ההזנה הרגילה כל מנת ההודף הדרושה נדחסת לתא-שריפה מאחורי הפגז ושם היא מוצתת, ואילו בשיטת



בתמונה – מערכת נסיונית של תותח 105 מ"מ המבוסס על הודפים נוזליים בשיטת ההזרקה הרגנטטיבית. בקצה הימני – אתר הניסויים בארה"ב.

ההזרקה הרגנטטיבית, בוכנה דיפרנציאלית מזריקה את ההודף (או ההודפים) לתא-השריפה תוך כדי תנועת הפגז בקנה. על-ידי תכנון מתאים ניתן להגיע בשיטה הזו לערכי לחץ הקרובים לערך הגבולי שהקנה יכול לעמוד בו, והתוצאה היא, כמובן, מהירות-לוע גבוהה יותר באותו קנה, או לחילופין, היכולת להשתמש בקנה קל יותר עבור מהירות-לוע נתונה, בהנחה שלחץ הגזים מתפשט בקנה במידה שווה. הודף מוצק, לעומת זאת, מן הרגע שהוא הופך לגז, לחצו מתחיל לרדת במידה ניכרת מפני שהנפח היעיל שלאורכו הוא מתפשט הולך וגדל עם התקדמות הקליע בקנה. כיום, עדיין לא ידוע על מערכת הזרקה רגנטטיבית הפועלת בהצלחה בטנק לחימה, ואולם ההיתכנות הבסיסית של מערכת כזו הוכחה כבר בכמה קליברים שונים.

מעבר ליתרונות הבסיסיים על פני הודפים מוצקים, יש להודפים הנוזליים גם כמה יתרונות מבחינת התפישה הכוללת של טנק-לחימה: תכנון מערכת הטעינה האוטומטית עבור הקליעים נעשה פשוט בהרבה בהשוואה לדרשות התכנון עבור תחמושת אחודה או נפרדת, שכן מדובר במערכת

תותח חדש לטנק. אם התותח הזה מפותח עבור רק"ם חדש, עומדות בפני המתכננים אפשרויות גדולות בהרבה מאלו הקיימות במקרה של רק"ם קיים, משום שאין הם צריכים להביא בחשבון איזשהו נתון ראשוני המגביל אותם הגבלה ברורה בהמשך תהליך התכנון. על כן, פיתוח כזה ניתן להתאמה מלאה לביצועים הנדרשים. ולא רק זאת, כל פיתוח של תותח חדש צריך שיהיה בו מרחב מספיק להגדלת הביצועים בעתיד (על בסיס אותו תותח), כדי להימנע מן הצורך לפתח תותח חדש בכל פעם שיתעורר צורך מבצעי להגדיל את הביצועים.

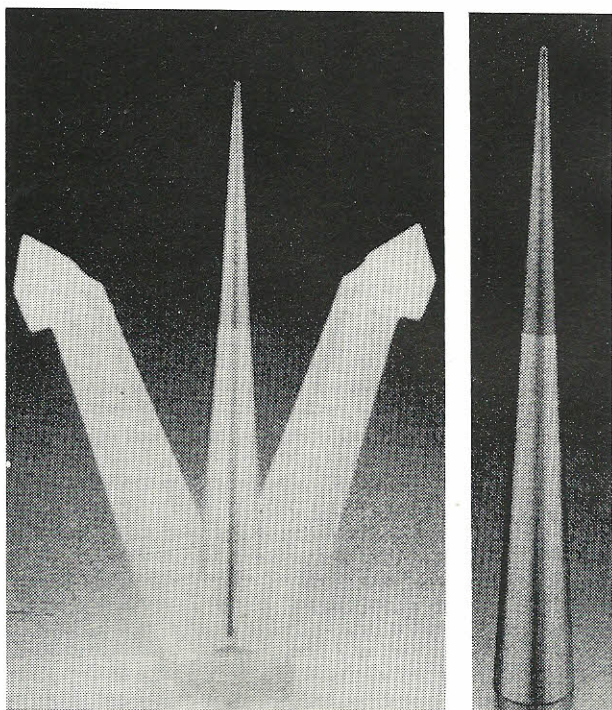
ראינו קודם כיצד הגדלת קליבר התותח מובילה לפיתרון של שימוש בתחמושת לא אחודה כדי להקל על ניטול התחמושת, טעינתה ואיחסונה בטנק. כאשר מדובר על הגדלת הקליבר מעל ל-120 מ"מ, הפיתרון הזה נעשה הכרחי, גם אם משתמשים במערכת טעינה אוטומטית, מפני שאורכה ונפחה של תחמושת אחודה בקליבר גדול כזה, משפיעים השפעה שלילית גדולה מדי על התפישה הכוללת של טנק-לחימה. מאחר שגם בתצורה הנפרדת של התחמושת (קליע לחוד והודף לחוד) יש לכל מרכיב משקל ונפח גדולים למדי בקליברים האמורים, מתבקשת לפעולת הטעינה מערכת אוטומטית, שאם לא כן, ילך ויתארך זמן התגובה של הצוות. המערכת הזו, כמובן, תבטל את תפקיד הטען ותאפשר, באמצעות הנפח המתפנה, לקזז במידה מסוימת את הגידול בנפח של מערכת התותח והתחמושת. ועוד, אם תתוכנן היטב, תוכל המערכת האוטומטית למנוע את האפשרות של הפיכת סדר הטעינה של מרכיבי התחמושת בהזנה ידנית. לעומת זאת, הצורך לטעון במהירות שני מרכיבי תחמושת שונים מציב דרישות גבוהות בפני מערכת הטעינה האוטומטית ועלול לסבך את המבנה שלה.

הודפים נוזליים

גם בטנקי הלחימה הצפופים והדחוסים של ימינו עדיין ישנם, בצריח או בתובה, כמה חללים בלתי-מנוצלים. כדי לנצל את החללים הללו – ובדרך זו לפצות על הגידול שחל בנפח מערכת הנשק כתוצאה מהגדלת הקליבר – צריך לפתח חומר הודף שאפשר יהיה לעצבו ולנתבו באופן שרירותי בתוך החללים הפנויים האלה. למטרה הזאת יכול להתאים הודף בצורת אבקה, או הודף נוזלי.

הודפים נוזליים נמצאים בשימוש כבר שנים רבות, אם כי בעיקר כהודפים לרקטות. ההיכרות הזו, מכל מקום, שימשה בסיס למחקר שהחל לפני כמה שנים באפשרות להשתמש בהודפים כאלה לתותחי רק"ם. עקרונית, ישנם שני סוגים שונים של הודפים נוזליים – הודפים מונרגוליים והודפים דיארגוליים. הודפים מונרגוליים מורכבים מיסוד אחד או מכמה יסודות שניתן לאחסנם יחד, ואשר עם ייזומם מתרחש בהם תהליך כימי המשחרר חום והופך את היסודות הנוזליים לגזים שניתן לרתום אותם להנעת הקליע בקנה. ההודפים הדיארגוליים, לעומת זאת, בנויים משני מרכיבים – חומר דלק ומחמצן – שחייבים לאחסנם בנפרד, ושאינן מביאים אותם במגע זה עם זה עד לרגע שבו האנרגיה שלהם נדרשת (בתוך הקנה). הודפים מן הסוג הזה יכולים להיות היפרגוליים, כלומר הודפים המגיבים ספונטנית מיד עם בואם במגע זה עם זה, ולפיכך אפשר שלא תידרש עבורם מערכת הצתה. להודפים הנוזליים, בהנחה שניתן להשתמש בהם בתותחי

כמה ערכי-גבול למהירות-הלוע שניתן להשיג בקליעים. הערכים הללו שונים זה מזה במידה רבה בתלות בתאוריות העומדות מאחוריהם, ואולם, למעשה, עד כמה שהדבר נוגע לתותחי-טנקים, מדובר בערכים הנעים בין 2000 ל-2500 מטר בשנייה. אם רוצים להגיע למהירויות הגבוליות הללו בתותחי-טנקים, צריכים להפעיל טכנולוגיות אחרות להאצת הקליע. מתורת החשמל ידוע, שעל מוליך נושא זרם הנמצא בשדה מגנטי פועל כוח. גודלו של הכוח הזה תלוי בעוצמת הזרם העוברת דרך המוליך, באורכו של המוליך ובהשראה המגנטית. ניסיון לנצל את התופעה הזו כדי להאיץ מסות נעשה עוד בתחילת המאה, ובשנות ה-40 נעשו ניסיונות רציניים לממש את העיקרון הזה בכלי-נשק. על בסיס חישוב, שהוא מפושט במידה רבה מאוד, אם כי הוא מספיק לקבלת אומדן, ננסה לבדוק את משמעות השימוש בעיקרון ההאצה האלקטרומגנטית בתותח-טנק באמצעות הדוגמה שלפנינו:

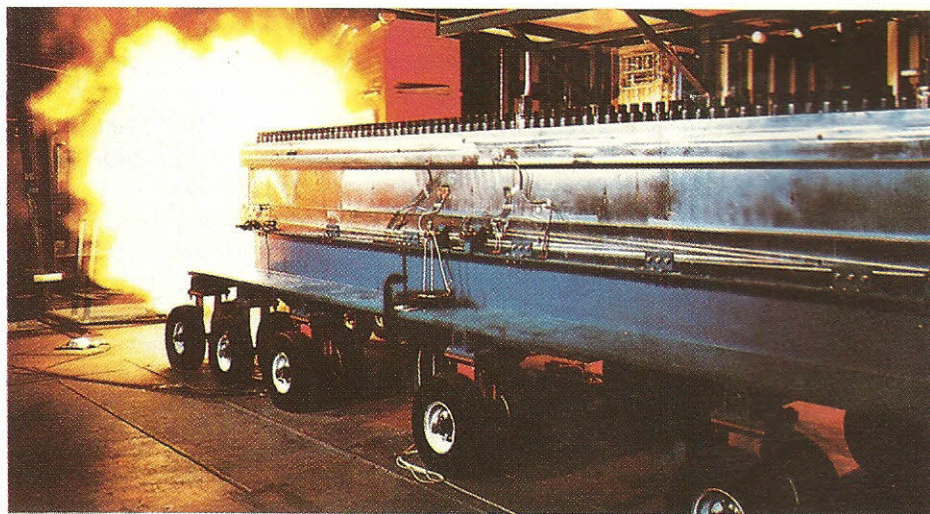


שצריכה להסיע מרכיב יחיד (קליע), שלו גם נפח ומשקל קטנים יחסית. הודפים נוזליים יכולים להקטין את פגיעותו של טנק-הלחימה מפני שהם פחות רגישים לפגיעת תחמושת – עובדה זו נכונה במיוחד ביחס להודפים דיארגוליים, המאוחסנים במילא בנפרד זה מזה. הירידה בנפח הנדרש עבור התחמושת כתוצאה מהמעבר להודף נוזלי יכולה להיות מנוצלת להגדלת כמות התחמושת, או לחילופין לבניית טנק-לחימה קטן יותר ועל כן פחות פגיע. המעבר להודף נוזלי יאפשר להמיר את טמפרטורת ההודף כגורם משפיע על מהירות הלוע, במנת ההודף, ובכך יאפשר לפשט במידת-מה את מערכת בקרת האש. ולבסוף, מהבחינה הלוגיסטית, נראה במבט ראשון שיש עדיפות להודף הנוזלי, ואולם רק ניתוח מעמיק יותר יוכל לתת תשובה סופית בנוקדה זו.

היתרונות הצפויים לשימוש בהודף נוזלי אינם צריכים להמעט ממשיקלן של הבעיות הכרוכות במימוש מערכת כזו בטנק-לחימה. מערכת תותח עם הודף נוזלי תהיה מורכבת הרבה יותר מתותח-הטנק המקובל. מערכת כזו תכלול מנגנון-קישור סובב, שדרכו יוכל ההודף לעבור מן המיכל (או המיכלים) שבתובה אל התותח שבצריח, וכן קווי אספקה, שסתומים ומשאבות מיוחדות. תשומת-לב מיוחדת תצטרך להינתן לבעיות אטימה והגנה מפני קורוזיה, לבעיית התאימות של ההודפים למיגון רחב מאוד של חומרים שיבואו עמם במגע, ולהתנהגות ההודפים בהקשר למידת נקיונם, עם דגש על בחירת הודף שדרגתו מבחינת התופעות המשניות שהוא יוצר בעת הירי היא הנמוכה ביותר שאפשר להשיג.

האצה אלקטרומגנטית

הנושאים שעסקנו בהם עד עתה – מקצתם נוגעים לתמורות שחלו בעבר הקרוב בתחום החימוש העיקרי לטנקים, מקצתם נוגעים להתפתחויות בהווה, ובחלק מהם גם עסקנו בפיתוחים שעשויים להתגשם בעתיד הקרוב, כגון מערכת תותח להודפים נוזליים. לעומת זאת, הנושא של תותח הפועל על עיקרון של האצה אלקטרומגנטית הוא ענין לעתיד רחוק יותר. בבסיס רעיון הפיתוח של תותח כזה עומדת ההנחה, שההתמודדות עם מטורות השיריון העתידיות באמצעות תחמושת קינטית תחייב מהירויות-לוע גבוהות בהרבה מאלו המושגות כיום. מהכרת הגורמים הקשורים דינמיקה של הגזים, ידוע שישנם



בתמונות משמאל, למעלה – קליע 25 מ"מ נסיוני לתותח אלקטרומגנטי שפותח על-ידי "הנטינג אנגיניירינג". למטה – ניסוי ירי של משגרי מסילה אלקטרומגנטי שפותח במעבדות "מקסוול". משגר זה מסוגל להקנות לקליע אנרגיה של 9 מליון ג'אול.

הודפים מן הטנק; פישוט רב מאוד של מערכת בקרת-האש בזכות מהירויות-הלוע הגבוהות שתושגנה על-ידי התותח; היעדר כוחות רתיעה גדולים במערכת כדוגמת אלא שיש לספוג בטנקים כיום (40 עד 60 טונות), ועוד.

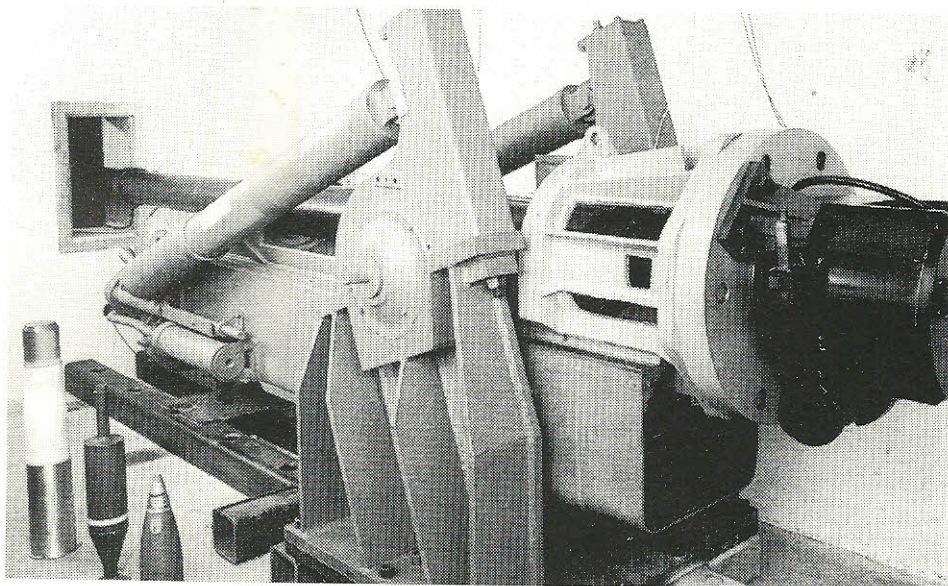
האצה אלקטרוטרמית

במקביל למחקר בתחום ההאצה האלקטרוטרמית של קליעים, מתנהל כיום בארה"ב ובאירופה מחקר בתחום ההאצה האלקטרוטרמית. מערכת נשק המתבססת על האצה כזו מורכבת מקנה תותח רגיל, המצויד במבער פלסמה הממוקם בחלקו האחורי של התותח. זרם חשמלי העובר דרך האלקטרודות של המבער יוצר קשת הגורמת לאייד חומר הנמצא בין האלקטרודות. אדי החומר מחוממים תוך הפעלת לחץ קבוע לטמפרטורה הגבוהה מטמפרטורת הריייה שלהם עד שהם הופכים לפלסמה בלחץ גבוה, ופלסמה זו מאיצה את הקליע בקנה. מחקר ראשוני של תותח כזה נעשה עוד בשנת 1945 על-ידי המהנדס הגרמני מק ששלח מסמך סודי בנושא הזה למשרד לחימוש וייצור מלחמתי של הרייך השלישי. בשנת 1950, חברת ג'נרל אלקטריק ביצעה ניסויים בתותח אלקטרוטרמי והצליחה להאיץ כדורי ניילון בקוטר 3 מ"מ למהירות של 2990 מטר בשניה. חברת FMC, שזכתה לפני כשנה בחוזה מטעם מרכז המחקר, הפיתוח וההנדסה בצבא ארה"ב, בנתה ומנסה תותח אלקטרוטרמי בקליבר 120 מ"מ המסוגל לירות ברציפות. הטכנולוגיה שעל בסיסה נבנה התותח משלבת הודפים נוזלים ואנרגיה אלקטרוטרמית לביצוע הירי. מערכת התותח נבנתה בצורה מודולרית כדי לבודד את מערכת ההצתה ומערכת ייצור ההספק מיתר חלקי התותח וכדי להקל על העברת התותח מן המעבדות לאתרי הניסויים. חברת FMC עורכת ניסויי ירי גם בתותח אלקטרוטרמי בקליבר 105 מ"מ, המבוסס על אותה טכנולוגיה שפותחה בחברה. מחקר בנושא התותח האלקטרוטרמי מתנהל גם ברוב מדינות אירופה. בגרמניה, לדוגמה, החברות רינמטל, דיהל ו-MBB, בשיתוף משרד הביטחון הגרמני, בנו מרכז ניסויים לתותחים אלקטרוטרמיים, המבוסס על מקור הספק קבלי של 6MJ (6 מיליון ג'אול).

קליע בקליבר 120 מ"מ, שמסתו 8 ק"ג, צריך להיות מואץ במסלול האצה (קנה) שאורכו 6.25 מטר למהירות של 2500 מטר בשניה, מן הנתונים ההתחלתיים הללו ניתן לאמוד את כוח-ההאצה הדרוש כדי להקנות לקליע האצה קבועה, את עוצמת הזרם הנחוצה, ואת האנרגיה וההספק. כידוע, כוח-ההאצה שווה למכפלת התאוצה במסה. זמן ההאצה, המחושב על-ידי חלוקת אורך מסלול ההאצה במחצית מהירות הלוע, מגיע בדוגמה שלנו ל-5 מילישניות ומכאן שכוח-ההאצה הנדרש מגיע ל- $4 \cdot 10^6$ ניוטון. כוח זה שווה, בקירוב גס, למכפלת עוצמת הזרם באורך המוליך ובהשראה המגנטית. אורך המוליך במקרה זה מיוצג על-ידי קוטר הקליע – 0.12 מטר, וההשראה המגנטית מוערכת ב-20 טסלה. על-ידי חילוף הזרם מתוך הביטוי הנ"ל והצבת הנתונים, אנו מגיעים לעוצמת זרם של 1.7 מיליון אמפר! בעזרת הנתון הזה ניתן לחשב את האנרגיה של הקליע ביציאה מלוע התותח – 2.5 מיליון ג'אול, ואת ההספק הנדרש לכל יריה – $4.2 \cdot 10^6$ קילוואט – חזאת מבלי להביא בחשבון בשלב זה את שאלת הנצילות של המערכות שצריכות לייצר את ההספק העצום הזה.

המספרים אכן מדברים בעד עצמם, ואין זה משנה כרגע עד כמה גדולה השגיאה בחישובים שערכנו כתוצאה מן הפישוט הרב של הנחות היסוד. הבעייה העיקרית, כמובן, היא היכולת לייצר את האנרגיה האדירה הזאת בפרק הזמן הקצר העומד לרשותנו, וכל זאת במסגרת המוגבלת של טנק-לחימה. אחת השאלות הנשאלות בהקשר זה היא, האם האנרגיה הנדרשת לירי מהיר של הקליע הבא בתור תהיה ניתנת לצבירה, או שיהיה צורך לטעון את מתקן צבירת האנרגיה לפני כל ירי, וכך יתארך זמן התגובה. כמובן, יהיה צורך לבנות מערכת ייצור הספק ומערכת האצה קומפקטיות וקלות-משקל בהרבה מאלה הקיימות כיום במעבדות המחקר והניסויים; לפתור את בעיית התאימות האלקטרוטרמית של המערכות הללו במסגרת טנק הלחימה; לבנות מערכת מיתוג מיוחדת לזרמים העצומים במערכת, ועוד כהנה.

אל מול הבעיות ואבני הגוף הגדולות בדרך לפיתוח התותח האלקטרוטרמית ראוי להעמיד, ולו גם בקצרה, כמה מן היתרונות של התותח הזה מבחינת המתכנן: ביטול הצורך בהגנה מיוחדת על הצוות מפני התחמושת בהיעדר חומרי-נפץ



בתמונה – תותח אלקטרוטרמי נסיוני בקליבר 120 מ"מ שתוכנן ונבנה על-ידי חברת FMC. התותח נוסה בירי, והוא מסוגל לירות ברציפות.



גם מן האפשרות להשתמש במתקנים השונים של הקולג' המלכותי, הכוללים לא רק את המעבדות ההנדסיות המקובלות, אלא גם מתקנים מיוחדים כגון בית-אוסף לימודי של רק"ם בריטי מודרני ורק"ם אחר, ותערוכה לימודית מיוחדת הכוללת מיגוון רחב של תותחי טנקים ונשאים ונשיוניים.

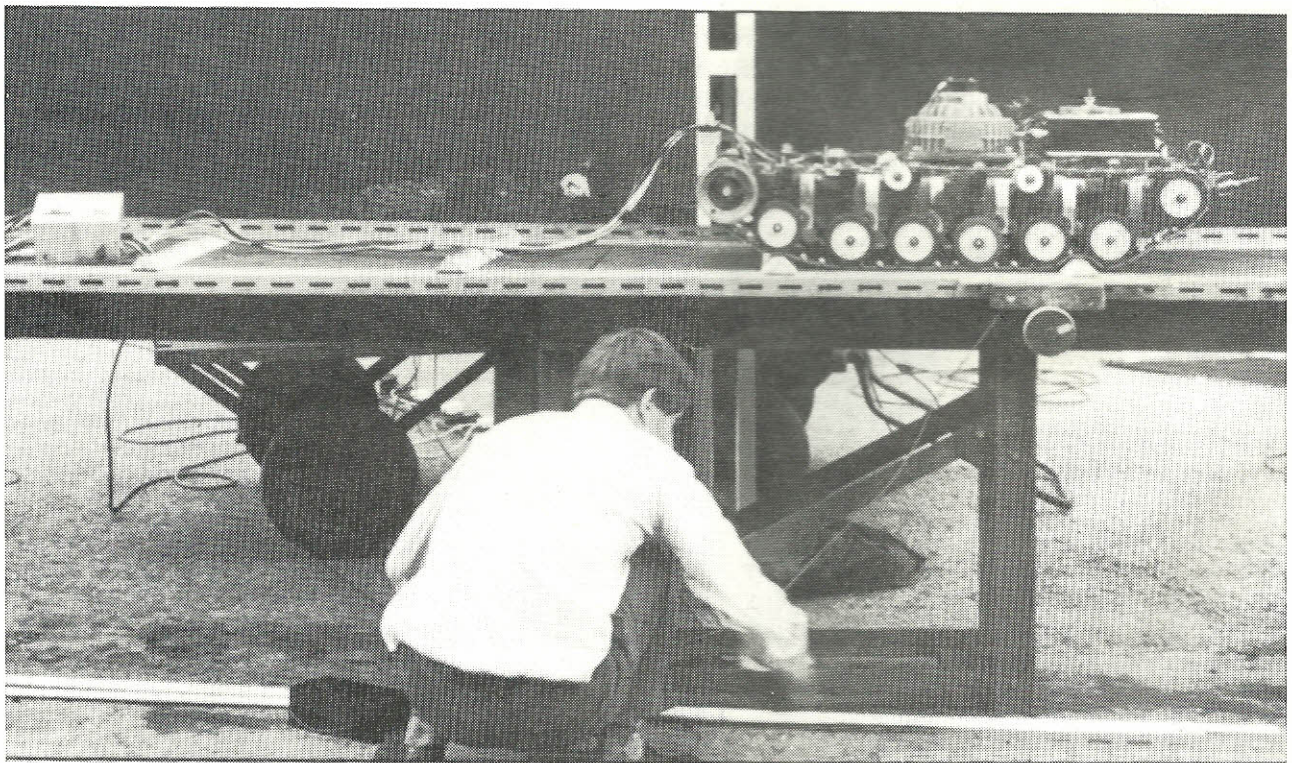
המסלול ללימודי טכנולוגיות רק"ם, הנמשך כשנה, כולל פרק מבוא קצר, פרק מרכזי של קורסי חובה, ופרק השלמה שבסיומו נדרשים התלמידים להגיש עבודת-גמר אישית. לאחר פרק המבוא, שמטרתו לרענן ולעדכן נושאים אקדמיים בסיסיים ובכללם, במיוחד, נושאי מתמטיקה שימושית ומחשבים, מגיע הפרק המרכזי, הכולל 9 קורסי חובה. עם הקורסים הללו נמנים קורסי חטיבות-כוח, דינמיקה של הרכב ומכניקת רכב-קרקע, וכן קורסים בנושאי הגנת שריון ומערכות נשק ברק"ם. פרק ההשלמה כולל 11 קורסי בחירה, שיש לבחור מהם 3 קורסים לפחות. מטרת הפרק הזה להקנות ידע מתקדם יותר בנושאים שנלמדו כבר בפרק החובה, או ידע בנושאים אחרים, כגון בליסטיקה, אלקטרוניקה ונשק מונחה. לימוד הנושאים השונים בקורס לטכנולוגיות רק"ם מיועד להקנות למשתתפים את עקרונות הטכנולוגיה של רכב קרבי ולהביא להבנה טובה לא רק של הטכנולוגיות הנפרדות של מרכיבי השונים אלא גם של תכנון הרק"ם כמערכת שלמה. במהלך הלימודים ניתנת תשומת-לב לניתוח והערכה של תפישות בתכנון רק"ם וליחסי הגומלין שביניהן, וכן לניתוח והערכה של האיומים בשדה הקרב ושל דרישות המשתמש.

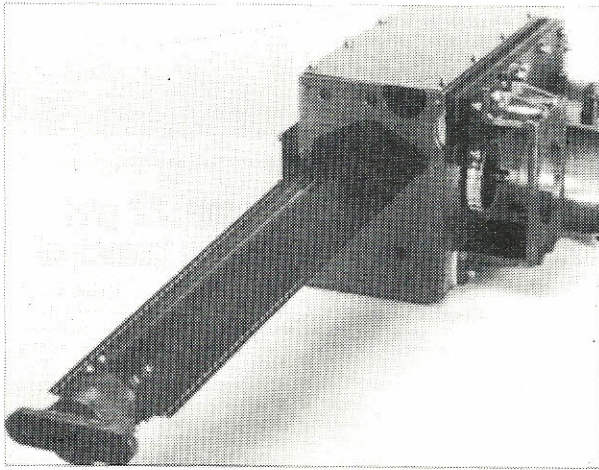
העבודה על הפרויקט האישי שכל משתתף צריך להגיש נמשכת לאורך כל הקורס. המטרה הכללית של הפרויקט, היא לאפשר ללומדים לפתח את מיומנותם במחקר, בתכנון ובפיתוח. יחד עם זאת, במהלך העבודה הסטודנטים יכולים גם לרכוש מומחיות באותם תחומים של טכנולוגיות רק"ם שיש להם בהם עניין מיוחד. הפרויקטים האישיים מטפלים במיגוון

לימודי טכנולוגיות רק"ם בצבא הבריטי

הצורך בהקניית הבנה רחבת-בסיס בטכנולוגיה של רכב קרבי, ובדרכות אותה הבנה בדרך מהירה יחסית ובשלב מוקדם בקריירה של האנשים המעורבים בתכנון ובפיתוח של רכב כזה, הביאה את הצבא הבריטי לפתיחת מסלול לימודים לטכנולוגיות רק"ם בקולג' המלכותי למדעים של הצבא. מסלול הלימודים הזה, שככל הידוע הינו היחיד מסוגו במערב, נשען על המצע האקדמי המבוסס של הקולג' המלכותי, שכן, נוסף על תפקידו העיקרי בהקניית חינוך מדעי וטכנולוגי לאנשי צבא, במסלול תלת-שנתי המוביל לתואר בוגר במדעים, הקולג' מציע מיגוון רחב של קורסים מקצועיים, אחראי לאירגון הפרקים המדעיים והטכנולוגיים בקורס קציני המטה של הצבא הבריטי וגם מבצע מחקרים עבור משרד ההגנה הבריטי ומפעלי התעשייה. רקע רחב כזה של פעילות אקדמית וצבאית, מבטיח שהמסלול לטכנולוגיות רק"ם יהיה גם מקיף וגם משמעותי ביחס לבעיות צבאיות אקטואליות. הלומדים במסלול זה נהנים

בתמונה – דגם טנק לחימה בקנה-מידה, ממוכשר במלואו, שתוכנן ונבנה כחלק מעבודת גמר בנושא מתלים בקורס לטכנולוגיות רק"ם של הצבא הבריטי.





במסגרת עבודות הפיתוח של המטען האוטומטי נבחנות כעת מספר מערכות אוטומטיות לנגיחת התחמושת בקוטר 140 מ"מ לתוך הסדן. אחת המערכות, מתוצרת בֶּרְנְסוֹיִק (ראה תמונה) מבוססת על טכנולוגיה מתקדמת שהחברה פיתחה בזמנו לרכב הנחיתה על מַרְס, "ויקינג". המערכת, שמשקלה כ־11 ק"ג, מסוגלת להסיע קליע שמשקלו 38 ק"ג ממחסנית התחמושת בצריח אל הסדן – מהלך של 3 מטר – בתוך 1.5 שניות.

אבטיפוס ראשון של טנק הלחימה הצרפתי "לֶקְלֶרֶק"

האבטיפוס המושלם הראשון של טנק הלחימה הצרפתי "לֶקְלֶרֶק" נחשף לפני כחצי שנה בשדה הניסויים סְאטוּרִי שליד פאריס והוא מוכן כעת לשלב הניסויים. הטנק שמשקלו 54 טונות, נושא תותח חלק־קדח בקליבר 120 מ"מ ומצויד בחטיבת־כוח בעלת הספק מקסימלי של 1500 כ"ס. הגגת



השיריון של הטנק מבוססת על שילוב של מודולים של פלדת שיריון עם מודולים של שיריון מרוכב הניתנים להחלפה. החידוש העיקרי בטנק נעוץ דווקא במערכות האלקטרוניות שהוכנסו לתוכו. מדובר במערכות בקרה על בסיס מיקרומעבדים, המקושרות באמצעות פס ערוץ־נתונים לשני מחשבים מרכזיים, וכן במערכת מידע מיוחדת המציגה למפקד יחידת הטנקים מידע עדכני בזמן אמיתי על מצבם של הטנקים שלו מבחינת מיקום, מלאי התחמושת והדלק ושמישות המערכות. ראשון הטנקים הסדרתיים אמור להימסר לצבא צרפת בסוף השנה הבאה.

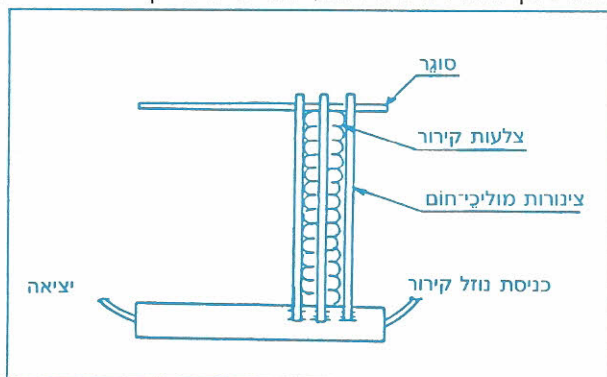
רחב של בעיות טכנולוגיות, שהן תמיד מעשיות ואקטואליות. אחד הפרויקטים האחרונים, לדוגמה, עסק בהשוואה תיאורטית וניסיונית בחלוקת הלחץ מתחת לזחלים של דגם־רק"ם. לנושא הזה נודע עניין מיוחד בהקשר לשימוש הגובר בהגדרה של לחץ ממוצע מקסימלי (ממוצע שיאי הלחץ) כמדד מדויק יותר לכושר התנועה של רק"ם בקרקע רכה, מאשר ההגדרה של לחץ קרקע נומינלי, שהיתה בשימוש למטרה הזאת עד כה. פרויקט אחר מן הזמן האחרון הוא חוליה בשרשרת פרויקטים שהתחילה בתכנון ובבניה של דגם בקנה־מידה של רק"ם זחלי מבוקר־מרחוק. דגם זה שימש לאחר מכן בפרויקטים אחרים כאמצעי לאִשֵש בו תחזיות מחשב נסיוניות בנוגע להתנהגות המיתלה וכן כדי לסייע באמצעותו בפיתוח הדמיית־מחשב לחציית מכשולים על־ידי רק"ם, שתהיה מדויקת יותר מזו הנמצאת כיום בשימוש בדגם הייחוס של נאט"ו. שני פרויקטים נוספים לדוגמה הם – פרויקט בנושא השפעת סוגים שונים של צמיגים על הנהיגה ברכב סיוור משוריין, פרויקט השופך אור על כמה סימני שאלה בנוגע להתנהגותו של הרכב הזה במהירויות גבוהות; ופרויקט החוקר בצורה מפורטת את יעילותן של ממסרות ברק"ם זחלי ובתוך זה כמובן את הפסדי ההספק בין המנוע והזר המניע, הפסדים שנודעת להם השפעה רבה על ביצועי הרק"ם. פרויקטים אלה ואחרים יכולים בפירוש לתרום למציאת פתרונות לבעיות נוכחיות בתחום טכנולוגיות הרק"ם, או לפחות להבנה טובה יותר של אותן בעיות.

הפרויקט, הכתוב בצורת תזה, יחד עם הבחינות בסוף הקורס, יוצרים את הבסיס להערכת ההישגים האישיים. סיום מוצלח של הקורס בן השנה מקנה למסיימים תואר שני במדעים ומכשיר אותם למלא בעילות תפקידי תכנון, פיתוח או הרכשה של רכב קרבי. רוב הסטודנטים בקורס באים משורות הצבא הבריטי, בדרך כלל בדרגת קפטן (סרן), ממוסדות המחקר הממשלתיים ומהתעשייה הבטחונית. יחד עם זאת, אין הקורס מוגבל לסטודנטים בריטיים בלבד; לומדים בו גם אנשי צבא מאוסטרליה, קנדה, הודו וסינגפור.

צבא ארה"ב בוחן תותח־טנק בקוטר 140 מ"מ

לפני כחודש אמור היה צבא ארה"ב לבצע לראשונה ירי נסיוני מתותח־טנק בקוטר 140 מ"מ, המותקן בתוך מבנה מייצג של צריח על שלדת הטנק M1A1. לפרויקט הזה של מערכת תותח מתקדמת, המנוהל על־ידי מרכז המחקר ההנדסי למערכות נשק בפיקטיני, ניו־ג'רסי, הוגשו כבר לפני כשנה ומחצה שתי עבודות מתחרות של החברות גִנְרָל דִינְמִיקס וגִנְרָל מוּטוֹרס. העבודות כללו הצגת רעיון ותכנון מפורט של צריח בעל מבנה מפוצל, הכולל בתוכו את מערכת התותח בקוטר 140 מ"מ, שיוצרה במפעלי הצבא האמריקאי בוּוֹרְטוֹלִיט, עמדות לשני אנשי צוות – תותחן ומפקד, מְטַעֵן אוטומטי, מכ"ם להרכשת מטרת ומחשב בקרת־אש חדש. לפני כשנה זכתה חברת גִנְרָל מוּטוֹרס בחוזה הבניה והניסוי של הצריח עם התותח החדש. טנק המבחן המושלם היה אמור לצאת לפני כחודשיים ממפעלי הצבא האמריקאי בֶּאָנִיסְטוֹן. בינתיים, פיקוד הצבא האמריקאי למערכות אוטומטיות ברק"ם (TACOM) נטל תחת חסותו תוכנית דומה, אם כי מורכבת יותר, של טנק־מבחן על בסיס ה־M1A1, שבמסגרתו ייבחנו מערכות רק"ם מתקדמות, ובכללן מערכת התותח החדשה ומנגנון הסעת התחמושת.

נק"ל, בנוי ממערך של צינורות מוליכי חום וצלעות קירור (ראה ציור). כל צינור ממולא חלקית במים או בנוזל אחר ואטום הרמטית, ומוברג בקצהו התחתון אל מיכל נוזל הקירור. הנוזל, המגיע מן המנוע כשהוא חם, יוצר מגע עם קצות הצינורות,



מעביר להם מחמום וגורם להתאדות הנוזל בתוכם. אדי הנוזל עולים במעלה הצינור וחוקם מתפור באמצעות מאוורר המנוע וצלעות הקירור. בניסויים מקדימים של הרדיאטור הניסויי, נמצא שגם לאחר ש-30% ממערך הצינורות נהרס, ביצועי מערכת הקירור כמעט ולא השתנו. לעובדה הזו, כאמור, יש חשיבות רבה מאוד בשדה הקרב, שכן היא מאפשרת לצוות הרכב להגיע עמו למקום בטוח יותר.

רכב כיבוי אש להתערבות מהירה/רכב טיהור מחל"ך

החברה האמריקאית VSDC פיתחה ומייצרת מערכת כיבוי-אש להתערבות מהירה, המתאימה לשימוש אזרחי וצבאי. מערכת הכיבוי, בעלת המבנה המודולרי, ניתנת להתקנה בתוך דקות על כל משאית קלה, וניתן להעבירה במסוק על מיתלה-מטען. ניתן לבחור במערכת עם מיכל 378 ליטר, או עם מיכל 757 ליטר. מיכל המים עשוי מפלסטיק מחוזק בסיבי-זכוכית, וכל הצנרת הפנימית עמידה בפני תערובות מאכלות. מסגרת

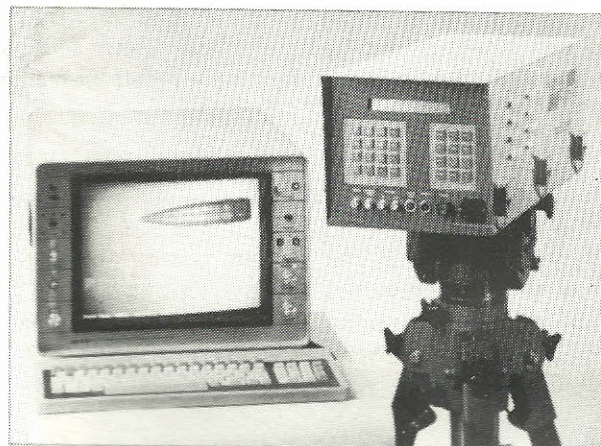


פלדה, המגשרת על מיכל המים, משמשת בסיס למנוע ולמשאבה, לצנרת הכיבוי ולקווי היניקה והפליטה. צנרת הכיבוי כוללת זרנוק ללחץ גבוה בקוטר 19 מ"מ, בעל נחיר המסוגל להעביר דרכו 38 עד 76 ליטר בדקה; קוריבוי נפרד בקוטר 38 מ"מ להתחברות לקו מים עירוני רגיל, וקוריבוי בקוטר 63.5 מ"מ להתחברות לברז כיבוי ראשי. בחזית הרכב מותקן צינור בעל שני פתחי הזרקה, שניתן להפעילו לא רק לכיבוי אש, אלא גם לטיהור קרקע מחל"ך, וזאת כהשלמה לטיהור רכב וציוד מחל"ך באמצעות זרנוק הלחץ הגבוה.



הקלטה אלקטרונית במקום צילום רגיל בניסויי בליסטיקה

מערכת שפיתחה החברה האמריקאית "הדל"נס פוטוניקס" עשויה לבשר את ראשיתו של תהליך שבו יעברו – בעיקר בניסויי בליסטיקה – משיטת הצילום הרגילה, הפוטונית, לצילום אלקטרוני. שיטת הצילום הרגילה, המבוססת על חשיפה של סרט צילום לקרני האור המוחזרות מן האובייקט, כרוכה בהוצאות לפיתוח הסרט ובהמתנה לגמר תהליך הפיתוח כדי לחזות בתוצאות. בצילום האלקטרוני, לעומת



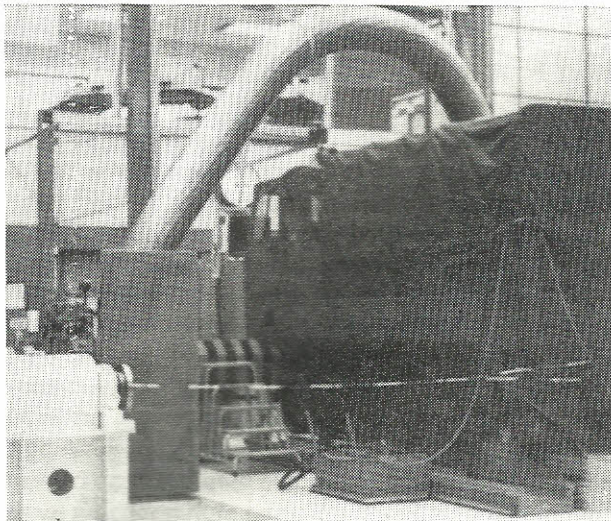
זאת, ניתן לראות את התוצאות על המסך בתוך חצי שניה מהחשיפה. נוסף על המיידיות, קיים היתרון של ניתוח ממוחשב של התמונה, מפני שמדובר בתמונה אלקטרונית-ספרתית של האובייקט. המערכת, שסימונה SV-553BR, כוללת התקן צמוד-מטען (CCD) בעל כושר הפרדה גבוה (1134x486 פיקסל), תוכנה לניתוח תמונה מושלמת, התקן לחשיפה אחת או למספר חשיפות בפולסים, מחולל השדה אינטגרלי וכן התקני הגברה מתוקמים, המתחילים מ-200 ננושניות (ננו=10⁻⁹) עד 1 אלפית השניה.

רדיאטור בעל עמידות גבוהה לאש נק"ל

הרדיאטור הרגיל ברכב צבאי, בגלל מבנהו, רגיש מאוד לפגיעות נק"ל ורסיסים. מאחר שפגיעה כזו משביתה את הרכב כמעט מיד, קיים חשש רב לחיי אנשי הצוות, שאינם יכולים להגיע עם רכבם למקום מבטחים. הפיקוד האחראי בצבא ארה"ב על מערכות אוטומוטיביות לרק"ם (TACOM) יצר בנושא זה קשר עם חברה פרטית מברוקלין, "בלטרן" שמה, והוא בוחן כעת רדיאטור ניסיוני פרי פיתוחה. רדיאטור זה, האמור להמשיך ולקרר ביעילות את המנוע גם לאחר שנפגע מאש

נסיעה שונים נעשה באמצעות דינמומטרים, המעמיסים את מנוע הרכב בעומסים שונים ומודדים את המומנטים שהוא מייצר בכל מצב.

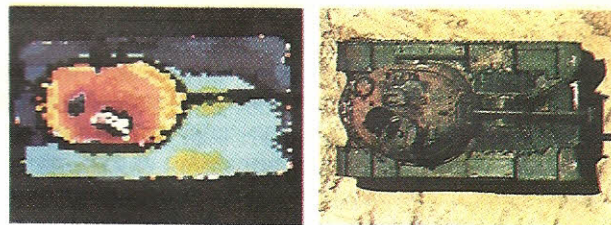
תהליך ההדמיה מבוצע בעזרת נהג, שהוא בוחן מוסמך, ובעזרת מפעיל-מחשב, הנמצא בחדר בקרה המשקיף אל הרכב. הנהג מקבל את הנחיות הניסוי באמצעות מסוף הנמצא



בתא הנהג וכן באמצעות קשר רדיו רצוף עם המפעיל. כאשר המפעיל מקליד את תוכנית הניסוי, היא מתחילה להתגלגל על המסוף מולו ועל המסוף בתא הנהג. לקראת מבחן הבלימה, למשל, מופיעה על המסוף הנחיה לנהג להאיץ את הרכב למהירות מסוימת, ולאחר מכן לבלום בכל העוצמה. על המסוף בחדר הבקרה מוצג כיוון התנוחה של הרכב ביחס לנתיב הישר, וכל סטייה מהנתיב הזה כתוצאה מהבלימה נרשמת על המסך ומופיעה בפלט המחשב יחד עם נתוני הזמן והמרחק של הבלימה.

מכ"ם-ליזר כאמצעי לזיהוי מטרות

חיל האוויר האמריקאי ביצע ניסוי במכ"ם-ליזר המאפשר לקבל דמות מפורטת של עצמים בשטח על פי ההחזרים של קרינת הליזר מהם. באמצעות המכ"ם האמור ניתן להקנות לטילים מונחים חדות-ראיה כזו, שתאפשר להם להבחין בין סוגים שונים של מטרות, ובמטרה עצמה להבחין בנקודות התורפה. המכ"ם הוצב במגדל שגובהו 100 מטר וכוון אל מטרת טנק



(תמונה ימנית). לאחר שידור פולסי-ליזר אל המטרה, חישבו זמן ההגעה של ההחזרים ומתן צבעים שונים לכל החזר בהתאם לטווח, הצליחה המערכת, במהלך סריקה אחד, ליצור דמות מפורטת של המטרה (תמונה שמאלית). מעריכים, כי בתוך 6 שנים ניתן יהיה לשלב את המערכת הזאת בראשי-בית. מחירה אמור להגיע ל-2000 דולר.



רק"ם אחזקה וחילוף לצבא הבריטי

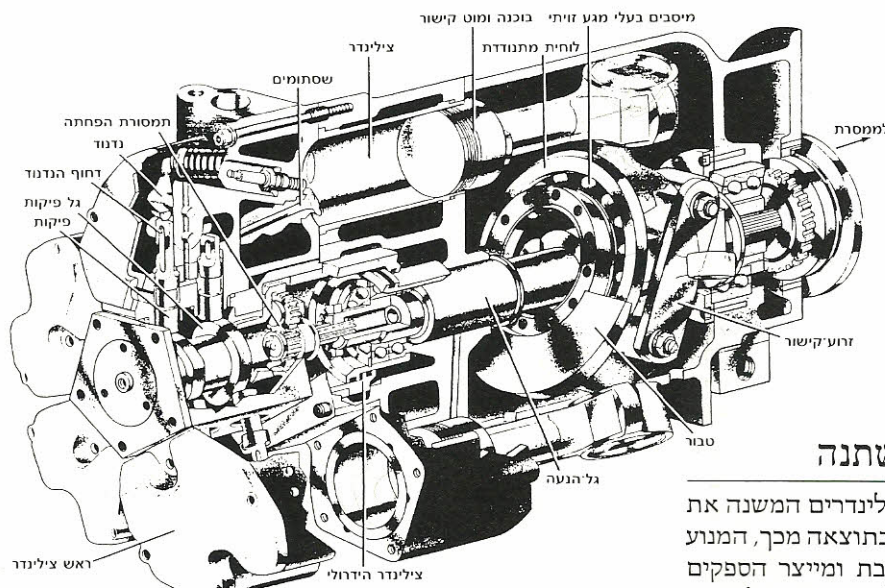
הצבא הבריטי החליט להכניס לשירותיו את רק"ם האחזקה והחילוף CRARRV. הייצור בנפח מלא של רק"ם זה כבר מתנהל במפעלי חברת "ויקס" והוא אמור להסתיים בשנת 1993. ההזמנה המקורית של הצבא היתה עבור 30 כלים — 6 אבות-טיפוס ו-24 כלים מייצור — ואולם הזמנה זו הוגדלה והיא עומדת כעת כל 80 כלים.



לרק"ם האחזקה החדש יש הרבה מערכות משותפות עם טנק הלחימה הבריטי צ'לנג'ר-2 הנמצא כעת בפיתוח, ובכלל זה מנוע הדיזל CV-12 מתוצרת "פרקינס", המימסרת IN54 מתוצרת "דייד-בראון", יחידת הבקרה הספרתית לחטיבת הכוח מתוצרת "דוטי", ההינעים הסופיים והמזוק"ם. בתא הצוות מותקנת מערכת אוטומטית לשיכוך התפוצצות מתוצרת "גרונר", ולהגנת הכננת הראשית והמנוע הותקנה מערכת אוטומטית-למחצה.

מסלול מבחן מבוקר-מחשב לרכב זחלי קל

במרכז השיקום והאחזקה לרכב במינז, ארה"ב, נבנה סימולטור הספק ואינרציה ממוחשב לדימוי נסיעה, המאפשר לבחון בין כותלי המפעל את כלי הרכב המשוקמים. הצורך במתקן התעורר עקב הגידול בנפח העבודה, ועקב ההגבלות על שעות הנסיעה במסלולי המבחן הרגילים, הקרובים מאוד לבתי האזרחים באזור. מתקן ההדמיה — שפותח בשיתוף האוניברסיטה של צבא גרמניה (שבה קיים כבר מתקן כזה) והחברה שווייצית ABB — הוא גירסה גדולה בהרבה של מתקני הדמיה דומים הנמצאים בשימוש בכמה מקומות בעולם (כגון בחברת פורשה). עבור ההדמיה נבנה מבנה מיוחד סופג רעש, שבתוכו ניתן לקיים, לאורך כל שעות היממה, את כל סוגי הניסויים, חוץ מניסוי נסיעה במים וניסוי הלם למיתלה, המבוצעים מחוץ למבנה, בסמוך לו. הרכב הנכנס למבנה, מובל אל הסימולטור על גבי מסילה הנשענת על כרית-אוויר כאן קושרים את הרכב למשטח ההדמיה ומחברים את צנרת הפליטה שלו לסעפת המובילה את הגזים לארובה. דימוי תנאי



מנוע בעל מהלך-בוכנה משתנה

מהנדס אמריקאי פיתח מנוע רכב בן 5 צילינדרים המשנה את מהלך בוכנותיו בהתאם לתנאי הנסיעה. כתוצאה מכך, המנוע דוחס בכל פעם נפחים שונים של תערובת ומייצר הספקים משתנים. מטרת התכנון הלא מקובל של המנוע הוא להגביר את יעילות ניצול הדלק. על פי עדות המפתח, מדובר בחיסכון בדלק של 25% בהשוואה למנוע מקביל בנפח 2500 סמ"ק. המנוע ברכב אופייני פועל בעומס חלקי ב-90% מהזמן בקירוב ומייצר אז, במקרה הטוב ביותר, כחמישית מהספקו. במצב זה של עומס חלקי, שבו המיצערת סגורה-למחצה, יעילות המנוע – במונחי המרת הדלק לאנרגיה מכנית – יורדת מ-25%, נניח, במצב של מיצירת פתוחה לגמרי, ל-10% – 5%. במצב זה המנוע צובר הפסדי דלק הנגרמים מאי-יכולתו לנשום מבעד למיצערת הסגורה-למחצה. הפיתרון הרצוי לבעיה זו צריך להיות מנגנון שיקטין את הנפח הנדחס בתוך הצילינדר עבור מצבים אלה של עומס חלקי ולהישאר במצב של מיצירת פתוחה, שהוא מצב העבודה היעיל ביותר של המנוע.

מבחינה תרמודינמית, מנוע בעל מהלך-בוכנה משתנה היה תמיד יעד נכסף של מתכנני הרכב, אלא שעד לשנים האחרונות לא נמצא מנגנון פשוט, יעיל וקטן-ממדים שמנוע כזה יוכל להתבסס עליו. מהנדס אמריקאי בשם ג'וזף סקלזו, שהתעניין ברעיון המהלך המשתנה, בחר מתוך מיוגון פטנטים קיימים במנגנון של לוחית מתנודדת. הסיבה לבחירה ברעיון הלוחית המתנודדת היתה, שבמנוע בעל התצורה הרדיאלית שתיכנן המפתח (ראה תמונה) נדרש מנגנון יחיד מסוג זה כדי לשנות את מהלכן של כל הבוכנות. במנוע טורי, לעומת זאת, יש צורך להתקין מנגנון כזה עבור כל בוכנה בנפרד. מנועים טוריים כאלה אכן נבנו במעבדות הלאומיות בליוורמור, קליפורניה, ואף שהם הפגינו יעילות בניצול הדלק, הם היו מורכבים למדי ומועדים לרעידות.

המנוע שפיתח שולט על השינויים בנפחי העבודה של הצילינדרים דרך מעבד זעיר המחובר לחישני לחץ-סעפת-היניקה, מצב מיצירת ומחירות. מתוך השלושה, חישן לחץ-סעפת-היניקה הוא החישן השולט, שכן הוא הקובע את העומס על המנוע. כאשר מעבד הנתונים קובע שדרוש שינוי בנפח הדחיסה, הוא נותן פיקוד למשאבה הידרולית להוסיף או לרוקן שמן מצילינדר הידולי. כתוצאה מכך נעה הלוחית המתנודדת קדימה או אחורה ומשנה בתנועתה את מהלכן של הבוכנות. שינוי מהלך הבוכנה ממינימום למקסימום – שינוי שנדרש בעת שהנהג גורם לפתיחת מיצירת הדלק לצורך האצת הרכב – מתרחש בתוך שניה בקירוב. השינוי הפחות קריטי,

בציור – המנוע בעל מהלך-בוכנה-משתנה. למנוע 5 צילינדרים, המסודרים סביב גל הנעה מרכזי. הבוכנה ומוט הקישור בכל צילינדר עשויים יחידה אחת קשיחה, שקצוותיה מחוברות ללוחית החופשית להתנודד אך לא להסתובב. עם הצעת התערובת בתוך הצילינדרים, הלוחית מתחילה להתנודד ומקנה תנועה סיבובית לטבור באמצעות מסבים בעלי נקודת מגע זוויתית. זוג זרועות קישור מעבירות את התנועה הסיבובית של הטבור וגל ההנעה, וזה מעביר אותה למצמד או למסרת אוטומטית. כאשר מחשב בקרת המנוע קובע שנחוצה הגדלה או הפחתת הספק, הוא פוקד על משאבה לשנות את לחץ הנזול בצילינדר הידולי הממוקם בקצה גל ההנעה. כתוצאה מכך, כל המכלול של גל ההנעה, הלוחית המתנודדת והבוכנות, נע, ומתקרב או מתרחק מראשי הצילינדרים ומשנה בכך את נפח תאי השריפה ואת כמות התערובת הנדרשת למלא אותם. כאשר מהלך הבוכנה מתארך או מתקצר, זרועות הקישור, במקביל משנות את מידת ההתנודדות של הלוחית ומקיימות בכך את יחסי הדחיסה הרצויים לאורך כל תחום המהלכים.

ממקסימום למינימום – המתרחש, בעת שהדרישה להספק יורדת – נמשך 3 שניות. ההספק הממוצע הנדרש להנעת המשאבה ההידרולית הוא רק 30 ואט, הרבה פחות מן ההספק הנדרש להפעלת הפנסים הראשיים של הרכב.

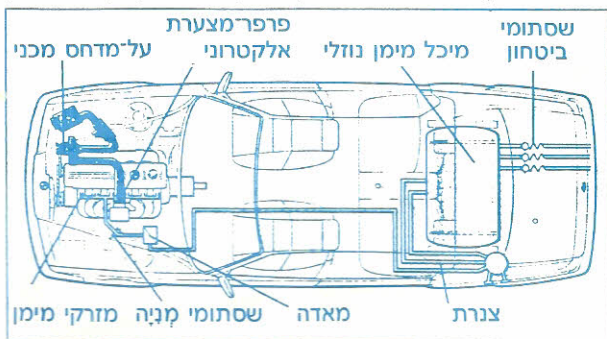
לא רק מהלך-הבוכנה משתנה במנוע, אלא גם יחס הדחיסה. בגירסת המנוע המתוארת כאן, מתקיים יחס-דחיסה של 9:1 במהלך-בוכנה מקסימלי, המכוון להתנגד לתופעת הנקישות, המתרחשות בשעה שהמנוע מתאמץ, ויחס-דחיסה של 10:1 במהלך בוכנה מינימלי – לשריפה יעילה יותר במהירויות שיוט, המצריכות הספק קטן. יחס-הדחיסה בנקודות המקסימום והמינימום מבחינת הנפח הנדחס נקבע על-ידי המצב הגיאומטרי של שני זרועות-קישור, המחברות את הלוחית המתנודדת לחלק האחורי של מעטפת המנוע.

המשוכה הטכנית הניצבת כעת לפני המפתח היא להקטין את החיכוך במנוע. תיאורטית, מנוע בעל לוחית מתנודדת אמור לפתח חיכוך פנימי גבוה יותר משל מנוע מקובל, ואכן, שני אבות-הטיפוס הראשונים אישרו את ההנחה הזאת, במיוחד במהירויות גבוהות. המטרה, לעת עתה, היא לצמצם את החיכוך הפנימי במהלך בוכנה מקסימלי לרמה של מנוע גל-ארכובה.

המנוע בעל מהלך-בוכנה משתנה יכול לפעול בצורה חלקה עם מספר בוכנות אי-זוגי – 5, 3 או 7. השילוב של מספר בוכנות

רכב מונע-מימן מתוצרת BMW

בעשור האחרון נעשו נסיונות להסב כל-רכב פרטיים וציבוריים להנעה במימן. הדחיפה לנסיונות האלה נובעת משני יתרונות בולטים של המימן כדלק – ראשית, זהו מקור אנרגיה זול וזמין, שניתן להפיקו על-ידי אלקטרוליזה של מים, ושנית, זהו הדלק היחיד כיום שתוצרי השריפה שלו אינם מזהמים את הסביבה. חברת BMW, הבוחנת כיום את מידת הכלכליות בייצור המוני של רכב מונע-מימן, הסבה לא מכבר כמה מקלי-הרכב שלה מסדרת 735iL, בעלי מנוע 6 צילינדרים ונפח 3500 סמ"ק, להנעה במימן. לצורך ההסבה הותקן בתא המטען מיכל מיוחד, ברמת אטימות גבוהה ביותר (אטימות ריק) לאיחסון המימן במצב נוזלי. צורת איחסון זו נחשבת כיום כפשוטה הטובה ביותר בין משקל המערכת לבין הטווח האפשרי. המיכל, שקיבולתו 95 ליטר, מאפשר טווח נסיעה של 300 ק"מ. המימן מוזרק לתא השריפה כגז קר, ויש לכך יתרונות מבחינת נצילות השריפה, ומניעת אש חוזרת בסעפת היניקה. המנוע המונע במימן, גם כשהוא נעזר בעל-מגדש, מפיק רק כ-70% מן

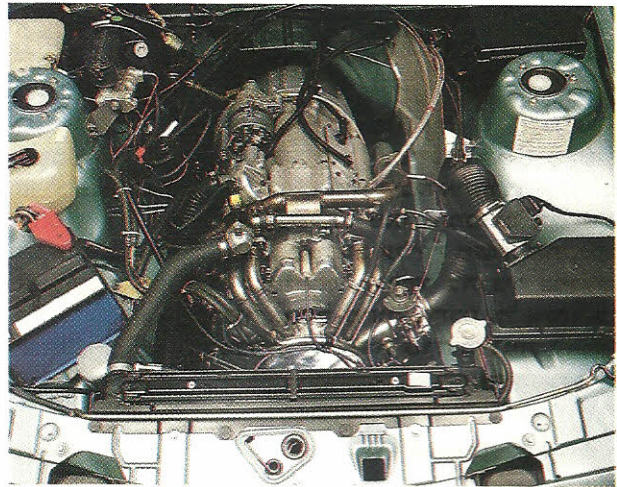


ההספק של מנוע הבנזין באותו דגם, אם כי לדעת החברה, הביצועים הם טובים למדי גם כך. מאחר שבתוך קווי ההובלה שלו מן המיכל אל המנוע, המימן זורם כגז, קיימת סכנה, שבשעת תאונה הקו ייפגע ותיגרם התפוצצות. כדי להגן על קווי הדלק, הם נותבו בתוך שלדת הרכב. נוסף על כך הותקנו בתא המטען ובתא הנוסעים חישנים בעלי רגישות גבוהה, שבעת גילוי עקבות כלשהם של הגז הם מפעילים את המנועים האחראים לפתיחת חלונות הצד, פתח השמש בגג הרכב ודלת תא המטען. במקרה של תאונה, גם דלתות הרכב נפתחות אוטומטית.

איבחון בלאי כמנועים חשמליים

במהלך תכנון משגוח (מוניטור) לשסתומים מופעלי-מנוע בתחנות-כוח גרעיניות מתיישנות, פיתחו שני מהנדסים ממעבדת המחקר באוק-רידג', ארה"ב, טכנולוגיה לאיבחון בלאי כמנועים חשמליים. טכנולוגיה זו מבוססת על השוואת אותות העומס של המנועים הנבדקים עם אותות העומס של מנוע חשמלי תקין. כאשר עוקבים אחר עבודתו של מנוע חשמלי, רואים שהעומס עליו משתנה בקביעות בתגובה לתנאים הנוצרים בתוכו. על-ידי ניתוח האותות החלשים הנגרמים מן הקפיצות בעומס ניתן לקבוע את מידת התקרמות הבלאי. לאחר שהמפתחים קבעו מהו אות העומס האופייני למנוע חשמלי תקין, הם יכלו להשוות אותו לאותות העומס המתקבלים מן המנועים שבבדיקה ולפי זה לקבוע את מועד ביצוע עבודות האחזקה.

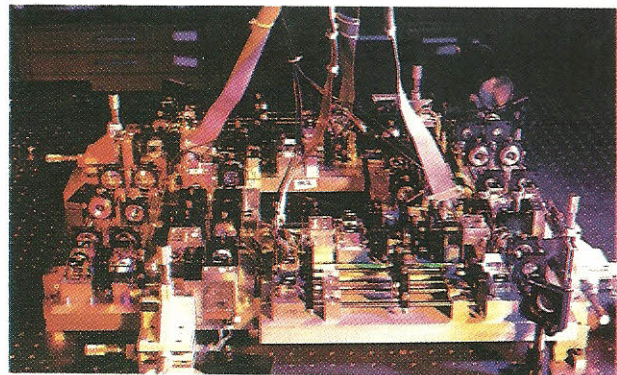
אי-זוגי עם מהלך עבודה של 4 פעימות יוצר דופקי-שריפה שווים, וזהו אותו עקרון שריפה הקיים במנועים רדיאליים במטוסים.



המנוע הנסיוני הורכב בתא המנוע של מכונית שתי דלתות (בתמונה) על-ידי החברה האוסטרלית "הולדן", והוצג בשנת 1987 בתערוכת החברה להנדסה ממונעת בטריווטי, ארה"ב. אף שהכוונה היתה לתצוגה סטטית, נלקח הרכב לנסיעת מבחן קצרה, שבסיומה ציינו המומחים שנסעו בו כי שינויי מהלך-הבוכנה הם אכן מהירים. מתכנן המנוע מקווה, שעם סיום הפיתוח, ובמיוחד ההתגברות על בעיית החיכוך הפנימי, תיגבר ההתעניינות במנוע מצד יצרני הרכב הגדולים בארה"ב, וניתן יהיה לראותו בייצור מסחרי.

המעבד האופטי הראשון

טכנולוגיה הנמצאת בחיתוליה, ועשויה בעתיד להביא ליצירת מחשבים המהירים אלפי פעמים יותר מכל מחשב שנבנה עד כה, עשתה את צעדה הראשון במעבדות חברת "בל" בארה"ב, עם הפעלת המעבד האופטי הראשון (בתמונה). בכך הוכח,



שאפשר לבצע חישובים באמצעות קרני לייזר במקום בזרם חשמלי. המעבד הנסיוני מורכב מ-4 שערים לוגיים אופטיים, שכל אחד מהם מכיל מערך של 32 מפסקים אופטיים ועזרים הפועלים כטרנזיסטורים. מעבד אופטי ראשון זה עדיין איטי יותר ממחשב אישי אופייני, אולם הטכנולוגיה שהוא מתבסס עליה תוכל לאפשר בעתיד הקרוב להגיע למהירויות חישוב הגדולות מאות פעמים יותר.

באותו אופן גם לאחר פעמים רבות, והיא נשארת רגישה מאוד לכל הפרמטרים הנוגעים ישירות למנגנוני הפגיעה. הבובה נבחנת כעת על-ידי יצרני רכב באירופה, ארה"ב, קנדה ויפן.

גרורי-מכלית מחומרים מרוכבים

גרורי-מכליות העשויים מחומרים מרוכבים על בסיס פלסטיק נמצאים בשימוש בבריטניה יותר מ-10 שנים, אך רק לפני כ-3 שנים הם החלו להיכנס גם לשוק האמריקאי. הגרורים, שהם פרי מחקר, פיתוח וניסויים של שנים, קיבלו אישור מלא לתכנון ההנדסי ולחומרי המבנה שלהם מאת המכוניות הבריטיים השונים, ואושרו לשימוש בארה"ב על-ידי משרד התחבורה האמריקאי. האישור האמריקאי מאפשר להעביר במכליות הללו דלק לסוגיו, לרבות אתנול ומתנול בריכוז של 100%. כפי שניתן לראות, יש למכליות החדשות צורה מלבנית, להבדיל



מהצורה האליפטית של מכליות הפלדה והאלומיניום. חומר הבסיס הפלסטי שממנו בנויה המכלית הוא שרף של אסטר-ויניל המחוזק בסיבי-זכוכית ובחומרי חיזוק סינטיים. מעטפת המכלית עשויה משתי שכבות של החומר המרוכב, שביניהן נמצא פוליאוריטן מוקצף חסיך-אש. המעטפת מיוצרת בתהליך יחיד, שבו החומר המרוכב מוזרק לתוך תבנית, מתגבש בה ומוצא ממנה לאחר פתיחתה. לתוך המעטפת המוכנה מכניסים את המכלים הפנימיים, המיוצרים בנפרד, ומדפנים אותם בחומר מוקצף מיוחד הסופג את תנודות הנסיעה. קיבולתם הכוללת של המכלים הפנימיים עולה על 35,000 ליטר.

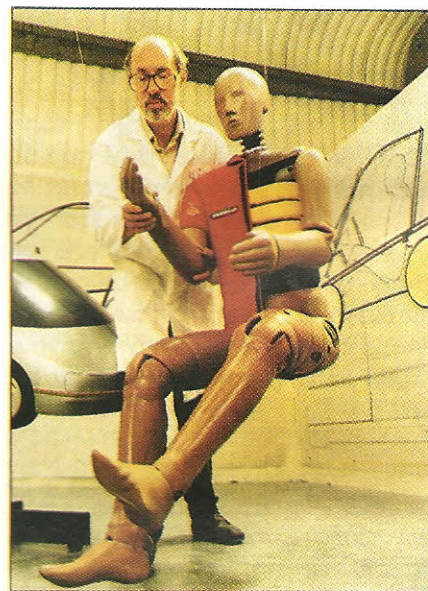
רכב חשמלי בעל כיצועים של מכונית ספורט

לפני כשנה הציגה חברת ג'נרל מוטורס את ה"אימפקט" – רכב חשמלי, שביצועיו עולים על אלה של מכוניות הספורט הפופולריות כיום. הרכב הדו-מושב הוציא להאיץ ממצב מנוחה למהירות 100 קמ"ש בזמן קצר יותר מזה של מכוניות הספורט 300ZX ומיאטה של מן. הרכב, שעדיין אינו מיוצר סדרתית, תוכנן מיסודו כרכב חשמלי (להבדיל מהסבה של רכב מונע בדלק). והחברה מחזיקה בכתיסת פטנטים על חידושים שונים שהוכנסו בו. ה"אימפקט" מסוגלת להגיע למהירות מרבית של 160 קמ"ש, ואולם המפתחים הגבילו את הערך המרבי ל-120 קמ"ש. טווח הנסיעה עד לטעינת מצברים מוערך ב-190 ק"מ, כאשר המהירות הממוצעת היא 88 קמ"ש. מחיר הקניה של הרכב אמור להיות תחרותי, אבל מחיר אחזקתו אמור להיות כמעט כפול מזה של רכב רגיל בגלל הצורך להחליף מדי שנתיים את מצבר הרכב, שמחירו מגיע ל-1500 דולר.



בובת-אדם למדידת מכות-צד בתאונות דרכים

כ-20% מתאונות הדרכים כרוכות במכות-צד הגורמות לפציעות קשות. הכרת מנגנוני הנזק והכוחות הפועלים על האדם בתאונות מן הסוג הזה, תאפשר לשפר את תכנון הרכב ותביא ליצימות הפגיעות במקרים האלה. לצורך זה חברו יחד מעבדות מחקר מבריטניה, צרפת והולנד, ופיתחו בובת-אדם מכנית המאפשרת לקבל מידע על הכוחות המופעלים על האדם בתאונות עם מכות-צד. הכתפיים והחזה של הבובה, שפותחו באנגליה, מורכבים משלושה מודולים זהים של צלעות מפלדה קפיצית, המחוברים למערכת בוכנות, קפיצים



ומשקכים הידרוליים. הצוואר והאגן פותחו בצרפת על-ידי מעבדת המחקר המשותפת לפיג'ו ולרנו, והבטן ומנגנוני פותחו בהולנד על-ידי המוסד למחקר רכב, TNO. עור הבובה מיוצר מ-PVC יצוק, וחללי הגפיים ממולאים בפוליאוריטן מוקצף. צלעות הבובה, שכאמור נתמכות במשככי זעזועים, מכילות מיכשור מדידה אלקטרוני כגון מדי-תאוצה, מדי-עיבור וכן מתמרים, המציגים קריאות של המכות שהבובה סופגת. בסך הכל יש לבובה 21 ערוצי מידע המזינים נתונים למחשב בעת ההדמיה. תכונת המפתח של הבובה הינה רמת ההדירות הגבוהה של תגובותיה – כלומר היא מגיבה לניסוי מוגדר

