

מערכות בקרת אש לטנקים

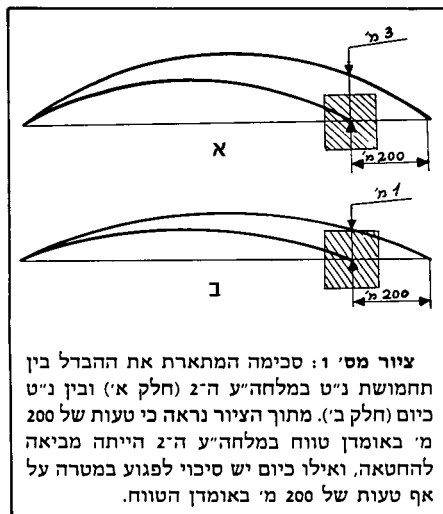
אל"מ שאול

ישלח דוד את ידו אליהכלי ויקח משם אבן ויקלע ויך את־הפלשתי אל־מצחו ותטבע האבן במצחו ויפול על־פניו ארצה. ויחזק דוד מן־הפלשתי בקלע ובאבן ויך את־הפלשתי וימיתוהו וחרב אין ביד־דוד.
שמואל א', י"ז, מ"ט-נ'

הנה כבר אז הרגיש המספר שני יסודות עיקריים בלחימה: "ויקלע" – כלומר צלף, דייק בקליעה, "ותטבע האבן" – כלומר חדרה למצחו והביאה להריגתו. הקליעה והחדירה הם היסודות העיקריים בלוחמת שריון. התכלית היא החדירה המביאה להשמדה, והדרך להגיע לחדירה היא השגת הפגיעה במטרה. הקליעה והחדירה שזורות זו בזו ורק כאשר שתייהן קיימות, בזו אחר זו, מושגת תכלית הלחימה. יכולת החדירה נקבעת על־ידי תכונות התחמושת, כפי שהוקנו לה בשלבי התכנון ואין איש הצוות יכול לשנותה (הגם שהיא מושפעת מצורת הפגיעה במטרה ומגורמים אחרים). יכולת הקליעה לעומתה נשענת במידה רבה על הגורם האנושי מזה, כלומר מיומנות הביצוע ותורת הירי שקבע לעצמו, ועל הדיוק הטבעי של התותח והתחמושת וכישורי מערכת הירי שבטנק מזה. במסגרת החתירה המתמדת לשיפור יכולתו המבצעית של הטנק ולשכלולה מושקע מאמץ רב בנושאי הקליעה והחדירה, לצד מאמצים אחרים לשיפור המיגון של הטנק, שרירותו ועוד. הדברים הבאים יתמקדו רק בנושא הקליעה – עבר, הווה ועתיד. מערכת בקרת האש שבטנק, היא זו שמתפקידה לסייע בהשגת הקליעה למטרה, או בלשון השריונאים, להביא לפגיעה במטרה.

לפני הדיון המפורט בעניין מן הראוי להבהיר מהי רמת הקליעה אליה אנו חותרים. היעד של מערכות בקרת אש הוא לאפשר פגיעה במטרה שגודלה כגודל טנק, עד לטווח המָרְבִּי של לחימת טנקים. כדי לאפשר השוואה של מערכות שונות נקבעה בעולם המערבי אמת מידה והיא מטרה בגודל 2.3×2.3 מטרים, ואולם, יש המגדירים גם גדלים אחרים: לדוגמה רוחבו של צריח טנק הוא 2 עד 2.5 מטרים וגובהו עד 1 מטר; לעיתים יקרה שטנק האויב מוסתר בחלקו מאחורי קפל קרקע גבוה ואז רק הצריח שלו חשוף. טבעי הדבר שהשגת פגיעה במטרה קטנה יותר היא משימה קשה יותר. מערכת החימוש של הטנק ומערכת בקרת האש הנלווית אליה, צריכות לענות לא רק

לקריטריון הפגיעה במטרה אלא גם לדרישות נוספות המתחייבות מלחימת הטנק: יכולת ירי לטווחים שונים, יכולת לפתוח במהירות בירי, יכולת מעבר מהיר ממטרה אחת לשנייה, ויכולת ירי ביום ולילה. חשיבות רבה ביותר נודעת להשגת פגיעה כבר בירי כדור ראשון, שאם לא כן, עלולים להתרחש מספר דברים: המטרה עלולה לחמוק ולהיעלם, הטנק היורה ייאלץ לחשוף עצמו וזמן ממושך יותר בעמדות אש וסכנת היפגעותו תגדל, הטנק היורה יוציא



יותר תחמושת, דבר שיקצר את משך פעילותו המבצעית ויביא לצורך במילוי מחדש של דלק, תחמושת ועוד.

בתותח כיום	בתותח מלחה"ע ה'
1.5 מ'	5 מ'

השינוי בגובה הפגיעה עקב שגיאה של 200 מ' באומדן טווח (בטווח 2000)

השאיפה לפגוע בכדור ראשון היא אפוא, היעד החשוב ביותר של צוות הטנק ולכך מכוונים מאמצי המהנדסים והמדענים המתכננים ובונים את מערכות הירי בטנק.

סיכוי הפגיעה בירי כדור ראשון

כל מי שירה אי פעם ברובה יודע שיש בו גררה של טווחים שיש לכוונה לפני הירי. כאשר רוצים לפגוע במטרה רחוקה יותר, יש להגביה יותר את קנה הרובה. הוא הדין בתותח הטנק.

מאז נבנו הטנקים הראשונים בעולם, בשנת 1915, היה הטווח הנתון היסודי והחשוב ביותר שנדרש לירי מדויק. בטנק מצויים גררה אופטית, או טלסקופ בו ישנה לכל טווח נקודת כינון משלו. באין אמצעי מדידה, נקבע הטווח על־פי אומדן של מפקד הטנק המביט אל השטח ומעריך את הטווח למטרה על־פי ניסיונו. בהיעדר שיטה אחרת הייתה שיטה זו, למרות חוסר הדיוק שבה, השלטת בכיפה במשך 35 השנים הראשונות של קיום הטנק. גם טנקי הסנטוריון של צה"ל לחמו כך ברמת הגולן ובסיני במלחמת יום הכיפורים כשישים שנה לאחר המצאת הטנק. חוסר הדיוק שבשיטה זו, מומחש בטבלה ובציור מס' 1 המראים את השינוי בגובה נקודת הפגיעה הצפויה עקב טעות של 200 מטרים באומדן טווח. לצורך ההדגמה, נסתפק בטווח של 2000 מטרים ובתחמושת נ"ט של טנקים בני זמננו בהשוואה לתותחי הטנקים במלחמת העולם השנייה. במציאות יכולה הטעות באומדן טווח להגיע לכ־20 אחוזים של הטווח ולמעלה מזה. מובן אפוא כי ההחטא אשר יוצגה בציור מס' 1 יכולה להיות כפולה או יותר. פרושו של דבר שגם כיום אם נטעה ב־200 מטרים בקביעת הטווח למטרה, ונכוון למרכז של מטרה בגובה שני מטרים הנמצאת בטווח 2000 מטרים, יש סיכוי רב שלא נשיג פגיעה.

ההחטא תהיה בשיעור מטר אחד בגובה (למטה או למעלה). קל וחומר שלא היינו משיגים פגיעה בתותחי מלחמת העולם השנייה. לפגיעה בכדור ראשון (או לאחר ירי מספר קטן של כדורים) יתרון גדול: כמות התחמושת שבמחסני הטנק, הקרויה בפי הטנקיסטים "בטן תחמושת", תספיק לפגיעה במטרות רבות יותר ולהשמדתן. ויתרון אחר היותר מוחשי בשדה הקרב הוא שפחות ופחות טנקים ייאלצו לצאת ממחזור הלחימה להפסקות לצורך מילוי עצמם מחדש בתחמושת. בטנקים שלנו לדוגמה, יש כ־60 כדורי תותח בבטן הטנק ובטנקים רוסיים מסוג T-61/T-55 המצויים במזרח התיכון יש כ־40 כדורים בלבד. לטנקים שלנו יש אפוא "אורך נשימה" גדול יותר בקרב ללא מילוי מחדש. (לא נשכח גם את משלם המיסים. מחירו של כדור חודר שריון מודרני לתותח 105 מ"מ השכיח אצלנו ובמערב הוא 500-600 דולר!)

המאמצים לקביעת הטווח המדויק למטרה בשנות ה־50 המוקדמות הושגה התקדמות



לשיטות קודמות שמנינו: הפעלתו מהירה, התוצאה מדויקת לחלוטין, ואפשר לבנותו כחלק אינטגרלי בכוונת. למד טווח ליזור גם חסרונות: המדידה חייבת להיעשות כאשר הטנק חשוף בעמדה. לאחרונה התפרסמו בעיתונות המקצועית מדי טווח ליזור המהווים חלק ממשקפת שדה וכך אפשר למדוד טווח כאשר הטנק בהסתר.

אלה, אם כן, השיטות והאמצעים העיקריים למדידת טווח והם מעידים על החשיבות הרבה שמיחסים כל הצבאות לדיוק הירי של הטנק.

הצורך במערכות בקרת-אש משוכללות

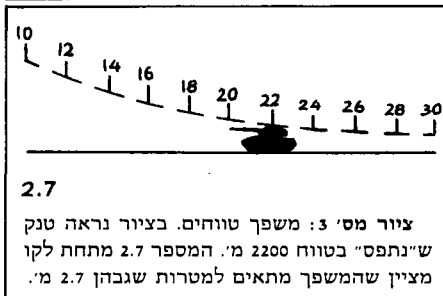
על אף שבכמה מרכיבים של הטנק לא חלו שינויים יסודיים זה שנים רבות, הרי אוסף השיפורים שיושם בטנקים חדשים הוא מרשים ואי אפשר בשום פנים להשוות טנק של שנות ה-70 לטנק של שנות ה-80. טנקים לא מעטים עברו הסבה רצינית לפחות פעם אחת ולעיתים יותר. התותח הוחלף, מנועים וממסרות הוחלפו, הוכנסו שינויים באמצעי המיגון וההישרדות ועוד. יחד עם זאת, ההסלמה שחלה בשדה הקרב בעבר הקרוב והתחזיות לעתיד, מציגות תביעות חדשות וחמורות מן היכולת המבצעית של הטנק. במזרח הופיעו טנקי T-72 עם תותח בקליבר 125 מ"מ (התותח הסטנדרטי במערב הוא בן 105 מ"מ). לבריטים כבר יש טנקים מבצעים בעלי תותח בן 120 מ"מ (הציפיטין). במערב גרמניה ובארה"ב מתוכנן ייצור טנקים חדשים (XM-1, ליאופרד 2) אף הם עם תותח 120 מ"מ. אויבי הטנק האחרים התרבו אף הם: נשק נ"ט מתוחכם ומגוון יותר המסוגל לפעול ביום ובלילה הוכנס לשימוש חיל הרגלים, חימש ארטילרי ייעודי נגד טנקים וטילים נ"ט הנורים ממטוסים ומסוקים. כל אלה הם בעלי עצמת קטל גבוהה מבעבר ובעלי דיוק פגיעה רב מבעבר. על רקע זאת, אי אפשר עוד להסתפק בסיכוי הפגיעה שהושג עד כה, למרות השיפור שחל עם הכנסתו לשימוש של מד טווח ליזור. זאת ועוד, מורגש צורך חריף ורחוק לצייד את הטנק בתכונות נוספות שאיכותן תהיה גבוהה במיוחד, שעימן נמנות:

מהירות הירי: טנק חייב לירות במהירות ובדייקנות ולכך כמה טעמים. ראשית, יותר ויותר מטרות בשדה הקרב הן בגדר מטרות מזדמנות. כלומר מתגלות לנו רק לפרקי זמן קצרים. אם לא יבוצע ירי אליהן, הן עלולות להעלם. הטעם השני נובע משיקולי הישרדות, היינו מהרצון לצמצם עד כמה שאפשר את זמן החשיפה בעמדת אש.

יכולת ירי ביום ובלילה: הקרב עלול להתרחש גם בלילה ואז חיוני יהיה לאפשר לטנק תצפית לירי לטווחים בהם יכול התותח לבוא לידי ביטוי ואף למעלה מזה.

ירי למטרות נעות וירי תוך תנועה: חלק לא מבוטל של המטרות בשדה הקרב הן מטרות נעות היינו טנקים, נגמ"שים ורכב. יש לכונן במקרה זה את התותח מעט לפני המטרה. שיעור ההיטס אינו קבוע והוא מותנה במהירות המטרה ובכיוונה היחסי, בסוג התח- מושת שיורים ובטווח למטרה. ללא מכשירי

שהצטיינו בנותב מוגבר) ביחס למטרה. אם צורך מספר 2, לדוגמה, פגע במטרה או בקרבתה המיידית, הרי שהטווח אליה הוא 1500 מ'. אולם, היישום של תוצאה זו הוא מידי. התותחן יורה כדור תותח בהגבהה המתאימה לטווח שנמצא. לשיטה זו יש יתרונות מיוחדים: היא פשוטה יחסית בביצוע. ההשפעות האט- מוספיריות על כדורי מקלע הטייח דומות לאלה של כדורי התותח, וכך משמשים כדורי מקלע הטייח כגשש לא רק לעניין הטייח. עם זאת, יש לשיטת מקלע טייח גם חסרונות לא מבוטלים: היא אינה מדויקת לחלוטין, מדרגות הטייח בין צורות מקלע הטייח חייבות להיות קטנות ביחס (במקרה של ציפיטין — 300 מטרים) ובארבעה צורות אפשר לכסות תחום טווחים של כ-1000 מטרים בלבד. חיסרון נוסף



הוא בעובדה שההתאמה הבאליסטית של קליעי מקלע הטייח לכדורי התותח אפשרית רק בסוג תחמושת אחד (לדוגמה כדורי נפץ). לכדורים חודרי שריון ההתאמה פחות טובה ופחות מדויקת. כאן מתחיל הירי להיות מסורבל. על כל זה, חושף הטנק היורה את עצמו לזמן ארוך יחסית, עד גמר הטייח ולפעמים מתגלה כוונת הירי שלו.

מהפכה של ממש בתחום מדידת הטווח חלה מההומצא מדי-טווח ליזור. דגמים ראשונים לצרכי ירי טנקים נוסו לראשונה רק לפני כעשר שנים. מד טווח ליזור מאפשר למדוד טווח בדיוק קבוע של חמישה או עשרה מטרים ללא תלות בטווח ותוך חלקיק שנייה. אופן הפעלתו: כיוון התותח למטרה (מד טווח ליזור מקביל לתותח), ולחיצה על כפתור. עקרון המדידה הוא שילוח קרן אור מרוכזת מאוד ובלתי נראית לעין האדם. לעבר המטרה ומדידת הזמן שבין עזיבת הקרן ובין זמן הקליטה של האור המוחזר מן המטרה. בהיות מהירות האור ידועה, מחושב הטווח אוטומטית ומוצג באופן ספרתי בתמונת פני-העדשה של הכוונת או בתצוגה אחרת כלשהי. למד טווח ליזור יתרון עצום בהשוואה

ממשית בכיוון ידיעת הטווח המדויק למטרה, עם ציודם של ראשוני טנקי הפאטון האמריקניים במדי-טווח אופטי. עקרון הפעולה, (ראה ציור מס' 2) היה ללכד דמות של מטרה שנצפתה דרך צידו האחד של המכשיר עם הדמות שנצפתה דרך הצד השני. על-פי הגיאומטריה של המשולש שנוצר (שקודקודיו הם שני קצות המכשיר והמטרה עצמה) נקבע הטווח. בפועל, היה מפקד הטנק קורא את הטווח ישירות בחלון הטווחים על-פי מצב הראי של הצד המתכוונן. לשיטה זו יתרון על פני אומדן טווח בעין בכל הנוגע לדיוק, ולעיתים אף יתרון במשך המדידה. אך לצד היתרונות היו גם חסרונות כבדי משקל: המדידה חייבה חשיפה של הטנק המודר כל משך המדידה, הנע בין עשר לעשרים שניות. זמן זה מתווסף לזמן החשיפה עד לירי הכדור הראשון: דיוק המדידה היה יורד עם העלייה בטווח עקב גבול הדיוק של ייצור החלקים המכניים: לא ניתן היה לבצע מדידת טווח כלילה: רק מפקד הטנק לבדו יכול היה להפעיל את המכשיר, דבר שהיה מחייבו לרדת לצריח ומנתק אותו במשך כל פרק המדידה מתצפית לעבר שדה הקרב ולעבר טנקים אחרים ביחידה. המכשיר היה טעון כוונונים תכופים ונדרשה בקיאות בהפעלתו.

אף על פי כן, גם כיום, כמעט 30 שנה לאחר שצוירו טנקי הפאטון האמריקניים במדי-טווח אופטי, הם עדיין מצוידים במכשיר זה, והוא הדין לגבי שאר הצבאות המחזיקים ברשותם טנקים מסוג זה, לרבות צה"ל. ניסיון אחר למדידת טווח מדויקת יותר מאשר אומדן עין נעשה בטנקים הרוסיים מסוג T-54, T-55 ו-T-62. כאן ננקטה שיטה המכונה בפי השריונאים "משפך טווחים" על שום צורתו של הציור בעדשת הטלסקופ המשמש למדידת טווח. עקרון הפעולה מתבסס על העובדה כי ככל שהמטרה רחוקה יותר, הרי היא נראית קטנה יותר (נמוכה יותר). כך אפשר לשרטט בעדשת הטלסקופ שני קווים שהמרחק ביניהם קטן והולך, בהתאם לשינוי הגובה הנצפה של מטרה בעלת גובה מסוים. הרוסים שרטטו בטלסקופ של הטנקים משפך טווחים המותאם לגובה 2.7 מטרים המייצג אצלם, כנראה, גובה של טנק מערבי (ראה ציור מס' 3). שיטה זו שהייתה מהירה יותר ואפשרה לתותחן לבצע את המדידה, סבלה אף היא מחסרונות: דיוק המדידה שלה היה קטן בהשוואה למד טווח אופטי, ומטרות שגובהן שונה מ-2.7 מטרים לקו מאוד בדיוק המדידה שלהם. בפועל אי אפשר לדעת מהו הגובה האמיתי של מטרה בשטח ללא מדידה מיוחדת.

שיטה נוספת, שמן הראוי להזכירה היא זו המכונה שיטת "מקלע טייח". שיטה זו פותחה בבריטניה והייתה נהוגה בדגמים המאוחרים של טנק סנטוריון ובטנקי הציפיטין הראשונים. על פי שיטה זו, יורים תחילה לעבר המטרה ארבעה צורות ממקלע מיוחד, בזה אחר זה, כל צדור בן שלושה כדורים. כל כדור נורה בהגבהה המתאימה לטווח מסוים. לדוגמה ירי לטווחים 1200 מ', 1500 מ', 1800 מ' ו-2100 מ'. מפקד הטנק צופה אל עבר נקודת הנפילה של הקליעים

משפיע בשני הכיוונים. המייחד את כל גורמי החטאה שהם אינם קבועים במקום, בזמן או בערכם. מכאן מתחייב למדור אותם בריקנות רבה וסמוך ככל האפשר למועד הירי. לפני שנמנה את הגורמים, חשוב לציין עובדה נוספת. הריגה נסב סביב גורמי החטאה הקשורים לנתוני הכינון אך לבד מהם גורמת לאי דיוק גם איכות התחמושת: גם אם שני כדורים נורים ברציפות בזה אחר זה באותם התנאים ממש, אין הם פוגעים באותה נקודה בדיוק ויש להם "פיזור טבעי" מסוים. הפיזור הטבעי הוא לרוב סימטרי סביב הנקודה שאליה מכוונים. לפיכך זה אפשר לקרוא גם אלומת אש, כלומר סה"כ המעטפת התיאורטית שבה יכול לעבור המסלול הבלטי של כדור כלשהו (מסוג תחמושת מסוים). אם שטח אלומת האש קטן מצללית המטרה, כל כדור הנורה למטרה יפגע בה. אם שטח אלומת האש גדול מצללית המטרה, יוכל חלק מהכדורים שלא לפגוע במטרה, (ראה ציור מס' 4). כאשר יורים כדור יחיד, כדור ראשון, על אף שמרכז אלומת האש חופף את מרכז המטרה – סיכויי לפגוע אינם 100% במקרה זה.

נמנה את גורמי השגיאה ונתבונן לצורך זה בציור מס' 5 שבו מתוארת ההזזה היחסית של אלומת הפיזור הטבעי ממרכז המטרה בגלל גורם השגיאה, ואם אין מתחשבים בו. כל הערכים שבציור חושבו על פי הנתונים של תחמושת מטען חלול של תותח הטנק, בירי לטווח 2000 מטרים. המטרה היא צללית של חית הטנק. ואלה גורמי השגיאה העיקריים: אי דיוק בטווח, רוח צד, שיפוע צד של הטנק, מטרה נעה, חומר הנפץ ההודף שבתרמיל חם או קר מהרגיל, קנה שחוק (הנמצא ברבע האחרון של חייו), קנה מתכווץ עקב שמש, קנה בלתי מכוון בהתאמה עם הכוונת האופטית, תותחן שאינו מדייק בכינון.

ההשפעה המצטברת של גורמי השגיאה השונים טעונה חישוב מורכב אך התוצאה היא החטאה בגודל מסוים ובכיוון מסוים (הצידה, למעלה, למטה או בכיוון משולב) וכאמור התוצאה משתנה בין כדור לכדור. כל גורמי השגיאה ניתנים לחלוקה לחמש קבוצות: התותח, התחמושת, נתוני הכינון, גודל המטרה והאדם. לא נמנו קודם אלא חלק מגורמי השגיאה והמעניין הוא שיש גורמים שעלולים אי אפשר למדור אותם בריקנות ואם בכלל בשעת קרב: מקומו של כדור מסוים בתוך אלומת האש אינו ניתן לחיזוי. קנה התותח נוטה לקפוץ בעת הירי עקב הכוחות הדינמיים הפועלים עליו והרתיעה שלו לאחר. הרתיעה, על אף שהיא טיפוסית לכל סוגי התחמושת – איננה קבועה.

מערכת בקרת אש חדשה

הנה כי כן, במהלך עשרים השנים האחרונות התחוללו במקביל מספר תהליכים, אשר הביאו בסופו של דבר לידי מימוש מערכות בקרת אש חדשות, שהיוו צעד ענק קדימה בתחום יכולת הקליעה של הטנק. עם תהליכים אלה נמנים: ההתקדמות בחקר הטכני והמדעי של תופעות הירי בטנק. בתחום זה עשו רבות מכוני המחקר והפיתוח, צבאיים ואזרחיים, בארה"ב, בברי-

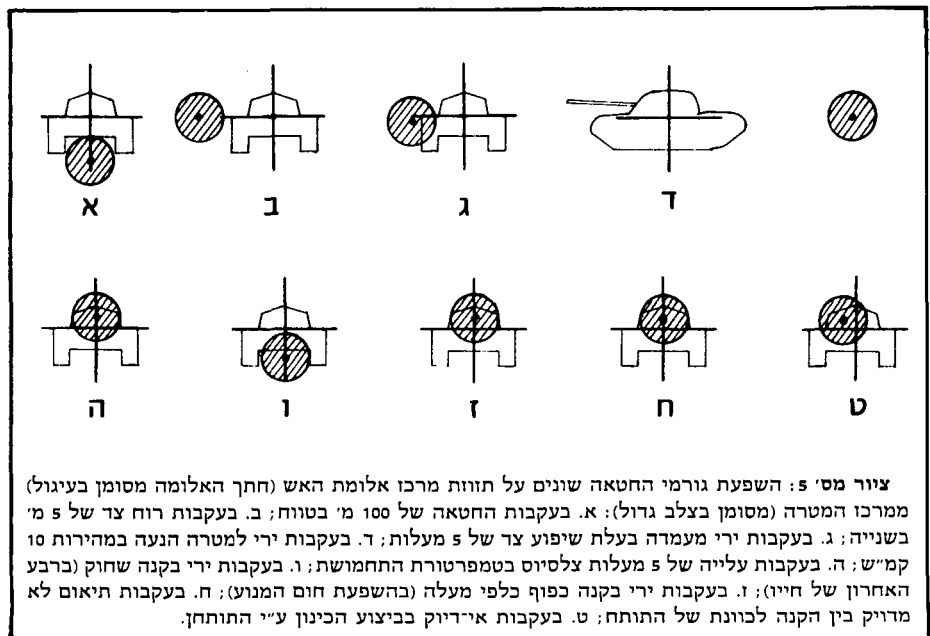
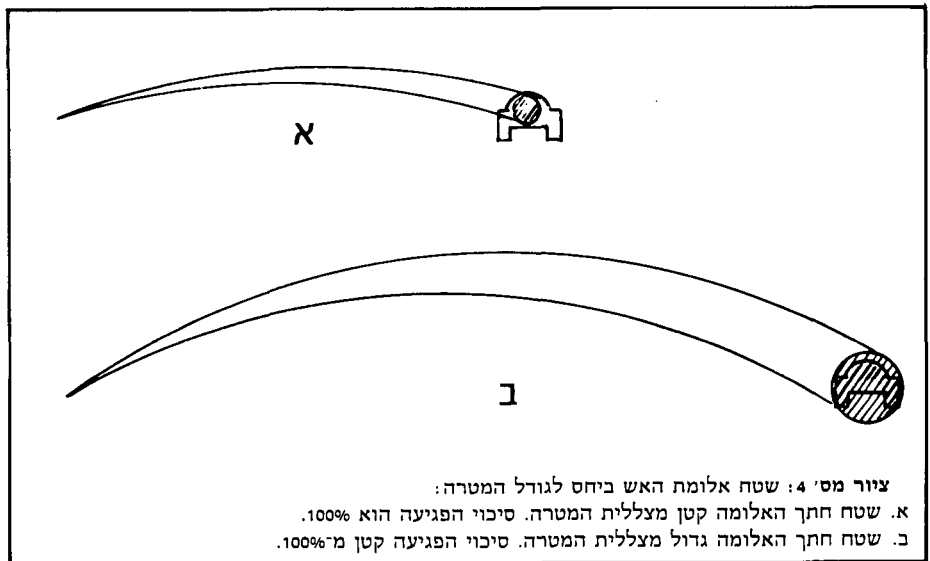
נושא מדידת הטווח התברר כי לגורמי החטאה אחרים, שהיו פחותי ערך כל אחד לעצמו בהשוואה לטעות בטווח, יש משקל מצטבר ניכר, המשפיע על סיכוי הפגיעה ויש צורך לטפל גם בהם. במלים אחרות, גברו ההרגשה וההכרה שאי אפשר להמשיך ולשפר פריט זה או אחר אלא יש לתקוף את הנושא בגישה מערכתית: לפתח, לייצר ולהצטייד במערכת בקרת אש שלמה, אשר אופיינה מראש מתוך ראייה כוללת.

גורמי החטאה בירי טנקים

לפני התיאור של מערכות בקרת אש, חשוב להכיר את גורמי החטאה המרובים ואת השפעתם. בשם גורמי החטאה מכנים את כל הסיבות המביאות לפגיעה שלא בנקודה המתוכ-

מדידה מהירים, מדויקים ואוטומטיים, הסיכוי לפגוע במטרה נעה הוא קלוש או שהיא תחמוק בטרם פגיעה. הירי תוך תנועה קשה ביותר. הכוונת מטלטלת עם הטנק בטלטולי הדרך וכך הופכות פעולות התצפית, הכינון והירי של התותחן למעשה אומנות מיוחדת. על אלה אפשר להוסיף דרישות נוספות הנובעות אף הן מהמציאות של שדה הקרב ומהלקח שנלמד בעבר: על הטנק להיות בעל יכולת כינון וירי גם על-ידי מפקד הטנק, בדומה לירי על-ידי התותחן, ורצוי שתהיה לו כוונת חירום, למקרה שנפגעת הכוונת הראשית מרסיס או מנשק קל.

ככל שהתרבו הדרישות, כן גברה ההכרה כי יש הכרח לעשות קפיצת דרך בתפיסה של מבנה מערכת הירי שתאופיין על-ידי אוטומציה רבה



ננת. חלק מן הגורמים משפיע על החטאה אופקית, חלקם על החטאה אנכית וחלקם

של כל ההליכים ושל עיבוד הנתונים עד לירי, ועל-ידי תגובה מהירה. לאחר שהתגברו על



טניה, במערב גרמניה ועוד. במסגרת התקדמות זו בוצעו שינויים שכללו ירי אלפי כדורים בתנאים שונים והתוצאות תמכו במסקנות המקרים, או הפריכו אותן. או הביאו לגילוי תופעות חדשות ובלתי מוכרות קודם לכן. התפתחות הוירה הקרבית: התעצמות במיגון שריון חייבה פיתוח תחמושות טנקים חדישות, בעלות פוטנציאל גדול יותר לחיריה ולהשמדה. מחיר התחמושת עלה, וממילא גבר הצורך בדיוק. טווחי הלחימה התארכו בניסיון להקטין את סיכוי החיריה ושוב עלה הצורך בהגברת הדיוק.

התפתחות טכנולוגית וטכנית מרשימה בתחומי האלקטרוניקה, האלקטרו־אופטיקה ועיבוד שבבי ממוחשב ומדויק.

מעבר לכך, נדמה שלא במעט הביאה לכך המציאות בה מצאו עצמם צבאות רבים, ובייחוד הגרולים שבהם המחזיקים ציי טנקים אדירים. המעבר לטנק מדור מתקדם, שיש בו שינוי מהותי בתכונות העיקריות: במיגון, בניידות, בעצמת אש ובשרידות, הוא תהליך יקר וממושקף שאף המדינות המתועשות והעשירות מתקשות לעמוד בו בקצב הרצוי. לארה"ב לדוגמה כ-11,000 טנקים. טנק אמריקני חדש ה-XM-1 יעלה יותר משני מיליון דולר ליחידה ואולי אף שלושה מיליון דולר (כ-80 מיליון ל"י!) מכאן שהחלפת כל צי הטנקים תעלה 20-30 מיליארד דולר (כלומר 500-800 מיליארד לירות!). ברור אפוא כי אי אפשר לפעול רק בדרך של החלפת צי הטנקים, וקיים ההכרח להעלות את רמת הכוונת על-ידי שיפור צי הטנקים הקיים. אם זו המסקנה, השאלה היא מהם המרכיבים החשובים ביותר בשיפור צי הטנקים, והתשובה לכך, בכל הצבאות שאנו מכירים, היא במתן עדיפות ראשונה לנושאי התחמושת ומערכות בקרת אש חדישות. מחירה של מערכת בקרת אש מודרנית, הוא 100,000-200,000 דולר (2.5 עד 5 מיליון לירות) — בהתאם להרכב המערכת, לתחכומה ולדיוקה, כלומר בגבולות עשירית ממחיר טנק חדיש. קצב הייצור של המערכות וקצב הסבת הטנקים יכול להיות גבוה מאשר קצב הייצור של טנקים חדישים.

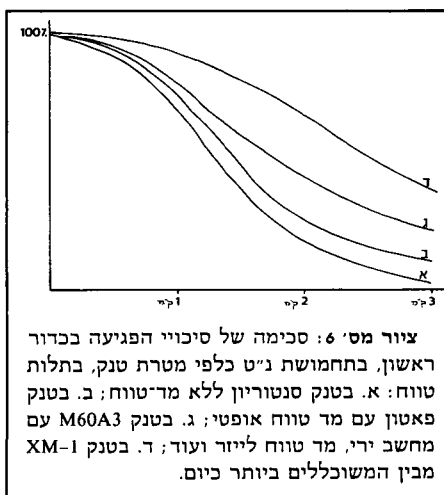
נתבונן במערכת בקרת אש חדישה, לדוגמה מערכת אמריקנית של טנק פאטון מסדרת M.60A3 שהספקתה לצבא ארה"ב החלה בשנה זו. פיתוחה של המערכת החל ב-1970 ומחירה המלא, לרבות כוונת תרמית הוא כ-200,000 דולר. המערכת כוללת: כוונת תותחן ליום ולילה, כוונת מפקד ליום ולילה, כוונת תותחן לחירום, מד-טווח לליזר, מחשב ירי אלקטרוני ועוד יחידות שליטה, חישנים שונים למדידת תנאי הירי.

הגורמים שאותם מעבד המחשב לכלל נתוני כינון הם: סוג התחמושת, הטווח למטרה, נטיית הטנק (שיפוע הצד של הצריח), רוח צד, מהירות המטרה הנעה, מידת הבלאי של הקנה, קפיצת הקנה, טמפרטורת אוויר ולחץ אוויר, הסחיפה עקב שחרור הפגז והכיוון היחסי בין התותח והכוונת.

סיבות רבות ושונות היו למשך הזמן הארוך שעבר מתחילת הפיתוח ועד לראשית ההצטיי-

נות, ורובן נעוצות בחוסר ראייה מערכתית של הנושא מלכתחילה, ובצורך להתמודד עם כמה בעיות טכנולוגיות (כמו ראייה תרמית) בהמשך. פיתוח מרכיבים אחדים הסתיים תוך שנתיים מהתחלת התהליך (מחשב הירי לדוגמה) והוא נחשב מיושן מבחינה אלקטרונית, וכמוהו גם המטיל הנחשב מיושן. אף על פי כן סיכוי הפגיעה שהושג במערכת זו גדול במידה ניכרת מזה של טנק M60 ללא המערכת. כרגע יש כבר מערכות מתקדמות יותר כמו זו של הליאופרד 2 ו-XM1. אולם ההישג של M60A3 הוא לא רק בשיפור סיכוי הפגיעה, אלא גם בשאר התכונות הנדרשות: ירי למטרות נעות, ירי לילה, זמן תגובה קצר וכו'.

בראיית הלילה חלה התקדמות עצומה בעשר השנים האחרונות, וההישגים מתרבים בקצב



גובר והולך. במלחמת ששת הימים הותקף במפתיע גדוד טנקים של צה"ל על-ידי טנקים מצריים שהיו מצוידים במכשירי ראיית לילה המבוססים על אור אינפרא אדום, ולא היה לגדוד זה במה להשיב. כיום נמצאים צבאות ערב בעיצומו של תהליך הצטיידות במכשירי ראיית לילה המבוססים על הגברת אור כוכבים וירח. מכשירים אלה אינם נזקקים כידוע לפנסים או זרקורים. הם ניוונים מהתאורה הטבעית והמלאכותית הקיימת בשטח, ואין הם נראים לצד השני. אמנם, גם למכשירים אלה חסרונות בהיותם תלויים ברמת התאורה בשטח כך שבליילה ללא ירח כלל קטנים טווחי התצפית במידה ניכרת. גם האמריקנים מצוידים בימים אלה את הטנקים מסוג פאטון M60A3 בכוונת לילה המבוססת על ראייה תרמית — המלה האחרונה של הטכניקה בתחום ראיית הלילה. אלה מכשירים הנחשבים לפתרון מושלם בתחום זה. מכשירים אלה קולטים קרינת חום הנפלטת מכל גוף בטבע, חי, צומח או דומם, גם אם הוא קר במושגים שלנו. על-פי קרינה זו, המעובדת על-ידי טכניקות אלקטרוניות, מתקבלת תמונת קרינה בשחור/לבן של העצם הנצפה ושל הרקע שלו, כאשר אזורים חמים יותר בולטים בהשוואה לקרים יותר.

מכשירי ראיית לילה תרמיים עודם בראשית דרכם וצפוייה התקדמות רבה בפיתוחם. הת-

קדמות זו תביא לשיפור באיכות התמונה, לפשטות יותר בייצור המכשירים וכן תתרום להולדת מחירים, דבר החשוב בפני עצמו שכן מחירה של כוונת תרמית לטנק (המאפשרת תצפית הן לתותחן והן למפקד הטנק) הוא כ-100 אלף דולר! השימוש באמצעים מיוחדים לראיית לילה שנוי במחלוקת. המתנגדים לו טוענים שאין צורך במכשירים אלה ומצביעים על שימוש נרחב בפצצות תאורה כאלטרנטיבה, ומנמקים זאת תוך התבססות על מספר טיעונים: ראשית, פצצות התאורה זולות בהרבה ונמדצות כתפוצה נרחבת בצבאות השונים במטוסים, בארטילריה, במרגמות וכד'. שנית, פצצת תאורה משרתת יותר מטנק אחד.

שלישית, השימוש בפצצת תאורה אינו מצריך הסבת טנקים ושינוי של תורת התפעול שלהם. ונוסף לכך, טוענים המתנגדים, הידע המרעי ויכולת הייצור המלאה של מכשירים תרמיים ופאסיביים (מגברי אור כוכבים) הם עדיין נחלת הבלעדית של מדינות בודדות, וכך הופכת רכישתם לתלות מדינית ולסכנת משבר בכל הנוגע לאספקת חלפים וכד'.

אלה הגורסים מעבר לראיית לילה מתקדמת מצביעים על קשיי הזמינות של פצצות תאורה במקום ובזמן הנדרשים ומציינים את חוסר האפשרות לגלות אויב ללא הפעלת תאורה אלא במכשירים אלה. המכשירים התרמיים הם פאסיביים לחלוטין בכך שאינם ניתנים לגילוי, ובעוד הויכוח נישט, הולכים הצבאות ומתחילים בהצטיידות באמצעי ראיית לילה תרמיים. המחירים עדיין גבוהים אך הפיתוי רב וקשה לעמוד בפני הקדמה.

השגות על מערכת בקרת אש מודרנית

ההרהורים והערעורים על הפיתוח וההצטיינות במערכות בקרת אש חדישות מלווים את הנושא מיום היוולדו, ובולטות בעיקר שתי גישות. האחת מתנגדת לתחכום יתר של המערכת ומצדדת בהסתפקות בשיפורים שמרניים יחסית כמו מד טווח לליזר ומחשב ירי פשוט. והאחרת שוללת מכל וכל את המערכות המבוססות על תותח ומציעה לעבור לטילים נ"ט ואחרים כחימוש עיקרי של הטנק. המצדדים בגישה הראשונה מציגים את המציאות כמגבלה וטוענים כי תחכום יתר פירושו מחיר יקר לכל המערכת וחשש שלא יהיה אפשר לצייד את כל הטנקים במחשבות כאלה. כן עלול לתחכום יתר להביא לסיבוך בהפעלה ובאחזקה. מערכות מסוג זה, הם טוענים, דורשות אחזקה על-ידי טכנאים מומחים יותר שאינם קיימים תמיד במספר מספיק. יוצא אפוא ששכרו של התחכום יצא בהפסדו כי תמיד יהיה חלק מסוים של מכשירים לא כשיר. לגבי התפעול, עומדת לרועץ העובדה שחילות שריון מתקדמים הם חילות גדולים המבוססים על אוכלוסייה בעלת רמת מיון נמוכה. שוב קיים החשש שהמערכת לא תנוצל כדבעי וחבל על ההשקעה העצומה.

• לרוסים כ-50 אלף טנקים, לאמריקנים כ-11 אלף, למערב גרמניה כ-30,000, לבריטניה כ-20,000, ולצרפת כ-10,000 טנקים. צבאות ערב כוללים כ-10,000 טנקים!

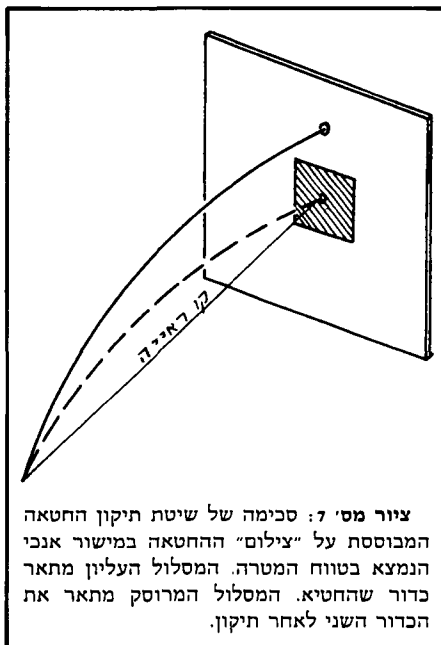
נניח שהיינו יורים אל מטרה המצוירת על קיר אנכי גדול והיינו מחטיאים. כל שעלינו לעשות כדי להשיג פגיעה בכדור הבא הוא לכוון מעט גבוה יותר (אם פגענו נמוך מדי) או נמוך יותר (אם פגענו גבוה מדי) בשיעור מסוים המתונה בגודל ההחטאה. (ראה ציור מס' 7) כיוון שהקיר אינו קיים במציאות וממילא אין הבחנה בחור הנוצר, אי אפשר למדוד את ההחטאה בפשטות. כאן נרתמה שוב הטכנולוגיה לעזרה והיא מציעה צילום של הפגז במעופו, ברגע עוברו ליד המטרה. והרי בצילום כזה כאילו משתקף החור שבקיר.... זה נשמע דמיוני מדי – אולי, אולם המדענים והמהנדסים מבטיחים שיתגברו על כל הקשיים. רעיון זה מכונה בקרת אש בחוג סגור. אולם, מעבר לבדיקה הטכנית שאינה פשוטה, יש שאלות הקשורות בכך והתשובות עליהן אינן בידי הטכניקה. לפי שעה מדובר על עיבוד ההחטאה להוראת ירי חדשה ע"י המחשב, ואולם את הכינון הסופי חייב לעשות התותחן, האדם; והוא, מסתבר, עדיין רגיש לעייפות ולאימי הקרב. כך, עדיין נותר גורם החטאה אחד לפחות, שעליו אין הטכניקה מתגברת. מעבר לגורם האדם קיים גורם נוסף אחר שקשה להתמודד אתו בשיטה זו, והוא הפיזור הטבעי של התחמושת. אילו היינו בטוחים שמקומו של הכדור השני בחתך של אלומת האש זהה למקומו של הכדור הראשון, הרי התיקון בשיטה זו הוא מוחלט, אך בפועל אין זה כך.

אחרית דבר

ככל התקדמות מדעית וטכנית (דוגמה מובהקת – אנרגיה גרעינית) מלווה גם התקדמות של מערכות נשק ביוכוחים ובחילוקי דעות בין אסכולות שונות. לא את כל הטענות אפשר לבטא באופן כמותי וכך להוציא מסקנה חד משמעית. הטענות אינן תקפים במידה שווה בכל הצבאות ויש גם תנאים מקומיים שמשקלם רב בדיון. משאבים, כוח אדם ואיכותו, כושר התעשייה המקומית ועוד. טנק רוסי מהקדרות M60, T-54, 55, 62, פשוט בהשוואה לטנק אמריקני אך לעומת זאת הוא המוני יותר ויחס כמויות הטנקים בין מזרח למערב הוא אחד לארבעה לפחות. על כל טנק משרת צוות בן שלושה חיילים ובסה"כ מהווים צוותי הטנקים אחוז קטן ביחס מסה"כ כוח האדם בעוצבת שריון גדולה (בדיבויזיה אמריקנית כ-300 טנקים ועוד נגמ"שים, ארטילריה וכו') וכ-14 אלף חייל). תוספת טנק גוררת תוספת גדולה בכוח אדם ותוספות אחרות בכל הדרגים. דומה שאין מנוס משיפור צי הטנקים ושלולו לא לשם מודרניזציה גרידא אלא כדרך לשימירת יתרון איכותי שנועד לפצות על נחיתות כמותית. באותן מדינות אשר מסיבות שונות אינן מגדילות את היקף צי הטנקים שלהן, קיימת רק דרך אחת להעלות את פוטנציאל הלחימה והיא ע"י הגברת היכולת הסגולית של כל טנק וטנק. ואם מדובר בשיפור איכותי, יש להבטיח שהבחירה תיפול על מערכת שיתרונה האיכותי יהיה ברור גם בעוד חמש או עשר שנים, כאשר גם הצד השני יוכל להשיג את השיפור הסטנדרטי הנפוץ בעולם, כי השקעות בהיקף כזה אין עושים בכל

ומה העתיד

נניח לרגע לזיכוכ על הטיל מול התותח ונשאל עצמנו: מה הלאה? האם בזה תם המאבק להישגים טובים יותר בתחום יכולת הפגיעה במטרה? בטרם נדון בסוגיה זו, נזכור כי מערכת בקרת האש היא אחת משתי אבני יסוד שעליהן נשענת הקליעה. השנייה היא דיוק התחמושת ואף בכיוון זה נעשים מאמצים רבים. בכל זאת, מהם חולשותיה של מערכת בקרת אש חדשה? ראשית, סיכוי הפגיעה בכדור ראשון, על אף שגדל במידה מרשימה מאוד, עדיין אינו מגיע למאה אחוזים בכל טווח ובכל הנסיבות. נסויים בתנאים דמויי-קרב שבוצעו בארה"ב הראו באופן כמותי את ירידת סיכוי הפגיעה בהשוואה להישגים בניסויים רגילים (אך כלום אין זה נכון לגבי כל מערכת נשק?). כך



או אחרת, מטרה שלא נפגעת בכדור ראשון מחייבת ירי של עוד כדור או כדורים ובירי של הכדורים הבאים יש ירידה דראסטית ברמת התחכום. שיטות תיקוני האש, על אף מערכות בקרת האש החדשות הן עדיין פרימיטיביות והתוצאות תלויות במידה רבה מאוד בתורת התותחנות מצד אחד ובגורם האנושי מצד שני. יש הסבורים שכל מה שידרש לעשות במקרה של החטאה הוא פשוט ירי של עוד כדור באותם תנאים כמו הכדור הקודם ללא כל שינוי. כזכור, מנסה מערכת בקרת האש למדוד בדיוקנות עד כמה שאפשר את ערכם של כל גורמי השגיאה ולעברם לפקודת הגבהה וצידוד של התותח. אם בכל זאת הייתה החטאה בירי כדור ראשון הרי לכאורה שיעור ההחטאה של כדור זה מייצג את סה"כ אי הדיוק שבמדירת גורמי השגיאה. במלים אחרות, הכדור הראשון משמש מודל לשגיאה השיווית של המערכת והוא בגדר כדור טיווח. מכאן עולה, שאם תמדד ההחטאה של כדור ראשון ותעבוד במחשב יהיה הכדור הבא בבחינת פגיעה ודאית, אך כיצד מודדים זאת?

אט אט הולך הטנק והופך למטוס בהרכב מכשיריו ובמורכבותו. השוללים מכל וכל את המשך ההישענות על תותחים כחימוש עיקרי לטנקים טוענים כי התותח סיים את הקריירה. דיוק הפגיעה של פגז מתותח טנק קטן בהשוואה לטיל נ"ט, ויתרונו של הטיל בתחום הדיוק בולט בעיקר בטווחים היותר ארוכים ההופכים לשכיחים יותר בשדה הקרב; המשגר – מערכת הירי של טיל מונחה או מתביית זולה יותר בהשוואה למערכת בקרת אש מודרנית; התפעול פשוט יותר ואינו דורש מומחיות בתותחנות טנקים; כושר החדירה של הטיל נ"ט במטרות שריון עולה על זה של כדור תותח ואילו תחמושת של תותח הטנק מתקשה והולכת בחירת שריון חריש ומתוחכם. כנגד טיעונים אלה ואחרים יש בפי המצדדים בתותח תשובות מן המוכן: התותחים כבר קיימים ועדיין אפשרי וזול יותר לשפר אותם ואת תחמושתם מאשר להחליף את כולם במערכת טילית; טיל הנ"ט יקר פי עשרה ויותר מכדור תותח: כ-5000 דולר לטיל מול כ-500 דולר לכדור תותח; הפעלת התותח לטווחים הקצרים יעילה יותר מהפעלת טיל נ"ט או טיל אחר ומרבית הקרבות נערכים עדיין בתחום שבו יש לתותח יתרון; במקרים רבים השימוש בטיל הוא בגדר שימוש בפטיש כבד להריגת זכוב; ירי טיל נ"ט אף שהוא פשוט, דורש מפעיל מיומן ואף כאן סיכוי הפגיעה אינו מוחלט; מעופו של טיל נ"ט ממושך, כחמש שניות לכל ק"מ, והוא ניתן לשיבוש ולהפרעות. כדור של תותח טנק עובר ק"מ אחד ב-0.7 שניות ואי אפשר לשבשו כלל.

התעצמות יום-יומית

ובעוד הויכוח נטוש ומעסיק מומחים צבאיים ופסאודו-מומחים, מדענים ומעצבי מדיניות ביטחון וממלא את העיתונות המקצועית כדרך שגרה, מתקדמים יום יום ושעה שעה, מי סתור ומי בגלוי, כמעט כל הצבאות המודרניים בעולם, במזרח ובמערב. ארה"ב כבר החלה בתכנית הצטיידות בהיקף מתוכנן של כ-4000 מערכות בקרת אש חדשות לצי הטנקים הקיים מסדרת M60 ונמצאת כבר בשלבי גמר פיתוח הטנק XM-1, שיש לו מערכת בקרת אש מתקדמת עוד יותר. במערב גרמניה חידשו טנקי ליאופרד 1 את נעוריהם על-ידי מערכות בקרת אש חדשות וגם שם עומד ליאופרד 2 על סף הכניסה לייצור סדרתי. המערכת של ליאופרד 2 אינה נופלת מזו של XM-1 האמריקני. גם בבריטניה יש דגמי ציפטיין מתקדמים בתחום זה ועל בלוחות הישרטוט מונח כבר MBT-80 שלהם. אגב, כמה מאות טנקי ציפטיין משוכללים היו מיועדים להישלח לאירן. לאחר המהפכה האירנית הם מחפשים שוק ואין להוציא מכלל אפשרות שיגיעו למזה"ת. אפילו בצרפת שאינה נמנית עם המובילות בעולם בתחום השריון יש דגמים מתקדמים של AMX-32, AMX-30 שהם בעצם טנקי AMX-30 עם מערכת בקרת אש חדשה. גם על המרכבה פורסם שיש לו מד טווח לייזר ומחשב ירי אלקטרוני. בגוש הסובייטי ידוע על T-72 ועל T-80, אך אין ידיעות מפורטות.



שנה אלא למחזור חיים של עשרים שנה ויותר. מערכות בקרת אש הן הסעיף הראשון במעלה והמועדף בכל הצבאות וההשקעה נושאת רווחים. בתחום השיפור בצי הטנקים שוקלות מדינות רבות גם מרכיבים אחרים כמו שיפור הניידות, המיגון והשרידות של הטנקים.

תחומים אלה אינם מוזנחים כלל. במערב לדוגמה, עוברים ממנוע 750 כוח סוס ל-1500 כוח סוס. נבדקות גם מערכות הסעה הירופני-אומטיות במקום מכניות. מתבצע מעבר לשריון חריש ורב שכבתי ובתחום זה התפרסם מיגון ציובהם כנגד מטען חלול. דגמי הטנקים החדשים מצוידים בתותח 120 מ"מ במקום 105

מ"מ המסורתי וה-T72 מצויד בתותח 125 מ"מ. ולבסוף, בצבאות רבים רואים במערכת בקרת האש סעיף ראשון בין השאר, כיוון שאפשר ליישם אותה בטנקים קיימים בעוד ששיפורים רבים אחרים מחייבים בניית טנק חדש על כל הכרוך בכך.

