

חקר ביצועים במפא"ת

כל רעיון לפיתוחו של אמצעי לחימה חדש חייב לעבור קודם כול את אנשי חקר הביצועים של מפא"ת. אלה פוסלים רעיונות נפל וממליצים על טכנולוגיות מועדפות למימוש רעיונות שמתגלים כראויים. במילים אחרות: הם חוסכים למערכת הביטחון המון כסף ותורמים תרומה של ממש להגברת כושר הלחימה של צה"ל

ד"ר משה / ראש מחלקת חקר ביצועים

רקע

הטכנולוגיות הנדרשות כדי לעמוד בהישגים מבצעיים רצויים.

העוסקים במלאכה באים מרקע מבצעי מגוון – החל מקצינים קריבים, שהצטרפו למחלקה מסדיר או ממילואים, ובהם קצין אג"ם של חטיבת טנקים ומפקד לשעבר של "דבור" בחיל הים, וכלה בבוגרי "תלפיות" ועתודה אקדמית, שנשלחים להשלמות אג"מיות וממלאים תפקידים בשדה במינוי חירום. כולם בעלי השכלה אקדמית ברמות שונות (כרבע מהם בעלי תואר שלישי או דוקטורנטים על סף רכישת התואר) במדעים מדויקים ובהנדסה. פיתוח אמצעי לחימה מודרניים הוא תהליך מורכב מאוד, הכולל כמה שלבים,

שבכולם מעורב חקר ביצועים. בהמשך המאמר אציג מקצת השלבים האלה ואת האופן שבו משתלב בהם חקר הביצועים ותורם להם תרומה חשובה.

כיוונים טכנולוגיים מועדפים

לפני שניגשים לפתח אמצעי לחימה חדש, יש לפתח את הטכנולוגיה של אותו אמצעי מתוכנן. אולם במקרים רבים קיימים כמה כיוונים טכנולוגיים שעשויים לתת פתרון לאותו צורך מבצעי. לכל כיוון טכנולוגי יש, בדרך כלל, רמת ביצוע שונה, הנובעת ממגבלות שונות, וכן מאפיינים קריטיים שונים, כגון סיכוני פיתוח, משך הפיתוח ועלויות. הדילמה העומדת בפני המפתח של אמצעי הלחימה העתידי היא באיזו מן הטכנולוגיות לבחור.

חקר הביצועים עשוי לסייע בבחירה זו, ואמחיש זאת באמצעות סיפור פשטני מעט של מעשה שהיה:

מקובל להשתמש באמצעים לראיית לילה המבוססים על חישה אלקטרואופטית (באורכי גל שונים, אך ככלל בתוך "החלונות האטמוספיריים" – אורכי גל שבהם הבליעה

זמן מה לפני שפרצה מלחמת העולם השנייה הבין הממסד הביטחוני הבריטי שכדי לנצל ביעילות את מערכות נשק המתקדמות שברשות צבא בריטניה, המבוססות על יכולות מדעיות וטכנולוגיות חדשניות, נכון יהיה להיעזר במדענים ובאנשי טכנולוגיה, המבינים ומכירים מקרוב את היסודות המדעיים והטכנולוגיים, שעליהם מבוססות מערכות הנשק האלה. אותם מדענים ואנשי טכנולוגיה – העריכו בממסד הביטחוני הבריטי – גם יוכלו לסייע בהבנת אופן פעולתן של מערכות נשק מתקדמות של האויב ולהשתתף בפיתוח אמצעי-נגד טכניים ותו"ליים.¹

בהתאם לקו המחשבה הזה גייסו הבריטים עם פרוץ מלחמת העולם השנייה מדענים מובילים מכל תחומי המדע והמחקר – כולל חוקרים מתחומי המדעים הקלאסיים ומדעי החברה והרוח, אך בעיקר מתחומי המדעים המדויקים. קבוצות מחקר אלה נודעו בהמשך כקבוצות חקר ביצועים (Operations Research). מאז התקבלה הגישה הבריטית בצבאות רבים בעולם, וברבים מהם פועלות כיום קבוצות חקר ביצועים (חק"ב).

בצה"ל פועלות כמה קבוצות חק"ב, וכל אחת מהן עוסקת בבעיות הצבאיות המרכזיות של הזרוע שבה היא משרתת. קבוצת חקר הביצועים במפא"ת משרתת, כמובן, בעיקר את מפא"ת, ולכן היא עוסקת בראש ובראשונה בתחום המעסיק את מפא"ת, דהיינו פיתוח אמצעי לחימה לצה"ל. באורח מעשי עיקר עיסוקנו הוא בתחום שבין הטכנולוגיה לצורך המבצעי. מדובר, למעשה, ב"תרגום" הלך ושוב בין שתי "שפות" – הטכנולוגיה והצורך המבצעי. "תרגום" זה כולל הן הערכה של המשמעות המבצעית שמקנות יכולות טכנולוגיות והן הצגה של היכולות

יתרון ייחודי בעולם: החוקרים, המהנדסים ושאר הגורמים הטכניים שירתו (בסדיר) ומשרתים (במילואים) בצה"ל ומכירים, מתוקף ניסיונם האישי, צרכים מבצעיים שלו. בשל הצירוף הזה של רקע צבאי וטכנולוגי ביכולתם להציע הצעות חדשות לפיתוח אמל"ח.

לאחר שמועלית הצעה כזאת למפא"ת, או שיוזם אותה גוף כלשהו בצה"ל או במפא"ת עצמה (שגם למשרתים בה יש רקע צבאי וטכנולוגי), מתחיל תהליך של בחינת ההצעה. תפקידו של חוקר הביצועים במפא"ת הוא לסייע בבחינה זו באמצעות מתן מענה לשאלות הבאות:

1. מהם הביצועים הצפויים של המערכת המוצעת?
2. מהן נקודות התורפה של המערכת וכיצד ניתן להתגבר עליהן (והאם ניתן – באופן כללי – לשפר את ההצעה)?
3. מה תהיה התרומה המבצעית של המערכת, אם תמומש ותשיג את הביצועים הצפויים?
4. האם כדאי להיכנס לפיתוח המערכת לאור היכולות הקיימות? (כלומר, מהו "הערך המוסף" של האמצעי המוצע לאור פתרונות אחרים שכבר קיימים לאותו

באטמוספירה נמוכה, יחסית, מה שמאפשר פעולה בטווחים ארוכים, יחסית. מדובר, למשל, ב-3⁵ או 8¹² מיקרון).

את המערכת האלקטרואופטית שבלב החישן ניתן לממש בטכנולוגיות שונות – למשל בטכנולוגיה של גלאי סורק (כלומר, שורה או טור של גלאים, שאותם מצודדים הלוח ושוב באמצעות מראה או באמצעות מערכת מכנית כדי לכסות שטח גדול יחסית). לחלופין אפשר להשתמש בטכנולוגיית גלאי בוהה (כלומר, מטריצת גלאים, הדומה לטבלת שוקולד, שבה יש גלאי במקום כל ריבוע שוקולד. חישן בוהה אינו צריך סריקה מכנית, שכן הוא מכסה שטח גדול בו זמנית, ומכאן שמו, אך יש לו מגבלות ומגרעות אחרות).

מקבל ההחלטה, כלומר הגורם שצריך היה להחליט איזו טכנולוגיה צריך לקדם, התקשה להחליט, כיוון שלא עמד לרשותו קריטריון החלטה ברור.

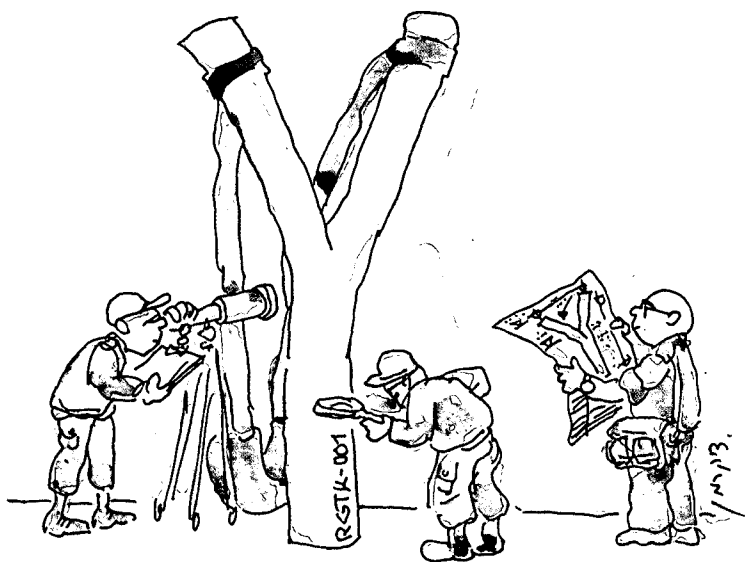
לעזרת מקבל ההחלטה בא במקרה הזה חוקר ביצועים, שהציע תהליך שכלל מספר שלבים:

1. לקבוע – על סמך המשימות המבצעיות של צה"ל – מהן מערכות הנשק, הקיימות והעתידיות, שבהן יש לשפר את יכולת התצפית בלילה.
 2. לנתח מהי היכולת המבצעית שיקנו החישובים בטכנולוגיות השונות כשהן ייושמו בכל אחת ממערכות הנשק.
 3. לבחון מהי מידת המענה (היכולת המבצעית) שנותן כל אחד מהחישובים השונים לצורך המבצעי בשיפור יכולות התצפית.
 4. ממצאי הבחינה הזאת, כולל השיקולים שהובילו אליהם, יוצגו למקבלי ההחלטות לשם זיהוי של הכיוון הטכנולוגי המועדף.
- ההצעה נתקבלה, הניתוח נערך (על-ידי חוקר הביצועים), והבחירה נעשתה. היום, במרחק של כעשר שנים מאותה בחירה, מוסכם על כל הנוגעים בדבר שהייתה זו החלטה נכונה.

פיתוח אמל"ח

הצעה לפיתוח אמל"ח נובעת לרוב מאחד משני מניעים:

1. יכולת טכנולוגית (קיימת או בפיתוח) בתעשייה הביטחונית. התעשייה, באורח טבעי, מחפשת ומעלה רעיונות למוצרים המבוססים על יכולותיה הטכנולוגיות. תקוותה היא שלאחר מימושם של הרעיונות האלה יהיה להם ביקוש בצה"ל ובעולם.
2. צורך מבצעי, המזוהה על-ידי גורמים מבצעיים או תומכי לחימה בצבא, ואשר מחפשים לו פתרון. לתעשייה הביטחונית הישראלית יש מהבחינה הזאת



(הצורך?)

לרשות חוקר הביצועים עומדים כלים שונים בבואו להעריך את הביצועים הצפויים של המערכת. בין היתר מדובר בניסיון מבצעי המבוסס על מחקרים היסטוריים-צבאיים, בתוצאות ניסויים (כאלה שבוצעו בעבר או כאלה שאנו, חוקרי הביצועים, דורשים לבצע), במודלים חישוביים (אנליטיים או ממוחשבים) ובסימולציות מחשב (החל מסימולציות "סגורות" וכלה במשחקי מלחמה ממוחשבים, משולבי אדם בחוג).

תקצר היריעה מלתת דוגמאות לכל הכלים האלה, אך

הלחימה, הרלוונטית לשלב מתקדם בהרבה בחיי האמל"ח (שלב היישום שלאחר גמר הפיתוח), כלל אינה מעניינה של קבוצת חקר הביצועים במפא"ת.

אולם הדברים אינם כה פשוטים. כפי שהצגתי לעיל, ההחלטה על הכניסה לפיתוח מלא של אמצעי לחימה, ולעיתים אף על הכניסה לבניית יכולת טכנולוגית, נגזרת מהערכת התרומה המבצעית הצפויה בסופו של דבר מהאמצעי. הערכה כזאת אינה מסתמכת רק על התכונות הטכניות של האמל"ח, אלא גם, ולעיתים בעיקר, על תפיסת הפעלתו המבצעית.

לפיכך – וכך גם מראה הניסיון המצטבר – חשוב מאוד

לעצב לאמל"ח תפיסת הפעלה כבר בשלבים המוקדמים ביותר, כאשר מתגבשת ההכרה כי יש צורך באמצעי הזה, ומתקבלת ההחלטה להתחיל בפיתוחו. בפועל, עם התקדמותו של תהליך הפיתוח והעמקת ההבנה ביחס ליכולותיו ולמגבלותיו של האמצעי, מתפתחת תפיסת ההפעלה. לעיתים עוברת תפיסה זו שינוי גדול מאוד בעת היישום בפועל בשטח לאור הניסיון הנצבר, אך אין בכך כדי לגרוע מההכרח לגבש תפיסה ראשונית סבירה כבר

בשלבים המוקדמים ביותר.

בתור דוגמא נחזור לאותו פגז המתביית על רק"ם. קביעתו של טווח הבטיחות, כלומר של המרחק המינימלי בין כוחותינו לבין הנקודה שאליה תכוון האש, נגזר מהפיזורים הצפויים של האש. אולם הפגז המתביית יכול – מעצם תכונותיו – להתביית אל רק"ם שגילה, גם אם זה נמצא מחוץ לנקודת הפגיעה המתוכננת, כולל הפיזור הטבעי שלו. לפיכך, במקרה של פגז מתביית, טווח הבטיחות עלול להיות גדול בהרבה מאשר טווח הבטיחות הרגיל. לכך יש השלכות ניכרות על הפעלת האש.

סיכום

אנשי חקר הביצועים במפא"ת מלווים את תהליך הפיתוח של האמל"ח לכל אורך חייו – מהשלב של העלאת הרעיון ועד הכניסה לפיתוח מלא, ובמקרים רבים עד הכנסתו לשירות מבצעי ואף מעבר לכך.

הערות

1. תיאור מדהים של תרומה כזאת, שעל-פי עדותו של וינסטון צ'רצ'יל תרמה רבות לניצחון על גרמניה, נמצא בספרו של ר' ג'ונס **מלחמה סדית ביותר** (מערכות, 1966).

אמחיש (שוב, בצורה פשטנית ושאינה מסוגת) את אופי הסיוע של חקר הביצועים בבחינה כזאת, וזאת באמצעות מקרה שהיה – הצעה שהועלתה לפיתוח פגז המתביית על רק"ם.

ההצעה דיברה על כך שבראש הפגז יותקן חישן, שיכול לזהות רק"ם באורח אוטונומי, כך שהפגז יוכל לפגוע ברק"ם ולהשמידו. הרעיון נראה מושך מאוד, שכן הוא עשוי היה לשפר מאוד את יעילות האש הארטילרית נגד טנקים.

הבחינה הכמותית של ההצעה כללה מספר שלבים:

1. כדי להעריך את יכולות החישן נערך ניסוי. תוצאותיו הוכיחו ששיעור הגילוי של הרק"ם על-ידי החישן הוא אכן גבוה למדי, כפי שטען מצייע ההצעה. אולם באותו ניסוי גם התברר שהחישן שנבדק "ננעל" גם על מטרות שווא טבעיות בשטח (שיחים, סלעים וכו').
2. כדי להעריך את התרומה המבצעית של הפגז בנינו סימולציית מחשב, שפרסה רק"ם, פיזרה מטרות שווא בשטח בצפיפות שנגזרה מנתוני הניסוי וחישה את תרומת פגז לפי מדדים שונים (סיכוי הפגיעה הממוצע של פגז יחיד במטרת רק"ם,

מספר הפגזים הדרוש להשמדת נתח מוגדר מהרק"ם שבכוח האויב ועוד).

3. ירינו פגז רגיל (בסימולציית מחשב, לא בשטח) ובחנו את הישגיו תוך השוואתם לתוצאות ממלחמות העבר. (התוצאות האלה אגורות בבסיסי נתונים אצלנו). את הסימולציה תיקנו בהתאם לנתונים מן העבר.
4. על אותה סימולציה מתוקנת הרצנו את נתוני הפגז המתביית (כפי שנגזרו מהניסויים דלעיל), וכך יכולנו להעריך את התרומה המערכתית הצפויה מהפגז המתקדם הזה.
5. כצפוי, תרומתו המבצעית של הפגז המתקדם הייתה גבוהה מזו של הפגז הרגיל, ובכך לא היה חידוש. התועלת שבניתוח שערכנו הייתה שבאמצעותו ניתן היה, לראשונה, להעריך יתרון זה באורח כמותי.
6. בתום הבדיקות עמדה לנגד עיניו של מקבל ההחלטה תמונה ברורה יותר של התרומה המבצעית המכומתת של הפגז המוצע לעומת הפגז הקיים וכן העלות של השיפור הזה. מובן שהפגז החדש והמתוחכם יקר יותר מהפגז הפשוט, שלא לדבר על עלויות הפיתוח הנדרשות.

תפיסת הפעלת האמל"ח

קבוצת חקר הביצועים במפא"ת עוסקת איפוא בעיקר בשאלות הקשורות לשלבים המוקדמים של פיתוח האמל"ח. מכאן נובע – לפחות לכאורה – שתפיסת ההפעלה של אמצעי

