

פילוסופיית פיתוח רבי-שנתי של מערכות אמל"ח

פרויקטים רבים לפיתוח אמל"ח בצה"ל מהווים מערכים רב-מערכתיים מורכבים, הכרוכים בזמני פיתוח ארוכים, בהשקעות כספיות גדולות ובאי-ודאות גבוהה. מאמר זה מציג גישה פילוסופית ולוגית לפיתוח רב-שנתי, המובילה בסופו של תהליך לתפיסת פיתוח אבולוציונית, המבוססת על רמות בשלות טכנולוגיות למערכי אמל"ח רב-מערכתיים המתוכננים על פני מספר עשורים

רס"ן בועז נתן

במאמר זה אבחן זווית אחרת, הבאה להציג תחילה את הסביבה שבה אנו פועלים ככלי להבנה טובה יותר של מרחב התמרון והאפשרויות בבואנו לנהל פרויקט. המאמר מציג את השאלות הבסיסיות ביותר – תחילה תוך ניתוח אלמנטים פילוסופיים ולוגיים. אלמנטים אלה שואבים, בין היתר, מהות

מהעובדה שקשה מאוד, גם בדיעבד, לקבוע האם תהליך פיתוח והטמעה של מערכת אמל"ח הוא מוצלח או לא, וגם אם הוגדר כמוצלח – האם השיטה שהובילה לפיתוחו הייתה נכונה. קושי זה נובע, בין השאר, מטווח הזמן הארוך הכרוך בפיתוח, בייצור ובהטמעה וכן מריבוי המשתתפים והדעות. נוסף על כך, לכל החלטה יש מחיר אלטרנטיבי, שהוא המחיר של אי-ביצוע פעילויות אחרות,

שהוא אף יותר קשה ואף בלתי אפשרי לכימות ולהערכה. להמחשת הנקודה הזאת אתייחס למערכת המפותחת על פני כעשור על-פי דרישה מבצעית א'. נניח שלאחר כעשור דרישה מבצעית (דמ"ץ) א' עדיין תקפה, אבל דרישה מבצעית ב' הרבה יותר רלוונטית. המערכת מופנית כלפי דרישה מבצעית ב' ומצליחה – האם המערכת מוצלחת? לחלופין המערכת מופנית לטפל בדרישה מבצעית ב' ונכשלת – האם המערכת כשלה? שאלות אלה, פילוסופיות ככל שיהיו, ממחישות את הקושי הרב ולעיתים את חוסר היכולת לבחון את הצלחת המערכת לאחר עשור ויותר. מכיוון שמדידה היא השלב הראשון של ניטור ושל הפקת לקחים, נראה על פניו כי אין כאן אפשרות לבצע זאת בשל ריבוי המשתתפים המעורבים בתהליך פיתוח של כה ארוך. מכאן הקושי הרב לבדוד משתתפים לצורך מדידה, הצגת נתונים והסקות מסקנות רציונליות לגבי מחיר התוכנית והמחיר האלטרנטיבי (של

פרויקטים רבים לפיתוח אמל"ח בצה"ל מהווים מערכים רב-מערכתיים מורכבים, הכרוכים בזמני פיתוח ארוכים, בהשקעות כספיות גדולות ובאי-ודאות גבוהה.

אי-ודאות זו באה לידי ביטוי הן בתחום הטכני והן בתחום הדרישות המבצעיות ובמתארי הייחוס כפי שיתפתחו עד

לסיום הפרויקט. בשל האמור לעיל נקודת העבודה להתקשרות עם התעשייה ולפיתוח המערכת הינה רגישה ביותר, אם ברצוננו לקבל מוצר העונה על הדרישות בנקודת זמן שתהווה תרומה מבצעית תמורת עלות ריאלית וישימה. אם מתברר לאחר תחילתו של תהליך ההתקשרות והפיתוח כי נעשו טעויות בהגדרתו ובנקודת העבודה – לרוב לא תהיה אפשרות חזרה נוכח העלות והזמן

שהושקע ביחס לאלטרנטיבות. כדי לנתח בעייתיות זו ולנסות למצוא לה פתרון מוצגת במסגרת מאמר זה גישה פילוסופית ולוגית לפיתוח רב-שנתי, המובילה בסופו של תהליך לתפיסת פיתוח אבולוציונית, המבוססת על רמות בשלות טכנולוגיות למערכי אמל"ח רב-מערכתיים המתוכננים על פני מספר עשורים.

דיון פילוסופי בתהליך הפיתוח של אמל"ח

מאמרים רבים נוטים להציג שיטת ניהול או מתכונים לביצוע פרויקטים. בעוד שאין בשיטות אלה כדי לייצר פתרון אחיד, קיימים הרבה רעיונות יסוד היכולים להיות לעזר. אולם

קשה מאוד, גם בדיעבד, לקבוע האם תהליך פיתוח והטמעה של מערכת אמל"ח הוא מוצלח או לא, וגם אם הוגדר כמוצלח – האם השיטה שהובילה לפיתוחו הייתה נכונה

קצין טכנולוגיה
בחיל האוויר



אי-ביצוע פעילויות אחרות).

למרות האמור לעיל אנסה לחדד כמה נושאים הקשורים לפיתוח מערכות באמצעות בחינתם של תהליך ושל תוצאה ובאמצעות דיון בתחום התמריצים והפסיכולוגיה. השאלה הראשונה היא מה חשוב יותר: התהליך או התוצאה הסופית? דיון זה הינו ארוך ומסועף, אולם לאחר מחשבה ניתן לומר שאם אנו רוצים לקבל מערכת הדירה (דהיינו שחזרת על תוצאותיה באופן עקבי לאורך זמן) יש חשיבות לתהליך שמתוכו תיגזר התוצאה, כלומר אנחנו ננסה ליצור תהליך נכון שיגזור כמה שיותר תוצאות נכונות בעתיד. למה הדבר מתייחס? אם בדוגמא לעיל המערכת שתוכננה עבור דרישה מבצעית א' עמדה בהצלחה מול מתאר ייחוס של דרישה מבצעית ב', יש סיכוי רב שהמערכת תיחשב להצלחה, וזאת על-פי התוצאה הסופית שאליה הגיעה ולא על-פי התהליך שהוביל להגדרתה ולתיכונה. אולם כאשר ננסה ליצור אתיקה מקצועית, כלים ומתודות, לא נוכל (לדאבוננו) להסתמך על מזל (לקוות לתוצאה מוצלחת של תהליך לא נכון), אלא נצטרך ליצור כלים עבור תהליך נכון מתוך כוונה שתהליך זה יניב תוצאות נכונות.

שאלה פילוסופית נוספת בקטיגוריה זו הינה מה קורה אם מערכת תוכננה למבצעות מלאה בשנת 2005, אולם כיום ידוע שתהיה חריגה לשנת 2007. האם המערכת נכשלה? במושגים של התעשייה האזרחית (עולם ההיי-טק) אנו מדברים לעיתים קרובות על חלון הזדמנויות המכתיב מוצר בתאריך נתון, שלאחריו רווחיות המוצר וקיום כל התוכנית העסקית נתונים בספק. האם דבר זה נכון גם למערכות נשק? לא בהכרח. אולם נכון יהיה לומר כי למערכת המפותחת מול מתאר ייחוס קיים נכון לפתח יכולות מבצעיות, אפילו מנוונות, מהר ככל האפשר.

תמריצים ופסיכולוגיה הם נושאים קשים לכימות, אך לא ניתן להתעלם מהם. פתגם באנגלית אומר: People do what you inspect and not what you expect. (אנשים פועלים בהתאם לביקורות שעושים להם ולא בהתאם למה שמצפים מהם). פעמים רבות ניתקל במצב שבו נתחקר אירועים שחוזרים על עצמם ונגיע למסקנה שלכאורה אין לימוד ואין הפנמה של לקחים מאירועי העבר. דוגמא בולטת לכך היא שפרויקטים תמיד חורגים בעלות ובתקציב. מדוע? כי איננו יודעים ללמוד את הלקחים מפיתוחים קודמים של אמל"ח? לא בהכרח. פעמים רבות אין תמריץ למנהל הפרויקט, למתקצב ולשאר המעורבים לעמוד בתקציב.

לדוגמא: א' הוא ראש פרויקט בצה"ל, האחראי על פרויקט הזקוק ל-500 מיליון שקל לשם מימושו. תקציב זה הוא יוכל לקבל, סביר להניח, רק אם יוכיח כי הפרויקט שלו מהווה קפיצת מדרגה מבצעית העונה על פער מבצעי קיים. אל מול תרחישי האיומים בנו א' וצוותו תוכנית מפורטת ואף הראו איך היא מתכנסת לעלות הנדרשת (הנייר סובל הכול). לרוע המזל, א' לא בחר בטכנולוגיות בוגרות, אלא

בחר לבגר את הטכנולוגיות תוך כדי הפרויקט, כי אחרת לא יכול היה ליצור את קפיצת המדרגה המבצעית (אל כך נחזור בהמשך). אף אחד מעל א' ובסביבתו לא ישנה תפיסה זו, כי לכל מי שיש הבנה מספקת במערך מורכב זה, אין תמריץ לעשות כן. המפקד של א' התרשם מהפרויקט הגדול במחלקה שלו, ראשי התעשייה שמחו להיות קשורים לפרויקט ציוני מהמדרגה הראשונה שבחזית הטכנולוגיה, שנוסף על כך גם מניב הכנסות נאות (בין אם תומחר ב-COST+ או ב-FIX), ואנשי המבצעים היו גאים בכך שבקרוב תגיע אליהם מערכת חדשנית.

אולם ככל שהזמן נוקף, וכספים ואמצעים מושקעים בפרויקט, עלול לקרות דבר מוזר: הפרויקט, שכלל רמות סיכון גבוהות, החל לחרוג בלוחות הזמנים ובעלויות, וגם המחיר האלטרנטיבי לייצור מערכת אחרת לטיפול באותו איום גדל, שכן תחושותינו הפסיכולוגיות לגבי המחיר האלטרנטיבי מתייחסות לסכומים שכבר הושקעו במערכת, ואיננו מתייחסים לסכומים האלה כאל עלות שקועה (Sunk Cost - כסף שהושקע עד לנקודת הזמן הנוכחית). גם אם נסתכל על התהליך בעיניים אובייקטיביות לחלוטין, הרי מרגע תחילת הפרויקט וההחלטה על ההתקשרות מתחילים מחיריהן של כל האלטרנטיבות לעלות במקביל. כך נוצר מצב שבו העלות של מתן מענה לדרישה המבצעית בעתיד עלולה להיות גדולה יותר מכפי שהייתה במקור, כלומר ההפרש להשלמת הפרויקט משוערך כיותר קטן מאשר יצירת פרויקט חדש. לכן מבחינה רציונלית ההחלטה הנכונה (אם רוצים לממש את הדרישה המבצעית) היא להמשיך בפיתוח. נוצר כאן מצב של נעילה (Lock-In), שבהכרח יגרום לגלישה

מהתקציב ולצורך להזרים עוד כספים (גם אם החוזה ב-FIX) כדי להמשיך. כל האמור לעיל בא להדגיש נקודה חשובה: תנאי ההתחלה שבהם אנו מתקשרים הם קריטיים מבחינת עלות הפרויקט. תנאי ההתחלה האלה קובעים אילו רכיבים יפותחו, ואילו טכנולוגיות יבוגרו במהלך הפיתוח. בהרבה מקרים ייווצר מצב שבו לשום צד אין תמריץ לעמוד בלוחות הזמנים או בתקציב. במצב כזה סביר להניח שנקודת ההתחלה תהיה ברמת סיכון גבוהה, ולכן הפרויקט אכן לא יעמוד בלוחות הזמנים ובתקציב.

אלמנט פסיכולוגי נוסף שנשמע תדיר הוא: "כולם ידעו שהפרויקט יידחה בשנתיים, אבל כל אחד התנהג כאילו הוא לא יודע, כי אחרת הפרויקט היה נדחה למשך זמן רב יותר, או שכלל לא היה יוצא אל הפועל". למיטב ידיעתי, "שיטת ניהול" זו אינה עומדת יפה בקריטריונים של תהליך נכון ואינה ניתנת לתחקור ולשיפור. יתר על כן, מערכות המנוהלות בצורה כזאת עלולות להתפתח באווירה עכורה, שאינה תורמת למאמץ הכולל.

נושא מעניין נוסף שיש להביא בחשבון הוא "תסמונת הפראייר", אשר מכונה בספרות Tragedy of the Commons¹. תופעה זו גורסת כי אם לא נבקש את התקציב עכשיו עבור

כאשר ננסה ליצור אתיקה מקצועית, כלים ומתודות, לא נוכל להסתמך על מזל ולקוות לתוצאה מוצלחת של תהליך לא נכון, אלא נצטרך ליצור כלים עבור תהליך נכון מתוך כוונה שתהליך זה יניב תוצאות נכונות

פרויקט בעל קפיצת מדרגה מבצעית, לא נקבל תקציב זה בשלב מאוחר יותר, וכך לא נוכל להבטיח שתחום אחריותנו לביטחון ימולא באופן משביע רצון. במקור המאמר בנושא Tragedy of the Commons בא להצביע על תופעה שבה ישנם רועי צאן אחדים, הרועים X כבשים בשטח מרעה משותף. התמריץ של כל רועה להוסיף כבשה אחת לעדרו היא יחידה 1, והעלות מבחינתו היא רק $1/X$. כך נוצרת מערכת תמריצים לא יציבה המתבדרת וגורמת לכך שכל רועה ישאף להגדיל את עדרו עד לכליה של כל הרועים.

לראיה שהתנהגות זו מתבדרת ומכלה-כול ניתן ללמוד מדוגמתו של בני פלד ז"ל על מערכת הביטחון כולה בבואה לענות על ציפיות השלטון. במאמרו "ביטחון ללא גבול"² הוא מציין בראייה מפוכחת וממורמרת:

"מערכת הביטחון למדה - בדרך הקשה - שהיא, ורק היא, תיתן את הדין על כל מקרה שבו היו ציפיות השלטון (שנקבעו רק לאחר הקרב) גדולות ממה שניתן היה להבטיח למעשה. [המערכת] למדה שאיננה יכולה להעמיד את השלטון בפני אולטימטום לגבי היחס שבין מחיר הביטחון והציפיות לביטחון. לכן יילך תקציב הביטחון ויגדל בספירלה עולה בהתמדה, וכל שלב יהיה מעוגן קודם כול לפני המלחמה

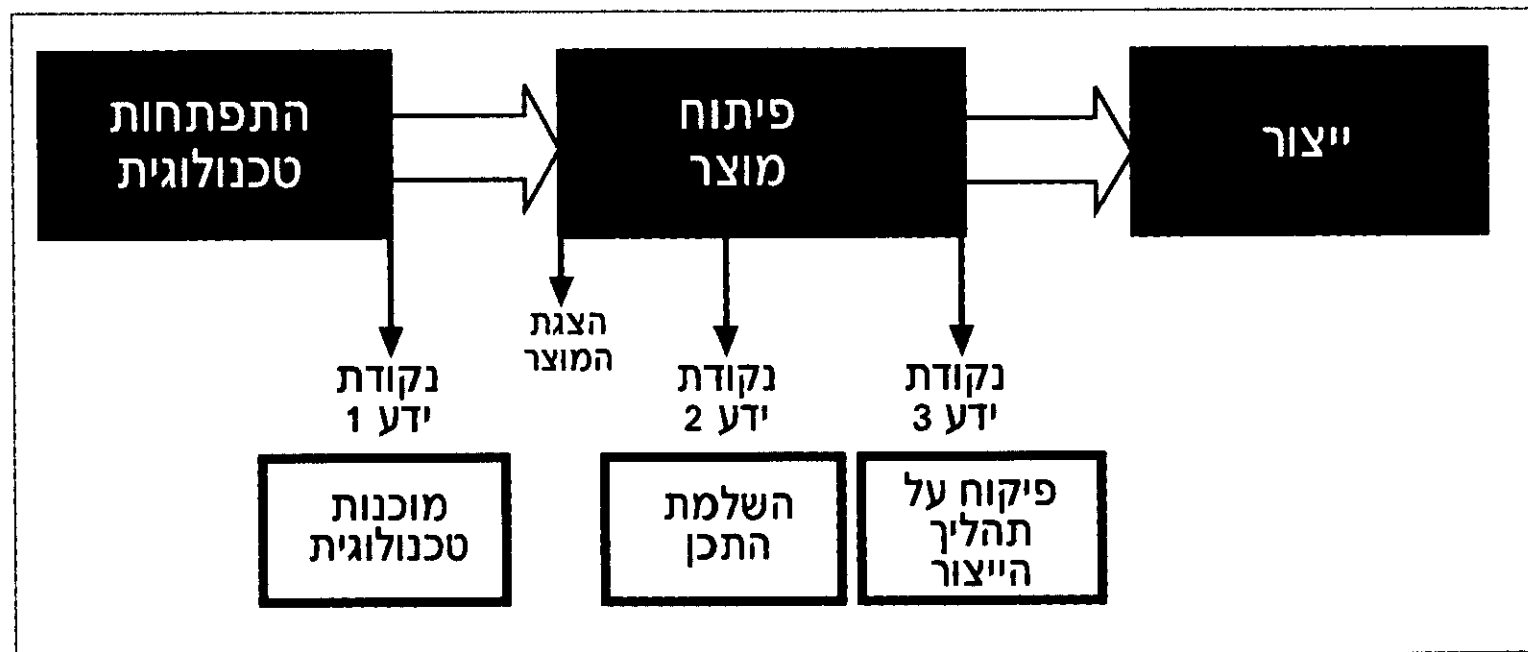
בציפיות השלטון ובהערכות מצב מודיעינית בצה"ל לגבי ה'איום', שהן חמורות לעין ערוך מהמציאות, ולאחר המלחמה ב'הוכחות חותכות' על 'חורים' בתקציב, המבוססות על ממצאי התחקירים וועדות החקירה שהוקמו".

פיתוח על-פי רמות בשלות

כיצד ניתן לפתח מערכת רב-מערכתית המתאפיינת באי-ודאות טכנית גבוהה, בעלות גבוהה ובזמן פיתוח ארוך, שמשמעותו אי-ודאות גבוהה של מתארי הייחוס? התשובה המתבקשת היא: להקטין את רמת אי-הוודאות ואת זמן הפיתוח.

ניתן להגדיר את רמת הידע הנדרשת בעת פיתוחו וייצורו של מוצר חדש על-ידי שלוש נקודות ידע, כפי שמתואר בציור 1. הנקודה הראשונה מתייחסת לזמן שבו קיימת התאמה בין דרישות הלקוח לבין הטכנולוגיה הקיימת. הנקודה השנייה היא כאשר תכן המוצר עומד בדרישות הביצועים. הנקודה השלישית מגיעה כאשר ניתן לוודא שאפשר לייצר את המוצר על-פי יעדי העלות, לוח הזמנים והאיכות. מניסיון מצטבר עולה כי ידע זה - אם מתאימים אותו ברצף הנכון - מאפשר להקטין את סיכוני הפיתוח, את זמני הפיתוח והייצור, והתוצאה היא תוכניות מוצלחות יותר.

ציור 1: רמות ידע על ציר התקדמות פרויקטלי

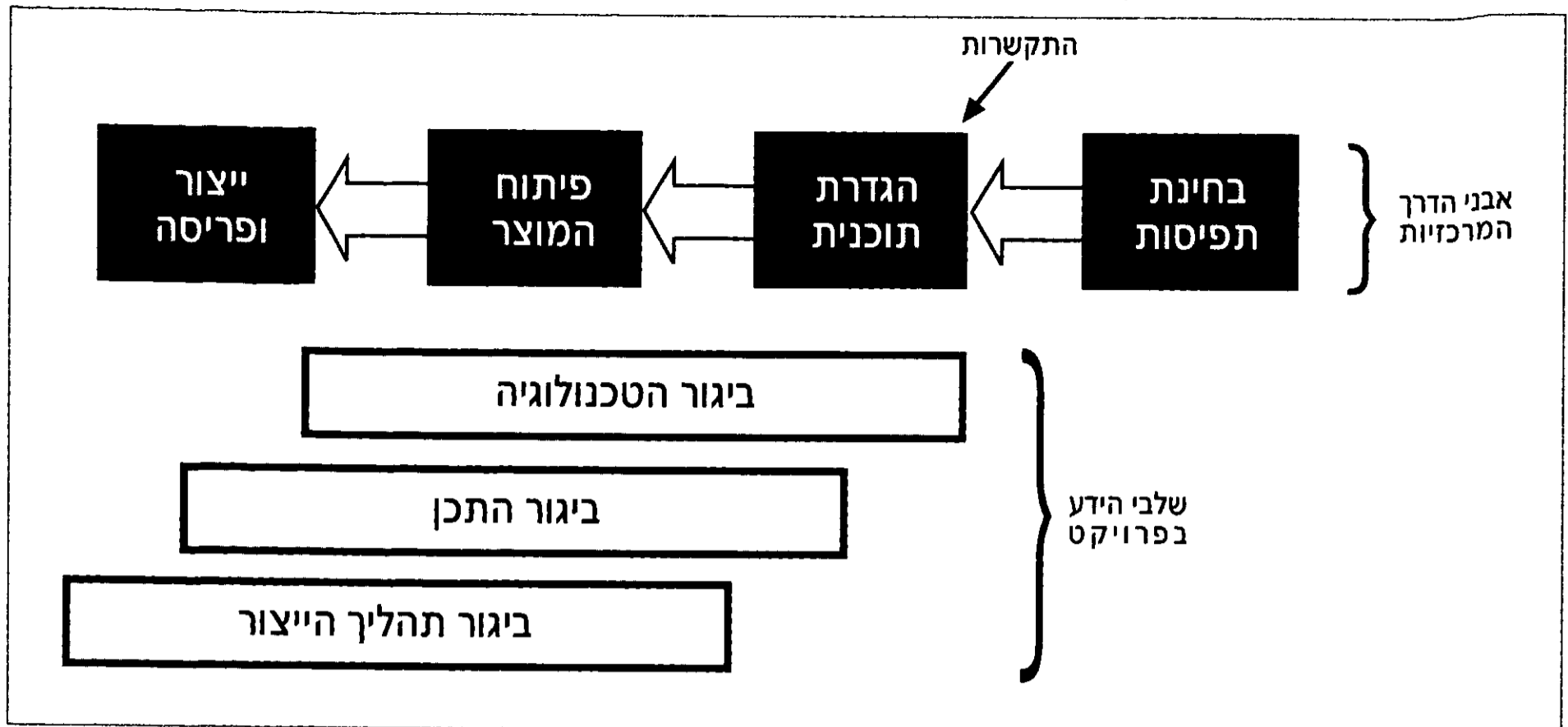


קיימת חשיבות רבה לאבחנה בין פיתוח מוצר לבין פיתוח טכנולוגיה. פיתוח הטכנולוגיה צריך להתבצע בנפרד, בערוץ ייעודי, ולהגיע לרמת בשלות טכנולוגית (רב"ט - ראו נספח) לפני שמנצלים אותה לפיתוח מוצר. הסיבה היא שפיתוח המוצר הוא תהליך מחייב הכרוך בהתקשרות חוזית, בבניית עתודות לוגיסטיות, בבניין כוח אדם ובהקצאה מראש של אמצעים, שהשימוש בהם יקר וגרוע מכך - אי-השימוש בהם יקר שבעתיים. נקודת ההתקשרות מחייבת - בשל ההשקעה הגדולה של כסף, של כוח אדם ושל אמצעים - השקעה שהולכת וגדלה ככל שהמוצר מתפתח. חברות מובילות בתחום האזרחי הגיעו למסקנה שהפרדה בין תהליך פיתוחה של הטכנולוגיה לבין תחום פיתוח המוצר היא תנאי קריטי להפחתת זמני הפיתוח של המוצר. מניסיון מצטבר בתעשיות האזרחיות אנו יודעים שבאמצעות שימוש מושכל בתהליך זה ניתן להקטין את זמני הסבב לפיתוח מוצרים בצורה משמעותית ביותר.³

מנהיגותית ומדינית. ההנהלה הבכירה נדרשת לייצר תמריצים שיקשרו את המטרות האסטרטגיות ישירות לביצוע הפרטני. לדוגמא, כאשר משרד ההגנה האמריקני פיתח את מל"ט ה-Global Hawk, הדרישה היחידה (על-פי פרסומים גלויים) הייתה שכל אחד מהמטוסים ה-11 עד ה-20 מהייצור הראשוני לא יעלה יותר מ-10 מיליון דולר (Unit Flyaway Cost). שיטת עבודה זו בהחלט יכולה לקבע את מרכיב המחיר ומבוצעת כיום בכמה פרויקטים על-פי יוזמתו של משרד ההגנה, הנקראת CAIV (Cost As An Independent Variable) - עלות כמשתנה עצמאי).

לסיכום, מהאמור לעיל ניתן לראות את הבעייתיות הטכנית הפילוסופית והפסיכולוגית בפיתוח מערכת אמל"ח רב-שנתית, וזאת עדיין ללא הכנסת אלמנטים של פוליטיקה, משחקי כוח וניצול הזדמנויות. אולם אם נדע לתכנן מערכת נשק עם ודאות גבוהה של עלות ושל לוח הזמנים, ייתכן שנוכל לשפר באופן משמעותי את יחס העלות-תועלת של

ציור 2: שלבי הידע בפרויקט



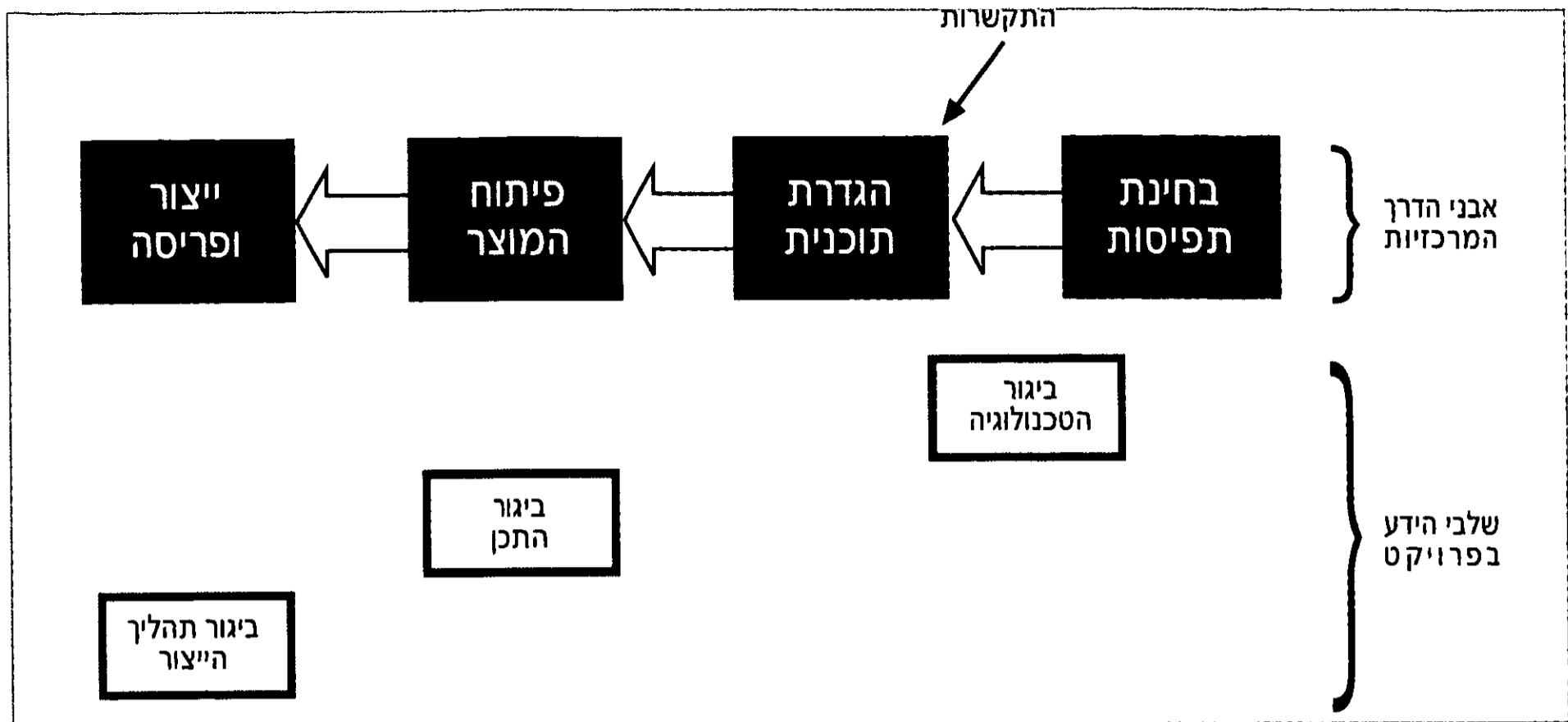
טכניים (רמה 1) לבין מערכת שעברה הוכחה בטיסה (רמה 9 עבור מערכת תעופתית, ראו טבלה 1). לדברי משרד ההגנה האמריקני, מדד זה הוכח כמוצלח בכ-23 פרויקטים טכנולוגיים שנבחנו. דוגמאות אחדות מובאות בציור 3. על-פי שיטה זו להפחתת סיכונים, התקשרות לפרויקט הנעשית בשלבי רב"ט של 6-7 ומעלה – סיכוייה רבים לעמוד בלוח הזמנים ובתקציב בשל הקטנה משמעותית של אי-הוודאויות. אין זאת אומרת, כמובן, שיש לדבוק במספרים אלה בצורה עיוורת, שכן תקציב נדיב או מיומנות תעשייתית יכולים לעיתים לפצות על רב"ט נמוך. למרות זאת, ביגור טכנולוגי של המערכת מומלץ לעשות בתוכניות הדגמה או בערוצים נפרדים מאשר התקשרות ארוכת טווח, כאשר הכוונה היא ליצור אב-טיפוס עובד עם רכיבים זהים לאלה שיהיו במוצר הסופי.

בציור 2 ניתן לראות את שלבי הידע בפרויקט מייצג, כפי שקיים כיום בפרויקטים רבים. ניתן לראות כי ביגור הטכנולוגיה מתבצע החל מההתקשרות (או לעיתים לפני כן) וממשיך להתרחש גם לאחר ההתקשרות. ביגור זה שלאחר ההתקשרות הוא אחד המרכיבים המסוכנים ביותר לפרויקט, שכן רמות אי-הוודאות גבוהות, ובהכרח שינוי ברכיב אחד במערכת רב-מערכתית יגרור שינויים גם ברכיבים נוספים, וכך נוצר מעגל קסמים של התבדרות עלויות ולוחות זמנים. המלצתו של משרד ההגנה האמריקני³ בעת פיתוחם של אמצעי לחימה היא להשתמש בשיטה אנליטית הנקראת Technical Readiness Level (TRL), דהיינו רמת בשלות טכנולוגית (רב"ט). רמת בשלות זו כוללת את רמת הסיכון ואת אי-הוודאות הקיימות במערכת ואת הסיכוי שלה להשתלב בפיתוח מוצר מוצלח. הרב"ט נע בין מאמרים

ציור 3: רמות בשלות טכנולוגית מול גידול עלות והארכת לוח הזמנים

פיתוח מוצר וטכנולוגיות נלוות	רמת הבשלות בתחילת התוכנית	הגידול בהוצאות	הסטייה מלוח הזמנים
מסוק "קומנצ'י" מנוע רוטור מכ"ם אינפרא-אדום מתבונן קדימה תצוגה על הקסדה אוויוניקה משולבת	5 5 3 3 3	101%	120%
טילי "באט" חישן אקוסטי סורק אינפרא-אדום ראש-נפץ יחידת מדידה אינרציאלית מעבדי נתונים	2 3 3 3 3	88%	62%
לוחית "יוג" HS-702 מערך סולרי	6	—	—
"יגואר של פורד" בקרת שיוט מתכווננת בקרות מופעלות ע"י קול	8 8	—	—

ציור 4: שלבי הידע בפיתוח על פי רמת הבשלות הטכנולוגית



בתהליכי הפיתוח, הייצור וההטמעה הם בעלי חשיבות רבה ונושא למאמר נפרד.

במקביל לערוץ הייצור של המדרגות העוקבות צריך להתקיים ערוץ לפיתוח טכנולוגיות. ערוץ זה צריך לדאוג להבשלת הטכנולוגיות הקריטיות לצורך יצירת מדרגות עתידיות. אפיון המדרגה הבאה צריך להסתמך על טכנולוגיות בשלות (רב"ט 6-7) ולא על מוצרים עם רמת סיכון גבוהה. חשוב שהזמן בין המדרגות לא יעלה על שתיים-שלוש שנים על מנת לשמר אינרציה בתוכנית וליצור אווירה של הישגים, החשובה לכלל בעלי העניין בפרויקט. יש לחזור ולהדגיש שעמידה ביעד זמן זה מחייבת שימוש בטכנולוגיות בעלות רמת בשלות גבוהה.

פיתוח אבולוציוני הוליסטי של מערכות רב-מערכתיות צריך להתבסס על שלושה נדבכים טכניים וניהוליים עיקריים: **היערכות חוזית מול החברה**. לרוב מתקבלים רווחיו של היצרן מייצור סדרתי וממכירה של המערכות ולא משלב הפיתוח ההנדסי. אי לכך צורת עבודה שבה ההתקשרות היא לאב-טיפוס או למספר מצומצם של פריטים, שלאחריהם יהיו שינויים חוזיים עד לייצור סדרתי מלא, מחייבת היערכות חוזית ייעודית ושיתוף פעולה מצד היצרן.

ארכיטקטורת תכן גמישה. ארכיטקטורה זו מתייחסת לתחום המכניקה, החומרה והתוכנה של המערכת. גישה זו גורסת כי מכיוון שאין לנו ידע מדויק על ההתפתחויות העתידיות של המערכת, אבל ברצוננו להקפיד תכן מסיבות מעשיות, אנו נדרשים לייצר פלטפורמה עם יכולות גידול, הסבה והתפתחות.

בניין הכוח, גרעין קליטה לניסויים ותפעול מבצעי. כל מדרגה אבולוציונית חייבת להיות מדרגה מבצעית. שיטת הפיתוח הנ"ל לא תצליח ותהיה אמירה ריקה, אם לא נבנה מסגרת של המשתמש, שתדע לבצע ניסויים במערכת – הן בתחום ההנדסי והן בתחום המבצעי – ולקיים פעילות מבצעית בפועל בכל מדרגת בנינים. גרעין זה הוא המהות של צורת הפיתוח. תפקידו לתפעל את המערכת, לרכוש

בציור 4 ניתן לראות את בסיס התפיסה ולהשוותו לקיים היום כפי שהוצג קודם לכן בציור 1. תפיסה זו מחייבת, בין היתר, התקשרות על תכולות בשלות ולאחר מכן פיתוח אבולוציוני (וספירלי) של המערכת תוך התנקזות טכנולוגיות בשלות לערוץ פיתוח המוצר, בניית הכוח עם מוצר ראשוני ואיטרציות חוזרות ונשנות עם צוות המפתחים והמפעילים לצורך הערכת המערכת. צורת פיתוח זו ודרישותיה הייחודיות מפורטות להלן.

פיתוח אבולוציוני

פיתוח אבולוציוני וספירלי הם מושגים שנלקחו מעולם התוכנה, ונהוג לעיתים להשתמש בהם בתור "buzz words" – ולו כדי להיות אופנתי. ככל שיטה, גם שיטת פיתוח זו אינה צריכה להילקח כאורים ותומים, אך יש מאחוריה כמה תפיסות מעניינות, היכולות לתרום רבות לניהול פרויקטים. התפיסה האבולוציונית גורסת כי כיום אין אנו יודעים את כל הנדרש על מנת לאפיין את המערכת העתידית ה"סופית", ולכן אנו יוצרים חזון. בתוך החזון הזה אנו מגדירים מדרגות ביניים. אולם אין די בהקמת מדרגות ביניים. החשיבות הגדולה להקמת מדרגות אלה נגזרת מיצירת הגרעין התפעולי, מהפעלת המערכת במתארים הנדסיים (ניסויים) ומבצעיים, מהסקת מסקנות, מתיקוני נתיב על דרך הפיתוח, וחוזר חלילה.

כל מדרגת בנינים מסוג זה צריכה להסתיים במוצר מבצעי. מוצר זה יבחן בניסויים הנדסיים ולאחר מכן יתחיל ביצועה של הערכה מבצעית. כבר במקביל לתהליך הניסויים וההערכה יש להתחיל בהסקת מסקנות טכניות ותפעוליות לגבי המדרגה המבצעית שלאחר מכן. כלומר, יש לקיים תהליך "הוליסטי", אשר בו בד בבד עם בחינת המערכת והסקת מסקנות לגבי ביצועיה, תהיה התייחסות לאפיון של השלב שלאחר מכן. בחינה זו צריכה להיעשות עם הצוות הטכני של הפרויקט, עם אנשי הניסויים ועם המתפעלים המבצעיים. אופן ביצועו של תהליך זה, צורת העברת המקל

ניסיון ממקור ראשון ולאחר מכן לבצע תיקוני דרך בדרישה המבצעית ובאפיון לקראת המדרגה שלאחר מכן. מרכיבי גרעין זה (ברמות מעורבות שונות) צריכים להיות אנשי מבצעים, אנשי ניסויים ואנשים טכניים.

סיכום

מאמר זה ניסה לגעת מעט בנושא המורכב של פיתוח רב-שנתי של פרויקטים. לא ניתן לגשת לנושא כה רחב יריעה ללא רקע פילוסופי, השואל מאיפה אנו מתחילים ולאן אנו רוצים להגיע. חשוב להדגיש שגם במאמר זה לא גירדנו אלא את קצה הקרחון. לאחר בחינה פילוסופית ולוגית ניתן להגיע למסקנה ברורה: אם ברצוננו ליצור תהליך נכון, יש לקצר את זמן הפיתוח של האמל"ח. מכיוון שלא ניתן לעשות זאת במערכות הדורשות קפיצות מדרגה טכנולוגיות ותפיסתיות, לא נותר לנו אלא לחלק את הביצוע למקטעים או למדרגות. מהות התהליך אינה המדרגות בלבד, אלא הקשר ביניהן. כל

מדרגה מוסיפה לקודמתה מידע וידע. ידע זה בדרך כלל לא יכול היה להירכש בכסף או בשנות אדם, אלא הוא תוצר של הטמעה. הטמעה נובעת מביצוע, מניסוי ומטעייה. בעת שמאפיינים מדרגה חדשה, יש להשתמש בטכנולוגיות בשלות, שהובשלו בערוץ אחר, על מנת לקבל סיכוני פיתוח סבירים וכן כדי לעמוד בזמן פיתוח ובזמן ייצור ריאליים. שיטת עבודה זו, הכוללת מחויבות של כלל המעורבים, רבים סיכווייה להעמיד מערכות אמל"ח מתוחכמות במחיר סביר ומבוקר תוך מענה הולם ומתוזמן לאיומי הייחוס.

הערות

1. Garrett Hardin, "Tragedy of the Commons", *Science* 162, 1968.
2. מתוך **מחיר העוצמה**, הוצאת מערכות, 1984.
3. "Best Practices: Better Management of Technology Development can Improve Weapon System Outcomes", *GAO/NSIAD-99-162*, July 1999.
4. ראו הערה 1.

נספח: רמות הבשלות הטכנולוגיות (רב"ט)

רמה	תיאור	פירוט
1	עקרונות בסיסיים נצפים ומדווחים	רמה נמוכה ביותר של בשלות. מחקר מדעי מתחיל להיות מתורגם למחקר יישומי ולפיתוח. דוגמאות לכך הן פרסומים מדעיים בעיתונות המקצועית
2	תפיסת הטכנולוגיה או היישום מוגדרים	תהליך ההמצאה מתחיל. לאחר שהעקרונות הבסיסיים נצפים, מתחילים להיווצר יישומים מעשיים. היישומים הם ספקולטיביים, ועדיין אין ניתוח מפורט היכול לתמוך בהנחות היסוד. דוגמאות לכך הן עדיין פרסומים מדעיים בעיתונות המקצועית
3	הוכחת תפיסה אנליטית או יישומית	החלו מחקר פעיל ופיתוח. בשלב הזה נכללים ניתוחים אנליטיים ומעבדתיים לאימות חיזויים אנליטיים של מרכיבי הטכנולוגיה. דוגמאות לכך הן רכיבי טכנולוגיה לא מייצגים בשלמות או ללא אינטגרציה.
4	הוכחת רכיבי אב-טיפוס במעבדה	רכיבי הטכנולוגיה הבסיסיים מוכללים, ומוכח כי ניתן להפעילם יחד. לדוגמא: אבות-טיפוס "אד-הוק" במעבדה.
5	הוכחת רכיבי אב-טיפוס בסביבה מייצגת	רכיבי הטכנולוגיה הבסיסיים מוכללים, ומוכח כי ניתן להפעילם יחד בסביבה מייצגת. לדוגמא: אבות-טיפוס המדמים באמינות גבוהה את פעולת המערכת.
6	הוכחת מערכת/תת-מערכת או אב-טיפוס בסביבה מייצגת	מדובר בקפיצת מדרגה גבוהה לעומת רמה 5. תת-מערכת או אב-טיפוס מייצג נבחנו במעבדה, המדמה בדיוק את תנאי העבודה הסופיים.
7	הוכחת אב-טיפוס בסביבה מייצגת	אב-טיפוס מייצג בצורה טובה מאוד את המערכת הסופית. אם מדובר במטוס, אז הדגמת המערכת מבוצעת בטיסה. לדוגמא: מטוס מעבדה.
8	הוכחת מערכת מלאה בניסויים	הטכנולוגיה הוכחה בתצורתה הסופית ותחת כל תנאי הפעולה והסביבה הנדרשים. רמה זו מייצגת את סיומו של תהליך הפיתוח ואת הוכחת העמידה באפיון
9	הוכחת מערכת מלאה במשימות מבצעיות	יישום הלכה למעשה של הטכנולוגיה בתצורתה הסופית ובמשימות מבצעיות. ברוב המקרים זהו שלב הסיום של תיקון ה"באגים".

