

בעיות פתוחות בהתפתחותם מעצב את העתיד

מערכת מתפתחת, בעיקר על-ידי „התחלפות“ הדורות. דהיינו, אם לנושא מסויים יש אורך חיים סופי, נקרא לו „מערכת“. כל „מערכת“, לאחר שפותחה ויוצרה ביחידה אחת או בכמויות, עוברת בדרך-כלל במהלך חייה שיפורים, שיפוצים, והסבות. אולם לאחר שנתישנה, היא „עוברת“ מן העולם ומוחלפת על-ידי הדור הבא שפותח בינתיים, והכולל תכונות חדשות בתכ-לית, לדוגמה: מטוס, טיל, תותח.

מערך — לעומת זאת — כולל מספר רב של מערכות מסוגים שונים, המופעלות על-ידי אנשים רבים בצורה משולבת. המערך מתפתח באופן הדרגתי ע"י שינויים חלקיים, תוספות, צירוף ולעיתים גם „כריתת“ חלקים. מערכים כמעט שאינם „מתים“ ועוברים מן העולם, משום שבכל עת ימצאו בהם מרכיבים בעלי גילים ורמות פיתוח שונות, שצירופם יחד נראה, לעתים, מוזר. לדוגמה: מערך-קשר, רשת-רכבות, מערך חי"ר מחופר, ועוד.

מאמר זה ידון בבעיות אחדות הקשורות בפיתוח מערכים צבאיים. התכונות המיוחדות של מערכים מכתובות את צורתם, קצב התפתחותם ואת פיתוח האמצעים הכלולים בהם. על-מנת לטפל בקשיים המתעוררים, כאשר מנסים לשכלל ולפתח מערכים, יש להבין תחילה את תכונותיהם ואת הבעיות המיוחדות הקשורות בהתפתחותם ובפיתוחם.

מערכות ומערכים — הגדרה, תכונות וסוגים

מערכת ברמה מסוימת, המורכבת מתת-מערכות (מכלולים) מהווה בעצם תת-מערכת של מערכת ברמה גבוהה יותר (וחוזר חלילה). הדברים אמורים החל מהפריט הקטן ביותר ועד למערכת הכוללת הגדולה ביותר. מקובל, אמנם, להבחין במערכות גדולות ולהתייחס לבעיות המיוחדות הכרוכות בטיפול בהן, אך אין הגדרה ברורה למערכת גדולה.

לצורך המאמר נגדיר את המושגים „מערכות“ ו„מערך“ בהתאם לתהליך ההתפתחות שלהם:

סוגי מערכות

קיימים שני סוגים של מערכות:

מערכות הפועלות בפני עצמן, או הפועלות כחלק ממערכים קטנים ופשוטים, שבהם אפשר להבחין ביעילותן בצורה ברורה וחד-משמעית; ומערכות הפועלות בתוך מערכים מורכבים, כאשר ניתוח יעילותן מחייב ניתוח פעולת כל המערך. ניתוח מעין זה נחשב למשימה קשה במערך מורכב.

באורח כללי ניתן לומר כי באותם המקרים בהם מערכת בודדת יכולה לפעול ולבצע משימות מוגדרות באורח עצמאי או בסיוע האמצעי, הכלי או המכשיר הנדון, ניתן לשייכה למערכת מהסוג הראשון. לעומת זאת, כאשר למכשיר הבודד אין משמעות אופרטיבית, ללא שילוב אמצעים אחרים באורח הדוק, היא משוייכת למערכת מהסוג השני.

מערך קבע הוא הקבצה קבועה של כוחות ואמצעים לביצוע משימה בודדת או משימות שונות. מערך זה מורכב ממספר יחידות ארגוניות קבועות הקשורות ביניהן בנותל עבודה מוגדר. מערך ארעי הוא כוח משימה שקובץ, ארעית ובמהירות, לצורך משימה מסוימת — מתוכננת או בלתי מתוכננת — מראש. הוא מורכב מיחידות קבועות המצורפות יחדיו בהתאם לנושא או המשימה. מטבע הדברים, קיימים קשיים בהקבצות חדשות שלעיתים הן בלתי מקובלות ונדרש אימון ממושך, עד אשר מגיעים לביצוע המשימה רצון.

מרכיבי משימות צבאיות

הטבלה הבאה מגדירה את המרכיבים הצבאיים המקובלים והדגש שיש לשים על כל מבנה, "מערכת" או, "מערך":

מרכיב	דגש על
כלי מוביל (טנק, סטי"ל)	מערכת
אמל"ח (טיל, מערכת ל"א)	מערכת
מודיעין ואתראה	מערך
שליטה (קשר, שו"ב)	מערך
סיוע לוגיסטי	מערך

לדוגמה: טיל בודד יכול להשמיד מטרה ולכן נחשב במקרים מסוימים, למערכת הפועלת בפני עצמה. מאידך, לא ניתן כלל להתייחס לפעולת מכשיר קשר בודד שאינו חלק ממערכת קשר, ולכן מכשיר קשר נחשב למערכת הפועלת בתוך מערכים מורכבים, שפיתוחה קשור באופן הדוק עם התפתחות מערך קשר שלם.

מתוך עיון בתרשים מס' 1 נלמד שביצוע משימה צבאית מחייב, בדרך כלל, שילוב כוחות ואמצעים, הנמנים על מרכיבים שונים, במערך התואם למשימה הנדרשת. כך יכול A לייצג השמדת סוללות ג"מ ניידות (או משימות רבות אחרות של ח"א); B יכול לייצג סיוע-אש אויר וקרקע ו-C יכול לייצג נחיתה.

מערכים יבשתיים עם סיוע אויר/ים או בלעדי, נחשבים למסובכים הרבה יותר ממערכים אויריים וימיים, בשל מגוון האמצעים והכלים, כמותם, צפיפותם והשפעת הטופוגרפיה. לכן נבחין בין:

* מערכים חד-חיליים/זרועיים לעומת מערכים בין-חיליים זרועיים.

מרכיב	זרוע	אוייר	יבשה	ים
כלים מובילים				C
אמל"ח				
מודיעין ואתראה		A	B	
שליטה				
סיוע לוגיסטי				

תרשים מס' 1

* רמות מערכים, החל ממערך מקומי קטן, וכלה במערך ארצי. לדוגמה: מערך ניווט ארצי.

מטבע הדברים, ברור שכלל שהמערך גדול יותר או משולב (בין-זרועי/חילי) יותר, כן יהיה תהליך ההתפתחות שלו איטי יותר. קיימת לכן סכנה ברורה דוקא בתקופה הנוכחית — עם ההתחלפות המהירה, עם הריבוי והגיוון באמצעים וכלים ועם הגידול בסדר הכוחות — שיתהווה פיגור ותפקוד לקוי דוקא במערכים הגדולים והמשולבים. מלחמת יום-הכיפורים היא הדוגמה הבולטת למצב זה: „ערפל" המודיעין, החוסר במידע מהימן אצל הדרגים המחליטים על מצב כוחות ותחמושת וחוסר יעילות של סיוע אויר-קרקע.

דינמיקת התפתחות של מערכות ומערכים

התפתחותן של מערכות שונה בהתאם לסוגן. תהליך ההחלטה לגבי פיתוח של מערכות מהסוג הראשון. (דוגמה: טיל-אוייר) הוא פשוט יחסית. ניתן לנתח בנקל, השפעת יכולת טכנולוגית חדשה ושיפור הביצועים הנגרמים בעקבותיה ליעילות כוללת של המערכת המוצעת. לפיכך, מערכות אלו נחשבות לגורם המדברן להעברת טכנולוגיות חדשות משלב מעבדה למכלולים פועלים כאמל"ח. כתוצאה מכך הן מכילות את הטכנולוגיות המתקדמות ביותר בכל עת. המערכות מהסוג השני, אלו שהינן חלק ממערכים מסובכים, אשר קשה לנתח את פעולתן מבלי להיכנס לפעולת המערך כולו, בהן תהליך הרבה יותר מורכב וקשור כבר בתהליך התפתחות מערכים. לפיכך, מפגר פיתוח מערכות אלו בדרך-כלל אחרי היכולת הטכנולוגית בכל תקופה ותקופה במידה ניכרת.

מערכים מתבססים, בדרך-כלל, על התאמת אבני-בניין קיימות שהוכחו כבר במערכות מהסוג הראשון או במערכים יותר קטנים. רק לעתים רחוקות מוצאים שילוב מערכת חדשה לגמרי במערך מורכב. כאשר כבר עושים זאת, חייבת להיות דרך לבדוק את המערכת בפני עצמה ואת שילובה בצורה נאותה מבלי לסכן את פעולתו הסדירה של המערך.

מערכים

יש להבחין בגורמים אחדים המשפיעים על דינמיקת התפתחות מערכים צבאיים:

★ גודל ומורכבות.

★ תהליך התפתחות איטי.

★ חוסר משוב¹ מהימן בזמן שלום.

הגודל והמורכבות גורמים, בדרך-כלל, להאט תהליך החלטה וסרבולו בגלל המספר הגדול של הגורמים המעורבים בו ובגלל הקושי בניתוח המערך, איתור בעיות ונקודות תורפה והתוויית הכיוון הרצוי לשיפורים. תהליך ההתפתחות קשור באינרציה עצומה הנובעת מהשקעה גדולה במערך קיים, שאינו מאפשר שינויים דרסטיים.

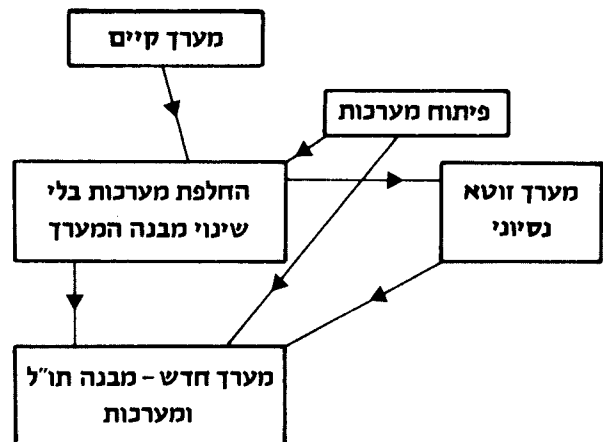
פיתוח אמצעים חדשים בקצב מהיר בתקופתנו, יחד עם חוסר משוב מהימן בזמן שלום, גורמים למצב חמור במיוחד, במערך כים צבאיים מורכבים. קשה לבחון מערכים אלו בצורה ריאליסטית בסיומולציות, ניסויי-שדה ותמרונים ללא השתתפות האויב. במקרים אחדים (דוגמה: מערכי ל"א), אפילו המלחמה אינה מספקת משוב מהימן. לפיכך, קשה להבחין בכדאיות להכנסת שינויים למערכינו, וקשה גם לבחון כיצד ישפיעו עלינו שינויים אצל האויב.

חוסר משוב, הוא אחת הסיבות לתופעה השכיחה הבאה: האמצעים העיקריים במערך טובים ויעילים, מאחר שפעילותם וחשיבותם ברורות ועל-ידי כך מוקדש לפיתוח ולהצטיידות שלהם מאמץ עיקרי. לעומת זאת, מוונחים אמצעים משניים המתגלים בדיעבד כקריטיים להצלחת המערך.

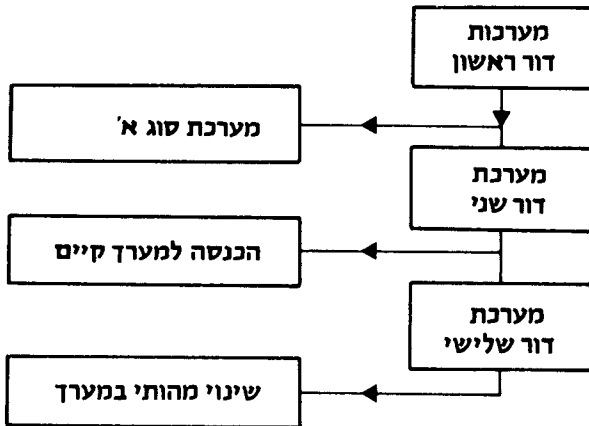
התפתחות של מערך יכולה להתבצע בדרכים הבאות:

- שיפור רמת תפעול מערך קיים — זהו התהליך המהיר ביותר.
- שינוי שיטת תפעול מערך (שינוי מבנה, תורת לחימה וכו').
- החלפת מערכות ללא שינוי מבנה המערך.
- החלפת מערכות, שינויים בתורת הלחימה ומבנה המערך — זהו התהליך האיטי ביותר.

שינויים מהותיים במערכים — בעיקר בתקופתנו שבה מפתחים מערכות חדשות בקצב גבוה — מדורבנים על-ידי התקדמות בפיתוח מערכות. במרבית המקרים, "תופרים" תחילה מערכות חדשות לתוך מבנה קיים, המורכב ברובו ממערכות ישנות המכתיבות את שיטת תפעולו, ורק הרבה יותר מאוחר (לעתים בעשרות שנים! כמו במטוס), לאחר לימוד תכונותיהן והתרגלות אליהן מגבשים סביבן מבנה ותורת לחימה חדשים לניצול היעיל. תהליך זה מצויין בציור הבא:



לעתים מנסים מערכות חדשות במערך זוטא נסיוני כשלב ביניים לפני שילובן במערך חדש בגודל מלא. אם נחזור לתהליך פיתוח מערכות נקבל תמונה נפוצה של השתלבותן במערכים:



ציור זה ממחיש פיגור טכנולוגי נפוץ במערכים מורכבים. המלחמה חושפת מערכים מפגרים ו"מולידה" דרישות פתאום מיות, המהוות קפיצה על-פני דורות בפיתוח לתכניות חירום שרק לעתים רחוקות ניתן לממש אותן.

לסיכום, התפתחות מערכים מורכבים מאופיינת כדלקמן:

- ★ לא ניתן, בדרך כלל, לתכנן ולבצע בבתי-אחת מערך חדש גדול שיחליף מערך ישן.
- ★ התפתחות מערכים היא איטית ונעשית בצעדים קטנים. לא ברור אם כל הצעדים הקטנים מסתכמים לשיפור בכיוון הרצוי; תיתכן התבדרות.

★ פיגור טכנולוגי לעומת אפשרויות הביצוע.

- ★ פיגור בהתאמת מבנה (מבנה חדש לאוגדה, מערך מודיעין וכו') ותורת לחימה לעומת המתחייב מהתנאים האמיתיים בזירה.

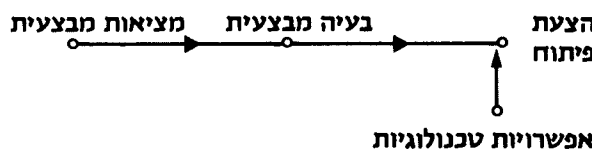
★ נקודות תורפה חבויות המתגלות רק בזמן מלחמה (היעדר מערכות-משנה קריטיות להצלחת המערך).

כל אלו עלולים לגרום להתמוטטות מערך בזמן מלחמה. לפיכך, חשוב לבדוק את הדרכים לשיפור דינמיקת התפתחות מערכים.

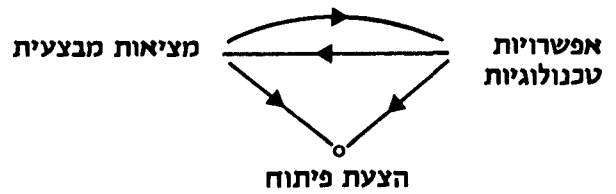
תפקיד הצבא והמפתחים בהתפתחות מערכים

פיתוח מערכות מתקדמות מחייב דו-שיח הדוק בין הצבא לבין המפתחים, כדי ללבן את הבעיות המבצעיות והאפשרויות הטכנולוגיות בכל עת. דו-שיח תועלתי והדוק מדרבן את השימוש בהתקדמויות הטכנולוגיות האחרונות לפתרון בעיות מבצעיות.

תהליך גיבוש רעיון לפיתוח, אינו חד-סיטרי כפי שמומחש בציור הבא:



1. משוב — Feed Back — המערך.



לצורך קידום וגיושם של רעיונות למערכים חדשים יש להקים צוותי-עבודה וקבוצות תיכון משותפים. בדרך זו ניתן יהיה לאתר יותר מהר בעיות במערך, הניתנות לפיתרון באמצעים טכניים חדשים, ולקצר על-ידי כך את התהליך של שילוב מערכות חדשות במערכים מורכבים. קבוצות אלו ישענו במקרים מסוימים, על מוקדי קבע לפיתוח מערכים. כדאי לציין בהקשר זה כי בארה"ב נפתרת בעיה זו על-ידי העובדה שמעבדות הפיתוח שייכות לצבא, לצי ולחיל-אוויר. אצלנו, מסיבות של מדיניות, מרבית עבודות הפיתוח נעשות במוסדות האזרחיים של מערכת הביטחון, ולכן צריך לפתור את הבעיה על-ידי מנגנונים אחרים כמוצע כאן, שיהדקו את הקשר בין צה"ל לבין המפתחים האזרחיים.

העמקת ההבנה בפעילות מערכים מורכבים

הקושי בניתוח מערכים מורכבים והערכת התרומה של שינויים מוצעים, מקשה על בחירת כיווני ההתפתחות הרצויים. על-מנת לרכז מאמץ מחשבתי בכיוון זה, יש להקים במוסדות הפיתוח מוקדים לפיתוח מערכים שיכינו תשתית-ידע רחבה בהיבטים השונים של פעולת המערכים. מוקדים אלה יכללו לפעמים מיתקנים לסימולציה ומשחקי-מלחמה ברמה הבינונית. יש להבחין בין מתקנים אלה לבין מתקני סימולציה שונים המזויים בצבא ומשמשים, בעיקר, לאימונים ולשיפור תפעולם של מערכים קיימים, אך אינם מתאימים לצרכי פיתוח.

הבעיה של סימולציה אמיתית המתאימה לצרכי פיתוח, עבור התנגשות מערכים מורכבים, הכוללים מגוון כוחות ואמצעים משני הצדדים, אינה פשוטה ומחייבת השקעת מאמץ מחשבתי ופיתוחי. מובן מאליו שבעבודה במוקדים אלו צריכים להשתתף אנשי פיתוח ואנשי צבא ביחד.

בהתפתחות מערך או מערכים נוצרת התבדרות, כאשר השינויים בו במשך שנים שנועדו לשפר יעילותו, מביאים בפועל לתוצאה הפוכה לטווח ארוך, כלומר להורדת כושרו או אפילו הפיכתו למיושן לגמרי.

תופעה זו יכולה לקרות בשל :

- * החלטות מוטעות ללא שיקול וניתוח מספיק.
- * החלטות המתגלות בדיעבד, כמו טעות כתוצאה מאי-ודאות ושינויים לא צפויים בזירה.
- * הדגשת אופטימיזציה לטווח קצר, לעומת אופטימיזציה לטווח ארוך.

במסגרת מאמר זה נתייחס רק למקרה שהחלטות נכונות בכל רגע ולמרות זאת קיימת התבדרות. החלטות על שינויים ותוספות במערך צבאי נוטות, בדרך-כלל, לאופטימיזציה לטווח קצר, כלומר אותם השינויים שיתנו תרומה מקסימלית כבר בטווח הקצר. מאידך, סדרת החלטות שנתיות כאלו, לא תמיד מסתכמות לתרומה המקסימלית לטווח ארוך.

מסלול A בתרשים מס' 2 מתקבל ע"י אופטימיזציה חד שנתית, ובמעבר משנה לשנה נותן את תוספת התרומה המקסימלית לגבי השנה הקודמת. מסלול B, לעומת זאת, מנסה להשיג אופטימום לאחר מספר שנים גם אם לפני כן היעילות E יותר נמוכה מאשר במסלול A.

לשם המחשה, הצטיידות מסיבית בארטילריה, עלולה מאוחר יותר להפריע או לעוות את המעבר לארטילריה מדוייקת ולהפ-נותה לפגזי תותחים מונחים במקום לטילים ק"ק מונחים.

ככל שהדו-שיח הזה משתפר, ידורבן וישופר גם תהליך גיבוש הצעות פיתוח חדשות. מאידך, במערכות מהסוג הראשון, בהן קל, באופן יחסי, למפתח להבין את המציאות המבצעית ולנתח את טיב הצעותיו, הוא יכול במקרים רבים להתקדם, גם אם הדו-שיח לקוי. על-כן במערכות אלו, בהרבה מקרים, המפתחים חים הוגים את הרעיונות וקובעים את הכיוון ואת קצב הפיתוח (להוציא מגבלות תקציב).

לעומת-זאת, תיכון כולל של מערכים, המשלב תורת לחימה ואמצעים למבנה נאות, נעשה כמעט ללא יוצא מהכלל בתוך הצבא. בתהליך זה מתכננים אנשי הצבא בעצמם את המערך, על סמך מערכות המוכרות כבר היטב ומוסרים למפתחים את ביצוע ההתאמות הדרושות בהן. התאמות אלו יכולות, אמנם, לכלול פיתוח הנדסי ניכר אך אין בהן, בדרך-כלל, רעיונות פיתוח מקוריים ברמה מערכתית.

לתהליך זה שני חסרונות עיקריים :

- פיגור טכנולוגי במערכות.
- האטה ניכרת ביצירת רעיונות פיתוח חדשים עבור מערכים אצל המפתחים.

כפי שראינו לעיל לגבי מערכות, חשיפת המפתחים לבעיות המבצעיות וקיום דו-שיח הדוק בינם לבין הצבא, מדרבנת ומגרה אותם למחשבות חדשות למערכות. חוסר חשיפה וחוסר הבנה של המפתחים בבעיות מערכים מורכבים, והמשימות המוקצות להם על-ידי הצבא בפיתוחם — מביאים לכך שתפי-קידם יהיה פסיבי בעיקרו. תפקיד מעין זה אינו מדרבן להגות רעיונות מקוריים.

שיפור תהליך התפתחות מערכים

כדי לשפר את התהליך יש לפעול בדרכים אחדות :

- יצירת קשר הדוק יותר בין הצבא לבין המפתחים.
- העמקת ההבנה אצל המפתחים בפעולת מערכים מורכבים לאיתור פערים ונקודות תורפה אצלנו ואצל האויב.
- שיפור הדינמיקה למניעת התבדרות ופיגור.

על מנת להדק את הקשר בין הצבא למפתחים, יש לעודד סבב בין הצבא ומוסדות הפיתוח, כאשר קצינים טכניים ישרתו שנה או שנתיים במעבדות-פיתוח כחלק ממהלך הקידום שלהם. במקביל, יעבדו מהנדסי פיתוח תקופה דומה בתפקידים מתאי-מים בצבא. על-ידי סבב זה, תיווצר שפה משותפת שתקל על המשך המגעים בנושאים השונים. כמו-כן יש לנצל את שירות המילואים של אנשי הפיתוח, שאינם משרתים ביחידות קרביות וחיוניות, על-ידי הצבתם ביחידות מתאימות העוסקות באמל"ח, תורת-לחימה וכו'.

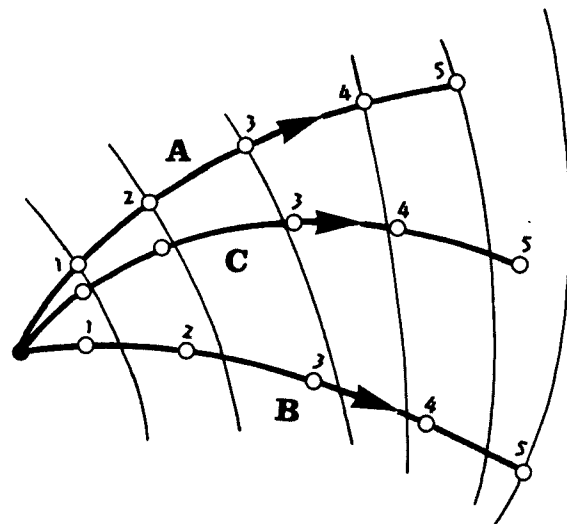
ולתכנן אותו באופן הבא:

- חיוזי טכנולוגיות ומערכות שניתן להגיע אליהן תוך 5–10 שנים.
 - גיבוש קונצפציית מערך שיתבסס עליהן, איתור כל הפערים כולל מערכות משניות.
 - תיכנון לאחור (גורמטיבי) של מהלך הפיתוח.
- שלבי הפיתוח יהיו: פיתוח מערכות עד לשלב בו הוכחה יעילותן של האבטיפוס הראשון; המשך פיתוח מערכות, ובמקביל הקמת מערך זוטא (יחידה צבאית+אמל"ח); עם גמר פיתוח המערכות – כולל עדכון עקב לקחי מערך זוטא – הצטיינות דות והקמת מערך מלא.

השלב הבא – הקמת מערך-זוטא, לפני גמר פיתוח המערכות – יספק משוב החיוני לגיבוש תורת לחימה, איתור פערים ופגמים בקונצפציה. בצורה זו ניתן לקצר את הזמן ולגלות נקודות תורפה בשלב מוקדם. לצורך זה יש להקים יחידות צבאיות נסיוניות (אין הכוונה כאן ליחידת ניסויים הבודקת אמל"ח בלבד), מספר שנים ניכר לפני שאפשר להפיק מהן תועלת מבצעית ממשית (המערכות עדיין אינן בשלות). מחיר זה כדאי והכרחי כאשר מנסים מערך הכולל אמל"ח חדישים ומחייב תורות לחימה חדשות שאין כדוגמתן עדיין בארצות אחרות. כדוגמה טובה לתהליך כזה אפשר להצביע על פיתוח הסטי"לים ומערכותיהם בחיל-הים. רצוי לאמץ תהליך זה למערכים אחרים.

סיכום

תהליך התפתחות של מערכים מורכבים, מפגר במקרים רבים אחרי קצב הפיתוח הטכנולוגי המהיר בתקופתנו ואחרי השינויים בזירה, הוא אוצר בקרבו נקודות תורפה העלולות להביא מפולת בעת מלחמה. מצב זה מחייב מאמץ מודע ומשותף של צה"ל וגורמי פיתוח, ליעול התהליך וליצירת מערכים חדישים שיקדימו ויפתיעו את האויב.



$$E_B(4, 5) > E_A(4, 5)$$

$$E_B(1, 2, 3) > E_A(1, 2, 4)$$

מקרא

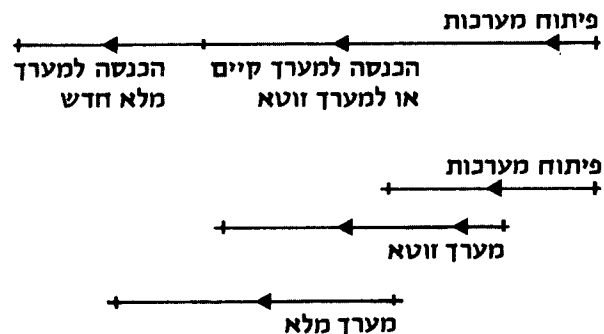
○ שנה
— מסלולי התפתחות שונים
— קרי יעילות שזה
(היעילות גדלה משמאל לימין)

תרשים מס' 2

למשל, הפיתוח האמריקני של פגז ארטילרי מונחה (CLPG), המשמש כאלטרנטיבה לפיתוח טילים ק"ק² כמובן שקיימים גם מסלולי ביניים רבים, והפתרון העקרוני לבעיה זו, הוא מסלול המבוסס על השקלול הלוקח בחשבון את הטווח הקצר והטווח הארוך גם יחד. לדוגמה: מסלול C סוטה כל שנה אך במעט מהאופטימיזציה החד-שנתית אך לאחר מספר שנים מגיע לנקודה שונה לגמרי ממסלול A:

$$E_B(5) > E_C(5) > E_A(5)$$

באופן מעשי, פירוש הדבר, הסטת חלק קטן מהמשאבים ממסלול A, האופטימיזציה לטווח קצר, למאמץ לטווח ארוך. כלומר, הקצאת משאבים למחקר ולפיתוח, על-חשבון הצטיידות מיידית. אך תהליך המחקר הרגיל, אינו מבטיח מניעת התבד-רות ופיגור רב-שנתי בפיתוח מערכים. על-מנת לעשות זאת יש לקצר את התהליך הכולל כדלקמן:



2. ראה "מערכות" 236, עמ' 36. — המערך.