

איכות ופריון במחקר ופיתוח



הסדנה השלישית
למנהלי מו"פ

פרופ' איזי דראל
ד"ר זאב בונן
דורון מאירסדורף

הטכניון - מכון טכנולוגי לישראל
הפקולטה להנדסת
תעשייה וניהול



הטכניון - מכון טכנולוגי לישראל
מוסד שמואל נאמן
למחקר מתקדם במדע ובטכנולוגיה



הטכניון - מכון טכנולוגי לישראל
הפקולטה להנדסת
תעשייה וניהול

הטכניון - מכון טכנולוגי לישראל
מוסד שמרואל נאמן
למחקר מתקדם במדע ובטכנולוגיה

איכות ופריון במחקר ופיתוח

הסדנה השלישית
למנהלי מו"פ
17 ביוני, 1993

פרופ' איזי דראל
ד"ר זאב בונן
דורון מאירסדורף

<u>עמוד</u>	<u>תוכן העניינים</u>
1	1. מסגרת המחקר
2	2. איכות התכן
3	3. תהליך התכן
6	4. סווג הפרויקטים המנותחים
6	4.1 פערי הידע
7	4.2 מורכבות הפרויקט
9	4.3 תוצאות השאלון
10	4.4 מסקנות סווג הפרויקטים
11	5. ניתוח תהליך התכן בגישה מערכתית
11	5.1 איכות ופיריון במחקר ופיתוח
13	5.2 תשומות התכן
15	5.3 תהליך התכן וניהולו
16	5.4 מבנה תהליך התכן
17	5.5 הבעתיות תהליך התכן
17	5.6 התנהגות תהליך התכן
19	5.7 המוצר ומימושו
20	5.8 תוצרי התכן
22	6. הערכת איכות תהליך התכן ותוצריו
22	6.1 טבלאות הערכת התהליך
23	6.2 שיקלול ההערכות
24	6.3 דוגמת יישום
25	7. יישום מערכת ההערכה בסדנה
25	7.1 משתני המודל
25	7.2 ניתוח ההערכות
27	8. המשך המחקר

28	נספחים
29	נספח 1 : מילון מונחים
35	נספח 2 : טבלאות ההערכה של תהליך התכן
38	נספח 3 : פירוט שלבי התכן
48	נספח 4 : תרשימי תוצאות ההערכה

52	רשימת מקורות
----	---------------------

רשימת הציורים:

5	1. מבנה בסיסי של תהליך התכן
6	2. פירמידה השוואתית של תכן טוב מול תכן גרוע
8	3. קוים "שווי מורכבות" פרויקטים
12	4. איכות ופיריון מו"פ
14	5. תשומות התכן
14	6. תהליך התכן וניהולו
15	7. תהליך הניהול
16	8. מבנה תהליך התכן
17	9. הבעתיות תהליך התכן
18	10. התנהגות תהליך התכן
19	11. המוצר ומימושו
20	12. תוצרי התכן
21	13. תוצרי התכן - תכן המוצר
24	14. הערכת פרויקט "אופטו-מכני", סאיטקס

רשימת הטבלאות:

9	1. אפיון הפרויקטים - תוצאות השאלון
25	2. ריכוז תוצאות הערכות הפרויקטי

1. מסגרת המחקר

הסדנה השלישית לאיכות ופרייון מו"פ נערכה ב"מוסד נאמן" בתאריך 17.6.93. סדנה זו מהווה המשך ישיר לשתי סדנאות קודמות בסדרה, שנערכו במסגרת עבודת הדוקטורט של דורון מאירסדורף. המחקר נערך בהנחייתם של פרופ' איזי דראל, ד"ר זאב בונן ופרופ' פול פייגין בפקולטה להנדסת תעשייה וניהול בטכניון. בהכנות לסדנה זו ובניתוח תוצאותיה לקחו חלק גם הסטודנטים דורון שמואלי ומשה בן-עמי, במסגרת פרויקט גמר של תואר ראשון בהנדסת תעשייה וניהול.

מטרת המחקר הינה בניית מערכת למדידה ולהערכה של איכות ופרייון מו"פ, המסוגלת לספק משוב מהיר במהלך התכנון. מערכת שכזו תאפשר התראה בזמן אמיתי ונקיטתם של צעדים מתקנים נדרשים. בדרך זו יושג תהליך שיפור מתמשך באיכות ובפרייון (מאירסדורף, 1993).

ארבעת השלבים שהוגדרו לבניית מערכת זו הינם:

א. זיהוי הגורמים המשפיעים ("מה למדוד?")

ב. מציאת מדדים מתאימים ("איך למדוד?")

ג. בניית מודל אינטגרטיבי למדידה ולהערכה ("איך לשקלל?")

ד. קביעת המלצות לצעדים מתקנים ("מה משמעות התוצאות?")

בסדנה הראשונה (דראל, בונן ומאירסדורף, ינואר 1991) נקבע בסיס משותף לעריכת מחקר מסוג זה בחברות הטכנולוגיה המתקדמת (High-Tech) בישראל. אוכלוסיית המחקר הוגבלה מראש לחברות מתחום האלקטרוניקה, המחשבים והתקשורת, מכיוון שבחתך זה ניתן לזהות מאפיינים משותפים רבים בתהליך התכנון, כך שמערכת ההערכה תתאים למגוון החברות באוכלוסייה זו.

בסדנה ראשונה זו הוגדרו המטרות של מחקר ופיתוח, הן בראיה אירגונית (ברמה אסטרטגית) והן ברמת מחלקת המו"פ. לאחר מכן הגורמים השונים המשפיעים על איכות ופרייון מו"פ זוהו, סווגו לקבוצות ודורגו לפי סדר חשיבות השפעתם. המטרה העיקרית של מחלקת המו"פ זוהתה כ"פיתוח מוצרים חדשים בהתאם לאסטרטגיית הארגון, תוך עמידה במגבלות הלו"ז, התקציב ומחיר המטרה".

גורמים אלו - ארגוניים, טכנולוגיים ואנושיים - המשפיעים על האיכות והפרייון, מהווים בסיס למערכת מדידה והערכה של איכות ופרייון מו"פ הנקראת "עץ המדדים" (Tree of TOM Measures), (Meyersdorf & Darel, 1992 a).

מערכת זו בנויה מעץ בעל שלושה ענפים ראשיים: ענף התשומות, ענף התהליך וענף התפוקות. רמת הביצועים בכל ענף נמדדת באמצעות מדדים חלופיים (Surrogate Measures) של הגורמים המשוייכים לו. מדדים חלופיים, הינם כאלו אשר רק מצביעים על האיכות והפרייון, ולא מודדים אותו באופן ישיר. הצורך במדדים כאלו נובע מחוסר היכולת לערוך מדידה ישירה. מכלול מדדים

זה בוחן את מגוון ההבטים השונים של איכות ופריזון מו"פ. מידת ישימותם ואיכותם של מדדים אלו נבחנה באמצעות שאלונים ונערכו מספר נסיונות של יישומים על מנת לאשר את תקפותם.

כתוצאה מכך, ערכת המדדים הנבחרת הינה כזו שהמדדים בה פשוטים ליישום - כלומר, המידע הדרוש להפקתם הינו בעל זמינות גבוהה יחסית ושערכיהם הינם במתאם גבוה עם איכות ופריזון מו"פ - כלומר, מדדים בעלי אפקטיביות גבוהה.

2. איכות התכן

בסדנה השניה (דראל, בונן ומאירסדורף, מאי 1992) נבחנו הבטים יישומיים של "עץ המדדים". בפגישה זו הושם דגש על בחינתו של נושא "איכות התכין" ("Quality in Design"), אשר אותר במהלך המחקר כמרכזי ביותר בקביעת איכות ופריזון מו"פ. מספר הצעות נדונו במהלך הסדנה להגדרת "איכות התכין". לאתר מכן זוהה מגוון המאפיינים של תהליך תכין איכותי ונערך סיווג לקבוצות של מאפיינים אלו.

תוצאות סדנה שניה זו היוו את הבסיס להמשך המחקר ולגיבושה של זווית ראייה חדשה לבחינתו של תהליך התכין. סקר ספרות שנערך בנושא (מאירסדורף, 1993), אישר כי למיטב ידיעתנו, אין בנמצא דרך התבוננות דומה או מודל הערכה המבוסס על גישה מסוג זה, של מגוון הבטי התכין כפי שזוהו במחקר זה.

ההגדרה המקובלת על משתתפי הסדנה של המושג "Quality in Design" (י"הדרך להשגת איכות בתכין) היא:

שיטה, כלים ומערכת שמטרתם להשיג באמצעות תכין, איכות מירבית בתהליך ובתוצאתו - המוצר, תוך התייחסות למחזור החיים כולו, ובמגמה שהאיכות תעלה על צפיות הלקוח.

מושגים רבים (חלקם חדשים) המופיעים להלן במרכאות כפולות מוגדרים ב"מילון מונחים" המצוי בנספח 1.

המחקר מתייחס למדידה והערכה של מכלול שלבי התכין, החל מהגדרת דרישות הלקוח ותרומן ליעדים ביצועיים וכלה בהשגת שביעות רצון לקוחות (Customer Satisfaction). המושג התחליפי ל"שביעות רצון לקוחות" שצובר פופולריות לאחרונה הינו "שביעות רצון עילאית" (Customer Delight) (Arnold & Floyd, 1992). מושג זה אכן תואם את ההגדרה של "Quality in Design" לעיל.

נדגיש כי המחקר אינו בוחן הבטים אירגוניים עיסקיים הקשורים לדרכי שיווקו של המוצר, מידת ריווחיותו בטווח הארוך, גידול בערך מניות החברה, שווי השוק שלה וכד'. מסיבה זו, מערכת ההערכה והמדידה לא עושה שימוש במדדים או כלים פיננסיים וחשבונאיים מוכרים כדוגמת Return on Investment (ROI), או Return on Assets (ROA). הסיבה לכך נעוצה

באופיו היישומי של המחקר ובמטרותיו. מטרת המחקר העיקרית הינה בניית כלים להערכת תהליך התכן בזמן התגובה הקצר ביותר האפשרי, ובטווח השפעה של סביבת המו"פ על מהלכו ותוצריו. הבטים עסקיים כוללים גורמים מתערבים רבים ומורכבים שאינם מאפשרים ניתוח ממוקד של איכות ופריזון מו"פ. יתר על כן, תוצאות עסקיות עלולות להתקבל רק במועד שהינו מאוחר מדי, לצורך הסקת מסקנות ונקיטת פעולות עוד במהלך התכן.

אמנם, חיוני ביותר שהבטים עסקיים (בדומה לאלו שהוזכרו לעיל) יבחנו וינתחו לשם הסקת מסקנות ברמה האסטרטגית ובטווח הארוך. נדגיש כי אין כוונתו של מחקר זה להמעיט בחשיבות הרבה של חקירת ההבטים העסקיים, שאכן חייבים להלקח בחשבון בפיתוח מוצרים חדשים.

כוונת המחקר, אם כן, הינה להתמקד באותם הבטים של איכות ופריזון, אשר במרבית המקרים נדחקים לקרן זווית ומאבדים מחשיבותם ללא הצדקה, עקב המשקל הרב המיוחס לבחינת הנתונים העסקיים. מבחינה זו, המחקר מתמקד בהבטי ה"מיקרו" של תהליך התכן, בניגוד להבטי ה"מקרו" בהם מתמקדת אסטרטגיה עסקית.

שלבי הסדנה השלישית, שהתמקדה בניתוח תהליך התכן, היו כדלקמן:

- הצגת התפישה להערכת "איכות התכן"
- דיון לזיהוי תכונות מיותרות/חסרות
- השלמת מודל תכונות תהליך התכן
- הדגמת יישום הערכת "איכות התכן"
- ביצוע הערכות אישיות לפרויקטים
- בחינת מדדים כמותיים (תוצאתיים)
- דיון מסכם

3. תהליך התכן

תהליך התכן הינו התהליך הממיר רעיון ל"מוצר מכיר" (sellable product). המרה זו נעשית תוך דאגה לצרכיו המשתנים של הלקוח, שימוש בידע מדעי וטכנולוגי ובחינה מתמדת של צרכי השוק. התהליך נערך תחת מגבלת אפשרויות הייצור ועלויותיו, אופי השימוש במוצר הסופי ואופי התמיכה לה הוא נזקק.

מגבלות הייצור מתייחסות למידת הזמינות והעלויות של החמרים הדרושים, התהליכים והציוד, כלומר למידת יכולתה של החברה לייצר את המוצר בעלות המיועדת ("מחיר מטרה") ובזמן המוקצב.

אופי השימוש מתייחס לאורך החיים הצפוי למוצר ולמתאר השימוש בו (נקודת עבודה נומינלית, תנאי סביבה קיצוניים - טמפ', לחות, לחץ, מתח, אבק וכד').

אופי התמיכה מתייחס הן לתחזוקתו השוטפת של המוצר על ידי המשתמש והן לקלות הטיפול בתקלות שבר על ידי מערך התמיכה. בנוסף לכך, יש להתייחס לניהול שינויים הנדסיים הנדרשים בתכנן המוצר עקב כניסתן של טכנולוגיות חדשות או עקב שינוי בדרישות השוק.

קיצור תהליך הפיתוח ותזמון יציאתו של המוצר מהחברה וכניסתו לשוק, קיבל בשנים האחרונות יתר חשיבות, והפך למוקד תשומת ליבן של חברות רבות. הסיבה לכך נעוצה בהתחדשותן המהירה של טכנולוגיות מתקדמות, המניעות את פיתוחם של מוצרים חדשים והגורמות לכך שמשך הביקוש למוצר חדש הולך ומתקצר באופן משמעותי. לפיכך, התקופה בה ניתן להחזיר את ההשקעה בפיתוח המוצר ולהניב רווחים, מתקצרת בצורה משמעותית אף היא (Griffin, 1993). יתר על כן, התחרות הגוברת בין החברות, המפתחות מוצרים מקבילים בעלי שוק חופף במלואו או בחלקו, מתמקדת יותר ויותר דגש בהשגת הבכורה בהוצאתו של המוצר לשוק, זאת כיוון שכל עוד נשמרת האיכות לשביעות רצון הלקוח, היתרון שמעניקה בכורה זו, עשוי להיות מכריע.

מבנהו הבסיסי של תהליך התכנן דומה בין הארגונים המשתתפים במחקר, אולם לכל ארגון קיימת גירסה שונה למתודולוגית התהליך בהתאם לסוג הארגון, תרבותו, המוצרים אותם הוא מפתח והשוק אליו הוא פונה. השוני אינו במהות השלבים אותם עובר המוצר, אלא בהגדרות שונות של תתי השלבים, במספרם ולעיתים גם באילוצי קדימות הקובעים את מידת הטוריות ו/או המקביליות שלהם.

תהליך התכנן, בחלוקה גסה, כולל שלושה תתי תהליכים: תהליך אפיון המוצר, תהליך המו"פ ותהליך הזיוד. ציור מספר 1 מתאר מבנה טיפוסי של תהליך התכנן.

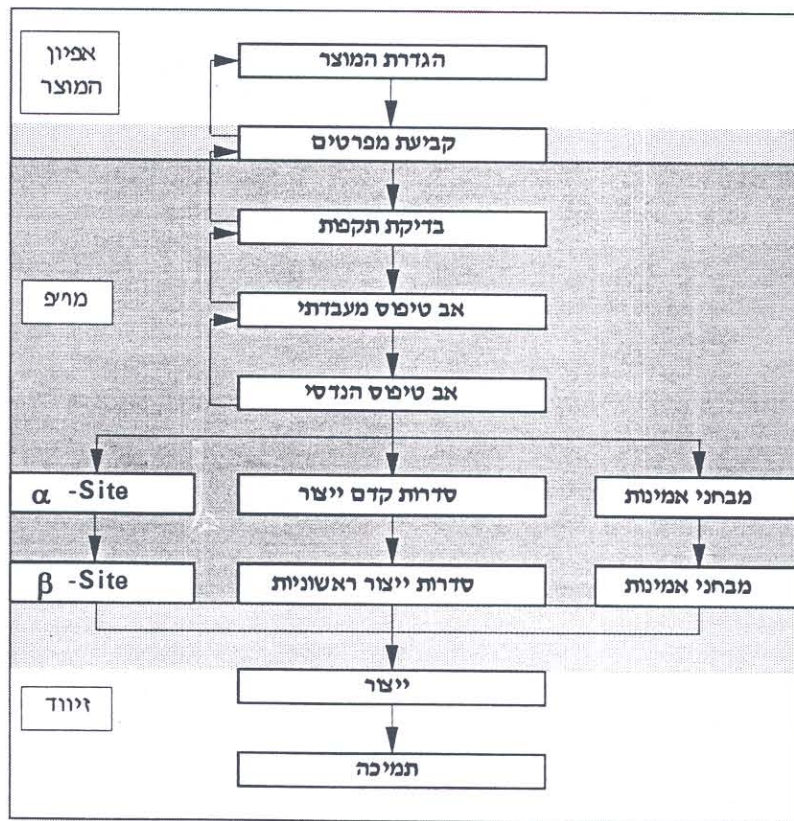
אפיון המוצר הינו שלב חיוני ביותר, המשמש בסיס להמשך התהליך. במסגרת תהליך האפיון מבוצע לימוד אינטנסיבי להבנת צרכי השוק, נערכת חקירה של פיתוחי המתחרים ונבחן היתרון היחסי הפוטנציאלי של החברה בפיתוח מוצר זה (אשר אם אינו קיים - אין הצדקה להמשך התהליך). צעדים אלו מובילים להגדרה הראשונית של המוצר.

ליבו של תהליך התכנן - המחקר והפיתוח - הינו השלב השני. בשלב זה אמורים להיות מושקעים ומנוצלים עיקר המאמץ האנושי ומרבית משאבי הפרויקט. בשלב המו"פ נערכת הנדסת המערכת ונקבעים מפרטי המוצר שיפותח. בהמשך נבדקת תקפות המפרטים ונבחנים האילוצים הטכנולוגיים הנובעים מהמפרטים.

אב טיפוס מעבדתי נבנה במטרה להוכיח את יכולת מימושו של הפונקציות שהוגדרו באפיון ולאחר מכן נבנה אב טיפוס הנדסי. מודל מוצר זה זהה למוצר הסופי לא רק פונקציונלית, אלא גם בצורתו התייצונית. במהלך שלב זה מוסרות לחלוטין אי הודאיות הטכנולוגיות הנובעות מפערי הידע, מוכח הכושר לייצור המוצר ונבחנת מידת עמידתו במתאר השימוש בו הוא עתיד לעבוד.

בשלב השלישי, שלב הזיוד, מתנהל תהליך מסודר להעברת המוצר מפיתוח לייצור. במהלך שלב זה נערכות בדיקות המוצר תחילה בתנאי מעבדה (α -Site) ולאחר מכן בתנאי שדה אצל לקוח אחד או יותר (β -Site). במקביל, נערכים מבחני אמינות שונים, כמו בדיקות MTBF.

בהמשך, "סדרות קדם ייצור" (pilot lines), נערכות לעיתים במחלקת המו"פ, ולאחריהן מספר "סדרות ייצור ראשוניות" במחלקת הייצור. שלב התמיכה מתחיל מיד בסיום הייצור ונמשך לאורך שארית מעגל חיי המוצר במפעל ומחוצה לו. יש להתייחס לתמיכה במוצר כאל חלק בלתי נפרד מתהליך התכנן.



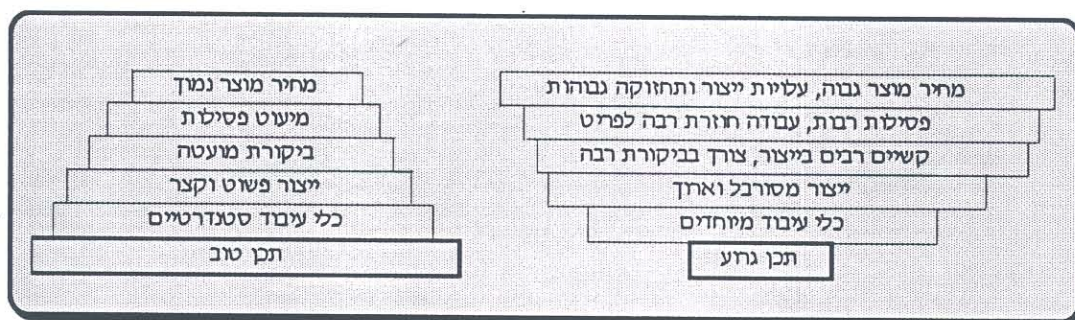
ציור 1: מבנה בסיסי של תהליך התכנן

Figure 1: A basic structure of the design process

הגבולות בין שלושת השלבים אינם חדים, כך שקיימת חפיפה בין סיום שלב ותחילתו של השלב העוקב. חפיפה זו נועדה לאפשר העברת מידע טכנולוגי וניהולי בצורה מסודרת בין השלבים והיא חיונית לשמירה על איכות התכנן.

תכן שאיכותו לקויה, יוביל קרוב לוודאי בהבט ארוך טווח לסיום בלתי מוצלח ולכשלון הפרויקט. תכן בלתי איכותי גורר תהליכי ייצור מסורבלים ובעייתיים, מצריך כלי עיבוד יקרים ומיוחדים, מאריך את משך הייצור, מחייב ביקורת רבה וגורם לפסילות רבות ולתקלות.

Nevo (1992), מציע פירמידה השוואתית של "תכן טוב" מול "תכן גרוע". בציור 2, מוצגות שתי הפירמידות: פירמידת "תכן טוב" העומדת על בסיסה ופירמידת "תכן גרוע" העומדת על קודקודה.



ציור 2 : פירמידה השוואתית של תכן טוב מול תכן גרוע

Figure 2: Schematic pyramids of good design vs. bad design

השוואה זו ממחישה את "אפקט ההגברה" של ליקויי תכן בתהליך הייצור, אך היא מתעלמת מתוצאות בעלות משמעות רבה יותר ממחיר מוצר גבוה ועלויות ייצור ותחזוקה גבוהות. לפיכך, נקודת המוצא של המחקר לניתוח איכות התכן, הינה שהלקוח הוא הקובע בצורה מכרעת את הצלחתה או כשלונה של החברה.

תכן גרוע יוביל בהכרח למוצר בעל איכות פגומה, ולפיכך לחוסר שביעות רצון הלקוח, פגיעה במוניטין, אבדן כושר התחרות והפסדים נוספים (כמו הצורך במתן שירות בתדירות גבוהה). מסיבות אלו, חלק הארי של העלויות בטווח הארוך חבוי אצל הלקוח, שעבורו מיוצר הפריט (Montana, 1992).

4. סווג הפרויקטים המנותחים

הדיון העיקרי בסדנה התמקד במאפייני תהליך התכן, דרך הניהול של התהליך ואופן יישום המתודולוגיה במהלכו. השאלה המתחייבת היא האם ניתן לערוך ניתוח כוללני של מתודולוגית תהליך התכן, או שיש להפריד את הניתוח לפי פרויקטים, מכיוון שכל פרויקט דורש מתודולוגיה ייחודית. כמענה לסוגיה זו וכצעד מקדים לסדנה, נבנה שאלון קצר שהופץ בין עשר חברות (המשתתפות בסדנאות) במטרה לסווג את מגוון הפרויקטים, ולבחון את שונות המתודולוגיה בין פרויקטים מסוגים שונים. לצורך כך סווגו הפרויקטים לפי שני מישורים: האחד, פערי הידע והשני, מורכבות הפרויקט (Shenhar, 1992).

4.1 פערי הידע

פערי הידע מוצאים את ביטויים בסיבוכיותו הטכנולוגית של הפיתוח. פערי הידע מסווגים לארבע רמות, המחדדות את הקשר בין עליית פער הידע ועליית סיכון הפיתוח (בונון, 1983). במציאות קיים רצף פערים, כך שפרויקטים רבים נמצאים ברמות ביניים. הדרך הנוחה לבחון את פער הידע הינה כימות השינוי (באחוזים) של המוצר המפותח ביחס לדור הקודם שלו ב"חברה שלנו" או בעולם המתחרים.

ארבע הרמות של סווג פערי הידע בפרויקט הינן :

פער ידע 1: ידוע ועשוי (0%-25%)

פרויקט בעל אופי דומה כבר הסתיים בהצלחה בחברה שלנו. המפרט הנוכחי דומה בתוכנו למפרט קודם וכרוך בהכנסת שינויים מזעריים בלבד. סיכון הפיתוח זניח.
לדוגמה: פיתוח כרטיס תקשורת ייעודי בעל מחירות וביצועים דומים למוצר שפיתחנו בעבר.

פער ידע 2: ידוע "על הנייר", אך טרם בוצע בחברה שלנו (26%-50%)

הידע הדרוש לפיתוח קיים בספרות ונגיש, או שניתן לקבל רשיון ידע עבורו מחברות אחרות. סיכון הפיתוח נמוך, אולם יש צורך להשקיע מאמץ וזמן ניכרים לתרגום ידע פוטנציאלי על הנייר למכלול פועל ואמין.

לדוגמה: פיתוח כרטיס תקשורת ייעודי בעל מחירות וביצועים הקיימים בשוק, אך לחברה שלנו אין נסיון דומה.

פער ידע 3: יש משפט קיום (51%-75%)

ידוע שהטכנולוגיה והתהליכים הדרושים קיימים בעולם, אך לחברה שלנו אין מושג על הפתרון. הסיכון גדול, כיוון שתיתכן השקעה רבה מאוד של משאבים וזמן עד שימצא הפתרון.
מצב זה נפוץ בפיתוחים הדרושים "Reverse Engineering" כמו מוצרים צבאיים מתוחכמים ותהליכי ייצור חדשניים.

פער ידע 4: אין משפט קיום (76%-100%)

הטכנולוגיה והתהליכים הדרושים אינם קיימים כלל. אין בטחון בהצלחת מאמצי הפיתוח כך שהתוצאה הסופית אינה ברורה. סיכון הפיתוח גבוה.
לדוגמה: פיתוח טיל ליירוט טילים בליסטיים בגובה רב.

4.2 מורכבות הפרויקט

מורכבותו של פרויקט מתייחסת לבעיית קשיי הפיתוח וסיבוכיות ניהולו, הנובעים ישירות מהיקפו הכולל של הפרויקט ולא מפערי הידע (Griffin, 1992). שני מרכיבים תורמים לקביעת מורכבותו של הפרויקט, כך שהמורכבות הכוללת הינה שיקלול (בשלב זה סוביקטיבי) של שני גורמים אלו (ראה ציור 3).

4.2.1 מורכבות המוצר - מתייחסת למספר הפונקציות שכולל המוצר הסופי ומידת המסובכות שלהן.

4.2.2 מורכבות הניהול - מתייחסת למספר הטכנולוגיות או המומחיויות הפונקציונליות שלרוחבן מנוהל הפרויקט ומידת המסובכות שלהן.

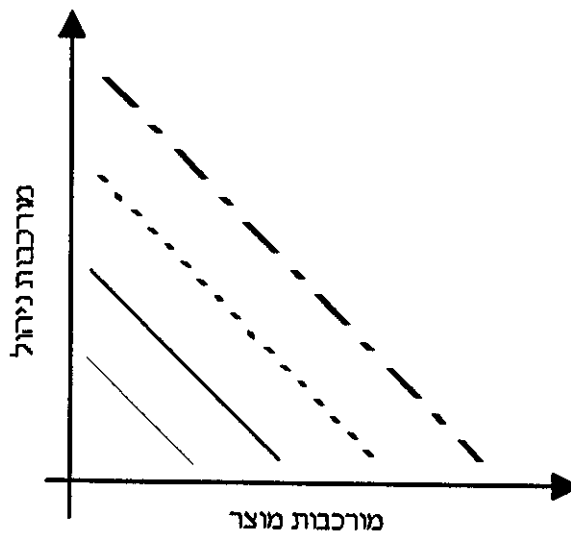
קל להבין תפישה זו באמצעות דוגמה. למשל פיתוחו של "מודם-פקס" בהשוואה לפיתוח "מודם רגיל". מורכבות הניהול בשני המקרים הינה דומה, אך מורכבות המוצר ב"מודם-פקס" גדולה יותר מאשר ב"מודם רגיל".

המורכבות מוגדרת על סולם בין 1 ל-10 :

"רמת מורכבות 1" הינה רמת המורכבות הנמוכה ביותר, לפרויקט בו המוצר פשוט והניהול פשוט (המוצר הסופי אמור למלא רק פונקציה אחת והפיתוח דורש טכנולוגיה או מומחיות אחת בלבד).

"רמת מורכבות 5" הינה רמת מורכבות בינונית לפרויקט בו המוצר מורכב ביותר והניהול פשוט, או להיפך, כלומר המוצר פשוט והניהול מורכב ביותר, או שילוב כלשהו של רמות ביניים, כלומר מוצר לא פשוט וניהול לא פשוט (המוצר הסופי אמור למלא כחמש פונקציות והפיתוח דורש כחמש טכנולוגיות ומומחיות).

"רמת מורכבות 10" הינה רמת המורכבות הגבוהה ביותר, לפרויקט בו הן המוצר מורכב ביותר והן הניהול מורכב ביותר (המוצר הסופי אמור למלא עשר ויותר פונקציות והפיתוח דורש עשר ויותר טכנולוגיות ומומחיות).



ציור 3: קווים "שווי מורכבות" פרויקטים

Figure 3: "Equal Complexity" Lines of Projects

שני המימדים (פערי ידע ומורכבות) המאפיינים את הפרויקט הינם בלתי תלויים. חברה יכולה לרוב לקבוע עד כמה היא תשנה מוצר כלשהו ביחס לדור קודם, ללא קשר למידת מורכבותו של הפרויקט. מוצרים מורכבים ביותר (כמו מכונות למשל) משתנים לרוב רק באופן מועט (כלומר, פער ידע נמוך, מורכבות גבוהה) ומוצרים פשוטים יחסית (כמו סוללת מתח) יכולים להתחיל מדף חלק (כלומר, פער ידע גבוה, מורכבות נמוכה).

4.3 תוצאות השאלון

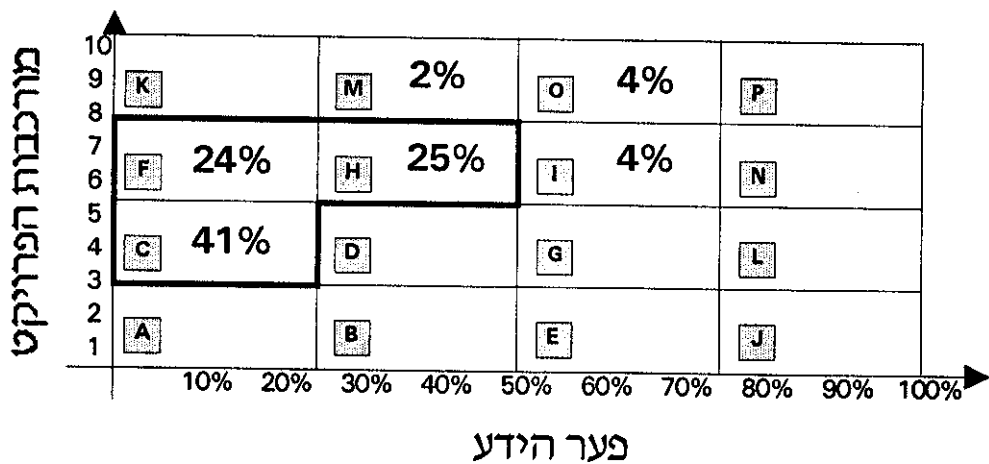
תשובות לשאלון התקבלו מחמש חברות ומספרם הכולל של הפרויקטים שסווגו הינו 60. להלן תוצאות השאלון.

4.3.1 - אפיון הפרויקטים

הנשאלים נתבקשו לסווג את כלל הפרויקטים בהם היו מעורבים (או עדיין מעורבים) בשלוש השנים האחרונות בשני המימדים: פער ידע ומורכבות. התוצאות שהתקבלו מרוכזות בטבלה 1.

טבלה 1: אפיון הפרויקטים, תוצאות השאלון (n=60)

Table 1: Projects characteristics, questionnaire results (n=60)



הערות: נתונים אלו אינם כוללים את חתך הפרויקטים ברפא"ל - אלו משויכים בעיקר לרביע הימני העליון (I,O,P,N).

4.3.1 - הקשר בין מתודולוגיית הפיתוח ואופי הפרויקט

שתי השאלות ביחס לפרויקטים שסווגו עסקו בקשר בין מתודולוגיית הפיתוח ואופי הפרויקט, כלומר במידת קיומה של מתודולוגיה ובמידת התאמתה לסוגים שונים של פרויקטים. הנשאלים התבקשו לציין תשובתם לשאלות הבאות על פי סולם בין 1 ל - 5.

4.3.1.1 מתוך הפרויקטים שצינת לעיל, באיזו מידה התנהל/מתנהל תהליך התכנן על בסיס מתודולוגיה כלשהי (נהלי עבודה מסודרים, אבני דרך ברורות, סקרי תיכון קבועים, תכנון ניסויים וכד') ?

1 - לא קיימת מתודולוגיה כלל

3 - קיימת מתודולוגיה אך היא מיושמת באופן חלקי

5 - קיימת מתודולוגיה והיא מיושמת בצורה מלאה

ממוצע התשובות שהתקבלו לשאלה זו הינו 4.0, כלומר: קיימת מתודולוגיה והיא מיושמת כמעט בצורה מלאה

4.3.1.2 אם קיימת מתודולוגיה, והיית מעורב ביותר מסוג אחד של פרויקטים, האם קיים שוני בין המתודולוגיות עבור פרויקטים בעלי אופי שונה?

- 1 - המתודולוגיה הקיימת מתאימה בהתאמות מזעריות לכל סוגי הפרויקטים
- 3 - קיימת מתודולוגיה שונה באופן חלקי עבור פרויקטים בעלי אופי שונה
- 5 - קיימת מתודולוגיה אחרת לחלוטין עבור פרויקטים בעלי אופי שונה

ממוצע התשובות שהתקבלו לשאלה זו הינו 2.33, כלומר:

המתודולוגיה שונה במידה מועטה עבור פרויקטים בעלי אופי שונה

4.4 מסקנות סיווג הפרויקטים

ניתוח התפלגות הפרויקטים לעיל, אינו מתייחס להשקעה (בשנות אדם) בכל פרויקט, על אף שסביר להניח שההתפלגות שונה במקצת עבור ניתוח מסוג זה. השוני בהתפלגות נובע מכך, שבפרויקטים בעלי פער ידע גבוה ו/או מורכבות גבוהה נדרשים מאמצי פיתוח מאומצים יותר. על אף הסתייגות זו, ניתן להסיק כי ניתן למצוא חתך מאפיין של הפרויקטים בעל שונות קטנה יחסית. הניתוח מוביל, אם כן, למסקנות הבאות:

4.4.1 90% מתוך הפרויקטים נערכים בתאים H,C,F של טבלה 1, כלומר במורכבות פרויקט בינונית עד בינונית-גבוהה ובפער ידע 2 לכל היותר (בהסתייגות הפרויקטים ברפא"ל).

4.4.2 קיימת "מתודולוגיה כוללת" המתאימה, בשינויים קלים, למרבית הפרויקטים (כולל רפא"ל).

מסקנות אלו מאפשרות את עריכת הניתוח של המתודולוגיה ואופי התהליך בהכללה רבה יחסית, כך שהמערכת המוצעת תהיה רלוונטית למרבית הפרויקטים המתנהלים בחברות. המחקר בשלבו הנוכחי, מסתפק במתן משקולות שונים למאפייני התהליך (נראה סעיף 6.2 להלן), עבור פרויקטים השונים באופיים (מבחינת פערי הידע והמורכבות). אם יתברר בהמשך המחקר, שלצורך ניתוח והערכת פרויקטים בעלי אופי מיוחד נדרשות התאמות מיוחדות, יבחנו השינויים המתחייבים במערכת ההערכה.

5. ניתוח תהליך התכן בגישה מערכתית

ניתוח ה"מערכת" (תהליך התכן, תשומותיו ותפוקותיו) המבוצע על פי גישת Object-Process Analysis (OPA), יוצג להלן באמצעות כלי של OPA המכונה Object Process Diagram. גישה זו לניתוח מערכות פותחה על ידי דב זורי מהטכניון ורוברט הרליק מהאוניברסיטה של וושינגטון, סיאטל (Dori et al, 1993).

הפרדיגמה של OPA הינה אונטולוגיה המטפלת בעצמים (Objects) ובתהליכים (Processes) כשני סוגים נפרדים של מחלקות (Classes), אשר קיימים ביניהן יחסי גומלין מיוחדים. עצם הינו דבר קבוע ובלתי מותנה בעולם הנבחן, בעוד שתהליך דורש לפחות "עצם מאפשר" ("enabling object") אחד, ופעילותו גורמת לשינוי בעצם או ליצירתו של עצם חדש.

כלי זה מותאם בצורה טובה לניתוח מערכות, בכך שהוא מאפשר ייצוג של עצמים בצמידות לתהליכים המופעלים עליהם. עצמים מתוארים באמצעות מלבנים, בדומה לגישת Object Oriented Analysis ואילו התהליכים מיוצגים באמצעות בועות.

הדרך הנכונה לבחון את תהליך התכן הינה באמצעות בחינתם של המשתתפים בתהליך (עצמים) ופעולותיהם (תהליכים). ההתבוננות בדרך זו בתהליך התכן גורסת כי מחלקת המו"פ הינה "מפעל" לייצור ידע, בו "חומרי הגלם", התהליכים והתוצרים הינם נשאי מידע. שימוש בפרדיגמה זו של ניתוח עצמים-תהליכים מאפשר ניתוח אפקטיבי של התהליך.

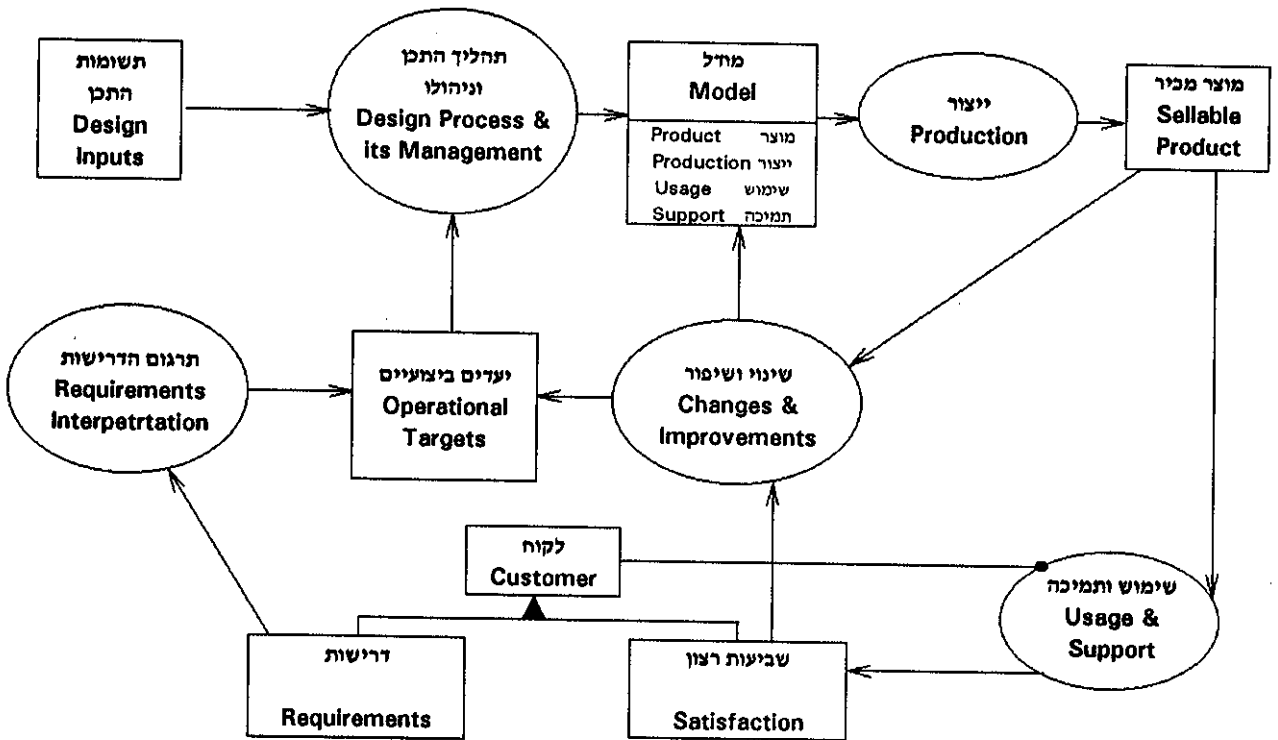
הסימולים הבסיסיים של כלי זה דומים לסימולים המוכרים של גישת OOA: משולש מלא (שחור) מציין קשר של "שלם - חלקו" ("Whole - Part"), כאשר קודקוד המשולש מצביע על ה"שלם" ובסיס המשולש מצביע על "חלקו". משולש ריק (לבן) מציין קשר "הכללה - התמחות" ("Generalization - Specification"). עיגול מלא (שאינו קיים ב-OOA) מציין "סוכן" (Agent), כלומר עצם בעל אינטלגנציה (בד"כ אדם או קבוצת אנשים).

זרימת המידע במערכת מתנהלת מעצם קלט (Input) לתהליך (Process) אותו הוא עובר ומעצם פלט (Output), המהווה תוצר של התהליך ועשוי להוות קלט לתהליך אחר. בדומה לגישת OOA, מתקיימת "תורשה" ("Inheritance") של תכונות מאבות לבנים, בקשרים המבניים הן של העצמים והן של התהליכים.

5.1 איכות ופריזון במחקר ופיתוח

הרמה העליונה (רמה 0) של ניתוח המערכת מתארת את זרימת המידע בין האלמנטים השונים במערכת. ברמה זו אין מפורטים תתי הקשרים בין האלמנטים השונים אלא מוצגת תמונה כללית בלבד של זרימת המידע במערכת.

התהליך העיקרי ברמה זו, המתואר בציור 4, הינו "התכן וניהולו". לקיום תהליך זה נדרשות "תשומות תכן" ו"יעדים ביצועיים". האחרונים מהווים "תרגום" של ה"דרישות" שהינן מרכיב של הלכות. יעדים ביצועיים אלה הינם יעדי תכן ברורים, ניתנים לבחינה, שמוצבים לתהליך התכן.



ציור 4: איכות ופריון מו"פ

Figure 4: R&D Quality and Productivity

יעדים ביצועיים בעלי איכות גבוהה הינם יעדים המהווים זיהוי מדוייק ופירוש נאמן של דרישות הלכות. תהליך תרגומן של דרישות הלכות ליעדים ביצועיים הוא התהליך הראשוני המבוצע כחלק מתהליך התכן. קיימת תמימות דעים, כי תהליך זה הינו קריטי לחשגת שביעות רצון הלכות, שהיא המטרה העיקרית המוצבת לתהליך התכן.

מבחינת ההגדרה של "תהליך התכן", מיוחס תהליך תרגום הדרישות לחלק מתהליך התכן הכולל. האבחנה בציור 4 בין התהליכים מכוונת להדגשת החשיבות הרבה המיוחסת לשלב זה. לעיתים נעשה התרגום תוך שימוש בכלים כמו פריסת תפקודי איכות (QFD - Quality Function Deployment), וניתוח והנדסת ערך (VA/VE - Value Engineering / Value Analysis).

תהליך התכן נחלק, לפי החלוקה המקובלת במשרד ההגנה האמריקאי (D.O.D), למספר שלבים עיקריים (ראה נספח 3): שלבי המו"פ (ראה ציור 1) נחלקים ל"יבדיקת התכנות"

("Feasibility Study"), "טרומ-פיתוח" ("Pre-Development"), "פיתוח" ("Development") ו"טרומ-ייצור" ("Pre-Production"). לאחר שלב טרום-ייצור תהליך התכן אינו נעצר, וממשיך ללוות את המוצר לאורך שארית מחזור חייו, כלומר בשלבי ה"ייצור", ה"שימוש" וה"תמיכה" (ראה שלבי הזיוד בציוור 1). לצורך הניתוח נערכת הפרדה של שלבים מתקדמים אלו, המהווים את "תהליך המימוש", משלבי האפיון והמו"פ.

תפוקתו הישירה של תהליך התכן מכונה הינה עצם המכונה "מודל". המודל הינו אוסף המידע המתאר בצורה מלאה את מכלול היבטי התכן של המשך מחזור חיי המוצר. המודל מורכב מ"מודל המוצר" (לרוב, אב טיפוס ייצור, manufacturing prototype) "מודל הייצור" (תיק היצור, production manual), "מודל השימוש" (תיק המשתמש, user manual) ו"מודל התמיכה" (תיק התמיכה, support manual).

תהליך הייצור הינו היישום, הלכה למעשה, של מודל הייצור על מודל המוצר לשם השגתו של "מוצר מכיר". מוצר מכיר הינו מוצר (לאחר בדיקת β -site), שהוחלט כי ניתן להוציאו לשוק, כיוון שקיימת סבירות גבוהה שאיכות התכן שלו הגיעה לרמה שתוביל להשגת שביעות רצון הלקוח. המוצר המכיר עובר תהליך שימוש ותהליך תמיכה, תהליכים המיישמים את מודל השימוש ומודל התמיכה בהתאמה.

שביעות רצון הלקוח אינה מושגת, ברוב המקרים, בתצורתו הראשונית של המוצר המכיר, אלא נדרשים מספר מחזוריים של שינוי ושיפור בכדי להשיג מודל משופר. לדעת משתתפי הסדנה, מספר סביר של מחזורי שיפור, לאחר β -site, הינו 0 עד 3.

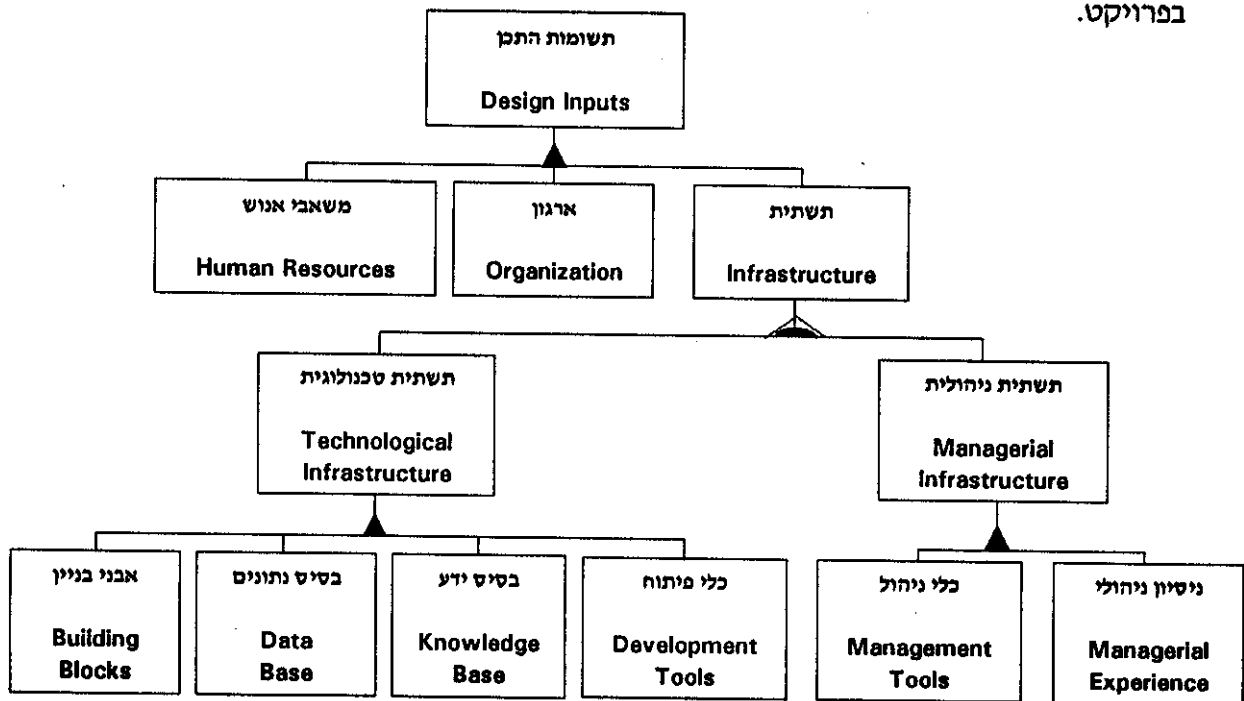
מחזור המשוב בציוור 4 מתרחש באמצעות תהליך השינוי והשיפור. הקפו של מחזור משוב זה תלוי בעצמת השינוי הנדרשת של היעדים הביצועיים. כאשר השינויים אינם מחייבים תיכון מחודש, המודל מעודכן באופן ישיר ועובר תהליך ייצור מחודש. שינויים מהותיים בתכן המוצר יחייבו הגדרה מחודשת של היעדים הביצועיים, כלומר סבב תכן נוסף.

5.2 תשומות התכן

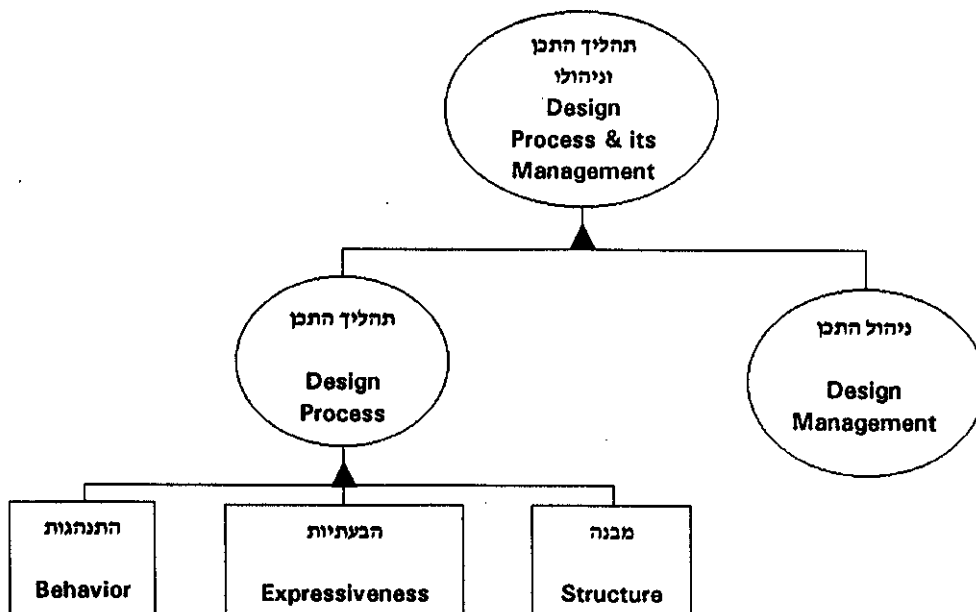
תשומות התכן, בהתאם למערכת המזידה וההערכה TOM, נחלקות לשלושה ענפים: משאבי אנוש, ארגון ותשתית. ענף משאבי אנוש מכיל מדדים בנושא איכותו של כח האדם העומד לרשות המו"פ, תהליכי בחירתם של העובדים, שביעות הרצון שלהם ותהליכי ההדרכה המבוצעים בארגון. ענף הארגון כולל מדדים בנושא תהליכי התקשורת בין המחלקות (בייחוד מו"פ-שיווק ומו"פ-ייצור), מידת התמיכה של ההנהלה העליונה במו"פ וצורתו של המבנה הארגוני. שני ענפים אלו - משאבי אנוש וארגון - לא נדונו במסגרת סדנה זו ואינם מפורטים בסיכום זה (ראה (Meyersdorf & Darel, 1992 b).

הענף השלישי, המפורט בציוור 5, הינו ענף התשתית. התשתית מתמחה (קשר הכללה-התמחות) ומורכבת (קשר שלם-חלקו) משני סוגים: "תשתית טכנולוגית" ו"תשתית ניהולית". התשתית

הניהולית בנויה מאוסף הכלים (ממוחשבים ולא ממוחשבים) המשמשים בניהול התהליך ומרמת הניסיון הניהולי המצטבר מפרויקטים הדומים לפרויקט הנבחן. התשתית הטכנולוגית מורכבת מ"כלי הפיתוח", "בסיס הידע", "בסיס נתונים" ו"אבני בניין" העומדים לרשות המפתחים בפרויקט.



צור 5 : תשומות התכן
 Figure 5: Design Inputs



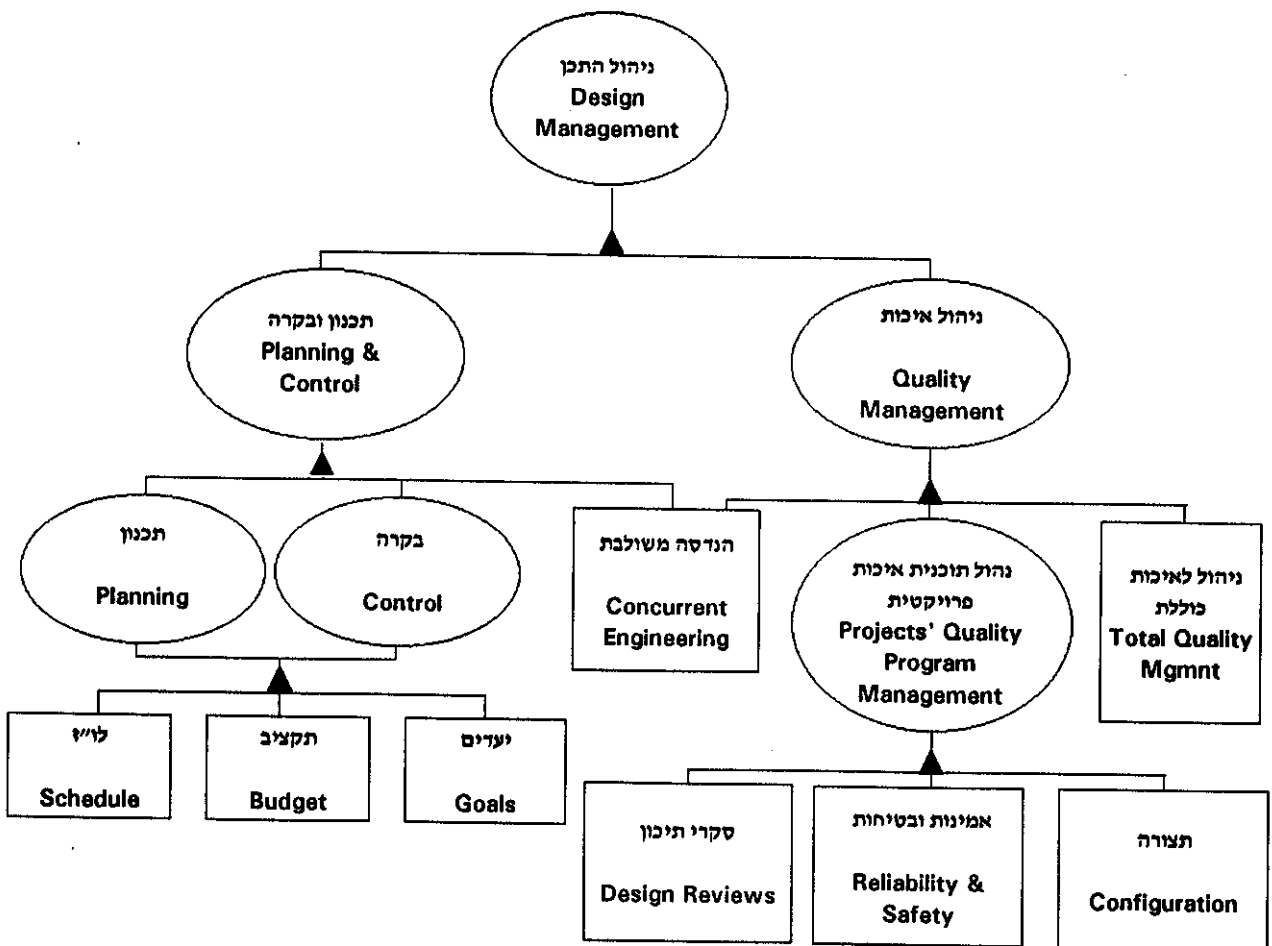
צור 6 : תהליך התכן וניהולו
 Figure 6: Design Process and its Management

5.3 תהליך התכנן וניהול

הניתוח של "תהליך התכנן וניהול" נחלק בציוור 6 לשניים: הבטי "ניהול התכנן" ומאפייניו של "תהליך התכנן". המאפיינים של תהליך התכנן מורכבים משלוש קבוצות עיקריות: "מבנה" תהליך התכנן, "הבעתיות" התהליך וה"התנהגות" שלו.

5.3.1 תהליך הניהול

ניהול התכנן נחלק לשני מרכיבים עיקריים: "תכנון ובקרה" של תהליך התכנן ו"ניהול איכות" שלו. הן ה"תכנון" והן ה"בקרה" נבחנים לפי שלושה מישורים: לויז, תקציב (הכולל גם מחיר מטרה) ומידת התקדמות השגתם של יעדי הפרויקט. מידת השגה זו נבחנת בהתאם לאילוצי הלוויז, התקציב ומחיר המטרה ובהתייחסות לאבני הדרך שהוגדרו לפרויקט.



ציוור 7: תהליך הניהול

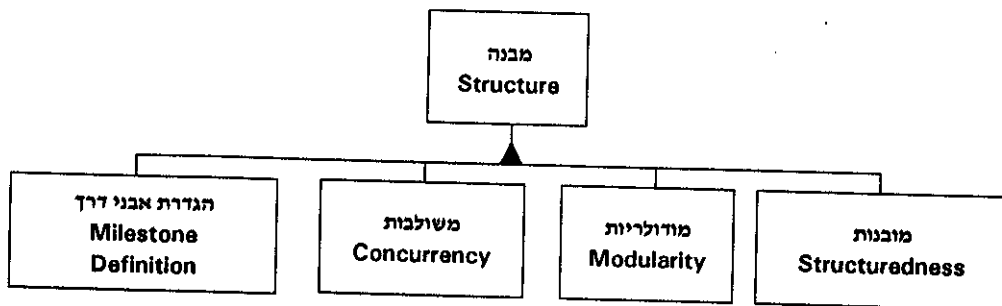
Figure 7: The Management Process

עצם נוסף המשוייך לתכנון ובקרה הינו ה"הנדסה המשולבת" (Concurrent Engineering). ההנדסה המשולבת הינה פילוסופיה וכלים, המתווים את המסגרת לפיה מושקעים משאבים רבים

יותר בשלבים מוקדמים של התהליך. זאת על מנת לחסוך בסבבי פיתוח מיותרים בשלבי המאוחרים, ובכך לקצר את משך הפרויקט. כמו כן מושגת איכות תכן משופרת באמצעות עבודה רב תחומית משותפת ודאגה לשלמות הממשקים בין הפונקציות השונות של התכן. "ניהול איכות" הינו מרכיבו השני של ניהול התכן. תהליך זה מיישם את העקרונות של "ניהול לאיכות כוללת" (Total Quality Management), המשתלבים ביישום "תכנית איכות פרויקטית". פעילויות אלו נערכות במסגרת העבודה המתוות על ידי ההנדסה המשולבת. ניהול תוכנית איכות פרויקטית הינו תהליך ההוצאה אל הפועל של מתודולוגיית האיכות בארגון. התחומים בהם מתמקדת תוכנית האיכות הפרויקטית הם: "סקרי תיכון", "אמינות ובטיחות" ו"ניהול תצורה".

5.4 מבנה תהליך התכן

מבנה תהליך התכן הינו אחד משלוש קבוצות המאפיינים של תהליך התכן. מבנה זה מורכב מארבעה עצמים (ראה ציור 8): "מובנות", "מודולריות", "משולבות" ו"הגדרת אבני דרך". חשוב לציין כי גם אם קיימת תלות בין תתי המרכיבים השונים, עדיין יש להתייחס אליהם בנפרד. זאת מכיוון שכל אחד מהם מאיר פן אחר של מבנה התהליך ומאפשר בכך זיהוי ממוקד יותר של מבנה התהליך.



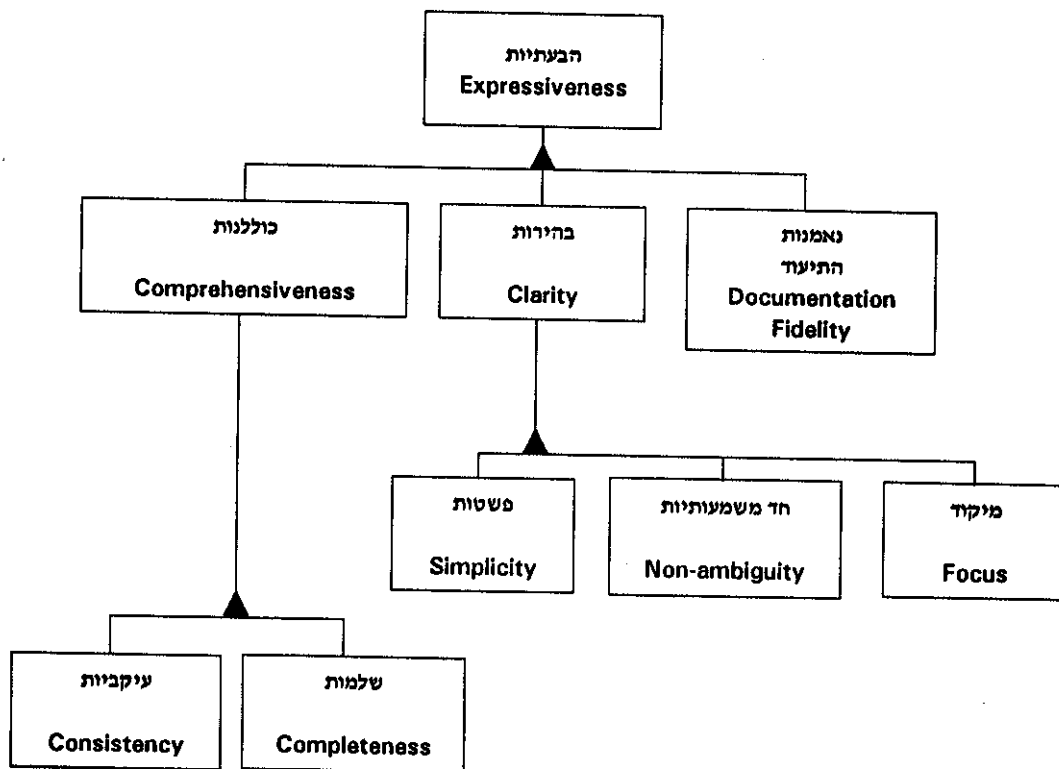
ציור 8 : מבנה תהליך התכן

Figure 8: Design Process Structure

5.5 הבעתיות תהליך התכן

"הבעתיות" תהליך התכן, המתוארת בציור 9, הינה פן שני של מאפייני התהליך. פן זה בוחן את הדרך בה מסוגל התהליך לבטא את עצמו. הדרך העיקרית לביטוי של התהליך הינה באמצעות העצם "נאמנות התייעוד". תיעוד המבטא בצורה טובה ואמיתית את התהליך מהווה את הכלי העיקרי המסייע בפירושו הנכון של התהליך ומרכיביו. העצם השני הינו "בהירות התהליך". תהליך בהיר הינו תהליך בעל מידה גבוהה של "מיקוד", "חד-משמעיות" ו"פשטות".

העצם השלישי של הבעתיות הינו "כוללנות" התהליך. מידת כוללנות טובה של התהליך מתקיימת כאשר ה"שלמות" וה"עקביות" מצויים במידות גבוהות.



ציור 9: הבעתיות תהליך התכן

Figure 9: Design Process Expressiveness

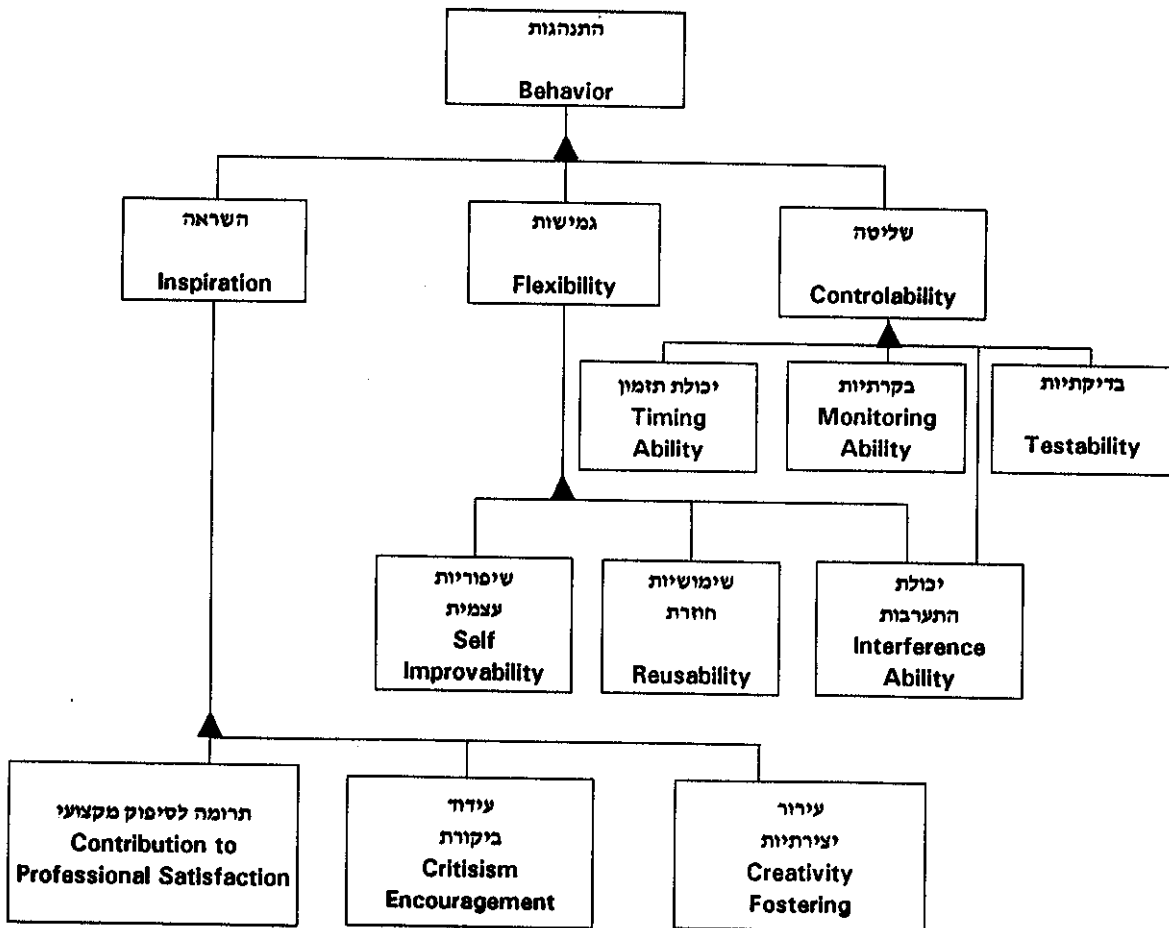
5.6 התנהגות תהליך התכן

"התנהגות" תהליך התכן, המתוארת בציור 10, הינה פן שלישי של מאפייני התהליך (מבנה, הבעתיות והתנהגות). בקבוצת מאפיינים זו שלושה עצמים עיקריים: "שליטה", "גמישות" ו"השראה".

"שליטה" כוללת את ה"בדיקתיות" של התהליך, ה"בקריות" שלו ו"יכולת התזמו" של הפעילויות במהלכו. "יכולת התערבות" בתהליך משוייכת גם לעצם השליטה ומתייחסת לאפשרות הניווט של מהלך התכן בהתאם להחלטות הגורמים הממונים.

"גמישות" התהליך כוללת אף היא את יכולת התערבות, מבחינת האפשרות להכניס שינויים במהלכו. "שימושיות חוזרת" של התהליך היא היכולת לחזור ולנצל את התהליך לטובת פרויקטים אחרים בעתיד. "שיפוריות עצמית" של התהליך מתייחסת למידת יכולתו של התהליך לזהות כיווני התפתחות מוטעים ולתקנם, ולהעשות טוב יותר עם התקדמותו תוך הפקת לקחים וישומם.

ה"השראה" של התהליך הינה בעלת אופי שונה. ההשראה מתייחסת לאנשים הלוקחים חלק בתהליך - התנהגותם ותחושותיהם. "עירור יצירתיות", "עידוד ביקורת" ו"תרומה לסיפוק מקצועי" הינם מרכיביה של ההשראה.

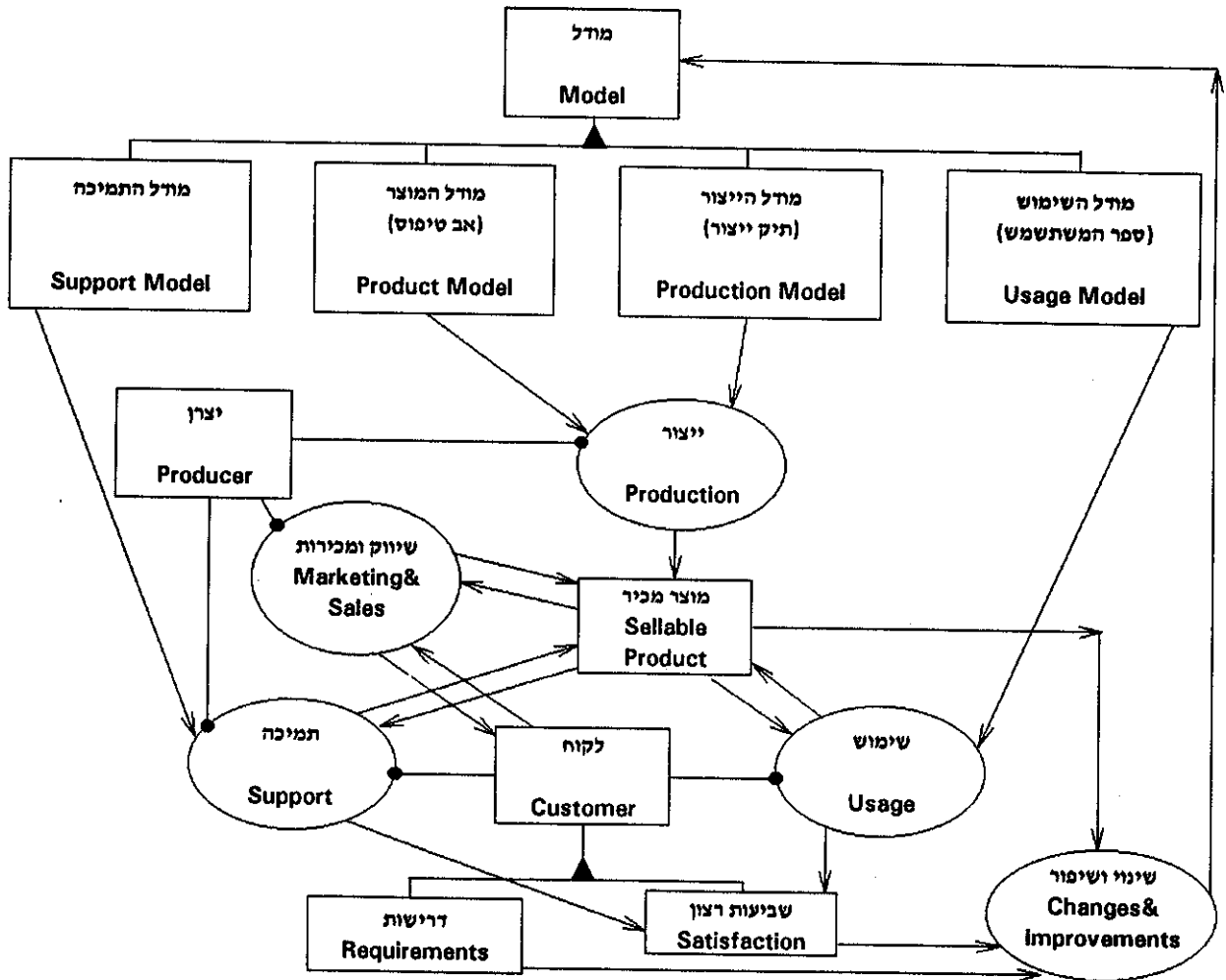


ציור 10 : התנהגות תהליך התכנ
Figure 10: Design Process Behavior

5.7 המוצר ומימוש

"מודל" הוא תפוקתו של תהליך התכנ. המודל, המפורט בציור 11, מורכב מארבעה חלקים: "מודל המוצר", "מודל הייצור", "מודל התמיכה" ו"מודל השימוש".

הקלט לתהליך הייצור הינו מודל המוצר בשילוב עם מודל הייצור. הפלט של תהליך הייצור הינו מוצר מכיר. המוצר מחליף בעלות מהיצרן ללקוח באמצעות תהליך השיווק והמכירות. לאחר העברת הבעלות, מתרחשים במקביל תהליכי שימוש ותהליכי תמיכה. הקלט לתהליך השימוש הינו מודל השימוש והקלט לתהליך התמיכה הינו מודל התמיכה. שני תהליכים אלו מכוונים להשגת שביעות רצון הלקוח.



ציור 11 : המוצר ומימושו

Figure 11: The Product and its Realization

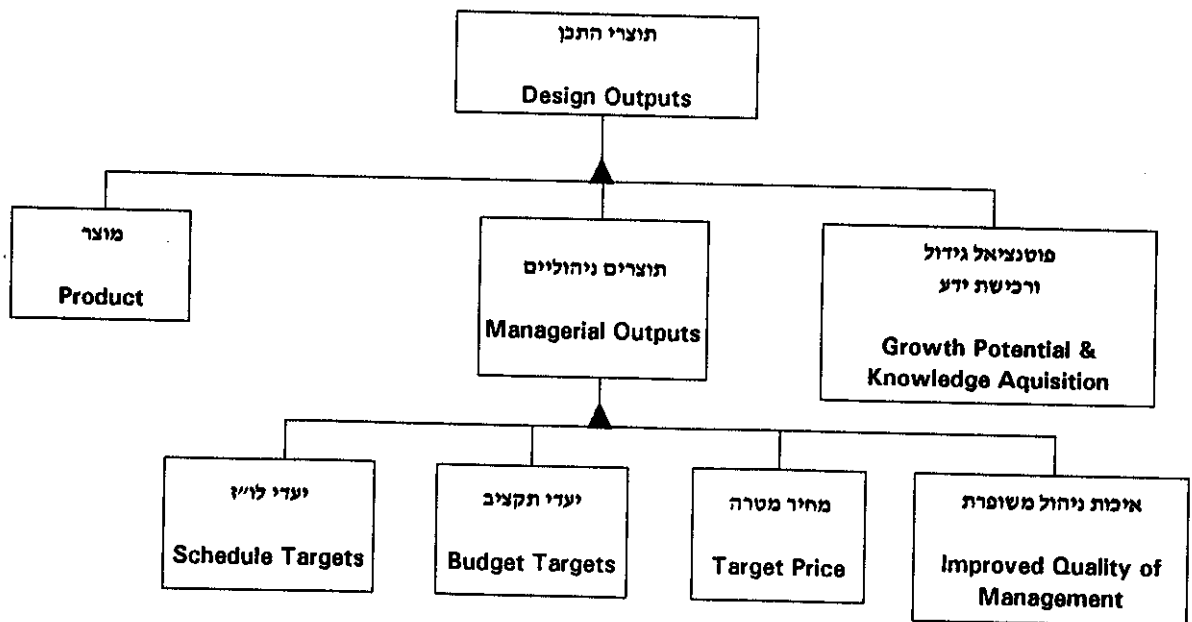
היצרן, בשיתוף מערך התמיכה, הוא המבצע (ה"סוכן") של תהליכי הייצור, השיווק ומכירות והתמיכה, בעוד שהלקוח הוא המבצע של תהליכי השימוש והתמיכה. כלומר, חלק מן התמיכה שהינה אחזקה שוטפת (מונעת) מבוצעת ע"י הלקוח, בעוד שאחזקת השבר והתמיכה ההנדסית מבוצעות ע"י היצרן.

המשוב במערכת מתרחש באמצעות תהליך השינוי והשיפור (ראה ציור 3). הקלט לתהליך זה מורכב משביעות רצון הלקוח ומהמוצר בו הוא משתמש. הפלט, במקרה שהשינויים שנדרשו אינם מחייבים סבב תכן נוסף, הינו מודל משופר, העובר שוב את תהליך הייצור.

5.8 תוצרי התכנן

במערכת מדידה והערכה, הטיפול בתוצריו של תהליך, הינו מוגדר יותר מהטיפול בתהליך עצמו, בעיקר מכיוון שקיים עצם מוחשי הניתן לבחינה. התוצרים, המתוארים בציור 12, הינם: המוצר עצמו, התוצרים הניהוליים ופוטנציאל הגידול ורכישת הידע המופקים כתוצאה מביצוע הפרויקט.

התוצרים הקשורים במוצר מתוארים בנפרד בציור 13. ה"תוצרים הניהוליים" מתייחסים למידת העמידה ביעדי הלו"ז, יעדי התקציב ומחיר המטרה. אחת התפוקות הקשורות בניהול, הינה מידת השגתה של איכות ניהול משופרת. איכות ניהול משופרת עשויה להיות מיושמת בפרויקטים עתידיים ובכך היא תורמת לשיפור התשתית הניהולית.



ציור 12: תוצרי התכנן

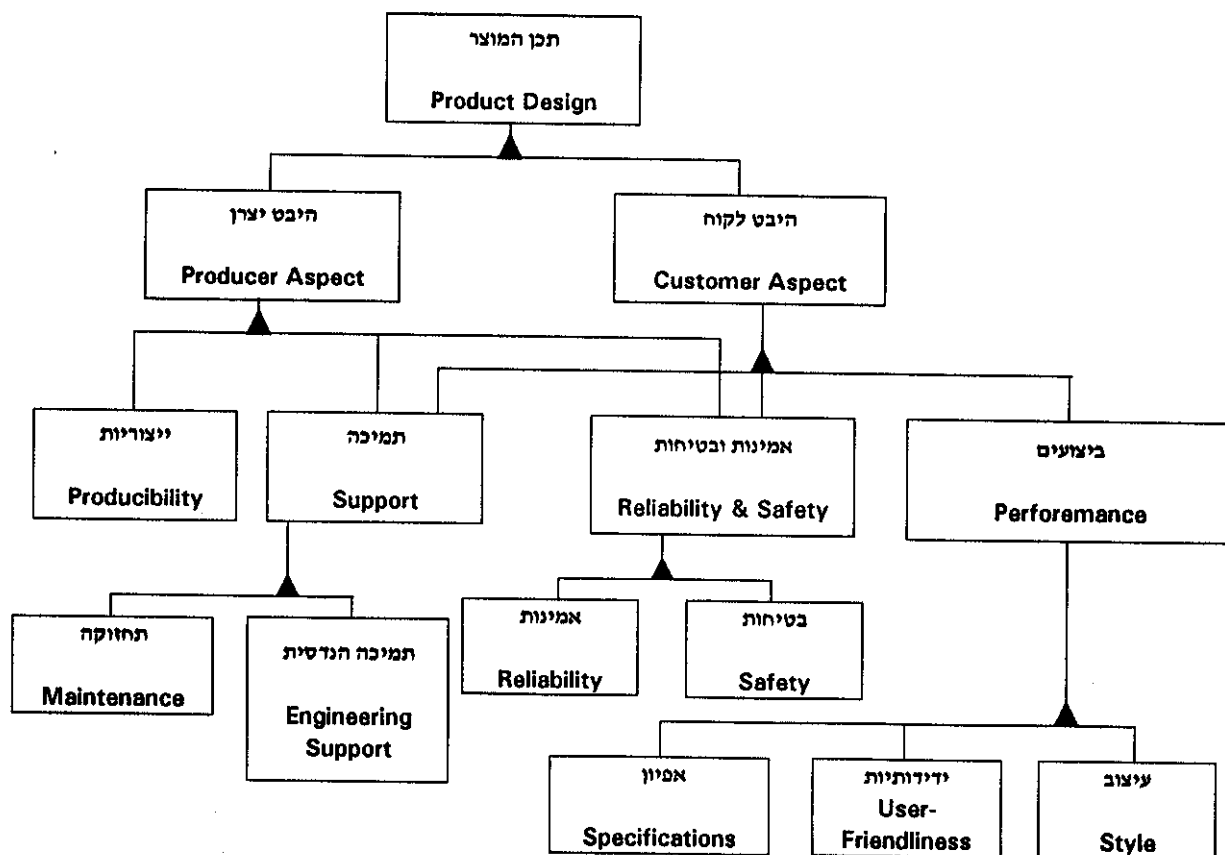
Figure 12: Design Outputs

"פוטנציאל הגידול ורכישת ידע" מתייחסים לשיפור התשתית הטכנולוגית הקיימת, במיוחד בהרחבתו של מאגר "אבני הבניין" ובסיס הידע. ידע חדש שנצבר בתהליך זה עתיד לסייע בהמשך ועשוי להוביל לפיתוחים נוספים והרחבות של התהליך הנוכחי. מהגדרות אלו עולה, כי גם פרויקט שלא הצליח מבחינה מסחרית, ייתכן ובכל זאת הניב תפוקות חיוביות. מהבט התכנן, טכנולוגיה שנוסחה ונכשלה, מוסיפה ותורמת לידע המצוי בארגון.

5.8.1 תוצרי התכנן - מוצר

תכנן המוצר נבחן תוך הפרדתם של הבט היצרן מהבט הלקוח. הפרדה זו, המתוארת בציור 13, הינה חיונית, אף על פי שמרבית העצמים התוצאתיים משותפים לשניהם. הסיבה להפרדה זו הינה

נקודות השקפה שונות, של היצרן ושל הלקוח, על תוצרי התכן. הבט היצרן מתייחס ל"ייצוריות" של המוצר, הייתמיכה" בו, הכוללת "תחזוקה" ו"תמיכה הנדסית", ומידת ה"אמינות והבטיחות" של תכן המוצר.



ציור 13 : תוצרי התכן - תכן המוצר

Figure 13: Design Outputs - Product Design

הבט הלקוח מתייחס ל"ביצועים" של המוצר. ביצועי המוצר כוללים את העמידה באפיון המוצר בהתאם לצרכיו של הלקוח. יתכן שצרכים אלו, שונים בנקודת זמן זו, מדרישותיו הראשוניות. שינוי זה בצרכים אמור להיות מזוהה בזמן, באמצעות תהליך המשוב. מהבט הלקוח ל"ידידותיות השימוש" של המוצר ולי"עיצוב" ("Look & Feel") החיצוני שלו, ישנה חשיבות רבה. האמינות והבטיחות של המוצר בתהליכי השימוש והתמיכה חשובים כמו, לא רק מהבט היצרן, אלא גם מהבט הלקוח. התמיכה, שנעשית בחלקה ע"י הלקוח שמבצע תחזוקה שוטפת במוצר, במקביל לתהליך השימוש בו, משוייכת אף היא להבט הלקוח.

6. הערכת איכות תהליך התכנון ותוצריו

הערכת ההבטים השונים של איכות תהליך התכנון ותוצאותיו של התהליך, מתבצעת לאורך ששת שלבי התכנון המפורטים בנספח 3 (בדיקת התכנות, קדם פיתוח, פיתוח, קדם ייצור, ייצור ותמיכה). הערכה זו מבוססת על ההנחה שתהליך התכנון אינו מסתיים לאחר שלב קדם הייצור, אלא ממשיך ללוות את המוצר בשלבי הייצור והתמיכה. בהתאם לכך, המאפיינים השונים של התהליך, כפי שתוארו בפרק 5 לעיל, מוערכים מחדש בכל שלב ובאופן רציף.

הערכה רציפה זו היא המאפשרת למערכת ההערכה את יכולת התגובה בזמן קצר. מאפיינים אשר מזוהים כבעלי רמה נמוכה בתחילתו של התהליך, מעידים על ליקויים העלולים ללכת ולהחריף בשלבי המאוחרים יותר. הכוונה היא שהערכה תתבצע בתדירות של אחת לחודש, כך שבמידה ומסתמנת מגמת ירידה באחד המאפיינים, תתקבל אתרעה ב"זמן אמיתי". הגישות שיש לנקוט בכדי לענות על הבעיות ולקיים תהליך שיפור, ייקבעו בהתאם למאפיינים המזוהים כחלשים.

ההערכות נרשמות ב"טבלאות הערכה" ("Evaluation Matrixes"). כל טבלה נחלקת בצורה האופקית לשלבי התכנון ובצורה האנכית לתתי המאפיינים של העצם המוערך. נספח 2 מכיל את טבלאות ההערכה עבור העצמים השונים לפי ששת שלבי התכנון. הטבלה האחרונה מתייחסת לתכנון המוצר, שהינו תוצר התהליך ומוערך בשלבי הייצור והתמיכה בלבד.

6.1 טבלאות הערכת התהליך

כל אחד ממאפייני התהליך מוערך על ידי מספר גורמים שונים בפרויקט, רצוי 3 בעלי תפקידים שונים. החסרון בהערכה מסוג זה הינו הסובייקטיביות שבהערכה על ידי גורמים פנימיים, ואפשרות קבלתן של הערכות שאינן משקפות את התמונה האמיתית. סובייקטיביות זו מופחתת על ידי הצלבת הערכות ממספר גורמים. כאשר מתגלות סתירות מהותיות בהערכת אחד המאפיינים, יש לקיים דיון בהשתתפות כל המעורכים. דיון זה יבחן את הסיבות לחילוקי הדעות ומטרתו להשיג תמימות דעים לגבי ההערכה השנויה במחלוקת, באמצעות חשיפת מכלול העובדות והשיקולים לפני צוות ההערכה.

כל אחד מהמאפיינים מוערך בסולם בין 1 ל- 5 :

"רמה 0" פירושה "מאפיין זה אינו רלוונטי לאיכות התכנון בפרויקט זה בשלב המוערך".

"רמה 1" פירושה "מאפיין זה אינו מתקיים כלל בשלב המוערך".

"רמה 2" פירושה "מאפיין זה מתקיים במידה שאינה משביעה רצון בשלב המוערך".

"רמה 3" פירושה "מאפיין זה מתקיים במידה סבירה בשלב המוערך".

"רמה 4" פירושה "מאפיין זה מתקיים במידה משביעת רצון בשלב המוערך".

"רמה 5" פירושה "מאפיין זה מושלם ולא ניתן להשיג רמה גבוהה מזו בשלב המוערך".

6.2 שיקלול ההערכות

הערכות המאפיינים השונים של התהליך משוקללות בהתאם למשקולות שנקבעו לפרויקט. השקלול מתבצע בהתאם לשלבי התכן, כך שכל מאפיין עשוי לקבל משקל שונה בשלבים שונים. בשלב מאוחר יותר של המחקר, יזוהו משקולות מאפיינים לקבוצות של פרויקטים, בהתאם לאופי הפרויקט על פי שני מישורי הסיווג שהוזכרו: פערי הידע ומורכבות הפרויקט (מורכבות המוצר ומורכבות הניהול).

הערכות הגורמים השונים משוקללות על בסיס החשיבות היחסית המוענקת לכל מאפיין ובכל שלב, בסולם בין 1 ל-5 ומשקל 0 עבור מאפיין לא רלוונטי ("מטריצת המשקולות"), כך שעבור כל טבלה מתקבל "ציון מאפיין" אחד. ציון זה מהווה אינדיקטור לרמה שהושגה במאפיין הנבחר בשלב בו מבוצעת ההערכה.

"חשיבות 0" פירושה "מאפיין זה אינו רלוונטי בפרויקט זה בשלב המוערך".
"חשיבות 1" פירושה "למאפיין זה חשיבות שולית שניתן להזניחה ואין לו השפעה על איכות התכן בשלב המוערך".

"חשיבות 2" פירושה "למאפיין זה חשיבות מועטה והשפעה חלשה על איכות התכן בשלב המוערך".

"חשיבות 3" פירושה "המאפיין חשוב ומשפיע על איכות התכן בשלב המוערך".

"חשיבות 4" פירושה "המאפיין חשוב ביותר ומשפיע רבות על איכות התכן בשלב המוערך".

"חשיבות 5" פירושה "המאפיין חיוני וקריטי לאיכות התכן בשלב המוערך".

סימולים:

K הינו המאפיין הנבחר.

$K \in \{ \text{ניהול, תשתית, מבנה, התנהגות, הבעתיות} \}$.

i הינו מציין תת המאפיין בטבלה.

j הינו מציין שלב התכן בטבלה ($j=1, \dots, 6$).

מטריצת המשקולות עבור מאפיין K :

$$W_K = [W_{ij}]_K ; W_{ij} \in \{0, 1, 2, 3, 4, 5\}$$

מטריצת ההערכות עבור מאפיין K :

$$E_K = [E_{ij}]_K ; E_{ij} \in \{0, 1, 2, 3, 4, 5\}$$

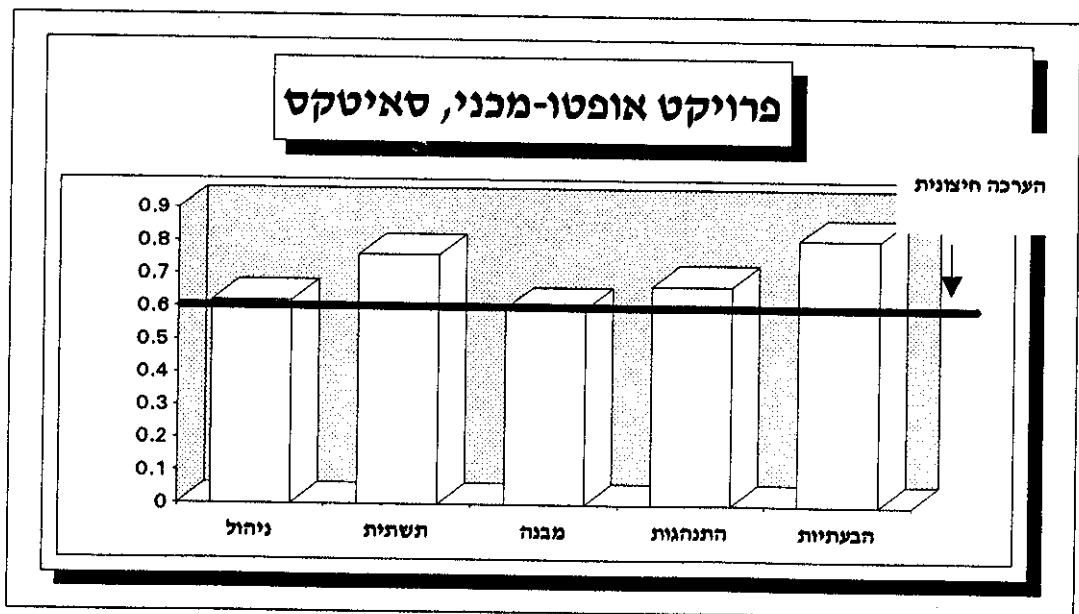
לפיכך, הציון המחושב עבור מאפיין K הינו:

$$V_K = \frac{[E]_K \times [W]_K^T}{\sum_{ij} [W]_K} ; 0 \leq V_K \leq 1$$

גישה זו מאפשרת קיום מעקב מתמשך וזיהוי מגמות שליליות ברמת הביצועים של התהליך לפי חתך מאפיינים. בכל שלב מתקבלות מספר נקודות הערכה בציר הזמן לגבי כל אחד ממאפיינים אלו, כך שניתן לבחון את תוצאות ההערכה עם התקדמות הפרויקט. הצגה גרפית של תוצאות אלו בציר הזמן מאפשרת אבחון מהיר וקל של שינויים ומגמות ברמות הביצועים.

6.3 דוגמת יישום

דוגמאות היישום מבוצעות בשלב זה של המחקר על פרויקטים שהושלמו. זאת במטרה לבחון את טיב המתאם בין ההערכות המתקבלות על ידי "טבלאות ההערכה" ובין איכות התכן הסופית שהושגה בפרויקט. מערכת ההערכה יושמה לפני הסדנה על שני פרויקטים בסאיטקס לאחר שנסתיימו, האחד פרויקט אופטו-מכני והשני פרויקט עתיר תוכנה. הגרף בציר 14 מסכם את תוצאות ההערכה שהתקבלו עבור הפרויקט הראשון.



ציור 14 : הערכת פרויקט "אופטו-מכני", סאיטקס
 Figure 14: Evaluation of an "Opto-Mechanical" Project, Scitex

הערה: המשקולות שניתנו על ידי המעריכים בסאיטקס היו 0 ("לא רלוונטי") או 5 ("חשוב ביותר") בלבד, למרות שהמשקל יכול להקבע בדרגות חביניים שבין 1 ל-5.

הקו העבה (ברמת איכות תכן 0.6) מציין הערכה חיזונית, אוביקטיבית ככל שניתן, של איכות התכן הכוללת שהושגה בפרויקט זה. ניתן להבחין כי קיימת התאמה טובה מאוד בשלושה מאפיינים עיקריים: ניהול, מבנה והתנהגות, והתאמה טובה פחות בתשתית ובהבעתיות. מובן שלא ניתן להסיק מסקנות מתוצאות אלו. מטרת דוגמה זו הינה להציג את אפשרויות היישום והשימוש במערכת.

7. יישום מערכת ההערכה בסדנה

במהלך הסדנה נערכו הערכות אישיות של פרויקטים. כל משתתף העריך פרויקט אחד, לפי טבלאות ההערכה. כל פרויקט סווג לפי שני המישורים, פערי הידע ומורכבות, וניתנה הערכה לאיכות התכן הכוללת שהושגה בכל פרויקט (ראה נספח 4). שיקול התאים בתוך כל טבלה נערך על פי משקולות החשיבות, שנקבעו אף הם על ידי המעריכים. תוצאות שקלול הטבלאות מרוכזות בטבלה 2.

טבלה 2: ריכוז תוצאות הערכות הפרויקטים

Table 2: Projects Evaluation Data

מרוקט	תשתית	ניהול	מבנה	הבעתיות	התנהגות	תוצרים	הערכה
א'	0.63	0.57	0.52	0.47	0.54	0.75	0.60
ב'	0.68	0.30	0.41	0.49	0.29	0.62	0.50
ג'	0.81	0.61	0.51	0.66	0.72	0.75	0.80
ד'	0.81	0.73	0.80	0.81	0.77	0.82	0.75
ה'	0.72	0.62	0.55	0.75	0.61	--	0.60
ו'	0.80	0.49	0.57	0.60	0.51	--	0.50
ז'	0.60	0.67	0.59	0.82	0.74	0.85	0.75

7.1 משתני המודל

מודל ההערכה מניח כי ציוני חמש הטבלאות - תשתית, ניהול, מבנה, הבעתיות והתנהגות - הינם המשתנים המסבירים. כלומר, היינו רוצים להיות מסוגלים לשלוט בציונים אלה, על מנת לשפר את המשתנה המוסבר. המשנה המוסבר הינו איכות התכן הכוללת שהושגה בפרויקט. משתנה זה מבוטא במודל על ידי "הערכה חיצונית" של איכות התכן הכוללת של הפרויקט. הערכה זו ניתנת בשלב זה של המחקר, על ידי ממלא הטבלאות. הערכה זו מבטאת את איכות תוצרי התכן שהושגו בסיום הפרויקט והיא נעשית מתוך הכרות עם רמת שביעות רצון הלקוח מהמוצר, קשיים ביצוריות או בתמיכה וכד'.

נספח 4 כולל את הגרפים של הערכות הפרוקטים השונים, מול ההערכה החיצונית. הערכה זו נתמכת על ידי טבלת התוצרים, שמולאה אף היא עבור כל פרויקט. טבלה זו כללה את תכן המוצר בלבד (ראה טבלאות נספח 2), דבר העשוי להסביר את ההבדלים בין עמודת ההערכות ועמודת התוצרים. ברוב הפרויקטים (למעט אחד), הערכות אלו היו נמוכות מן התוצאה שהתקבלה מטבלת התוצרים.

7.2 ניתוח ההערכות

מערכת ההערכה נוסתה במהלך הסדנה בללא הכנה מוקדמת של המשתתפים. ההערכות ניתנו על ידי אדם בודד, לעיתים זמן לא קצר לאחר שהפרויקט נסתיים. לכן יש לסייג את ניתוח התוצאות להלן ולהדגיש רק את התוצאות של הניתוח שהן עיקביות ומובחנות. למרות הסתייגויות אלה, ניתן להתרשם כי, ברב המקרים של המקרים, הציונים המתקבלים מהטבלאות

קרובים למדי להערכת התכן החיצונית. תוצאה זו מרמזת על פוטנציאל הטמון בכלי זה, כלומר על יכולת ניבוי תוצאותיו של התחליך, כבר במהלכו.

עקב מספרם המועט של פרויקטים שנבחנו, לא ניתן לקבל תוצאות מרגרסיה רבת משתנים בין חמשת המסבירים והמשתנה המוסבר. מניתוח תוצאות רגרסיה חד משתנית על שבע תצפיות אלו, תוך צבירת ששת שלבי התכן, נמצא כי קיים מתאם גבוה ($R^2=0.8$) עם מובהקות סטטיסטית ($P_{value}<0.05$), בין ציוני טבלאות ההתנהגות וההערכות החיצוניות. "צבירת השלבים" פירושה שציונו של כל שלב מבטא גם את כל השלבים שקדמו לו. מקדמי המתאם עבור עמודת הניהול וההערכות החיצוניות, תוך צבירת ששת שלבי התכן, היו גבוהים גם כן ($R^2=0.55$), אך ללא מובהקות.

ניתוח מפורט יותר של טבלת ההתנהגות, תוך בחינת השפעתו של כל שלב בנפרד (ללא צבירה), מראה כי כל אחד משלושת השלבים הראשונים בתחליך (בדיקת התכנות, טרום פיתוח ופיתוח), נמצא במתאם גבוה יחסית (0.7-0.8) עם מובהקות סטטיסטית ($P_{value}<0.05$), עם הערכת איכות התכן.

כלומר, בהתבסס על מעט התצפיות הקיימות עד עתה, **טבלת ההתנהגות מנבאת באופן מובהק את הערכת איכות התכן הסופית**. ממצא זה הינו בעל משמעות רבה, מאחר והוא מאפשר שימוש מוקדם, כבר בשלב בדיקת ההתכנות, בטבלת ההתנהגות. זאת על מנת להשיג ניבוי טוב של ליקויים באיכות התכן העלולים להתגלות רק בשלבי המאוחרים של הפרויקט. נקיטתם של צעדים מתקנים כבר בשלב טרום הפיתוח, עשויים לחסוך זמן פיתוח יקר באמצעות הקטנת מספר סבבי הפיתוח.

בחינת המשקולות שהוערכו עבור טבלת ההתנהגות, אישרה כי אכן קיימת הסכמה בין המשתתפים לגבי חשיבותם של כל המאפיינים בטבלת ההתנהגות - שליטה גמישות והשראה - בשלבי קדם הפיתוח והפיתוח. המשקל הממוצע שניתן לשלושת מאפייני ההתנהגות העיקריים בשלבים אלו הינו 4.67 (בסולם שבין 1 ל- 5) עם סטיית תקן נמוכה ביותר (0.5). עבור שלב בדיקת ההתכנות, רק מאפיין השליטה הוערך כחשוב ביותר (4.0 בממוצע), ומאפייני הגמישות וההשראה הוערכו כחשובים פחות (3.4 בממוצע).

ממצאים אלו מחזקים את ההשערה כי למאפייני ההתנהגות אכן ישנה השפעה רבה על איכות התכן הסופית, וכי קיים פוטנציאל רב בביצוע ההערכה שלהם כבר בשלבי המוקדמים של הפרויקט.

8. המשך המחקר

בסדנה הוצגה תפישה המספקת מסגרת להערכת איכות התכן, בה מבוצעות ההערכות בזמן התהליך ("on line"). דוגמאות היישום של מערכת ההערכה (ראה נספח 4) ממחישות כי אכן ניתן לעשות שימוש במערכת מסוג זה והתוצאות המתקבלות קרובות להערכה הייצוגית כוללת של איכות התכן בפרויקט. אין ספק כי ניתן לפתח ולשפר מערכת זו, על מנת לסייע בקיום תהליך שיפור מתמיד בתהליך התכן.

פיתוח ושיפור מערכת זו מחייב בחינה של פרויקטים רבים, לשם זיהוי המשקולות המתאימים לכל סוג של פרויקטים, בהתאם לפערי הידע שלהם ומורכבותם ולשם בנייתו של סט מאפיינים אופטימלי. מספר המאפיינים האופטימלי צריך להוות איזון בין השאיפה לקבלת תמונה מושלמת של התהליך ובין פשטות וקלות יישומה של המערכת.

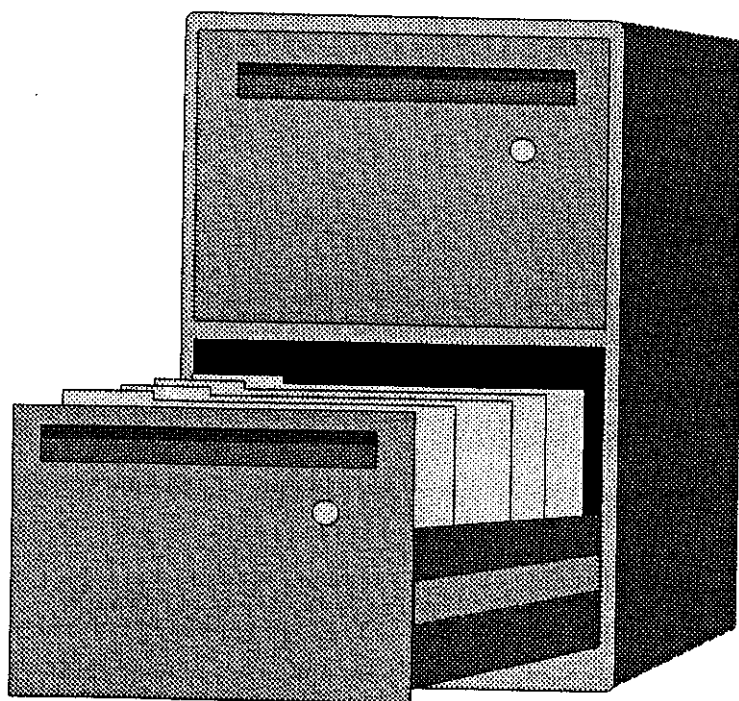
בשלב הקרוב - בדומה לדוגמאות היישום בסדנה - ייבחנו סוגים שונים של פרויקטים שנסתיימו, כך שניתן להעריך בדיעבד את איכות התכן שהושגה בהם ולהשוות את ציוני ההערכה בכל שלב ובכל מאפיין, עם איכות התכן הסופית. ניתוח זה יסייע בזיהויים של מאפיינים מיותרים בטבלאות ההערכה, או כאלו החסרים בהן. במיוחד, תאומת ההשערה העולה מניתוח תוצאות הסדנה, לגבי חשיבותם היחסית של מאפייני התנהגות התהליך.

בשלב מאוחר יותר יערך ליווי של מספר פרויקטים במהלך העבודה עליהם, על נמת לבחון בהמשך את יכולתה של המערכת לנבא את תוצאות התהליך. במיוחד, יושם דגש על זיהוי מאפיינים אשר זוהו כנמצאים במתאם טוב ובמובהקות סטטיסטית עם איכות התכן הסופית. במקביל, תבנה מתודולוגיית השימוש במערכת ההערכה. מתודולוגיה זו תגדיר מי הם בעלי התפקידים המועדפים כמעריכים, מהי תדירות ההערכה המומלצת ומהם המשקולות המתאימים לכל סוג של פרויקט.

מטרת המדידה הינה קיומו של תהליך שיפור מתמיד. תהליך זה ינוהל בהתאם לתוצאות המתקבלות באופן רציף ממערכת ההערכה. לכן, יבחנו בהמשך המחקר גישות השיפור המתחייבות מתוצאות המדידה. כמו כן תבחן אפשרות השימוש במודל ככלי ניהולי המסייע בקבלת החלטות (go-no go) לגבי המשך מימונם של פרויקטים בעייתיים.

איכותו של המשך המחקר תלוי רבות בהמשך שיתוף הפעולה עם חברות High-Tech ישראליות, ובמיוחד אינטל, סאיטקס ורפא"ל המגלות עניין מתמשך בתוצאותיו ומשתתפות בצורה פעילה בקידומו.

נספחים



- נספח 1 - מילון מונחים
- נספח 2 - טבלאות ההערכה
- נספח 3 - שלבי תהליך התכן
- נספח 4 - תרשימי תוצאות ההערכה

נספח 1

מילון מונחים

1. תשומות התכן - Design Inputs

אוסף האמצעים האירגוניים, משאבי האנוש והתשתית הטכנית המושקעים בתהליך התכן.

2. תהליך התכן - Design Process

תהליך המרתו של רעיון למודל (הכולל מודל מוצר, מודל ייצור, מודל שימוש ומודל תמיכה). התהליך מתייחס לכל שלבי מחזור החיים של המוצר, כולל תמיכה. מאפייניו העיקריים של התהליך הינם: מבנה, הבעתיות והתנהגות.

2.1 מבנה תהליך התכן - Design Process Structure

הקשרים, יחסי התלות ודרך ההגדרה של האלמנטים השונים המרכיבים את תהליך התכן. מאפייני מבנה התהליך העיקריים הינם: מובנות, מודולריות, משולבות והגדרת אבני דרך.

2.1.1 מובנות - Structurality

מידת סידורם ההיררכי של האלמנטים המרכיבים את התהליך.

2.1.2 מודולריות - Modularity

יכולת התפרדה של קבוצות אלמנטים של התכן למודולים, ומידת האפשרות לשימוש ושילוב של אלמנטים אלו כאבני בניין בתהליכי תכן אחרים.

מודול - Module

קבוצת אלמנטים בתהליך התכן המתאפיינת בכך שכמות הקשרים הפנימיים ביניהם רבה יחסית, אך כמות הקשרים בין הקבוצה לבין קבוצות רכיבים (מודולים) אחרות, מעטה יחסית.

2.1.3 משולבות - Concurrence

המידה בה פונקציות שונות בתהליך מבוצעות בהקבלה ובתיאום הדדי, תוך בניית מכלול הממשקים המתחייב משילובן.

2.1.4 הגדרת אבני דרך - Milestone Definition

המידה בה מוגדרות בתהליך נקודות קריטיות, בהן יורדת אי ודאות הפיתוח באופן משמעותי ושמשכי הזמן המוקצבים לביצוע קטעי התהליך תואמים את המשאבים ומצב הידע (אבני דרך יריאליות).

2.2 הבעתיות תהליך התכן - Design Process

Expressiveness

הדרך בה מאפשר התהליך מעקב אחר המתרחש בו, באמצעות: תיעוד נאמן, בהירותו של התהליך ומידת כוללנותו.

2.2.1 נאמנות התיעוד - Documentation Fidelity

המידה בה התיעוד מתאר באופן ברור, מדויק, מפורט ואמיני את מהלך הפיתוח באופן המאפשר שיחזור פרטים ותוצאות ביניים בתהליך.

2.2.2 בהירות - Clarity

מידת הקלות בה ניתן להבין ולשחזר את התהליך דרך למידתו הן לשותף בתהליך והן למתבונן מבחוץ באמצעות: תהליך ממוקד, חד משמעי ופשוט.

2.2.2.1 מיקוד - Focus

מידת התכנסותן של הפעילויות השונות בתהליך לכיוון תוצאה המוגדרת מראש.

2.2.2.2 חד משמעיות - Un-ambiguity

המידה בה מתאפשרת הבנת התהליך באופן שאינו משתמע לשתי פנים.

2.2.2.3 פשטות - Simplicity

מידת העדר סיבוכיות בהגדרות תהליך התכן, כך שמכלול האלמנטים המרכיבים אותו והקשרים ביניהם מאפשרים הבנת התהליך בצורה קלה יחסית.

2.2.3 כוללנות - Comprehensiveness

אופי הקשרים בין מכלול הבטי התהליך מבחינת השלמות והעקביות שלהם.

2.2.3.1 שלמות - Completeness

המידה בה התהליך מטפל באופן מלא וסגור במכלול הבטי התכן של מחזור חיי המוצר.

2.2.3.2 עקביות - Consistency

מידת הקוהרנטיות של התהליך, המידה בה נשמר בתהליך כיוון התקדמות אחיד וברור לקראת המטרה.

2.3 התנהגות תהליך התכן - Design Process Behavior

המידה בה התהליך מאפשר בקרה, מידת פתיחותו ומידת ההשראה שהוא מעניק לאנשים השותפים בו.

2.3.1 שליטה - Control

המידה בה מתאפשר לבדוק את האלמנטים השונים בתהליך, לבקרים ולתזמנם והיכולת להתערב במהלכו.

2.3.1.1 בדיקתיות - Testability

המידה בה ניתן לבחון את ביצועיהם, תקינותם והתאמתם של אלמנטים שונים בתהליך בצורה ישירה ופשוטה.

2.3.1.2 בקרה - Monitoring Ability

המידה בה ניתן לפקח על אלמנטים שונים בתהליך, כך שהמידע על התפתחות כל אלמנט הינו זמין.

2.3.1.3 תזמון - Timing Ability

המידה בה ביצוע אלמנטים שונים הקשורים בתהליך, מתוכנן ומיושם כך, שהם מסתיימים ללא גרימת עיכובים הדדיים.

2.3.2 גמישות - Flexibility

מידת האפשרות להתערב ולבצע שינויים, ליישם גרסאות שונות של התהליך ומידת יכולתו של התהליך להשתפר עם התקדמותו.

2.3.2.1 יכולת התערבות - Interference Ability

המידה בה התהליך מאפשר התערבות חיצונית נדרשת לצורך הוספה או גריעה של אלמנטים שלא נכללו בתכנון המקורי (שינויים בתהליך).

2.3.2.2 שימושיות חוזרת - Reusability

המידה בה ניתן להשתמש באלמנטים של התכן הנוכחי בפרויקטים אחרים, והמידה בה ניתן יהיה להרחיב תכן פרויקט זה בעתיד.

2.3.2.3 שפוריות עצמית - Self Improving

המידה בה התהליך מתאפיין בכך שהתקדמותו מאפשרת השגת תהליך טוב יותר ומתווה כיוון מועדף בכל מחזור תכן.

2.3.3 השראה - Inspiration

האופן בו התהליך משפיע על תחושותיהם ופעולותיהם של האנשים הלוקחים בו חלק בתחומי היצירתיות, עידוד הביקורת והתרומה לסיפוק המיקצועי.

2.3.3.1 ערור יצירתיות - Creativity Fostering

המידה בה האוירה, סביבת העבודה והנהלים של התהליך מגרים את האנשים להעלות רעיונות מקוריים בעלי חדשנות טכנולוגית שיש להם תרומה ישירה או עקיפה לתהליך התכן.

2.3.3.2 עידוד ביקורת - Criticism Encouragement

מידת הפתיחות של גורמים ממונים לקבלת ביקורת העלולה להיות מהותית ומידת העידוד מצידם למתוח על התהליך ביקורת שכזו.

2.3.3.3 תרומה לסיפוק המקצועי - Contribution to

Professional Satisfaction

המידה בה חשים אנשים הנוטלים חלק בתהליך שהם ממצים את יכולתם המקצועית ונתנת להם ההזדמנות לפעול בתזית הידע בתחומם.

3. מודל - Model

תוצר תהליך התכן הכולל: מודל מוצר, מודל ייצור, מודל שימוש ומודל תמיכה.

3.1 מודל מוצר - Product Model

תיאור מלא ומפורט, הן פונקציונלי והן פיסית, של המוצר המפותח (לרוב ממומש מודל המוצר כ"יב טיפוס ייצור").

3.2 מודל ייצור - Production Model

אוסף הנהלים, השיטות והכלים, שנקבעו בתהליך התכן, המיועדים לשמש בתהליך הייצור ("יטיק הייצור").

3.3 מודל השימוש - Usage Model

אוסף הנהלים, השיטות והכלים, שנקבעו בתהליך התכן, המגדירים את אופן השימוש במוצר ("יטיק המשתמש", "user manual").

3.4 מודל התמיכה - Support Model

אוסף הנהלים, השיטות והכלים, שנקבעו בתהליך התכן, המגדירים את פעילויות התמיכה השוטפת ודרכי התמיכה ההנדסית במוצר.

4. מימוש - Realization

תהליך תרגומו של מודל למוצר מכיר, תהליך השימוש בו על ידי חלקוח ושמירתו במצב שמיש לאורך זמן באמצעות תהליך התמיכה, במגמה להשיג שביעות רצון מירבית של חלקוח.

4.1 ייצור - Production

תהליך המרתו של מודל המוצר באמצעות יישום מודל הייצור למוצר מכיר.

4.2 מוצר מכיר - Sellable Product

מודל שהומר למוצר הניתן לשימוש, אשר קיימת סבירותגבוהה לגביו כי השימוש בו יוביל להשגת שביעות רצון חלקוחות.

4.3 שימוש - Usage

תהליך הפעלתו של המוצר על ידי חלקוח באמצעות יישום מודל השימוש על המוצר המכיר.

4.4 תמיכה - Support

תהליך שמירתו של המוצר במצב שמיש, על ידי תחזוקה שוטפת (המבוצעת על ידי חלקוח ו/או מערך התמיכה) ועל ידי מתן מענה הנדסי לשינויים נחוצים הנובעים משינוי אופי השימוש או טכנולוגיות חדשות ("תמיכה הנדסית", "application engineering").

5. תשתית - Infrastructure

מכלול האמצעים הטכנולוגיים והניהוליים המאפשרים את ביצוע תהליך התכן.

5.1 תשתית טכנולוגית - Technological Infrastructure

מכלול המשאבים הטכנולוגיים העומדים לרשות המפתחים.

5.1.1 בסיס ידע - Knowledge Base

מכלול הידע העומד לרשות הארגון הדרוש ליישום הטכנולוגיה בפרויקט.

5.1.2 כלי פיתוח - Development Tools

אוסף האמצעים הממוחשבים (CAD/CAE/CAM) העומדים לרשות המפתחים בפרויקט.

5.1.3 בסיס נתונים - Data Base

אוסף הנתונים המתארים את הרכיבים השונים של המוצר ואבזיריו הנלווים העומד לרשות ומשמש את תהליכי הפיתוח, הייצור השימוש והתמיכה.

5.1.4 אבני בניין - Building Blocks

אוסף המודולים הקיימים מפרויקטים קודמים בחברה, או מודולים קנויים, העתידיים לקחת חלק בתהליך הפיתוח הנוכחי.

5.2 תשתית ניהולית - Managerial Infrastructure

מכלול הכלים הממוחשבים והידע הניהולי המצטבר העומדים לרשות מנהלי התהליך והמיועדים לסייע בתהליך ניהול התכן.

6. ניהול תהליך התכן - Design Process Management
תהליך המיישם את המתודולוגיה, במטרה לקדם את תהליך התכן באמצעות תכנון ובקרה של השגת יעדי התכן תחת אילוצי הלו"ז, התקציב ומחיר המטרה ובאמצעות ניהול האיכות לקראת השגת המודל שיגרום לשביעות רצון הלקוח.

6.1 תכנון ובקרה - Planning & Control

תהליך קביעת תכנית העבודה הכוללת של הפרויקט וניהול המעקב אחר יישומה.

6.1.1 תכנון - Planning

תהליך קביעת לוחות הזמנים, התקציב, הקצאת המשאבים של הפרויקט, במטרה להשיג את יעדי הפיתוח תוך עמידה ביעדי הלו"ז, התקציב ומחיר המטרה.

6.1.2 בקרה - Control

תהליך המעקב אחר התקדמות השגת יעדי תהליך התכן בהתאם ללוחות הזמנים, התקציב ומחיר המטרה שנקבעו בתכנון.

6.2 ניהול איכות - Quality Management

תהליך ניהול מכלול הבטי האיכות, תוך יישום עקרונות ניהול לאיכות כוללת (TQM), יישום הנדסה משולבת (CE) להשגת שילוב ומקביליות של מגזרי הפיתוח וניהולה של תוכנית איכות פרויקטית.

6.2.1 ניהול לאיכות כוללת - Total Quality Management

תורה של עקרונות ניהול המעמידה את הדאגה לאיכות כגורם מנחה בכל תחומי הפעילות. תהליך החדרתו של שיפור מתמיד בכל רבדי הארגון במטרה להשיג איכות מירבית ללקוח.

6.2.2 ניהול תוכנית איכות פרויקטאלית - Project's Quality Program Management

תהליך הקביעה, הביצוע והמעקב של מכלול פעילויות האיכות בפרויקט, באמצעות ניהול תצורה, ניהול אמינות ובטיחות וניהול סקרי תיכון.

6.2.2.1 ניהול תצורה - Configuration Management

תהליך קביעת עץ המוצר והנדסת רכיבי המערכת, תוך שמירה על תאימות ועדכנויות של פרטים בו, כולל.

6.2.2.2 ניהול אמינות ובטיחות - Reliability and Safety Management

ניהול אמינות - תהליך השוואת תדירות הכשלים, התקלות ומידת חומרתם במהלך התכן אל מול התדירות והחומרה החזויים ונקיטת צעדים מתקנים במידת הצורך.

ניהול בטיחות - תהליך הוידוא שמכלול הפעילויות הקשורות בתכן אינן גורמות נזק לאדם ואו לסביבה.

6.2.3 Concurrent Engineering - משולבת - ניהול הפונקציות השונות המעורבות בתכן בצורה מקבילה ובאופן משולב תוך שימת דגש על שלביו המוקדמים, במטרה לקצר את התהליך ולשפר את איכותו.

7. תוצרי תהליך התכן - Design Process Outputs - מכלול התפוקות המתקבלות כתוצאה מביצוע התהליך, תוך הפרדה להיבט היצרן ומערך התמיכה ולהיבט הלקוח.

7.1 ייצוריות - Producibility - מידת איכותו של יישום מודל הייצור (בתהליך הייצור), תוך התחשבות בפשטות הייצור של חלקי המערכת, בשיקולי עלות הציוד והכלים, ובסטנדרטיזציה של עץ המוצר ושל תהליכים הדרושים.

7.2 תמיכה - Support - מידת איכותו של יישום מודל התמיכה, תוך התחשבות בתחזוקה - תדירות טיפולים מונעים, קלות טיפול בתקלות ועלות הציוד, הכלים והרכיבים הדרושים, ובתמיכה ההנדסית המתבקשת - ניהול התאמות ושינויים במוצר שבידי הלקוח, עקב שינוי באופי השימוש או עקב אפשרות יישום של טכנולוגיה חדשה.

7.3 ביצועים - Performance - מידת השימושיות וההתאמה של המוצר שבידי הלקוח לצרכיו (התאמה לאפיון), רמת עיצובו ואיכותו הארגונומית ומידת הידידותיות של תפעולו.

7.4 אמינות - Reliability - הפער בין ביצועי המוצר בפועל לביצועים המתוכננים. בחינת פער זה נעשית בשני משורים:
איכות הביצועים - עמידה באפיון הביצועים (זמני תגובה, דיוקים).
תקלות - תדירות וחומרה.

7.5 בטיחות - Safety - המידה בה פעילויות הקשורות בתפעול המוצר אינן גורמות נזק לאדם ולסביבה.

נספח 2
טבלאות ההערכה של תהליך התכנן

מאפייני תשומות התכנן : תשתית

קיום, התאמה, עדכניות, אופן הישום

C1	מאפיין	שלב	בדיקת התכנות	קדם פיתוח	פיתוח	קדם ייצור	ייצור	תמיכה
תשתית טכנולוגיה	כלי פיתוח זמינות							
	בסיס נתונים אחידות							
	בסיס ידע							
	אבני בניין							
תשתית ניהולית	כלי ניהול							

מאפייני ניהול התכנן

קיום, התאמה, עדכניות, אופן הישום

C2	מאפיין	שלב	בדיקת התכנות	קדם פיתוח	פיתוח	קדם ייצור	ייצור	תמיכה
תכנון ובקרה	תכנון לויז, תקציב יעדים							
	בקרה לויז, תקציב יעדים							
גישות הניהול וניהול האיכות כפרויקט	ניהול איכות TQM, CE							
	ניהול תוכנית איכות כפרויקט ניהול תצורה אמינות ובטיחות סקרי תיכון							
	מתודולוגיה קיום התאמה ויישום							

מאפייני תהליך התכנן : מבנה

C3

מאפיין	שלב	בדיקת התכנות	קדם פיתוח	פיתוח	קדם ייצור	ליווי ייצור	תמיכה
מובנות							
מודולריות אבני בניין							
משולבות							
הגדרת אבני הדרך							
מתודולוגיה קיום התאמה וישום							

מאפייני תהליך התכנן : הבעתיות

C4

מאפיין	שלב	בדיקת התכנות	קדם פיתוח	פיתוח	קדם ייצור	ליווי ייצור	תמיכה
נאמנות התייעוד							
בהירות מיקוד חד משמעיות פשטות							
כוללות שלמות עקביות							

מאפייני תהליך התכנון : התנהגות

C6

מאפיין	שלב	בדיקת התכנות	קדם פיתוח	פיתוח	קדם ייצור	לייווי ייצור	תמיכה
שליטה תזמון בקרה בדיקות יכולת התערבות							
גמישות יכולת התערבות שימושיות חוזרת שיפוריות עצמית							
השראה עיוור יצירתיות עידוד ביקורת תרומה לסיפוק מקצועי							

תוצרי התכנון : מוצר

C6

תכונה	שלב	ייצור	שימוש ותמיכה
היבט לקוח	ביצועים אפיון ידידותיות עיצוב		
	אמינות ובטיחות		
	תמיכתיות תחזוקה תמיכה הנדסית		
היבט יצרן ומערך תמיכה	ייצוריות		
	אמינות		
	בטיחות		
	תמיכתיות תחזוקה תמיכה הנדסית		

נספח 3

פירוט שלבי התכן

1. בדיקת היתכנות / Feasibility Study / Concept Exploration

רעיון למוצר חדש, לאחר שעבר תהליך של סינון ראשוני והוחלט להמשיך בבחינתו (ראה TOM, ענף יצירתיות וחדשנות), עובר לשלב בדיקת ההתכנות. מטרת שלב זה הינה לימוד הצורך של השוק במוצר ובחינה ראשונית של אפשרות מתן מענה לצורך זה. לצורך כך נבחנות תפישות חלופיות ונילמדים האילוצים הטכנולוגיים, פערי הידע (בין זה הדרוש לפיתוח ובין זה המצוי בידי החברה ובעולם המדע) ואילוצי התקציב והלווי. בנוסף לכך, נלמדות השלכותיה של כל חלופה על בעיות תכן, בעיות טכנולוגיות (הקמה או הרחבה של תשתיות), הבטי ייצור, אמינות ובטיחות ותמיכה כוללת במוצר.

1.1 מסמכים

בשלב בדיקת ההתכנות נעשה גיבוש ראשוני של מסמכים חוזיים עם גורמי חוץ בנוגע לרכש או ייצור מכלולים, מוגשות בקשות להצעות (RFP: Request for Proposals), נערך תיאור של תכולת העבודה (SOW: Statement of Work), ונבנים מפרטי על של המערכת (System Specs).

1.2 גיבוש החלטות מערכתיות

כללית, המעבר משלב לשלב ברמת המערכת, מבוצע במעגלים ספירליים, כך שסיום שלב מביא לתחילתו של סיבוב נוסף במעגל, תוך שינוי רמת הפעילות. בשלב הראשון נבחנות חלופות ברמת המערכת. מעגל הפעילויות בעת גיבוש ההחלטות כולל עבור כל אחת מהן את השלבים הבאים: הערכה כללית של המשימה, ניתוח דרישות המשימה (משאבים, זמני פיתוח וכד'), ניתוח היכולת הטכנולוגית, הגדרת הדרישות מן המערכת, בחינה של המרות (tradeoffs) אפשריות בתיכון הראשוני, גיבוש תכנית עבודה מובנית, ביצוע אינטגרציה ראשונית ולבסוף, גיבוש המערכת החלופית.

1.3 הנדסת המערכת

תוכנית ניהולית להנדסת המערכת (SEMP: System Engineering Management Plan), מפרטת את השלבים לפיהם ינוהל פיתוח המערכת. בנוסף, מתוכננות אופציות לשיפורים עתידיים (אליפ) (P³I: PrePlanned Product Improvement). בשלב ראשוני זה נערכת הצגה כללית של הדרישות התפעוליות. הצגה זו כוללת את ניסוח הדרישות הטכניות (Technical Requirements Formulation), ליבון הדרישות ("Requirements Scrub") התפעוליות והדרישות הטכניות הנגזרות מהן, בשיתוף עם הלקוח (במקרה של פרויקט מוזמן) או אנשי השיווק.

הנדסת המערכת כוללת גם את קביעת אבני הדרך (M.S: Mile Stones) בפרויקט שבהן תתבצע בדיקת התקדמות בשיתוף עם הלקוח, נערכת הערכה של הקצאת משאבי כח אדם איכותי הדרושים להובלת משימות מול כוח האדם הפנוי להובלתן. הנדסת המערכת כוללת גם ניתוח

שיקולים של פיתוח וייצור עצמי, לעומת רכש (Make or Buy) של מכלולים וגיבוש החלטות בנושא.

1.4 סקרי תיכון (ס"ת) Design Reviews

בשלב בדיקת ההתכנות יש לקיים סקר תיכון ראשוני לבחינת שלמות ההגדרות וההתאמה בין המכלולים השונים בפרויקט, בשיתוף עם קבלני המשנה. סקר זה נקרא SRR: System Requirements Review, ומטרתו היא זיהויין של סתירות והגדרות לקויות בשלב מוקדם ככל האפשר. זיהוי מוקדם זה עשוי לחסוך סיבובי תכנון מיותרים בהמשך הפיתוח.

1.5 גיבוש הבסיס לניהול תצורת המערכת Configuration Management Baseline

בשלב בדיקת ההתכנות נבנה הבסיס לתצורה הפונקציונלית (Functional Baseline). בסיס זה כולל את החלק הטכני של דרישות המוצר, ומפרט כיצד תמומש כל אחת מהפונקציות.

1.6 הנדסת המערכת, תוכנה System Engineering, Software

הנדסת המערכת בנושא תוכנה אחראית בשלב בדיקת ההתכנות על קביעת מדיניות התכנה שתיושם בפרויקט, לאחר ניתוח ואפיון ראשוני של המערכת. נקבעים הדברים הבאים: שפת התוכנה בה ימומש הפרויקט, עקרונות למיסוד סטנדרטים, טכנולוגיות תוכנה, הערכת חלופות תוכנה (make or buy) ובחירת החלופה המועדפת.

הקצאת דרישות התוכנה כוללת בניית תוכנית לפיתוח תוכנה (SDP: Software Development Plan), הכנת תוכנית ניהולית להקצאת משאבי מחשב במהלך מחזור החיים. (CRLCMP: Computer Resources Life Cycle Management Plan).

1.7 הערכת עלויות, סיכונים וניהול כלכלי

בשלב בדיקת ההתכנות מונחים היסודות להערכת עלות הפרויקט על כל שלביו, כולל ייצור ותחזוקה (LCC: Life Cycle Cost), ונערך ניתוח ראשוני של LCC מול אילוצי התקציב. בשלב זה מונחים יסודות לתהליך DTC (Design to Cost), בו עובר התכנון שינויים והתאמות בהתייחס למגבלות התקציב, מנוהל מוי"מ כספי עם קבלני משנה ומוערכים הסיכונים בהיבט המערכתי. כמו כן, מוקמת מערכת לניהול העלויות בעץ המוצר התנדסי ומתוכננת ומופעלת מערכת לבקרת עלויות הפרויקט מול התקציב.

1.8 ניסויים ובדיקות

תחילת הפעילות בנושא ניסויים ובדיקות מתרחשת כבר בשלב חקר ההתכנות. פעילות זו כוללת הכנת תוכנית עבודה ראשונית לניסויים ובדיקות של המוצר המפותח (TEMP: Test Evaluation Master Plan), תכנון ניסויים ובדיקות פיתוח (DT&E: Development Test and Evaluation), וגיבוש תוכנית ניסויים בקווים כלליים, לשם בחינת הביצועים האופרטיביים ברמת המערכת.

1.9 נושאי ייצור

בשלב בדיקת ההתכנות נעשות הערכות ראשוניות בדבר היתכנות הייצור, תוך התחשבות בהיבטים של:

תשתיות טכנולוגיות נדרשות לביצוע הייצור, עלות הייצור מול אילוצי התקציב, בחינת אפשרויות העמידה ביעדי הייצור (איכות, אמינות).

כמו כן נבחנת אסטרטגיית הייצור בנושא הכמות הכוללת שתיוצר וקצבי הייצור הדרושים, תוך התחשבות בסקרי השוק ובתחזית הביקוש.

1.10 תמיכה כוללת במוצר (תכ"מ) ILS: Integrated Logistic Support

ההיבטים בנושא השירות והתחזוקה מחייבים גם הם בחינה והגדרה מוקדמת ככל האפשר. בשלב בדיקת ההתכנות מוגדרות לראשונה הדרישות בנושא תכ"מ ונבחנו שיקולים של תיכון לתמיכתיות (Design for Supportability). כמו כן נערך ניתוח של התמיכה התחזוקתית (LSA: Logistics Support Analysis) ומתוויית תוכנית כוללת לתכ"מ (ILS Plan).

2. קדם פיתוח - אימות התפישה והוכחתה**Pre Development - Concept Demonstration / Validation**

שלב קדם הפיתוח מכין את התשתית להעברת המוצר משלב בדיקת ההתכנות לשלב הפיתוח עצמו. מטרת שלב זה היא הצגת התפיסה המערכתית לצורך בחינות אימות ואישור. לאחר אישור התפיסה מזוהות מספר חלופות עיקריות למימוש התפיסה. חלופות אלו מוצגות בצורה השוואתית לצורך בחינתן ובחירת החלופה המועדפת.

2.1 מסמכים

בשלב קדם הפיתוח מגובשים מסמכים חוזיים מול קבלני משנה ומשוויים מול החלופות לצורך אשרורם. בנוסף, מוגשות בקשות RFP, המלוות בתיאור תכולת העבודה בכל חלופה (SOW), ובתיאור מפרטי המערכת (Specs).

כהכנה לחתימת החוזים, מופקות רשימות המידע הדרוש (CDRL: Contract Data Requirements List) לצורך חתימה עליהם.

2.2 מערכת - תצורת המכלולים: גיבוש חלופות לצמצום גורמי סיכון

מעגל הפעילויות בשלב קדם הפיתוח מתמקד בגיבוש חלופות תוך מגמה לצמצום גורמי סיכון. עבור כל חלופה לתצורת המכלולים מתבצעות הפעילויות הבאות: הערכה חוזרת של נתוני המשימה, ניתוח טכנולוגי של הצרכים, הקצאת דרישות לאחר סינון של דרישות בלתי רלוונטיות, הצגת המרות, ביצוע אינטגרציה של תצורת המכלולים, גיבוש מודל פתוח, ולבסוף, הצגת החלופה המשופרת.

2.3 הנדסת המערכת

בשלב קדם-הפיתוח נמשך תכנון הנדסת המערכת לפי SEMP, בהתאם לחלופות שהוצעו. כמו כן נערך תיכון אופציות לשיפורים עתידיים (P³I) עבור כל חלופה. בנוסף, מגובשים מפרטי

המערכת בשני מישורים: במישור הטכני, מפרטים טכניים ובמישור הפיתוח מפרטי פיתוח מן ההיבט של ביצועים נדרשים, תוך בחינת נושאי איכות ואמינות. לבסוף, מבוצעת הערכה חוזרת לגבי הדרישות לביצועי המערכת ויכולת העמידה בהם.

2.4 סקרי תיכון

בשלב קדם הפיתוח נערכים סקרי תיכון מערכתיים (SDR: System Design Review), תוך שימת דגש על מידת החתאמה של התפיסה המערכתית לדרישות. בסקרים אלו מגובש הבסיס לעיצוב המערכת כמוצר. לבסוף, החלופה המועדפת נבחנת בהיבטים של איכות ואמינות.

2.5 גיבוש הבסיס לתצורת המערכת

בשלב קדם הפיתוח מושלמת התצורה הפונקציונלית בה הוחל בשלב בדיקת ההיתכנות. כמו כן מגובש הבסיס למפרטי המערכת (Allocated Baseline), המגדיר את דרישות הביצועים עבור כל מפרטי התצורה.

2.6 הנדסת המערכת - תוכנה

בשלב קדם הפיתוח מרוכזות הדרישות לתצורת פריטי התוכנה, לצורך גיבושה של תוכנית פיתוח התוכנה (SDP). בשלב זה מתחילה גם פעילות בנושא אבטחת איכות תוכנה (SQA: Software Quality Assurance ונערכים בחינה ואימות (IV&V: Independent Verification and Validation) של פריטי התוכנה, על ידי גורמים בלתי תלויים. בתכנית הניהולית (CRLCMP), מוגדרים המשאבים הדרושים לצורך העמידה בדרישות התוכנה.

2.7 הערכת עלויות סיכונים וניהול כלכלי

בשלב קדם הפיתוח נערך עדכון LCC ביחס להערכה הראשונית, ונעשה ניתוח LCC של החלופות הישימות. נערך איסוף נתונים לצורך תהליך DTC בפרויקט, נמשך ניהול מו"מ עם קבלני משנה, מוערכים הסיכונים בהיבט המערכתי, מעודכנות העלויות בעץ המוצר ההנדסי, נערכת תחזוקה לבקרת העלויות (שינויים במחירים, מידע חדש), ולבסוף מגובש תמחיר המוצר ועלויות הייצור בכל חלופה.

2.8 ניסויים ובדיקות

בשלב קדם הפיתוח נמשך גיבוש ועדכון TEMP, נמשכים תכנון הניסויים ובדיקות הפיתוח (DT&E), מגובשת תוכנית ניסויים לבחינת ביצועים אופרטיביים, ונערך דו"ח תוצאות וסיכום ממצאים ראשוניים.

2.9 ייצור

בהיבט הייצור, מגובשים פתרונות, נבחנות חלופות לסילוק סכוני ייצור ומושלם פיתוחה של טכנולוגיית הייצור. מוכנסים שיפורים הנדסיים שמטרתם לפשט את תהליכי ההרכבה במהלך הייצור. כמו כן נבנית תוכנית ייצור ראשונית ומבוצעת הערכת היתכנות הייצוריות של המוצר.

2.10 תמיכה כוללת במוצר

בשלב קדם הייצור מחודדות הגדרות דרישות התכ"מ, ונערך עדכון בנושא התיכון לתחזוקתיות. לבסוף נערך LSA, ניתוח תמיכה תחזוקתית (נתיית), תוך התעדכנות במידע חדש.

3. פיתוח בקנה מידה מלא FSD: Full Scale Development

שלב הפיתוח הינו השלב העיקרי בתהליך המרתו של הרעיון למוצר שמיש. בשלב זה מושקעים עיקר המאמצים האנושיים והטכנולוגיים.

מטרות שלב הפיתוח הינן תיכון ובדיקה של הפתרון המועדף, בחינת המרות תכן (Design Tradeoffs), ביצוען ופיתוח בהיקף מלא של פריטי המערכת.

3.1 מסמכים

בשלב הפיתוח מגובשים מסמכי החוזה לפיתוח בהיקף מלא של פריטי המערכת. מוגשות RFP לפיתוח המכלולים, נערך תיאור תכולת העבודה (SOW) עבור החלופה המוצעת, נקבעים מפרטים לשלב הייצור (PROD SPECS) ומעודכנת רשימת מידע הדרוש לחתימת החוזים (CDRL).

3.2 מערכת - גיבוש המוצר ברמת הרכיבים

מעגל הפעילויות בשלב הפיתוח בנוי מהשלבים הבאים:
 בחינת המערכת, גיבוש סופי של דרישות המערכת, גיבוש התכן הסופי, ביצוע אינטגרציה פרטנית, גיבוש אב טיפוס עדכני ולבסוף, הכנת תכן רכיבים מפורט.

3.3 הנדסת המערכת

בשלב הפיתוח נמשכת הכנת תוכנית SEMP, נבחנות האפשרויות לשיפורים עתידיים (P³I) לאור החלופה הנבחרת ומידע עדכני, נמשך גיבוש מפרטי המערכת ומבוצע עדכון של דרישות ביצועי המערכת.

3.4 סקרי תיכון

במהלך הפיתוח יש לערוך סקרי תיכון בתחומים מגוונים, על מנת לבחון את ההיבטים השונים. סקרי התיכון עוסקים בנושאים הבאים:

SSR (System Software Review), סקר תיכון (סי"ת) בנושא תכנה.

PDR (Preliminary Design Review), סי"ת ראשוני.

CDR (Critical Design Review), סי"ת קריטי בו נבחן תיכון מכלולים ומימשקים.

TRR (Test Readines Review), סי"ת לבחינת המוכנות לקראת בדיקות תכנה.

FCA (Functional Configuration Audit), ס"ת לבדיקת הפונקציונליות של תצורות פיזיות. סקר זה בוחן את מידת ההתאמה בין מפרטי הפיתוח והאלמנטים הפיזיים של התכן, בתצורה המכוונת לשלב הייצור.

PRR (Production Readiness Review), ס"ת בדבר "בשלות" התכן לייצור.

3.5 גיבוש הבסיס לתצורת המערכת (לפני עריכת CDR)

בשלב הפיתוח נמשכת בניית התצורה התפקודית ומותחל בגיבוש מפרטי הפיתוח לקראת גיבוש תצורת המוצר בטרם הקפאה.

3.6 הנדסת מערכת-תוכנה

בשלב הפיתוח נעשה תכון ראשוני של תוכנת המערכת ולאחריו תיכון מפורט. נעשה קידוד התוכנה (Software Coding) ונערכת אינטגרציה ובדיקה של הקידוד. כמו כן, נמשכת הפעילות בנושא אבטחת איכות התוכנה, נערכות בדיקות לאיתורן של תקלות בהתאם ל-SDP.

3.7 הערכת עלויות, סיכונים וניהול כלכלי

בשלב הפיתוח מבוצע עדכון LCC לחלופה הנבחרת, נמשכת הערכת הסיכונים בהיבט המערכתי ונערך סינון נוסף של אלמנטים עתירי סיכון. נמשך ניהול המו"מ עם קבלני המשנה ותקצובן של ההתקשרויות. בעץ המוצר ההנדסי, מנוהלות העלויות, מתוחזקת מערכת בקרת העלויות, ונמשך גיבוש תמחיר המוצר וניתוח עלויות הייצור.

3.8 בדיקות וניסויים

בשלב הפיתוח מתחיל יישום עיקרי תוכנית TEMP: נערכים ניסויי פיתוח ומופקים דוחות ביצועיים בהתאם ל TEMP, ול DT&E. נבחנים הביצועים התפעוליים (OT&E: Operational Test and Evaluation) ומונפק דו"ח תוצאות וסיכום ממצאים.

3.9 ייצור

מבוצע ניתוח מקדים של גורמים המשפיעים על הדירות בייצור. נבחנים היבטים בדבר יעילות ונוחות ההרכבה של מכלולים ראשיים ומגובשת תוכנית סופית לייצור. נערך תיכון ליצוריות במקביל לביצוע פעולות הנדסיות לשיפור תהליכי ייצור (בחינה ובקרת התכן).
בבחינה ראשונית של המוכנות לייצור, נערכת קדם סדרה בייצור (LRIP: Low Rate Initial Production) ונערך ס"ת לבחינת מידת בשלות התכן והתאמתו לקו הייצור והערכת הכושר לייצור סדרתי (PRR: Production Readiness Review).

3.10 תמיכה כוללת במוצר

בשלב הפיתוח מושלמות ההגדרות של דרישות התכ"מ, ונערך עדכון בנושא התיכון לתחזוקתיות. מופקים דוחות ניתוח התמיכה הלוגיסטית ומידת העמידה ביעדים בנושא תכ"מ

(LSAR: Logistics Support Analysis Record). בהתאם לממצאים, מבוצע עדכון תוכניות התכיים (ILSP: Integrated Logistic Support Plan).

4. שלב קדם הייצור Preproduction

שלב קדם הייצור הינו שלב מעבר משלב הפיתוח לשלב הייצור בהיקף מלא. מטרת שלב קדם הייצור הינן הקמת קו-ייצור, מתקני עזר ותחנות בדיקה, סיום הכנת סימוכי הייצור וביצוע קדם-סידרה והרצתה בקו הייצור.

4.1 מסמכים

בשלב קדם הייצור מבוצעת בדיקה של דרישות הייצור לקראת גיבוש מסמכים חוזיים לייצור רכיבי המערכת ע"י גורמי חוץ.

4.2 מערכת : לקראת ייצור סדרתי

מעגל הפעילויות בשלב קדם הייצור מהווה סיכום הפעילויות בשלב הפיתוח בהיבט מערכת. כהכנה לייצור הסדרתי, יש לבצע תיקונים, השלמות ועדכוני תכן שיבטיחו מעבר ללא תקלות לשלב הייצור. קיימים השלבים הבאים:

עדכון הערכת המערכת, עדכון דרישות המערכת, עדכון המרות רצויות, ביצוע אינטגרציה מעודכנת, גיבוש אב טיפוס עדכני ולבסוף, הכנת תכן רכיבים מעודכן.

4.3 הנדסת המערכת

בתחום המערכת נמשכת פעילות SEMP במקביל לתחילת יישום P³I. המשך גיבוש המערכת נערך באמצעות עדכון מפרטי הפיתוח של המערכת, הנפקה של מפרטי ייצור לגבי תהליכי הייצור וחומרים והכנת סימוכי הייצור, בהתאם לממצאי הרצת סדרת קדם הייצור.

4.4 סקרי תיכון

בשלב קדם הייצור נערך ס"ת לגיבוש ובקרת התצורה הסופית של המוצר (PCA: Physical Configuration Audit), במטרה להציף בעיות שונות חבויות. נערכת בקרה פורמלית לאמות העמידה בדרישות ובמפרטים בתום בדיקות Q.T (FQR: Formal Qualification Review).

4.5 הנדסת מערכת-תוכנה

בשלב קדם הייצור מוכנסים שינויים אחרונים ומושלמת ומונפקת התוכנה למחלקת הייצור.

4.7 הערכת עלויות, סיכונים וניהול כלכלי

בשלב זה מבוצעת בחינה של חלופות והמרות אפשריות בייצור, מעודכנת רשימת הסיכונים ונערכת בקרה בנושא זה.

בבניית מערכת מפורטת של עץ המוצר BMS: Bill of Material System, מעודכן תמחיר פיתוח המוצר (CDS: Cost Development System), ומעודכנת עלות מחזור החיים.

4.8 בדיקות וניסויים

בשלב קדם הייצור מאורגנים אישורי הבחינות QT&E Certification: Operational Test and Evaluation Certification, בהתאם להגדרות TEMP. לאחר מכן, נערכות בדיקות קבלה ראשוניות בקדם-ייצור, ומבוצעים ניתוחים והערכות של תוצאות הניסויים בשלב הפיתוח.

4.9 ייצור

בשלב זה מושלמת תוכנית קדם-הייצור. מתקבלות החלטות בדבר מקורות אספקה משניים (Second Sources), מורצת סדרת קדם הייצור, ומעודכנים תהליכים ומפרטים בעקבות ממצאי הסדרה. כמו כן מבוצעת מדידה ראשונית של קצבים ואיכות הייצור.

4.10 תמיכה כוללת במוצר

בקדם הייצור מבוצעת הרכשה של אמצעי התמיכה. מופקים דוחות סיכום בנושא ניתוח התמיכה הלוגיסטית (LSAR) ליישום יעדים בנושא תכ"מ. כמו כן מבוצע עדכון סופי של תוכניות התכ"ם ומתחיל יישום תוכנית התמיכה.

5. ייצור סדרתי בקצב מלא Full Rate Production Deployment

שלב הייצור הסדרתי הינו שלב מסכם מבחינת תהליך התכנ בגבולות התברה. התערבותה הפעילה של מחלקת המו"פ בשלב זה חיונית לצורך טיפול בתקלות תכנ וזיהוי שיפורים פוטנציאליים. מטרת השלב הינה ייצור סדרתי בקצב המלא, עפ"י התכנון.

5.1 מסמכים

גיבוש מסמכים חוזיים בדבר ייצור מכלולי המערכת.

5.2 החלטות מערכתיות - לקראת ייצור סדרתי

מעגל הפעילויות בשלב הייצור הסדרתי מהווה סיכום השלב בהיבט מערכתי. יש לבצע תיקונים, השלמות ועדכוני תכנ בהתאם לתקלות שהתגלו בקדם ייצור. בשלב זה קיימות הפעילויות הבאות: עדכון הערכת המערכת, עדכון דרישות המערכת, עדכון המרות רצויות, ביצוע אינטגרציה מעודכנת, גיבוש אב טיפוס עדכני ולבסוף, הכנת תכנ רכיבים מעודכן.

5.3 הנדסת המערכת

בתחום הנדסת המערכת נמשכת פעילות SEMP במקביל ליישום P³I. הגיבוש סופי של המערכת כולל עדכון מפרטי הפיתוח לאחר יישום לקחים מסדרת קדם הייצור והנפקה של מפרטי ייצור מעודכנים לגבי תהליכי הייצור וחומרים.

5.4 סקרי תיכון

בשלב זה נערך גיבוש סופי של תצורת המערכת כמוצר, לאחר עדכונים עפ"י לקחים.

5.6 הנדסת מערכת-תוכנה

בשלב הייצור מבוצעת תחזוקת התוכנה וטיפול בבעיות המתגלות בייצור או במבחני האמינות הנערכים במקביל. שינויים בשלב זה מחייבים עדכון התיעוד והכנסת השינויים בכל המוצרים שכבר יוצרו.

5.7 הערכת עלויות, סיכונים וניהול כלכלי

מבוצע עדכון תמחיר המוצר CDS: Cost Development System, בהתאם לנתונים המתקבלים מניהול עלויות הייצור CMS: Cost Management System. נערכת בקרה ומבוצע אימות עלויות הייצור בפועל ונערכת בחינה מחודשת של הערכות התכ"מ.

5.8 בדיקות וניסויים

בשלב הייצור מבוצעות בדיקות קבלה בייצור PAT: Production Acceptance Tests ונערך ניתוח והערכת התוצאות.

5.9 ייצור

בתחום הייצור מיוצרים חלפים ומבוצעת תוכנית הייצור.

5.10 תמיכה כוללת במוצר

בשלב זה נמשכת הרכשה של אמצעי התמיכה, ומופעלת תוכנית תמיכה עם סיום הייצור.

6. תמיכה תפעולית Operational Support

שלב זה הינו אחרון במעגל חיי המוצר והוא מתמקד ביישום תוכניות התחזוקה ובמתן שירות לצרכן/משתמש. כמו כן מוכנסים במהלכו עדכונים ושיפורים במוצר כתגובה ללקחים מהשימוש השוטף בשדה.

6.2 החלטות מערכתיות - גיבוש התכנון הסופי למוצר

מעגל הפעילויות בשלב התמיכה מוביל לקבלת תכנון סופי למערכת. בשלב זה מבוצעים עדכונים חוזרים של הערכת המערכת, דרישותיה, המרות רצויות, בחינה מעודכנת של השפעות בין רכיבים. במידת הצורך, מגובש אב טיפוס עדכני ומשופר. תכנון רכיבים סופי למערכת חותם את תהליך גיבוש התכנון.

6.3 הנדסת המערכת

בתחום הנדסת המערכת מבוצעים שינויים ועדכונים אחרונים בתוכנית SEMP, במקביל לעדכון ויישום P³I. בשלב זה מבוצע גיבוש סופי של המערכת ומעודכנים מפרטי המערכת, בהתאם לצורך ועל סמך הנסיון המצטבר. כל שינוי בשלב זה מחייב עדכון מסמכי הייצור בהתאם.

6.4 סקרי תיכנן

בשלב זה מבוצעים ס"ת הבוחנים הצעות לשיפורים או שינויים הנדסיים במוצר.

6.6 הנדסת מערכת-תוכנה

בשלב התמיכה מבוצעים עדכונים ותחזוקת תוכנה.

6.7 הערכת עלויות, סיכונים וניהול כלכלי

מבוצעת הערכת המשמעות של שינויים הנדסיים ושיפורים במוצר לאור הערכות "עלות מחזור-חיים". כמו כן מבוצעות הערכות חוזרות בדבר עדכונים טכנולוגיים, תוך התייחסות להצעות חסכון במסגרת ההערכות של עלות מחזור החיים.

6.8 בדיקות וניסויים

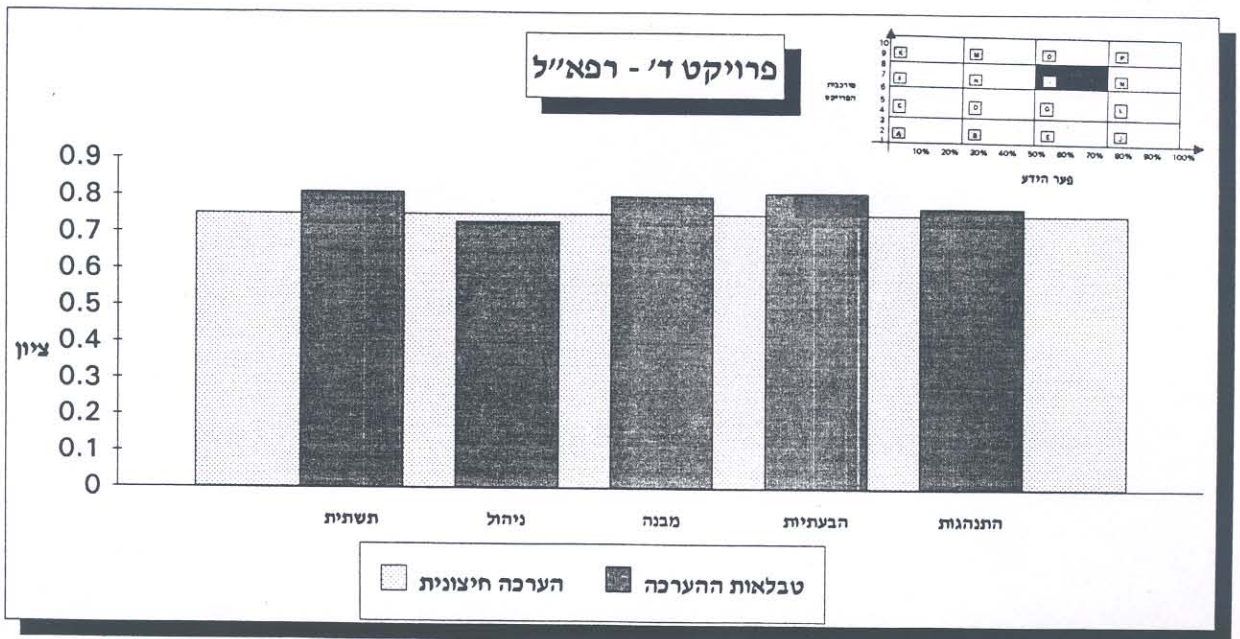
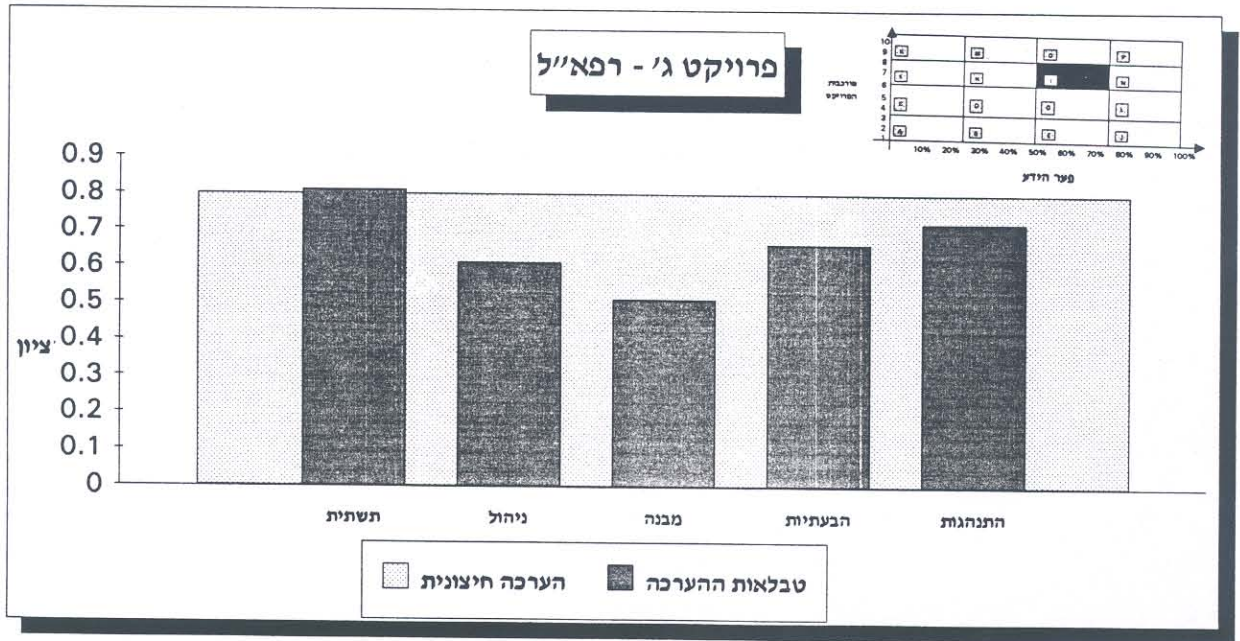
בשלב התמיכה מבוצעות בדיקות ובחינות בעקבות שיפורים ועדכונים במוצר.

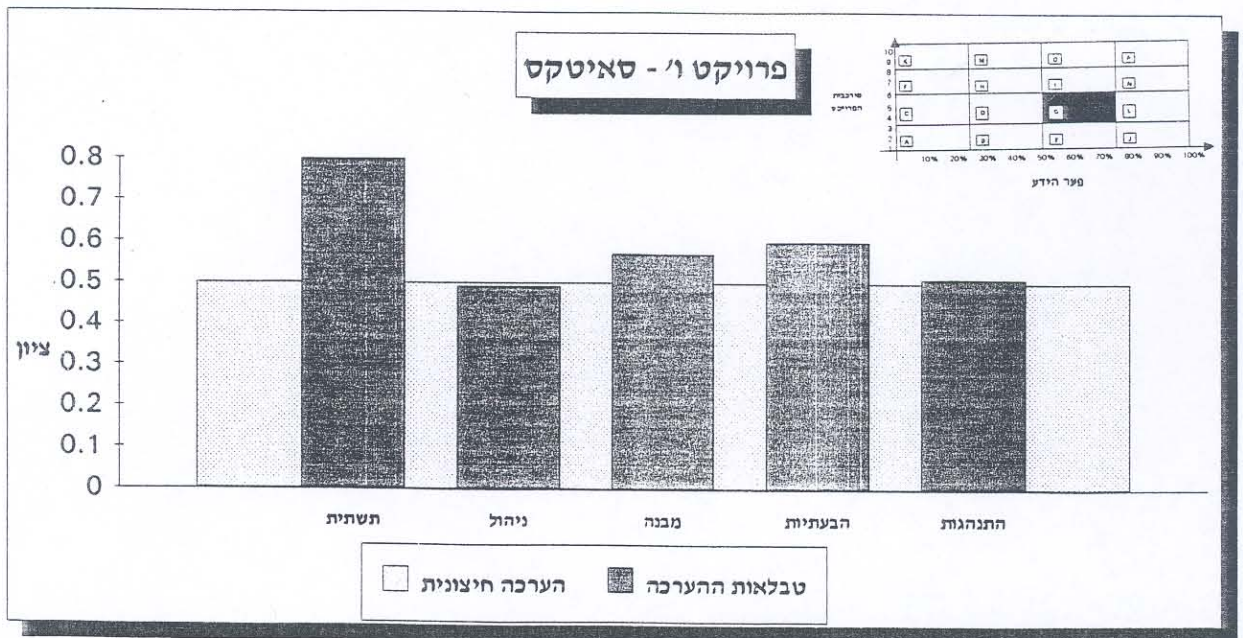
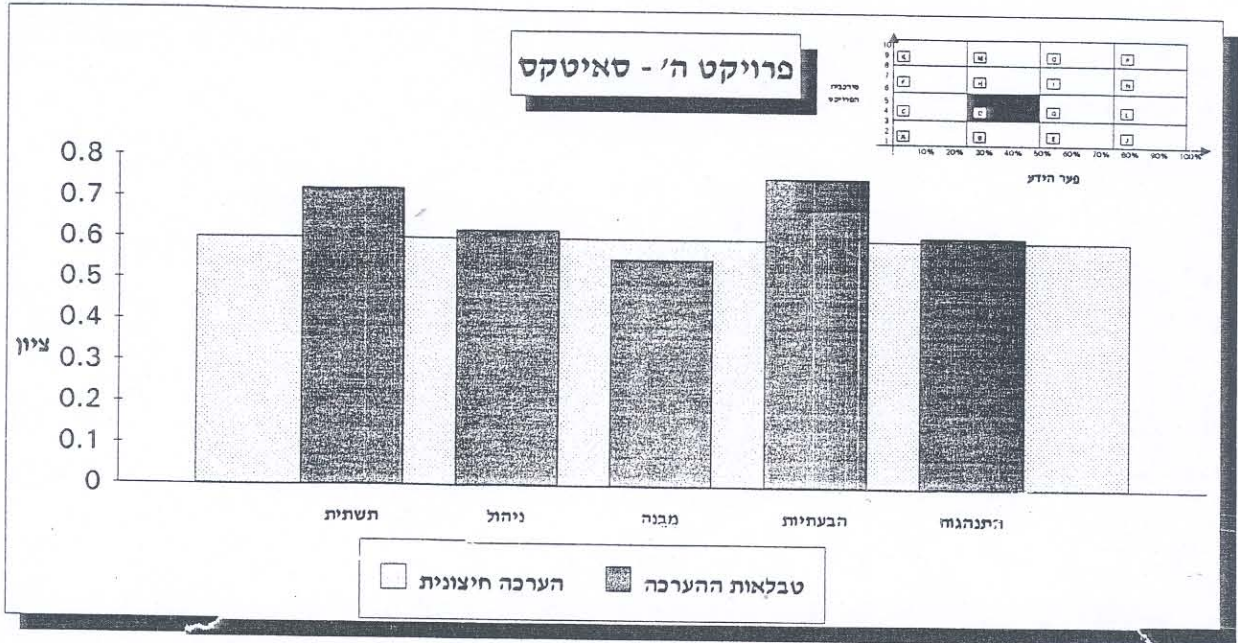
6.9 ייצור

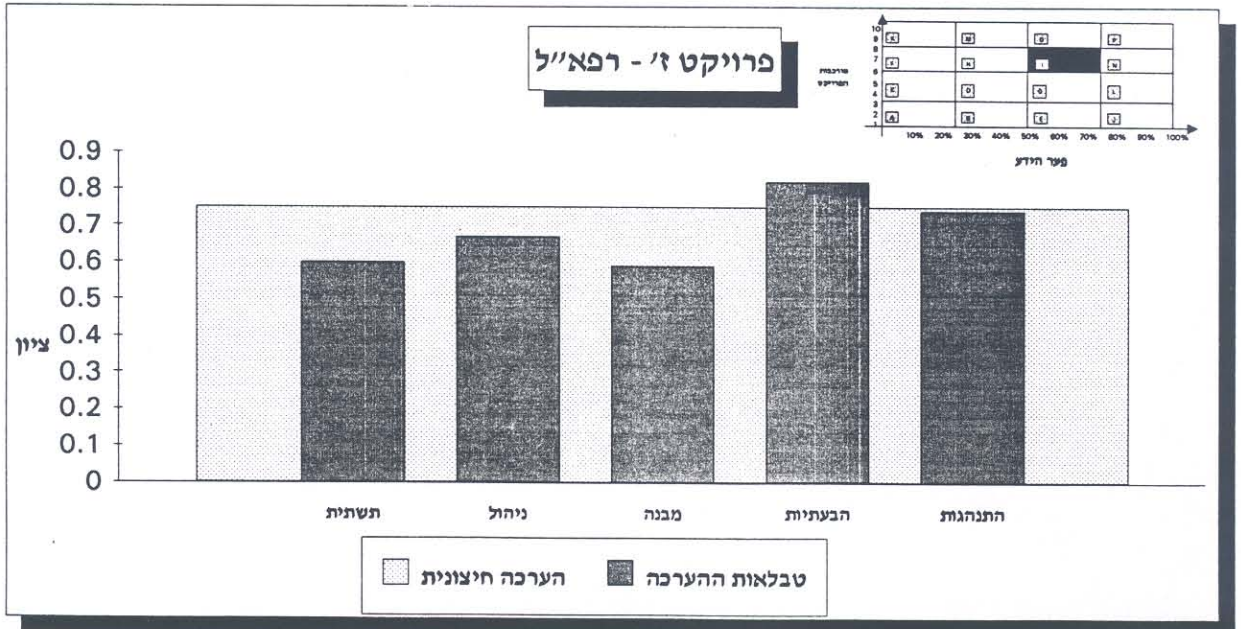
בתחום הייצור נבנית ומעודכנת תוכנית שיפורי הייצור (PIP: Production Improvement Program), בהתאם לבעיות שהתגלו. כמו כן מבוצעות הערכות לגבי שדרוג (upgrading) של רכיבים, תת מכלולים ומכלולים, תיכון מחדש וייצור.

6.10 תמיכה כוללת במוצר

בשלב זה מבוצעת בחינה של טכנולוגיות חדשניות (Upgrading Support) במגמה להעלות את כושר המוצר ולשפר את יעילותו.







- Arnold W.A. and M.C. Floyd, "Reengineering the new Product Introduction Process", *AT&T Technical Journal*, 71/6 (1992), pp. 12-19.
- Der-El E.M., "Productivity Improvement - Employee Involvement and Gainsharing plans", *Advances in Industrial Engineering*, series Editor: Gavriel Salvendy, *Elsevier Science Publications B.V.*, 1986.
- Dar-El E.M. and D. Meyersdorf, "Raising R&D Productivity - One More Look!" *Productivity Management Frontiers-II*, (1989), Amsterdam B.V., Elsevier Science Publications, pp 103-109.
- D.O.D Directive 5000.51, *Office of the Deputy Assistant Secretary of Defence for Total Quality Management*, Pentagon, Washington D.C. , 1992.
- Dori D. and R.M. Haralick, "Object-Process Analysis--Part 1: Objects and Processes as the Universe Building Blocks", TR-ISE, 6/93, July 1993, *Faculty of Industrial Engineering and Management, Technion, IIT*.
- Dori D., Phillips I. and R.M. Haralick, "Incorporating Documentation and Inspection into Computer Integrated Manufacturing: an Object-Process Approach", in: *Applications of Object-Oriented Technology in Manufacturing*, S. Adiga (Ed.), Chapman & Hall, London, 1993.
- Dvir D. and A. Shenhar, "Success Factors of High-Tech SBUs: Towards a Conceptual Model Based on the Israeli Electronic and Computers Industry", *J Prod Innov Mana*, 1990, 7, pp 288-296.
- Griffin A., "Metrics for Measuring Product Development Cycle Time", *J Prod Innov Mana*, 1993, 10, pp 112-125.
- ISO 9000, "Quality Management and Quality Assurance standarts", *European Standasd*, 1987.
- Meyersdorf D., "R&D Quality and Productivity: Measurement and Improvement Process", *D.Sc. Proposal*, Technion-IIT, 1993.

- Meyersdorf D. and E.M. Dar-El (a), "Raising R&D Productivity" In: Golani B. (editor),
- Productivity Measurement, In Bester ., editor, Proc. The Ninth International Conference of the Israeli Society for Quality Assuramnce (1992), pp 805-811.*
- Meyersdorf D. and E.M. Dar-El, "A New Approach for R&D Productivity Measurement", *Quality and Productivity Management Frontiers-IV*, (1993), Amsterdam B.V., Elsevier Science Publications.
- Meyersdorf D., "Raising R&D Productivity", *M.S. Thesis*, Technion-IIT, 1992.
- Montana J.A., "If It Isn't Perfect, Make it Better", *Research Technology Management*, 1992, 6-7, pp 38-41.
- Nevo Z., Quality Design Improvement, In: Bester ., (editor), *Proc. The Ninth International Conference of the Israeli Society for Quality Assuramnce (1992)*, pp 665-676.
- Saaty T.L., "The Analytical Hierarchy Process", 1980, New ork: McGraw-Hill.
- Shenhar A.J., "Technological Uncertainty and System Scope: A Construct Model for the Classification of Engineering Projects", *Working Paper No. 40/92*, September 1992, Tel Aviv University, Faculty of Management.
- Sue N.P., Bell A.C. and D.C. Gossard, "On an Axiomatic Approach to Manufacturing and Manufacturing Systems", *Journal of Engineering for Industry*, 100, 2 (1978), pp 127-130.
- בוגן ז., "התפתחות מערכים צבאיים", מדינת ישראל, משרד הבטחון, רפא"ל, תשמי"ה אוק' 1984.
- דראל א.מ., ז. בוגן ודורון מאירסדורף "הגברת הפריזון במו"פ - סיכום סדנה I", מוסד ש. נאמן למחקר מתקדם במדע ובטכנולוגיה, ינואר 1991.
- דראל א.מ., ז. בוגן ודורון מאירסדורף "הגברת הפריזון במו"פ - סיכום סדנה II", מוסד ש. נאמן למחקר מתקדם במדע ובטכנולוגיה, מאי 1992.

רשימת מקורות

הר אורי (מנכ"ל) "ניהול איכות כוללת - מהווי", איגוד תעשיות האלקטרוניקה, תל-אביב, מאי 1992.

מאירסדורף ד., "איכות ופריון מו"פ - מדידה ותהליך שיפור", הצעת מחקר לקראת התואר D.Sc, הפקולטה להנדסת תעשייה וניהול, הטכניון - מ.ט.ל., פברואר 1993.

תקן ישראלי (תי"י) 2000, "תקני ניהול איכות והבטחת איכות - הנחיות לבחירה ולשימוש" מכון התקנים הישראלי, תל-אביב, ינואר 1990.