



הנדסת המערכת כשותף אסטרטגי

ממומחיות טכנית למנהיגות עסקית -
עיצוב שורת הרווח של הארגון.



קניין של חיים נוטי - הנדסת מערכת וניהול פרויקטים.

מפת הדרכים לאסטרטגיה: איך מבצעים את המעבר?

1. פרדוקס הידע

קבלת החלטות ומודלי פיתוח

2. מנוע הבזבוז

ניהול דרישות ובלימת ה-Scope Creep

3. הסתכלות מקצה לקצה

אופטימיזציית מחזור חיים LCC-I

4. אדריכל הערך

התמרת מהנדס המערכת לשותף עסקי

אומנות האיזון: מהנדסה טהורה למנהיגות מסחרית

 **המהנדס המסורתי**

- ✓ חתירה לשלמות טכנית ומפרט סגור.
- התעלמות מ-ROI מסחרי; נטייה להנדסת יתר.
- בדיקות מתבצעות בסוף התהליך כגילוי תקלות.



 **המהנדס האסטרטגי**

- ✓ מיקוד בנקודת העבודה (Sweet Spot) - מערכת טובה דיה.
- ✓ תרגום אילוצים טכניים למשמעויות של עלות וזמן (LCC, TTM).
- ✓ הנדסת בדיקות משולבת להורדת סיכונים מוקדמת.

המעבר מתכן מושלם בכל מחיר למערכת מאוזנת וכלכלית.

מעבר לתפיסה עסקית: למהנדס אסטרטגי

מרכז רווח - מהנדס אסטרטגי

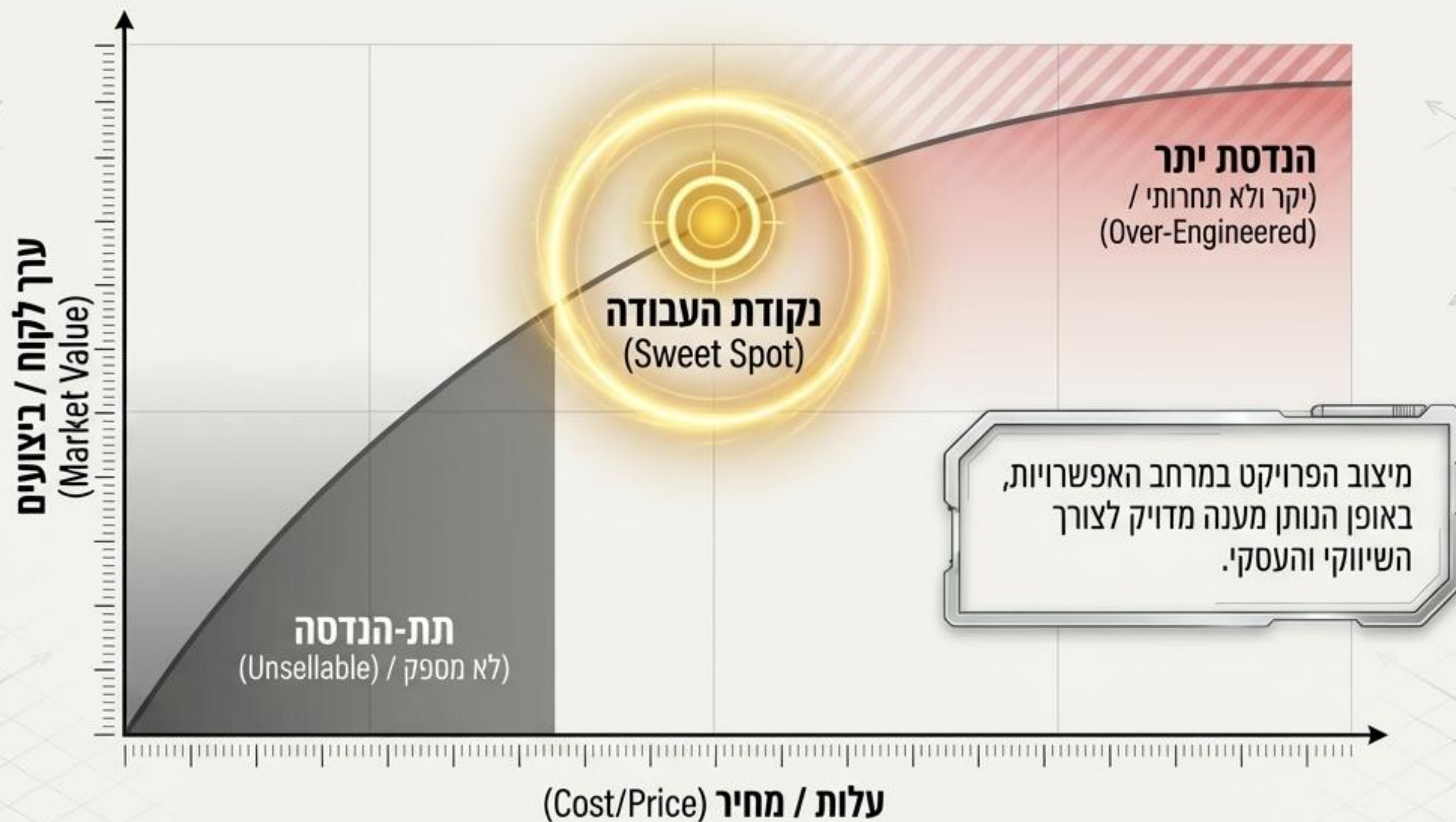
- מיקוד ב"נקודת העבודה" (Sweet Spot).
- תרגום אילוצים טכניים למשמעויות של עלות וזמן (LCC, TDM).
- מדד הצלחה המרכזי: רווחיות הפרויקט ושביעות רצון הלקוח.

מרכז עלות - מהנדס מסורתי

- חתירה לשלמות טכנית ומפרט סגור.
- התעלמות מ-ROI ומאילוצים מסחריים.
- מדד הצלחה המרכזי: עמידה באיכות הנדסית ובלוחות זמנים.



מציאת 'נקודת העבודה': מרחב ההחלטה בין ערך לעלות



הגדרת המיצוב הפרויקטלי מתבצעת תחת מכבש אילוצים



תובנה מרכזית:

לעיתים קרובות,
מערכת שהיא

"Good Enough System"

מנצחת בשוק את

המערכת "המושלמת"

שאיחרה או תומחרה

גבוה מדי.

מלכודת הזמן: המחיר האמיתי של שינויים

היכולת להשפיע על התקציב דועכת ככל שהפרויקט מתקדם



המחיר נקבע בשלבים ההתחלתיים של הפרויקט (קונספט ותכן, שם נקבעים 70%-85% מהעלויות). מטרתנו היא להשפיע בדיוק בנקודה שבה עלות השינוי עדיין נמוכה.

עמודי התווך של האופטימיזציה המערכתית



מערכת תלויה: כל פרמטר משפיע על משנהו. למשל, שינוי באמינות ישפיע מידית על תמחור רכיבי התחזוקה.

מאזן הפשרות: דוגמאות לתלות בין פרמטרים

השקעה מוקדמת (פיתוח/חומרה)



חיסכון ארוך טווח (תחזוקה/זמן)

תכן עמיד ונוח לתחזוקה מייקר את המוצר הראשוני.

vs

הוזלת התחזוקה השוטפת. (אינו כדאי למוצר קצר-חיים).

עלות ייצור ופיתוח גבוהה יותר לשיפור אמינות.

vs

ירידה דרסטית בעלויות התחזוקה וההשבתה.

פיתוח ציוד בדיקה משופר ואוטומטי מייקר עלויות פיתוח.

vs

הקטנת זמני ייצור, איתור תקלות ותיקון.

מנגנון בדיקה עצמית (BIT): תוספת חומרה מייקרת את המוצר.

vs

יכולת גילוי מוקדם, בידוד תקלות והקטנת תלות בציוד חיצוני.

אסטרטגיית בדיקה ברמת מכלול (דורש פיתוח יקר).

vs

בדיקה ברמת מערכת בלבד (זול לפיתוח אך זמן תיקון יקר בשטח).

אדריכל הערך: אינטגרטור של טכנולוגיה וכלכלה

סיכום המודל - מהנדס המערכת כמנהיג עסקי

ניהול הקונפליקט המפרה:
גישור אקטיבי בין דרישות השיווק ליכולות ההנדסה.

מסננת של גרושים (NRE):
ניהול דרישות מהודק להבטחת יעילות וצמצום בזבוז.

ניהול סיכונים חוזי:
תרגום מפרטים טכניים ל-SOW מדויק ובטוח.

אופטימיזציה קשוחה (LCC):
הבנה עמוקה של מודל כלכלי וטרייד-ופים במחזור חיים מלא.

"הכוח האמיתי של מהנדס המערכת אינו נמדד רק בבניית המערכת המושלמת טכנית, אלא ביצירת נכס עסקי רווחי שמסתיים בשביעות רצון הלקוח."

שותפות אורגנית במשולש הניהולי של הפרויקט

מנהל החוזה / סת"ב:
אמון על ניהול האספקות, דוחות
כלכליים, ובקרה תקציבית.

מנהל הפרויקט:
נושא באחריות הכוללת והרוחבית
להצלחת הפרויקט.



מהנדס המערכת:
הסמכות המקצועית. אחראי על כלל
האספקטים הטכניים מול דרישות הלקוח,
אך מחויב באופן הדוק להשלכות הכלכליות
והחוזיות של כל החלטה תכנונית.

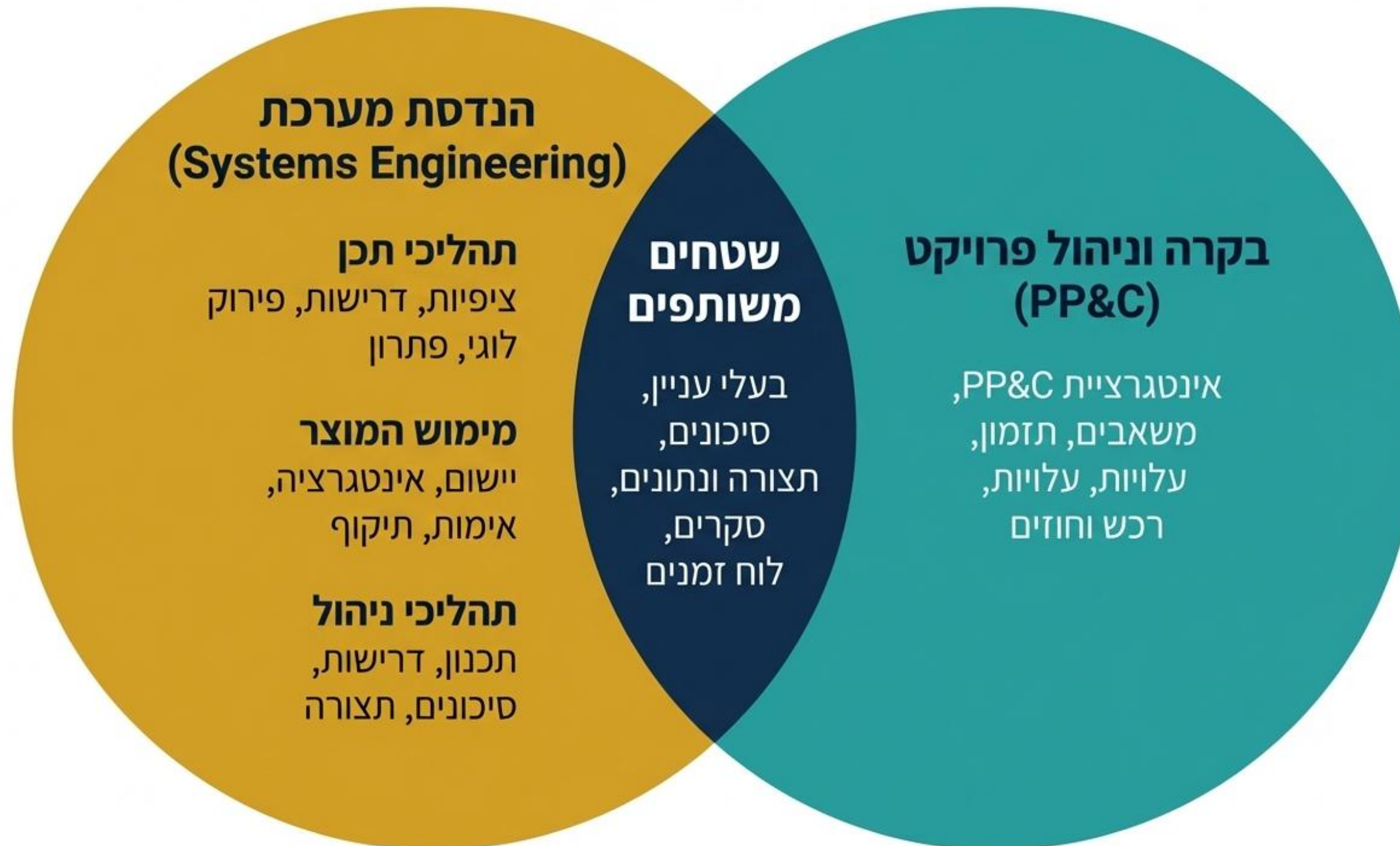
מהנדס המערכת **אינו** "קבלן ביצוע טכני", אלא חבר אורגני בצוות המעצב את הפרויקט עסקית וטכנולוגית מיומו הראשון.

מעבר לתפיסה עסקית: מרכז רווח מול מרכז מרכז עלות

| מרכז רווח (PC) | | מרכז עלות (CC) | |
|---|---|--|---|
| מטרת העל מקסום מכירות ורווח לחברה. |  | מטרת העל תמיכה במרכזי הרווח, שמירה על עלויות תחרותיות. |  |
| מיקוד מהנדס המערכת שביעות רצון הלקוח, ערך המוצר, ניהול סיכונים. |  | מיקוד מהנדס המערכת שיפור תהליכי עבודה, התייעלות, התמקצעות. |  |
| מדדי הצלחה רווחיות הפרויקט. |  | מדדי הצלחה עמידה בהערכות העלות הראשוניות ואיכות. |  |

השוני המשמעותי ביותר בין המרכזים מתבטא בתפקידי הניהול ואופי הקשר עם הלקוח.

מהנדס מערכת ומנהל הפרויקט תחומי חפיפה בפעילויות



מודל פיתוח (SDLC) ופרדוקס הידע

אנו מקבלים את ההחלטות היקרות ביותר כשאנחנו יודעים הכי מעט



במודלים מסורתיים, החלטות קריטיות מתקבלות כשמידת הידע נמוכה.

השילוב של פיתוח איטרטיבי, אב-טיפוס וסימולציות דוחף את עקומת הידע שמאלה – ומקטין אי-ודאות עסקית לפני השקעת הון מסיבית.

מטריצת קבלת החלטות: השוואת מודלים הנדסיים

| מודל | דרישות (יציבות מראש) | בדיקות ואימות | פרופיל סיכון רצוי | מתי כדאי? (Ideal Use-Case) |
|--|---|--|---|---|
|  מפל המים (Waterfall) |  יציבות וברורות לחלוטין |  בסוף התהליך בלבד |  סיכון נמוך מאוד |  פרויקטים קטנים, פשוטים וברורים |
|  מודל V |  יציבות וברורות לחלוטין |  מדורג, בהתאמה לשלבי התכן |  סיכון נמוך-בינוני |  פרויקטים מובנים הדורשים סדר קפדני ואימות |
|  שן משור / אבולוציוני |  גמישות חלקית |  איטרטיבי, מול אבי-טיפוס |  סיכון בינוני-גבוה |  נדרשת הורדת סיכונים מוקדמת באמצעות דגמים |
|  פיתוח תוספתי (Incremental) |  ליבה ברורה, הרחבות גמישות |  רציף לכל מודול בנפרד |  סיכון בינוני |  זמן הגעה לשוק (TTM) הוא קריטי, ארכיטקטורה תומכת |
|  מודל הספירלה |  עמומות וצפויות להשתנות |  בסוף כל סיבוב (אבלואציה) |  סיכון גבוה עד קריטי |  פרויקטי ענק, עתירי סיכון וטכנולוגיה חדה |
|  Agile / Scrum |  דינמיות ומשתנות ללא הרף |  רציף, יומיומי / סוף ספרינט |  משתנה, התמודדות תוך-כדי-תנועה |  סביבה תחרותית ומהירה, מעורבות לקוח מקסימלית |

נטרול הפרדוקס: התאמת מודל הפיתוח לפרופיל הסיכון

הטעות היקרה ביותר היא בחירת מודל פיתוח בעיוורון. אין פתרון קסם אחד; חובה לתפור את החליפה מראש.



סיכון נמוך / דרישות ברורות:
מפל המים (Waterfall) - אידיאלי
לפרויקטים מוכרים ופשוטים.



זמן הגעה לשוק (TTM) קריטי:
פיתוח תוספתי (Incremental) -
שחרור ליבה בטוחה והרחבות
בהמשך.



סביבה דינמית וסיכון גבוה:
פיתוח זריז (Agile) - התמודדות
תוך כדי-תנועה במעורבות לקוח
מקסימלית.

סיכום: המחיר של בחירה שגויה

1. נטרלו את פרדוקס הידע

פרדוקס הידע תמיד יפעל נגדכם. בחרו מודל שמנטרל אי-ודאות מוקדם ככל האפשר בהתאם לאופי הייחודי של הפרויקט שלכם.

2. אין פתרון קסם אחד

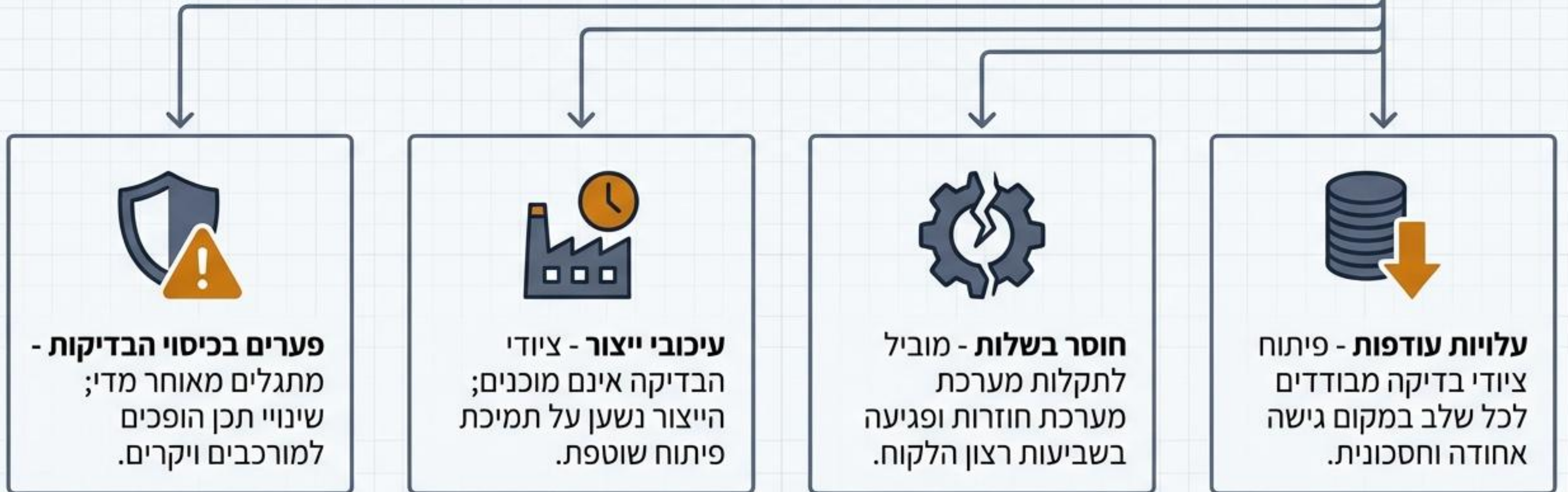
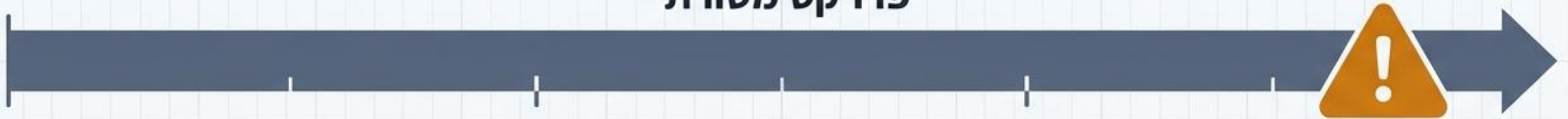
טעות בבחירת המודל היא **הטעות היקרה ביותר** שקשה עד בלתי אפשרי לתקן תוך כדי תנועה. הכירו את החסרונות של כל מודל, לא רק את יתרונותיו.

3. תפרו את החליפה מראש

אל תאמצו מודלי פיתוח בעיוורון. שלבו, התאימו, ותכננו את מחזור החיים השלם של המערכת עוד לפני כתיבת שורת הקוד הראשונה.

אתגר הבדיקות המסורתיות

פרויקט מסורתי



מהות הנדסת הבדיקות בפרויקט



הנדסת בדיקות היא חלק מהנדסת המערכת של הפרויקט, החל משלב ההתנעה, לאיפיון ותאום אופטימאלי של תהליכי הבדיקות, בראיה כוללת של בדיקות המערכת לכל חיי הפרויקט.

מסמך ה-LTC מגדיר את קונצפט בדיקות המערכת בהתאם לדרישות בעלי העניין בהסתכלות לאורך כל חיי המוצר.

אופטימיזציה טכנית: מציאת שיווי המשקל

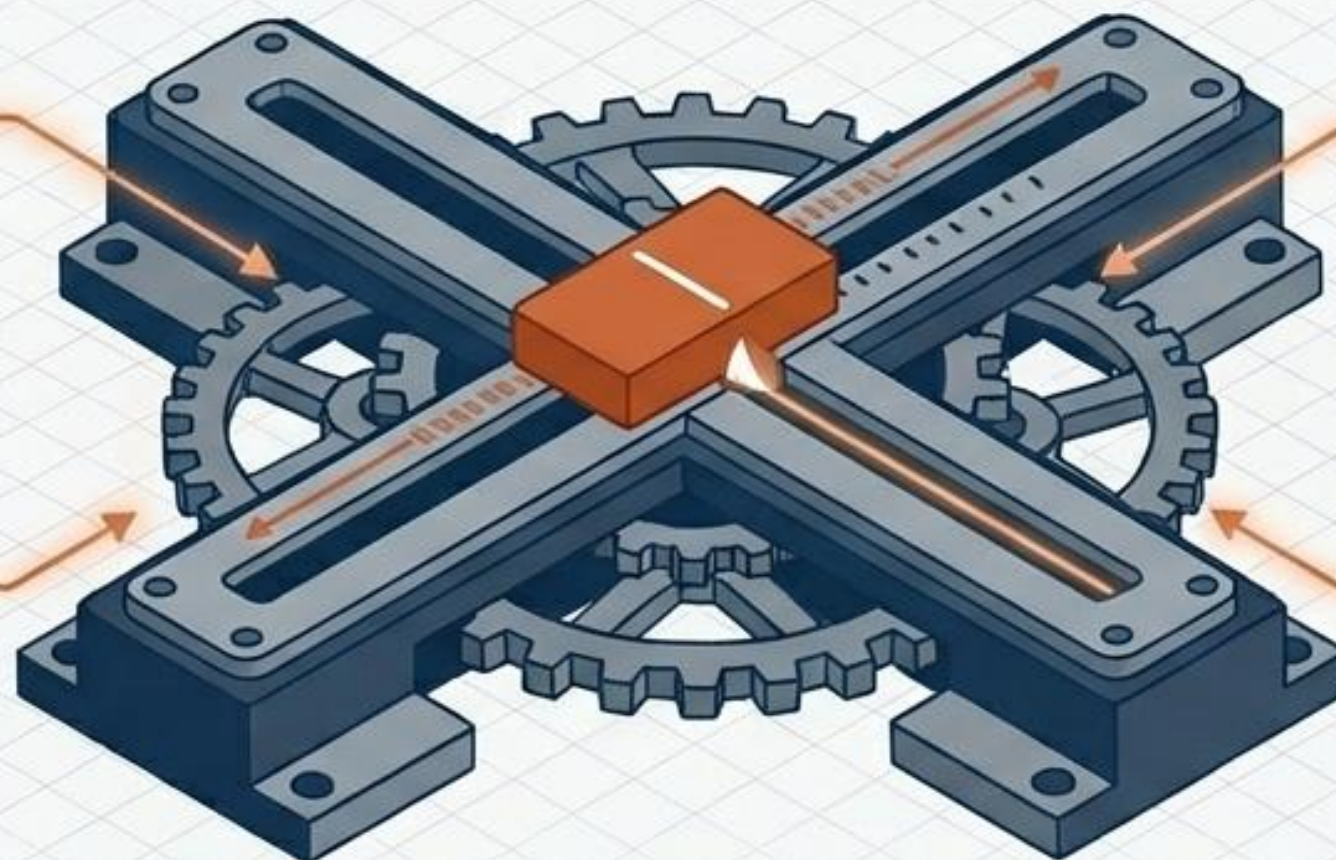
בדיקה עצמית (BIT)

יתרון:

אוטונומיה גבוהה וזיהוי תקלות בזמן אמת.

סיכון (Trade-off):

תוספת חומרה ומשקל, פגיעה באמינות המוצר הבסיסי, והגדלת התראות שווא (False Alarms).



צב"ד חיצוני (ATE)

יתרון:

שמירה על חומרה מערכתית פשוטה וזולה יותר.

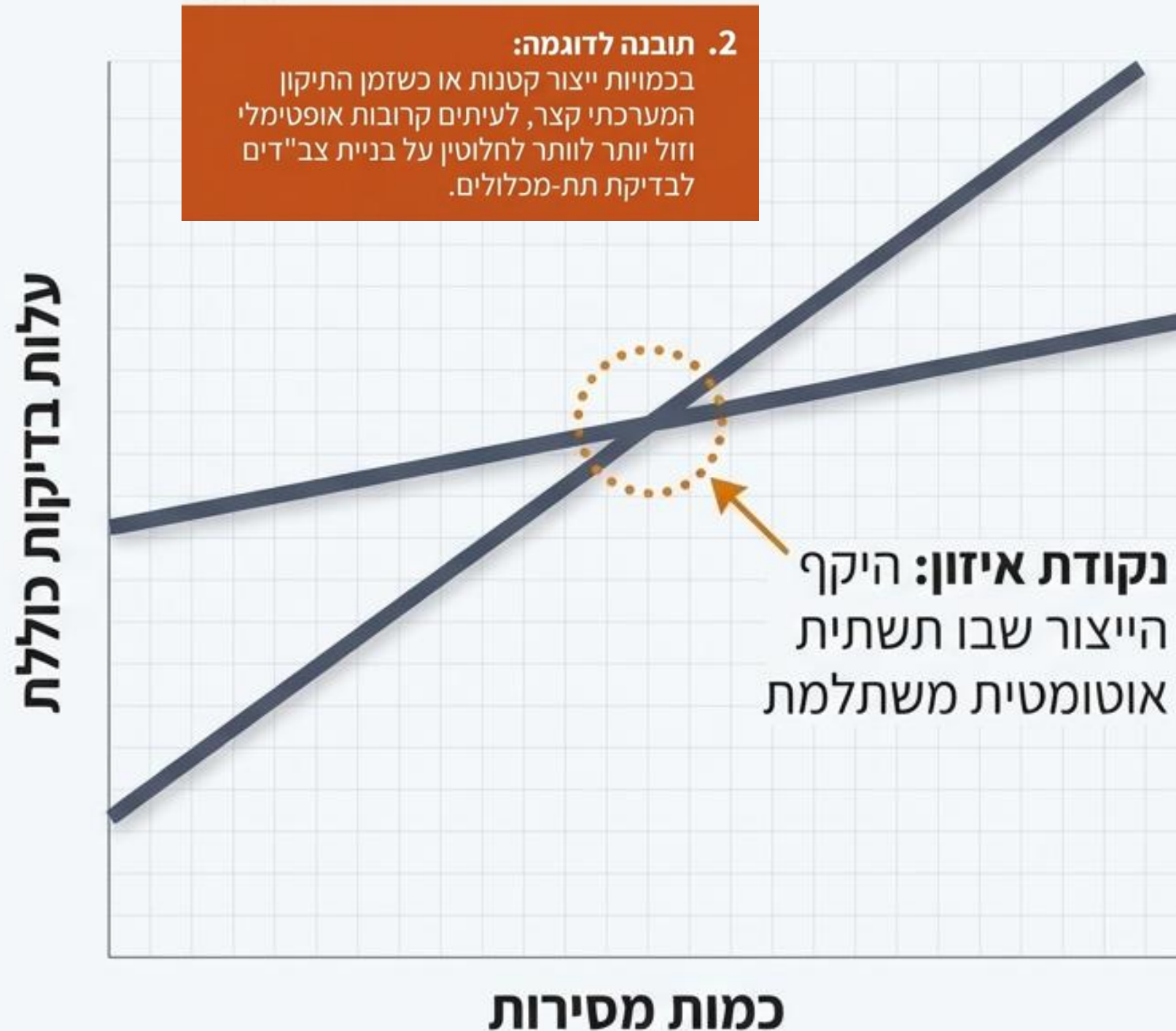
סיכון (Trade-off):

תלות בצידוד חיצוני כבד, עלויות פיתוח גבוהות, וסרבול לוגיסטי למשתמש למשתמש הקצה.

אופטימיזציה מסחרית

מציאת נקודת העבודה (TWP) הזולה ביותר לאורך מחזור החיי הפרויקט, מבלי להתפשר על איכות טכנית.

- בדיקות ברמת מערכת (System) מול שילוב בדיקות תת-מערכת (Subsystem) בייצור.
- ציודי בדיקה ייעודיים לכל שלב מול ציוד בדיקה אחוד ומשותף.
- ציוד בדיקה מורכב/אוטומטי מול ידני/פשוט.



ניהול דרישות לקוי מחבל בהצלחת הפרויקט מראשיתו

הגורם השני השכיח ביותר
לכישלון פרויקטים (לפי מחקר
(Pulse of the Profession, PMI 2014)



**47% מהיעדים שלא הושגו
בפרויקטים נובעים ישירות
מניהול דרישות לקוי**

הכישלון אינו מקרי,
מקרי, הוא מובנה
בשלבים הראשונים
הראשונים ביותר של
חיי הפרויקט.

מנוע הבזבוז: מלכודת תסמונת ה-65% (Scope Creep) הוספת פונקציונליות המסופקת ללקוח כמעט ואינה בשימוש כלל.



הדינמיקה המסוכנת:
35% מהדרישות משתנות תוך כדי תהליך הפיתוח.

המשמעות הכלכלית:
כל פונקציה מיותרת גוררת עלויות פיתוח, ייצור, ובדיקות מיותרות ששוחקות את רווחיות הפרויקט.

העלות האמיתית של דרישה מיותרת



דרישה אחת שחמקה מסינון בתחילת הדרך הופכת למשקולת פיננסית הנגררת לכל אורך חיי המוצר (LCC).

העלות הנסתרת של ניהול דרישות לקוי



מהתקציבים המבוזבזים
בפרויקטים נובעים
מניהול דרישות לקוי.
(PMI)

51%

ניהול דרישות קפדני =
צמצום NRE ומקסום רווח.

ניהול דרישות כמנגנון רווחיות

דרישות גולמיות
וזליגת תכולות



סינון פיננסי
והנדסי קפדני

הקטנת NRE: מיקוד
הצוותים ומניעת אי-הבנות.

מניעת רטרופיטים:
חיסכון אדיר בעלויות כשל.

צמצום קנסות: הקטנת
פספוסים מול הקבלן/לקוח.

אופטימיזציית LCC: התאמת
המוצר לייצור ותחזוקה.

השטח המת של ההנהלה: פרדוקס הדרישות

רק 1/3 (33%) ממנהיגי הארגונים מעריכים את ניהול הדרישות כיכולת ליבה קריטית.



נזק תקציבי עצום, קריסת יעדים וקונצנזוס מקצועי שחובה להשתפר.

זהו הפרדוקס: למרות שניהול דרישות לקוי הוא הגורם המרכזי לדימום תקציבי, רוב המנהלים פשוט לא מחשיבים אותו כגורם קריטי וחשוב. **הבעיה אינה חוסר ידע, אלא עיוורון ניהולי.**

להסתכל דרך החור של הגרוש: המשמעות הכלכלית

מדוע ניהול דרישות נוקשה וניהול סיכונים הם כלי כלכלי קריטי?



ששת שלבי הפעילות העסקית

ניהול ערך רציף משלב הרעיון ועד לגריטה



בכל אחד משלבי הפרויקט, למהנדס המערכת יש השפעה דרמטית על **שורת הרווח**, הרבה מעבר לעבודה הטכנית הטהורה.

אופטימיזציית מחזור החיים: ראיית המאקרו



מערכת היא רשת תלויה: כל פרמטר משפיע על משנהו. שינוי באמינות ישפיע מידית על תמחור רכיבי התחזוקה.



70%-85% מעלויות הפרויקט נקבעות ו"ננעלות" כבר בשלבי הקונספט והתכן.

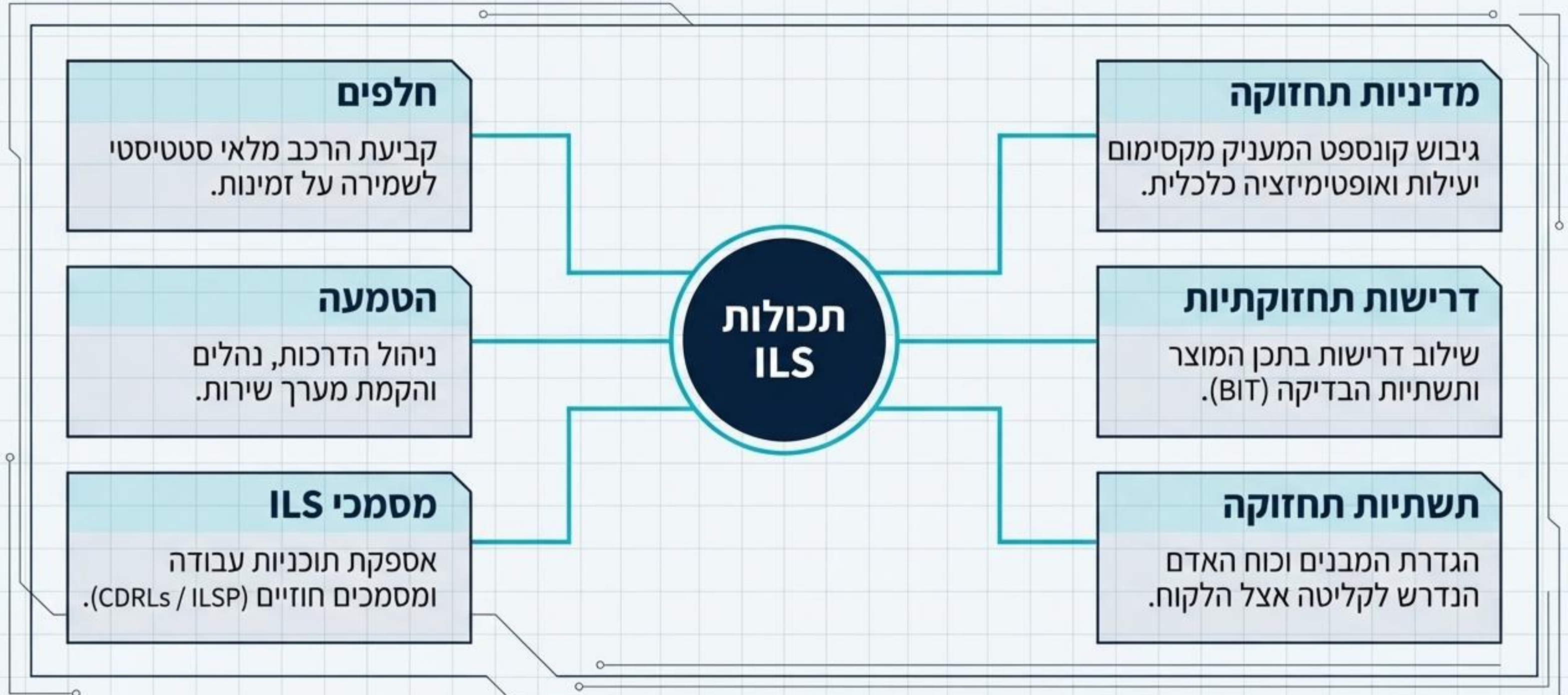
המחיר האמיתי של שינויים:
עלות שינוי תכן הולכת וגדלה פי 50 עד 1000 ככל שהפרויקט מתקדם.

גרף התפתחות הסיכונים



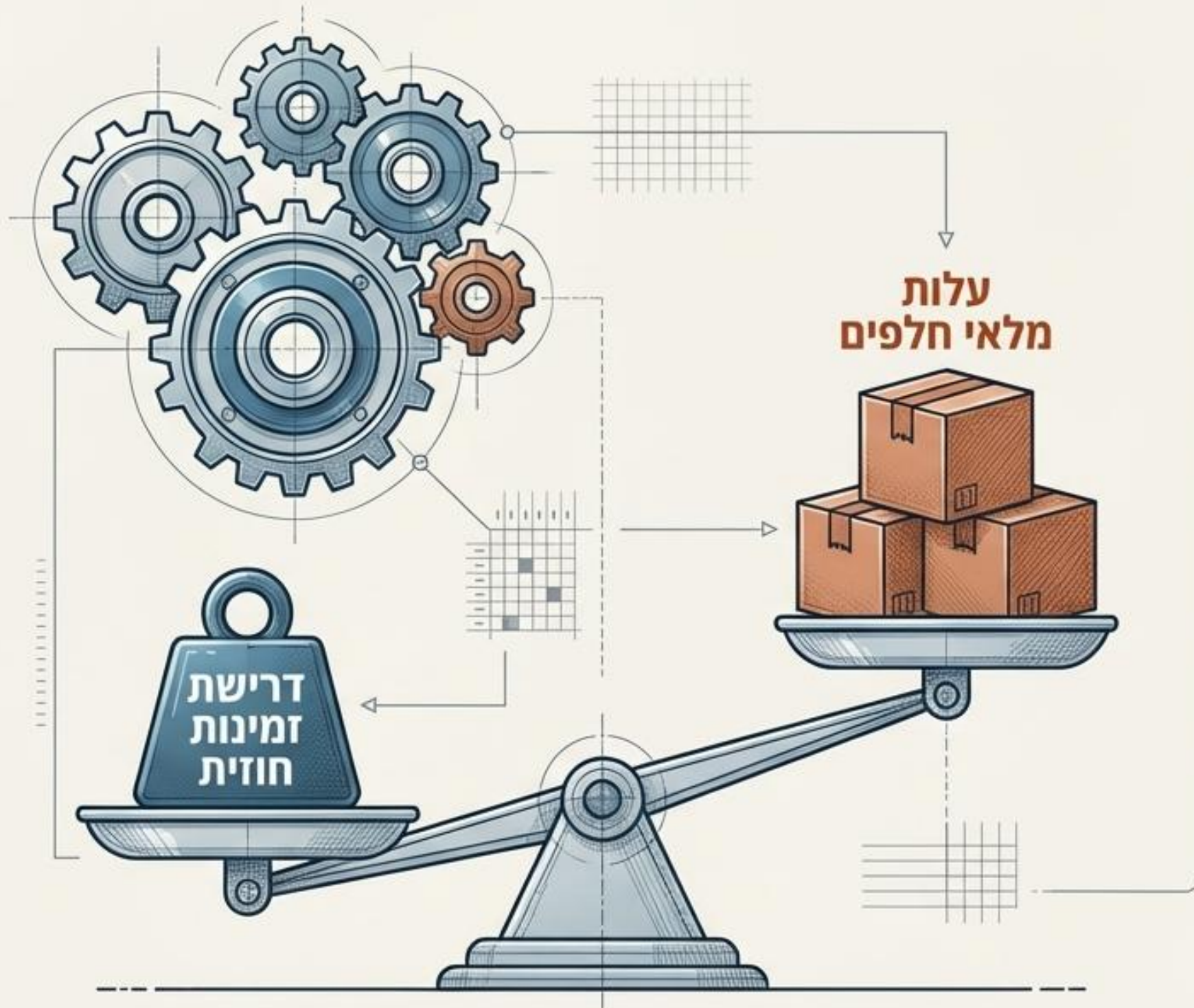
אבולוציית הסיכון: מנהל הפרויקט מתחיל כאיש עסקים (הגנה על ROI וחזקה), עובר לתפקיד אינטגרטור טכני (ניהול צוותים ו-GFE) (ניהול צוותים ו-GFE), ומסיים כקצין מבצעים (הבטחת שרידות המערכת בשטח).

תשתית התמיכה: ששת עמודי התווך של ה-ILS



אופטימיזציית חלפים: המשוואה בין זמינות לעלות

המטרה המערכתית: הגעה לזמינות המבצעית הנדרשת במינימום מחיר.



**חישוב מלאי (בכלים סטטיסטיים)
מחייב התחשבות ב:**

קצב תקלות צפוי
(נגזר מאמינות ופרופיל שימוש).

זמן סבב לתיקון
(TAT - נגזר מקונספט תחזוקה).

זמני אספקה ולוגיסטיקה
(שינוע ורגולציה).

הסיכון העסקי: אי-עמידה בזמינות (עקב אמינות נמוכה) תגרור קנסות או התחייבות לספק חלפים נוספים על חשבוננו.

סיכום: מהנדס המערכת המודרני

המעבר לתכן שלם: במרכז רוח, תפקיד ה-SE חורג הרבה מעבר לתכן הנדסי טהור.

שותפות גורל: הכרת הפעילות ההדדית בין ה-SE ל-PM היא קריטית – בלעדיה, הפרויקט חשוף לכשל מערכתי.

מדידה כנווט: הגדרת קריטריון ההצלחה מראש (מעבר לחוזה) היא המצפן של הפרויקט.



”הנדסת מערכת מנצחת היא לא רק תכן אופטימלי – היא שותפות עסקית, טכנולוגית וניהולית שמניעה את מרכז הרווח.

פרדוקס המצוינות ההנדסית



לחץ למצגת

ה-Airbus A380: הישג טכנולוגי מזהיר, וכישלון עסקי מהדהד. מצוינות הנדסית ללא היתכנות כלכלית מובילה לקריסת המוצר.

מילון מונחים וקיצורים: שפת המהנדס האסטרטגי

Strategic Control Panel

ניהול פרויקט ותכולה (Project Management & Scope)

Scope Creep (זליגת תכולה): הוספת דרישות ופונקציונליות בלתי מבוקרת השוחקת את רווחיות הפרויקט.

SOW (תכולת עבודה): מסמך חוזי המגדיר במדויק את גבולות הפיתוח והאספקות ללקוח.

PP&C (בקרה וניהול פרויקט): הפונקציה האחראית על תכנון, מעקב זמנים, משאבים ועלויות בפרויקט.

הנדסה ומחזור חיים (Engineering & Lifecycle)

LCC (עלות מחזור חיים): העלות הכוללת של המערכת לאורך חייה (פיתוח, ייצור, תפעול ותחזוקה).

SDLC (מודל פיתוח מערכת): מחזור החיים והשלבים של פיתוח מערכת והורדת סיכונים.

STE (הנדסת בדיקות): שילוב תפיסת בדיקות מקצה לקצה משלבי הפיתוח המוקדמים.

ILS (תמיכה לוגיסטית משולבת): תכנון תשתיות, מלאי חלפים ותחזוקה כדי להבטיח זמינות מבצעית.

BIT (בדיקה עצמית מובנית): מערכת דיאגנוסטיקה אינטגרלית בתוך ציוד הקצה.

ATE (צב"ד חיצוני): ציוד בדיקה אוטומטי חיצוני התומך המיועד לבדיקת המערכת בייצור או בתחזוקה.

פיננסי ואסטרטגי (Financial & Strategic)

CC (מרכז עלות): גוף בארגון הנמדד על עמידה בתקציב, איכות והתייעלות.

PC (מרכז רווח): גוף הנמדד על יצירת ערך, מקסום מכירות ורווחיות.

ROI (החזר השקעה): המדד הכלכלי לבחינת כדאיות הפיתוח אל מול העלות.

NRE (עלויות הנדסה חד-פעמיות): תקציב הפיתוח וההנדסה הנדרש לפני תחילת ייצור שוטף.

TTM (זמן הגעה לשוק): חלון ההזדמנויות התחרותי והזמן הנדרש לפידטה לפדרש לפיתוח המוצר.