



# הנדסת המערכת כשותף אסטרטגי

ממומחיות טכנית למנהיגות עסקית -  
עיצוב שורת הרווח של הארגון.

קניין של חיים נוטי - הנדסת מערכת וניהול פרויקטים.

## יסודות ואסטרטגיה

1. מהנדס המערכת כשותף אסטרטגי ומוביל עסקי.

2. קריטריוני הצלחה ואיזון בין ביצועים לעלות (נקודת נקודת העבודה).

## ניהול סיכונים וביצוע

5. סימולציה: יצירת ערך מול סיכונים.

4. הנדסת בדיקות (STE) ואופטימיזציה טכנית-מסחרית.

6. ניהול דרישות ככלי פיננסי למניעת כשלונות.

3. מודלים של ניהול פיתוח (SDLC) ופרדוקס הידע.

## מחזור חיים ומנהיגות

10. סיכום: מדידת הצלחה ומניעת מלכודת השלמות.

9. שלבי הפרויקט: ושיווק ועד לתחזוקה ושימוש מבצעי.

8. התפקיד העסקי של מהנדס המערכת וחשותפות בניהול הפרויקט.

10. סיכום: מדידת הצלחה ומניעת מלכודת השלמות.

# קריטריוני הצלחה עסקיים



**ציפיות הלקוח  $\neq$  עמידה בדרישות החוזה.  
מערכת 'מושלמת' מדי שורפת את שורת הרווח.**



# 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.

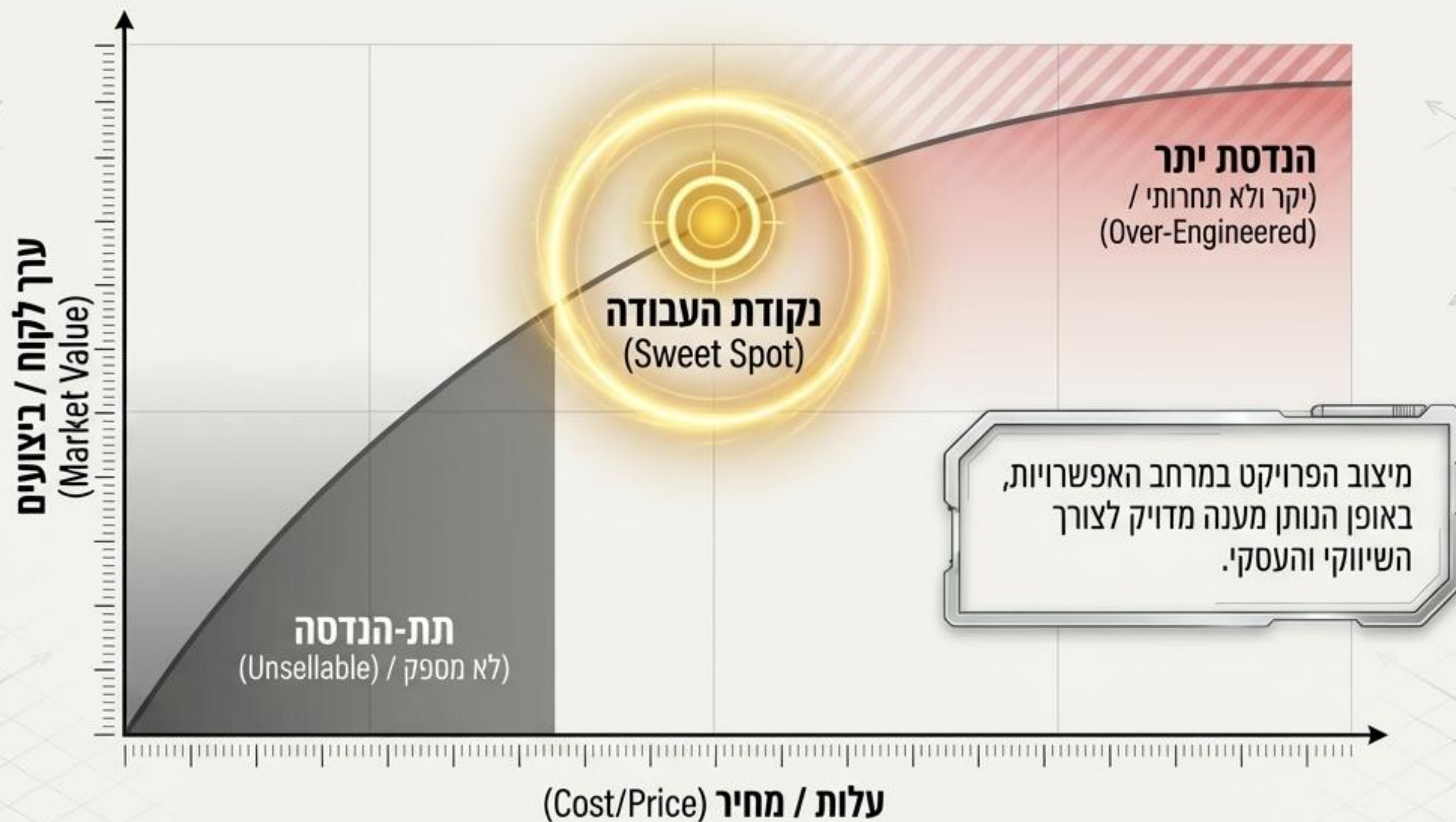


 **המהנדס האסטרטגי**

- ✓ 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.**

# 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.

# 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.

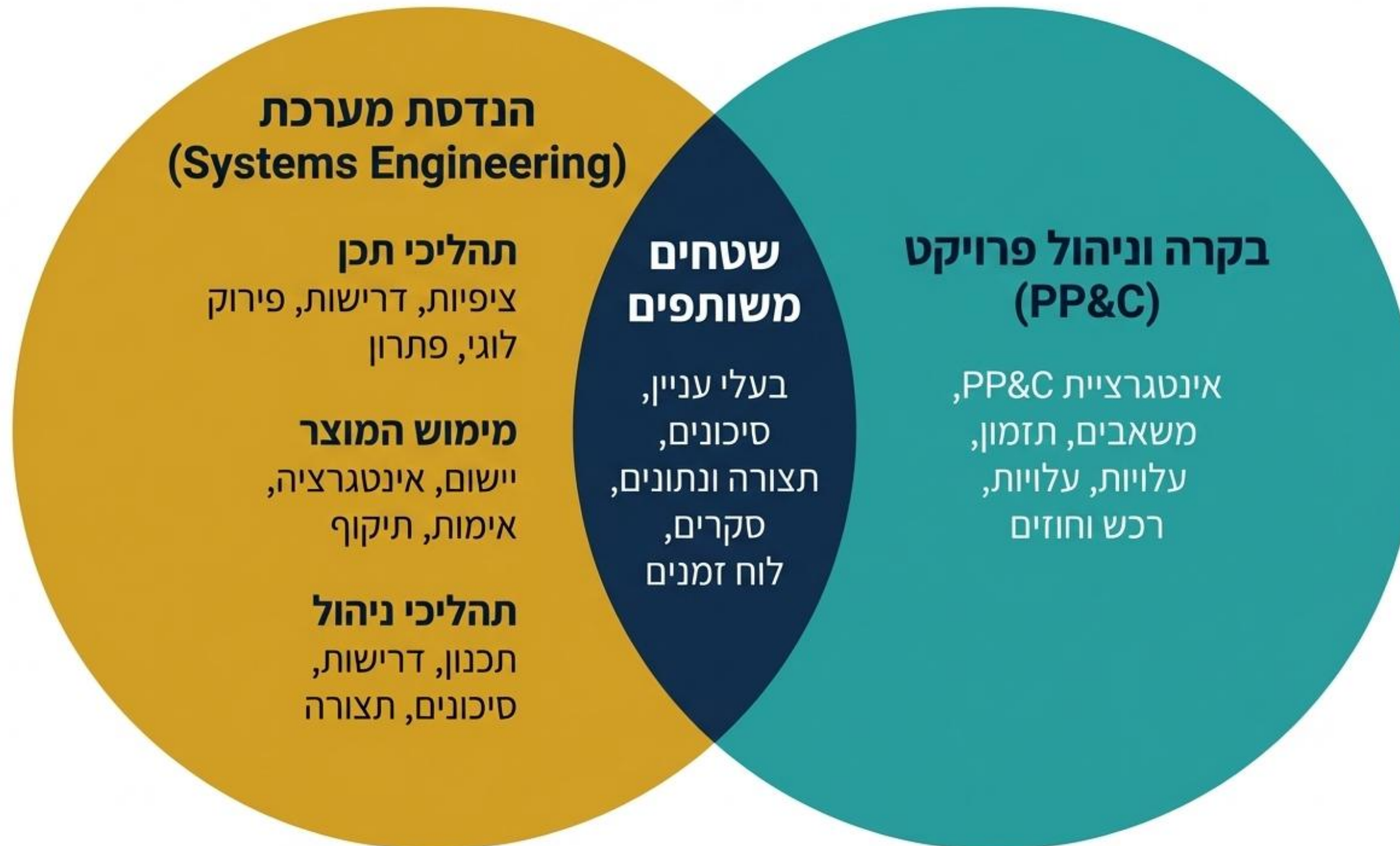
מהנדס המערכת **אינו** "קבלן ביצוע טכני", אלא חבר אורגני בצוות המעצב את הפרויקט עסקית וטכנולוגית מיומו הראשון.

# מעבר לתפיסה עסקית: מרכז רווח מול מרכז מרכז עלות

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

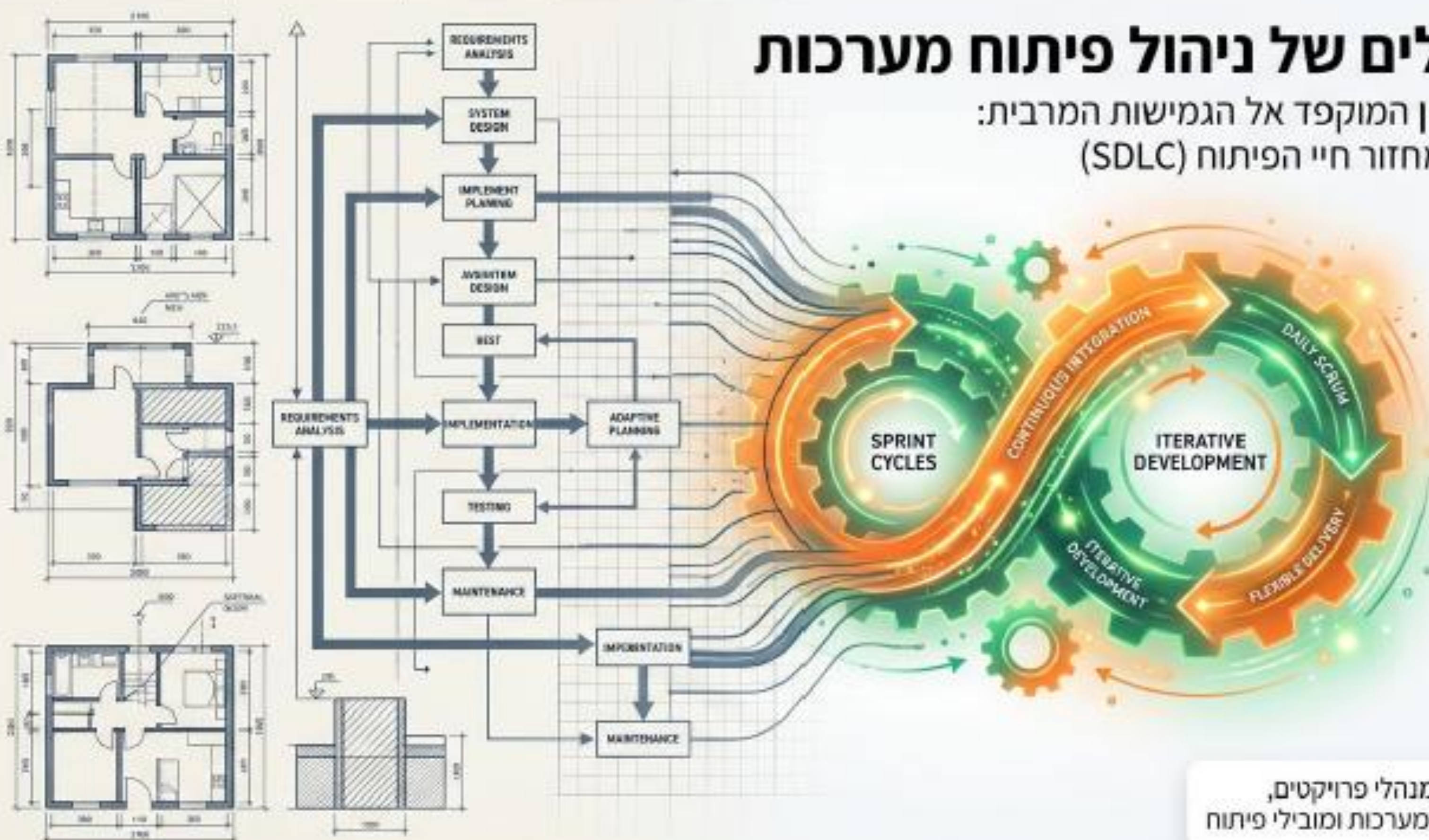
השוני המשמעותי ביותר בין המרכזים מתבטא בתפקידי הניהול ואופי הקשר עם הלקוח.

# מהנדס מערכת ומנהל הפרויקט תחומי חפיפה בפעילויות



# מודלים של ניהול פיתוח מערכות

מהתכנון המוקפד אל הגמישות המרבית:  
ניווט במחזור חיי הפיתוח (SDLC)



מיועד למנהלי פרויקטים,  
מהנדסי מערכות ומובילי פיתוח

# 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.

# Evaluation Framework

Standardized criteria for comparing SDLC methodologies.

## Requirements Approach



How the model handles initial specifications and adapting to requirement changes.

## Design & Implementation



The frequency, phasing, and overlap of the actual build process.

## Testing Strategy



When and how validation occurs—whether in a single phase, multiple levels, or continuously.

## Ideal Use Case



The specific project constraints, risk levels, and clarity prerequisites suited for the model.

# 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

# המדריך המעשי למנהל: 4 שלבים לבחירת מודל פיתוח מותאם אישית



# 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.

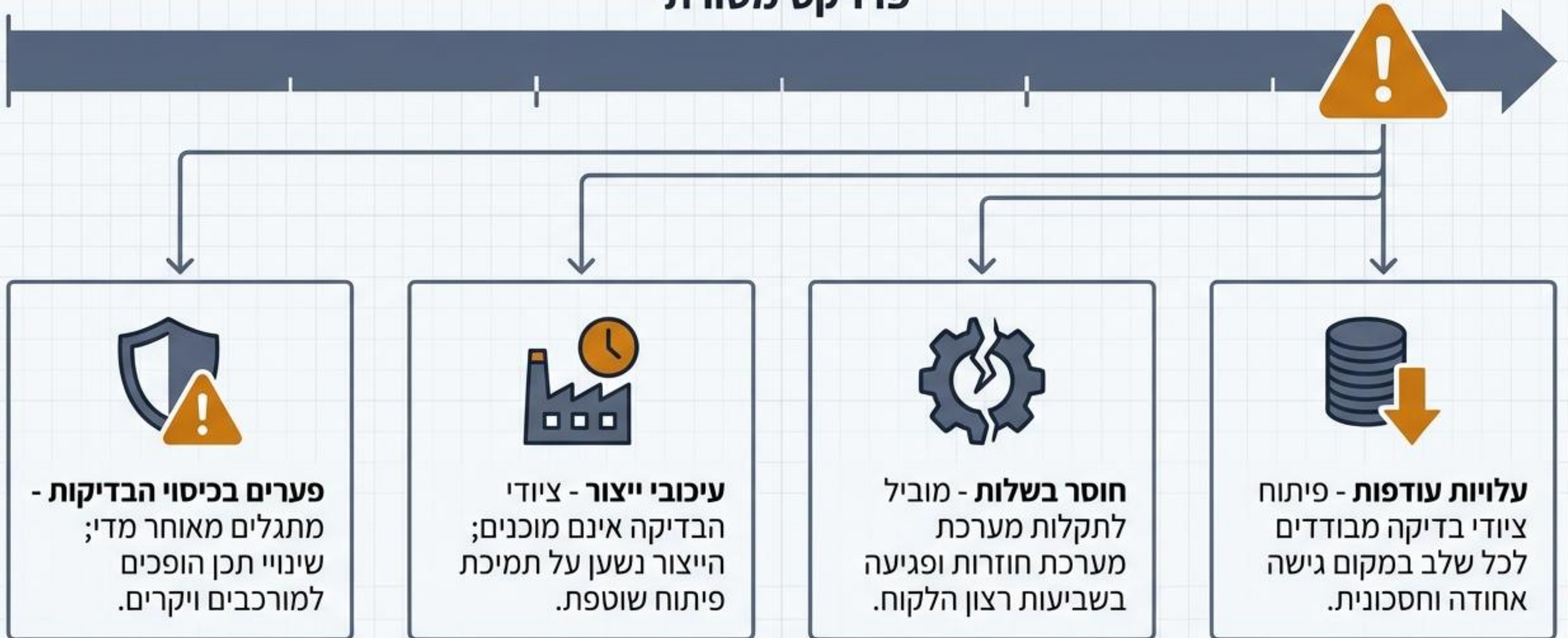


# שילוב מתודולוגיית הנדסת בדיקות בהנדסת המערכת של הפרויקט

אופטימיזציה טכנית ומסחרית  
משלב ההתנעה ועד לתפעול השוטף

# אתגר הבדיקות המסורתי

## 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

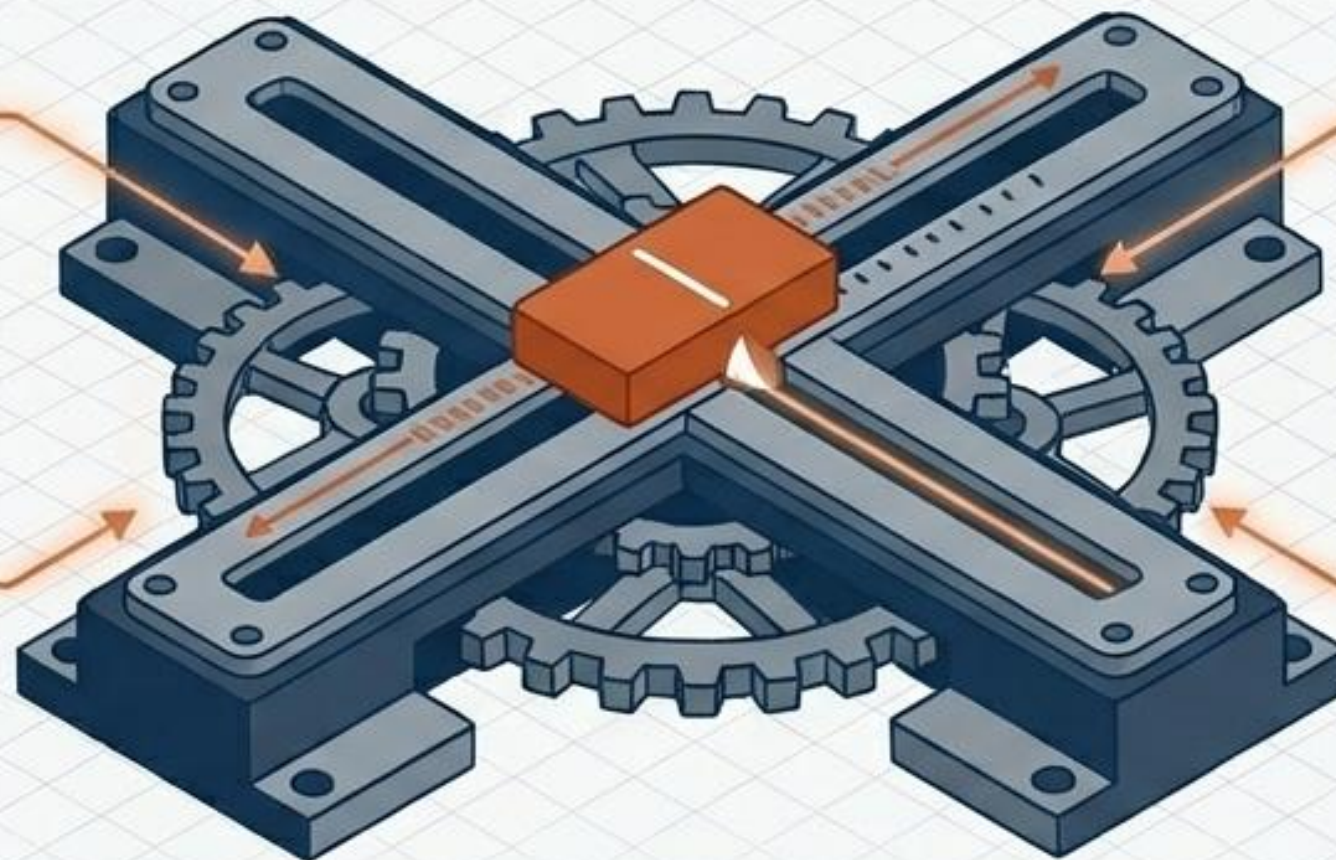
## בדיקה עצמית (BIT)

### 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:

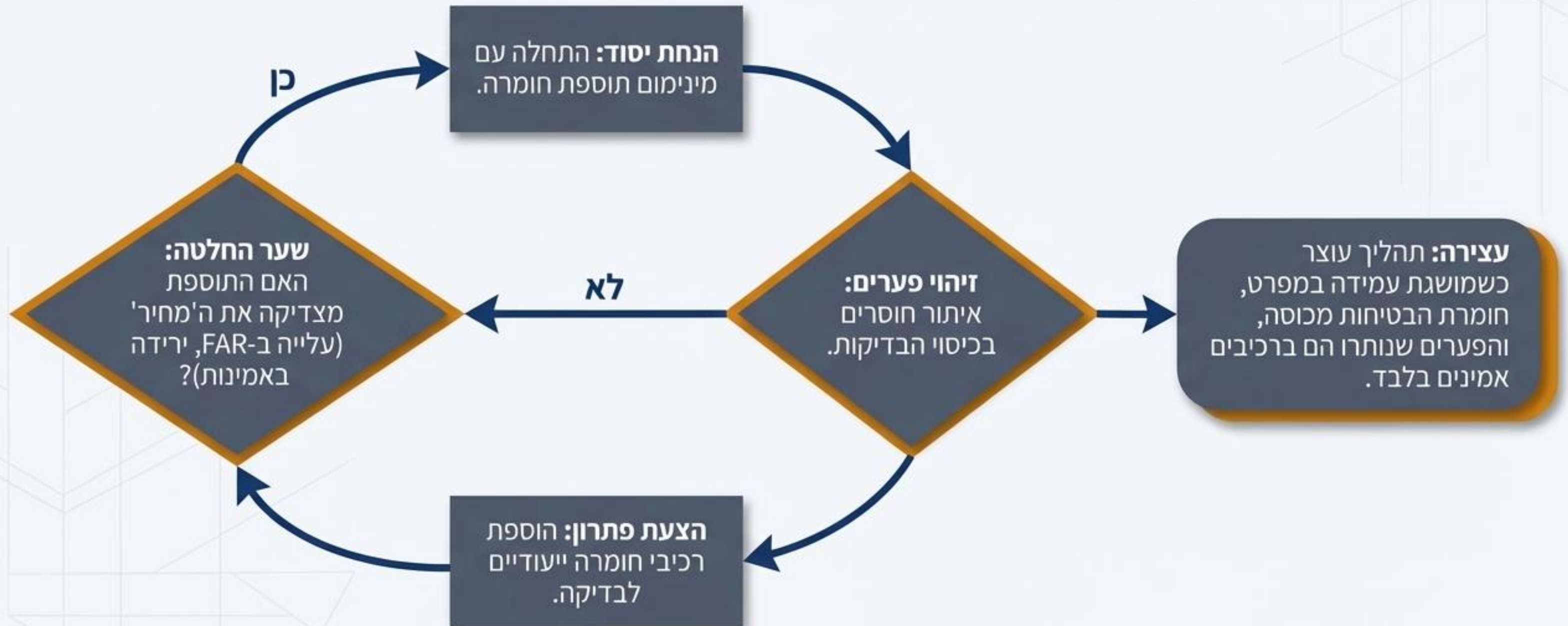
שמירה על חומרה מערכתית פשוטה וזולה יותר.

### סיכון (Trade-off):

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

# תהליך אופטימיזציית BIT

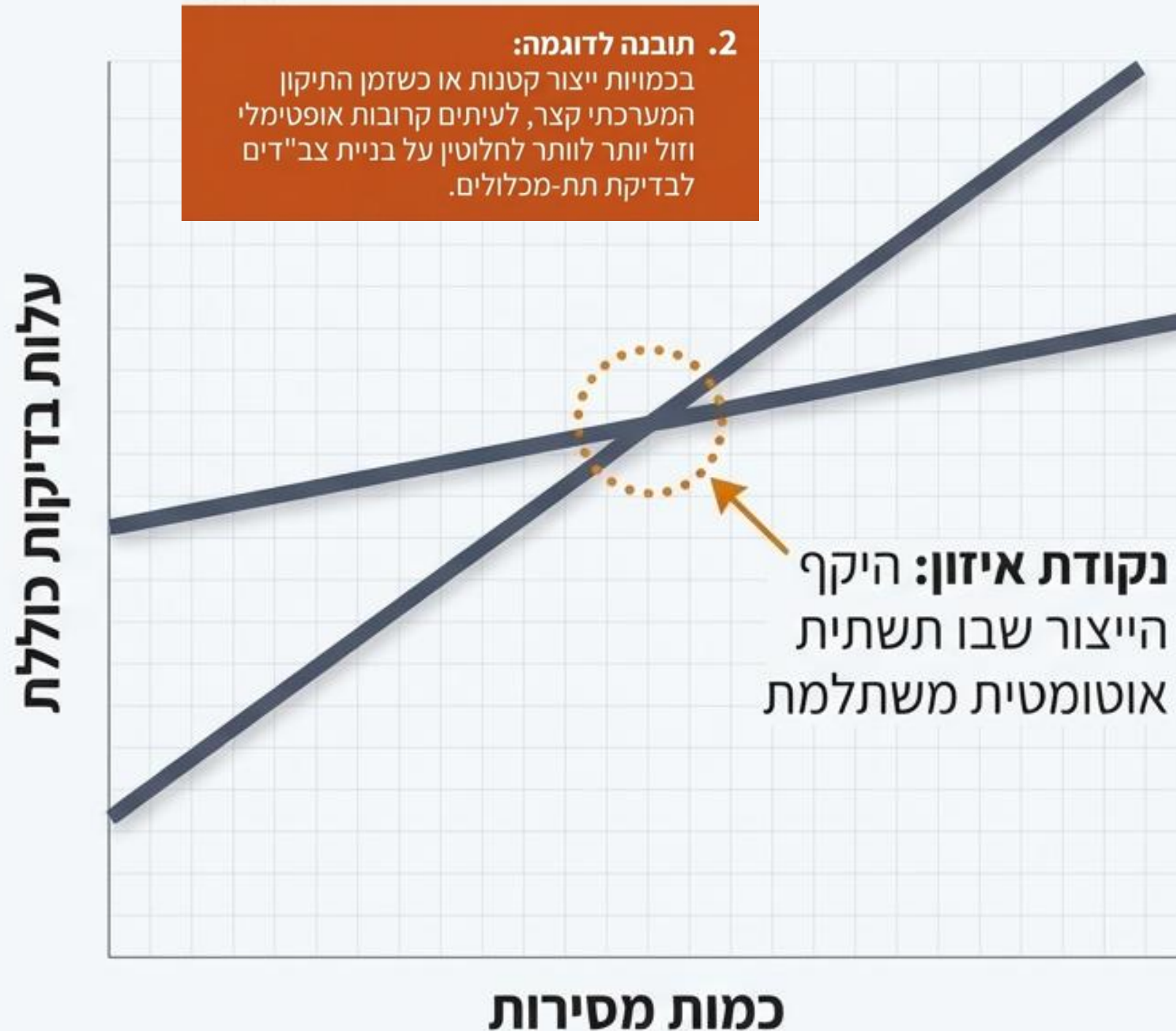
**מטרה:** מקסום כיסוי הבדיקות הפנימיות (BIT) תוך ניהול סיכונים הנדסיים.



# 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.



# סימולציה אסטרטגית בהנדסת בדיקות

ניהול סיכונים, החזר השקעה  
ומציאות הנדסית



# למה לסמלץ? (הצעת הערך)



## הורדת סיכוני בטיחות

בחינת תרחישים קריטיים שמוקדם או מסוכן מדי לבצע פיזית (לדוגמה: רהיטות הטלת חימוש).



## בדיקה מחוץ למעטפת

בחינת קצוות מעטפת ויציבות ללא סכנת 'קריסה' והרס המערכת הפיזית האמיתית.



## חיסכון עצום במשאבים

צמצום הצורך בניסויי טיסה יקרים, שימוש יקר במנהרות רוח, או שריפת זמן מנוע.



## דימוי מידע שאינו נגיש

הזנת נתונים שמערכת פיזית טרם פגשה (למשל: תמונות תחת לחות קיצונית, טיל מטרה).

# הסיכונים הסמויים: מתי סימולציה נכשלת?

סימולציה אינה פתרון קסם. היא דורשת ניהול סיכונים קפדני.

## אשליית הקירוב (False Conclusions)

הסקת מסקנות מוטעות הרות אסון עקב מודלים שגויים או הנחות קירוב שאינן מתקיימות במציאות הפיזיקלית.

## מורכבות ועלות הפיתוח

בניית סימולציה מדויקת דורשת לעיתים עלויות עתק, זמן פיתוח ארוך (שלא תמיד מסתדר עם גאנט הפרויקט), וצוותים ייעודיים.

## לולאת העדכונים האינסופית

סימולציה היא מוצר לכל דבר. כשהמערכת האמיתית מתעדכנת, הסימולציה דורשת עדכונים רצופים ועקיבות דרישות בלתי פוסקת.



# מטריצת ההחלטה: מתי נכון לסמלץ?



# מקרה בוחרן: נס על ההדסון

(RAF#19117871)

טיסת 1549 Airways ממריאה מניו יורק.

פגיעת ציפורים גורמת לאובדן דחף בשני המנועים בגובה נמוך.

הקברניט צ'סלי "סאלי" סאלנברגר מבצע נחיתת חירום מוצלחת על נהר ההדסון, ומציל את כל 155 הנוסעים.

**השאלה ההנדסית של החוקרים:  
האם ניתן היה לחזור לנחיתה  
בטוחה בשדה התעופה?**

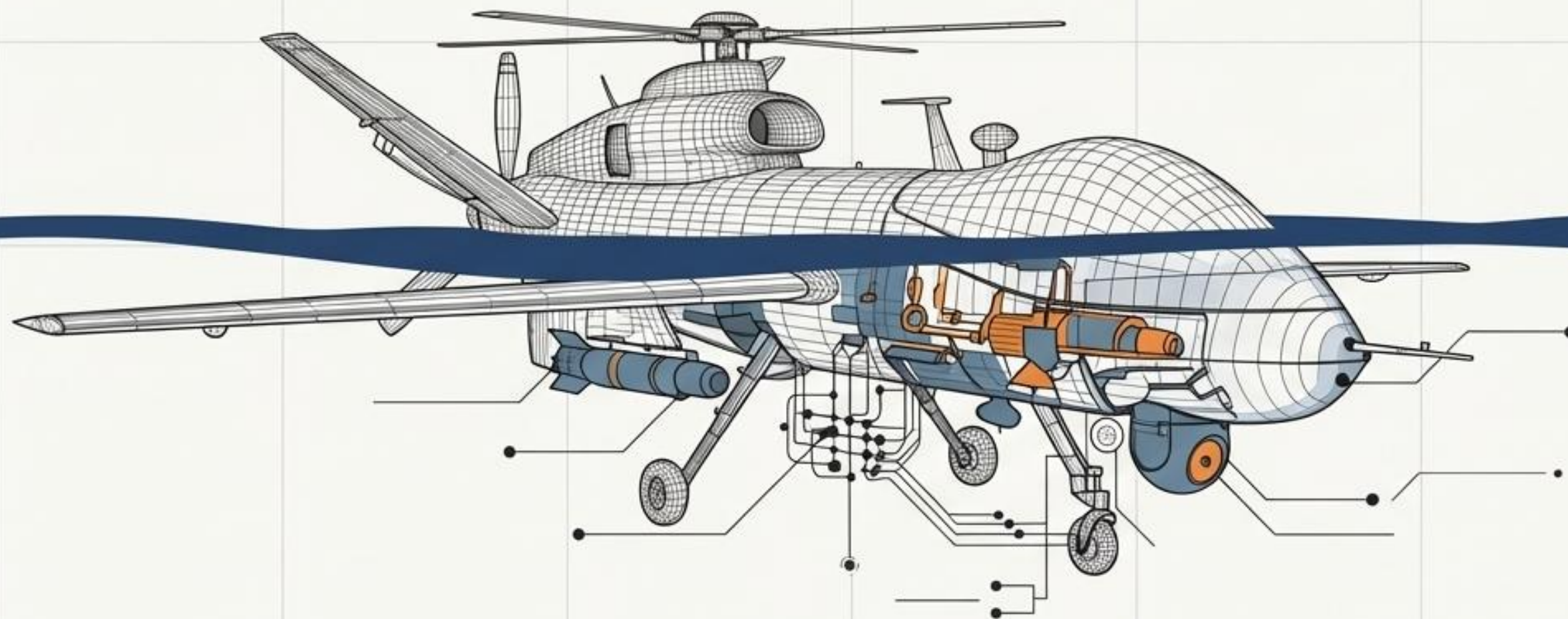
# לחץ לסרט

## **Factoring in the Human Changes the Math.**

When the NTSB investigators were forced to include the 35 seconds of human reaction time, every single virtual flight crashed into the city. The algorithms were technically perfect, but reality is deeply human. Sully's water landing was the only survivable option.

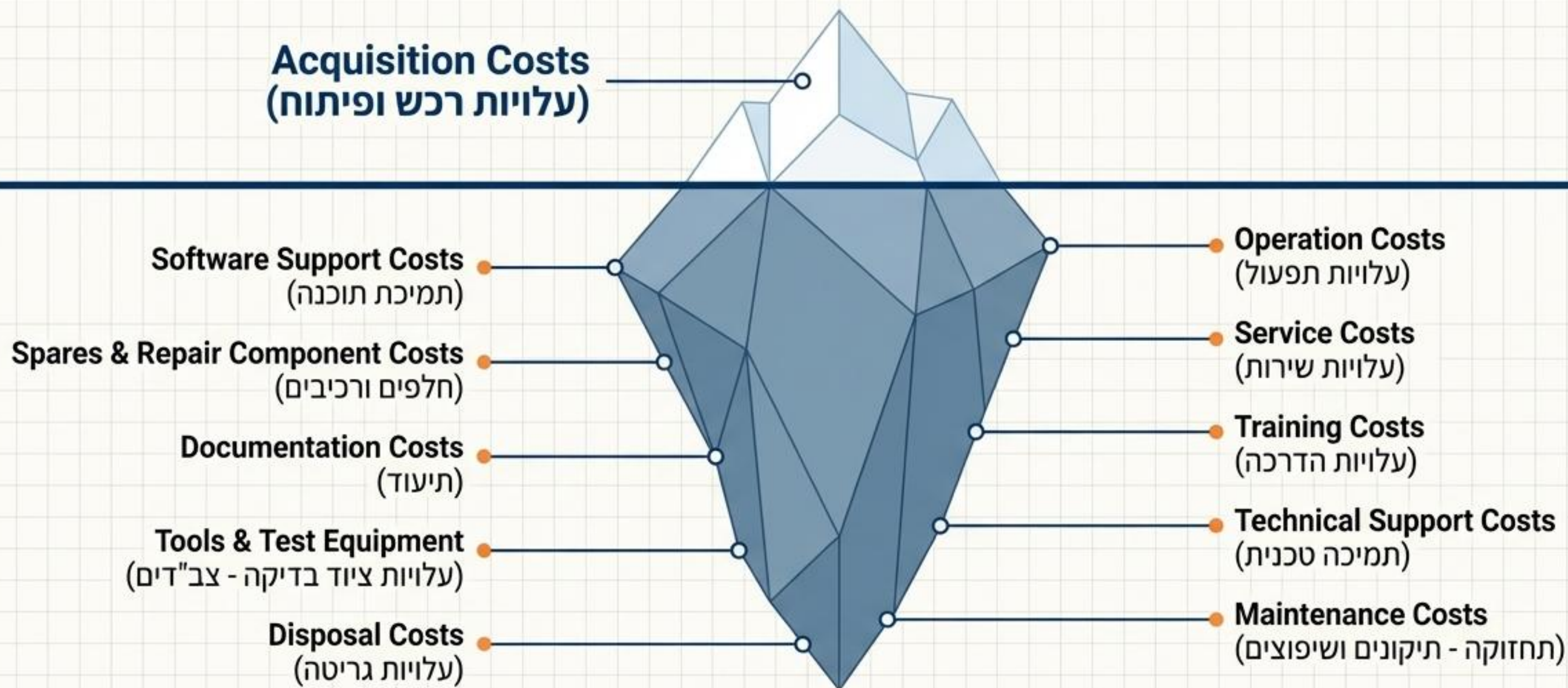
# תכנן למחזור חיים (DTLC)

הנדסת מערכת לאופטימיזציה של עלות בעלות



מיועד לדרג ניהולי, מהנדסי מערכת ומנהלי פרויקטים.

# הפיתוח והרכש הם רק קצה הקרחון



עלות מחזור החיים המלאה (LCC) חורגת משמעותית מתקציב הפיתוח ההתחלתי.

# 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).

# ניהול דרישות באספקת כללי

BALANCE SHEET			
ASSETS	דג"ש	LIABILITIES	חובות
Cash & Equivalents	\$1,500,000	Long-term Debt	\$750,000
Accounts Receivable	\$750,000	Long-term Debt	\$750,000
Esessment:	\$150,000	Capit in nent	
Conitornesses & (Dntekooe eotars)	\$1,000,000		
<b>TOTAL:</b>	<b>\$2,250,000</b>	<b>TOTAL:</b>	
<b>TOTAL ASSETS</b>	<b>\$2,250,000</b>		
		EQUITY	רעון
		Share Capital (Sammes anconeeoe)	
		Accounts Enviramaons	
		Share Capital	\$500,000
		Lecouns Receivable	\$750,000
		Long-term lbrn	\$750,000
		Accounts lberom	\$750,000
		Share Capital	\$350,000
<b>TOTAL:</b>	<b>\$2,250,000</b>	<b>TOTAL:</b>	<b>\$2,250,000</b>

# 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).

# השטח המת של ההנהלה: פרדוקס הדרישות

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



נזק תקציבי עצום, כישלון יעדים וקונצנזוס מקצועי שחובה להשתפר.

**זהו הפרדוקס:** למרות שניהול דרישות לקוי הוא הגורם המרכזי לדימום תקציבי, רוב מתייחסים אליו כמטלה טכנית. הבעיה אינה חוסר ידע, אלא עיוורון ניהולי.

# Why We Need to Manage Requirements

According to PMI's *Pulse of the Profession*<sup>®</sup> (2014) study, poor requirements management is the second most common reason for project failure. In addition, 87% of organizations surveyed recognized that improvement is needed. Nevertheless, as important as requirements management is, the study also found that:

- Only 49% of organizations have the resources in place to do requirements management properly.
- Only one-third of organizations' leaders value requirements management as a critical competency.
- Only 47% of organizations have a formal process to validate requirements.
- 51% of project and program dollars are wasted due to poor requirements management.
- 47% of unmet project goals were due to poor requirements management.

הפסד כספי  
כתוצאה מניהול  
דרישות לקוי

ורוב המנהלים  
לא מחשיבים את  
נושא ניהול  
הדרישות כגורם  
קריטי וחשוב

למרות זאת רוב  
החברות לא  
מנהלות דרישות  
בצורה טובה

# 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.**

# העלות הנסתרת של ניהול דרישות לקוי



מהתקציבים המבוזבזים  
בפרויקטים נובעים  
מניהול דרישות לקוי.  
(PMI)

51%

ניהול דרישות קפדני =  
צמצום NRE ומקסום רווח.

# להסתכל דרך החור של הגרוש: המשמעות הכלכלית

מדוע ניהול דרישות נוקשה וניהול סיכונים הם כלי כלכלי קריטי?



# ניהול דרישות קפדני = צמצום NRE ומקסום רווח.

---

ניהול דרישות אינו שלב בפיתוח. הוא המנגנון הפיננסי הראשון  
והחשוב ביותר הקובע אם הפרויקט ירוויח או יפסיד.

# 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.

# זרקור מסחרי: ייזום, שיווק ומשא ומתן

השלבים בהם המערכת מתורגמת לכסף ולסיכון משפטי

## שלב 1 - ייזום והגדרת צורך

### פעילויות:

- הגדרת 'נקודת עבודה', ביצוע תהליכי QFD, פיתוח אב-טיפוס.

### סיכונים והפחתה:

- חוסר כדאיות עסקית (ROI), נקודת עבודה לא נכונה.
- **הפתרון:** סקר שוק ותוכנית עסקית מקיפה מוקדמת.

## שלב 2 - שיווק ומשא ומתן

### פעילויות:

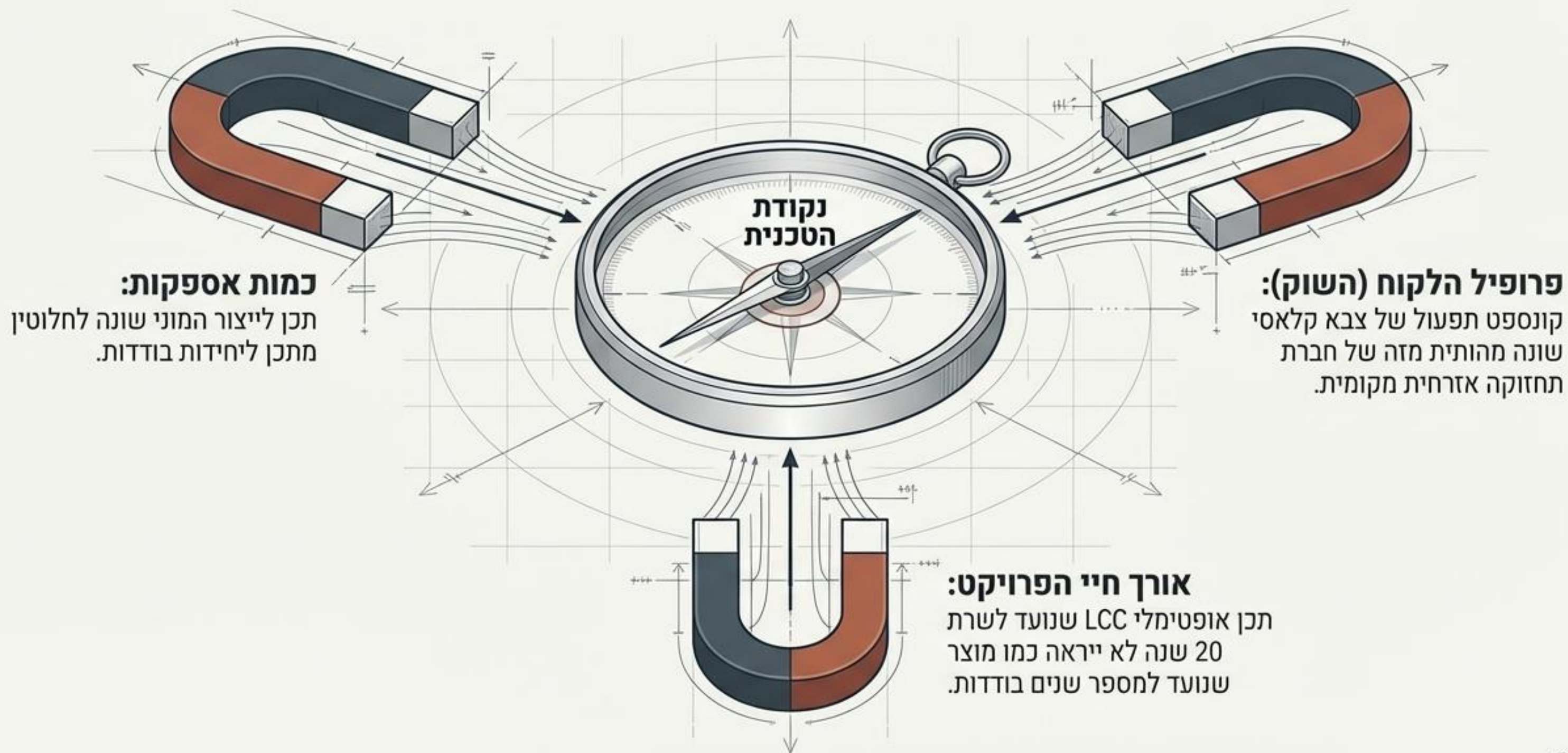
- מענה למכרזים (RFI/RFP), תמחור קפדני והגדרת יעדי עלות (NRE-RE-1).

### סיכונים והפחתה:

- תכולות עבודה לא ברורות (SOW), תמחור יתר/חסר, קונפליקט בין שיווק להנדסה.

# ההקשר העסקי מנתיב את הפיזיקה של המוצר

החלטות 'טכניות' טהורות אינן קיימות בחלל ריק; הן נגזרות מהתכנית העסקית:



# השפעת התוכנית העסקית על נקודת העבודה הטכנית

אילוץ השוק מכתיבים את התכן המערכתי האופטימלי

**אז ההחלטה:**  
אסטרטגיית הייצור, אוטומציית  
הצב"דים ורמת האינטגרציה משתנות  
לחלוטין.

**אם התרחיש:**  
כמות האספקות - ייצור של יחידות  
בודדות מול סדרות ייצור ענקיות.

**אז ההחלטה:**  
קונספט התחזוקה (LRI/SRI) וזמני  
הסבב לתיקון מתעצבים מחדש.

**אם התרחיש:**  
שוק היעד - לקוח עם דרגי תחזוקה  
עצמאיים מול תלות מוחלטת בחברת  
תחזוקה מקומית.

**אז ההחלטה:** חישובי כדאיות ההשקעה  
באמינות (RE) ואסטרטגיית ניהול המלאי  
(מניעת קנסות) מתהפכים.

**אם התרחיש: תקופת הפרויקט -**  
אופק מבצעי של 20 שנה מול אופק  
קצר של שנים בודדות.

# הקונפליקט המובנה: הנדסה מול שיווק

התנגשות הכרחית בין שתי פריזמות של ערך

## זווית השיווק



**תחרותיות, עמידה ביעדי מחיר אגרסיביים, התמקדות בחווית לקוח, והיכרות עם רגולציות ודרישות של לקוחות בחו"ל.**

## זווית המהנדס



**שמרנות, ניהול סיכונים מוקפד, שאיפה לשלמות טכנולוגית, והיכרות אינטימית עם צרכי צה"ל (הלקוח המקומי).**

**הקונפליקט המובנה**

# מילון מונחים: כששיווק והנדסה מנסים לתקשר

השפה השונה היא מקור לסיכון פרויקטלי - המהנדס נדרש לגשר על הפער:

## מהנדס אומר:

יש פה סיכון תכניתי  
משמעותי.

זה בלתי אפשרי  
פיזיקלית לחלוטין.

## פילטר שפה

## שיווק שומע:

אנחנו רק צריכים לעשות  
קצת עבודת פיתוח.

יש פה המון עבודה,  
אבל בסוף תסתדרו.

# היחסים בין מנהל השיווק למהנדס המערכת



# הדילמה העסקית: המעבר ממדגים טכנולוגי (Demonstrator) למוצר

**הגדרה:** "מדגים" הוא תוצר ביניים טרם פיתוח מלא (FSD).

מוצר סופי (Final Product)	מדגים (Demonstrator)
	<p data-bbox="2302 802 3058 915"><b>מטרות עסקיות למדגים:</b></p> <ol data-bbox="1725 953 3058 1262" style="list-style-type: none"><li>1. הוכחת יכולת לצורכי שיווק.</li><li>2. הורדת סיכונים טכנולוגיים לפני השקעת עתק.</li><li>3. ניצחון בתחרות לקוח ממומנת או עצמאית.</li></ol>

**שאלת המפתח: "מה מידת הדמיון ההנדסי הנדרשת בין המדגים למוצר הסופי?"**  
החלטה שגויה של מהנדס המערכת תוביל להשקעה מבוזבזת ולפגיעה ב-ROI של החברה.

# האילוצים המעצבים את גבולות הגזרה של המדגים



החלטה זו מתקבלת  
**בצוות משימה (IPT)**  
המשלב שיווק,  
הנדסה וכלכלה כדי  
למנוע הנדסת יתר של  
תוצר ביניים.



**תקציב המדגים**  
(כנגזרת מהתקציב הסופי של  
הפרויקט)

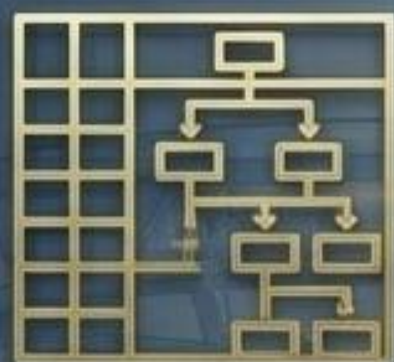
**לוח הזמנים המוקצב ליציאה**  
(Time-to-Market) לשוק

**הגדרת תכולות מינימליות (MVP)**  
להוכחת היתכנות מוצלחת

פוטנציאל למימון המשך פיתוח  
על ידי הלקוח בעקבות  
ההדגמה

# שלב 3: התנעה (Kickoff) ותרגום פשרות חוזיות למציאות

תוכניות עבודה  
הנדסיות  
(SOW/WBS)



מסמכי חוזה  
ומו"מ

**עדכון נקודת העבודה:** התאמת מפרט הדרישות ההנדסי **לפשרות העסקיות** שהתקבלו ברגע האחרון של המשא ומתן מול הלקוח.

**הגדרת תכולות עבודה (SOW):** כתיבת מסמכי עבודה מדויקים ונוקשים לקבלני משנה ולגופי עלות פנימיים כדי למנוע חריגות תקציב עתידיות.

**סנכרון סיכונים:** הטמעת תוכנית ניהול הסיכונים (ופעולות ההפחתה) אל תוך תוכנית העבודה הכוללת והתקציב.

# שלב 4: ביצוע - בלימת "זחילת תכולות" והנדסה משולבת

## ניהול דרישות עסקי:

טיפול מיידי בדרישות עמומות בחוזה המהוות פתח להפסד כספי. כל הוספת דרישה על ידי הלקוח מחייבת תגמול נגדי (כספי או כהטבה בניהול הפרויקט / אישור אבני דרך).

**הנדסה משולבת (Concurrent Engineering):**  
שילוב דרישות ייצור ותחזוקה מוקדם ככל האפשר בתכנ.

שילוב מוקדם של "הנדסת בדיקות" כדי למנוע עלויות כבדות של שכתוב קוד או שינויי חומרה בשלבי הייצור.

ניהול דרישות  
עסקי קשיח



# שלבים 5-6: סגירה, מעבר לייצור ותחזוקה מניבה (SAS)



## תחזוקה ושימוש מבצעי:

בניית תוכניות שדרוגים מניבות רווח (Up-sales).  
איסוף דאטה מתקלות ראשונות כדי להוזיל ייצור מוצרי המשך.

מתן תמיכה טכנית חוזית שמייצרת לחברה הכנסות יציבות לאורך עשרות שנות שימוש.

## סיום והעברה לייצור:

העברה מסודרת ואלגנטית לפסי הייצור.  
ניהול קפדני של תצורת תקלות (MRB) כדי למנוע פחת כלכלי.

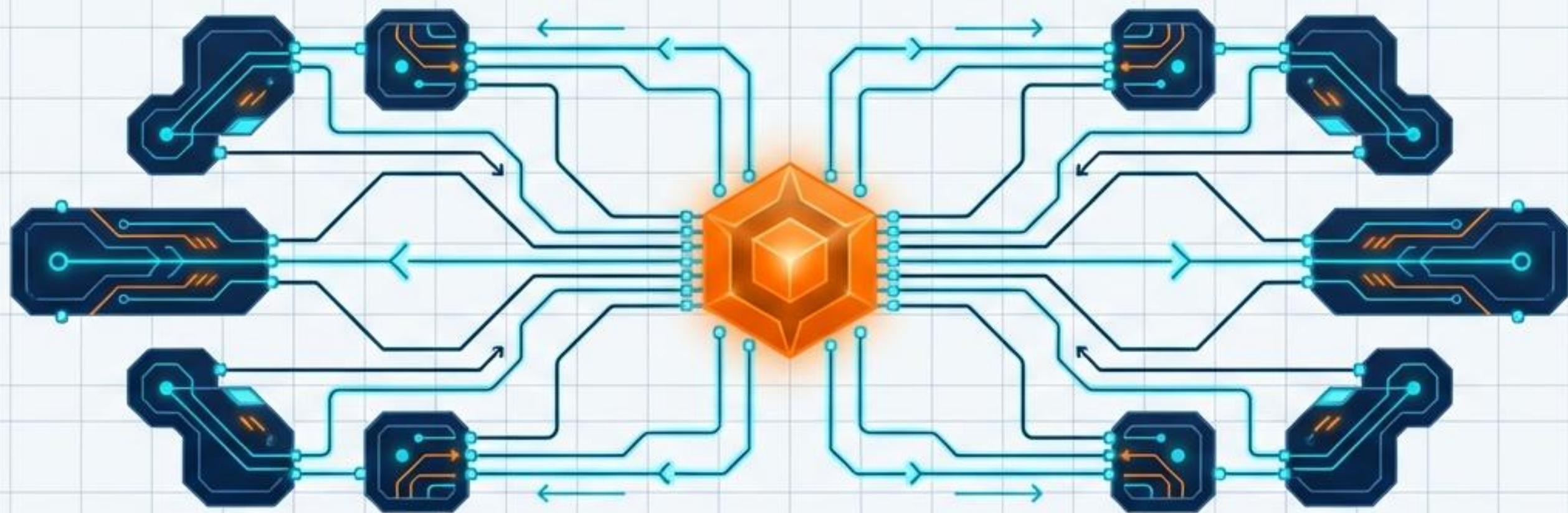
# גרף התפתחות הסיכונים



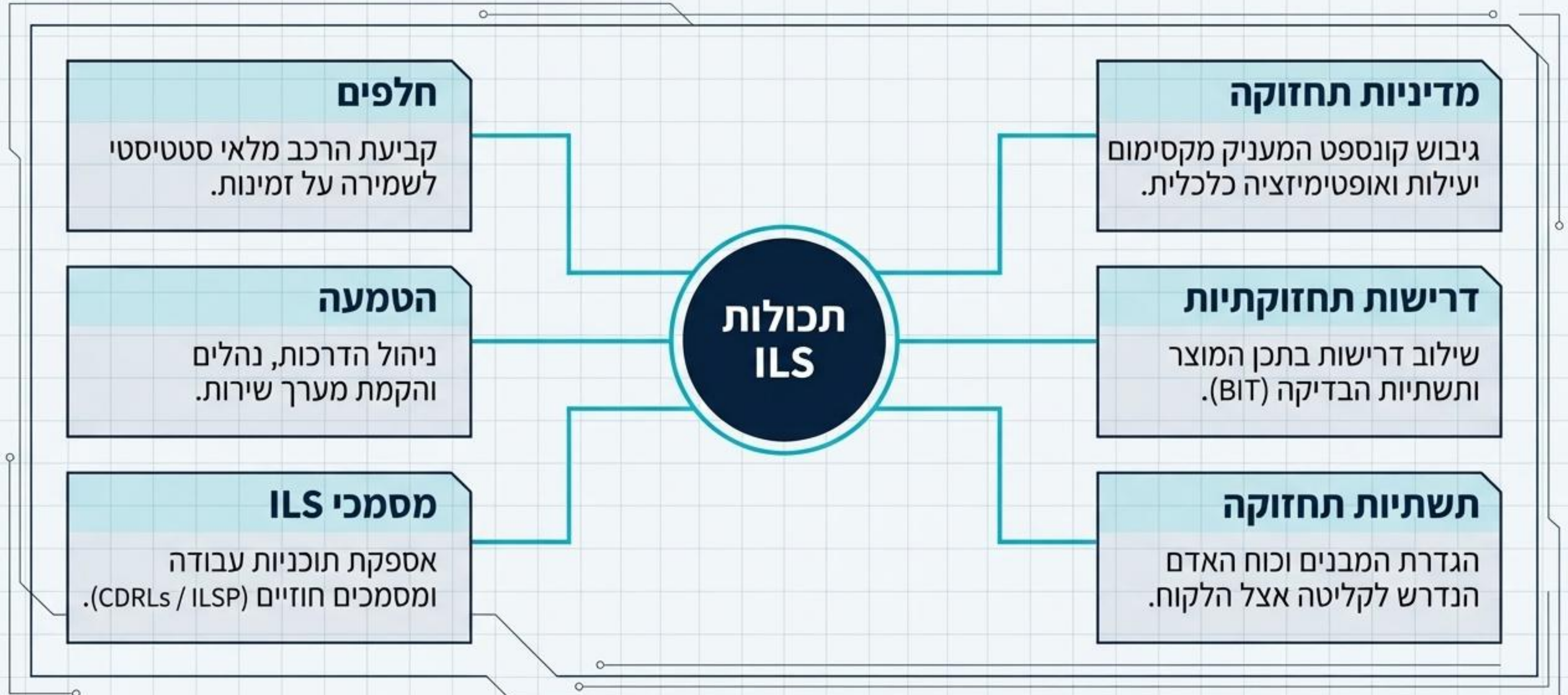
אבולוציית הסיכון: מנהל הפרויקט מתחיל כאיש עסקים (הגנה על ROI וחזקה), עובר לתפקיד אינטגרטור טכני (ניהול צוותים ו-GFE) (ניהול צוותים ו-GFE), ומסיים כקצין מבצעים (הבטחת שרידות המערכת בשטח).

# מהנדס המערכת בפעילויות ILS בפרויקט

שילוב תחזוקתיות, אופטימיזציית עלויות והנדסת מערכת



# תשתית התמיכה: ששת עמודי התווך של ה-ILS



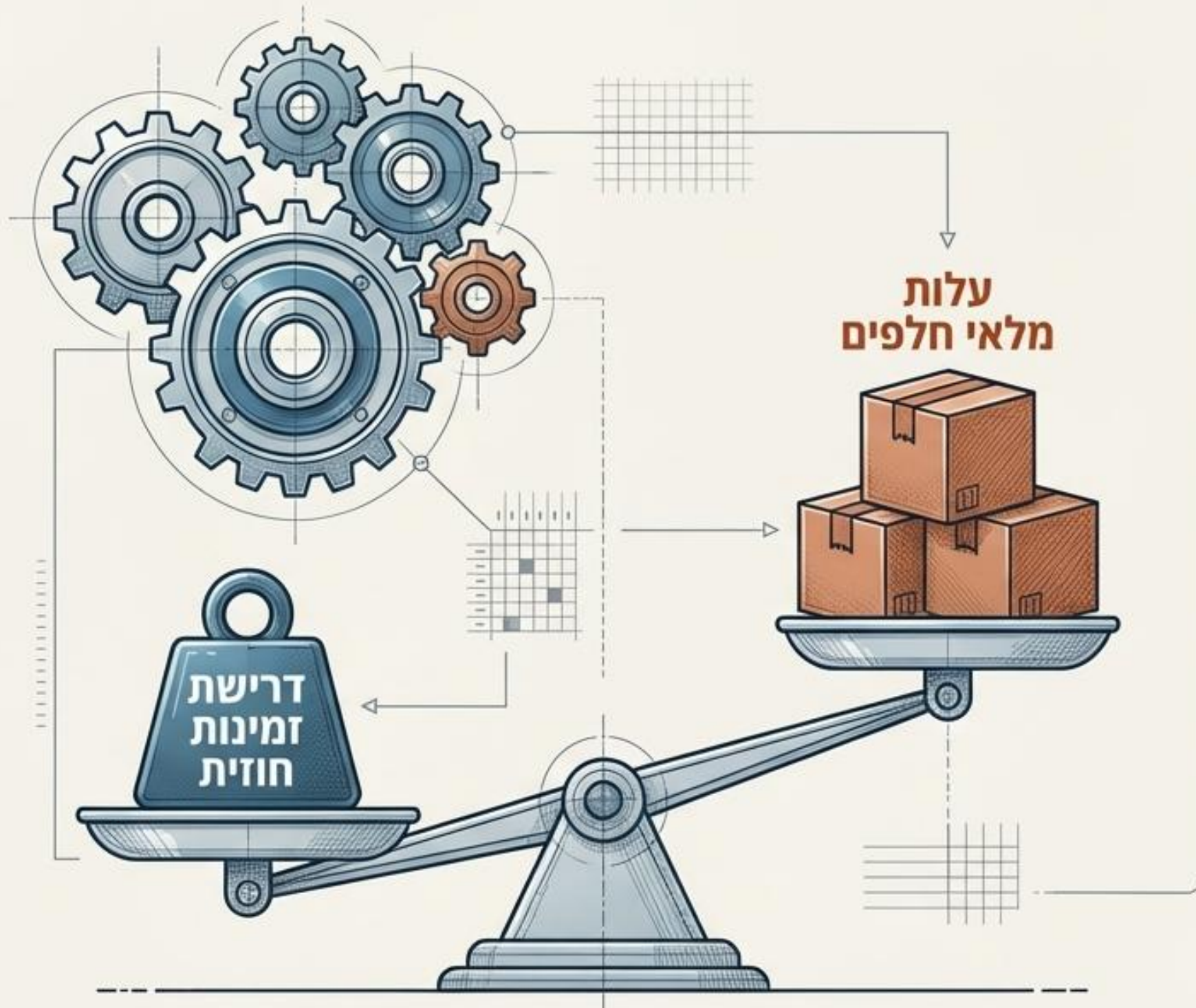
# אתגרים אסטרטגיים בניהול התחזוקתיות

## Diagnostic Panel



# 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: תחזוקתיות כיעד עסקי והנדסי כאחד

התחזוקתיות חייבת להיות משולבת  
בהנדסת המערכת החל משלב  
המו"מ ועד לגריטת המוצר.

## הצלחה שיווקית

זמינות מבצעית גבוהה וניהול תקלות  
יעיל מובילים לשביעות רצון מקסימלית  
של הלקוח ולמעמד של "לקוח חוזר".

## הצלחה פיננסית

שליטה ובקרה אופטימלית על עלויות  
מחזור החיים (LCC).




# מדידת הצלחה: תהליכים מול תוצאות

מדוע למדוד? סגירת חוג (Closing the loop) בזמן אמת, כיוון ומיקוד הצוות, והסקת מסקנות לעתיד.



## מדדי תוצאה (Result Metrics)

 **ROI**  
(תכנית עסקית)

 **רווחיות ומכירות**

 **עמידה בלו"ז ובביצועים**

 **עלות מחזור חיים (LCC)**

 **שביעות רצון לקוח**



## מדדי תהליך (Process Metrics)



 **ניהול דרישות**

 **ניהול סיכונים**

 **ביצוע סקרי תכן**

# שורת הרווח כקריטריון ההצלחה האולטימטיבי



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



# סיכום: המהנדס כמנהל טכני-עסקי



הכוח האמיתי של מהנדס המערכת אינו נמדד רק בבניית המערכת המושלמת טכנית, אלא ביצירת נכס עסקי רווחי, ישים ומוצלח עבור הארגון.

# 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 בזבז.

**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."

# 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.**

# אבן הרוזטה: המילון למהנדס המערכת האסטרטגי

## כלכלה ועסקים (Financials)

**LCC (עלות מחזור חיים):**  
ראייה כוללת של כלל עלויות  
המערכת המערכת משלב  
הפיתוח ועד גריטה.

**NRE (תקציב פיתוח):**  
עלויות המחקר, ההנדסה  
וההקמה החד-פעמיות לפני  
מעבר לייצור המוני.

**ROI (החזר השקעה):**  
המדד הפיננסי הקריטי לבחינת  
כדאיות הפרויקט.

**TTM (זמן הגעה לשוק):**  
הזמן הנדרש משלב הייזום  
ועד להשקת המוצר בשוק  
תחרותי.

## ניהול ותהליכים (Processes)

**SDLC (מחזור חיי פיתוח):**  
מודלים אסטרטגיים לניהול  
שלבי הפיתוח (מפל מים,  
Agile וכו').

**SOW (תכולת עבודה):**  
המסמך המשפטי המגדיר  
במדויק את גבולות הגזרה של  
הפרויקט.

**WBS (מבנה תכולת עבודה):**  
פירוק היררכי הנדסי של  
המערכת לתוצרים בני-ביצוע.

**SAS (שימוש מבצעי):**  
שלב הסיום והמעבר מתצורת  
פיתוח לייצור סדרתי ולתחזוקה  
מניבה.

## הנדסה ובדיקות (Engineering)

**STE (הנדסת בדיקות):**  
תכנון תהליכי הבדיקות בראייה  
אסטרטגית משלבי הפרויקט  
הפרויקט המוקדמים.

**BIT (בדיקה עצמית):**  
יכולות דיאגנוסטיקה ואיתור  
תקלות המובנות אוטונומית  
בתוך המערכת.

**ATE (ציוד בדיקה אוטומטי):**  
מערכות ציוד חיצוני מורכב הנדרש  
לבדיקת המערכת הראשית.

**V&V (אימות ותיקוף):** תהליכי  
תבחינה הקפדניים המוודאים  
שהמערכת עומדת בדרישות  
ופותרת את הבעיה בגינה פותחה.

## אופטימיזציה ואסטרטגיה (Strategy)

**DTLC (תכן למחזור חיים):**  
פילוסופיית תכנון המתעדפת  
המתעדפת אופטימיזציה של  
הוצאות לאורך כל חיי המוצר.

**ILS (תמיכה לוגיסטית):**  
שילוב שיקולי אחזקה, מלאי,  
רמות דרג וחלפים כבר בשלב  
תכן המערכת.

**TRL (רמת בשלות טכנולוגית):**  
מערכת דירוג להערכת רמת  
הסיכון והידע הקיים בטכנולוגיות  
המרכיבות את המערכת.

**MVP (מוצר מינימלי):**  
הגדרת התכולה הרזה ביותר  
שמאפשרת הוכחת היתכנות  
היתכנות וחדירה מהירה לשוק.