

יום עיון בנושא  
**הנדסת מערכות**  
**2005**

---

לזכרו של די"ר יוסף לוי

# הנדסת מערכת עבור משפחה של פרויקטים

## System Engineering for A Family of Projects

## נושאי ההרצאה

✓ פירוש ופירוט שם ההרצאה (מוצר, משפחה)

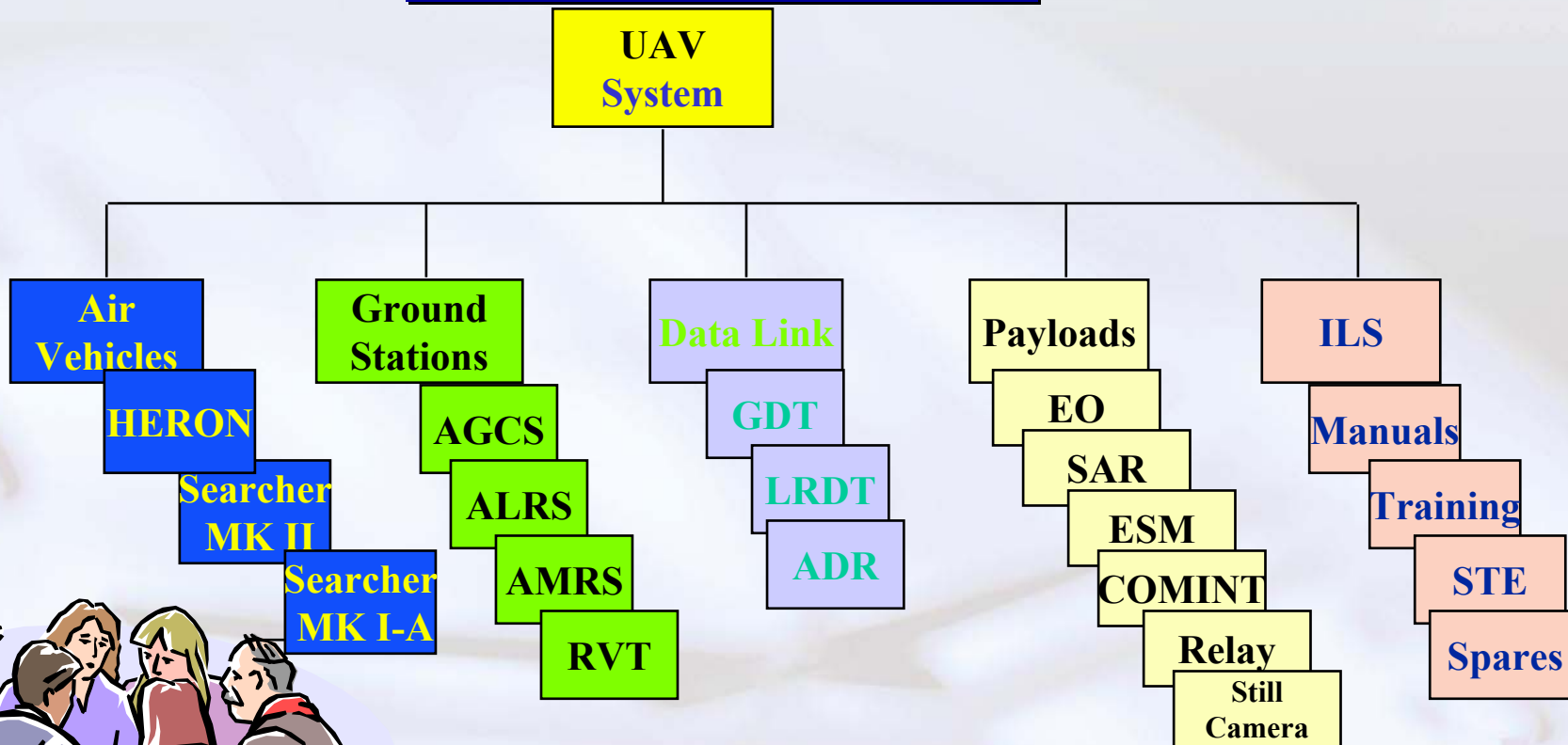
✓ מהות הבעיה

✓ הפתרונות

הנושאים מבוססים על ניסיון מעשי של עבודה  
שמתבצעת בשנים האחרונות במפעל .



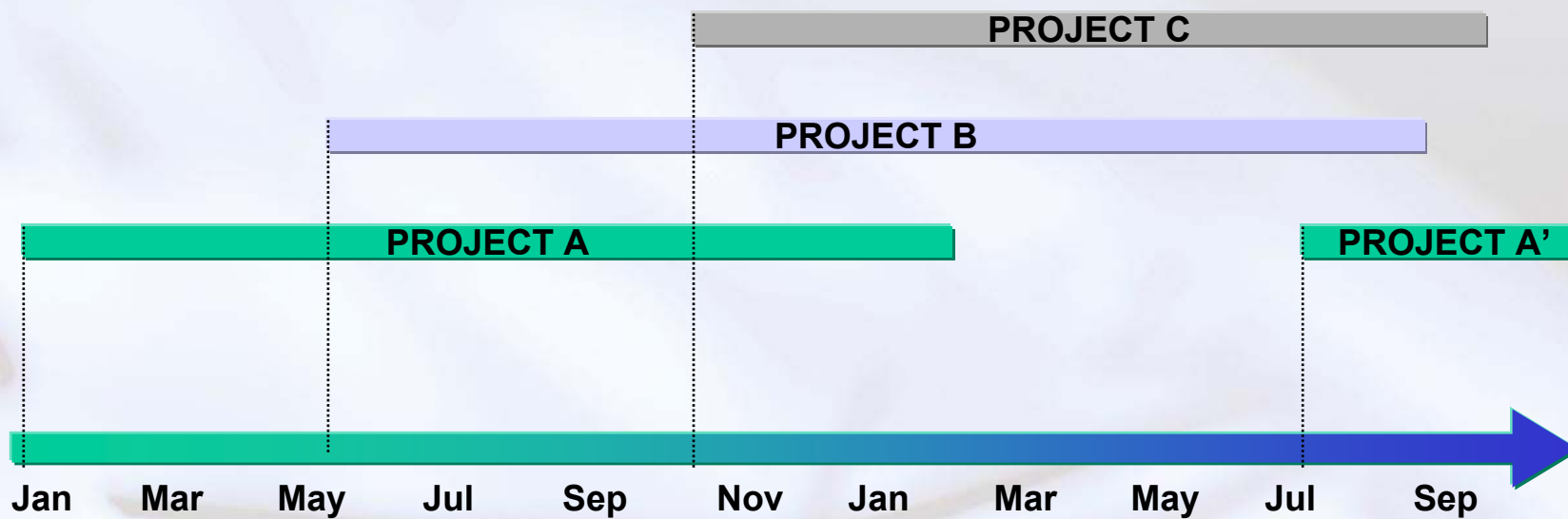
# משפחה אופיינית



## הבעיה - היבט הפרויקטים והלקוחות

- צפי לקבלת מספר פרויקטים המאופיינים ע"י
  - ❖ לקוחות שונים עם חשיפה מלאה בין הפרויקטים
  - ❖ התנעה בהפרש של מספר חודשים.
  - ❖ ביצוע בתקופות זמן מקבילות (12-20 חודשים), כאשר מחזור פיתוח אופייני עומד על כ-24 חודשים.
  - ❖ המערכות מיועדות לשמש לאוולוציה ראשונית עם אופציה להזמנות המשך

## פרויקטים



הצפי לקבלת הפרויקטים השונים - כולל אופציות המשך

## הבעיה - היבט הפרויקטים והלקוחות (המשך)

- צפי לקבלת מספר פרויקטים המאופיינים ע"י
  - ❖ דמיות גבוהה בהיבטים של דרישות, ביצועים, יכולות נדרשות ותפיסה תפעולית.
  - ❖ תוספות ייעודיות לכל לקוח.
  - ❖ יכולת שדרוג פשוטה למערכות שהוזמנו ולמערכות חדשות שיוזמנו.
  - ❖ היקף פיתוח משמעותי.

## הבעיה - היבטי הנדסת מערכת

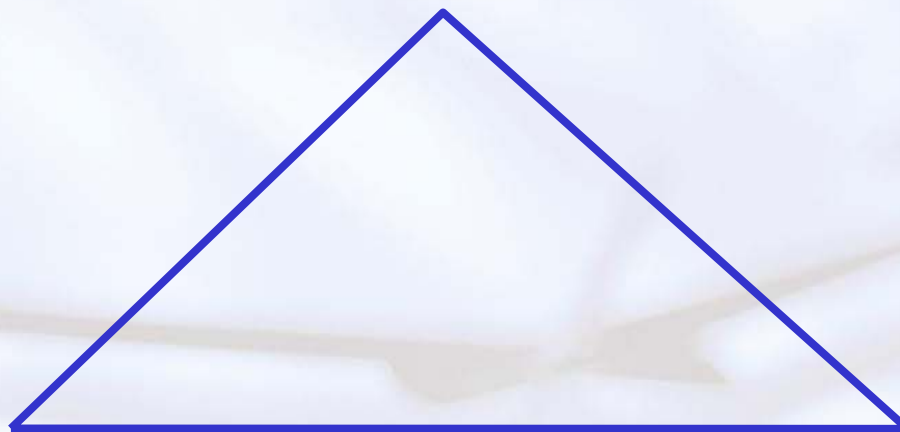
- מחסור במהנדסי מערכת בעלי ניסיון
- בדרך כלל "צובעים" מהנדס מערכת לפרויקט.
- קיים צורך בשיתוף פעולה, בין מהנדסי מערכת של כמה פרויקטים.
- רצון להרחיב את קבוצת מהנדסי המערכת במפעל (שילוב של מהנדסים חדשים ומהנדסים מתחומים שונים).
- ניגודים בין מנהלי הפרויקטים ומנהל הנדסה (פתרון קצר טווח לעומת ארוך טווח או עם התחשבות בדרישות נספחות).

## הבעיה – היבטים טכניים

- התלבטות בין אימוץ פתרונות קיימים ובין הצורך לפתח פתרונות חדשים לטווח ארוך יותר.
- התמודדות עם הצורך לספק תצורות אחידות למרות בעיית **OBSOLITE**
- השלכות כל פתרון מוצע על המערכות שסופקו
- התאמת הפיתוח אצל קבלני המשנה באופנים דומים.

## הפתרון והמשולש הקדוש

הלקוחות והפרויקטים



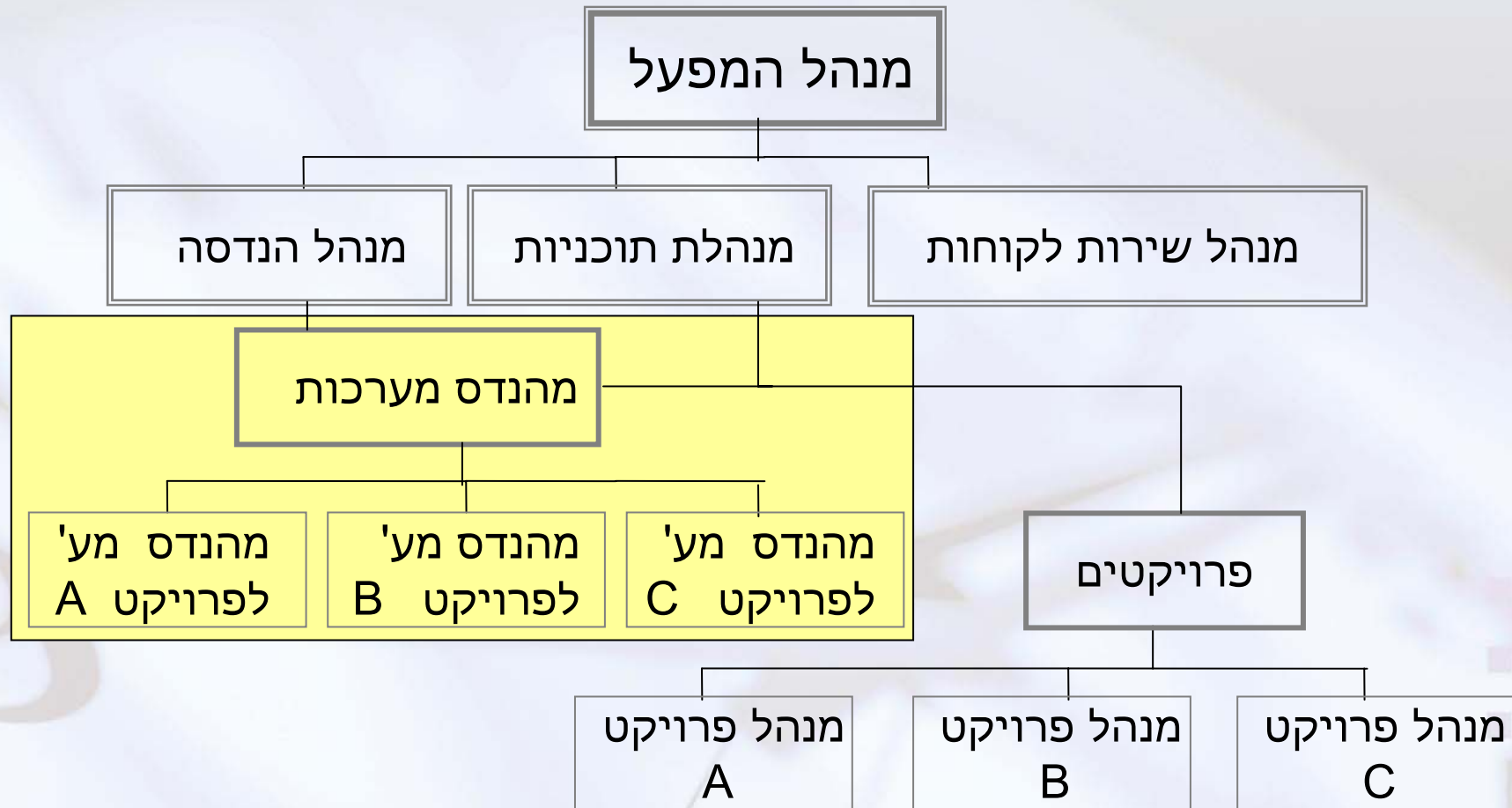
המיקום הארגוני

אסטרטגית פיתוח המערכת

## המיקום הארגוני במפעל

- הקבוצה שייכת ארגונית למנהל ההנדסה ונמצאת פיזית ביחד עם מנהלת הפרויקטים (חלק מ-IPT המוצרים)
- מנהלת את הצוותים הטכניים המפתחים את המוצרים
- נעזרת בכלים ותהליכים הנדסיים של מנהל ההנדסה האחראי לפיתוח המערכות
- מכירה היטב את דרישות הלקוחות ודרכי הטמעת המוצרים אצלם ומשמשת כגורם ההנדסי של שירות לקוחות (הנדסת שדה)

## מיקום ארגוני במפעל



## קבוצת הנדסת המערכת למשפחת מוצרים

- הכרת היכולות הבסיסיות של כל המוצרים
- התמחות בנושאים מיוחדים לכל לקוח
- בסיס דרישות\ תקלות משותף המוכר לכולם
- נגישות פתוחה לכולם לכל התפוקות (מסמכים, פתרונות הנדסיים, בעיות, וכו')
- הימצאות קרובה ופתיחות לשיתוף בכל הבעיות
- יכולת ניידות גבוהה וניצול "רוחבי" של מהנדסי מערכת בהתאם ל"מומחיות" שרכשו (גיבוי הדדי)
- שילוב מהנדסי מערכת צעירים \ חדשים להכרת התהליך

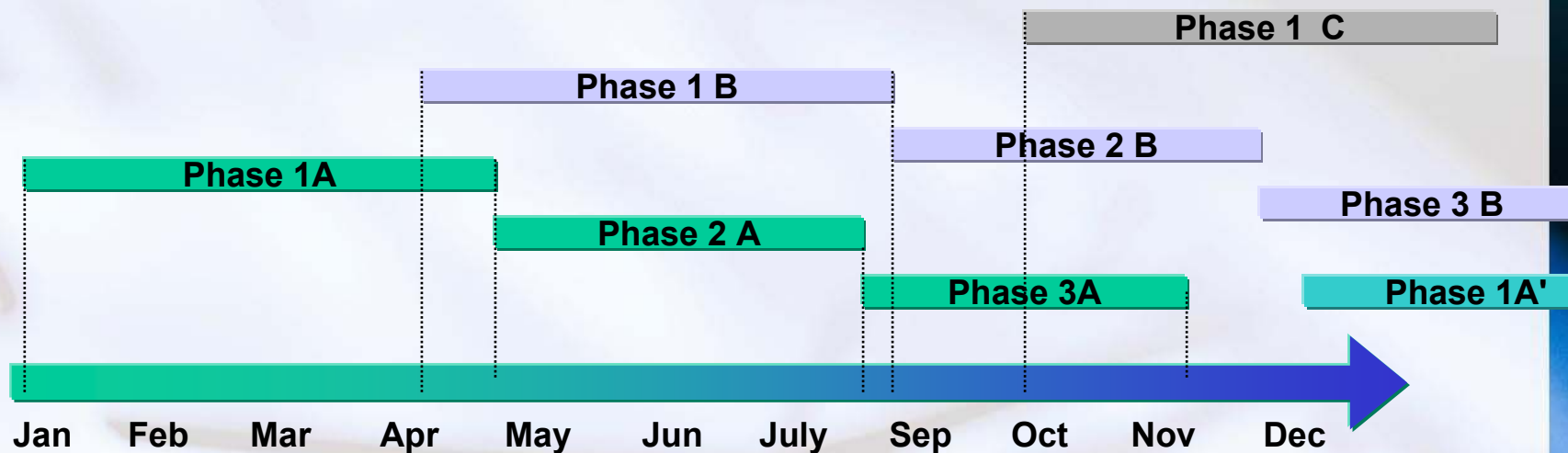
## קביעת אסטרטגית הפיתוח – התהליך

- אסטרטגית הפיתוח נקבעת ביחד עם מנהלת הפרויקטים ועם מנהלת הנדסה.
- האסטרטגיה באה לידי ביטוי ב:
  - ❖ תהליך מסירת המערכות ללקוחות
  - ❖ קביעת עקרונות תהליך הפיתוח (ארכיטקטורה בסיסית, אחידות תפעולית, תוכנה אחודה, ICD)
  - ❖ קביעת תהליך בניית תשתית הפיתוח והשילובים
  - ❖ קביעת מהות השדרוג בפרויקטים דור ב' (המשך)

## תהליך מסירת המערכות ללקוחות

- מסירת מוצרים בוגרים הכוללים גם נושאים חדשים
- מסירה בשלבים לפי קושי טכני ותפעולי (בצד הלקוח) והתאמה ליכולת הייצור והפיתוח
- בשלב ראשון יכולות בסיסיות וכמות קטנה של מערכות.
- בשלב ביניים יכולות נוספות להרחבת הידע והכרת המוצר עם מסירת כמות נוספת של מערכות
- בסיום השלמת כל היכולות וכל כמות המערכות

## תהליך מסירת המערכות



דוגמה אופיינית לפריסת הפעילויות בפרויקטים שונים

## תהליך מסירת המערכות ללקוחות - המשך

### יתרונות:

- ❖ מאפשר קליטה הדרגתית של מערכות מורכבות
- ❖ הטמעה בשלבים המאפשרת הפקת לקחים לקראת השלב הבא

### חסרונות:

- ❖ אדמיניסטרציה מורכבת (המסירה צריכה לכלול גם נושאי ILS - צורך בכמה שלבי לימוד, התכנסות ופיזור המוצרים תוך כדי קליטתם, מסירת ח"ח בכמות יחסית, ועוד).

## אסטרטגית הפיתוח

- ברמת הפרויקט תהליך הפיתוח היה Evolutionary Delivery Model (ללא שינוי דרישות בפרויקט הספציפי).
- ברמת משפחת הפרויקטים תהליך הפיתוח הוא ספירלי (יש שינוי בדרישות במעבר בין פרויקטים).
- בשני התהליכים, הלקוח נמצא במסלול.

## אסטרטגית הפיתוח

- פיתוח יכולת בסיסית
- שילובים ובדיקות
- מסירה ללקוח
- הפקת לקחים
- פיתוח יכולת נוספת
- התאמת סביבת הבדיקות
- מוכנות לשדרוג יכולת חדשה

## עקרונות אסטרטגית הפיתוח (1)

▪ מבין המרכיבים העיקריים של המערכת, ההשלכות העיקריות של משפחת מוצרים באות לביטוי בתחנות השליטה ובאווניניקת המטוסים.

❖ החומרה הבסיסית זהה ובעלת יכולת הוספת אלמנטים לפי דרישות לקוחות.

❖ תחנות השליטה הינן בעלות ממשק מפעיל – מכונה אחיד (שיטות הפעלה, משמעות האזהרות, וכו').

## עקרונות אסטרטגית הפיתוח (2)

- התוכנה מבוססת על ארכיטקטורה פתוחה ומודולרית
  - ❖ נושאים חדשים מתווספים ליכולות הקודמות ומרחיבות אותן ללא פגיעה בקודמות.
- תוכנת המטוסים:
  - ❖ בנויה ממודולים זהים בנושאים הכלליים (ניווט, משימה, מערכת הפעלה, תקשורת, מטע"דים).
- תוכנת התחנות:
  - ❖ בעלת יכולת הגדרת תצורה נדרשת לכל לקוח (לפי יכולות החומרה שהוזמנו).
  - ❖ התצורה נקבעת במפעל, לפני מסירת המערכת ללקוחות.

## עקרונות אסטרטגית הפיתוח (3)

- הגדרת ממשקי תוכנה / פרוטוקולים בבסיס נתונים מרכזי (ICD).
- שיטת ה"תוספות", נבנתה לאחר מימוש מספר מוצרים ולימוד הדרישות המתחייבות:
  - ❖ הגדרת מנגנונים ליכולת הוספת פונקציות ונתונים עם פגיעה מינימלית בתפקוד המלא של המערכת.
  - ❖ שמירה על גרעין קריטי שלא מושפע מהתוספות.
  - ❖ קביעת תצורות מערכת (שינויים "כבדים" יותר) עם מנהלת התוכניות.

## עקרונות אסטרטגית הפיתוח (4)

■ תהליך הבדיקות .

❖ בדיקות פונקציונליות לפי סדר המימוש:

- שלב ראשון - יכולות חדשות בהיקף מורחב
- שלב שני - יכולות קודמות בהיקף מדגמי (לפי קריטיות)

❖ שימוש בכלים אוטומטיים שמתעדכנים בהתאם ליכולות החדשות

## מטרה נוספת

הנדסת המערכת אחראית גם לאינטגרציה  
האנושית בפיתוח הפרויקטים.

## הנדסת מערכות ומגזר מוצרים

### המוצר - מערכת מטוסים ללא טייס (מל"טים)

- מטוסים (UAV) – שונים ב:
  - ❖ ביצועים (תקרת טייס, יכולת שהייה)
  - ❖ כושר נשיאה
  
- תחנות שליטה קרקעיות (GCS) – שונות ב:
  - ❖ יכולות פונקציונליות (המנ"ח, משימה, כוללת, לתפעול מטע"ד בלבד, מותקנות על אוניה)
  - ❖ הפעלת מטע"דים שונים

## המוצר (המשך)

- ערוץ תקשורת (DATA LINK) – שונים ב:
  - ❖ יכולת פונקציונלית (הצפנה, דחיסה, ממסור)
  - ❖ ביצועים (טווח, ממדים, שיטות עקיבה)
  
- מטע"דים (PAYLOADS) – שונים :
  - ❖ אלקטרו-אופטי
  - ❖ מכ"מים (SAR, ימי)
  - ❖ ESM
  - ❖ COMINT
  - ❖ ממסר אווירי
  - ❖ ממסר דיבור