

# תוכן העניינים

קול המערכות - כתב העת של מהנדסי המערכות בישראל

עמ' 1	קול העורך עמיר תומר
עמ' 2	קול הנשיא היוצא של האיגוד הישראלי להנדסת מערכות INCOSE_IL יגאל אסקין
עמ' 3	קול הנשיא הנכנס של האיגוד הישראלי להנדסת מערכות INCOSE_IL רם אורון
עמ' 4	קול מנכ"ל אילטם משה סלם
עמ' 6	הגדרת מערכות אלכס בלכמן
עמ' 12	חשיבה מערכתית - יסודות לבחינת מיון מהנדסי מערכת גדי קרביץ
עמ' 19	הנדסת מערכות של משפחות מוצרים אביגדור זוננשיין
עמ' 25	יישום תהליך הנדסת המערכות בניתוח נתוני IoT [תקציר] רוברט ס. שוורץ
עמ' 25	לקראת אימוץ מסגרת PSI: אפיון מאמצי פיתוח [תקציר] אבי שקד ויורם רייך
עמ' 26	תוכנית יום העיון להנדסת מערכות במרכז גורדון, 27/6/2017
עמ' 27	טופס הצטרפות ל- INCOSE_IL

חלקו האנגלי של הגליון נמצא מצידו השני.

The English section is on the opposite side of the journal

## קול העורך

### קוראים יקרים,

בפיתחו של הגליון העשרים של "קול המערכות" הרשו לי לברך אישית את הנשיא החדש של INCOSE\_IL, ד"ר רם אורון. פעילותו של רם ותרומתו להנדסת המערכות מוכרות לי מזה שנים, ואני בטוח שתחת נשיאותו ימשיך האיגוד לפרוח ולשגשג ולתרום תרומה הולכת וגדלה לקהילת מהנדסי המערכות בישראל.

אני שמח לארח בגליון זה שני כותבים-חוזרים: רס"ן ד"ר אלכס בלכמן וד"ר גדי קרביץ. עיתוננו הצנוע איננו מהווה מרכזית למאמרים מחקריים. לעיתים אנו מפרסמים כאן בפרסום חוזר מאמרים כאלה, שכבר יצאו לאור בעיתונים אחרים. ייחודיותו של "קול המערכות" הינה בעיקר בקישור הבלתי-אמצעי בין חברי הקהילה לבין עצמם, בין השאר ע"י פרסום מאמרים מקוריים, הרלוונטיים בעיקר למציאות פיתוח המערכות בתרבות התעשייה הישראלית. בכל גליון אני קורא לכולכם לכתוב ולפרסם מאמרים כאלה בעתוננו – אני מביטה, כעורך, שמאמרים ישראליים מקוריים, הנכתבים במיוחד עבור "קול המערכות" יזכו לעדיפות עליונה בפרסום. אני רוצה לברך את אלכס וגדי על יוזמתם המתמשכת ועל המאמרים שתרמו, הן לגליון הקודם והן לגליון זה.

מאמרו של אלכס בלכמן עוסק בהבחנה הבסיסית בין הגדרת מערכת לבין הנדסת מערכת, שתפקידה העיקרי הינו לממש את המערכת המוגדרת. הגדרת המערכת הוא השלב (הקריטי!) המקדים את שלבי התכן וההנדסה, ועל בסיס נסיונו וכושר אבחנתו, מציג אלכס מודל לניהול שלב זה.

גדי קרביץ, במחקריו ובעיסוקיו, עוסק בנושאים המחברים את עולם הנדסת המערכות לעולמות פילוסופיים ומדעיים גבוהים. הפעם מציג גדי סיווג קוגניטיבי של דפוסי חשיבה מערכתית, היכולים לשמש בסיס למיון ולהקצאת תפקידים למהנדסי מערכת בארגון.

ביום בו יוצא לאור גליון זה נערך במכון גורדון בטכניון החצי-שנתי להנדסת מערכות, והפעם בנושא של הנדסת מערכת מתקדמת בנושא של ניתוח נתונים (Data Analytics). פרופ' רוברט שוורץ, מהמכון הפוליטכני של וורצ'סטר בארה"ב מקשר את הנושא ישירות לעולם המתפתח במהירות של האינטרנט של הדברים (IoT) ושל נתוני הֶעָתָק (Big Data) ומציג כיצד ליישם את תהליך הנדסת המערכות לאיסוף ולניתוח נתוני IoT. פרופ' שוורץ מציג את עבודתו ביום העיון.

אבי שקד ופרופ' יורם רייך קוראים במאמרם תגר על חולשתם של התהליכים הקיימים של הנדסת מערכות לתכנן כהלכה את מאמצי הפיתוח. מאידך גיסא, המסגרת המופשטת של PSI (Product-Social-Institutional framework), שהוצעה ע"י פרופ' רייך ושותפיו, לא תמיד קלה ליישום כפי שהיא, לפיכך, מציעים הכותבים במאמרם שלב ביניים של אפיון מאמצי הפיתוח על פי קריטריונים יותר נראים לעין.

סיכום של יום העיון הקודם במכון גורדון, שהוקדש לנושא של הנדסת מערכות בקווי מוצרים, מובא לנו, כרגיל, ע"י ד"ר אביגדור זוננשיין.

כתמיד, אני קורא לכולכם לתרום לקהילה מפרי מחשבתכם וניסיונכם ע"י פרסום מאמריכם ב"קול המערכות".

בברכת קריאה מהנה,



**פרופ' עמיר תומר, CSEP**  
המכללה האקדמית כנרת  
עורך "קול המערכות"  
[amir@amirtomer.com](mailto:amir@amirtomer.com)

## קול הנשיא היוצא של האיגוד הישראלי להנדסת מערכות - INCOSE\_IL

שלום רב לקהילת הנדסת המערכות בארץ,

ב - 1/6/2017, עם בחירתו של הנשיא החדש, הסתיימה למעשה הקדנציה שלי בת השנתיים בתפקיד נשיא האיגוד. ברצוני לאחל הצלחה לאיגוד ולנשיא החדש - ד"ר רם אורון, ולנצל את הבמה לכמה מילות פרידה וסיכום.

עם תחילת תפקידי, לאור ההתפתחויות הטכנולוגיות (והלא טכנולוגיות) המואצות של השנים האחרונות, בחרנו להתמקד בתוכנית הפעילות ארוכת הטווח. החשיבה בוצעה יחד עם האיגוד העולמי של הנדסת מערכת וגם בנפרד ממנו. האיגוד העולמי בחר לחבר את מסמך Systems Engineering Vision 2025, המתאר את תפקידי הנדסת המערכת בעולם עתידי ואילו אנו בחרנו להגדיר בצורה מדויקת את החזון, היעוד, היעדים ווקטורי הפעילות המרכזיים הנגזרים מהם. מאוחר יותר גם הארגון העולמי נקט בגישה דומה.

הקמנו קבוצת עבודה לנושא ובמסגרת העבודה שמנו לעצמנו למטרה לענות על שאלות בהן התבלט הארגון תקופה ארוכה, כגון:

- האם מטרת האיגוד היא יצירת פלטפורמה לשיתוף בידע בלבד (בהחלט לא)?
- האם עלינו להיות גורם המכוון את התפתחות הידע (בהחלט כן)?
- ועוד...

התשובות נגזרו מהגדרת החזון:

*"לקדם את יכולות התעשייה, החברה והמשק הישראליים לחזית היכולות העולמיות בפיתוח מערכות מורכבות ומערכים"*

סיכום העבודה הוצג בשולי הכנס השנתי במרץ 2017 לחברי הנשיאות הישראלית והנשיא של INCOSE העולמי ויוצב באתר האינטרנט של האיגוד.

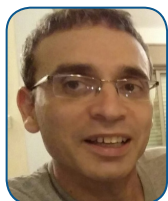
פעילות זו יש לדעתי להמשיך, תוך העמקת הסינכרון עם הארגון העולמי בנושא זה.

לבד מפעילות זו המשכנו לעסוק במגוון רב של פעילויות, כגון הכנס השנתי, שאליו הגיעו קרוב ל-500 משתתפים. קיימנו סדרות של מפגשים, סדנאות, ימי עיון וסמינרים.

יחד עם זאת, קיימים שני יעדים בהם לדעתי הצלחנו פחות. הראשון הוא הגדלת אוכלוסיית מהנדסי המערכת המודעת לפעילויות שלנו, כולל אלה אשר אולי אינם יודעים שהם מהנדסי מערכת בחברתם. השני הוא חיבור הדוק יותר לפעילויות הנדסת מערכת בחברות הבינוניות, הקטנות ואף חברות ההזנק. אני מקווה שהנהלת האיגוד הבאה תזכה להצלחות בשני נושאים חשובים אלה.

לסיום, אני רוצה להודות לחברי נשיאות אילטם, לחברי הנהלת האיגוד הישראלי להנדסת מערכות על תרומתם, לכל המרצים והמשתתפים בפעילויות השונות. תודות מיוחדות ליו"ר נשיאות אילטם, חיים רייכמן, לעוזי אוריון על ריכוז הפעילות במיגזר החברות אזרחיות, לד"ר אביגדור זוננשיין על ריכוז הפעילות מול INCOSE העולמי, לפרופ' עמיר תומר העורך של 'קול המערכות' על עבודתו המקצועית, לפרופ' אביב רוזן, ראש מרכז גורדון בטכניון להנדסת מערכות, על שיתוף הפעולה הפורה איתנו מזה שנים רבות ולמר משה סלם, מנכ"ל אילט"ם וצוותו האיכותי, על הסיוע והתמיכה המעולים שהם נותנים מזה שנים רבות. תודה לכולכם על פועלכם לקידום הנדסת מערכות בארץ!

**הצלחה רבה לנשיא הנכנס  
ד"ר רם אורון ולכולנו!**



**יגאל אסקין**

הנשיא היוצא של האיגוד הישראלי  
להנדסת מערכות INCOSE\_IL  
[yigal@elta.co.il](mailto:yigal@elta.co.il)

## קול הנשיא הנכנס של האיגוד הישראלי להנדסת מערכות INCOSE\_IL

### לקהילת מהנדסי המערכת שלום רב!

עם היבחרי אני חש כבוד גדול, ומחויבות עמוקה לפעילות האיגוד. ברצוני להודות למתמודדים, ד"ר אלכס בלכמן ומר אלכס אורנשטיין, אשר יותר ממוזמנים להמשיך ליזום ולקחת חלק בפעילות האיגוד, כמו כן ברצוני להודות למצביעים אשר נטלו חלק בבחירות לנשיא האיגוד.

ברצוני גם להודות למר יגאל אסקין, הנשיא היוצא, על מנהיגותו בשנתיים האחרונות, אשר הובילה את האיגוד להישגים לא מבוטלים, על ההובלה וקביעת מפת דרכים (Road-Map) לפעילות האיגוד בשנים הקרובות, על תמיכתו, ועל ההעברה המסודרת של התפקיד. כן אודה לחברי הנהלת אילטם ונשיאי האיגוד בעבר על הסיוע הרב.

לפני כחודשיים, התקיים כנס הנדסת המערכות הבינלאומי התשיעי בהשתתפות מאות מהנדסים. הכנס בהובלתו של מר עוזי אוריון, נשיא האיגוד לשעבר, וצוות היגוי נרחב ומגוון, היה מוצלח והראה שוב את הרמה המקצועית הגבוהה של הנדסת המערכת בארץ. גם האורחים מחו"ל, חברי INCOSE העולמי, ובראשם הנשיא Alan Harding, התרשמו מהפעילות הענפה. אנו זוכים להכרה בעשייתנו גם בארץ, והדבר ניכר בתמיכת רשות החדשנות (בעבר "המדען הראשי") באילטם, אשר מאפשרת לנו לבצע פעילויות רבות בתחום הנדסת המערכת.

עם ההערכה הגבוהה לנו אנו זוכים, אתגרים נוספים עומדים בפנינו. בתחום המקצועיות נמשיך לחתור לשיפור מתמיד על ידי הדרכה ברמות שונות – החל ממהנדסי מערכות "צעירים" המתמודדים עם האתגרים של פיתוח המערכת ועד לתחומים מתקדמים כגון SOS – MBSE. על מנת להמשיך לתת מענה למערכות עתירות תוכנה, נתמוך בהעמקת הקשר בין הנדסת מערכות להנדסת תוכנה וארכיטקטורות תוכנה. בהובלתה של ד"ר ניצן ש., מהנדסת מערכת ראשית ברפאל, נמשיך לקיים פעילות ענפה בתחום המערכות הביטחוניות, אשר מהוות חלק ארי בפעילות בארץ.

כאומת הסטארט-אפ, נבצע פעילויות על מנת לקדם ולבסס את הנדסת המערכת כדיסציפלינה משמעותית בחברות קטנות ובינוניות, ובחברות הזנק בפרט. נעשה שימוש בידע הרב שנצבר ונקדם הפריה הדדית בין הגופים בעלי המאפיינים השונים: אקדמיה, תעשייה אזרחית וביטחונית, חברות גדולות וקטנות, וארגונים ממשלתיים. בנוסף, נחזק את פעילותנו במסגרת הארגון העולמי.

עם עליית המורכבות במערכות השונות אותן אנו מפתחים ובהן אנו משתמשים, הצורך בהנדסת מערכת ובמהנדסי מערכת עולה. בכדי לתת מענה ארוך טווח, עלינו להפוך את הנדסת המערכת למקצוע נחשק בקרב תלמידים וסטודנטים, תוך חשיפה רבה יותר למהות המקצוע ולחשיבותו ומרכזיותו. נפעל כדי להגיע לקהלי יעד אלו בדרכים שונות.

אני קורא לכם, חברי האיגוד, להשתתפות פעילה ולשיתוף פעולה. דלתי פתוחה בפניכם, ואשמח ליוזמות, לבקשות, כדי שיחד נוכל לקדם עוד יותר את המקצועיות והמצוינות בהנדסת המערכות בארץ.

**בברכת הצלחה,**



**ד"ר רם אורון**

נשיא האיגוד הישראלי  
להנדסת מערכות INCOSE\_IL  
[ram.oron@orbotech.com](mailto:ram.oron@orbotech.com)

**רם אורון** החל את דרכו כמהנדס מערכת בתעשייה האווירית. הוא סיים תואר שלישי בפיזיקה במכון וייצמן בתחום הלייזרים, ולאחר מכן היה ממקימי החברה ו-CTO בחברת ההזנק KiloLambda. ב-9 השנים האחרונות הוא באורבוטק, שם הוביל פעילויות הנדסת מערכת ופיזיקה במערכות מולטי דיסציפלינריות של החברה. בארבע השנים האחרונות הוא מנהל את תחום הנדסת המערכות ומוביל מקצועית את מהנדסי המערכות באורבוטק.

## קול מנכ"ל אילטם

שלום רב,

בימים אלו מתגבשות הפעילויות המתוכננות בתחום המערכות המורכבות, הנדסת תוכנה, פיתוח חומרה ותכן לבטיחות מערכות לחציון השני של 2017.

בחודשים האחרונים התקיים תהליך בחירה של נשיא האיגוד הישראלי להנדסת מערכות INCOSE\_IL.

אני שמח להודיע כי בהצבעה נבחר ד"ר רם אורון מאורבוטק לנשיא INCOSE\_IL הבא. רם נכנס לתפקידו ב- 01.06.2017. אאחל לרם המון הצלחה בתפקידו. בהזדמנות זו אני רוצה להודות ליגאל אסקין, נשיא INCOSE\_IL היוצא, על פועלו באיגוד בשנתיים האחרונות, ועל עזרתו בקידום תחום הנדסת מערכות באיגוד.

אנו שמחים לעדכן כי האיגוד הישראלי להנדסת מערכות זכה במדליית זהב במסגרת תחרות Chapter Award לשנת 2016. האיגוד זכה במדליה על הישגיו המקצועיים (כנסים, ימי עיון, הפרייה הדדית, עיתונים מקצועיים), שילוב חברי האיגוד והשתתפותם בפעילויות ועל התנהלותו הסדורה. המדליה תוענק בטקס מכובד במהלך הכנס הבינלאומי של INCOSE שיערך השנה באוסטרליה. דר' ניצן ש. מרפאל תייצג את האיגוד שלנו בטקס.

בחציון השני של 2017 אנו מתכננים לקיים מגוון פעילויות והשתלמויות מעמיקות המתפרסות על פני מספר ימים. ההשתלמויות יאפשרו למשתתפים בנוסף ללמידה של התהליך והשיטה גם תרגול מעשי במטרה להכיר באופן פרקטי את השימוש בטכנולוגיות והשיטות מתוך מטרה להקל את היכולת ליישום בפועל.

בשנת 2016 קיים האיגוד סקר צרכים בקרב החברות החברות באיגוד ובקרב חברות שאינן חברות באיגוד. הסקר כלל מענה לשאלון שהוכן ע"י האיגוד באמצעות צוות פעולה שהוגדר לשם כך מקרב חברי האיגוד. מניתוח של כ-400 תשובות שהתקבלו לשאלון עולה, בין השאר, כי כ-88% מהמשיבים ציינו שפעילות אילטם תורמת עבורם. הרוב מתוכם (כ-70% מכלל המשיבים) סיווגו תרומה זו תחת "שיפור תהליך תכן קיים".

בנוסף, התקיימה בחודש מרץ 2017 סדרה של 7 ראיונות אישיים עם נציגי החברות רפאל, תע"א, אלביט מערכות-אלישרא, פיליפס מדיקל, אורבוטק, KLA ו- hp אינדיגו. התוצאות הסופיות של הסקר ינותחו ויסוכמו ע"י איש טכני חיצוני, יידונו ויאושרו ע"י נשיאות האיגוד והן יישמשו את האיגוד בהכוננת פעילותו ובהכנת תוכנית העבודה לשלוש השנים הבאות.

### **ההשתלמויות בתחום הנדסת מערכות שיתקיימו בקרוב:**

- **תכן תפקודי (פונקציונאלי) למערכות מורכבות** - השתלמות של שלושה ימים, שתועבר ע"י ד"ר דרורה גושן-מסקין מהמכון הטכנולוגי בחולון, תיערך בתאריכים 19,12,5 ליוני, 2017. [פרטים באתר האיגוד.](#)
- **ניהול פרויקטים מערכתיים בסביבה רב פרויקטלית** - יום עיון שיועבר ע"י מר לואיס טריגר בתאריך 24 ליוני, 2017. [פרטים באתר האיגוד.](#)
- **ניהול סיכונים והזדמנויות במערכות מורכבות** - סדנא בת יומיים, שתועבר ע"י ד"ר משה ויילר, מהטכניון, תתקיים ב-12-13 לספטמבר 2017. [פרטים באתר האיגוד.](#)

- **הנדסת מערכות למהנדסי תוכנה** – סדנא בת יומיים שתועבר ע"י פרופ' עמיר תומר, מרצה בכיר בטכניון במדעי המחשב ובלימודי התואר השני להנדסת מערכות של הטכניון, תתקיים ב-7,9 לנובמבר 2017. [פרטים באתר האיגוד.](#)
- **הנדסת מערכות כמקצוע** – סדנא בת חמישה ימים, שתועבר ע"י עוזי אוריון מהמכון הטכנולוגי בחולון, שתתקיים ב-20,27 לנובמבר ו-4,11,25 לדצמבר 2017. [פרטים באתר האיגוד.](#)
- **הנדסת תוכנה למהנדסי מערכות** – סדנא בת יומיים שתועבר ע"י פרופ' עמיר תומר, מרצה בכיר בטכניון במדעי המחשב ובלימודי התואר השני להנדסת מערכות של הטכניון, תתקיים ב-5,7 לדצמבר 2017. [פרטים באתר האיגוד.](#)

### **בתחום הנדסת תוכנה:**

- **כתיבה וניהול דרישות במערכות עתירות תוכנה** – סדנא של יום אחד, שתועבר ע"י פרופ' עמיר תומר, ראש המחלקה להנדסת תוכנה במכללה האקדמית כנרת בעמק הירדן, תתקיים ב-10 יולי 2017. [פרטים באתר האיגוד.](#)

ניתן להתעדכן בכל פעילויות האיגוד ב[אתר אילטם באינטרנט](#), בדף [אילטם בפייסבוק](#)

אנו מזמינים אתכם לקחת חלק בפעילות הענפה של האיגוד.



**משה סלם**  
מנכ"ל אילטם  
[Moshe@iltam.org](mailto:Moshe@iltam.org)  
[www.iltam.org](http://www.iltam.org)

## הגדרת מערכות

רס"ן אלכס בלכמן, צה"ל

[ablekhman@gmail.com](mailto:ablekhman@gmail.com)

### תקציר

**שלב הגדרת המערכת** הוא שלב אפיון מסגרת הביצועים, לוחות הזמנים והתקציב של המערכת. שלב זה קודם לשלבי התכנון והנדסת המערכות בתעשייה ומבוצע על ידי הלקוח או בהתאם לדרישותיו המשווערות. ניתוח שיטתי ומקצועי בשלב זה יקבע במידה רבה את סיכויי ההצלחה של המערכת והפרויקט כולו.

המאמר מציג את **שלב הגדרת המערכת** ומציע מודל ניהולי לתהליך **הגדרת המערכת**. בהמשך המאמר מציג את יחסי הגומלין בין הגדרת המערכות והנדסת המערכות לאורך הפרויקט. המאמר מסכם במספר דוגמאות לשאלות הרלוונטיות להגדרת מערכות בתחומים שונים שמשליכות על הנדסת מערכות בפרויקטים.

### מבוא

בשנות ה-60 של המאה ה-20 בשבדיה הוחלט על פיתוח של מטוס קרב חדש. החשש של השבדים אז היה מפני מתקפת בזק של הרוסים שתשתק את שדות התעופה. כדי להתמודד מול תרחיש זה, השבדים החליטו להכשיר מספר קטעי כביש שיוכלו לשמש בשעת חירום כמסלולי המראה חלופיים. למטוס החדש נקבעה דרישה של יכולת המראה ונחיתה במסלול באורך של 500 מ' לכל היותר, כדי שיוכל להמריא מקטעי הכביש הקצרים.



איור 1: מטוס ה-Viggen

כדי לעמוד בדרישה זו, עבור המטוס תוכנן מנוע ייחודי. המנוע כלל מנגנון הגברת האצה (After Burner) ומנגנון היפוך דחף (Thrust Reversal). שילוב זה היה חסר תקדים, וגם מאז יוצרו דגמי מטוסים בודדים בלבד עם מנגנונים אלו.

המטוס סיים את הפיתוח בהצלחה וקיבל את השם Viggen. בסך הכול יוצרו 329 מטוסים במספר דגמים, שאחד מהם מוצג באיור 1. הפרויקט עמד בציפיות ובסך הכול נחשב להצלחה גדולה.

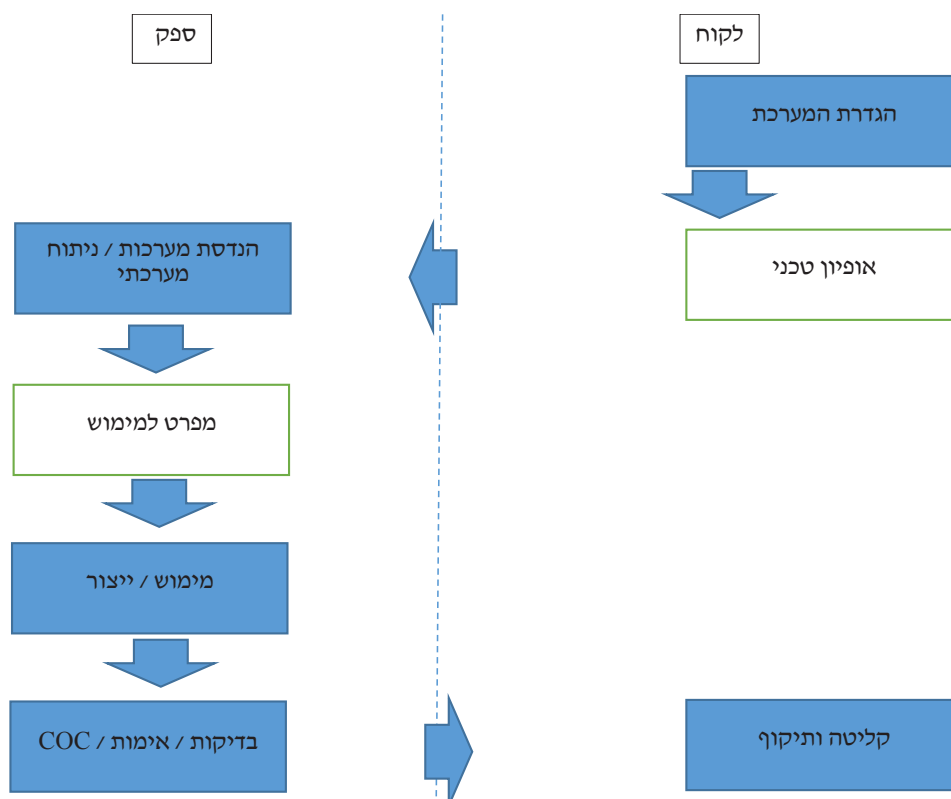
אך מה יקרה אם נבצע חישוב של יכולת המראה ונחיתה עם מנוע ללא מנגנוני הגברת האצה

והיפוך דחף? באחד מכנסי הנדסת המערכות הבינלאומיים הגיעה לידיי עדות של מהנדס מצוות הפיתוח של המטוס בחברת SAAB. המהנדס טען כי למעשה, מטוס עם מנוע דומה ללא מנגנוני הגברת האצה והיפוך דחף היה יכול להמריא ולנחות ממסלול של 550 מ'.

המנוע של מטוס ה-Viggen הוא דוגמה טובה לחשיבות שלב הגדרת המערכת. לאחר שערך היעד של המראה ונחיתה ממסלול של 500 מ' נקבע כדרישה, כל שנותר הוא לבצע את הנדסת המערכות המיטבית כאשר אין ליצרן את מרחב התמרון והיכולת לבחון שוב את ההנחות המבצעיות הרלוונטיות.

## הגדרת מערכות מול הנדסת מערכות

**הגדרת מערכות** היא ניתוח וקביעה של ייעוד המערכת, תכולות, תכונות ועוד. **הנדסת מערכות** היא תחום הנדסי העוסק במימוש מיטבי של מערכות בהתאם להגדרתן. בפרויקט ספק-לקוח המבוסס על תהליך התקשרות, כגון פיתוח טיל או מטוס ע"י תעשייה ביטחונית עבור שימוש הצבא, הגדרת המערכת מבוצעת ע"י הלקוח. לרוב, כך גם הדבר בפרויקט פנימי. בפרויקט יצרן-צרכן, כגון פיתוח של מכשיר סלולארי חדיש, הגדרת המערכת מבוצעת ע"י צוות של היצרן שמנסה בשיטות שונות לדמות ולאפיין את הדרישות והרצונות של הקונה. התהליך האופייני בפרויקט מתחיל בבניית הארכיטקטורה והקונספט המערכתי. בפרויקטי ספק-לקוח, בשלב זה הלקוח הוא זה שמבצע את עיקר הפעילות של הגדרת הבעיה, חקר החלופות וגיבוש אפיון מערכתי. מהנדסי הלקוח הם אלו שמגדירים את הפתרון שיידרש ליישום על ידי התעשייה לאחר ביצוע ההתקשרות (במכרז או מול ספק יחיד). מהנדס הלקוח מבצע גם בחינה של נושאים וממשקים רחבים הרבה מעבר לטכנולוגיה או למערכת עצמה, כמו הגדרה של שילוב במערך טכני קיים, תרומה לביצוע משימה וכד'. על סמך ניתוח זה, מהנדס הלקוח מגבש את הדרישות שעל פיהן תפותח המערכת, ומהן יתחיל מהנדס המערכת בתעשייה את שלב מיצוי הדרישות. דרישות אלו מסוכמות בהגדרת המערכת, המובאת בצורה של מסמך אפיון למכרז או בדרך אחרת. בשלב הפיתוח רמת המעורבות היחסית של הספק והלקוח משתנה. ההובלה עוברת לספק, שמשקיע את מירב המשימות בתכן של המערכת לצד ליווי מצומצם יחסית של הלקוח. בשלבי ההצטיידות ההובלה חוזרת ללקוח, שקולט ומתפעל את המערכת לצד מעורבות נמוכה יותר של הספק. תהליך עקרוני של הגדרת המערכת והנדסת המערכות בפרויקט מובא באיור הבא:



**איור 2: תהליך עקרוני של הגדרת המערכת והנדסת המערכות. מלבן מלא מצייין תהליך, מלבן ריק מייצג מסמך/מפרט**

1. סוגי פרויקטים - עפ"י משה שפירר: פרויקט פנימי, פרויקט יצרן-צרכן ופרויקט ספק-לקוח.

## תהליכים בשלב הגדרת המערכת

לצורך הצגת התהליכים בשלב הייזום, נחלק באופן עקרוני את רמות התכן המערכתי לארבע.

1. **רמה 1:** הרמה הבסיסית תהיה רמת הרכיב, שבה מבוצעת עבודה טכנית של מהנדס הפיתוח בתחום המקצועי המתאים. דוגמה לרכיבים במובן זה הוא מודול תצוגה LCD או LED המרכיב את מסך המחשב.
2. **רמה 2:** הרמה הבאה היא רמת מכלול. המכלול מאגד מספר רכיבים שמיועדים ביחד למימוש פונקציונליות מסוימת. דוגמה למכלול היא מסך מחשב.
3. **רמה 3:** הרמה המערכתית היא רמת המוצר שמיועד להיות מסופק ללקוח, כדוגמת מערכת המחשב כולה.
4. **רמה 4:** רמת הניהול היא רמה של קבלת ההחלטות בנושאי הפיתוח ובנושאים נוספים המקיפים הרבה מעבר למוצר או הטכנולוגיה הספציפית. השיקולים ברמת הניהול כוללים ראייה אסטרטגית של החברה, כיוונים עתידיים, סיכונים והזדמנויות מול מתחרים ועוד.

הפרויקט יכול להתחיל ברמות שונות ואצל אנשים שונים. זו יכולה להיות הנחיה של ההנהלה, רעיון יצירתי שעלה אצל אחד העובדים או מוצר מתחרה שיצר שאיפה לשינוי. המשותף לכל אלה הוא הרעיון הראשוני שנמצא בבסיס הפעילות – והוא יכול להופיע ברמת רכיב, מכלול, מערכת ואפילו תפיסה מופשטת או חזון רחוק.

לאחר זיהוי הרעיון מתחיל שלב של בדיקות ראשוניות. שלב זה בדרך כלל מתבצע באופן עצמאי על ידי היוזם או כמה אנשים מסביבו, ללא השקעה משמעותית של זמן וכסף, על בסיס חיפוש באינטרנט, ניסיון מקצועי אישי או של מכרים וידידים. עומק הניתוח נע מהרמה הבסיסית ביותר – רמה של רכיב או מכלול – עד רמה מערכתית של הפרויקט כולו. הנה חלק מהשאלות האפשריות בשלב זה: האם הפרויקט ניתן למימוש מבחינה טכנולוגית? האם נראה שיש פוטנציאל רווח? האם עומד בחוקים, תקנות וכו' ומה המצב הקיים והאם יש מניעה לכניסה לשוק?

בהתאם לצורך ולמורכבות ולמשימות הרלוונטיות בכל תחום, חשוב להתייחס לכלל התחומים הרלוונטיים לפיתוח, ייצור, ניסויים והטמעה של המערכת. אם המערכת המוצעת היא אתגרית בהיבטי ייצור, למשל – חשוב לציין זאת בשלב מוקדם, יחד עם כיווני פתרונות אפשריים.

לאחר גיבוש קונספט ראשוני שעומד בתנאי סף של כדאיות וישימות, מגיעה העת לקבל אישור רשמי יותר לפעילות. האישור הראשוני נדרש כדי לקבל את המשאבים שיידרשו להמשך בחינה והערכה ולמימוש – תקציב, כוח אדם וקדימות מול משימות אחרות. בחברה מסחרית, האישור יכול להיות של מנכ"ל, מנהל פיתוח או ראש צוות, בהתאם לאופי והיקף המשימה. בארגון ממשלתי או צבאי אישור הצורך או הרעיון יכול להיות על ידי קצין בכיר או מנהל. מהות האישור היא תיקוף הצורך והמתכונת העקרונית של המענה, התאמה ליעדי הארגון, רלוונטיות לתכנית העבודה ולמסגרת המשאבים הנוכחית.

השלב הבא מתחיל במקרה של קבלת אישור ראשוני. מטרת השלב היא לבחון לעומק את החלופות למימוש הצורך ולהציג את המשמעויות. חשוב לחקור לעומק את הצורך המדויק ודרכים שונות למילויו, מאפייני ההזדמנות העסקית, איומים קיימים ועתידיים, כמו גם את המצב הקיים, תמונת מצב מתחרים, חברות וטכנולוגיות רלוונטיות, וגם פוטנציאל התפתחות והרחבה עתידית של הפרויקט.

בשלב זה מרחיבים את הבדיקה הראשונית לחלופה המוצעת שבוצעה לקראת האישור הראשוני, בונים חלופות נוספות ובוחנים אותם מול אמות מידה שונות. בצה"ל שלב זה מוגדר בנוהל 1/10 ומכונה "בדיקת מערכת". בדיקת מערכת הינה בדיקת החלופות האפשריות העונות על הצורך ומשמעויותיהן, בהסתמך, בין היתר, על תפיסת ההפעלה והתפיסה הלוגיסטית הראשונית שגובשו. בדיקה זו נועדה לצמצם את פערי הידע לקראת קבלת החלטה על יציאה לפרויקט. בדיקת מערכת תכלול, על-פי הצורך, ביצוע עבודות בחינה ומחקר, ניסויים ובחינת משמעויות מימוש. להלן כמה

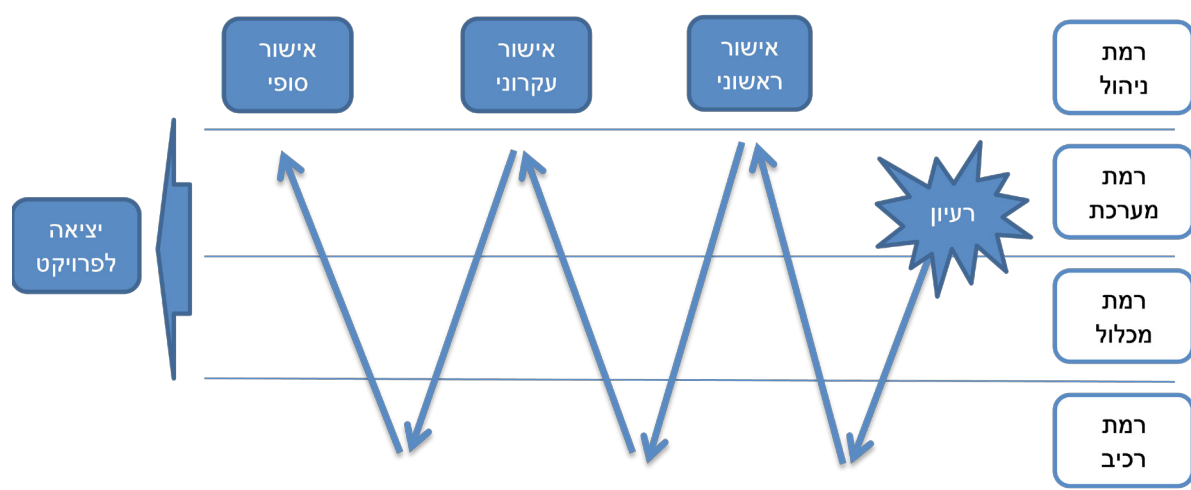
מהנושאים שגובשו על בסיס נוהל 1/10 וחשוב לתת עליהם את הדעת בשלב זה מול כל חלופה:

1. תרומה ללקוח במונחים איכותיים וכמותיים של יכולת, זמינות וביצועים בתנאי ההפעלה השונים.
2. תפיסת ההפעלה והתפיסה הלוגיסטית העדכניות.
3. היתכנות טכנולוגית והנדסית, אפשרויות רכש או פיתוח.
4. דרישות תקציב ועלויות פיתוח, הצטיידות ותשתית, כולל ניתוח ראשוני של עלות מחזור חיים (Life Cycle Cost - LCC).
5. לוחות זמנים, הערכת סיכונים משלב הפיתוח ועד המסירה.
6. משמעויות בהיבטי אימונים והדרכות, לוגיסטיקה, ארגון, כוח אדם (כולל תפעול, אחזקה והצטיידות במערכת).
7. משמעויות ביטחון מידע והגנת מערכות מידע.
8. עמידה בחוקים ותקנות.
9. נושאים נוספים על פי הצורך.

לאחר סיום בדיקת המערכת חוזרים למקבלי ההחלטות לאישור עקרוני של החלופה הנבחרת. בשלב זה טרם בוצעה התקשרות, התכולות הסופיות טרם אושרו ועדיין יש מרחב לשינויים. לכן, האישור אינו סופי אלא עקרוני ומאפשר להתקדם כדי להשלים את הפרטים המלאים של הפרויקט.

כאשר האישור העקרוני מתקבל – עוברים לשלב השלישי, שהוא שלב כתיבת מסמכי האפיון וההתקשרות. לאחר כתיבת מסמכי ההתקשרות מתבצע מכרז או סיכום סופי של ביצוע העבודה (למשל, במקרה של משימה פנימית). מקובל, שרגע לפני היציאה לדרך והחתימה על החוזה, הפרויקט מובא לאישור סופי של מקבלי ההחלטות. האישור הסופי אמור להביא בחשבון את העדכונים והשינויים של האפיונים המערכתיים, למשל אחרי משא ומתן או לאור סיכונים והזדמנויות של הרגע האחרון.

שלושת שלבי האישור המרכזיים בהגדרת המערכת ולפני תחילת הפיתוח מובאים באיור 3. בפרויקטים צבאיים, שלבים אלו מכונים אישור דרישה מבצעית, אישור בדיקת מערכת ואישור סופי של ההתקשרות או הפרויקט.



איור 3: שלבי הפרויקט בשלב הייזום

## דוגמאות להגדרת מערכות

**פרויקט:** אמצעי קצה למערכת שליטה ובקרה (שו"ב)

**תיאור הדרישה:** ביחידה צבאית מסוימת קיימת מערכת שליטה ובקרה מאפשרת תצוגה והעברה של כוחות ומשימות, דיווחים וכו'. יחידות הקצה של המערכת הם מחשבים ניידים מוקשחים (RPT). בגלל שדרוג גרסה של מערכת השליטה והבקרה, שלא נתמכת על ידי חלק מהמחשבים הקיימים (שהיו ממילא ישנים מאוד וזקוקים לריענון), עלה הצורך לרכוש מנה נוספת של 100 יחידות קצה עבור מערכת השליטה והבקרה.

**שאלות להגדרת מערכת:**

האם יחידת הקצה נדרשת להיות מוקשחת? באיזו רמה?

האם יחידת הקצה נדרשת להיות מחשב? האם טאבלט יכול לשמש כחלופה?

אילו ביצועים ויכולות תקשורת נדרשים?

שאלות אלו מדגימות את ההשפעה הרחבה בשלב הגדרת המערכת. ניתוח של פרופיל העבודה עם אמצעי קצה למערכת השו"ב עשוי להעלות שרוב הזמן העבודה כוללת צפייה בתצוגה גרפית ומבוססת מפה ולא כתיבה או הקלדה. לכן, חלופה אפשרית היא שימוש בטאבלט מוקשח שזול משמעותית יותר ממחשב נייד מוקשח.

אם ממשיכים את הניתוח, ייתכן ויימצא שרוב הזמן יחידת הקצה נמצאת ברכב על מעמד ייעודי, ובמעט הזמן שלוקחים אותה לסביבה המבצעית היא איננה חשופה לתנאי סביבה קשים. לכן עשויה לעלות האפשרות לוותר, לפחות חלקית ולפחות לחלק מהאמצעים על דרישות של עמידות מלאה בתנאי סביבה.



איור 4: מחשב מוקשח



איור 5: רכב חילוץ והצלה

**פרויקט:** רכבי כוננות עבור יחידות חילוץ (פרויקט רכש וזייווד של רכבים)

**תיאור הדרישה:** יחידות החילוץ נדרשות לניידות גבוהה לצורך הגעה לאירועי חירום בשטח שאינו ידוע מראש. הרכב נדרש לאפשר הסעה של מחלצים והובלה של ציוד חילוץ והצלה.

**שאלות להגדרת מערכת:**

כמה מקומות לנוסעים נדרשים? (אמנם אין מדובר פיתוח של הרכב עצמו, אך מרחב הפתרונות כבסיס לדיגום כולל רכבים מסוגים שונים, החל מיונדאי גטס ועד מיניבוס).

מה כמות המטען הנדרשת? (בין היתר, מול כשירויות החילוץ ובתלות כמות הנוסעים המוגדרת).  
אילו ציוד נוספים? (למשל, רישיון ב').

### פרויקט: הקמת גדר ליישוב



איור 6: גדר רשת עם תלתלית עליונה

**תיאור הדרישה:** ביישוב מסוים יש גדר היקפית שהתבלתה, נפלה במספר נקודות ובמקטעים נוספים כוללת חורים ובורות שמאפשרים כניסה של אדם. נדרש לחדש את הגדר ולייצר מכשול חדש בשטח ההיקפי של היישוב.

### **שאלות להגדרת מערכת:**

מה גובה הגדר הנדרש? עם/בלי תלתלית?  
תאורה היקפית?

האם נדרש מכשול לרכבים? מאיזה סוג?

האם נדרשת יכולת התרעה? מאיזה סוג?

והאם יש חלופות נוספות מלבד בניה של גדר!?

## **סיכום**

שלב הגדרת המערכות הוא השלב העיקרי שבו מתבצעת הגדרה של היקף המשימה, התכולות, לוחות הזמנים והתקציב. זהו גם הזמן שבו מתקבלות רוב ההחלטות המשמעותיות של הפרויקט ומתגבשות התחייבויות לחלופה הנבחרת ולאופן המימוש. בסוף שלב הגדרת המערכות קיימת מחויבות לתצורת הפתרון, לעלות ולטכנולוגיה.

שלב הגדרת המערכות נדרש לשלב בין ניתוח הצרכים לבין הערכת משמעויות מערכתיות של הטכנולוגיות והפתרונות השונים. מצד שני, גם שלב הנדסת המערכות נדרש להתייחס לניתוח הצורך והגדרת המערכת ולוודא התאמה לדרישות האמיתיות של הלקוח. עבודה משותפת של מגדיר המערכת ומהנדס המערכות עשויה להגדיל את סיכויי הצלחה של השירותים והמוצרים בפיתוח.

**ד"ר אלכס בלכמן** הוא בעל תואר ראשון בהנדסת מחשבים, תואר שני בהנדסת חשמל ותואר שלישי בהנדסת ניהול מידע מהטכניון. אלכס הוא בעל ניסיון של מעל 15 שנים בתפקידי פיתוח תוכנה והנדסת מערכות בתחומים של מערכות אוטונומיות, מערכות הגנה ומערכות גילוי ועקיבה. בתפקידו הנוכחי אלכס משמש בתפקיד ראש מדור פיתוח אמצעים ייעודיים בפיקוד העורף ועוסק בתחומי איתור לכודים, חילוץ והצלה, אימון וסימולציה.



# חשיבה מערכתית - יסודות לבחינת מיון מהנדסי מערכת בארגון, בהתבסס על תכונות קוגניטיביות של המועמד

גדי קרביץ, רפאל / אוניברסיטת חיפה

[gadikr@rafael.co.il](mailto:gadikr@rafael.co.il)

## מבוא

במחקרים העוסקים במקור חשיבה מערכתית עולה לעתים שאלה עקרונית האם יכולת חשיבה מערכתית (ראיה מערכתית) היא יכולת מולדת ((Hitchins, 2003 או נרכשת ((Kasser, 2011 או שילוב של שתיהן (Frank, 2010). בניגוד לאלה, במאמר הנוכחי לא אדון בשאלה זו ובמקום זאת אטען טענה כללית שלכל אדם סביר קיימת יכולת קוגניטיבית ברמה זו או אחרת, המאפשרת לו לחשוב מערכתית ואפשר להסבירה באמצעות מספר עקרונות פילוסופיים בסיסיים. יכולת זו התפתחה בתוכנו במהלך האבולוציה של המין האנושי ובזכותה אנו מצליחים לפעול ולשרוד כפרטים במערכת הטבעית בה אנו חיים. אם-כן, באופן כללי ביותר אפשר לומר שכולנו במובן מסוים "מהנדסי מערכת", כאשר הטבע בכללותו הוא המערכת ואנחנו הפרטים הפעילים במערכת זו.

המטרה העיקרית של מאמר זה היא להציג את התכונות הקוגניטיביות של ראייה מערכתית ואת העקרונות עליהן הן מתבססות, ומתוכם לנסות לגזור סוגי שאלות דוגמא אשר יכולות להיות לעזר לארגונים בהכנת מבחני מיון למועמדים לתפקידים הדורשים יכולת ראייה מערכתית הנדסית. כמוכך, שאלות אלה יכולות להתאים גם לתחומים אחרים בהם נדרשת ראייה מערכתית. כל תחום ותחום כזה יצטרך להתאים את הרמה ואת סוג השאלות בהתאמה לצרכים הנדרשים לתפקיד ספציפי, אך העקרונות בכל התחומים יהיו זהים. במאמר זה בחרתי לעסוק אך ורק בתכונות קוגניטיביות הקשורות לחשיבה מערכתית משום שאלה לדעתי החשובות ביותר לתפקידים בהם נדרשת ראייה מערכתית נרחבת. יחד עם זאת, יש לציין שאלה אינן התכונות החשובות היחידות שמאפיינות מהנדס מערכת טוב. כושר מנהיגות, מקצועיות, ניסיון, קפדנות, ייצוגיות, תקשורת בין אישית וכו', הן תכונות חשובות נוספות שגם עליהן צריך לתת את הדעת במהלך הכנת מבחני מיון לתפקידי הנדסת מערכת. מקוצר היריעה, לא נוכל לדון על תכונות אלה במאמר הנוכחי.

## עקרונות חשיבה מערכתית - היחס בין השלם לחלקיו

לעתים נהוג לתאר את החשיבה המערכתית באמצעות הגדרות כדוגמת (Hitchins, 2003; Senge, 1994):

1. *"Systems thinking seeks to address and solve complex problems by understanding the **system parts** and their interactions within the context of the **whole system**, rather than in isolation"*

## 2. "Systems thinking is a discipline for seeing the whole"

המושגים שהודגשו בהגדרות מעידים על כך שהחשיבה המערכתית היא מושג הוליסטי והיא עוסקת בעיקר ביחסים בין השלם לחלקיו. מתוך הסתכלות בצורות החשיבה האנושיות אפשר לזהות באופן עקרוני ארבעה סוגי חשיבה מערכתיים, שהם בעצם מכסים כמעט את כל סוגי החשיבה האנושית: חשיבה אינדוקטיבית-אנלוגית, חשיבה דדוקטיבית, חשיבה סיבתית וחשיבה חסכונית. להלן נפרט בקצרה את הסוגים ונסביר כיצד ומדוע כל אחד מהם מעיד על חשיבה מערכתית ועל יחסים בין השלם לחלקיו.

### 1. חשיבה אינדוקטיבית-אנלוגית

חשיבה זו מבוססת על היסקים אינדוקטיביים, לא תקפים לוגית משום שהם מסיקים מהפרט אל הכלל. על בסיס תצפיות במקרים פרטיים שאנו צפינו בהם בעבר אנו מסיקים הכללות וחוקים אוניברסאליים. מהיבטי לוגיקה צורנית, היסקים אלה הם לא הכרחיים ולכן גם לא וודאיים (מהיבט של העברת ערכי אמת מההנחות של ההיסק למסקנה). יחד עם זאת, הם מחדשים לנו משהו על העולם ולכן אנו משתמשים בהם בחשיבה יום-יומית ובמדע. עצם הניסיון שלנו להכליל הכללה על בסיס תצפית במקרים פרטיים מעיד על חשיבה מערכתית. אם נעשה אנלוגיה בין הכללה למערכת, נוכל לקבוע שכאשר אנו מסיקים מהפרט אל הכלל אנו בעצם מסיקים מהחלקים אל השלם או במילים אחרות, מחלקי המערכת למערכת בשלמותה. על בסיס תכונות ויחסים בין החלקים, אנו מסוגלים להכליל ולדמיין את המבנה והתכונות של המערכת. להלן דוגמא של טיעון אינדוקטיבי טיפוסי:

**הנחה 1:** כל הברבורים שבהם צפיתי במהלך חיי היו לבנים

**מסקנה:** כל הברבורים בעולם לבנים

בטיעון זה מניחים שלכל פרט במדגם יש תכונה מסוימת ומכך מסיקים שלכל פרט באוכלוסייה כולה יש אותה התכונה. במילים אחרות, מסיקים מהפרט (חלק מהמערכת) אל האוכלוסייה כולה (המערכת). אותו הדבר נוכל לומר גם על היסקים אנלוגיים שבמהותם הם היסקים אינדוקטיביים. כאשר אנו עושים אנלוגיה בין שתי ישויות אנו מניחים שמבחינה מסוימת הן דומות זו לזו ובמובן הזה מהוות חלק מקבוצת ישויות הדומות בתכונות מסוימות. על מנת להבהיר את הנאמר, להלן דוגמא של טיעון אינדוקטיבי-אנלוגי טיפוסי:

**הנחה 1:** A הוא בעל תכונות  $x, y, z, \dots$

**הנחה 2:** B הוא בעל תכונות  $x, y, z, \dots$

**הנחה 3:** ל-A קיימת תכונה נוספת  $t$

**מסקנה:** לכן גם B הוא בעל תכונה  $t$

דוגמא מובהקת לשימוש באנלוגיה אפשר לראות בניסויי תרופות שמנסים על חולדות ומסיקים מהם מסקנות בנוגע להשפעתן גם על בני האדם. ברור שקיים שוני בין חולדות ובני האדם, אך יחד עם זאת אנחנו שייכים לאותה המערכת של בעלי החיים ומבחינה זו יש לנו תכונות משותפות, כגון: אנחנו יונקים, בעלי מערכת נשימה, מחזור דם, מערכת עיכול ותכונות דומות אחרות. מכך, למשל, המדענים מסיקים שאם מזריקים לחולדות תרופה המעכבת אצלן התפשטות גידול סרטני,

אזי בסבירות גבוהה, הזרקת תרופה זו לבני האדם גם כן תעכב את ההתפשטות של גידולים דומים. מהיבטי ראייה מערכתית אפשר לראות כאן שהמדענים על בסיס תצפיות וניסויים בחולדות, שהם פרטים מסוימים במערכת היונקים, מסיקים מסקנות בנוגע לבני האדם שגם הם פרטים אחרים מאותה המערכת, בעלי תכונות דומות לפרטים ראשונים (החולדות).

## 2. חשיבה דדוקטיבית

במובן מסוים חשיבה זו הפוכה מהחשיבה האינדוקטיבית ויחד עם זאת גם ממנה אפשר ללמוד משהו על החשיבה המערכתית שלנו. חשיבה זו מבוססת על היסקים דדוקטיביים, תקפים לוגית משום שהם מסיקים מהכלל אל הפרט. מהיבטי לוגיקה צורנית, היסקים אלה הם הכרחיים ולכן גם וודאיים (מהיבט של העברת ערכי אמת מההנחות של ההיסק למסקנה). בהיסקים אלה אנו גוזרים מתוך הכללות וחוקים אוניברסאליים מסקנות בנוגע למקרים פרטיים ולכן הם למעשה לא מחדשים לנו מאומה על העולם. במדעים מדויקים, במתמטיקה ובגיאומטריה קיים שימוש נרחב בהם. עצם הגזירה הלוגית מהכלל אל הפרט מעידה על חשיבה מערכתית, כאשר מתוך הכלל השלם (המערכת) אנו גוזרים לוגית את הפרטים שהם החלקים של אותה מערכת. להלן דוגמה טיפוסית של טיעון דדוקטיבי:

**הנחה 1:** כל בני האדם הם בני תמותה

**הנחה 2:** סוקרטס הוא בן אדם

**מסקנה:** לכן סוקרטס הוא בן תמותה

את הכלל "כל בני האדם הם בני תמותה" אפשר אנלוגית להשוות למערכת שבה סוקרטס וכל בני האדם הם פרטים בה, כלומר, חלקי המערכת.

## 3. חשיבה חסכונית

חשיבה זו מבוססת על עיקרון הפשטות שלראשונה נוסח על ידי William Occam והוא מכונה בספרות Occam's Razor. במדע לעתים נהוג להגדירו באופן הבא (Baker, 2010, 1998):

1. *"(OR) Entities are not to be multiplied beyond necessity"*
2. *"No extra fanciful or causes should be invoked if known causes (those presently in operation and/or observed) will do the job"*
3. *"If T is simpler than T\* then it is rational to adopt T as working theory for scientific purposes"*

שימוש בעקרון הפשטות נכפה על החשיבה האנושית במיוחד במקרים של אי-יכולת פרקטית להכיל את כל הפרטים של המציאות (המערכת). במקרים אלה אנו נאלצים לפשט את המציאות באופן מלאכותי ומסתפקים בקרובים שמבחינה פרקטית עונים לצרכינו. בדרך כלל המאמץ במדע ובהנדסה בא לפשט תיאוריות או היפותזות על מנת לתאר אותן באלגנטיות ובפשטות וכך גם בחשיבה מערכתית. כל חשיבה והבנה מערכתית תופסת קשרים רלוונטיים חלקיים, לכן היא כרוכה ביכולת מסוימת של

הפשטה. אין לנו שום אפשרות מעשית לקשור בין אובייקטים (חלקי המערכת) ולהסיק מסקנות מנתונים, כלומר, בין מה שנתון וידוע לבין מה שלא תמיד נתון וידוע (המערכת), ללא מידה כלשהי של הפשטה, המאפשרת קישורים סדורים בין האובייקטים. כשאנו מנסים לנתח ולפשט מערכת כל שהיא, למעשה אנו מניחים יסוד משותף בין מרכיביה ומתעלמים ממה שאינו משותף ולא רלוונטי לניתוח שאנו עושים. במילים אחרות, אנו מפשיטים את האובייקט מתכונותיו הייחודיות והופכים אותו לדבר דומה מבחינה מסוימת לאובייקטים אחרים. אם-כן, ברור שעל עקרון הפשטות מושגת כל החשיבה האינדוקטיבית/אנלוגית ומערכתית, כפי שתואר לעיל.

#### **4. חשיבה סיבתית**

קיים שוני עקרוני בין חשיבה לוגית לבין חשיבה סיבתית. בניגוד לחשיבה לוגית (דדוקטיבית), בחשיבה סיבתית אנו עוסקים בטענות עובדתיות על מצב העניינים בעולם, ולכן בדיקתם מחייבת בדיקה של דברים בעולם. חשיבה סיבתית מלווה אותנו ביום-יום, במדע, הנדסה וכו', ובלעדיה למעשה אין באפשרותנו לתאר שום אירוע שמתחרש מסביבנו. כשאנו מסיקים וחושבים באמצעות קשרים סיבתיים, אנו בעצם מניחים במובלע או לא במובלע שלושה עקרונות בסיסיים: **עקרון הסיבתיות** (הטוען שלכל תולדה יש סיבה), **עקרון החוקיות הסיבתית** (שטוען שלאותן הסיבות יש בהכרח אותן התולדות) ו**עקרון חץ הזמן הסיבתי** (הטוען שהסיבה תמיד מקדימה בזמן את התולדה). גם בכל מערכת הנדסית, כמו בכל סוג אחר של מערכת (טבעית או מלאכותית), אנו מניחים שמתקיימים קשרים סיבתיים בין חלקי המערכת השונים ומכאן ברור הקשר בין חשיבה סיבתית לחשיבה מערכתית. למשל, בחקר תקלות מערכתיות, המהנדס מחפש את הסיבות אשר גרמו לחריגה או את הפריט (חלק מהמערכת) שגרם לכשל מערכתי כללי. למעשה, הוא מחפש את ההסבר הטוב ביותר שיכול להסביר את הכשל המערכתי או במילים אחרות, הוא מחפש את התנאים המספיקים והתנאים ההכרחיים להתרחשות אירוע/תקלה מערכתית.<sup>1</sup>

1. להלן כמה הבהרות באשר למושגים "תנאי מספיק" ו"תנאי הכרחי". תנאי מספיק – אירוע C הוא תנאי מספיק להתרחשות אירוע E אם, ורק אם, C מתרחש E מתרחש בהכרח. כלומר, מספיק ש-C יתרחש כדי ש-E יתרחש. תנאי הכרחי – אירוע C הוא תנאי הכרחי להתרחשות אירוע E אם, ורק אם, ללא התרחשות אירוע C אירוע E אינו יכול להתרחש. כלומר, אם C אינו מתרחש, E גם כן אינו מתרחש. יש לשים לב שלאותה התקלה יתכנו סיבות מספיקות שונות, כאשר כל אחת מהם יכולה להכיל סיבות ההכרחיות משלה שגם אותן יש לזהות.

## הצגת סוגי שאלות דוגמא שרצוי לשלב במבחני מיון למועמדים לתפקידים הדורשים יכולת ראייה מערכתית הנדסית

על בסיס עקרונות שצוינו לעיל, בטבלה 1 אציג באופן עקרוני בלבד מספר סוגי שאלות דוגמא. ברור שדוגמאות אלה אינן גנריות ואינן יכולות להתאים לכל ארגון וארגון באופן גורף. כל ארגון וארגון יצטרך לבנות שאלות משלו, כתלות ברמת המורכבות של המערכות בהן הוא עוסק וברמה המקצועית של בעלי המקצוע שהוא מעוניין להעסיק בתפקידי מהנדס המערכת.

טבלה 1	
סוגי שאלות לדוגמא	סוג חשיבה מערכתית
<p>1. להציג לנבחן מערכת הנדסית דינמית בפעולה ולבקש ממנו לזהות את <u>החוקיות</u> ואת עיקרון הפעולה שלה (רמת הסיבוכיות של המערכת תקבע בהתאם לרמה נדרשת לתפקיד ספציפי).</p> <p>2. להציג לנבחן מספר מערכות הנדסית דינמיות ולבקש ממנו להסביר מה <u>משותף</u> ביניהן מבחינת עקרון פעולה, טכנולוגיות, תהליכי הרכבה וכו' (רמת הסיבוכיות של המערכות תקבע בהתאם לרמה הנדרשת לתפקיד ספציפי).</p> <p>3. להניח מול הנבחן מספר חלקים השייכים למערכת מסוימת ולבקש ממנו <u>להרכיב</u> את המערכת בהתאם לתמונה, ללא שרטוט והוראות הרכבה (כמות החלקים במערכת תקבע בהתאם לרמה הנדרשת לתפקיד הספציפי).</p> <p>4. להציג לנבחן מספר מערכות דומות עם תקלות בעלות סיבות שורש שונות ובחלקן דומות, ומערכת אחת עם תקלה שסיבת השורש שלה עדיין לא אובחנה. הנבחן מתבקש למצוא את סיבת השורש לתקלה במערכת זו, באמצעות שימוש ב<u>אנלוגיה</u> למערכות בהן סיבות השורש ידועות (רמת הקושי בשאלה תלוי במספר המערכות שעל הנבחן לבצע לגביהן אנלוגיה).</p>	<p><b>חשיבה</b></p>
<p>1. להציג לפני הנבחן מספר טיעונים ולבקש ממנו לזהות טיעונים בהם המסקנה נגזרת באופן הכרחי מההנחות. להלן שאלה לדוגמא (שבה רק התשובות א' ו-ד' הן נכונות).</p> <p>(א) הנחה 1: אם התרחש C אז התרחש E <u>הנחה 2: C התרחש</u> מסקנה: לכן, E התרחש</p> <p>(ב) הנחה 1: אם התרחש C אז התרחש E <u>הנחה 2: C לא התרחש</u> מסקנה: לכן, E לא התרחש</p> <p>(ג) הנחה 1: אם התרחש C אז התרחש E <u>הנחה 2: E התרחש</u> מסקנה: לכן, C התרחש</p>	<p><b>חשיבה דוקטיבית</b></p>

<p>(ד) הנחה 1: אם התרחש C אז התרחש E</p> <p><u>הנחה 2: E לא התרחש</u></p> <p>מסקנה: לכן, C לא התרחש</p> <p>(רמת הסיבוכיות והפירוט של הטעונונים תקבע בהתאם לרמה הנדרשת לתפקיד ספציפי).</p> <p>2. לבקש מהנבחן לפתור תרגילים בגיאומטריה של המישור בהתבסס על מערכת אקסיומות שמהן הנבחן מתבקש לגזור <u>(להוכיח) דדוקטיבית</u> משפטים ועליהם לבסס דדוקטיבית את הפתרון לשאלה גיאומטרית נתונה (בכל ספר בסיסי של גיאומטריה אוקלידית אפשר למצוא שפע של תרגילים מהסוג הזה. כמו-כן, אפשר לבחור שפע של בעיות מתחום המתמטיקה, שבמהותה מבוססת על לוגיקה דדוקטיבית. (רמת הקושי של השאלות יהיה בהתאם לרמת דרישות התפקיד).</p> <p>3. להציג לנבחן מערכת מורכבת ולבקש ממנו <u>לפרק</u> אותה תחילה למכלולים, לאחר מכן לתתי-מכלולים ולבסוף לפריטי קצה (כמות החלקים במערכת תקבע בהתאם לרמה הנדרשת לתפקיד ספציפי).</p>	
<p>1. להציג לנבחן מערכת ולבקש ממנו <u>לפשט</u> אותה (עלי ידי צמצום מספר חלקים או לשפר את היעילות שלה ללא תוספת או חיסור חלקים מהמערכת), כאשר ה-OUTPUT וה-INPUT של המערכת אינם משתנים (רמת הסיבוכיות של המערכת תקבע בהתאם לרמה הנדרשת לתפקיד ספציפי).</p> <p>2. להציג לפני הנבחן בעיה הנדסית/מערכתית ומספר פתרונות לבעיה זו, ולבקש ממנו לזהות את הפתרון <u>הפשוט והיעיל ביותר</u> לבעיה (כולל נימוקים לבחירת הפתרון המתאים).</p> <p>3. לבקש מהנבחן לצמצם משוואות אלגבריות ארוכות עד למינימום האפשרי. אפשר להציג לנבחן את המשוואה הגולמית ומספר משוואות לאחר הצמצום. על הנבחן יהיה לבחור את המשוואה עם הצמצום המכסימלי שאפשר <u>לצמצם</u> את המשוואה הגולמית (רמת הסיבוכיות של המשוואות תקבע בהתאם לרמה הנדרשת לתפקיד ספציפי).</p> <p>4. לבקש מהנבחן לפתור בעיה/שאלה הנדסית (מערכת חשמלית, מבנה מכאני וכו') הנראית לכאורה מורכבת מאוד, אך אשר בבחינה שנייה רואים בתוכה חלקים שאינם משתתפים תפקודית (קצרים, לדוגמה). איש מערכת טוב ינסה לסלק את ה"רעש" המיותר ולהתמקד במערכת הנקייה, אחרת הפתרון ייקח זמן רב.</p>	<p><b>חשיבה</b> <b>חסכונית</b></p>

<p>1. להציג לנבחן מערכת ולבקש ממנו לזהות את ה-OUTPUT וה-INPUT שלה (רמת הסיבוכיות של המערכת תקבע בהתאם לרמה הנדרשת לתפקיד ספציפי).</p> <p>2. להציג לנבחן מערכת תקולה ולבקש ממנו לאבחן את התקלה, קרי, למצוא את התנאים המספיקים והתנאים ההכרחיים להתרחשות התקלה (ראה הבהרה בהערות שוליים 2. רמת הסיבוכיות של המערכת וסוג התקלה תקבע בהתאם לרמה הנדרשת לתפקיד ספציפי).</p> <p>3. להציג לנבחן מערכת ואת מנגנון הפעולה שלה ולבקש ממנו לזהות ולתאר תפקיד כל חלק וחלק במערכת (רמת הסיבוכיות של המערכת וכמות החלקים בה תקבע בהתאם לרמה הנדרשת לתפקיד ספציפי).</p> <p>4. להציג לנבחן תקלה במערכת ולבקש ממנו להניח מספר השערות לסיבות השורש ולהציע ניסויים לבחירת ההשערה הטובה ביותר לצורך מתן פתרון אפקטיבי ביותר לתקלה (רמת הסיבוכיות של המערכת תקבע בהתאם לרמה הנדרשת לתפקיד ספציפי).</p>	<p><b>חשיבה סיבתית</b></p>
<p>להניח מול הנבחן חלקים להרכבה ללא תמונה והוראות הרכבה, ולבקש ממנו לבנות מערכת כלשהי לפי שיקול דעתו. לאחר ההרכבה הנבחן מתבקש להסביר את התכונות של המערכת, את ה-OUTPUT וה-INPUT שלה, איזה פונקציה היא אמורה למלא ואיזה פונקציה ממלא כל חלק וחלק במערכת זו. לבסוף, הנבחן</p>	<p><b>שילוב תכונות חשיבה מערכתיות – אבחון</b></p>
<p>צריך לכתוב הוראות הרכבה ופירוק של המערכת שבנה. תרגיל זה בא לבדוק האם הנבחן מסוגל לבנות מערכת בהתבסס על הדמיון והיצירתיות המערכתית שלו. יתכנו כמה רמות של הצלחה: לא מסוגל לבנות מערכת, מסוגל להרכיב את המערכת המקורית (ממנה פורקו החלקים), מסוגל לבנות מערכת אחרת שעדיין מבצעת פונקציה כלשהיא (רמת הסיבוכיות של המערכת וכמות החלקים בה תקבע בהתאם לרמה הנדרשת לתפקיד ספציפי).</p> <p>* זאת כמובן רק אחת הדוגמאות מתוך שפע של תרגילים שאפשר לבנות על מנת לבדוק את היצירתיות המערכתית של הנבחן. ככל שהתרגיל יכול וידרוש שימוש ביותר סוגי חשיבה מערכתית כפי שהוצגו לעיל, כך התוצאות שלו ישקפו יותר את רמת היצירתיות המערכתית של הנבחן.</p>	<p><b>יצירתיות מערכתית הוליסטית</b></p>

**ד"ר גדי קרביץ** הוא בעל תואר B.A במדעי הטבע מאוניברסיטה הפתוחה ותואר Ph.D ו-M.A בפילוסופיה של המדע מאוניברסיטת חיפה. גדי עובד ברפאל 32 שנים במגוון תפקידים בתחום ניהול והנדסת איכות. הוא מהנדס איכות מוסמך CQE וכיום משמש כמנהל איכות שטח אלקטרואופטיקה בפיתוח. במקביל לעבודתו ברפאל, גדי חוקר אורח באוניברסיטת חיפה בחוג לפילוסופיה. מחקריו מתמקדים בעיקר בתחומי הפילוסופיה של המדע, הסבר מדעי, אפיסטמולוגיה, לוגיקה ופילוסופיה אנליטית. בתחומי מחקר אלה פרסם גדי מספר מאמרים בחול בעיתונים מקצועיים חשובים העוסקים בפילוסופיה והלוגיקה של מדעי כדור הארץ.



# הנדסת מערכות של משפחות מוצרים סיכום יום עיון הנדסת מערכות על שם יוסי לוי 18.1.17

אביגדור זוננשיין, מרכז גורדון להנדסת מערכות בטכניון

## הוקרה והערכה למצטיינים ולמובילים

ב-18 לינואר 2017 התקיים במרכז גורדון להנדסת מערכות בטכניון יום העיון השנתי המסורתי להנדסת מערכות על שם ד"ר יוסי לוי ז"ל. בפתיחת יום העיון הוענקו תעודות הצטיינות ומענק בספי מטעם משפחת לוי להנדסי מערכות מצטיינים מרפאל ומהתעשייה האווירית. מהנדס המערכות המצטיין של רפאל לשנת 2016 הוא יוסף (ספי) בן יעקב. מהנדסת המערכות המצטיינת של תע"א לשנת 2016 היא ששונה יוסף מלמד.

## הנדסת מערכות של משפחות מוצרים

גישת משפחות מוצרים ומערכות, או קווי מוצר, הופכת להיות יותר ויותר מקובלת בעולם התחרותי השואף לחדשנות מהירה ותדירה במרכיבים שונים של המוצר והמערכת. גישת משפחות מוצרים מאפשרת יישום חדשנות זו באמצעות בין השאר של מודולריות של תת מערכות, שימוש בפתרונות גנריים, שימוש חוזר של רכיבים מוכחים ופיתוח מערכות קומונאליות. הגישה מאפשרת פיתוח מהיר של סדרת פתרונות מערכתיים לפלחים שונים ומגוונים בשוק.

גישת משפחות מוצרים מהווה אתגר להנדסת מערכות, ובשל חשיבות אתגר זה, זהו יום עיון שני בתחום זה שאנחנו מקיימים במרכז גורדון (הראשון התקיים ב-2013).

## Product Line Systems Engineering for ALSTOM Rolling Stock

Dr Hugo Guillermo Chale Gongora, מהנדס מערכות מוביל בחברת אלסטום, הציג את משפחות המוצרים של אלסטום בפיתוח קרונות וקטרי רכבת עבור השוק הצרפתי, ועבור השווקים בעולם כולו. באלסטום מיישמים הנדסת מערכות במשפחות המוצרים, שכוללת בין השאר:

- גיבוש ארכיטקטורה של כל משפחת מוצרים
- איפיון השונות בין המשפחות השונות
- איתור מרכיבים קומונליים בין משפחות שונות

- איתור מרכיבים לשימוש חוזר
  - תכנון ויישום הנדסת מערכות של תת מערכות משותפות
  - תכנון ויישום הנדסת מערכות של משפחת מוצרים ( בגישת 150% )
  - ניהול תצורה של משפחות המוצרים
  - ניהול התשתיות מבחינת מסמכים, תכניות בדיקה שנכתבו ויושמו, ניתוחים שבוצעו ועוד
- בהקשר לשימוש חוזר (reuse) קיימות באלסטום 3 גישות, בהתאם לבשלות הנדסת המערכות במשפחת המוצרים: גישה בסיסית של שימוש חוזר במרכיב זמין כחלק מסגירת הפער לעומת הדרישות, גישה של שימוש חוזר במסגרת המתכונת של 150%, גישה אסטרטגית לשימוש חוזר כחלק בלתי נפרד משיקולי הנדסת מערכות של משפחת המוצרים.
- באלסטום החלו ביישום MBSE בתכן משפחות מוצרים, לצורך זה בנו מאגר מנוהל תצורה של כל המודלים הרלוונטיים ליצירת המוצרים, כאשר הם בוחרים את המודלים המתאימים משלל המודלים הקיימים במאגר, כך שירכיבו את תשתית המודלים לפרויקט מסויים.
- היישום באלסטום מתחיל ביישום חלוץ (פילוט), יש תמיכה של ההנהלה, ומספקים הרבה הדרכות למשתתפים ביישום.

נקודות הכאב של היישום באלסטום הן: נדרש שינוי תרבותי במשפחות מוצרים (מעבר מחשיבה פרויקטאלית לטווח קצר לחשיבה במונחי משפחות מוצרים לטווח ארוך), נדרש שינוי ארגוני תומך במשפחות מוצרים, נדרשת תמיכת הנהלה באופן מתמיד ורציף.

גילרמו משמש גם כמוביל קבוצת העבודה למשפחות מוצרים ב-INCOS. במסגרת זו, ובאדיבות האיגוד הצרפתי להנדסת מערכות AFIS, הוכן והופץ מדריך להנדסת מערכות של משפחות מוצרים. קבוצת עבודה זו מתכננת להיות מעורבת בעוד משימות, כגון הכנת תקן משותף עם ISO על משפחות מוצרים, הכנת הנחיות להתמודדות עם השינויים התרבותיים והארגוניים שכרוכים ביישום משפחות מוצרים, הכנת מדריך ליישום MBSE במשפחות מוצרים.

## **הפיכת התכניות בתע"א להנדסת משפחות מוצרים**

**צבי לנדו** ממטה התעשייה האוירית, הציג איך תע"א יישמה ביישומי חלוץ הנדסת מערכות של משפחות מוצרים בתהליכים ממוחשבים, תוך חבירה ל-IBM, שסיפקה לה את הכלים הממוחשבים ליישום הנדסת משפחות מוצרים. בנוסף, הייתה תמיכה רציפה של חברת Pure Systems הגרמנית. היישום בתע"א החל בלימוד גישות אפשריות ליישום הנדסת מערכות במשפחות מוצרים, ובוצעו מספר הוכחות היתכנות לפני התנעת יישומי החלוץ.

משפחות המוצרים בנויים על נכסים הנדסיים באמצעותם מתכננים ובונים את המערכות, ועל נכסים שנמסרים ללקוחות. סט של נכסים מביא ליצירת מוצר עם מאפיינים ויכולות (features) מסויימים. האתגרים שעומדים בפני תע"א הינם אימוץ הגישה של משפחות מוצרים על ידי מהנדסי המערכות, ויישום הגישה בשלב הייצור.

## הנדסת משפחות מוצרים עם הפלטפורמה של IBM להנדסה מתמשכת

**ערן גרי**, מהנדס בכיר ב-IBM, תיאר את המערכות והתהליכים שבונים ב-IBM כדי לתמוך בפיתוח משפחות מוצרים: מערכות לניהול הנכסים, מערכות לניהול השונויות ברמת הנכסים וברמת היכולות/מאפיינים (features), תהליכי פיתוח והנדסה מלמעלה למטה (top-down), ותהליכי אינטגרציה מלמטה למעלה (bottom-up).

להלן התובנות והממצאים המצטברים על יישומי הנדסת משפחות מוצרים:

- רוב מהנדסי מערכות הם נטולי תרבות משפחות מוצרים ושימוש חוזר. האתגר הראשון הוא תמיכה בשימוש חוזר בנכסים הנדסיים של מהנדס המערכות כמו: מודלים, מסמכי דרישות, מסמכי בדיקות
- לרוב מהנדסי התוכנה יש את ההבנה של משפחות מוצרים ושימוש חוזר
- יישום הנדסה במשפחות מוצרים מחייב בסיס משולב של נתונים הנדסיים

## שילוב גישות Agile בהנדסת קווי מוצר

**עודד ונדר**, מנהל מוצר באלביט מערכות, תיאר יישום הנדסת מערכות בקווי המוצר שבתחום אחריותו, כולל יישום גישות Agile (בעיקר בתוכנה). עודד ציין שיש למצוא איזון בין הגדלת הגמישות על ידי פיתוח משפחות מוצרים, לבין הקטנת הגמישות על ידי שימוש ביכולות ליבה. השימוש ב-Agile נעשה על ידי פיתוח יכולות בפרקי זמנים קצרים (שבועיים-שלושה) במענה על מאגר דרישות. היישום בשלב זה הוא בפיתוח תוכנה.

## מערכות מורכבות לא בהכרח צריכות להיות מסובכות

הרצאה זו מבוססת על עבודת מסטר של תומר בן יהודה בפקולטה להנדסת מכונות בטכניון. התיזה בוצעה בהנחיית פרופ' ראובן כץ וד"ר אביגדור זוננשיין, שגם הציג אותה.

הנחות התיזה הן:

- מורכבות מערכת נובעת בעיקר מהיקף המשימות המוטלות על המערכת
  - מורכבות הינה תכונה אינהרנטית ואינה תכונה שלילית לכשעצמה
  - מסובכות הינה תכונה של התכן המערכתי, ורצוי לצמצמה ככל הניתן
  - מסובכות התכן המערכתי ניתנת לצמצום והפחתה של תהליך התכן (עדיף מתחילתו)
- בעבודה זו אותרו מספר מודלים למדידת מסובכות ומורכבות של מערכות, מתוכם בחרנו שני מודלים לבחינה ותיקוף. המודל הראשון מבוסס על המבנה הפונקציונאלי של המערכת, והמודל השני מבוסס על מבנה הקישוריות של המערכת. מדד המסובכות שפותח מתבסס על שילוב שני מודלים אלו ומדידת מסובכות היצור וההרכבה של המערכת.

כדי לתקף את המודלים ומדד המסובכות שפותח, הערכנו באמצעות המדד את המסובכות של מערכות המפותחות על ידי סטודנטים לתכן ויצור בפקולטה למכונות בטכניון. בסמסטר מסויים כל המערכות

צריכות לבצע אותה משימה. בכל סימסטר 4 קבוצות סטודנטים מתכננות ובונות מערכות שוות משימה. הוערך מדד המסובכות לכל המערכות, והפעילות חזרה על עצמה ב 3 סמסטרים עוקבים.

כדי לתקף את מדידת המסובכות, הצגנו את המערכות המפותחות ל-30 מהנדסים מנוסים אשר סיווגו באופן השוואתי בכל סימסטר את המערכות מהפחות מסובכת למסובכת ביותר, והשוו ההערכות למדד המסובכות שפותר.

בשני סמסטרים נמצאה התאמה מלאה בין המדד לבין הערכות המהנדסים. בסמסטר השלישי לא הייתה התאמה, וגם לא הייתה הסכמה בין המהנדסים על רמת המסובכות. להערכת החוקרים, המערכות בסמסטר השלישי עברו עיצוב תעשייתי ש"החביא" את מסובכות התכן.

הוזכרו 10 החוקים של פשטות של John Maeda, וצויינו ההנחיות לפישוט תהליכים.

נראה לנכון שאחת המטרות של מהנדס המערכות היא פישוט המערכות שהוא מתכנן ובונה. מערכות פשוטות יותר הן אמינות יותר, איכותיות יותר, וזולות יותר ביצור, בתפעול ובתחזוקה. מערכות פשוטות יותר עשויות להיות מפותחות ומיוצרות במשכי זמנים קצרים יותר.

גם במשפחות מוצרים נכון שאבני הבניין של המשפחות תהיינה פשוטות יותר, וגם הקישוריות למשפחות תהייה פשוטה יותר.

## פרקטיקות של תכן מערכות יוצרות קויי מוצר

**דורון יחיא**, מנהל מערכות ב GE HealthCare, תיאר את שלבי התכן המערכתי שנהוגים ב-CT, MRI ורפואה גרעינית, וכיצד בונים את קווי המוצרים.

צעד א- האזנה לקולו של הלקוח החיצוני והפנימי

צעד ב-יצירת דרישות מפתח

צעד ג- גיבוש ארכיטקטורה מערכתית

צעד ד- ניתוח מערכתי לכל מחזור החיים

צעד ה-כתיבת דרישות

צעד ו-גיבוש חלופות מערכתיות והשווה ביניהן

דורון הדגים צעדים אלו על מספר קווי מוצרים בחברה.

## Generic in Development- To Do or Not To Do

**ניצן ש.** מרפאל הציגה את שאלות הגנריות, כגון:

- היתרונות והבעיות הצפונות בגנריות
- היכן נקבעת הגנריות, מי יוזם ומי אחראי
- היתרונות הגלומים בגנריות:
- חסכון בשעות פיתוח – כסף

- פוטנציאל לפיתוח מואץ – זמן
- חשיבות מכרעת בעידן ה-Make Before Buy
- מאפשר מענה להרבה פרויקטים במינימום כ"א בפיתוח
- **מכפיל איכות ואמינות** – החלקים המשותפים נבדקים במכפלות ועוברים חשיבה ושיפורים אצל מפתחים שונים
- ככל שהדמיון רב – יכולת גבוהה לניוד עובדים יעיל בין פרויקטים
- תדמית/אמינות מול הלקוח – התנהגות זהה היכן שמתאים
- פוטנציאל להורדת עלויות RE ע"י הגדלת כמות

הבעיות הצפונות בגנריות:

- אי כינוס דרישות
- דרישות יתר, "ניגוד אינטרסים
- חזרה על בדיקות בעדכון לשם שמירת הגנריות
- תזמון לא מתאים של הגנריות
- סרבול ממשקים ללא צורך
- עלויות מיותרות עקב שמירה על גנריות

היכן נקבעת הגנריות:

- ברמת הארגון – עם פוטנציאל התועלת הגדול ביותר, אבל עם הכי הרבה חיכוך
- ברמת קו המוצר
- ברמת היחידות ההנדסיות – נדרש שכנוע של הפרויקט והמנהלה

תובנות עיקריות:

- בגנריות גלומים יתרונות עצומים בצד "מחירים"
- חובה להשקיע את המחשבה ביישום גנריות **במקומות המתאימים**
- היכן שניתן, **תזמון** גנריות הוא מפתח למיטביות
- בנושאי חומרה יש לקחת בחשבון גם את **הכמויות**
- מחד, גנריות מובילה לכמויות גדולות, עם **פוטנציאל הוזלה**
- מאידך, בכמויות גדולות בפרויקט יחיד, **ייקור רכיב מגדיל עלות**
- כל מנהל יחידה הנדסית ברמה שלו צריך ליזום גנריות ברמה המתאימה
- תוך בחינת ה"מחירים" ובתהליך שכנוע
- וכאמור, ככל שהרמה עולה, עולה המורכבות

- נדרשת יוזמה של הנדסה אך עם **שקיפות** לפרויקטים
- נדרשים **משוגעים לדבר** שמכירים ביתרונות הגלומים ובסכנות הטמונות
- תכן ראשוני עם חשיבה על גבריות
- בחינה יומיומית של ההחלטה... ואומץ להפרדה כשנכון

## פאנל - הנקודות הכואבות ביישום הנדסת מערכות של משרות פחות מוצרים

בפאנל השתתפו כל המרצים מיום העיון.

הנקודות הכואבות ביישום משפחות מוצרים:

- הצורך בשינוי תרבותי מפיתוח מוצר בודד בטווח הקצר למשפחות מוצרים בטווח הארוך
- הצורך בשינוי ארגוני התומך בהנדסת מערכות של משפחות מוצרים
- הצורך באימוץ תהליכי יצירת נכסים משותפים ברמות המידע וברמות מוצרים גנריים
- הצורך בניהול תצורה קפדני לאורך זמן
- הצורך בשקיפות מלאה על הנכסים המשותפים ועל הביצועים שלהם לאורך זמן
- צורך בכלי ניהול והנדסה משולבים ומדברים זה עם זה

## סיכום יום העיון

נראה שיום העיון הציף את היתרונות הגלומים במשפחות מוצרים, וכן הוצגו תהליכים וכלים ליישום הנדסת מערכות במשפחות מוצרים.

נראה שנכון לקיים קבוצת עבודה משותפת לתעשייה ולספקי כלים כדי לקדם יישום אפקטיבי של הנדסת מערכות במשפחות מוצרים. מומלץ שזו תהיה יוזמה משותפת של מרכז גורדון, האיגוד הישראלי להנדסת מערכות ואילטם.

המצגות של יום העיון ותמונות מיום העיון נמצאות באתר מרכז גורדון בלינק:

<http://www.gordon-se.technion.ac.il/news-events/levin-day-1812017/>

# יישום תהליך הנדסת המערכות בניתוח נתוני IoT

רוברט ס. שוורץ, המכון הפוליטכני של וורצ'סטר, ארה"ב

## תקציר

"האינטרנט-של-הדברים" (IoT) ונתוני-עֵתֶק (Big Data), שהגיחו לעולמנו, מאתגרים את יישומיותם של התהליכים המבוססים של הנדסת המערכות. במקרים רבים יש צורך להחליף או לשנות תהליכים אלה על מנת שימשיכו להיות תקפים. מצד שני, הם יכולים להציג בפני מתכני המערכות הזדמנויות חדשות. מאמר זה דן בהשפעות על מספר תהליכים תקינים, כגון דרישות וסיכונים, בחשיבותה של החשיבה המערכתית (System Thinking) כאשר עובדים בהקשר זה ובכמה מההזדמנויות הפוטנציאליות.

המאמר המלא נמצא בעמוד VII בחלקו האנגלי של הגליון.

## לקראת אימוץ מסגרת PSI: אפיון מאמצי פיתוח

אבי שקד ויורם רייך

אוניברסיטת תל אביב

## תקציר

ככל שמערכות ופיתוחן הולכים ונהיים מורכבים, חש צורך לתכנן את מאמצי הפיתוח. תכנון זה כרוך ב"תפירה" הולמת של נהלי פיתוח כתהליך פיתוח ובחירה של שיטות פיתוח מתאימות. אחד המכשולים בהשגת תכנון מושכל שכזה הינו החוסר בקריטריונים אחידים לאפיון מאמצי הפיתוח. בדרך כלל, נסיון עבר רלוונטי, היכולת ליישם שיטות פיתוח למצבי פיתוח שונים ונהלים שגרתיים הנדרשים בפיתוח באירגון אינם מיוחסים באופן ברור למאמצי הפיתוח. דבר זה מקשה על תהליך הפיתוח.

במאמר זה אנו מציגים את המוטיבציה לאפיון מאמצי הפיתוח לפני הפניה ליישום מסגרת PSI (Product Social Institutional framework) כמקור השראה לגשת לאפיון כזה באופן הוליסטי. בנוסף, אנו מציגים שיטה לאפיון מאמצים המתווכת בין תכונות נראות לעין לבין המאפיינים המופשטים יותר של מסגרת PSI. לבסוף, אנו מציגים כיצד אפיון כזה יכול להועיל בתכנון מאמצי פיתוח.

המאמר המלא נמצא בעמוד XIV בחלקו האנגלי של הגליון.



הטכניון מכון טכנולוגי לישראל  
מרכז גורדון להנדסת מערכות



**INVITATION & PROGRAM FOR 27.6.17  
INNOVATIVE APPROACHES & RESEARCHES FOR  
ADVANCED SYSTEMS ENGINEERING THROUGH  
DATA ANALYTICS**

ORGANIZED BY THE GORDON CENTER FOR SYSTEMS ENGINEERING  
IN THE MEMORY OF DR. ZEEV BONEN

To be presented at the Neaman Institute, The Butler Hall, Forshheimer Building,  
Technion Haifa

08:30-09:00	Registration
09:00-09:30	Opening & Greetings – Prof. Aviv Rosen, Technion, Dr. Bonen Family
09:30-10:15	Systems Engineering Processes Applied to IoT Data Analytics – Prof. Robert Swarz, Worcester Polytechnic Institute (WPI)
10:15-11:00	Quality of Information, A Road Map for Applied Data Sciences – Prof. Ron Kenett, KPA & The Samuel Neaman Institute
11:00- 11:30	Coffee Break
11:30-12:15	From Exploration to Production: How to Tackle the IoT Challenge – Mathieu Cuenant, Mathworks Application Engineer
12:15-12:45	Implementing Business Intelligence in Developing Complex Systems – Miki Lumnitz, IAI
12:45-13:30	Lunch Break
13:30-14:15	Designing Better Systems with Existing Data: Forecasting Potential Equipment Failures – Roni Peer, Systems Engineer, Systematics
14:15-14:45	Mechanical Simulation Tools – Virtual Computation Environment as a Driver for Improving the System Design and the Development Process – Asa Bachnoff, RAFAEL
14:45-15:15	Multi Dimensions Optimization– Implementation Challenges and Benefits at IAI – Dr. Ohad Gur, IAI
15:15-15:45	A Challenging Approach for Reliability of Technologies – Dr. Yair Shay, IAI
15:45-16:15	Detection of New Operation Modes in Systems Based on Data Mining and Analytics – Marcelo Bacher, TAU
16:15-16:30	Conclusions: Prof. Aviv Rosen, Dr. Avigdor Zonnenshain, The Gordon Center

אילטם - איגוד משתמשים לפיתוח מתקדם של מערכות מורכבות ומערכים (ע"ר)  
IncoSE\_IL - האיגוד הישראלי להנדסת מערכות



## אם אתה מהנדס מערכות או מהנדס העוסק בפרוייקטים מערכתיים מקומך איתנו!

כרטיס - INCOSE\_IL ופייה לותק אפילו ואפילו!

הנני מבקש להצטרף לאיגוד הישראלי להנדסת מערכות

טופס הצטרפות ל INCOSE\_IL -2017

שם: \_\_\_\_\_ חברה: \_\_\_\_\_ תפקיד: \_\_\_\_\_  
טל: \_\_\_\_\_ פקס: \_\_\_\_\_ אימיל: \_\_\_\_\_

- החברות שלי היא ללא תשלום מאחר שהחברה בה אני עובד, חברה באילטם.  
 אני פועל להשגת אישור תשלום מהחברה או למתן התחייבות לתשלום.  
 הריני מאשר לאיגוד לשלוח אלי חומר על פעילות האיגוד

דמי חבר ל- INCOSE\_IL לשנת 2017 לקהל הרחב: 500 ש"ח (לא כולל למע"מ). לחברי אילטם ללא תשלום

במטרה לשפר את הקשר שלנו עם קהל המומחים בתעשייה  
נשמח באם תעדכן/י פרטיך , על-מנת שנעדכןך בתחומים המעניינים אותך

פיתוח חומרה	
מנהל פיתוח חומרה	
ראש פיתוח חומרה	
איכות ואמינות חומרה - בפיתוח	

הנדסה	
הנדסה	
קיימות	
איכות אמינות ותקינה - חומרה	

הנדסת תוכנה	
מנהל פיתוח תוכנה	
ראש פרויקט תוכנה	
איכות ואמינות תוכנה	
מהנדס תוכנה	
מערכות מידע	

מעוניין בכל תחומי הפעילות	
מעוניין בכל תחומי הפעילות	
הדרכה / משאבי אנוש	

הנדסת מערכות	
הנדסת מערכות	
מנהל פיתוח מערכות	
ראש פרויקט מערכות	
סימולציות מערכתיות	
אבטחת איכות מערכת	
System Of Systems	
תכן לבטיחות במערכות	

שילוב דיסציפלינות	
הנדסת מערכות ותוכנה	
הנדסת מערכות וניהול פרויקטים	
הנדסת מערכות וחומרה	

גליון מס' 20 | יוני 2017

# קול המערכות

## כתב העת של מהנדסי המערכות בישראל

קול העורך  
עמיר תומר

קול הנשיא היוצא של האיגוד הישראלי להנדסת מערכות - INCOSE\_IL  
יגאל אסקין

קול נשיא INCOSE\_IL  
רם אורון

קול מנכ"ל אילטם  
משה סלם

הגדרת מערכות  
אלכס בלבמן

חשיבה מערכתית - יסודות לבחינת מיון מהנדסי מערכת  
גדי קרביץ

הנדסת מערכות של משפחות מוצרים  
אביגדור זוננשיין

יישום תהליך הנדסת המערכות בניתוח נתוני IoT [תקציר]  
רוברט ס. שוורץ

לקראת אימוץ מסגרת PSI: אפיון מאמצי פיתוח [תקציר]  
אבי שקד ויורם רייך

תוכנית יום העיון להנדסת מערכות במרכז גורדון, 27/6/2017

שופס הצטרפות ל- INCOSE\_IL



# קול המערכות

כתב העת של מהנדסי המערכות בישראל

גליון מס' 20 | יוני 2017

Incose.il – האיגוד הישראלי להנדסת מערכות  
אילטם - איגוד משתמשים לפיתוח מתקדם של מערכות מורכבות ומערכים (ע"ר)  
כתובת: המרד 29 בית התעשיינים ת.ד. 50232 תל-אביב 61500  
טלפון: 03-6889220 פקס: 03-6889216  
מייל: [iltam@iltam.org](mailto:iltam@iltam.org) אתר: [www.iltam.org](http://www.iltam.org)

מרכז גורדון להנדסת מערכות  
הטכניון - מכון טכנולוגי לישראל  
קרית הטכניון, חיפה 32000  
[www.gordon-se.technion.ac.il](http://www.gordon-se.technion.ac.il)