

תוכן העניינים

קול המערכות - כתב העת של מהנדסי המערכות בישראל

קול העורך עמיר תומר	עמ' 1
קול נשיא INCOSE_IL יגאל אסקין	עמ' 2
קול מנכ"ל אילטם משה סלם	עמ' 3
"גוף עם לב גמיש ומשתנה": נקודת מבטם של מהנדסים/ות ומנהלי/ות פרויקטי מערכת בישראל על פרויקט מערכת עתירת תוכנה אורית חזן	עמ' 5
היבטים של שילוב תוכנה במערכות עמיר תומר	עמ' 12
אוטומציה של תהליך פיתוח מבוסס-מודלים בחוג סגור [תקציר] פליקס מרטין ויורגן מוטוק	עמ' 23
קידום תאוריית האופציות הארכיטקטוניות: ששה מקרי בוחן תעשייתיים [תקציר] אבנר אנגל ויורם רייך	עמ' 23
סיכום הכנס הבינלאומי של INCOSE, סיאטל, יולי 2015 אביגדור זוננשיין	עמ' 24
אינטגרציה וממשקים - סיכום יום עיון ע"ש ד"ר זאב בונן במרכז גורדון אביגדור זוננשיין	עמ' 34
סיכום הכנס הישראלי השני לארכיטקטורות תוכנה עידן פלג	עמ' 38
תוכנית יום העיון "שילוב הנדסת תוכנה עם הנדסת מערכות" במרכז גורדון	עמ' 40
סדנא לתכן פונקציונאלי של מערכות מורכבות - מרץ 2016	עמ' 41
טופס הצטרפות ל- INCOSE_IL	עמ' 42

חלקו האנגלי של הגליון נמצא מצידו השני.

The English section is on the opposite side of the journal

קול העורך

קוראים יקרים,

גליון זה של "קול המערכות" יוצא לאור בצמוד ליום העיון החצי-שנתי במרכז גורדון בטכניון, המוקדש הפעם לשילוב בין הנדסת מערכות והנדסת תוכנה. ביום בו נכתבות שורות אלה נודע על סיום ניסויי הפיתוח של מערכת "שרביט קסמים" ועל הכנסתה הקרובה למבצעים. זהו, ללא ספק, עוד אחד מהישגיה המפוארים של התעשייה הישראלית, ועוד הוכחה ליכולת מדהימה של מערכת מורכבת, שהתוכנה תופסת בה חלק נכבד. האין זה פרדוקס? הנה מערכת ותוכנה משולבות זו בזו באופן מוחלט, בעוד שמהנדסי המערכת ומהנדסי התוכנה זקוקים לימי עיון כדי לנסות ולשפר את השילוב ביניהם. מהיכן נובעים הפערים? מחוסר ידע? חוסר הבנה הדדית? ואולי יוקרה מקצועית? בכל מקרה – מסתבר שהשילוב של מערכות אנושיות קשה, כנראה, הרבה יותר משילוב מערכות טכניות.

לקראת יום העיון ערכה פרופ' אורית חזן, מהפקולטה לחינוך למדע וטכנולוגיה בטכניון, מחקר הבוחן את עמדותיהם של מהנדסי מערכת ומנהלי פרויקטים מערכתיים לגבי מערכות עתירות תוכנה. ממצאי הסקר, שחלקם עדיין מצביעים על הפערים בין הדיסציפלינות, מובאים במאמרה של אורית בגליון זה.

מאחר ואני עוסק גם בהוראה וגם במחקר סביב שתי דיסציפלינות אלה, הרשיתי לעצמי לתרום מאמר משלי לגליון זה. המאמר מבוסס על הרצאת מפתח שנתתי בכנס בגרמניה בו השתתפו כ-200 סטודנטי מחקר מדיסציפלינות הנדסיות שונות. המאמר מעלה כמה היבטים הנוגעים לשילוב של תוכנה במערכות "פיזיקאליות", שאותם כדאי לקחת בחשבון בעת פיתוח מערכות מורכבות.

מעבדת OTH-Regensburg (Laboratory of Safe and Secure Systems) LaS³ הוקמה באוניברסיטת בגרמניה ע"י פרופ' יורגן מוטוק. במהלך שנות פעילותה הצליחה המעבדה לבסס מספר שלוחות בתעשיית הרכב הגרמנית ובמספר אוניברסיטאות נוספות וחלק מבוגרי התארים הגבוהים, שביצעו את מחקריהם במעבדה, פתחו חברות-הזנק על בסיס התוצרים שפיתחו. המאמר המובא בגליון זה, שנכתב ע"י פרופ' מוטוק ואחד מתלמידיו, מתאר תהליך פיתוח תוכנה עבור מעבד מרובה-ליבות במערכת הפעלה זמן-אמת.

בגליון זה מובא גם מאמר רחב-יריעה, שהתקבל לפרסום בעיתון Systems Engineering, ובו סוקרים מחבריו – ד"ר אבנר אנגל ופרופ' יורם רייך מאוניברסיטת תל אביב, ששה מקרי-בוחן של יישום תאוריית האופציות הארכיטקטוניות (Architecture Options), שמזה מספר שנים הם עוסקים בפיתוחה. תאוריה זאת מאגדת בתוכה תאוריית אופציות פיננסיות (Financial Options) ותאוריית עלויות של עסקאות (Transaction Costs) במטרה לתכנן מערכות בעלות סגילות אופטימלית לאורך כל מחזור החיים שלהן.

פרט לארבעה מאמרים אלה, סוקר ומסכם בעבורנו ד"ר אביגדור זוננשיין ממכון גורדון בטכניון את הכנס הבינלאומי של INCOSE שנערך בסיאטל ביולי 2015 ואת יום העיון הקודם במכון גורדון שהוקדש לנושא אינטגרציה וממשקים.

לסיום, אני מזמין כל אחת ואחד מכם לתרום לשיתוף הידע בקרב קהילת מהנדסי המערכות בישראל ע"י כתיבת מאמר ופרסומו בעיתוננו.

בברכת קריאה מהנה,



פרופ' עמיר תומר, CSEP

המכללה האקדמית כנרת

עורך "קול המערכות"

amir@amirtomer.com

קול נשיא האיגוד הישראלי להנדסת מערכות - INCOSE_IL

שלום רב לקהילת מהנדסי המערכת!

זה לא מכבר סיימנו את שנת 2015 בפעילות האיגוד. שנה זו התברכה בעשייה ענפה במגוון רב של תחומים: ימי עיון, מפגשים, סדנאות ועוד.

פרטים על הפעילות וחומרים נלווים ניתן למצוא באתר האיגוד www.iltam.org.

פעילות האיגוד מתבצעת במסגרת תוכנית מגנט של המדען הראשי והתמקדה בתהליכים, מתודולוגיות וטכנולוגיות לפיתוח מתקדם של מערכות מורכבות ומערכים, הן בהיבט החברות הגדולות והן בהיבט החברות הקטנות והבינוניות.

האיגוד הישראלי להנדסת מערכות ארגן את העשייה סביב שני ווקטורים מרכזיים: הראשון הינו הנדסת מערכות במערכות מורכבות ובמערכים, והשני – הנדסת מערכות בחברות קטנות ובינוניות. הקמנו לכל אחד מהנושאים האלה וועדת היגוי שתפקידה העיקריים זיהוי ומיפוי צרכים, קביעת עדיפויות והכנת רשימת נושאים בהם כדאי להתמקד. אנו נמשיך בפעילות זו כדי לייצר התאמה מיטבית לצורכי מהנדסי המערכת באשר הם.

הייעוד המרכזי של האיגוד הישראלי להנדסת מערכות INCOSE_IL הנו להפיץ ידע ולשתף בידע לקידום הנדסת המערכות בתעשייה הישראלית ובאקדמיה. במסגרת הפעילות לזיהוי ומיפוי הצרכים זיהינו כי קיימת אוכלוסיה רחבה של מהנדסי מערכת בפועל שמסיבות שונות אינם מוגדרים ככאלה, או על ידי עצמם או על ידי החברה בה הם עובדים. ברצוננו להגיע גם אל אוכלוסיה זו על מנת ללמוד על הצרכים שלהם והתובנות שהם פיתחו בעצמם.

כדי להפוך את היעוד של האיגוד לתחומי פעילות ובכל תחום לגבש תוכנית מעשית, לא רק לשנה הקרובה אלא גם בראיית האופק העתידי של שנת 2025, התחלנו לנסח את החזון והיעוד של הארגון. בכוונתנו לסיים את הפעילות במחצית הראשונה של 2016 ולייצר חזון ותוכנית עבודה התואמים את כיווני ההתפתחות בעולם, ויחד עם זאת לא נעדרים את הזווית הישראלית הייחודית.

ברצוני להודות לכל חברי האיגוד הישראלי להנדסת מערכות INCOSE_IL על פעילותם במסגרות האיגוד במהלך שנת 2015, לדרבן כל אחד ואחת לצרף חברים חדשים לארגון ולאחל לכולנו הצלחות והישגים גם בשנת 2016!

קריאה מהנה ופורייה!



יגאל אסקין

נשיא האיגוד הישראלי
להנדסת מערכות INCOSE_IL
yeskin@elta.co.il

קול מנכ"ל אילטם

שלום רב,

בימים אלו מתגבשת תוכנית העבודה לשנה זו הכוללת פעילות בתחום המערכות המורכבות בדיסציפלינה של הנדסת מערכות, הנדסת תוכנה ופיתוח חומרה.

בדצמבר 2015 נערכו בחירות לנשיאות אילטם, במסגרת הבחירות לנשיאות נבחרה מהנדסת המערכות שלומית מורד מחברת Stratasys. בעבר שלומית הובילה את נושא תשתיות תוכנה באורבוסק ולאחר מכן עבדה עם HP אינדיגו. כיום היא מהנדסת מערכות בחברת Stratasys. בנשיאות אילטם שלומית מרכזת את תחום הפעילות הנדסת מערכות בחברות לא ביטחוניות, המשותף לאילטם ו-Incose-il.

אנו שמחים לעדכן על צירופם של 77 סטודנטים מהטכניון למשפחת INCOSE-IL, במטרה לחבר את מהנדסי המערכות הבאים אל תחומי העשייה של Incose-il ואילטם.

במהלך שנת 2016 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.

כמו כן נערוך ב-30 למאי 2016, בשיתוף הפקולטה להנדסה והפקולטה למדעים HIT – מכון טכנולוגי חולון, את יום העיון השנתי השלישי בנושא: מגמות חדשניות בפיתוח, EMBEDDED SYSTEMS, אשר בראשו יעמוד ד"ר מיכאל וינוקור – תע"א, HIT.

בין שאר הפעילויות, נקיים סדרה בת 10 מפגשים בנושא הנדסת מערכות כאשר כל מפגש יכלול הרצאה תאורטית ולאחר מכן Case Studies באותו הנושא. נושאי המפגשים: ניתוח פונקציונאלי, תכן ומוכנות לאינטגרציה, הקצאת פונקציות המערכת בין תתי המערכות השונות, לוגיקת בדיקות האינטגרציה, סימולציות "מקצועיות", תכנון קומונאליות ושימוש ב-COTS בתכן למערכות, בניית תרחישים ומצבים מערכתיים לתיקוף צרכי המערכת, ניהול תצורה של צורבה – חומרה ותוכנה במערכות מורכבות, כתיבה והגדרה של קונספט מבצעי/תפעולי, סימולציות לחקר ביצועים בהדרה ותכנון מערכת. **המפגש הראשון יתקיים ב-10.02.2016 בנושא "ניתוח פונקציונאלי"**. אחת ל-4-3 שבועות נקיים מפגש בסדרה.

ההשתלמויות בתחום הנדסת מערכות שיתקיימו בקרוב:

- **Speed, Data and Ecosystems: Reinventing Systems Engineering** – סדנא שתועבר ע"י Prof. Jan Bosch, Chalmers University of Technology, תתקיים ב-19 לינואר 2016. [לפרטים באתר האיגוד](#)
- **הנדסת מערכות מבוססות COTS (Commercial Off-The-Shelf)** – סדנא של 3 ימים, שתועבר ע"י ד"ר עמיהוד הרי, מנחה, יועץ ומרצה בכיר בטכניון, תיערך בתאריכים 26 לינואר, 02,09 לפברואר 2016. [לפרטים באתר האיגוד](#)
- **תכן תפקודי (פונקציונאלי) למערכות מורכבות** – השתלמות של ארבעה ימים, שתועבר ע"י ד"ר דרורה גושן מהמכון הטכנולוגי בחולון, תיערך בתאריכים 1,8,15,22 למרץ, 2016. [לפרטים באתר האיגוד](#)

בתחום תכן לבטיחות מערכות:

- תכן לבטיחות במערכות מורכבות - סדנא של 3 ימי עיון שתועבר ע"י המומחים במחלקת אמינות ובטיחות מערכות ברפאל. הסדנא תתקיים בתאריכים 24 לפברואר, 02,09 למרץ 2016. [לפרטים באתר האיגוד](#)

בתחום הנדסת תוכנה:

- פרקטיקות קלאסיות ואג'יליות בניהול פרויקטי תוכנה מורכבים - סדנא של יומיים, שתועבר ע"י פרופ' עמיר תומר, המכללה האקדמית כנרת בעמק הירדן, תיערך בתאריכים 02-03 לפברואר 2016. [לפרטים באתר האיגוד](#)
- ארכיטקטורת תוכנה במערכות מורכבות - סדנא בת שלושה ימים, שתועבר ע"י פרופ' עמיר תומר, המכללה האקדמית כנרת בעמק הירדן, תיערך בתאריכים 01,08,15 למרץ 2016. [לפרטים באתר האיגוד](#)
- Fault Prediction in large software systems - סמינר יומי אשר יועבר ע"י Elaine Thomas Ostrand ו-Weyuker. יתקיים בתאריך 17.02.2016. [פרטים יועברו בהמשך](#)

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

עם תחילת 2016 אנו מזמינים את מהנדסי המערכות ל-incose_il ואת ציבור החברות התעשייתיות בישראל להצטרף לאילטם או לחדש חברות קיימת, ולהשתתף במגוון פעילויותינו

אנו מזמינים אתכם לקחת חלק בפעילות הענפה של האיגוד.



משה סלם
מנכ"ל אילטם
Moshe@iltam.org
www.iltam.org

"גוף עם לב גמיש ומשתנה": נקודת מבטם של מהנדסים/ות ומנהלי/ות פרויקטי מערכת בישראל על פרויקט מערכת עתירת תוכנה

אורית חזן, הפקולטה לחינוך למדע וטכנולוגיה, הטכניון
oritha@technion.ac.il

תקציר

רוב הדיונים על אינטגרציה מתמקדים בפעילויות המתבצעות במהלך בניית המוצר. פעולות מוקדמות מוגבלות להגדרה ולבקרה של דרישות הממשקים. עם המציאות של עלות הולכת וגדלה של תיקון ליקויים בשלב מאוחר בתוכנית, וההכרה הכללית שבדרך כלל יש בעיות בממשקים, גישה זו נראית בלתי אופטימאלית. מאמר זה מתבונן בדרכים שונות לשיפור תהליך האינטגרציה הכולל ולאתור בעיות אלה בשלבים הרבה יותר מוקדמים. מובאות דוגמאות הן לצורך בפעולות מוקדמות והן לתועלת המופקת מהן.

מבוא

לקראת הכינוס בנושא פרויקטי מערכת עתירי תוכנה שיתקיים בתאריך 20.1.2016, נערך סקר בקרב מהנדסי מערכת בישראל ביחס לדעתם ולניסיונם בפיתוח פרויקטים מסוג זה הן כמהנדסים והם כמנהלי פרויקטים. בנוסף, נאספו נתונים על השכלת העונים והידע שלהם/ן בתחומים השונים הרלוונטיים לפיתוח פרויקט מערכת עתירת תוכנה.

הסקר הופץ ב- 24.6.2015 וניתן היה לענות עליו במשך חודשיים עד לתאריך 23.8.2015. הוא נשלח לרשימות התפוצה של משתתפי כינוסי מרכז גורדון ושל אילטם. התקבלו 194 תשובות. חשוב לציין, כי משך מילוי השאלון הוא כ- 20 דקות ולכן מספר עונים זה מרשים.

השאלון כלל שאלות סגורות ופתוחות, כאשר המענה לשאלות הפתוחות אפשר למשיבים להסביר את תשובותיהם לשאלות הסגורות. למשל, לאחר שהוצגה השאלה: האם לדעתך קיימים פערים בין שיטות הניהול של פרויקטי מערכת לשיטות הניהול של פרויקטי תוכנה? (שאלה סגורה), הוצגה השאלה הפתוחה: אם כן, האם תוכל/י לפרט? למרות שהמענה על השאלות הפתוחות הושאר לבחירת המשיבים, רבים מהם בחרו לענות עליהן בפרוט. הדגמות לכך נראה בהמשך.

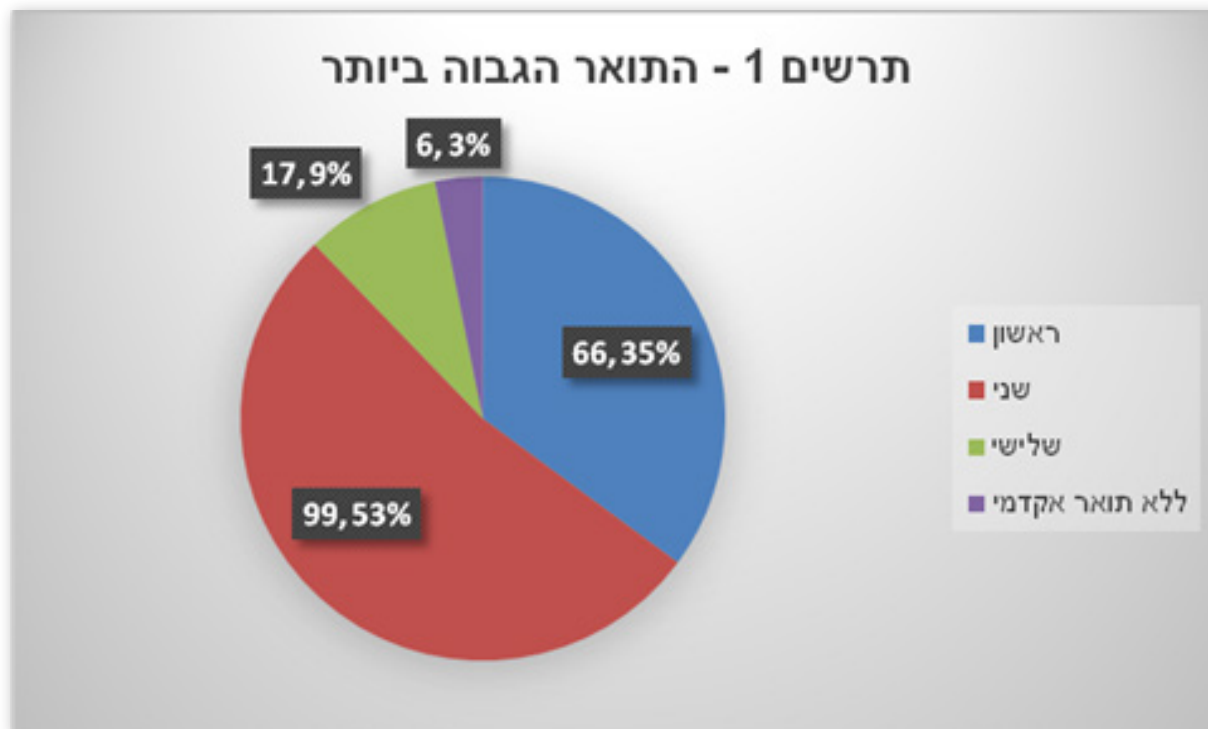
להלן הקישור לשאלון:

<https://docs.google.com/forms/d/1zDIFXGmhBgYWD4EQkzYUhgFPuorBoljdYo3zcLiS9og/viewform>

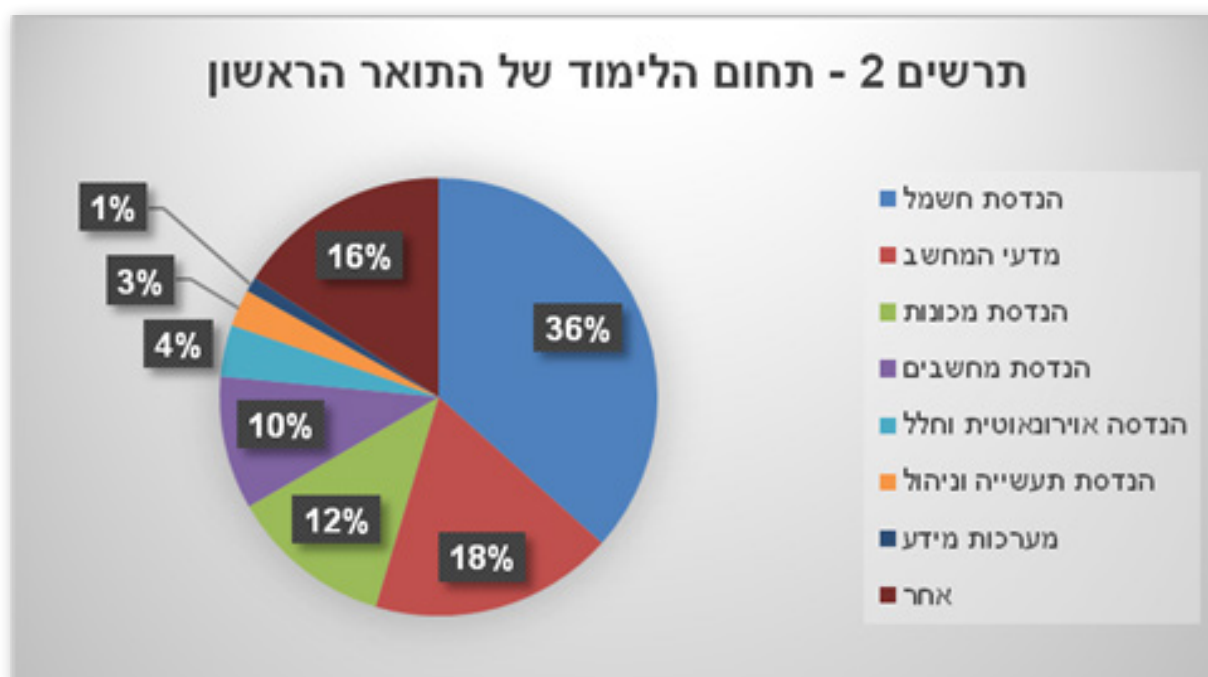
התשובות לשאלות השאלון תוצגנה בכינוס בתאריך 20.1.2016. להדגמה, יוצגו להלן הנתונים הבאים:
א. נתונים אישיים על השכלה; ב. נתונים על מקום עבודתם והניסיון המקצועי של המשיבים, ו- ג. דעת העונים ביחס לאופיו של פרויקט מערכת עתירת תוכנה.

השכלה

התואר הגבוה ביותר: רוב העונים - 99 משיבים (52.7%) הם בעלי תואר שני; שליש מהם - 66 משיבים (35.1%) הם בעלי תואר ראשון; 17 משיבים, המהווים 9% מהמשיבים, הם בעלי תואר שלישי ו- 3.2% (6 משיבים) ללא תואר אקדמי (תרשים 1).



התואר הראשון של שליש מהמשיבים - 67 עונים - 36.6% הוא בהנדסת חשמל, של 33 (18%) - במדעי המחשב, ושל 22 (12%) בהנדסת מכונות. השאר סיימו תואר ראשון בהנדסת מחשבים (18%-10%), הנדסה אווירונאוטית וחלל (7%-4%), הנדסת תעשייה וניהול (5%-3%), ומערכות מידע (2%-1%). 29 ציינו כי סיימו תואר ראשון אחר. ראו תרשים 2.



חשוב לציין כי מחצית מהעונים – 93 עונים, 50.3% – ציינו כי לא קבלו הכשרה פורמאלית בהנדסת מערכת, ו-49.7% למדו באופן פורמאלי הנדסת מערכת: רובם בתעשייה (52 משיבים, 28.1%), חלקם – במוסד אקדמי (37 משיבים, 20%), ומעטים – במכללה (3 משיבים – 1.6%). אלו שקבלו הכשרה פורמאלית בהנדסת מערכת לא בתעשייה (21.6% – 40 משיבים) השיבו בחיוב לשאלה האם למדו תואר שני בהנדסת מערכת. כלומר, חמישית מהמשיבים הם בעלי תואר שני בהנדסת מערכת.

ניסיון מקצועי

כפי שנראה מיד, הניסיון המקצועי של המשיבים מאוד מרשים. נמצא כי:

החברה בה עובדים המשיבים

- כמחצית מהמשיבים עובדים בחברה השייכת לתחום האזרחי (98 משיבים – 50.8%), כשליש מהם/ עובדים בתחום הצבאי (38.3% – 74 משיבים) והשאר – בתחום אחר (10.9% – 21 מהמשיבים).
- העונים לשאלון עובדים בחברות גדולות: 61.4% (116) מהם עובדים בחברה בה עובדים יותר מ-1000 עובדים, 21.7% (41 עונים) עובדים בחברה בה עובדים 1000-101 עובדים, 9.5% (18) עובדים בחברה בה עובדים 100-51 עובדים. תרשים 3 מתאר את התפלגות המשיבים על-פי מספר העובדים בחברה בה הם עובדים.



הפרויקטים שהעונים השתתפו בפיתוחם

- הניסיון מקצועי של המשיבים מאוד עשיר. כמעט חצי מהמשיבים (86 משיבים) השתתפו בפיתוחם של יותר מ-8 פרויקטי מערכת, 25% (48) השתתפו בפיתוחם של 4-2 פרויקטי מערכת, 22.9% (44 משיבים) השתתפו בפיתוח 5-8 פרויקטי מערכת, ורק 7.3% (14 מהעונים) השתתפו בפיתוח פרויקט מערכת אחד בלבד.

- יתר על כן, תפקידם של 74.9% (143) מהמשיבים בפרויקטים המערכת בהם השתתפו היה מהנדס/ת מערכת, של 28.8% (55 משיבים) - מהנדס/ת תוכנה, ו- 40.3% (77 עונים) כהנו בתפקיד אחר בפרויקטים אלה. סכום האחוזים גדול מ- 100% היות וניתן היה לסמן מספר תשובות בהתאם לתפקידים בפרויקטים השונים.

בפרויקט הגדול ביותר בו השתתפו, המספר הממוצע של האנשים (מהנדסים/ות ובעלי/ות מקצועות אחרים) שהשתתפו בפיתוחו היה בין 11 ל- 1000, כמפורט להלן:

- 11-50 אנשים: 31.8% (61)
 - 51-100: 31.8% (61)
 - 101-1000: 28.6% (55)
 - עד 10 עובדים: 5.2%, 10
 - יותר מ- 1000 עובדים: 2.6% (5)
- התפלגות מס' ואחוז המשיבים על-פי מספר האתרים בו פותח פרויקט המערכת הגדול ביותר בו השתתפו, מוצג בתרשים 4.



שליש מהמשיבים (35.4%, 68) ניהלו פרויקט מערכת עתירת תוכנה, ושני שלישי (64.6%, 124) לא ניהלו פרויקט מערכת עתירת תוכנה. התחומים אליהם השתייכו הפרויקטים אותם ניהלו המשיבים היו:

- צבאי: מערכות שו"ב; השבחת מערכת מסוקים הכוללת פיתוח תוכנה, אינטגרציה (במעבדה), התקנת המערכת במסוק, בדיקות קרקעיות וטיסות ניסוי; מערכת תצוגות למטוסים; פתוח מלטים; מערכות אוויוניקה מוטסות; מערכת תקשוב צבאית מבוצרת; תקשורת מערכות אינטרנט.
- מחשוב: מערכות סריקה/בדיקה לשוק הצגים השטוחים; פרויקטים שכללו יכולות מתקדמות של עיבוד תמונה.

- רפואי: electrocardiography mapping systems; מערכת רפואית למיפוי אותות ECG בלב לאיתור וטיפול בהפרעות קצב לב.
- סלולר: תקשורת סלולארית; מבדק/סימולאטור של תחנת בסיס סלולארית ניידת מהדור השני.

מהו פרויקט מערכת עתירת תוכנה?

על סמך הניסיון הנ"ל, התבקשו המשיבים להתייחס לאופיו של פרויקט מערכת עתירת תוכנה הן בשאלות סגורות והן בשאלות פתוחות, כמודגם להלן.

הנה שאלה סגורה אחת לדוגמא: מהו % משאבי כח-האדם המושקע בתוכנה בפרויקט אותו היית מגדיר כפרויקט מערכת עתירת תוכנה? כפי שניתן לראות בתרשים 5 ובטבלה 1, התשובות משקפות תמונה סימטרית, שבאמצעה, כמחצית מהעונים (84 – 43.5%) ענו כי האחוז הוא 40%-60%.



טבלה 1: התפלגות % המשיבים ומספרים על-פי תפיסתם מהו % משאבי כח-האדם המושקע בתוכנה בפרויקט אותו היו מגדירים כפרויקט מערכת עתירת תוכנה.

מספר	אחוז	% כח-אדם המושקע בתוכנה
6	3.1%	עד 20%
44	22.8%	20%-40%
84	43.5%	40%-60%
49	25.4%	60%-80%
10	5.2%	80%-100%

כדוגמא לשאלה פתוחה, נציג את השאלה שהוצגה בסיכום השאלון:

- **לסיכום, נניח שעליך להסביר במשפט אחד למי שאינו/ה בעל/ת רקע הנדסי, מהו פרויקט מערכת עתירת תוכנה. מהו המשפט בו היית מתאר/ת פרויקט כזה?**

הבקשה להציג רעיון במשפט אחד מחייבת לחשוב ברמת הפשטה גבוהה, לזקק את העיקר ולנסח את התשובה באופן המכיל מידע רב במעט מילים. באופן טבעי, הוצגו הגדרות רבות המתייחסות לתפקיד התוכנה, כמו למשל (הדברים מוצגים כפי שהופיעו בשאלון ללא עריכה):

• התייחסות לתוכנה

- פרויקט המפתח מערכת שבה חלק משמעותי מפעילות המערכת והאינטראקציה שלה עם העולם החיצון מתבצע באמצעות תוכנה ייעודית.
 - פיתוח מוצר אשר מכיל מרכיבי תוכנה מורכבים ומשמעותיים.
 - פרויקט בו שיקולי ארכיטקטורת תוכנה / פיתוח תוכנה הם שיקולים מהותיים בפרויקט.
 - פרויקט מערכת עתירת תוכנה הוא פרויקט בו לתוכנה יש חלק קריטי בפונקציונאליות שעל הפרויקט מוטל לבצע, ובו בעת, התכנה נדרשת למרחב פעולה ותגובה שאינו בהכרח תחום או סופי.
 - פרויקט שהתוכנה שולטת על הכל.
 - פרויקט שמורכבות התוכנה בו היא גבוהה; שבלעדיו המערכת לא הייתה יכולה לתפקד באותו האופן ולהגיע לאותם ביצועים; שהרבה לוגיקה מיושמת בתוכנה (ולא רק ממשק המשתמש).
 - פרויקט מסובך בו מהנדסים נוטים לפתור בעיות מכאניות בעזרת תוכנה.
 - התוכנה מצויה במרבית המרכיבים הקריטיים של המערכת.
 - פרויקט שהפונקציונאליות העיקרית שלו מיושמת ע"י תוכנה.
 - פרויקט בו התוכנה גורמת למערכת להיות מערכת.
- הצורך לתמצת הרבה במעט מילים הביא את המשיבים לענות על שאלה זו ע"י שימוש במטאפורות או דוגמאות, כמוצג להלן:

• מטאפורות

- בנית מגדל רב קומות ע"י חברות בינלאומיות.
- מערכת בה התוכנה הינה המוח שבלעדיו אין למערכת היתכנות בלעדית.
- האנלוגיה שאני חושב עליה הינה תפקידו של המוח בגוף אנושי. מאפשר לכל החלקים הפיסיים לעבוד בקורלציה בתזמון ובהדירות לביצוע פעולות.
- גוף עם לב גמיש ומשתנה.
- זה ההבדל בין תכנון ובניית מלונה לכלב לבין תכנון ובניית מגדל עזריאלי.
- בפועל, מסתתרות מיליוני שורות קוד המאפשרות את זה.
- לעשות סדר בכאוס.

- פיתוח מוח השולט על הגוף.
- כמו ערבוב של הרבה סוגי ספגטים.
- **דוגמאות**
 - ראה את הסמארטפון שלך עם כמות היישומונים המותקנים ומיליוני היישומונים הפוטנציאליים (בחנות היישומונים) ונסה להביא ליעילות התפעול של בעל המכשיר בהתאם לדרישותיו העסקיות.
 - להגדיר מערכת כמו אופיס.
 - בנית רובוט - חומרה. כל פעולה שהרובוט יבצע - תוכנה.
 - מכלום לעשות עוגה טעימה ויפה.
 - זה כמו לתכנן מערכת רכבות שמשתנה כל שלשה חודשים.
 - [...] בעולם שבו הכל מתקשר להכל, נטווייט אינטרנט של האינטרנט IOT, וכל מערכת היא SOS - התוכנה הוא רכיב העיקרי והחשוב והמשפיע ביותר.

סיכום

נראה שהניסיון המצטבר של המשיבים על השאלון מאוד מרשים. יש לייחס לניסיון זה חשיבות רבה לאור היותה של ישראל מרכז פיתוח טכנולוגי בתחום התוכנה, החומרה, ושילוב חומרה ותוכנה. אחד האתגרים המשמעותיים הניצבים היום בפני קהילת מהנדסי/ות התוכנה היא ריכוז המידע המקצועי הרב שהצג לעיל ושהמשכו יוצג בבינוס, לתורה הניתנת להוראה ולימוד לשיפור התחום. במקביל יש לבחון את הדרך הטובה ביותר ללמד תחום זה תוך שילוב התנסות בפיתוח פרויקטים עתירי תוכנה.

פרופ' אורית חזן בוגרת ארבעה תארים טכניונים: שלושה תארים של המחלקה להוראת הטכנולוגיה והמדעים ו-MBA של הפקולטה להנדסת תעשייה וניהול. הצטרפה לסגל הפקולטה לחינוך למדע וטכנולוגיה בטכניון בשנת 2000 (אז: המחלקה להוראת הטכנולוגיה והמדעים). תחום המחקר שלה הוא הוראת מדעי המחשב והנדסת תוכנה. במסגרת זו היא חוקרת תהליכים קוגניטיביים וחברתיים ברמת הפרט, הקבוצה והארגון, בבתי ספר תיכוניים ובארגוני תוכנה. עד היום פרסמה כ-100 מאמרים בז'ורנלים מקצועיים ובאסופות מאמרים של כינוסים וארבעה ספרים. בשנים 2007-2010 כהנה פרופ' חזן בתפקיד סגנית דיקן לימודי הסמכה של הטכניון; בשנים 2007-2010 כיהנה כיו"ר וועדת המקצוע של מדעי המחשב בתיכון בישראל; ובשנים 2011-2015 כהנה בתפקיד דיקנית הפקולטה לחינוך למדע וטכנולוגיה בטכניון. במהלך כהונתה שונה מעמד היחידה האקדמית ממחלקה לפקולטה. כיום, פרופ' חזן היא יו"ר הוועד המנהל של בסמת המוקם מחדש כבית-ספר מדגים מוביל של חינוך מקצועי-טכנולוגי-הנדסי.



היבטים של שילוב תוכנה במערכות

עמיר תומר, המכללה האקדמית כנרת
amir@amirtomer.com

תקציר

לא ניתן לתאר היום כיצד מערכות יכולות לפעול ללא תוכנה. יתרה מכך – פונקציות מערכתיות רבות הולכות ומתממשות יותר ויותר באמצעות תוכנה. לתוכנה יש תכונות מועילות רבות – היא יכולה לטפל בלוגיקה מערכתית מורכבת, לשלוט על התקנים רבים בזמנית, לאסוף, לעבד ולתכלל מידע רב במהירויות גדולות, ובכך לשפר לעין ערוך את היכולות והביצועים של המערכות. ויחד עם זאת יש לשאול: האם תוכנה מהווה תמיד תחליף הולם לפונקציונאליות מערכתית? האם עצם החלפתן של פונקציות פיזיקאליות בפונקציות דיגיטאליות הינו חלק ו"שקוף" עבור המערכת? והאם קיימות השלכות נוספות על שילוב תוכנה במערכות?

במאמר זה ננסה לעמוד על כמה מהתכונות של תוכנה, שכדאי לדעת ולקחת בחשבון בבניית מערכות מורכבות, וביניהן ההבדל בין המתימטיקה הדיגיטאלית למתימטיקה הפיזיקאלית (הקלאסית), בדיקות תוכנה ואמינות תוכנה, תהליך הפיתוח הייחודי של תוכנה והשימוש בסמארטפונים כממשקי משתמש. בסיומו מדגיש המאמר את הצורך בחינוך ובהגברת המודעות לשילוב המוצלח בין הנדסת מערכות להנדסת תוכנה.

מבוא

לא ניתן לתאר היום כיצד יכולות מערכות לפעול ללא תוכנה. יתרה מכך – פונקציות מערכתיות רבות הולכות ומתממשות יותר ויותר באמצעות תוכנה. לתוכנה יש תכונות מועילות רבות – היא יכולה לטפל בלוגיקה מערכתית מורכבת, לשלוט על התקנים רבים בזמנית, לאסוף, לעבד ולתכלל מידע רב במהירויות גדולות, ובכך לשפר לעין ערוך את היכולות והביצועים של המערכות. ויחד עם זאת יש לשאול: האם תוכנה מהווה תמיד תחליף הולם לפונקציונאליות מערכתית? האם עצם החלפתן של פונקציות פיזיקאליות בפונקציות דיגיטאליות הינו חלק ו"שקוף" עבור המערכת ועבור מפתחיה? ואם כן

במאמרו הקלאסי No Silver Bullet [1] מונה פרדריק ברוקס מספר תכונות ייחודיות לתוכנה, וביניהן:

- **סיבוכיות (Complexity).** מאחר ותוכנה עוסקת בכל הנתונים ובכל התרחישים הלוגיים של המערכת, סיבוכיות מרחב הנתונים והמצבים היא עצומה. המשמעות המיידית היא, שלא ניתן, למעשה, לבדוק תוכנה בכל המצבים האפשריים. דוגמה קטנה: משתנה מטיפוס של מספר שלם בן 16 סיביות יכול להכיל $2^{16} = 65,536$ בערכים שונים. תוכנה קטנטונת, המכילה לא יותר מ-10 משתנים שלמים כאלה יכולה להחזיק 2^{160} צירופים של ערכים, שמספרם מגיע לכ- 10^{48} . כלומר מספר עם 48 אפסים! מכאן, שמספר המצבים בהם יכולה תוכנה להימצא הוא למעשה אינסופי. פועל יוצא מכך הוא, שלעולם לא נוכל לבדוק תוכנה בכל מצביה האפשריים. הטענה

הנגדית, הגורסת, לדוגמה, שלא ניתן לבדוק קוֹרָה בכל העומסים האפשריים מ-0 עד, נניח, 10 טון, נראית משכנעת, אולם מסתבר שההבדל בין התנהגות פיזיקאלית (רציפה) לבין התנהגות דיגיטלית (בדידה) הוא משמעותי ביותר – ועל כך נרחיב בהמשך המאמר.

- **ניסתרות (Invisibility).** על שולחנו של מנכ"ל חברת תעופה נראה תמיד דגם מוקטן של מטוס. דגמים דומים של מוצרים נראה על שולחנו של כל מנכ"ל שחברתו עוסקת בייצור מוצרים מוחשיים אחרים. מה נצפה למצוא על שולחנו של ביל גייטס? דגם תלת ממדי של windows? תוכנה היא אבסטרקטית ובלתי מוחשית. אני יכולים לצפות בתוצאות הרצתה אולם איננו יכולים לצפות בה עצמה. תכונה זו הופכת את הבניה, הבדיקה וההבנה של תוכנה לקשים במיוחד.
- **תאימות (Compatibility).** לא פעם אנו נתקלים בתופעה שחומרה שבנינו איננה עומדת בדרישות שהוצבו לה, מבחינת דיוק, ביצועים או סיבולת, או שהיכולות הנדרשות ממנה חוצות את גבולות הפיסיקה. במקרים כאלה, האלטרנטיבה לבניית חומרה חדשה היא הכנסת תוכנה לצורך תיקון, התאמה, שיפור ביצועים וכד'. ניקח לדוגמה, מכ"מ עקיבה אשר נדרש יום אחד להציבו על הר גבוה במיוחד, בו שוררות רוחות חזקות, המשבשות את ביצועיו. האלטרנטיבה להחלפת שלד הפלדה, המיסבים והתצורה האוירודינמית יכולה להיות הצבה של מערך סנסורים המודדים את כיוון הרוח ועוצמתה ואשר הנתונים המתקבלים מהם מחושבים ומוזנים לתיקון הסטיות באלגוריתם העקיבה. כיום נוטים גם "לשדרג" מוצרים רבים באמצעות תוכנה, על בסיס החומרה הקיימת, כמו למשל ויסות עוצמת הקרינה כפונקציה של זווית המצלמה בסורק טומוגרפי ממוחשב, על מנת להקטין את חשיפת הנבדק לקרינה. התוכנה, אם כן, נמצאת תמיד בקצה שרשרת הפיתוח – דבר המביא, במקרים רבים של בצדק, להאשמת מפתחי התוכנה בעיבוד הפרויקט.
- **יכולת שינוי (changeability) ותחזוקתיות (maintainability).** לייצור תוכנה לא נדרשים חומרי גלם ואמצעי ייצור ומרגע ש"יוצר" האב-טיפוס העובד הראשון ניתן לשכפלו במספר בלתי מוגבל של עותקים. גם שינוי בתוכנה איננו כרוך בפסולת – אין צורך "לחתוך ברזלים" מחדש, השינוי הוא מהיר וניתן להחליף בקלות, יחסית, את התוכנה הקיימת בתוכנה חדשה. תופעה זו היא בעלת השלכה מרחיקת לכת על תהליך פיתוח התוכנה, ההולך ונעשה בסבבים קצרים יותר ויותר, במנגנונים של פיתוח איטרטיבי, פיתוח אג'ילי ו- DevOps – מושגים אודותם נרחיב בהמשך. יחד עם זאת יש לזכור, שבתוכנה אין "כשל רכיבים" (כתוצאה מעייפות החומר, קורוזיה, שחיקה וכדומה), וכל כשל (bug) של התוכנה נמצא בכל העותקים של תוכנה זו, בין אם כבר בא לידי ביטוי ובין אם לא. עניין זה משפיע על מושג האמינות (reliability) של תוכנה: בעוד שאמינותה של מערכת פיזיקלית נקבעת על פי מודל הסתברותי, המבוסס על ההסתברות לכשל של כל רכיב, הרי שבתוכנה ההסתברות לקיומו של "באג" יכולה להיות רק 0 או 1. כיצד, אם כן, ניתן להבטיח אמינות של תוכנה? גם על כך בהמשך המאמר.

היכן נמצאת התוכנה במערכת?

במערכת מורכבת ניתן למצוא תוכנה בשלושה "מקומות":

- **תוכנת רכיבים.** במכוניות המודרניות ניתן למצוא מספר רב של מעבדים או רכיבים מתוכנתים – כל אחד בעל יעוד משלו, החל מבקרת המנוע, הבלמים וההילוכים וכלה בבקרת האקלים ומערכת השמע. רכיבים אלה הם ייעודיים ומקומיים ותפקודם נקבע ע"י מהנדסי הפיתוח של המכלולים הרלוונטיים – המנוע, הבלמים, תיבת ההילוכים וכו'. הפיתוח של מכלולים אלה הוא אמנם מולטי-דיסציפלינארי, אולם איננו דורש מידה רבה של הנדסת מערכות ומפתחי התוכנה משולבים בצוותי הפיתוח של מכלולים אלה. טכנולוגיית התוכנה המובילה בפיתוח מכלולים אלה היא "זמן אמת" (real-time) המאפשרת את הצמידות המרבית בין החומרה לתוכנה. במקרים

רבים "נצרב" התוכנה אל תוך הרכיבים והופכת ל"קושחה" (firmware), אולם פיתוח קושחה זה כמעט בכל לפיתוח תוכנה. תוכנה המפעילה רכיב תוכנה נקראת במקרים רבים driver.

- **מערכת הניהול, השליטה והבקרה.** המכלולים הרבים במכונית, כמו בכל מערכת אחרת, נדרשים לעבוד בתיאום, בסינכרון ובשיתוף פעולה, לצורך מימוש התפקוד הכולל של המערכת. ככל שהמכלולים הופכים יותר ויותר עתירי תוכנה, כך גם התיאום ביניהם הולך ומתבסס יותר ויותר על החלפת מידע, עיבודו והפצתו. לכאורה, ניתן היה לצפות שכל שני מכלולים הנדרשים לעבוד בתיאום יקיימו ביניהם דיאלוג תקשורתי, אולם ככל שעולה מספר המכלולים הנדרשים תיאום, וככל שהתיאום דורש שיתוף בין יותר משני מכלולים, מתבקש הצורך במערכת מרכזית לצורך ניהול, שליטה ובקרה. במכונית, לכן, נמצא תמיד מחשב מרכזי, המקיים תקשורת עם רוב רכיבי המערכת ומשמש לניהול ולש"ב. מטבע הדברים, תפקודו של מחשב זה נעשה בתוכנה בלבד. ויכוח נוסף ניטש תמיד בין מהנדסי התוכנה לבין מהנדסי המערכת, או בין מהנדסי התוכנה לבין עצמם, לגבי הסוגיה, האם התוכנה הינה מערכת בפני עצמה (כלומר, האם יש קיום למונח "מערכת תוכנה"). אמנם מערכת הש"ב כוללת גם את המחשב ואת ערוצי התקשורת הפיזיים, אולם תפקודה של מערכת זו נעשה באמצעות תוכנה, והשיקולים בפיתוחה הם לרוב שיקולי תוכנה בלבד, תוך מתן מענה למאפייני איכות תוכנה כגון בטיחות, בטחון, זמינות, דיוק, ביצועים ועוד. בכל מקרה יש לזכור שת-מערכת המיחשוב/התוכנה במערכת, כמו גם מערכת העצבים בין כלל המערכות בגוף האדם, היא היחידה הסוגרת מעגל בקרה מלא של איסוף נתונים, עיבודם, הסקת מסקנות, החלטה והעברת פקודות לשאר חלקי המערכת. הטכנולוגיה ההולכת ומתפתחת במהירות של "ארכיטקטורות תוכנה", ביחד עם טכנולוגיית הרשתות והתקשורת, הינן הרלוונטיות לסוג זה של תוכנה.

- **פעולה משותפת (Interoperability) בין מערכות.** מערך (System of System) הינו, על פי אחת ההגדרות, אוסף של מערכות, אשר כל אחת מהן בעלת יכולת תפקוד עצמאית משלה, אך ביכולתן לבצע משימות חדשות (שאף אחת מהן לא יכולה לבצע בנפרד) ע"י פעולה משותפת, המכונה interoperability. תוכנה הינה, למעשה, הדיסציפלינה היחידה עליה ניתן לבסס פעולה משותפת כזו. מאחר ומדובר באינטרס גלובאלי, המשרת את כל מפתחי המערכות, ללא צורך, או התקשרות מוקדמת, עם שותפים (שאוילי אינם ידועים בזמן הפיתוח), ה"שפות" והאמצעים המאפשרים פעולה משותפת מפותחים לרוב לא ע"י חברות מסחריות אלא ע"י ועדות וגופים בין-תעשייתיים. דוגמה קלאסית לטכנולוגיה כזו היא Bluetooth, המאפשרת לטלפון נייד (מכל סוג שהוא) לשתף פעולה עם מערכת שמע של מכונית (מכל סוג שהוא) ולהפוך ביחד לדיבורית לרכב. מפתחי המכוניות האוטונומיות, או האוטונומיות למחצה, יצטרכו בשלב כזה או אחר למצוא שפה משותפת לשיתוף פעולה עם יצרני הרמזורים ומערכות אחרות לבקרת תעבורה, על מנת לאפשר למערכות אלה להתנהל זו מול זו.

מתימטיקה דיגיטלית לעומת מתימטיקה פיזיקלית

המתימטיקה, כך אומרים, היא השפה בה כתובים חוקי הטבע. שפה זו מאפשרת לנו לתאר תופעות פיזיקליות באמצעות נוסחאות מתמטיות, המהוות בסיס לחישובים, המאפשרים הפעלה של מערכות פיזיקליות – הסעת מכוניות, שיגור טילים, צילום רנטגן ועוד. חישובים אלה מתממשים, כמובן, באמצעות מחשבים המכילים ייצוג של הנתונים ופונקציות חישוביות. אולם המעבר איננו טריביאלי.

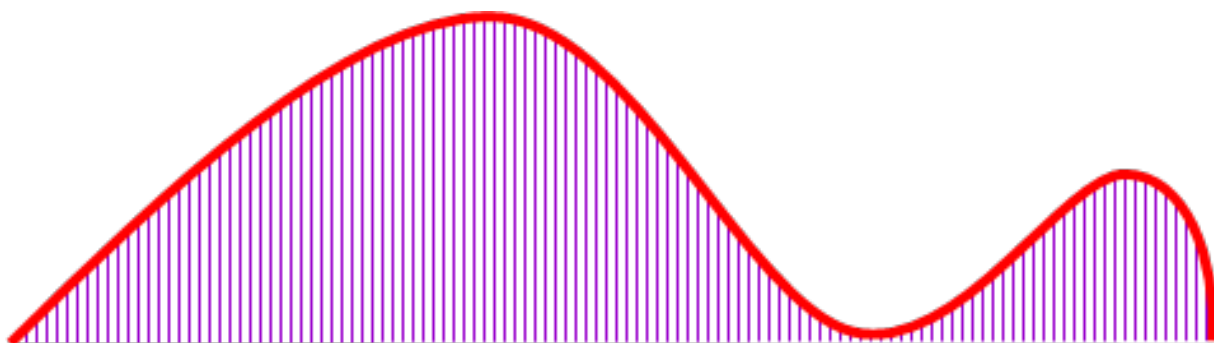
מספרים מיוצגים במחשב באופן דיגיטלי, ע"י ייצוג בינארי, כאשר לכל נתון מוקצה מספר קבוע וידוע

1. המונח העברי שנקבע ע"י האקדמיה ללשון העברית ל-Interoperability הוא תפעוליות-בִּינִיית

מראש של ס"ביות (ספרות בינאריות – 0 או 1) – המכונות גם bits. אמנם קיימות שיטות לייצג גם מספרים ממשיים, גדולים או קטנים כרצוננו, אך מגבלת המקום תמיד תישאר. ההשלכה של עובדה זו על נתונים פיזיקליים מתבטאת בכך שלעולם לא נוכל לייצג בצורה מושלמת ערכים לא-שלמים, כלומר, תמיד יהיה קיים האי-שוויון: $1/3 < 0.33333333...3$, יהיה מספר הספרות המוקצה אשר יהיה. בהמשך לכך, המרה של פונקציה פיזיקלית $Y = f(X_1, \dots, X_n)$ בפונקציה דיגיטלית מקבילה, עלול להביא לאי-דיוקים משמעותיים. לתופעה זו קיימות מספר השלכות, כפי שנתאר להלן.

- **אינסוף.** האינסוף הינו אבסטרקציה של התנהגות פיזיקאלית המבטאת את התופעה שבכל נקודה, יהיה ערכה גדול אשר תהיה, ניתן למצוא נקודה נוספת, בעלת ערך גדול יותר. הדוגמה הטריביאלית היא הפונקציה $Y = k/X$: מה יהיה ערכו של Y כאשר X ילך ויקטן? ידיד שלי, רופא, הציג את השאלה לקבוצה של רופאים מתמחים, וקיבל, כמעט פה אחד, את התשובה: Error. גם סטודנטים להנדסת תוכנה נתנו תשובה דומה: Overflow. כלומר, מושג האינסוף הוא מושג פיזיקלי, שאין לו ייצוג הולם במתימטיקה הדיגיטלית, מכיוון שהמחשב, וכל מה שמוצג על ידו, הינו סופי. באופן מעט פרדוקסאלי, תופעת ה"לולאה האינסופית" במחשב, הנגרמת כתוצאה מחזרות ללא הגבלה בתוך מרחב סופי, איננה משמשת לפתרון בעיות אלא מהווה בעיה בפני עצמה.

- **רציפות.** מאחר ופונקציות דיגיטליות פועלות על ערכים המוגבלים מבחינת דיוקם (מספר הספרות המוקצות להם) הרי שפונקציות דיגיטליות לעולם אינן רציפות, אלא מהוות למעשה פונקציות מדרגה (ר' איור 1). הבעיה של פונקציות מדרגה היא, שכל נקודה ונקודה בהן היא נקודת אי-רציפות! ההשלכה המיידית היא על הבדיקות: התנגדותה של קורה לעומס המושם עליה הוא פונקציה רציפה, עד לנקודת השבירה. לכן, כאשר אנו רוצים לבדוק את עמידותה של קורה לעומס, נחשב את נקודת השבירה הצפויה שלה (נקודת אי-הרציפות) ונבצע בדיקות בסמוך לנקודה זו. לא יעלה על דעתנו שמשקל ספציפי מסוים, למשל 100 ק"ג, יגרום לשבירה, בעוד שכל משקל של $100 \pm \epsilon$ ק"ג ישאיר את הקורה שלמה. מאחר ובפונקציה הדיגיטלית כל נקודה היא נקודת אי-רציפות, היה עלינו לבדוק את הפונקציה בכל ערכיה האפשריים – דבר שהוא בלתי מעשי, כפי שצינו לעיל.

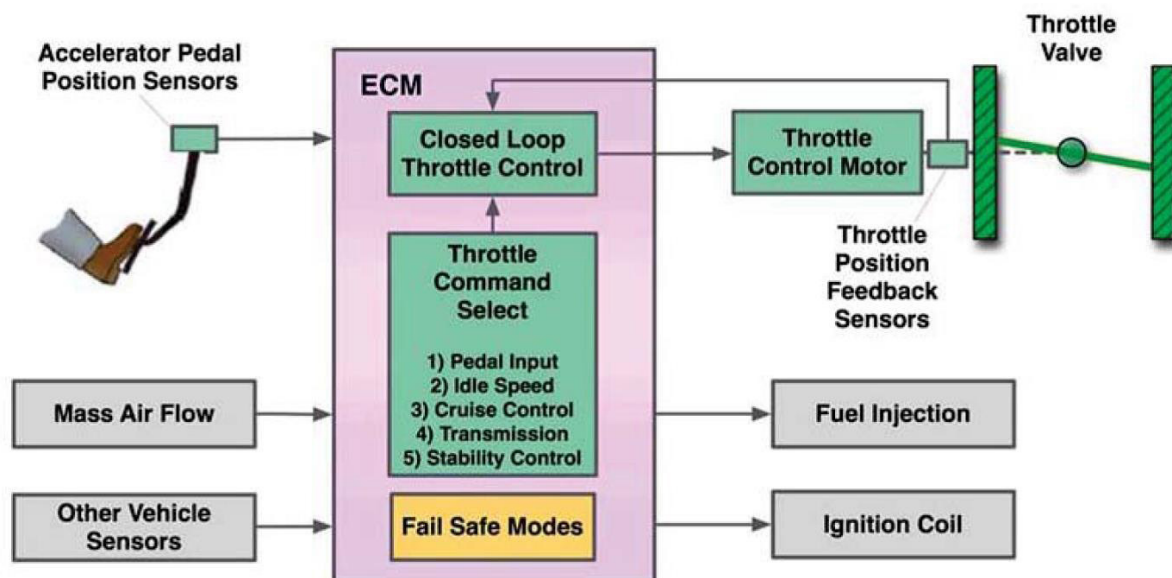


איור 1: פונקציה דיגיטלית המייצגת פונקציה רציפה היא תמיד פונקציית מדרגה

- **ייצוג כפול של ערכים.** מבחינה פיזיקלית, גוף המבצע תפנית של 180° או של $180^\circ -$ יגיע לאותה נקודה. הייצוג הדיגיטאלי, לעומת זאת, של שני ערכים אלה הוא שונה לחלוטין. הסיבה נעוצה בכך, שכאשר מספר הספרות המוקצה לייצוג ערך הינו מוגבל, הייצוג המספרי (והאיתמטיקה שבעקבותיו) הינו מחזורי, ושונה מהאיתמטיקה הרגילה. באריתמטיקה הרגילה $25 = 2 + 23$. באריתמטיקה המחזורית של השעות, למשל, $1 = 2 + 23$ (אם עכשיו 11 בלילה, בעוד שעתיים השעה תהיה 1 בבוקר). תכונה זו מחדדת עוד יותר את בעיית אי הרציפות של הפונקציות הדיגיטליות, שצינו לעיל.

הדוגמה שנביא להלן ממחישה את התוצאות החמורות העלולות לנבוע מההבדל בין מתימטיקה דיגיטלית למתימטיקה פיזיקלית.

לפני מספר שנים התגלתה תופעה מוזרה באחד הדגמים של מכוניות טויוטה: בנקודה בלתי צפויה מראש היתה המכונית מאיצה בפתאומיות (unintended acceleration) – דבר שגרם במספר מקרים לנהג לאבד את השליטה על הרכב, עד כדי תאונת דרכים חמורה. טויוטה הואשמה בגרימת מוות של לא פחות מ-89 בני אדם כתוצאה מתקלה זו [2]. תחקירים רבים נערכו לגבי התקלה, ובאחד מהם – תחקיר של NASA נמצאה האשמה בבקרה הדיגיטלית של המצער (throttle). מצערת הינה השסתום המשחרר את כמות הדלק הנדרשת לצורך תנועת המכונית. במכוניות העבר נשלטה המצערת בצורה ישירה ע"י דוושת ההאצה, שחוברה בכבל למצערת, ומיפתח המצערת היה פונקציה ישירה של המשקל שהפעיל הנהג על דוושת ההאצה. לימים הוחלף הכבל במערכת בקרה דיגיטלית, אשר יושמה בטויוטה כפי שמתואר באיור 2.

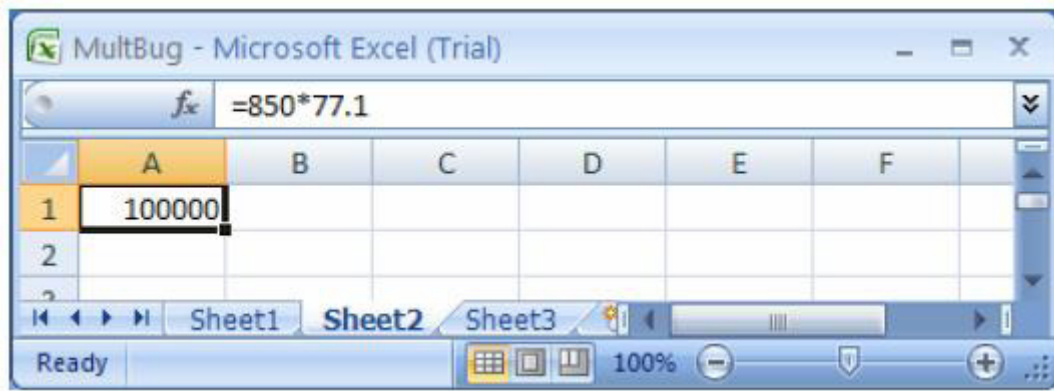


איור 2: מערכת הבקרה הדיגיטלית של המצערת במכוניות טויוטה [3]

על מנת להבין מה יכולה לגרום החלפה של פונקציה פיזיקלית בפונקציה דיגיטלית נבדוק תופעה מעניינת אחרת.

ביום בו הושקה גרסת 2007 של תוכנת הגיליון האלקטרוני Excel התגלתה בה תופעה מוזרה: החישוב הפשוט $77.1 * 850$ לא הניב את התוצאה האמיתית (65,535) אלא את התוצאה 100000 (ר' איור 3). גם החישוב של $77.1 + 1 * 850$ נתן תוצאה של 100001. החישוב של כל שאר הערכים לפני ואחרי מספרים אלה היה נכון [4].

כלומר, בפונקציה (הרציפה) $Y = 850 * 77.1 + X$ היו שתי נקודות סינגולאריות (נקודות אי-רציפות). מדוע דווקא בנקודות אלה? ובכן, המספר 65,535 הוא המספר השלם החיובי הגדול ביותר הניתן לייצוג ע"י 16 סביות: 1101101101101101. על מנת לאפשר לייצג מספרים שלמים, הן חיוביים והן שליליים, ביזרון המחשב, קיימת שיטת ייצוג הנקראת "המשלים ל-2" (2^s complement) אשר בה מתחלקים כל הייצוגים הבינאריים האפשריים ב-n סביות בין מספרים חיוביים לשליליים. בשיטה זו הייצוג 1101101101101101 הוא דווקא של המספר -1. תוכנת האקסל "התבלבלה" והציגה תוצאה לא נכונה בנקודת אי-הרציפות של הפונקציה הדיגיטלית.



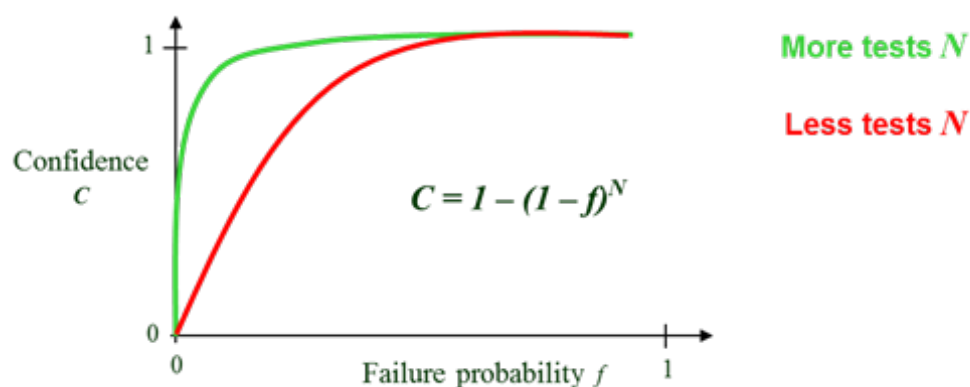
איור 3: ה"באג" של אקסל 2007.

לא קשה בעת לקשר בין התופעות: די היה שתוכנת הבקרה הדיגיטלית של המצערת בטויוטה תבצע חישוב לא נכון בנקודת אי-רציפות כלשהי כדי שהמכונית תאיץ פתאום בצורה בלתי מכוונת. פן אחר של "הערכים הבלתי צפויים" מתגלה לעיתים בצורות שונות. בחודש יוני 2015 התגלה שתוכנת המסרים skype קורסת לחלוטין אם המשתמש כותב במקרה את רצף האותיות http://:/. האם ניתן היה לחזות שדווקא מחרוזת תווים זו תפיל את התוכנה? ייתכן שכן, ע"י ניתוח מעמיק של התוכנה עצמה, אולם ברור שאין זה מעשי לבצע בדיקות שיטתיות של מחרוזות תווים באורך (כמעט) בלתי מוגבל.

בדיקות תוכנה ואמינות תוכנה

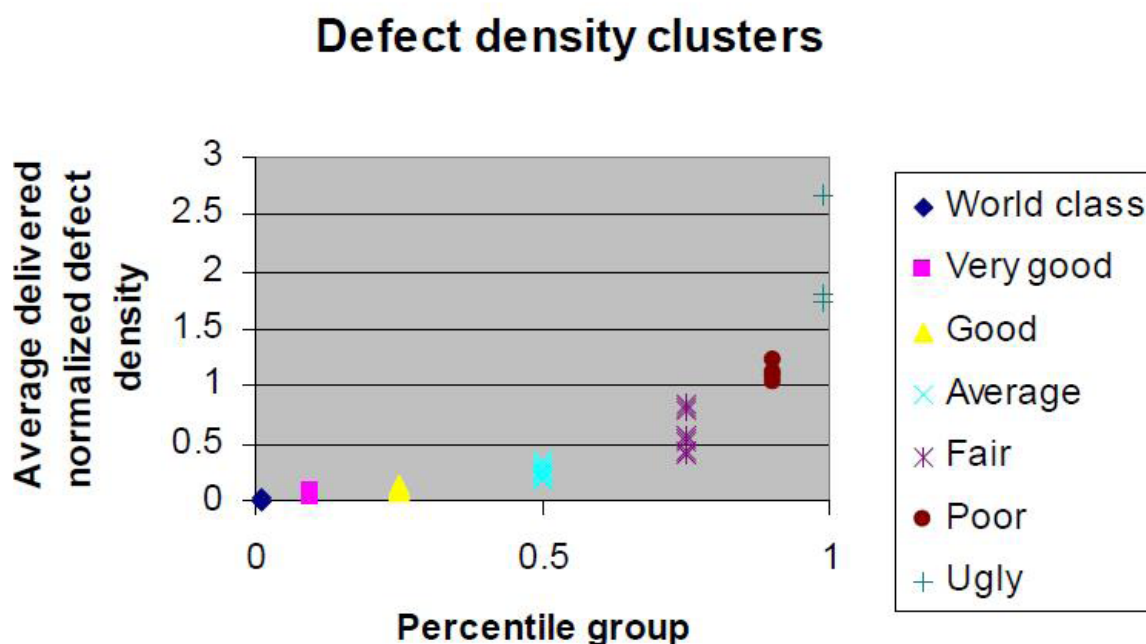
הזכרנו כבר שמודל הסתברותי לניתוח אמינות תוכנה (ההסתברות לכשל) איננו רלוונטי. כיצד אפשר, אם כך, למדוד (ולהבטיח) אמינות של תוכנה? ההבדל העיקרי בין כשל חומרה לכשל תוכנה הוא, שבחומרה הכשל **מתרחש** (רכיב שהיה תקין נשבר או מתקלקל לפתע) בעוד שבתוכנה הכשל **מתגלה** (ה"באג" היה קיים בתוכנה, אך עד כה לא נוצר המצב שגרם לחשיפתו). מכאן שאמינות של תוכנה נגזרת מההסתברות לחשיפת הכשל בעוד מועד.

כשלים נחשפים בבדיקות ולכן ככל שירבו הבדיקות תעלה ההסתברות לגילוי הבאגים. מצד שני, כפי שהזכרנו, בדיקות ממצות אינן מעשיות. נקודת המוצא היא, כאמור, שקיימים באגים בתוכנה ולכן מטרת הבדיקות הינה לחשוף אותם. הדבר דומה לניסיון לטהר שדה מוקשים ע"י השלכת אבנים – ככל שנשליך יותר אבנים כך תעלה ההסתברות לפוצץ יותר מוקשים. לכן, במקום לדבר על לחשוף את הבאגים באמצעות (C = confidence level) נדבר על רמת הסמך, (f) הסתברות הבאגים [5] וכפי שניתן לראות באיור $C = 1 - (1 - f)^N$ הקשר בין ערכים אלה מבוטא ע"י הביטוי N 4. רמת הסמך (אמינות התוכנה) עולה, ככל שמספר הבדיקות גדל



איור 4: רמת הסמך לגילוי כשלי תוכנה (באגים) מהווה מדד לאמינות תוכנה [5]

יחד עם זאת, מודל זה עדיין סובל ממספר בעיות פרקטיות, ובכל מקרה עדיין לא ניתן לקבוע מראש מה תהיה אמינותה של תוכנה מסוימת. לפיכך, מקובל למדוד את אמינות התוכנה במונחים של מספר הבאגים ש"הצליחו להתחמק" מהמפתחים ("escaped bugs") ו"נמסרו" ללקוח עם התוכנה ("delivered bugs") או "הגיעו לשדה" ("fielded bugs"), יחסית לכמות התוכנה. מחקרים אמפיריים, כדוגמת [6] יודעים להציג רמות מקובלות של מדד "צפיפות התקלות" (defect density) המבטא את מספר הבאגים (שהתגלו במשך תקופת הפעלה משמעותית) לכל 10,000 שורות קוד (מנורמלות לשפת אסמבלי), כמשתקף באיור 5.



איור 5: רמות של אמינות תוכנה בב-90 פרויקטים שנמדדו, על פי מדד צפיפות התקלות [6]

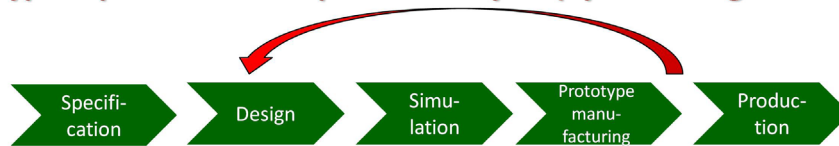
פיתוח מכוון-שינויים (Change-driven Development)

המאפיינים הייחודיים של תוכנה, כפי שצוינו בסעיף המבוא, ובעיקר היכולת ליישום שינויים במהירות, מאפשרת לתוכנה להתפתח באופן טבעי בסבבי שינויים קצרים. קיים הבדל מהותי בין תהליך הפיתוח של מערכת (או של החלק ה"חומרי" של מערכת) לבין תהליך פיתוח תוכנה (או של החלק ה"תוכני" של מערכת). המערכת הפיזיקאלית מהווה, ברוב המקרים, את הפלטפורמה התשתיתית, עליה מורכבת התוכנה, אשר מקנה למערכת חלק ניכר מיכולותיה ההתנהגותיות ותרחישי ההפעלה שלה. אולם, בעוד שאת התוכנה ניתן לבנות בצורה הדרגתית, אינקרמנטלית, הרי שאת החומרה בונים בדרך כלל בתהליך ארוך יותר המסתיים רק עם השלמת דגם (אבטיפוס) מספק. כמו כן, מאחר ולבניית החומרה נדרשים חומרים הרי שכל שינוי לאחר השלמת הדגם (או בייצור הסדרתי) יגרום לפסולת (waste) של חומרים. לכן, בתהליך הפיתוח של חומרה משולבות לרוב סימולציות שמטרתן לבחון, ולו לכאורה, את המוצר לפני שמתחילים "לחתוך ברזלים". צורך זה מתייגר בפיתוח תוכנה, לאור העובדה ששינויים בתוכנה ניתנים ליישום ולבחינה מיידי (הרצה) ללא פסולת כלשהי. כך קורה שהתהליך המחזורי של 'קידוד-הידור (קומפילציה)-הרצה' יכול להתבצע בסבבים קצרים, ואף קצרים מאד, תוך הפקת תוספות של יכולות באופן רציף למערכת ההולכת ומתפתחת. ההבדל בין תהליך הפיתוח האופייני של מערכת לזה של תוכנה מודגם באיור 6.

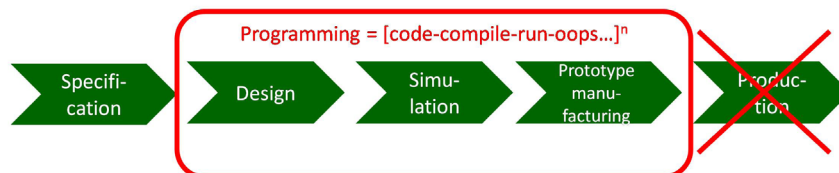
Development Life Cycle



- **Typical product development life cycle (Systems Engineering)**



- **Typical software development lifecycle (Software Engineering)**

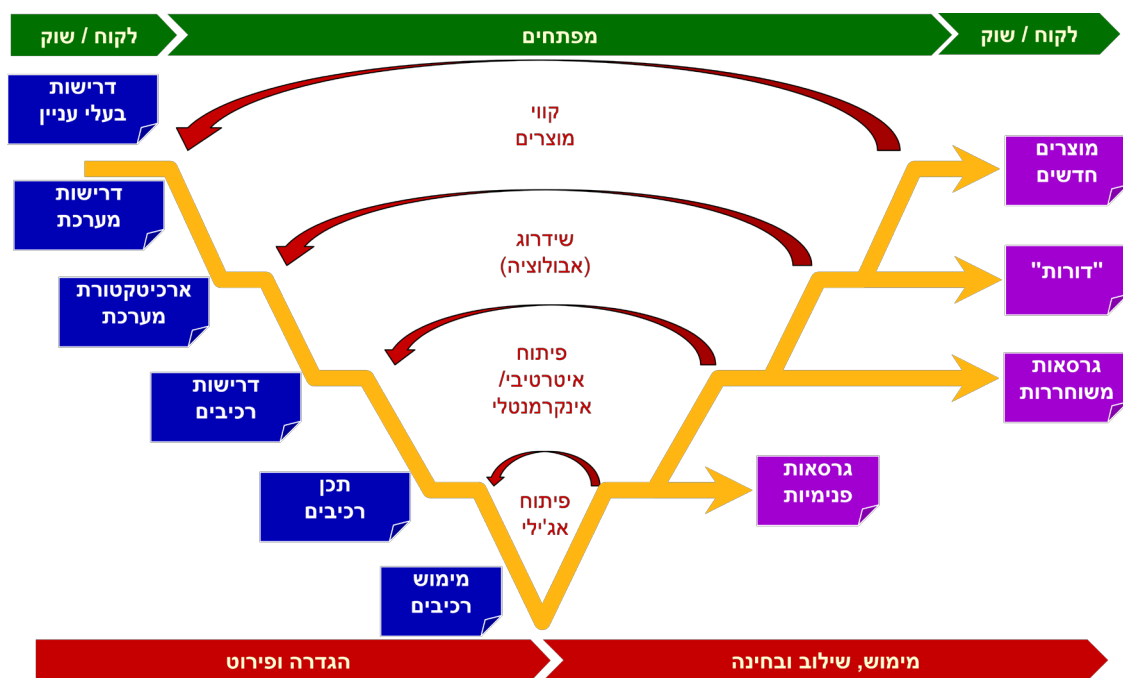


איור 6: תהליך פיתוח אופייני של מערכת ושל תוכנה

ההכרה בהבדל זה הביאה, בין השאר, לפיתוחם של מודלי הפיתוח האג'ילי [7], המבוססים על סבבים קצרים בהם ממומשים features חדשים, הניתנים לפריסה (deployment) ולשימוש מיידי. במערכות מידע גדולות, בעיקר באינטרנט, בהן הפלטפורמה היא גלובאלית וסטנדרטית (שרתים servers-) הסבבים המהירים כוללים לא רק את הפיתוח אלא גם את הפריסה המיידית בסביבת התפעול של הגרסאות החדשות, לעיתים עד כדי עדכון גרסת מוצר מספר פעמים ביום. תהליך רצוף ומהיר זה, הכורך ביחד את הפיתוח (Development) ואת התפעול (Operations) מוכר היום בשם DevOps [8].

אך נחזור למערכות המשולבות. ההכרה ביכולת לערוך שינויים מהירים בתוכנה, לעומת סבבי השינויים הארוכים בתוכנה, מביאה חברות רבות להשקיע את מירב מאמציהן בשדרוג מוצרים קיימים, במקום ייזום והגדרה של מוצרים חדשים. מגמה זו הופכת את תהליך הפיתוח הכולל של מערכות רבות מ"פיתוח מכוון-דרישות" (Requirements-driven Development) ל"פיתוח מכוון-שינויים" (Change-driven development). לכך יש השפעה, כמובן, גם על המודל העסקי, המעביר את שיקולי הפיתוח מהלקוח/המשתמש ("מה הלקוח רוצה/צריך") אל המוצר ("מה אפשר להציע ללקוח").

האם ניתן לשלב בין מודל פיתוח מערכתי למודל פיתוח תוכנה, בין פיתוח מכוון דרישות לפיתוח מכוון שינויים? לתפיסתי, באופן עקרוני כל מודלי הפיתוח הם וריאציה כזו או אחרת של מודל V המקובל, החל משחרור מהיר של גרסאות תוכנה קטנות במהלך פיתוח מוצר כלשהו, ועד לפיתוח משפחה של מוצרים הנכללים בפורטפוליו הכולל של קווי מוצרים. התמונה הכוללת היא, לדעתי, זו המשתקפת באיור 7.



איור 7: מחזור חיי הפיתוח של מערכות עתירות תוכנה

BYOD = Bring Your Own Device

בהמשך ישיר לסעיף הקודם, ובהתבסס על המשקל המכריע של תוכנה במערכות מודרניות, ניכרת היום מהפכה משמעותית בתפיסת השימושיות (usability) ובניית ממשקי-משתמש (User Interface).

ממשק-משתמש היווה תמיד מרכיב משמעותי בפיתוח מערכת המופעלת בידי משתמשים אנושיים. מחשבה רבה הושקעה על ידי מומחים בהנדסת אנוש ליצור ממשק ש"יידד" את המשתמש בצורה מיטבית עם המערכת. או במילים אחרות, החשיבה התמקדה ב"כיצד מביאים את המשתמש אל המערכת". מהפכת המובייל והסמארטפונים, הביאה לכך שכל משתמש, בכל תחום שהוא, נושא בכיסו תחנת עבודה משוכללת לאין שיעור מכל תחנות העבודה של פעם, שאחת מיכולותיה הגבוהות ביותר היא ממשק גרפי דינאמי ברזולוציה מרשימה. יתרה מכך, משתמש המצוייד במכשיר כנ"ל מפתח לעצמו "תפיסת הפעלה" אותה הוא מיישם בכל שימושיו במכשיר. יכולת אחרת של מכשירים אלה – תקשורת הפס-הרחב במהירויות ובנפחים הולכים וגדלים – מאפשרת ליישם את ה"חלום הרטוב" של Ubiquitous Computing [9], כלומר, להיות במקומות רבים בעת ובעונה אחת. רופא כירורג, למשל, יכול להיות נוכח (באופן וירטואלי) בחדר הניתוח, לצפות את מהלך הפעולה ולסייע למנתחים המתמחים, בעודו שרוע על כורסת הטלוויזיה בסלון ביתו. גם כאשר הוא מגיע לקליניקה שלו ומפעיל את מכשיר האולטראסאונד אין לו צורך במסך, במקלדת או באמצעי הפעלה אחרים: הסמארטפון שבכיסו מספק לו את כל אלה, כמשתקף באיור 8.



איור 8: שימוש בסמארטפון כיחידת קצה במערכת צבאית [10] ובמערכת רפואית [11]

נוסעים במטוסים של חברות תעופה רבות תוהים, בעלייתם למטוס, להיכן נעלמו מסכי הפלאזמה והאוזניות. ההסבר מגיע באמצעות הודעה המציעה לנוסע להוריד למכשיר הנייד שלו (שנמצא בכיסו או בתיקו, כמובן) את אפליקציית הבידור, להתחבר לרשת ה-wi-fi הפנימית במטוס ולקבל את כל שירותי הבידור, כפי שהיה תמיד. חשיבת השימושיות השתנתה, והיא מתמקדת כעת ב"כיצד להביא את המערכת אל המשתמש". המגמה חלה על כל סוגי המערכות, ואיננה פוסחת אף על מערכות צבאיות (ר' איור 8).

מהפכת האינטרנט-של הדברים (Internet-of-Things) תגביר את מגמת "ההפרטה" של מרכיבי המערכות, כאשר רבים מהם (כגון חיישנים, תצוגות, התקני קצה ועוד) יוצאו מהמערכות ויוחלפו בהתקנים תקינים הקיימים ממילא בסביבת התפעול.

חינוך והגברת המודעות

הסקירה לעיל הביאה רק חלק מהשפעות הרבות שיש לתוכנה על המערכות בהן היא משולבת. לדוגמה, לא הזכרנו את נושא הבטחת המידע (cyber security), המנסה להתמודד עם רמת הפגיעות (vulnerability) הגבוהה של מערכות עתירות תוכנה ותקשורת. אולם די בדוגמאות אלה כדי להבין עד כמה קיים צורך לקרב את שתי הדיסציפלינות, הנדסת המערכות והנדסת התוכנה, זו לזו. בקורס "אפיון וניתוח מערכות משובצות", אותו אני מלמד במסגרת התואר השני בהנדסת מערכות בטכניון, אני נדהם לעיתים לגלות כמה עמוק פער הידע של מהנדסי מערכות, שאינם מתחום המחשבים, בכל נושאי התוכנה. מצד שני, אני נדהם לא פחות עד כמה תוכניות הלימוד האקדמיות במדעי המחשב ובהנדסת תוכנה מתעלמות מנושאים מערכתיים, כאילו שתוכנה אינה משולבת במערכות, אלא חיה בפני עצמה. את תרומתי הצנועה אני מנסה לתרום בשני הצדדים: כמרצה להנדסת תוכנה אני מדגיש את ההיבטים המערכתיים ה"עוטפים" את התוכנה ואת החשיבות של חשיבה מערכתית וארכיטקטונית, מעבר להיבט הצר של תוכנית מחשב עובדת. לצורך כך אני מעודד את מהנדסי התוכנה העתידיים ליישם פיתוח תוכנה מבוסס-מודלים (MBSD = Model-Based Software Development), בה המודלים הרלוונטיים לתוכנה כוללים גם היבטים מערכתיים [12]. כמרצה בתוכנית להנדסת מערכות אני מנסה לחשוף את הסטודנטים להיבטים הייחודיים של תוכנה, להבנת עבודתם של מהנדסי התוכנה ולהגעה לרמת הבנה שתאפשר למהנדסי המערכת להפעיל שיקולים מערכתיים הנוגעים לתוכנה ולהבין את שיקולי מהנדסי התוכנה. לצורך כך אני מעודד את מהנדסי המערכת ליישם הנדסת מערכות מבוססת-מודלים (MBSD = Model Based Systems Engineering), בה ניתן למדל את היבטי המערכת הנוגעים לתוכנה [13].

מקורות

1. Brooks, F. P. , J. , No Silver Bullet—Essence and Accidents of Software Engineering, Computer 10 : (4) 20.
2. <http://www.cbsnews.com/news/toyota-unintended-acceleration-has-killed-89>
3. www.nhtsa.gov/staticfiles/nvs/pdf/NASA_report_execsum.pdf
4. <http://scienceblogs.com/goodmath/2007/10/02/the-excel-65535100000-bug>
5. <http://web.cecs.pdx.edu/~hamlet/testutorial.html>
6. Neufelder, A. M., *Current Defect Density Statistics*(2007), © SoftRel LLC
7. <http://agilemanifesto.org>
8. <http://theagileadmin.com/what-is-devops>
9. <http://www.ubiq.com/hypertext/weiser/UbiHome.html>
10. <http://www.medicaldevice-network.com>
11. Tomer, A., “Applying System Thinking to Model-Based Software Engineering”, *Proceedings of the 2012 IEEE International Conference on Collaborative Learning & New Pedagogic Approaches in Engineering Education (EDUCON 2012)*, Marrakesh, Morocco, April 2012 ,20-17.
12. Tomer, A., “A Principle Modeling Framework for Software Intensive Systems”, *Proceedings of the 22nd Annual INCOSE International Symposium (INCOSE 2012)*, Rome, Italy, July 2012 ,12-9.

פרופ' עמיר תומר הוא בוגר תואר ראשון ושני במדעי המחשב מהטכניון ובוגר תואר שלישי במיחשוב מ-imperial college בלונדון. בין השנים 1982-2006 מילא ברפאל מגוון תפקידים בפיתוח, ניהול ואיכות תוכנה ומערכות, שימש כממונה על תהליכי הנדסת מערכת ותוכנה בהנהלת רפאל והוביל את הסמכת רפאל לרמה 3 של מודל CMMI. כיום משמש עמיר כראש המחלקה להנדסת תוכנה במכללה האקדמית כנרת וכמרצה בטכניון, בפקולטה למדעי המחשב ובתוכנית לתואר שני בהנדסת מערכות. לעמיר הסמכות מקצועיות בינלאומיות בניהול פרויקטים (PMP) בהנדסת מערכות (CSEP) ובהנדסת איכות תוכנה (CSQE).



אוטומציה של תהליך פיתוח מבוסס-מודלים בחוג סגור [תקציר]

פליקס מרטין ויורגן מוטוק

קיימת מגמה להשתמש במעבדים מרובי-ליבות ביישומים משובצי-מחשב על מנת לעמוד בדרישות המיחשוב ההולכות וגדלות. יחד עם זאת, שינוי זה לפלטפורמות מרובות-ליבה תובע מחיר של אתגרים חדשים המתייחסים להתנהגות תזמונים, תלויות בנתונים, ביצועים ואמינות. במאמר זה אנו מראים כיצד הגישה של פיתוח מבוסס-מודלים יכולה לשמש להבטחת מילוי דרישות זמן אמת בעלות בטיחות קריטית, על בסיס מערכת ההפעלה החינמית Erika Enterprise, התואמת את תקן OSEK. התהליך שלנו ניתן לשימוש בצורה אוטומטית במהלך תהליך הפיתוח המלא.

המאמר המלא נמצא בעמוד IV בגרסה האנגלית של הגיליון מצידו השני.

קידום תאוריית האופציות הארכיטקטוניות: ששה מקרי בוחן תעשייתיים [תקציר]

אבנר אנגל ויורם רייך

מערכות מספקות ערך על ידי מילוי צרכים פרטניים של בעלי העניין. צרכים אלה מתפתחים עם הזמן, ותכופות, סוטים מהיכולות המקוריות של המערכת. לפיכך הערך של מערכת נוטה לפחות עם הזמן. לכן, יש להשביח מערכות או להחליפן מעת לעת. מאחר והחלפת מערכת היא בדרך כלל תהליך יקר ומסובך, הסגילות (Adaptability) הטבועה במערכת היא תכונה רבת ערך. סגילות היא היכולת להשביח ארכיטקטורה של מערכת או את התכנן שלה כגון שינוי, הוספה, סילוק או החלפה של רכיבים במערכת וכן התאמת יחסי הגומלין ביניהם.

בשנת 2008 הציעו אנגל ובראונינג תפיסת תכנון לסגילות המבוססת על תאוריית האופציות הארכיטקטוניות (Architecture Options). תאוריה זאת מאגדת בתוכה תאוריית אופציות פיננסיות (Financial Options) ותאוריית עלויות של עסקאות (Transaction Costs) במטרה לתכנן מערכות בעלות סגילות אופטימלית לאורך כל מחזור החיים שלהן. הם טענו שמתכננים חייבים לאזן בין היתרונות של סגילות לבין העלויות הכרוכות בהשגת אותה סגילות. הגדלת מספר המודולים במערכת איננה תמיד רצויה ולא תגדיל בהכרח את סגילות המערכת או את ערכה.

מאמר המשך זה מתאר פרויקט שבמסגרתו שופרה תאוריית האופציות הארכיטקטוניות ויישום התיאוריה תוקף במספר סביבות תעשיות. מודל האופציות הפיננסיות של בלק ושולס (Black-Scholes) הותאם למרחב ההנדסי והוטמע במסגרות תעשיות של מפתחי מערכות. ששה מקרי בוחן תעשייתיים נבדקו בתחומי: אריזת מזון, מכונות כלים, תעשיית הרכב, תעשיית התעופה והחלל, תקשורת, ואופטואלקטרוניקה. משתתפים מכל ששת התעשיות העריכו, בין השאר, שחל שיפור של למעלה מ-15% בפרמטרים הבאים: (1) הקטנת עלות המערכת לאורך כל חייה, (2) הקטנת משך המחזור של השבחת המערכת, (3) הערכת משך החיים הכולל של המערכת. תוצאות אלה מדגימות את הישימות של תאוריית האופציות הארכיטקטוניות בתעשייה ואת התקפות שלה.

המאמר המלא נמצא בעמוד XIII בגרסה האנגלית של הגיליון מצידו השני.

כנס הנדסת מערכות בינלאומי של האיגוד העולמי להנדסת מערכות INCOSE התקיים ב-2015 בסיאטל/ארה"ב

ד"ר אביגדור זוננשיין, מרכז גורדון להנדסת מערכות בטכניון

כללי

הכנס השנתי של האיגוד העולמי להנדסת מערכות INCOSE התקיים השנה (2015) בעיר סיאטל בארה"ב בהשתתפות כ-900 מהנדסי מערכות ומומחי מערכות מהתעשייה, מהאקדמיה, מגופי ממשל ומינהל ציבורי מ-25 מדינות ברחבי העולם.

כנס זה גם ציין 25 שנה להקמת INCOSE וכלל מספר אירועים לסיכום 25 שנות עשייה, וכן הערכת עתיד הנדסת מערכות בעולם ותפקידה של INCOSE בפיתוח דיסציפלינה מקצועית זו.

הכנס השנתי של INCOSE כולל הרצאות על הישגים, תהליכים ודילמות בתחומי הנדסת מערכות, סמינרים מקצועיים, פאנלים ניהוליים ומקצועיים, תערוכה מקצועית עשירה, מפגשי קבוצות עבודה בתחומים חדשים שמעוררים עניין בקרב המשתתפים בכנס, ובתחומים ותיקים בהם נוצרה מסורת עבודה משותפת רב לאומית לקידום התחום המקצועי ואנשיו.

השנה השתתפו בכנס גם 6 אנשים מישראל, חלקם הציגו עבודות והשתתפו במפגשי קבוצות העבודה. זהו היקף משתתפים קטן מישראל, למרות אפשרויות הלמידה המגוונות בכנס, וכן היכולת לקדם שיתופי פעולה מקצועיים למען הלמידה בחברות בישראל.

הכנס אורגן היטב, רוב ההרצאות והמרצים היו מעניינים ומחכימים.

הדיווח כאן כולל רק מדגם של נושאים להם נחשפתי במהלך הכינוס ושמומלץ לקדמם בישראל.

חשיבה מערכתית

לקראת הכינוס הופצה למדגם של משתתפים חוברת על חשיבה מערכתית מעשית (Applied SystemsThinking), והוזמנו להשתתף בסדנא מעשית בה נדרשנו להתמודד עם אתגר מערכתי בזמן הכנס, תוך שימוש בגישות ובכלים שמוצגים בחוברת. אני השתתפתי אישית בסדנא זו יחד עם עוד כ-25 משתתפים מכל העולם ועם רקע מגוון.

החוברת מציגה בצורה ברורה ומעשית את תפישת החשיבה המערכתית ואיך ניתן לפתור באמצעותה בעיות ואתגרים מערכתיים מתחומים שונים, וכן מגוון כלים ושיטות מעשיות לפתרון בעיות. התרשמתי במיוחד משיטת Systemigram שמאפשרת בתרשים אחד לתאר את הקשרים השונים בין כל מרכיבי הבעיה. בנוסף, מצאתי לאפקטיבי את השימוש במסגרת עבודה (Framework) המכונה Conceptagon המאפשרת ניתוח סדור של הבעיה, תהליך מובנה לפתרון הבעיה ותהליך סדור של הערכת הפתרון והפקת לקחים.

הלימוד והשימוש בשיטה הזאת בזמן אמת בכינוס על אתגר שהוצב לנו, היה חווייתי, מלמד ומעשיר.

המלצה: לאמץ גישה ומתודולוגיה זו בארץ, כולל צורת הלימוד החוייתית. שוחחתי עם Robert Edson מפתח וכותב החוברת, שגם הנחה את הסדנא והוא ישמח לבוא לישראל להנחות סדנאות כאלו לציבור ובחברות.

הנדסת מערכות בקווי מוצר (PL)

נושא זה הפך להיות "חם" בשנים האחרונות בחברות ובאקדמיה. הצרפתים במסגרת האיגוד הצרפתי להנדסת מערכות ומספר חברות מעוניינות פיתחו מדריך להנדסת מערכות בקווי מוצר. השנה הוצג לנו המדריך בשפה האנגלית, ואף הוענק לי עותק של המדריך עם הקדשה.

מעיון במדריך - הוא מדריך מעשי מאד לפיתוח הנדסת מערכות בקווי מוצר.

הפעילות ב INCOSE מובלת על ידי קבוצת עבודה PLE WG, הפועלת בכמה כוונים:

- קידום השימוש במדריך להנדסת מערכות בקווי מוצר
- הפקת webinars בנושא לכל החברים
- קידום התקינה הבינלאומית בתחום קווי מוצר: לאחרונה הופצו התקנים לניהול פורטפוליו של פרויקטים IEC26550-266551 / ISO
- מתן עדיפות לפיתוח הנדסת מערכות קווי מוצר בתעשיית הרכב כמו ALSTON, RENAULT
- הכנסת הנושא לאקדמיה
- יצירת ניתוחי אירוע (Case Studies) בנושא

קבוצת העבודה מתכננת להוביל מהלכים ופעילויות נוספות לקידום הנושא באמצעות סמינרים, ימי עיון webinars-I.

בחדש אוקטובר 2015 יתקיים כנס עבודה (IW) של הסקטור האירופאי EMEA של INCOSE. נושא חשוב בכנס זה יהיה הטיפול בהנדסת מערכות של קווי מוצר.

המלצה: לכל המתעניינים והעוסקים בנושא בישראל מומלץ להקים קשר עם קבוצת עבודה זו.

המובילים של קבוצה זו הם: Hugo Chale-Gongora שהוא ראש קבוצת העבודה

הקבוצה הטכנית של האיגוד הצרפתי להנדסת מערכות AFIS (hugo-guillermo.chale-gongora@transport.alstom.com), או Gerald (Gerard.auvray@astrium.net) . (eads.net)

הוזכר שמו של ערן גרי מ IBM ישראל שקשור לפעילותם.

יישום הנדסת מערכות בתחומים שונים

אחד המאמצים העיקריים של INCOSE הוא להרחיב את היישום של מתודולוגיות הנדסת מערכות לתחומים נוספים פרט לתחומי הביטחון, התעופה והחלל. מוכרת לנו הרחבת הפעילות לתחום התחבורה (קיימנו יום עיון בארץ בתחום זה, ונתייחס לתחום זה בהמשך סיכום זה). בנוסף, נעשים מאמצים בתחומי תעשיית הרכב, תעשיית הרפואה, תחום התשתיות, ותחום העסקים הקטנים.

לאחרונה מונה מנהל חדש ליישום הנדסת מערכות בתחומים שונים - Paul Davies.

כדי להדגיש מאמצים אלו, רוב הרצאות המליאה היו מתחומים מגוונים, והמרצים הציגו את הדרך בה הם מיישמים חשיבה מערכתית ותהליכית:

Linda Katehi, הנשיאה של אוניברסיטת UC DAVIS בקליפורניה, תיארה את האתגרים המערכתיים העומדים בפניה בניהול האוניברסיטה בתחומי המחקר, ההוראה והשירותים. במסגרת זו שותפים סגל המחקר ההוראה, הסטודנטים והסגל המנהלי. המערכת היא מורכבת עקב ריבוי האילוצים ומגוון הסיכונים. לפי תפישת לינדה אין לה אפשרות להרכיב מערכת אופטימאלית, אבל היא יכולה ושואפת למערכת רובוסטית שתבטיח הצלחה גם אם חלק מהסיכונים מתממשים.

Jan Bosch, פרופ' להנדסת תוכנה באוניברסיטת צ'למס השבדית, נתן הרצאה מאלפת על ההיבטים המערכתיים של פיתוח מערכות לשוק התחרותי, בו נדרש לפתח מהר הרבה יותר ולהחדיר לשוק מערכות לא מושלמות אבל אטרקטיביות ללקוחות. הוא תיאר גם תהליכים וטכנולוגיות באמצעותם אוספות החברות מידע חיוני על דרכי היישום ושימוש של המערכות שלהם בשוק. לדבריו כ-50% מיכולות המערכות אינן בשימוש על ידי הלקוחות. להערכתו זה בזבוז עצום של משאבי פיתוח היכולות שאינן בשימוש, לכן נחוצה גישה מערכתית ושיטתית להבנה מעמיקה של צרכי השוק.

Ronnie McKenzie, מנכ"ל ויו"ר חברת המים בדרום אפריקה, תיאר את מורכבות המערכת עליה הוא מופקד. הוא הציג מודלים מערכתיים שהם בנו לתיאור וניתוח מערכת המים בדרום אפריקה. לטענתו, רק באמצעות המודלים האלו הם מצליחים לנהל בצורה אפקטיבית את מערכת המים במדינה.

Rieks Jager, מנהל פרויקט הקמת טלסקופ בצ'ילה, תיאר את האתגרים הטכניים, הלוגיסטיים והאנושיים שעמדו בפני צוות ההקמה וכיצד הוא התגבר עליהם. לטענתו הפרויקט עמד בהצלחה בביצועים הטכניים שציפו ממנו, תוך שמירה על מסגרת התקציב והזמן שהוקצה להם.

שילוב בין הנדסת מערכות לניהול פרויקטים

שני האיגודים הבינלאומיים – INCOSE להנדסת מערכות ו PMI לניהול פרויקטים – גיבשו מהלך אסטרטגי לשילוב בין שתי הדיסציפלינות שהם מייצגים. כבר מספר שנים שני האיגודים האלו יוזמים ומבצעים פעילויות שילוב ותיאום. במהלך כנסים קודמים הוצג המדריך המשותף לניהול רזה (lean) בהיבטי הנדסת מערכות וניהול פרויקטים.

במסגרת כנס זה הוצג מדריך חדש שהוא תוצר של קבוצת העבודה של המדידות:

Project Manager's Guide to Systems Engineering Measurement for Project success

מדריך זה כולל 10 מדדים של הנדסת מערכות הרלוונטיים לניהול הפרויקט, כאשר כל מדד מלווה בהסבר כיצד להעריך אותו ואיך מקבלים החלטות פרויקטיות על פיו. במדריך יש גם דגש על מדידת ה"חוב הטכני" – Technical Debt, הנוצר עקב משימות חסרות ולא מתוכננות לביצוע במסגרת התקציב והזמן, משימות שהוכרזו כמושלמות אבל לא הושלמו.

בנוסף, הוצגה עבודה שחיפשה אלמנטים משותפים ותועלות משותפות בין המדריך לניהול פרויקטים PMBOK של PMI, המנחה את עבודת מנהלי הפרויקטים, לבין המדריך להנדסת מערכות Engineering Handbook של INCOSE. נמצא שבארבעה תחומים נכון לשלב ידיים: הגדרת מטלות, ניהול משולב של סיכונים, ניהול בעלי עניין וניהול איכות. במסגרת זו הוצג דיון על ההבדלים בין משימות מנהל הפרויקט (משימות ניהול) לבין משימות מהנדס המערכות (משימות הנדסה), המביאים לקונפליקטים בין שתי הישויות, ושנכון לגשר בין שתי הישויות על ידי שילובן.

המלצה: כדאי להמשיך במאמצים בארץ לשילוב בין הדיסציפלינות בין האיגודים בישראל, בין השאר על ידי התבססות על שיתופי הפעולה בין האיגודים הבינלאומיים, ובתוך החברות.

כדאי ללמוד את תרומתו של מדריך המדדים, ובהתאם לכך ליישם אותו בארץ.

ניהול הנדסת מערכות זריז – AGILE SE

בתחום SEAgile התקיימו כבר ב-INCOSE פעילויות רבות, בעיקר במסגרת קבוצת העבודה בנושא. גם השנה התקיימו מספר פגישות בנדון, כיוון שנראה למהנדסי המערכות שלמרות שרוב יישומי ה-agile הם בפיתוח תוכנה, הרי יש פוטנציאל רב לעקרונות ה-agile גם לפיתוח המערכות, במיוחד שהן עתירות תוכנה. במקרים אלו שילוב עקרונות ה-agile בפיתוח התוכנה והמערכת הוא חיוני. הוצגה עבודה שבוצעה על ידי צוות משולב מבואינג, ריטאון, רוקוול קולנס להגדרת עקרונות הפיתוח הזריז Agile Development. צוות זה התאים את עקרונות המניפסטו של ה-agile בתוכנה לעולם המערכות. דוגמאות:

- העיקרון הראשון בפיתוח תוכנה מדגיש **שהעדיפות העליונה היא לספק את הלקוח דרך אספקה מוקדמת ושוטפת של תוכנה בעלת ערך**. עיקרון זה מותאם לפיתוח מערכת על ידי **"תחילה ספק את הלקוח על ידי אספקה מוקדמת ושוטפת של יכולות בעלות ערך"**.

- העיקרון השני בפיתוח תוכנה מעודד **שינויים בדרישות אפילו בשלבים מאוחרים של הפיתוח כדי לאפשר יתרון תחרותי ללקוח**. עיקרון זה מותאם לפיתוח מערכות על ידי **"תכנון להתפתחות בדרישות, ושמירה על גמישות ספיגת שינויים בדרישות לאורך הפיתוח, כי זה מאפשר יתרון תחרותי"**.

בצורה דומה מותאמים העקרונות השונים לסט עקרונות עבור פיתוח agile. הצוות דווח שעקרונות אלו יושמו בהצלחה בפיתוח מערכת מורכבת.

המלצה: לבחון יישום עקרונות מותאמים אלו בפיתוח מערכות עתירות תוכנה.

Model Based Systems Engineering (MBSE)

נושא ה-MBSE הוא מרכזי בכנסים אלו ולא רק מבחינת יישום כלים, אלא מבחינת תכולת יישום גישת MBSE, התפוקות המקוות והצפויות מיישום גישת MBSE בפרויקט או חברה, שילוב נכון של גישת MBSE בתהליכי הנדסת המערכות ושילוב MBSE במגמת יישום מודלים וסימולציות התכן והנדסה.

שאלות אלו ואחרות נדונו בכנס במספר מושבים של מאמרים ופנלים. דווח מעשי מצאתי בהצגה על מפגש מיוחד שנערך בהולנד בחודש אפריל השנה. במפגש זה נבחנו שאלות שונות והיבטים שונים של יישום MBSE בפרויקט תשתית על ידי כל המעורבים בפרויקטים אלה. נבחנו היבטים הנדסיים, ניהוליים והיבטי אינטגרציה בין הדיסציפלינות. על פי לקחי מפגש זה ומספר פרויקט פיילוט, נראה לי שה-MBSE הוא בשל ליישום הן מבחינת התהליכים והן מבחינת הכלים בכל ההיבטים הנ"ל. צוינה החשיבות של תמיכת המנהלים ביישום MBSE, כיוון שההשקעה מחזירה את עצמה רק בחלוף זמן: ההחזר בהיבטים הניהוליים מתקבל אמנם כבר אחרי שנה, אך ההחזר בהיבטים ההנדסיים מגיע רק כ-3 שנים מאוחר יותר.

בקבוצת עבודה זו הודגם יישום MBSE בהקמת גשר מורכב. לפי הדגמה זו, יש מענה לרוב השאלות הנשאלות ביישום MBSE בארגונים השוקלים יישום זה.

דווח מעשי נוסף ניתן על ידי צוות של חברת THALES, שתיאר תהליך יישום MBSE שהחל ב"קטן" ב-2001 ועבר ליישום מאסיבי ב-2007, תוך שימוש בשני כלים עיקריים ARCADIA, CAPELLA.

המלצה: יש ידע וניסיון בעולם ליישום אפקטיבי של MBSE. כדאי ליישם שיטה זו בארץ בסיוע גורמים בעלי הידע והניסיון המעשי, אשר גם יודעים להעביר ידע זה בצורה טובה ונגישה.

להערכת, Matthew Hause מחברת PTC הוא מועמד מתאים למשימה זו. ארגונים גדולים יכולים למוד רבות מהניסיון המצטבר של THALES.

מסגרת עבודה ליישום הנדסת מערכות בארגוני מו"פ

צוות מ Pacific Northwest National Laboratory (PNNL) גיבש נהלים ותהליכים להנדסת מערכות בפרויקטי מו"פ. הגישה הכללית הייתה להתאים את המדריך להנדסת מערכות של INCOSE לצרכים ולסיכונים של ארגון המו"פ ובהתאם לכך גובשה סדרת תהליכים מותאמים להיבטים הניהוליים ולהיבטים הטכניים של הארגון.

בנוסף, הוגדרו שלוש רמות של הנדסת מערכות:

- **הנדסת מערכות לא פורמאלית** לפרויקטים בהם אין סיכוני פיתוח, אבל נדרשת חשיבה מערכתית
 - **הנדסת מערכות חצי פורמאלית** לפרויקטים בהם יש סיכוני פיתוח בינוניים. במקרים אלו ישולבו פעילויות הנדסת מערכות בתוכנית ניהול הפרויקט - PMP
 - **הנדסת מערכות פורמאלית** לפרויקטים עם סיכוני פיתוח גבוהים. במקרים אלו ישולבו פעילויות הנדסת מערכות בתוכנית ניהול הנדסת המערכות - SEMP.
- כדי להגדיר את רמות הסיכון בהנדסת מערכות פותח סולם סיכוני הנדסת מערכות - SE Risk Register.
- הצוות דיווח גם על יישום מוצלח של מסגרת העבודה שהם פיתחו, בו יושמה השיטה תוך שימוש בתהליך שינוי ניהולי המורכב ממספר צעדים: מודעות, צורך, ידע, יכולת וחיזוק.
- המלצה: גישות בהם יישמו תפירה של תהליכי הנדסת מערכות לסיטואציות שונות (כמו ארגוני מו"פ) ולרמות סיכון שונות הן חשובות וראויות לחיקוי.**

בקרת עמיתים (Peer Review) אפקטיבית

צוות מ Sandia National Labs הציג ניתוח וממצאי יישום של בקרת עמיתים בפרויקטים, בנוסף לבקורות תכן (Design Reviews). הצוות טען שיש בלבול וערבוב בין בקורות תכן ובקורות עמיתים, ולדעתם יש לחדד את ההבדלים ולהגדיר היטב את תכולת בקרת העמיתים. לפי עבוד הזו המטרות של בקרת עמיתים הינן:

- לוודא שהעבודה עומדת בדרישות
 - לזהות חריגות מתקנים
 - לוודא הנדסה ראויה ורובוסטית
 - לוודא שההיבטים המדעיים והטכנולוגיים מובנים היטב
 - לזהות שימוש בפרקטיקות טובות המובילות לתכן עם חוזקות
 - להציע שיפורים
- הצוות ממליץ על קיום פרואקטיבי של בקרת עמיתים, יזומה על ידי צוות הפרויקט, וכן ביצוע מעקב יישום אחר בקרת העמיתים.

בנוסף מציע הצוות סולם להערכת רמת הקפדנות-חומרה בקיום בקרת העמיתים בהתאם לעומק הדאגה (concern) בתחומים טכניים, תוכניתיים ומערכתיים. לפי סולם זה נקבע עומק בקרת העמיתים והרכב צוות העמיתים.

המלצה: נושא בקרת תכן ובקרת עמיתים הוא בעל חשיבות גדולה פיתוח מערכות ובתהליכי הנדסת מערכות. כדאי ללמוד מניסיונם של אחרים על התנסויות וגישות מוצלחות.

לימוד הנדסת מערכות על ידי הוראת הנדסת מערכות

פרופ' Armstrong וד"ר Wade מאוניברסיטת Stevens תיארו ממצאי מחקר המראה כיצד מהנדסי מערכות מפתחים את יכולותיהם. המחקר התבסס על ראיונות עם מהנדסי מערכות בכירים ומנוסים. למרות שמקובל שההתנסות היא המקור העיקרי ללימוד, בא מחקר זה לבחון את תרומת ההוראה של הנדסת מערכות ללימוד עצמי. בבחינת רמות שונות של ידע אפשר להבחין ב-6 רמות: זיכרון, הבנה, יישום, ניתוח, הערכה ויצירה. שלוש הרמות הראשונות הן יכולות הקיימות אצל מיישמי הנדסת מערכות. שלוש הרמות האחרות מאפשרות למומחה הן לגבש תכנית הוראה טובה והן להעמיק את הידע שלו עצמו. בנוסף, האינטראקציה עם שאלות הסטודנטים היא חוויה מלמדת.

בנוסף, ניתן גם ליישם בחינוך תהליך הנדסת מערכות המכונה Instructional System Design, על ידי יישום מודל ADDIE: Analyze, Design, Development, Implement, Evaluation.

המלצה: מומלץ לבחון ממצאי מחקר זה על פיתוח היכולות של מהנדסי מערכות על ידי שילובם במשימות הוראה וחניכה (mentoring).

הנדסת מערכות תחבורה

קבוצת העבודה להנדסת מערכות תחבורה ממשיכה בפעילותה ב INCOSE. השתתפתי במפגש קבוצת העבודה הזאת, אשר התמקד הפעם בנושאים הבאים:

- סדרת הפעילויות הצפויה בכנסים הבאים
- ארגון מפגש פסגה (SUMMIT) בנושא בכנס ב-2016
- שיחה על איך להביא לתהליך נציגים בכירים מהסוכנויות ומחברות התפעול
- כיצד ליצור את הקשר עם ניהול תשתיות (ASSET MANAGEMENT) - ציינתי שיש תקן בינלאומי חדש בנושא
- דיון בהיבטים המיוחדים של הדרישות בתחומי רכבות, כמו: דרישות חוזיות, ניהול ההתאמה (compliance), דרישות רגולציה
- כיצד ליישם הנדסת משולבת ותכן משולב בתחום זה
- דיון בנושא השילוב של SE, PM, QA...
- דיון בצורך להגדיר את מגוון יכולות הנדסת מערכות הנדרש בתחום זה

יש לציין שבקבוצת העבודה הזו שותפים מהנדסים בכירים מתחום התחבורה שרואים בשילוב הנדסת מערכות אפקטיבית בפיתוח מערכות תחבורה משימה אישית. הם שותפים למשימה זו במסגרת קבוצת העבודה וכן בחברות בהם הם עובדים.

המלצה: להמשיך את הקשר שיצרנו דרך אן אוניל עם בכירי ופעילי קבוצת העבודה הזאת, כדי לסייע לקדם את הנדסת מערכות בחברות בישראל. שוחחתי עם אן כיצד להמשיך המאמץ בתחום זה שהתחלנו בארץ. אן תכין הצעות בעניין זה.

פעילויות באקדמיה לפיתוח הנדסת מערכות

במסגרת INCOSE נעשה מאמץ רב שנתי לקידום הנדסת מערכות באקדמיה במסגרת המועצה האקדמית (Academic Council). מועצה זו מנסה לתרום לכווני ההשקעה בקידום הנדסת מערכות (לימוד ומחקר) באקדמיה, וכן לאתר תוצרים של האקדמיה למען קהילת מהנדסי המערכות- פעילות המובלת על ידי Art Pyster. בין הנושאים שהוצגו ונדונו:

- **פיתוח התיאוריה המדעית של הנדסת מערכות.** הוצג הסטאטוס של חוסר בבסיס מדעי- תיאורטי מעמיק עבור דיסציפלינת הנדסת מערכות, ונדונו צעדים לגיבוש תיאוריה כזאת
- **הכללת שיעורי הנדסת מערכות לכל המהדסים בכל הפקולטות.** להערכת הפורום נוצרה מסה קריטית של אוניברסיטאות שהשתכנעו בצורך ללמד הנדסת מערכות לכל הסטודנטים, יש התקדמות מסוימת בגיבוש ההסכמה על תכני הלימוד. גובשה תכנית עבודה להכנת הצעת INCOSE בנושא עד 2017.
- **צעדים לשיפור העיתון Systems Engineering.** מיועדנו פרופ' Oli de Weck, המשמש כיום כעורך העיתון, תיאר את מאמציו לשיפור ההשפעה המקצועית (Impact Factor) של עיתון זה, על ידי הגברת הציטוטים של מאמרים המופיעים בו. ב-2014 עמד פקטור זה על 0.7 כאשר המטרה היא להגיע ל-1.0.
- **עדכון על עיתון INSIGHT.** זהו עיתון המכיל מאמרים יותר מעשיים ופחות מדעיים. העורך החדש שלו הוא Bill Miller. הנושא בו יתמקד העיתון המופץ ביולי הוא MBSE.
- **התאמה בין היכולות הנדרשות (Competencies) לבין תכניות הלימודים.** הוצגה רשימה מפורטת של היכולות הנדרשות ממהנדסי מערכות, וכיצד תכניות הלימודים מכסות תחומים אלו.
- **כנס הנדסת מערכות לסטודנטים.** תוארה יוזמה של דיויד מיסון לכנס הנדסת מערכות עבור סטודנטים. הוא ארגן כנס ראשון באזור LA בו השתתפו 14 סטודנטים. התגובות היו טובות.
- **שיפור הקשרים בין גוף האקרדיטציה האמריקאי ABET לבין INCOSE.** זהו מאמץ מתמשך כדי לשפר את תהליכי האקרדיטציה של תכניות הנדסת מערכות בארה"ב ובעולם.
- **קידום Journal of Enterprise Transformation.** זהו עיתון חדש יחסית העוסק בין השאר בהנדסת מערכות.
- **דווח על התקדמות GRCSE-for SE Graduate Reference Curriculum.** השימוש עדיין קטן אך דווח על יוזמות שיפור ועדכון.

סיכום והמלצות: במסגרת INCOSE יש פעילות ענפה ומתמידה לקידום הנדסת מערכות באקדמיה בהיבטים השונים. מומלץ שנהיה מעורבים יותר בפעילויות אלו וגם נשפיע על כווני הפעולה, כדי שהתכניות האקדמיות בארץ יהיו מעודכנות.

המדריך המעודכן של INCOSE להנדסת מערכות

במהלך הכינוס הושקה מהדורה 4 המעודכנת של INCOSE להנדסת מערכות:

SYSTEMS ENGINEERING HANDBOOK- a guide for system life cycle processes and activities

מהדורה זו הותאמה לתקן החדש להנדסת מערכות - ISO/IEC/IEEE 15288:2015 ולמדריך לוגף הידע של הנדסת המערכות-SEBok.

במהדורה החדשה שולבו תפיסות עדכניות שפותחו במסגרת קבוצות העבודה בתחומים כמו lean, תפירת תהליכים, שילוב הנדסות מיוחדות כגון RAMS ואחרות.

כל המסמכים לעיל משמשים גם בסיס להסמכת מהנדסי מערכות בעולם.

המלצה: לאמץ את המדריך הזה וגוף הידע בפעילויות שלנו בישראל. מוצע לחזור ולשקול את דחיפת היוזמה להסמכת מהנדסי מערכות בישראל.

תכנית ההסמכה למהנדסי מערכות

מאז 2004 מציעה INCOSE את תכנית ההסמכה למהנדסי מערכות הכוללת בחינה והערכת הניסיון של מהנדס המערכות. קיימות 3 רמות הסמכה - ASEP - לחסרי ניסיון, CSEP - לבעלי ניסיון, ESEP - למומחים ובעלי ניסיון רב. עד היום הוסמכו כ-2000 מהנדסי מערכות מכל העולם, בעיקר ברמת CSEP. בארץ הוסמכו בינתיים 2 מהנדסי מערכות (אחד CSEP, ואחד ESEP) אך אין בישראל עדיין מסורת ותהליך מקובל ליישום תכנית ההסמכה. ניסיון שנעשה בעבר על ידי הטכניון - לא צלח.

בכנס זה הוצגו הישגים של תכנית ההסמכה במספר מדינות, הוצגו העדכונים האחרונים של תכנית שחלו ב-2014, וכן הוצגו ממצאים של הרקע ההכשרתי-חינוכי של הניגשים לבחינה. נמצא שלמעלה מ-70% מהמועמדים יש תואר אקדמי מתקדם, כאשר חלקם הגדול הוא בעלי מסטר בהנדסת מערכות וחלקם MBA. רוב המועמדים הם בעלי תארים בהנדסה, כאשר 30% מהם הם מהנדסי אלקטרוניקה, 10% מהנדסי מכונות, 12% מהנדסי תוכנה, ו-6% מהנדסי אווירונאוטיקה. יש לציין שבין המוסמכים יש 8% בעלי תואר דוקטור. בכוונת החוקרים להמשיך ללמוד מהסטטיסטיקה של קהילה זו- במיוחד על מסלולי ההתפתחות והקידום של מהנדסי מערכות.

המלצות: כאמור לעיל מומלץ ליזום מחדש עידוד הסמכת מהנדסי מערכות בישראל. יש לכך תרומה ותועלת גם לאנשים וגם לחברות. בנוסף, נראה שחשוב לנתח את הסטטיסטיקה ורקע של אלו שקיבלו הכשרה ותעודות בתכניות הנדסת מערכות הקיימות בישראל.

אפשרויות לימוד ושיתוף פעולה עם ה Worcester Polytechnic Institute - WPI

גם בכנס זה נפגשתי עם אנשי האוניברסיטה WPI שיש להם תכניות מעניינות לתארים שני ושלישי בהנדסת מערכות ובחשיבה מערכתית. חלק גדול של התכנית ניתן גם באופן מקוון בלמידה מרחוק.

פרטים על התכניות האלו: <http://www.cpe.wpi.edu/online/systems.html>

נפגשתי עם ד"ר Don Gelosh העומד בראש תכנית אלו, ועם Bob Swarz שבא מהתעשייה וחבר הפקולטה - שניהם פעילים מאד ב-INCOSE. הם כמוכן מעוניינים שגם ישראלים ילמדו אצלם מרחוק, ובנוסף הם מעוניינים בשיתוף פעולה בגיבוש Case Studies לצורך הוראת הנדסת מערכות וחשיבה מערכתית.

המלצה: להמשיך בשת"פ כדי ליצור ניתוחי אירועים לצרכי הוראה.

תוכנית אסטרטגית 2025 של INCOSE

התוכנית האסטרטגית החדשה של INCOSE הוצגה כבר במאמרים קודמים שלנו. בכנס זה הציג נשיא INCOSE דיויד לונג בפתיחת הכנס את עיקרי החזון החדש ואת דרכי היישום של האסטרטגיה.

בתוכנית האסטרטגית יש הצעה לתכנית יישום האסטרטגיה, כגון גיבוש מפת דרכים למחקר, גיבוש מפת דרכים לתקנים, גיבוש מפת דרכים לחינוך והכשרות ועוד.

הם מצפים ליישום האסטרטגיה גם דרך האזורים הגיאוגרפיים. למשל אזור אירופה המאוגד ב EMEA (ושאליו משתייכת ישראל), לקח על עצמו את מהלכי היישום להשגת הגידול והצמיחה של INCOSE בחברים, במדינות, באיגודים ובפעילויות.

המלצה: לבחון מה ממרכיב האסטרטגיה של INCOSE מתאימים לנו ולגבש תוכנית ליישום חלוץ במרכיב זה. המלצה זו מכוונת ל INCOSE_IL/אילטם, מרכז גורדון, IBM ואחרים שמקדמים את הנדסת מערכות ברמה האסטרטגית.

השתתפות ותרומת ישראלים לכינוס זה

הישראלים שהשתתפו באופן פעיל בכינוס הציגו מספר מאמרים:

הנרי ברודני ממעבדות המחקר של IBM בחיפה הציג מאמר בנושא:

Open Standards Simulation Flow for Heterogeneous System Models

ד"ר אביגדור זוננשיין הציג מאמר משותף עם אבי הראל בנושא:

A Practical Guide to Assuring the System Resilience to Operational Errors

שני המאמרים התקבלו בעניין. הם גם השתתפו במפגשי קבוצות העבודה הרלוונטיות לתחום עיסוקם והתמחותם.

ד"ר אביגדור זוננשיין קיבל בשם האיגוד הישראלי להנדסת מערכות INCOSE_IL את מדליית הזהב על הישגי האיגוד ב-2014.

יישום ההסכם החברות האישית המיוחדת של חברי INCOSE_IL / אילטם ב INCOSE

במסגרת הכינוס טיפלו בהיבטים יישומיים של הסכם החברות האישית המיוחדת של חברי INCOSE_IL ב-INCOSE. בעקבות טיפול זה נחתם הסכם ההארכה לעוד שנה. אנו מקווים שהחברים בישראל ישתמשו יותר בשירותים של INCOSE ללמידה והתעדכנות.

הכנסים הבינלאומיים הקרובים בהנדסת מערכות

כנס עבודה (IW) בינלאומי של הסקטור האירופאי 7-9 EMEA INCOSE- אוקטובר, פריז, צרפת
הכנס הבינלאומי של הסקטור של מזרח אסיה להנדסת מערכות-13-15 APCOSEC 2015 באוקטובר, סאול, קוריאה

הסדנא הבינלאומית של INCOSE בתאריכים 30 בינואר - 2 בפברואר, לוס אנג'לס, ארה"ב

הכנס הבינלאומי ה-26 של INCOSE בתאריכים 18-21 ביולי, אדינבורו, סקוטלנד

המלצה: להשתתף לפחות באחד מהאירועים המקצועיים האלו.

סיכום והמלצות

הכנס הבינלאומי של INCOSE הוא בהחלט אירוע טוב ללימוד מניסיונם והידע המצטבר של אחרים. מוצגות בכינוס התנסויות מגוונות ומעודכנות בזמן אמת. גם הקשרים המקצועיים הנוצרים במסגרת זו הם יקרי מציאות. לכן, מומלץ לקהילת מהנדסי מערכות בישראל להשתתף בהיקף יותר גדול ומשמעותי בכנסים אלו. ראוי שהחברות בהן מיושמים תהליכי הנדסת מערכות יעודדו ויתמכו בהשתתפות אנשיהם בכנסים אלה.

אינטגרציה וממשקים - סיכום יום העיון לזכרו של ד"ר זאב בונן

8/6/2015, מרכז גורדון להנדסת מערכות, הטכניון

ד"ר אביגדור זוננשיין, מרכז גורדון להנדסת מערכות, הטכניון

מבוא

יום העיון החצי שנתי של מרכז גורדון התמקד הפעם בהיבטי אינטגרציה וממשקים בהנדסת מערכות ובתכן מערכות מורכבות. יום העיון התקיים בטכניון, והשתתפו בו למעלה מ-150 מהנדסי מערכות ומנהלי פרויקטים מהתעשייה וממערכת הביטחון. יום העיון היה על שמו של ד"ר זאב בונן, ואלמנתו, שוש, נשאה דברים לזכרו וציינה את חשיבות ההנצחה של זאב במסגרת מרכז גורדון בטכניון.

בפתיחה ברכו פרופ' אביב רוזן, ראש מרכז גורדון ויגאל אסקין, יו"ר האיגוד הישראלי להנדסת מערכות, השותף, ביחד עם אילטם, לארגון ימי עיון אלה.

אינטגרציה מערכתית: יותר מאשר הרכבת כל החלקים

פרופ' Jim Armstrong מ-Stevens Institute of Technology הציג את התובנות שלו על תהליכי אינטגרציה נכונים, בהתבסס על ניסיונו המעשי והמחקרי בתחומי הנדסת מערכות, ובעיקר, לדבריו על ניסיונם של אחרים: "טיפשים לומדים מניסיונם, ופיקחים לומדים מניסיונם של אחרים". התובנה העיקרית שהוא למד מניסיונם של האחרים היא שיש לעסוק באינטגרציה מתחילת הפרויקט ולא להמתין למעלה ה-V כאשר מרכיבים את החלקים ותת המערכות. בין התובנות הנוספות שהוא מציג:

- גיבוש אסטרטגיית אינטגרציה הכוללת צעדים מוקדמים לאינטגרציה, פרואקטיביות, הערכת סיכונים ודרכים להתמודד איתם באמצעות צעדי אינטגרציה מוקדמים
- להימנע ככל שאפשר מכך שהארכיטקטורה המערכתית תבסס את המבנה הארגוני. לכן כדאי לבצע אינטגרציה ושילוב ארגוני מלכתחילה
- שילוב היבטי אינטגרציה וממשקים במסמכי הדרישות
- כדאי להעריך את רמת בשלות האינטגרציה במקביל לרמת בשלות הטכנולוגיה, כדי להעריך האם יש בשלות סבירה של שילוב ואינטגרציה של מספר טכנולוגיות חדשות
- שימוש במודלים וסימולציות גם כדי לבסס את האינטגרציה

- תהליכי הבדיקות צריכים לכסות גם היבטי אינטגרציה בין תת מערכות ועם מערכות שכנות, עם הסביבה ועם האנשים
 - יש חשיבות גדולה לאינטגרציה עם אנשי התפעול, אנשי התחזוקה ויתר בעלי העניין
 - יש היבטים חשובים של אינטגרציה בתהליכי יישום המערכות בשדה ובשטח – תמיכה לוגיסטית, תחבורה ושינוע, אימון והדרכה, סביבה, גיאוגרפיה ולוח זמנים
 - רצוי לנהל את כל היבטי האינטגרציה בתכנית כוללת לאינטגרציה
- לסיכום חזר ג'ים על המלצותיו – להתחיל מוקדם, לקיים מאמץ רצוף בתחומי האינטגרציה ולהפעיל חשיבה מערכתית לגבי כל היבטי האינטגרציה.

אינטגרציה של מערכות בראיה קדימה

ד"ר מאיר טחן, מתוכנית הנדסת המערכות של אורט בראודה ומחברת הייעוץ End to End Systems, הציג את אתגרי האינטגרציה ואת גישתו להתמודד עם אתגרים אלו. האתגר העיקרי, על פי מאיר, הוא להתארגן בהווה לתהליך עתידי בעל אי וודאות גבוהה, עם פוטנציאל לשינויים מרמת הדרישות ועד רמת המערכת. מאיר ממליץ שיהיו בידינו כלים ותהליכים להתמודד בגמישות גבוהה עם תקלות והתממשות סיוכונים. מבין הכלים הוא מציע הן קופסה שחורה והן קופסה לבנה ומבין התהליכים הוא מציע תכן ממשקים ובדיקות, ומפרטי דרישות לאינטגרציה ולממשקים. מאיר הוסיף, שכדאי שמהנדסי האינטגרציה יהיו מעורבים בגיבוש קונספט התחזוקה.

כיצד ליישם אינטגרציה בין תהליכים – לקחים נלמדים משילוב הטיפול בסוכרת ובבריאות הנפש ברפואת המשפחה

בהרצאה תיארו פרופ' מרגלית גולדפרכט, משירותי בריאות כללית, ופרופ' איתן נווה, מהפקולטה לתעשייה וניהול בטכניון, את הצלחת תהליך האינטגרציה של הטיפול בסוכרת במשך יותר מעשור, שבעקבותיו חל שיפור גדול באיכות הטיפול בחולי סוכרת וירידה בהיקף התמותה מסוכרת.

על בסיס התנסות מוצלחת זו מתכננים עתה את הרפורמה של שילוב הטיפול בבריאות הנפש ברפואת המשפחה. הוצגו ההבדלים הגדולים בין שני התחומים אשר ראוי שישפיעו על אסטרטגיית האינטגרציה ועל תהליכי היישום וההטמעה.

התובנות הנגזרות משני התהליכים הינה, שהתחומים בהם צריך לפעול כדי לממש אינטגרציה מוצלחת הינם: תחום חברתי(כולל תקשורת א-פורמאלית), תחומי הידע, תחומי הטכנולוגיה (כולל מערכות IT), היבטים מבניים (כולל היבטים מקומיים) ותחומים תפעוליים (כגון נהלים).

במהלך יום העיון נוצר הרושם שהמהנדסים יכולים ללמוד מתהליכי האינטגרציה בתחומי הבריאות, והרופאים יכולים ללמוד מתהליכי האינטגרציה בתחומי המערכות הטכנולוגיות.

אינטגרציה של מערכות מורכבות

הרצאה זו ניתנה על ידי עוזי אוריון, מנהל לפיתוח טכנולוגי באל-אופ/אלביט מערכות. לדבריו, לאינטגרציה תפקיד חשוב בתהליך הורדת הסיכונים במהלך הפיתוח. היעד הוא ביצוע אפקטיבי של תהליך האינטגרציה בזמן מינימאלי על מנת לוודא שהמערכת מתאימה לצרכי הלקוח וסביבת הפעולה המתוכננת, שניתן לייצר ולתחזק את המערכת ושהמערכת מתאימה ליעדים העסקיים.

עוזי תיאר את היבטי המורכבות של תהליך האינטגרציה: תהליך ממושך, מתבצע בלחץ זמן, מערב דיסציפלינות רבות, סובל ממחסור בדגמים וציוד בדיקה, רגיש לסדר הגעת החלקים ותת המערכות.

תואר מגוון וסוגי הבדיקות הנהוגות במהלך האינטגרציה.

הוצגו טיפים בתחום בדיקות ממשקים, כגון חשדנות לגבי הממשקים עם מערכות וותיקות, חשיבות התאמת הממשקים לכל שלבי מחזור החיים, בחינת יעילות הממשקים עם אנשי התפעול, אנשי הייצור והמשתמשים.

הוצגו מספר גישות אפשריות לאינטגרציה: גישה היררכית, העוקבת אחרי ההיררכיה הפיזית של המערכת, גישה תפקודית-פונקציונאלית, העוקבת ומשלבת תפקודים שלמים, אינטגרציה מתמשכת מתחילת הפרויקט ואינטגרציה מבוססת סיכונים, בה משלבים תחילה מרכיבים עם סיכון גבוה יותר.

עוזי הדגיש, לסיכום היבטי מורכבות האינטגרציה, את הצורך בתכנון תחילה: יש להתכונן היטב לתהליך זה, כדאי לחזות את התנהגות המערכת ורצוי להשתמש בכלים ממוחשבים לניהול הניסויים.

בחלק השני של הרצאתו, התייחס עוזי לנושאי מודולאריות, צימוד ולכידות וכיצד הם משפיעים על התכן המערכתי ועל תהליכי האינטגרציה.

מתודולוגיית Design Structure Matrix (DSM) לתכן מערכות וממשקים

פרופ' Tyson Browning מ-Neeley School of Business at Texas Christian University הציג את שיטת DSM, המתארת את הקשרים ההדדיים בין רכיבים ותת מערכות, לצרכי תכנון, ניתוח ובקרה. שיטה זו ניתנת ליישום על ארכיטקטורת מערכות, ארכיטקטורת ארגונים, ארכיטקטורה של תהליכים וארכיטקטורה של תוכנה. הוצגו דוגמאות בכל אחד מהתחומים האלה והערך מוסף המתקבל מהפעלת השיטה.

בחלק השני של ההרצאה הציג טייסון פיתוחים של שיטת DSM כגון

DMM (Domain Mapping Matrix), המקשרת בין מספר תחומים, כמו למשל בין מטריצה ארגונית ומטריצה של התהליכים.

פנל מרצים

לסיומו של היום התכנסו המרצים לפנל בו התייחסו לשאלות מהקהל, וכן דנו על שאלות ייעודיות, כגון האם יש תורת אינטגרציה והאם יש תהליכים מובנים ומוכרים להדרכה ולחינוך לאינטגרציה.

סיכום

יום העיון הציג מגוון תובנות ושיטות על אינטגרציה וממשקים של מערכות מורכבות מבחינת תהליכי הנדסת מערכות, שיטות תכנון ושיטות בדיקה.

המסקנות העיקריות מיום עיון זה:

- האתגרים בהתמודדות עם אינטגרציה וממשקים במערכות גדולות ומורכבות הם גדולים. אחת הגישות היא תכנון מוקדם של האינטגרציה וכן התחלת תהליך האינטגרציה בשלבים מוקדמים של הפרויקט.
- האינטגרציה איננה רק תהליך השילוב בין תת המערכות, אלא גם תהליך האינטגרציה בין הדיסציפלינות ובין הארגונים השותפים לפרויקט. זהו תהליך שמתחיל בתחילת הפרויקט (ואפילו בשלב גיבוש הפרויקט) ומתרחש לכל אורכו.
- לא גילינו עדיין את נוסחת הקסם של האינטגרציה. לדעתנו, נכון להשקיע בגיבוש, בניסוח ובתיקוף תורת האינטגרציה.

המשוב על יום העיון היה חיובי ועודד להקדיש את ימי העיון האלו לתחומים אתגריים בהנדסת מערכות.

סיכום הכנס הישראלי השני לארכיטקטורות תוכנה



ככל שהמורכבות של מערכות ומערכות עתירות תוכנה גדלה, ארכיטקטורת תוכנה הופכת להיות אבן פינה חשובה למחזור החיים השלם של המערכת. בשני העשורים האחרונים ארכיטקטורת התוכנה ביססה את עצמה כמשמעותית בתחום ההנדסה. הכנס הישראלי השני בארכיטקטורת תוכנה הביא חוקרים ואנשי מקצוע כאחד להחליף תובנות, רעיונות ושיטות עבודה. המשתתפים למדו ממקרי בוחן, גישות מעשיות, וכמו גם קיבלו תובנות מפעילויות מחקר שנעשו בתחום.

הכנס הישראלי לארכיטקטורת תוכנה התקיים זה השנה השנייה בין התאריכים 30.11-1.12.2015 במלון דניאל, הרצליה, ובו לקחו חלק למעלה מ-200 ארכיטקטי תוכנה ומהנדסי תוכנה מ-64 חברות שונות

הכנס כלל שלושה מושבים וכן הרצאת אורח:

יו"ר המושב הראשון היה ד"ר עדי לוי, Technical director-Platform architect, Align Technology, מושב עסק בנושא Microservices and Service-Oriented Architecture. SOA הוא סגנון ארכיטקטוני בהנדסת תוכנה להרכבת יישומים ותהליכים עסקיים באמצעות צימוד רפוי שלשירותי תוכנה. בארכיטקטורת SOA השירותים הם למעשה אבני הבניין של יישומים

יו"ר המושב השני היה חיים מקבי, Predictive Analytics Expert, מחברת Pontis, המושב עסק בנושא Event-Driven Architecture: EDA הוא סגנון ארכיטקטוני המגדיר ארכיטקטורת תוכנה שהיחידות הבסיסיות שלה הן אירועים. השימוש בארכיטקטורה זו הוא במקרים רבים בשילוב עם (SOA).

יו"ר המושב השלישי היה תומר פרץ, Chief software architect, מחברת Orbotech, המושב עסק בנושא Architecting for scalability - גישות ופתרונות ארכיטקטורה המאפשרים הרחבה וגידול עתידי של המשתמשים, המידע והיכולות של המערכת.

בכנס אירחנו את **Rebecca Wirfs-Brock** - מארה"ב אשר העשירה אותנו בהרצאה מרתק בנושא:

Why We Need Architects (and Architecture) on Agile Projects .

הכנס נחתם בהרצאה של **דרור א. מרפאל** שעסקה בנושא Managing a Computer Framework. הכנס צולם ותועד, וסרטוני ההרצאות יועלו ליו-טיוב. את מצגות הכנס ופרטים נוספים ניתן למצוא באתר [אילטם](#).

למחרת הכנס קיימנו סדנא בנושא:

SW Architecture and Quality Attributes in Agile Development Processes:

In a sprint to deliver features, agile teams sometime overlook software qualities or “non-functional” requirements such as security, scalability, performance or reliability. This hands-on workshop introduced practical techniques and practices that support the incremental definition and delivery of an architecture that supports these qualities along with system functionality. Participants learned techniques for identifying architecture and quality concerns and weaving architecture-related activities into them project and options for making quality objectives visible and tangible.

את הסדנא העבירה המרצה האורחת של הכנס **Rebecca Wirfs-Brock**, מומחית בנושא Agile, אשר שילבה במהלך הסדנא תרגולים בשיתוף הקהל לטובת הפרייה הדדית בנושא חשוב זה.

בהזדמנות זו אני רוצה להודות לחברי הועדה המארגנת: תומר פרץ, חיים מקבי, ד"ר עדי לויין ופרופ' עמיר תומר, על הרמת כנס ברמה בינלאומית הן ברמת התכנים והן ברמת המרצים. ולהודות לכל המרצים על כנס פורה, מעשיר ומהנה.

נשמח לראותכם בכנס ארכיטקטורה השלישי שיתקיים בסוף שנת 2016!

סיכום: **עידן פלג**, אילטם
מרכז כנס ארכיטקטורה 2015





הטכניון מכון טכנולוגי לישראל
מרכז גורדון להנדסת מערכות



INVITATION & PROGRAM FOR 20.1.2016

INTEGRATING SOFTWARE ENGINEERING WITH SYSTEMS ENGINEERING

יתקיים במוסד נאמן - בניין פורשהיימר, אולם בטלר, טכניון חיפה

ORGANIZED BY THE GORDON CENTER FOR SYSTEMS ENGINEERING WITH THE
SUPPORT OF IAI, RAFAEL, INCOSE_IL & ILTAM IN CONJUNCTION WITH YOSSEI LEVINE
DAY FOR SYSTEMS ENGINEERING

08:30 – 09:00	Gathering
09:00 – 09:30	Opening: • Prof. Aviv Rosen-the head of the Gordon Center - Technion • A Representative of IAI Management • A Representative of RAFAEL Management • Yossi Levine Family • Excellent Systems Engineers Awards
09:30 – 10:30	Prof. Jan Bosch, Chalmers University of Technology, Sweden – From Opinions to Facts: Building Products Customers Actually Use
10:30 – 11:00	Tomer Peretz, Orbotech – The Glue and the Connector: Different Approaches to Integrate Software and Systems Engineering
11:00 – 11:30	Coffee Break
11:30 – 12:00	Michal Yohay, Elbit Systems – Systems & Software Engineering in Developing Civil Avionic Systems
12:00 – 12:30	Prof. Orit Hazzan, Technion – What Do You Think on Systems Engineering of Software Intensive Systems- Analysis of a survey in Israel
12:30 – 13:00	A Panel of Short Presentations
13:00 – 14:00	Lunch Break
14:00 – 15:00	Dr. Sarah Sheard, CMU Software Engineering Insitute, USA – Systems and Software Safety: Opportunity and Challenge
15:00 – 15:30	Rachel R., RAFAEL – Integrating Cyber Aspects into Projects – New Challenges for Integrating Software & Systems Engineering
15:30 – 16:00	Tomer Artzi, Kornit Digital – Incorporating Software System Engineer Role as a Bridge among the Engineering Disciplines
16:00 – 16:15	CONCLUSIONS: Prof. Aviv Rosen, Dr. Avigdor Zonnenshain, Technion, Gordon Center

אילטם - איגוד משתמשים לפיתוח מתקדם של מערכות מורכבות ומערכים (ע"ר)



הזמנה לסדנא בנושא:

תכן תפקודי (פונקציונאלי) למערכות מורכבות

Complex system functional design

תאריך: 4 ימי סמינר בימי שלישי, בתאריכים 1/8/15/22 למרץ 2016

מיקום: מלון דניאל, הרצליה

מרצה: דר' דרורה גושן-מסקין - מהנדסת מערכות בתע"א לשעבר

והיום, מרצה בכירה לתואר שני בהנדסת מערכות במכון הטכנולוגי חולון

מטרה:

מטרת הסדנא הינה לחשוף מהנדסי מערכת ומהנדסים מנוסים מדיסציפלינות שונות לשיטה (מתודולוגיה) סדורה לניתוח תפקודי של מערכות מורכבות. המתודולוגיה מתבססת על פיתוח מודל תפקודי/התנהגותי של המערכת המהווה חלק עיקרי של התכן ההנדסי. בניית המודל התפקודי מתחילה בתהליך הפשטה (abstraction) המתבטא ב - FAST שממנו נובעות הבעיות הבסיסיות שעבורן מוגדרות חלופות של פתרונות טכנולוגיים (בעזרת טבלא מורפולוגית). מתוך המודל התפקודי ניתן לגזור את הדרישות התפקודיות של המערכת המהוות חלק עיקרי של האופיון הטכני (מסמך ה - SSS).

הסדנא תכלול התנסות מעשית שבה המשתתפים יפתחו מודל תפקודי הכולל עץ תפקודים, פריטי זרימה, מצבים ותרשימים במסגרת תרגיל מתגלגל. בתרגיל האחרון המשתתפים יגזרו וינסחו דרישות תפקודיות מתוך המודל התפקודי שפותח. בסיום הסדנא תבוצע הדגמה קצרה של כלי לבנייה ולבדיקת המודל התפקודי.

הסדנא מיועדת למהנדסים מכל המגזרים (אזרחי וצבאי) ומורכבת מ - 4 מפגשים בני יום אחד לפי החלוקה הבאה:

1. **ניתוח תפקודי (פונקציונאלי) ראשוני** - חשיבות הדרישות התפקודיות בתהליך פתוח מערכתי, הגדרת משימה, מאפיינים טכניים וביצוע הפשטה (Abstraction).
2. **בחירת חלופה והגדרת תפיסת הפעלה** - יצירת חלופות ובחירת ארכיטקטורה, הגדרת תפיסת ההפעלה תוך הגדרת "המערכת בסביבתה" ובניית תרחישים.
3. **בניית מודל תפקודי (פונקציונאלי)** - עץ תפקודים, מצבי מערכת, מאורעות, מעברים ופריטי זרימה.
4. **תיקוף המודל וגזירת הדרישות התפקודיות** - ביצוע הדמיות (סימולציות) לתיקוף המודל התפקודי, עקרונות ניהול דרישות וגזירת דרישות תפקודיות.

בכל מפגש 4 מושבים של כשעה וחצי. **הסדנא תלווה בתרגיל מתגלגל ובדיונים פתוחים. כשליש מזמן הקורס יוקדש לתרגול החומר הנלמד כך שימחיש למשתתפים את ישימותו. התרגיל יתבצע בצוותים.**

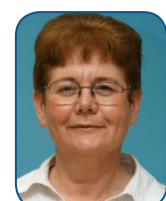
רקע: דרישות תפקודיות מהוות חלק חשוב ביותר מכלל דרישות המערכת. הן מהוות בסיס לבחירת חלופות לארכיטקטורה המערכתית ומשמשות להוכחת עמידת המערכת בצרכי הלקוח. הדרישות התפקודיות נובעות מהצרכים הבסיסיים ביותר של הלקוח ובעלי העניין ומתפתחות במהלך התכן המערכתי הכולל בנייה של מודל תפקודי/התנהגותי. תהליך בניית המודל מתחיל בהגדרת המשימה הראשית של המערכת ההופכת לשורש העץ התפקודי. בניית ענפים ועלים בעץ התפקודים מבוצעת תוך הגדרת התפיסה התפעולית, התרחישים, מצבי המערכת ואופני הפעולה שלה. כל ענף או עלה מגדיר תפקוד הכולל קלטים ופלטים רלבנטיים לתפקוד.

העץ התפקודי, התרחישים ומצבי המערכת יוצרים את המודל התפקודי של המערכת המתוכננת. בעזרת המודל הזה ניתן לייצג את ההתנהגות המערכתית ע"י ביצוע הדמיות (סימולציות) של התרחישים המכילים את התפקודים הנמצאים בעץ התפקודים. המודל התפקודי מתואר בעזרת הדרישות התפקודיות. התרחישים משמשים לתיקוף המערכת. **פרטים נוספים באתר אילטם**

על המרצה: דר' דרורה גושן-מסקין

דר' דרורה גושן-מסקין היא מנחה, יועצת ומרצה בתכן הנדסי ובשיטות של הנדסת מערכת. דרורה קיבלה את התואר הראשון והשני בהנדסת אלקטרוניקה ואת התואר השלישי בהנדסה אווירונאוטית מהטכניון בחיפה. היא עבדה בתע"א כמהנדסת מערכות וכמנהלת של פרויקטים מערכתיים, וכן עסקה בפיתוח מערכות מסוגים שונים.

לאחר הפרישה (המוקדמת) דרורה פתחה בקריירה שנייה במכון הטכנולוגי בחולון: כמרצה בכירה לתואר שני בהתמחות בהנדסת מערכות שבפקולטה לניהול טכנולוגיות.



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!

כחלק מ- INCOSE_IL ופייה לומר אפילו ואפילו!

הנני מבקש להצטרף לאיגוד הישראלי להנדסת מערכות

טופס הצטרפות ל INCOSE_IL - 2016

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 2016 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 ואמינות 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 מערכתי	
סימולציות מערכתיות	
אבטחת איכות מערכת	
System Of Systems	
תכן לבטיחות במערכות	

שילוב דיסציפלינות	
הנדסת מערכות ותוכנה	
הנדסת מערכות וניהול	
פרוייקטים	
הנדסת מערכות וחומרה	

קול המערכות

כתב העת של מהנדסי המערכות בישראל

גליון מס' 17 | ינואר 2016

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: 03-5118112 פקס: 03-5100622
מייל: iltam@iltam.org אתר: www.iltam.org

מרכז גורדון להנדסת מערכות
הטכניון – מכון טכנולוגי לישראל
קרית הטכניון, חיפה 32000
www.gordon-se.technion.ac.il

קול המערכות

כתב העת של מהנדסי המערכות בישראל

קול העורך
עמיר תומר

קול נשיא INCOSE_IL
יגאל אסקין

קול מנכ"ל אילטם
משה סלם

"גוף עם לב גמיש ומשתנה": נקודת מבטם של מהנדסים/ות ומנהלי/ות פרויקטי מערכת בישראל על פרויקט מערכת עתירת תוכנה אורית חזן

היבטים של שילוב תוכנה במערכות
עמיר תומר

אוטומציה של תהליך פיתוח מבוסס-מודלים בחוג סגור [תקציר]
פליקס מרטין ויורגן מוטוק

קידום תאוריית האופציות הארכיטקטוניות: ששה מקרי בוחן תעשייתיים [תקציר]
אבנר אנגל ויורם רייך

סיכום הכנס הבינלאומי של INCOSE, סיאטל, יולי 2015
אביגדור זוננשיין

אינטגרציה וממשקים - סיכום יום עיון ע"ש ד"ר זאב בונן במרכז גורדון
אביגדור זוננשיין

סיכום הכנס הישראלי השני לארכיטקטורות תוכנה
עידן פלג

תוכנית יום העיון "שילוב הנדסת תוכנה עם הנדסת מערכות" במרכז גורדון

סדנא לתכנן פונקציונאלי של מערכות מורכבות - מרץ 2016

טופס הצטרפות ל- INCOSE_IL

