


קול המערכות

כתב העת של מהנדסי המערכות בישראל

גיליון מספר 25 | ינואר 2020

- **האתגר של אינטגרציה טכנו-חברתית (עמ' 1)**
סרגיי טוזיק
- **היסקים אנלוגיים בהנדסת מערכת (עמ' 9)**
גדי קרביץ
- **מדידת מורכבות תכן ובחירת קונספט הנדסי מהיבטי מורכבות (עמ' 14)**
אלון בן משה
- **הזדמנויות ואתגרים של הנדסת מערכות חברתיות-טכניות [תקציר] (עמ' 23)**
ג'ון גיל ואביגדור זוננשיין

הגיליון המקוון באתר: www.incoseil.org 

קול המערכות

כתב העת של מהנדסי המערכות בישראל

גיליון מספר 25 | ינואר 2020

Incoseil - האיגוד הישראלי להנדסת מערכות

כתובת: המרד 29 בית התעשיינים תל-אביב 6812511

טלפון: 03-6889220 • פקס: 03-6889216

מייל: office@incoseil.org • אתר: www.incoseil.org

עקבו אחרינו ב- -ב

מרכז גורדון להנדסת מערכות
הטכניון - מכון טכנולוגי לישראל

קריית הטכניון, חיפה 32000

www.gordon-se.technion.ac.il

תוכן העניינים

קול המערכות | גיליון מספר 25 | ינואר 2020

IV	קול העורך
V	קול נשיא האיגוד הישראלי להנדסת מערכות - INCOSE_IL
VI	קול מנכ"ל אילטם היוצא
1	האתגר של אינטגרציה טכנו-חברתית סרגיי טוזיק
9	היסקים אנלוגיים בהנדסת מערכת גדי קרביץ
14	מדידת מורכבות תכן ובחירת קונספט הנדסי מהיבטי מורכבות אלון בן משה
23	ההזדמנויות ואתגרים של הנדסת מערכות חברתיות-טכניות [תקציר] ג'ון גיל ואביגדור זוננשיין
24	סיכום כנס HSI 2019 שהתקיים בביאריץ, צרפת, ספטמבר 2019
28	כנס INCOSE IS 2019 – רשמים ותובנות הנדסת מערכות משולבות אנשים
35	סיכום יום עיון הנדסת מערכות על שם ד"ר זאב בונן, 18.6.2019
40	הנדסת מערכות במהפיכה התעשייתית הרביעית
42	INCOSE_IL: הנפשות הפועלות
46	תוכנית יום העיון להנדסת מערכות במרכז גורדון, 14/1/2020
47	טופס הצטרפות ל- INCOSE_IL

חלקו האנגלי של הגליון נמצא מצידו השני.



The English section is on the opposite side of the journal



הגיליון המקוון באתר: www.incoseil.org 

קול העורך עמיר תומר

קוראים יקרים,

אילטם, איגוד המשתמשים המהווה את המסגרת הארגונית תחתיה פועל האיגוד, מסיים את פעילותו והאיגוד הישראלי להנדסת מערכות הופך לאיגוד עצמאי, פעיל חי ובוועט. כולנו מודים למשה סלם על תרומתו שלא תסולא בפז לפעילות האיגוד ב-20 השנים האחרונות, כפי שבאה לביטוי בדברי הפרידה שלו מעל דפים אלה. כפי שאתם רואים, "קול המערכות" לא רק שממשיך להופיע במתכונתו המקובלת, אלא שאנו מתכוונים להרחיבו מעיתון היוצא פעמיים בשנה לסוג של "בלוג" אינטרנטי, בו תוכלו לקחת חלק פעיל כקוראים וככותבים. פרטים – במסגרת בהמשך. קול נשיא האיגוד – ד"ר רם אורון – מסביר את השינויים שחלו באיגוד, ובהמשך הגליון תמצאו את תמונותיהם וחזונם של האנשים שהתגייסו לשמר את המסגרת הפועמת של איגוד חשוב זה. גם הגליון הנוכחי גדוש בשפע של חומרים: מאמר מאת ד"ר ג'ון גיל וד"ר אביגדור זוננשיין ומאמר של סרגיי טוזיק – שניהם בנושא של מערכות טכנו-חברתיות, מאמר של אלון בן משה בנושא של מורכבות התכן ומאמר של גדי קרביץ על היסקים אנלוגיים בהנדסת מערכת. כמו כן מופיעים בו סיכומים ורשמים משלושה אירועים: כנס INCOSE העולמי, הכנס הראשון לאינטגרציית אדם-מכונה (HSI) ויום העיון הקודם שנערך במכון גורדון.



בברכת קריאה מהנה,
פרופ' עמיר תומר, CSEP
האקדמית כנרת
עורך "קול המערכות"
amir@amirtomer.com

קול המערכות – קולכם שלכם!

אתם מוזמנים לקחת חלק פעיל ושוטף בשיתוף תכנים וידע באמצעות אתר האיגוד והרשתות החברתיות הנלוות אליו. זה מאד פשוט:

נניח שקראתם מאמר מעניין בעיתון או באתר אינטרנט, ואתם חושבים שהוא עשוי לעניין חברים נוספים בקהילה. כל שעליכם לעשות הוא לכתוב אלי מייל לכתובת editor@incoseil.org ולכלול בו:

1. סיכום קצר של תוכן המאמר (10-20 שורות)
2. חוות דעת אישית קצרה (למה כדאי לכולם לקרוא אותו)
3. קישור או הפניה למאמר
4. תמונת פנים ברורה
5. שם מלא, תפקיד ושיוך ארגוני

מה שתכתבו יתפרסם באתר האיגוד וברשתות החברתיות הנלוות אליו.

מצפה להשתתפותכם,

עמיר תומר,

עורך התוכן של אתר www.incoseil.org



קול נשיא האיגוד הישראלי להנדסת מערכות – INCOSSE_IL

רם אורון

לקהילת מהנדסי המערכות שלום רב!

אנו בתחילתה של שנה חדשה, והתחלה חדשה. החל משנת 2020 האיגוד הישראלי להנדסת מערכות פועל במתכונת שונה: עד סוף 2019 פעל האיגוד כגוף טכני-מקצועי תחת המטרייה של אילטס; עתה פועל האיגוד כגוף עצמאי (עמותה) שמתבסס על תשתיות אילטס. שינוי זה בוצע בשיתוף פעולה מלא של ההנהלה והנשיאות של אילטס, ומתוך מטרה משותפת להמשיך ולהצעיד קדימה את תחום הנדסת המערכות בארץ.

ברצוני לנצל הזדמנות זו ולהודות למשה סלם, מנכ"ל אילטס, אשר תרם רבות לקידום הנדסות המערכות בארץ, לשיתוף ידע בין התעשיות ובין אקדמיה לתעשייה. למשה זכויות רבות בעשייה הברוכה בתחום לאורך שני עשורים. משה התווה את הדרך בקיום אירועים ופעילויות רבות – כנסים, מפגשים וסמינרים, והוא הרוח החיה שמאחוריהם. תרומתו האישית של משה ושיתוף הפעולה שלו עם נשיאי האיגוד להנדסת המערכות לאורך השנים, הינם גורמים משמעותיים בהגיענו לקהילת מהנדסי מערכות חזקה ומשמעותית, המאפשרת לנו להגיע לחזית הפיתוחים המערכתיים בעולם. משה, כמהנדס מערכות טוב, ידע לתמרן את אילטס בתקופות השונות בהתאם לסביבה המשתנה ולצרכים המשתנים. ברמה האישית, למדתי רבות ממשה, נהנית, ואני בטוח שאמשיך ליהנות מהקשר עמו ונמשיך בעבודה משותפת בעתיד. עם פרישתו מהתפקיד, אני מאחל למשה מכל הלב הצלחה בכל אשר יפנה.

בנוסף, אני מודה לחברי נשיאות אילטס, ובראשם חיים רייכמן, על תמיכתם הלא מסוייגת בהמשך פעילותנו כאיגוד ועל התמיכה בי כמוביל פעילות זו. נשיאות אילטס דאגה להעביר לאיגוד תשתית יציבה המאפשרת את המשך פעולתו באופן רציף, דבר אשר אינו מובן מאליו. קיבלנו גם את ברכתם של אנשי הזירה הטכנולוגית ברשות החדשנות, ועל כך נתונה להם תודתנו.

בכדי להוביל את האיגוד במתכונתו החדשה, גיבשנו קבוצה חזקה ומגוונת של אנשים אשר יחד נצעיד את האיגוד קדימה. קבוצה זו כוללת מובילים בתחום מהתעשיות הבטחוניות והאזרחיות, אנשי אקדמיה, ופעילים נוספים אשר הנדסת המערכות בוערת בעצמותיהם. ניתן ללמוד אודותם, ואודות תרומתם הצפויה וחזונם, בהמשך גיליון זה.

תכנית העבודה שלנו לשנת 2020 כוללת עשרות ימי פעילות, ביניהם מפגשי אחר צהריים, קבוצות עניין, קבוצות עבודה, סמינרים, וקורסים. נושאי התוכן יתמקדו בהנדסת מערכות ובמערכות עתירות תוכנה. ניתן לראות את התוכנית באתר החדש שלנו www.incoseil.org. כמובן, נמשיך להיות הסניף הישראלי של INCOSSE, ונשמר את קשרינו עם האקדמיה ועם האיגודים המקצועיים איתם אנו משתפים פעולה. כמו כן נמשיך בפעילויות למען הקהילה, ונתווה תוכנית אסטרטגית להמשך פעילות האיגוד בשנים הבאות.

אני קורא לכם לתמוך באיגוד הישראלי להנדסת מערכות על ידי שימור והרחבת החברות, השתתפות בפעילויות, מתן משוב אשר יאפשר לנו לשפר את פעולתנו, וייזום פעילויות נוספות.



באיחולי שנת פעילות מוצלחת,
ד"ר רם אורון
נשיא האיגוד הישראלי להנדסת מערכות
Ram.aron@orbotech.com
www.incoseil.org

שלום רב,

כידוע, איגוד אילטם מסיים את פעילותו במתכונת הנוכחית ואני אישית פורש לגמלאות בשבועות הקרובים. זה הזמן להכיר טובה ולומר לכל אחד מכם תודה על שיתוף הפעולה. ברשותכם, אני רוצה לסכם בקצרה את שני העשורים שבהן הובלתי את אילטם:

במחצית השנה של 1997 הייתי בתהליך פרישה מתפקידי כסמנכ"ל באלישרא. בספטמבר 1997, פנה אלי יצחק הרינג והציע לי לבוא ולהיות מנכ"ל של איגוד משתמשים הפועל במסגרת תוכנית מגנט של המדען הראשי. לאחר שנישאות האיגוד, מצאה אותי מתאים לתפקיד, נפגשתי עם אילן פלד, ראש תוכנית מגנט"ט אצל המדען הראשי במשרד התעשייה והמסחר, אשר הודיע לי כי, במצב הכספי הקיים של האיגוד, בנובמבר 1997, לא יהיה כסף לשלם משכורות ולבצע פעילויות. יחד עם זאת ביקש אילן שאבנה תוכנית עבודה לחודשים הקרובים על מנת לוודא שלאיגוד יש יכולת הישרדות, לפני שאני מקבל על עצמי את ניהול האיגוד.

למחרת היום, הודעתי לאילן כי אני מקבל על עצמי את הבראת האיגוד ואת תפקיד המנכ"ל. כך התחילה עבודתי באילטם וכל השאר - היסטוריה.

על כיווני ההתפתחות של אילטם יעידו שמות האיגוד לאורך השנים. התחלנו כאיגוד משתמשים לטכנולוגיות מתקדמות באלקטרוניקה, המשכנו כאיגוד משתמשים בטכנולוגיות מתקדמות לתיכון ויצור באלקטרוניקה, לאחר מכן הפכנו לאילטם – איגוד משתמשים של מערכות משולבות עתירות ידע והיום, איגוד משתמשים לפיתוח מתקדם של מערכות מורכבות ומערכים.

בינואר 2001, פנו אלי, ד"ר מיכאל וינוקור מתע"א וד"ר חיים מזרחי מרפאל על מנת לבדוק אפשרות שאילטם תיקח תחת כנפיה את האיגוד הישראלי להנדסת מערכות ופעילותו תהיה חלק מפעילות אילטם. בתמורה אילטם תעניק לאיגוד חופש פעולה בתכנים של הפעילות. לשמחתי הרבה, נשיאות אילטם אישרה את שיתוף הפעולה עם INCOSE_IL. בהמשך הזמן אילטם הסבה את פעולתה לתחום הנדסת המערכות עד שהפכה היום לפלטפורמה המקצועית של מהנדסי המערכת והמערכות עתירות התוכנה.

לכן, עם פרישתי הקרובה, לא נותר לי אלא להודות לחברי הנשיאות לדורותיהם אשר התנדבו ותרמו מזמנם ומהידע שלהם לקהילת המהנדסים, אנשי ההנדסה, מובילי החדשנות והמובילים בכניסה לנושאים חדשים בתעשייה עתירת הידע בישראל. היה לי לעונג לעבוד איתם, עם כולם, לאורך השנים.

תודה מיוחדת ליושבי-ראש הנשיאות בעשור האחרון, אבנר פז מאלביט וחיים רייכמן מתע"א, ולחברי נשיאות אילטם לדורותיהם, שהשכילו לפתח ולנווט את תחומי פעילות אילטם לתחום הנדסת המערכות, לשיתוף בידע ולסיעור מוחות משותף בין אנשי תעשייה מחברות שונות בתעשיית ההיי-טק.

בשנת 2020 עמותת אילטם משנה את שמה פעם נוספת לאיגוד הישראלי להנדסת מערכות. ד"ר רם אורון נבחר לעמוד בראש הנשיאות שנבחרה. אני מאחל לאיגוד להמשיך להתפתח ולהוות הבית הישראלי למהנדסי מערכת. עם זאת, אני לא יוצא מהתמונה לחלוטין ואמשיך לסייע ולתמוך בהתנדבות בפעילות האיגוד המתחדש ככל שאוכל.

לחברי הנשיאות החדשה ולכלל הפעילים באיגוד אני מודה על שיתוף הפעולה ומאחל: עלו והצליחו. אשמח לשמור על קשר.



בברכה,

משה סלם, מנכ"ל אילטם

Moshe@iltam.org

052-8290500

האתגר של אינטגרציה טכנו-חברתית

סרגיי טוזיק, Science of Integration

stozik@sciofint.com

מבוא

עלייתם של האינטגרטורים הטכנו-חברתיים

האחריות על קליטה מערכות טכנולוגיות והטמעתן בשימוש שוטף מוטלת ברוב המקרים על הארגונים הרוכשים. החברות הטכנולוגיות המספקות את המערכות מתמקדות בעיקר בפיתוח ובייצור של מערכות אלה ופחות מעורבות במה שקורה למערכות לאחר אספקתן ללקוח.

האתגר של מעבר מפיתוח לתפעול שוטף מתבטא אפילו בשמות שנותנים לתהליך זה בתחומי עיסוק שונים ובשפות שונות – יישום או הטמעה של מוצרי התוכנה או ציוד (Implementation), מעבר לתפעול של מערכות ושירותי מידע (Transition to Operations, Service Transition) ופריסת מערכות (Deployment) הכוללת התקנה, אינטגרציה, אימות ותיקוף, בדיקות קבלה ושלבי תפעול ראשוניים. במאמר זה אשתמש במונח "מבצוע" (Fielding) שמקורו בתחום הצבאי, מפני שלדעתי השם הזה מבטא היטב את הטוטאליות של האינטגרציה הטכנו-חברתית המסתיימת רק לאחר השגת יעדי ביצועים של הארגון (הצבאי או העסקי).

מבצוע המערכות משלב אינטגרציה טכנית עם אינטגרציה חברתית, אולם כל עוד המהנדסים והטכנאים של ספקי הטכנולוגיה יכולים לעזור עם האינטגרציה הטכנית, קשה מאוד למצוא בעלי מיומנויות שיכולים לטפל באינטגרציה החברתית. כמענה לצורך זה, התפתחו תפקידים חדשים ומגוונים של אינטגרטורים טכנו-חברתיים: קציני פרויקטים או קציני רכש (acquisition officers) בצבאות, משלבי טכנולוגיה (technology integrators) במערך החינוך, מהנדסים קליניים (clinical engineers) ומומחים למידע קליני וסיעודי (nurse informaticists) במערך הבריאות, מנהלי טכנולוגיה (technology managers), אינטגרטורים של תשתיות IT ומנהלי מערכות מידע – כולם עוסקים באינטגרציה טכנו-חברתית כחלק מתפקידם.

הפניה למדעי הניהול, הארגון והחברה

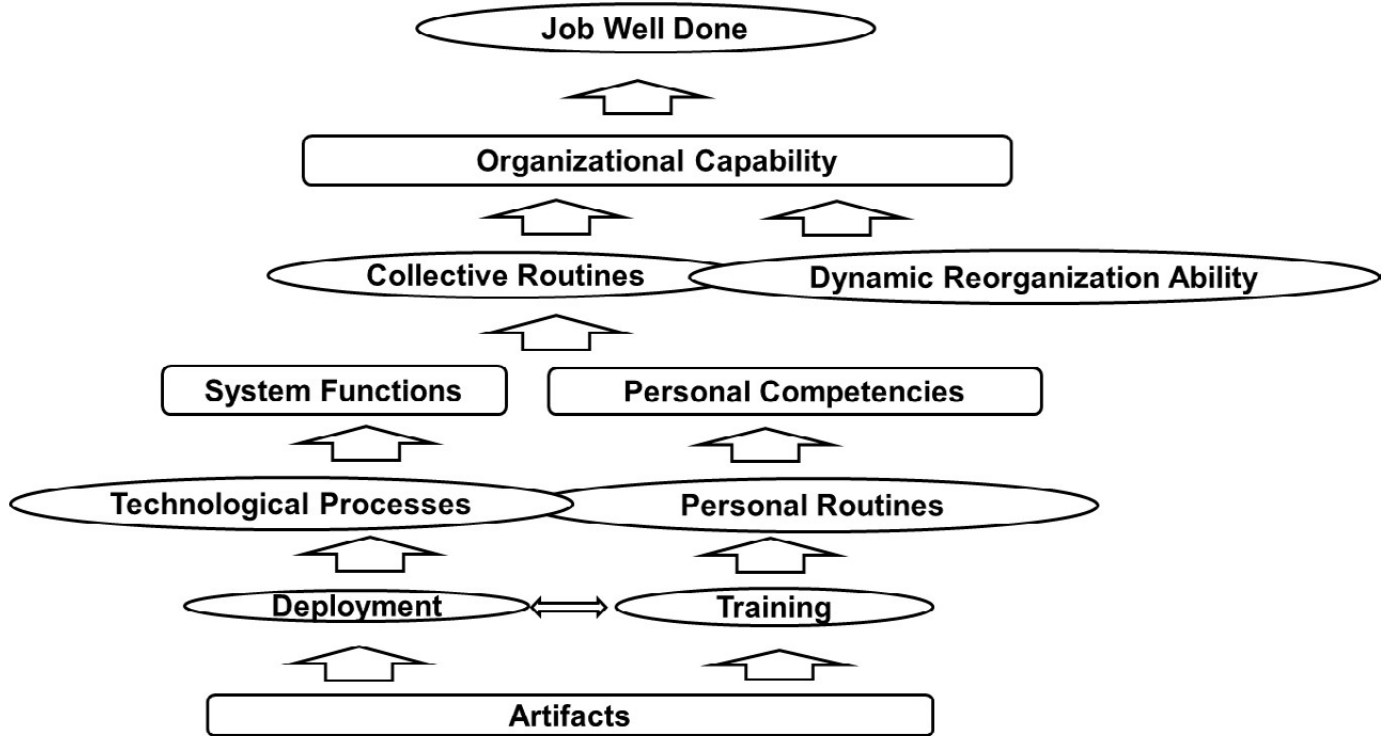
בסיסי הידע של הנדסת מערכות וניהול פרויקטים לא מספקים כלים אפקטיביים לאינטגרציה טכנו-חברתית, ולכן עלינו לחפש את הכלים הרלוונטיים במדעי הניהול, הארגון והחברה.

מתוך מגוון הגישות והתאוריות של מדעי החברה בחרתי שתי אסכולות, שיחד עם הנדסת המערכות מתאימות להיות בסיס מדעי לפרקטיקה עבור אינטגרציה טכנו-חברתית:

תיאוריית שחקן-רשת (Actor-Network Theory) [2]	תיאוריית שגרות ארגוניות (Organizational Routine Theory) [1]
---	--

תיאוריית שגרות ארגוניות (Organizational Routine Theory)

איור 1 מתאר את האינטגרציה הטכנו-חברתית דרך העדשה של שגרות ארגוניות (routines). תוצרים (artifacts) של פיתוח טכנולוגי (ציוד, מסמכים, מידע ואחרים) בדרך כלל מוטמעים בתוך הארגון במסלול הטכנולוגי דרך פריסה והתקנה (deployment) או במסלול האנושי דרך הכשרה (training).



איור 1. הבניית שגרות ויכולות ארגוניות

הפעלת התהליכים במערכות טכנולוגיות (technological processes) מובילה לביטוי ולהטמעה של הפונקציות המערכתיות (system functions), בעוד יישום הידע הנרכש בהכשרה דרך שגרות פרטיות (personal routines) מבסס את הכשירויות האישיות (personal competencies) של אנשי הארגון הרלוונטיים.

אינטגרציה של התהליכים הטכנולוגיים והשגרות הפרטיות לכדי שגרות ארגוניות (collective routines), תוך התאמות מקומיות ואלתורים (dynamic reorganization), מבסס את היכולות הארגוניות (organizational capabilities) המאפשרות ביצוע הולם של משימות הארגון (job well done).

תיאוריית שחקן-רשת (Actor-Network Theory)

החוכמה של הנמלה

תיאוריית שחקן-רשת (ANT) התפתחה החל משנות ה-80 של המאה הקודמת כשיטת מחקר בתחום לימודי המדע והטכנולוגיה (Science and Technology Studies). חוקרי ANT מנצלים את משחק המילים (ANT = נמלה) כדי להסביר את הייחודיות של הגישה שלהם, המתאפיינת במיקוד בפרטים הקטנים והמקומיים של התהליכים החברתיים, כדי להסביר את התהליכים והתופעות החברתיות. בניגוד לציפורים העפות בשלושה ממדים ומסוגלות לראות

את "התמונה הגדולה", נמלים מתמקדות בסביבתן הקרובה ורואות את העולם בשני ממדים בלבד. לפי ANT, העולם החברתי לא מונע ע"י הכוחות החברתיים (social forces) כגון תרבות, כוח ושליטה, שוק, טבע, טכנולוגיה או תאגידיים, אלא כל תופעה חברתית, טכנולוגית או טבעית מתהווה מתוך מארג פעולות הדדיות ומקור מיות (local inter-actions) בין אנשים וחפצים פיזיים.

רשת חברתית - לא מה שחשבתם

אומנם מונח הרשת ב-ANT מייצג קשרים חברתיים בין השחקנים, אך המשמעות ב-ANT שונה בתכלית ממשמעותו של מושג הרשת החברתית המקובל היום. הרשת ב-ANT מייצגת את האנשים והחפצים הפיזיים המקושרים ע"י הפעולות ההדדיות ביניהם. הקשרים בין האנשים והחפצים אינם קבועים והם מתחברים ומתנתקים ללא הרף.

השחקנים (actors)

בכל פעולה הדדית, האדם או החפץ משחקים תפקיד מסוים, ובכך נהוג להתייחס אליהם כאל שחקנים (actors). השחקן ב-ANT זה לא רק החפץ או האדם עצמו, אלא גם התפקיד שהוא ממלא בתקופת זמן מסוימת, דרך הפעולות ההדדיות שהוא מקיים.

לפי ANT, אין הבדל מהותי בין אנשים (human actors), חפצים (non-human actors) ושילובים ביניהם (hybrid actors), וההבדל נקבע ע"י עושר הפעולות ההדדיות שהשחקנים יכולים לקיים עם שחקנים אחרים. לרוב, החפצים יכולים לשחק מספר מוגבל של תפקידים, להבדיל מאנשים שיכולים לשחק תפקידים רבים במספר רשתות בו-זמנית.

מתווכים ומתווכים שקופים

הקשרים בין השחקנים מתבססים על פעולות הדדיות מקומיות ולכן הקשרים תמיד מקומיים. כל השפעה מרחוק (לדוגמה, שיחת טלפון) מתרחשת דרך שרשרת של שחקנים ופעולות הדדיות ביניהם. השחקנים בשרשרת פועלים כמתווכים (mediators) בין השחקנים המרוחקים (טלפון, גלי רדיו, תחנות בסיס של רשת סלולרית, רשת תקשורת קרקעית וכו'). כשפעולתם של המתווכים צפויה מראש, השחקנים המרוחקים יכולים להתעלם מקיומם ולהתייחס אליהם כאל מתווכים שקופים (intermediaries). מתווך שקוף יכול בן-רגע לאבד את שקיפותו, להפוך למתווך מלא ולהזכיר את קיומו, כמו במקרה שכיח של קליטה סלולרית חלשה שהופכת קיום ומיקום תחנות בסיס משקופים לחלוטין לבעלי חשיבות רבה לאנשים שמנהלים את השיחה.

קבוצות (collectives) ומערכות (systems)

הפעולות ההדדיות בין האנשים והחפצים מטביעות חותם (imprinting) על המשתתפים, ובכך מקלות יזום פעולות דומות בעתיד. קבוצות (collectives) נוצרות כשהפעולות ההדדיות בין האנשים והחפצים חוזרות על עצמן באופן תדיר מספיק כדי שניתן יהיה לייחס לאנשים ולחפצים תפקידים מוגדרים בקבוצה ולזהות את הקבוצה כבעלת קיום מתמשך ולא כמשהו חולף, כלומר לזהות את הקבוצה כמערכת.

קיום מתמשך של הקבוצה או המערכת מחייב חזרה על הפעולות ההדדיות המאפיינות את תפקידיהם של שחקני הקבוצה – השחקנים חייבים "להופיע בהצגה" (perform the connections) כדי לבסס שוב ושוב את הקשרים ביניהם ולמנוע את התפוררות הקבוצה.

קבוצות, מערכות ותהליכים חברתיים חדשים עוברים תהליך התייצבות, שבמהלכו נוצר תיאום בין הפעולות ההדדיות של שחקנים, נוצרות תבניות ושגרות (patterns, routines) של פעולות שחוזרות על עצמן ומחזקות את הקשרים בין השחקנים. בשלב מסוים מתחילים התייחס לקבוצה כאל שחקן בזכות עצמו תוך התעלמות מהפעולות בין השחקנים של הקבוצה. הקבוצה הופכת ל"קופסה שחורה" המיוצגת ע"י שחקן אחד או מספר שחקנים, המקיימים בשם הקבוצה את הפעולות ההדדיות עם השחקנים מחוצה לה.

כך לדוגמה, מערכת טכנולוגית (קבוצה של חפצים פיזיים הפועלת כשחקן אחד) מיוצגת כלפי חוץ ע"י הממשקים החיצוניים שלה (ממשק אדם-מכונה HMI, ממשק טכנולוגי API וכד'). התאגידים מיוצגים כלפי חוץ ע"י המנכ"ל או האנשים שנמצאים בקשר ישיר עם הלקוחות. שאר שחקני הקבוצה הופכים להיות בלתי נראים עבור השחקנים מחוץ לקבוצה.

מורכבות יוצרת יציבות

תהליך התייצבות קבוצות לא מסתיים אף פעם. רמת לכידות הקבוצה משתנה בין גיבוש כמעט מלא ועד להתפרקות מלאה של הקבוצה לשחקנים עצמאיים. לכידות הקבוצה תלויה מאוד במספר ומגוון הפעולות הדדיות בין השחקנים, ולכן כדי ליצור מערכת יציבה נדרש ליצור קשרים רבים וגמישים ככל הניתן בין השחקנים.

לתובנה הזו חשיבות רבה עבור האינטגרציה הטכנו-חברתית. הצורך בקשרים רבים ומגוונים יוצר את הצורך בהוספה מתמדת של שחקנים חדשים הנדרשים כדי לייצב את הקבוצה. הצורך ב"שחקני חיזוק" האלה מתגלה לעיתים קרובות רק בשלבי האינטגרציה הטכנית של האמצעים הטכנולוגיים או בשלבי של אינטגרציה חברתית של האמצעים אל תוך התהליכים החברתיים. התייצבות המערכת מתעכבת אם האינטגרטורים הטכנו-חברתיים מתקשים לאתר ולגייס שחקני חיזוק רלוונטיים. זאת אחת מהסיבות להתארכות תהליכי אינטגרציה והטמעה הרבה מעבר לתכנון. תהליך אינטגרציה טכנו-חברתית תמיד כולל איתור וגיוס שחקני חיזוק. נדרש להשקיע זמן ומשאבים לחיזוק הקשרים שתורמים ליציבות המערכת ודיכוי הקשרים שפוגעים ביציבות.

הפוליטיקה של ANT - אינטגרציה טכנו-חברתית

הפוליטיקה מיישמת את מדעי החברה, באותה מידה שההנדסה מיישמת את מדעי הטבע. מכיוון שמבחינת ANT אין הבדל מהותי בין שחקנים אנושיים, לא-אנושיים או משולבים, כך גם אין הבדל מהותי בין ההנדסה לפוליטיקה. חוקרי ANT קוראים ליישום הפוליטי של התובנות שלהם "הנדסה משולבת" (Heterogeneous Engineering). במילים אחרות, האינטגרציה הטכנו-חברתית היא הפוליטיקה של ANT.

עפ"י ANT, האינטגרציה הטכנו-חברתית כתהליך הרכבה וייצוב הקבוצות משלבת את הפעולות הבאות:

- 1. הגדרת ייעוד הקבוצה (Problematization)** – שחקן מסוים מגדיר את ייעוד הקבוצה (המערכת העתידית), ממנה את עצמו לשחקן ראשי ומתעל את כל הפעולות דרכו כך שהוא הופך לנקודת מעבר הכרחית (- OPP Obligatory Passage Point).
- 2. יצירת עניין (Interestment)** – השחקן הראשי יוזם פעולות הדדיות עם שחקנים אחרים (בהתחלה ישירות ולאחר מכן דרך מתווכים שכבר גויסו למערכת), במטרה לתעל את פעולותיהם של השחקנים למטרות הקבוצה המתגבשת, כך שהפעולות ההדדיות שמחזקות את הקבוצה יתרבו והפעולות המחלישות את הקבוצה יתמעטו.
- 3. חלוקת תפקידים (Enrollment)** – ככל שהפעולות ההדדיות של שחקנים מכוונות יותר למטרות הקבוצה

המתגבשת והופכות לשגרתיות, נוצרים התפקידים (roles) שהשחקנים האלה נוטלים בקבוצה. השייכות לקבוצה ואופן מילוי התפקיד מוטבעת (imprinted) בהתנהגות השחקן.

4. **גיוס (Mobilization)** – בשלב הזה הקשר בין חברי הקבוצה הופך להיות חזק יותר מהקשרים שלהם עם השחקנים מחוץ לקבוצה. כשהקבוצה מתחילה לפעול כשחקן אחד (black-boxing), השחקנים מזדהים ומזוהים עם הקבוצה (הופכים להיות חלקים במערכת) ונוצרים "תפקידי הדוברות" – השחקן או השחקנים שמנהלים קשרים עם השחקנים מחוץ לקבוצה, בשם הקבוצה.

אינטגרציה טכנו-חברתית בשיטת ANT (ANTegration)

מרוץ השליחים של אינטגרציה טכנו-חברתית

ברוב המקרים, פיתוח אמצעים טכנולוגיים נעשה בתהליך פרויקטלי. הפרויקט מתפקד כרשת מגובשת של שחקנים שבמרכזה עומד מנהל הפרויקט (או אדם אחר שמתפקד כמנהל הפרויקט). מנהל הפרויקט ממוקם בנקודת מעבר הכרחית (Obligatory Passage Point), מזוהה עם פרויקט, מדבר בשם הפרויקט ומייצג את הפרויקט כלפי השחקנים החיצוניים. ביטול תפקידו של מנהל הפרויקט ברוב המקרים גורם לעצירתה של כל הפעילות הפרויקטלית.

המצב משתנה כשהאמצעים הטכנולוגיים עוזבים את המעבדות של היצרן או המפתח ועוברים לסביבה התפעולית או המבצעית של הלקוח. האמצעים נכנסים לרשת קיימת של שחקנים, קשרים ופעולות הדדיות ולכן כל מבצע כרוך בשינוי חברתי. קידום השינוי מחייב תיעול תהליכי השינוי דרך נקודת מעבר הכרחית (OPP) חדשה, דרך מוביל השינוי.

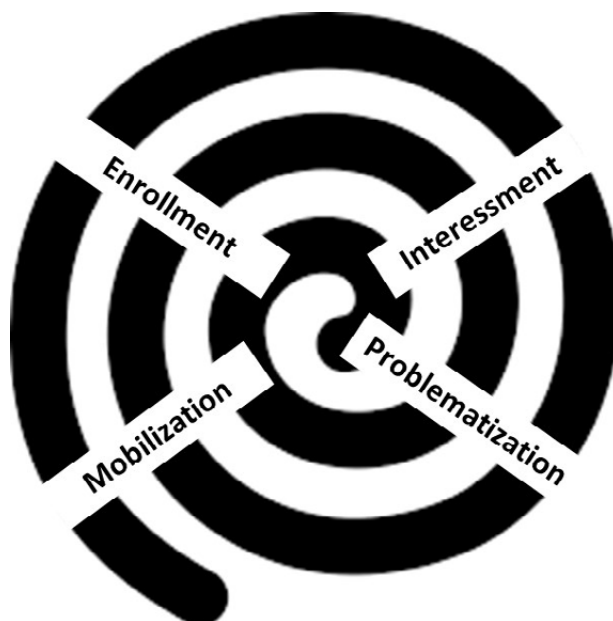
המנהלים התפעוליים נחשבים כבעלי תפקידים מרכזיים בכל ארגון, ולכן זה טבעי לצפות שהם גם ייקחו על עצמם את התפקיד של מובילי השינוי, כלומר של אינטגרטורים טכנו-חברתיים. בפועל, ברוב הארגונים האחריות על הובלת השינוי מוטלת על "אינטגרטור מתווך" – קצין פרויקט בצה"ל, מהנדס קליני במוסד רפואי או מנהל IT בתאגיד עסקי. כמו במרוץ שליחים, האינטגרטור מקבל את ההובלה ממנהל הפרויקט הפיתוח, מקדם את השינוי במשך תקופה מסוימת ואז מעביר את ההובלה למנהל התפעול הרלוונטי (איור 2).



איור 2. מרוץ השליחים של האינטגרציה הטכנו-חברתית

בתחילת תהליך המבצע, האינטגרטור מתפקד כנקודת המעבר ההכרחית של הקבוצה המתגבשת וללא דחיפתו התהליך לא יתקדם. בשלב הזה רשת השחקנים מצומצמת מאוד וכוללת את האינטגרטור עצמו, את האמצעים הטכנולוגיים המוטמעים, כמה מסמכי תיאור ותיעוד ואת אנשי פרויקט הפיתוח שעדיין תומכים בהטמעה.

כדי להצליח בתפקידו, על אינטגרטור הטכנו-חברתי ליישם את עקרונות ההנדסה המשולבת, לגבש את הקבוצה סביב האמצעים הטכנולוגיים החדשים, תוך יישום משולב והדרגתי של ארבע הפעולות של ANT – problematization, mobilization, enrollment, interestment (איור 3).



איור 3. ארבעת הכללים של האינטגרציה הטכנו-חברתית

הגדרת ייעוד הקבוצה (Problematization) - השיווק של הפתרון

על האינטגרטור להבין ולהפנים היטב את התועלות של הטמעת הטכנולוגיה ואת התוצאות השליליות של אי-קליטת הטכנולוגיה. עליו להיות מסוגל להציג את התועלות האלו בכל הזדמנות ולכל שחקן אפשרי, ללא סייגים וללא ספקות.

יצירת עניין (Interessment) - יצירת קואליציית השינוי

האינטגרטור חייב ליצור עניין אצל השחקנים הקיימים בהצלחת המבצע – להפוך את השחקנים האלה לבעלי עניין (stakeholders). עליו לזהות את השחקנים המשפיעים (influencers), את הקשרים והפעולות ההדדיות היוצרות את המארג החברתי טרם הטמעת הטכנולוגיה החדשה.

חלק מהשחקנים המשפיעים אינם בני אדם אלא חפצים, כגון תשתיות פיזיות, תשתיות חשמל ותקשוב או מערכות טכנולוגיות אחרות שהאמצעים המוטמעים חייבים לשתף איתן פעולה, תוך התאמה הדדית. כדי להצליח ביצירת "הקואליציה של החפצים" דרך האינטגרציה הטכנית, נדרש לגייס תמיכתם של המהנדסים והטכנאים לביצוע התקנות, ניסויים, שינויים והתאמות. ברוב המקרים, האינטגרציה הטכנית היא פשוטה יותר מהאינטגרציה החברתית, וניתן להבטיח את הצלחתה בשיטות וטכניקות של הנדסת מערכות כגון הקפדה של ניהול ממשקים, ניתוח פונקציונלי ובניית ארכיטקטורה נכונה.

לעומת זאת, זיהוי שחקנים אנושיים מרכזיים לא מסתכמת בהבנת העץ הארגוני, אלא דורשת מיפוי של הקשרים והפעולות ההדדיות העוטפות את השחקנים ומגדירים את מקומם בקבוצה. לא תמיד האדם הנושא תואר של מנהל הוא באמת המשפיע ביותר, ובמקרים רבים יש כמה שחקנים משפיעים שיש לגייס אותם.

לאחר זיהוי המשפיעים, על האינטגרטור להבין איך השינוי העתידי יועיל אישית לכל המשפיע ולנסח "מסר שיווקי" שיכול לעניין את המשפיעים בהצלחת השינוי. המסר השיווקי צריך להתייחס לא רק לתועלת הסופית שהשינוי מביא אלא גם למחיר שתהליך השינוי עצמו גובה מהשחקנים. השינוי לא אמור להכביד יותר מדי על השחקנים המשפיעים ולא לאיים על מקומם בקבוצה, להבדיל מהשחקנים הפחות משפיעים שייתכן וייפגעו על ידי השינוי, באופן זמני או באופן קבוע.

חלוקת תפקידים (Enrollment) – אירועי אינטגרציה

על האינטגרטור לארגן את האירועים המחזקים את הקשרים והפעולות הדדיות בין השחקנים המשתתפים בהטמעת הטכנולוגיה – אירועי אינטגרציה (Integration Events). אירועי האינטגרציה מתרגלים את הפעולות הדדיות בין השחקנים השונים, במטרה להטביע את הקשרים בהתנהגות של השחקנים, ליצור שגרות עבודה (routines) סביב האמצעים הנקלטים ולהרגיל את השחקנים למקומם ותפקידם בקבוצה.

כך לדוגמה, ניסויים טכניים מחזקים את הקשרים בין האמצעים הנקלטים לבין המערכות הטכנולוגיות שכבר קיימות בקבוצה ומאפשרים לשפר את ההתאמה ההדדית ביניהם. הדרכות, הכשרות ותרגולים מחזקים את הקשרים בין האמצעים לבין המפעילים והמשתמשים הישירים ומטמיעים את שגרות התפעול.

אירועי אינטגרציה פחות מובנים מאלהם מוכוונים ליצירת הקשרים של האמצעים הנקלטים במעגלים חברתיים רחבים יותר. לדוגמה, הצגת ההישגים של קליטת הטכנולוגיה המוטמעת בדיוני ההנהלה מחזקת את הקשר של המנהלים לטכנולוגיה. הדגשת תרומת הטכנולוגיה החדשה לתוצרים שמועברים ללקוחות הארגון יוצרת קשרים במעגל רחב עוד יותר.

אירועי האינטגרציה היעילים ביותר מכניסים את הטכנולוגיה הנקלטת לשגרות הפעילות החברתיות – הפעולות שחוזרות באופן תדיר במקומות ובזמנים שונים. הטמעת הטכנולוגיה החדשה מתקדמת בצורה הדרגתית ע"י שינויים של שגרה אחר שגרה, בצעדים קטנים.

לעיתים הטמעת הטכנולוגיה דורשת עצירת שגרות קיימות ויצירת שגרות חדשות. תהליך זה מסובך יותר ויש להפנות תשומת לב מיוחדת למקרים הדורשים להרוס משהו קיים לטובת משהו חדש.

בשלב הזה, חשוב מאוד שהקשרים והפעולות ההדדיות של האינטגרטור עצמו עם שאר השחקנים יהיו חלשים ככל הניתן. כך לדוגמה, האמצעים הטכנולוגיים צריכים להיות מופעלים ע"י המשתמשים עצמם, ועל האינטגרטור להקטין בהדרגתיות את התמיכה שלו במשתמשים, גם אם הפעולות של המשתמשים לא ממצות את היכולות של האמצעים הטכנולוגיים. תת-ניצול של היכולות עדיף מיצירת התלות התמידית של שחקנים באינטגרטור או בספק הטכנולוגיה.

גיוס (Mobilization) – סיום המבצע

בשלב מסוים ובאופן הדרגתי, הטכנולוגיה הופכת לחלק אינטגרלי של השגרה החברתית, התפעולית והמבצעית. האמצעים הטכנולוגיים "נעלמים ברקע" ונוכחותם כבר לא מורגשת ע"י השחקנים האחרים שרואים בהם חלק בלתי נפרד מהגדרת התפקידים החברתיים שלהם.

בשלב הזה, השגרה החדשה כבר לא מזוהה כלל עם האינטגרטור המתווך, אלא עם המנהלים התפעוליים ושחקנים משפיעים אחרים שחוזרים לתפקד כנקודות מעבר הכרחיות של התהליכים הארגוניים המיוצבים. זה הזמן שבו האינטגרטורים יכולים "לנתק מגע" לחלף את עצמם מרשת השחקנים שאת יצירתה והתייצבותה הם הובילו.

סיכום

האינטגרציה הטכנו-חברתית שונה מאוד מהאינטגרציה הטכנית של המערכות הטכנולוגיות. תהליכי מעבר של אמצעים טכנולוגיים מפיתוח לשימוש שוטף מולידים קהל ייחודי של האינטגרטורים הטכנו-חברתיים הממלאים תפקידים שונים במגזרים ובתחומי העיסוק השונים.

תורת שחקן-רשת (ANT-Actor-Network Theory) מציעה דרכי חשיבה ופעולה מעניינות שיכולות לעזור לעבודת האינטגרטורים הטכנו-חברתיים. כמו שהנדסה מיישמת את מדעי הטבע, ההנדסה המשלבת (heterogeneous engineering) מיישמת את ANT ליצירת התהליך הפוליטי שמביא להטמעת אמצעים טכנולוגיים חדשים במארג החברתי.

האינטגרטורים הטכנו-חברתיים יכולים להשתמש בתובנות של ANT כדי לייעל ולקצר את תהליכי מבצוע המערכות הטכנולוגיות, אבל יישום ANT מחייב להפנות תשומת לב רבה לקשרים ולפעולות הדדיות בין השחקנים לפני ההטמעה, בזמן ההטמעה ולאחר ההטמעה.

ביבליוגרפיה

- [1] Becker, M. C. (Ed.). (2008). Handbook of organizational routines. Edward Elgar Publishing
- [2] Latour, B. (2007), Reassembling the Social: An Introduction to Actor-Network-Theory (Clarendon Lectures in Management Studies), Oxford University Press

אודות המחבר

סרגיי טוזיק עוסק בייעוץ, מחקר, הדרכה והכשרה בתחום הנדסת האינטגרציה כיישום הנדסת מערכות לתחומים מגוונים כגון פיתוח תוכנה, תשתיות IT, הנדסת מוצר והנדסת מכירות. סרגיי בעל ניסיון של מעל 20 שנים בתכנון, ניהול וביצוע פרויקטי אינטגרציה מערכתית, כולל תפקידים של מהנדס אינטגרציה ראשי ומוקד ידע בחיל האוויר. סרגיי בעל תואר שני בפיזיקה שימושית ממכון ויצמן למדע ותואר שני בהנדסת מערכות מטכניון. סרגיי מקדם את הנדסת האינטגרציה דרך מעורבותו הפעילה ב-INCOSE_IL, בלשכה לטכנולוגיות המידע בישראל ובמיזם המחקר להנדסת המערכות באוניברסיטת תל אביב (TAU SERI).



היסקים אנלוגיים בהנדסת מערכת

גדי קרביץ, רפאל

gadikr@netvision.net.il

תקציר

היסקים אנלוגיים נפוצים מאד בתהליך התכן והנדסת מערכת, והם לעתים רכיב קריטי בתהליך הסקת מסקנות במהלך חקר תקלות מערכתיות ובפיתוח מוצרים חדשים שמבוססים על מוצרים ו/או טכנולוגיות דומות שכבר קיימות. כך למשל, בתהליך חקר תקלות, לעתים אנו לומדים מתקלות דומות שהתרחשו בעבר באותו המוצר או במוצרים דומים, ועל בסיס למידה זו מסיקים/משערים את הסיבות להתרחשות התקלה במוצר התקול בהווה. דבר דומה נעשה כאשר מפתחים מוצר חדש שמבוסס על מוצרים קיימים דומים. לעתים קרובות אנו אפילו מעודדים את המפתחים שלנו לפתח מוצרים גנריים (design for reuse) כך שיתאימו למוצרים נוספים מאותו הסוג, בהנחה שמתקיים דמיון עקרוני בין מוצרים אלה. במקרים הללו, הסקת מסקנות אנלוגיות איננה תהליך טריוויאלי ולכן לעתים מוליך שולל את המהנדס, עד כדי הסקת מסקנות שגויות. מהנדסים רבים, כמו רוב האנשים, משתמשים באופן ספונטני (אינטואיטיבי) בהיסקים אנלוגיים ולא תמיד מודעים כיצד עובד התהליך ואלו סכנות טמונות בו. אי-ידיעה זו, במקרים רבים, מובילה לשימוש פזיז ולא נכון בהיסקים אנלוגיים ובהתאם לכך להסקת מסקנות שגויות. היות ואני סבור שחלק מהשגיאות אפשר למנוע על ידי הבנת תהליך הסקת מסקנות אנלוגיות והכרת אספקטים מורכבים הטמונים בו, מצאתי לנכון להציג במאמר זה בקצרה את הנושא ברמה פילוסופית פופולארית, בתקווה שהצגה זו תעלה את המודעות בקרב המהנדסים ובאמצעותה אולי נוכל למנוע היסקים אנלוגיים שגויים.

מבוא

כפי שתיארו זאת דויד יום ורבים אחרים, בעיות האינדוקציה הן למעשה בעיות של השלכה - דבר הנובע מכך שהמסקנות בטעונונים אינדוקטיביים אינן נגזרות באופן הכרחי מההנחות.¹ היות והיסק אנלוגי משתייך בדרך כלל לקבוצת היסקים אינדוקטיביים, מטבע הדברים, בעיות אלה תקפות גם לגביו. כשאנו קוראים לדבר מסוים בשם מסוים ואחרי זה לומדים לקרוא באותו השם גם לדברים אחרים שהם דומים באיזשהו מובן, למעשה אנו עושים השלכה מהפרטי אל הכללי. כחלק מהותי מהתהליך הלמידה שלנו, אנו משליכים ממקרה מסוים למקרה אחר וללא השלכה זו למעשה לא היינו יכולים לדבר ולתאר את העולם שבו אנו חיים. במילים אחרות, במובן הפרגמטי, אנו לא יכולים להימנע מאינדוקציה ומהיסקים אנלוגיים ולכן נאלצים לקבלה כחלק טבעי-קיומי מהחיים שלנו. טענה זו נתמכת באופן מיוחד על ידי זרם פילוסופי המכונה "פרגמטיזם אמריקאי" מבית היוצר של ציארלס סנדרס פירס, דואי ג'ון, נלסון גודמן ורבים אחרים. אומנם הזרם הזה מזהיר אותנו מאד מהיסקים אינדוקטיביים ואנלוגיים לא טובים, אך יחד עם זאת, באופן מעשי הוא מדגיש שלעולם לא נוכל לוותר עליהם.

כאמור, הסקת מסקנות אנלוגיות נכונות בהנדסה היא לא תהליך טריוויאלי ולעתים מסובך מאד. למעשה, היצירתיות של המפתח/המהנדס בתכן של מוצר חדש מתבטאת ונמדדת ביכולתו להסיק את המסקנות האנלוגיות הטובות ביותר. לכן, היסקים אלה נפוצים מאד בהנדסת מערכת והם מהווים רכיב קריטי בהסקת מסקנות ובניית היפותזות בנוגע לחקר תקלות ולפיתוח מוצרים חדשים המבוססים על מוצרים או/ו טכנולוגיות דומות שכבר קיימות. המלאכה של הסקת מסקנות אנלוגיות במקרים אלה היא משימה לא פשוטה, המוליכה לעתים שולל את המהנדס ומובילה אותו

1 בנוגע לבעיית האינדוקציה, ראו מאמר "בעיית סיבתיות וחקר תקלות במערכות מורכבות", בקול המערכות-כתב העת של מהנדסי המערכת בישראל, ינואר 2017, גיליון מס' 19, עמ' 10-16.

להסקת מסקנות שגויות. בכדי להימנע משגיאות אלה או לפחות לצמצם את היקפן, מוכרחים המהנדסים קודם כל להבין במה כרוך תהליך הסקת מסקנות בדרך אנלוגית ואלו אלמנטים לוגיים ואספקטים קוגניטיביים הוא מכיל. אי לכך, מטרתו העיקרית של מאמר זה היא לנסות להסביר את הנושא באופן תמציתי ונגיש. בכדי להשיג מטרה זו, אציג תחילה את המבנה העקרוני של היסקים אנלוגיים, לאחר מכן אתאר את סוגי האנלוגיות ואת התהליכים הקוגניטיביים המשתתפים בהם, ולבסוף אמליץ כיצד אפשר לצמצם או אולי להימנע מהיסקים אנלוגיים שגויים בהנדסת מערכת, וכל זאת באמצעות הצגת עקרונות מרכזיים להסקת היסק אנלוגי טוב, ובפרט לכוזה שבא לידי ביטוי במיוחד בחשיבה הנדסית.

מבנה לוגי עקרוני של היסק אנלוגי

היסקים אנלוגיים אינטואיטיביים מבוססים לרוב על דמיון בין שתי ישויות או יותר, ומשליכים דמיון זה על אספקטים אחרים של אותן הישות. באופן פשוט ביותר אפשר לתאר היסקים אלה באופן הבא:

<ul style="list-style-type: none"> ● הנחה 1: ישות A מכילה מאפיינים 1, 2, 3 ... ● הנחה 2: ישות B מכילה מאפיינים 1, 2, 3 ... ● הנחה 3: נמצא שישות A מכילה גם מאפיין נוסף 7
<p>מסקנה: לכן גם ישות B מכילה את המאפיין 7</p>

בדרך יותר פורמלית, אפשר לתאר את ההיסק האנלוגי כמבנה של היסק אינדוקטיבי שבו המסקנה אינה נובעת מהנחות באופן הכרחי - במילים אחרות, אמיתות ההנחות אינה מבטיחה את האמיתות של המסקנה:

<ul style="list-style-type: none"> ● הנחה 1: ישות S דומה לישות T במאפיין מסוים ● הנחה 2: לישות S קיים מאפיין נוסף Q...
<p>מסקנה: לכן, לישות T יש גם מאפיין Q, או מאפיין כלשהו Q * הדומה ל-Q</p>

סוגי אנלוגיה והיסקים אנלוגיים

דפוסים של טיעונים אנלוגיים שתוארו לעיל, הם מאד אינטואיטיביים וכולנו משתמשים בהם ביום-יום ללא הרף. יחד עם זאת, לצרכים הנדסיים, היסקים כאלה אינם מספיקים, אינם אפקטיביים ולעתים אפילו מזיקים במידה לא מבוטלת. אי לכך, במהלך חשיבה אנלוגית הנדסית (מדעית) קיים צורך הכרחי להשתמש בהיסקים אנלוגיים מורכבים מסוגים שונים, כמתואר בטבלה 1.

טבלת 1: תיאור סוגים ומאפייני היסק אנלוגי ²			
היסק סיבתי לישות מטרה (T)	סוג של אנלוגיה	היסק סיבתי לישות מקור (S)	שלב בטיעון
*P	אנלוגיה חיובית	P	הנחות/השערות/עובדות
*A~	אנלוגיה שלילית (סוג I)	A	
*B	אנלוגיה שלילית (סוג II)	B~	
?	אנלוגיה ניטרלית	N	מסקנה
*Q	אנלוגיה היפותטית (היסק סביר)	Q	

² העמודות מתארות היסקים אנלוגיים בעלי קשר סיבתי

מקרא לטבלה 1 - פרטים והגדרות

- **(S)** - היסק סיבתי המתייחס לישות מקורית. מהיסק זה מוסקת המסקנה בנוגע למאפיין כלשהו בישות המקורית שממנה רוצים להקיש היקש אנלוגי לגבי ישות אחרת, ישות מטרה.
- **(T)** - היסק סיבתי המתייחס לישות מטרה, על בסיס אנלוגיה עם ישות מקור. מהיסק זה מוסקת המסקנה בנוגע למאפיין של הישות המטרה, באמצעות ביצוע אנלוגיה עם המאפיין של הישות המקורית.
- **אנלוגיה חיובית – מייצגת קווי-דמיון מקובלים/ידועים:**
 - **P** - הנחה/השערה המקובלת ותומכת במסקנה Q.
 - ***P** - הנחה/השערה אנלוגית ל-P המקובלת ותומכת במסקנה *Q.
- **אנלוגיה שלילית – מייצגת קווי-שוני מקובלים/ידועים:**
 - **A** - הנחה/השערה המקובלת ותומכת במסקנה Q.
 - ***A** - הנחה/השערה שלא תואמת אנלוגית ל-A ולכן גם שוללת את המסקנה Q.
 - **B** - הנחה/השערה ששוללת את המסקנה Q.
 - ***B** - הנחה/השערה המקובלת ותומכת במסקנה Q ולכן היא תומכת גם במסקנה *Q.
- **אנלוגיה ניטרלית:**
 - **N** - הנחה/השערה המקובלת ותומכת במסקנה Q ושלא ידוע האם ישנה אנלוגיה שממנה אפשר לתמוך במסקנה *Q.
- **אנלוגיה היפותטית** – שם כללי להיסק סביר שממנו באמצעות אנלוגיה בין מסקנת היסק סיבתי Q (ישות מקור S), מסיקים מסקנה סיבתית סבירה *Q (בנוגע לישות מטרה T).
 - **Q** - מסקנת טיעון (S).
 - ***Q** - מסקנה היפותטית בטיעון (T), אנלוגית למסקנה Q בטיעון (S).

תהליכים קוגניטיביים שמשתתפים בתהליך הסקת היסקים אנלוגיים

באופן כללי ביותר ניתן לומר כי בתהליכי הסקה אנלוגית, כפי שתוארו בטבלה 1, משתתפים ארבעה תהליכים קוגניטיביים עיקריים:

1. **שחזור ייצוגים:** תהליך בניה מחודשת של מושג מאפיין ידוע, באמצעות מושג מאפיין דומה אחר. תהליך זה מצריך מהמהנדס דמיון ויצירתיות רבה.
2. **שליפה:** תהליך חיפוש ואיתור אנלוגיות פוטנציאליות מהזיכרון לטווח ארוך (בהתאם למצבים מוכרים מן העבר), הכולל בניית קשרים אנלוגיים בין מושג מאפיין הידוע מן העבר, למושג מאפיין אחר שדומה לו מהזיכרון לטווח קצר. תהליך זה מצריך ניסיון מקצועי רב של המהנדס ושליפתו בעת ביצוע האנלוגיה.
3. **מיפוי והעברת ידע:** תהליך כוונון אנלוגי בין ייצוגים בישות מקור (S) לייצוגים בישות המטרה (T) והעברת ידע ביניהם (בין ישות המקור לישות המטרה). תהליך זה מצריך מהמהנדס הכרה טכנית/טכנולוגית מעמיקה של שתי הישויות (ישות המקור וישות המטרה).
4. **הפשטה:** תהליך יצירת סכמות (כללים) אנלוגיות מופשטות (בדומה לסכמה המוצגת בטבלה 1) המייצגות יחסים אנלוגיים בין מאפיינים ייצוגיים של ישות המקור, למאפיינים ייצוגיים של ישות המטרה. בתהליך זה חשובה במיוחד היכולת של המהנדס לבצע הפשטות רלוונטיות לצורך ביצוע היסק אנלוגי אפקטיבי.

מהו היסק אנלוגי טוב ?

כאמור, היסק אנלוגי לעולם לא יכול להיות וודאי משום שהוא לא היסק דדוקטיבי ולכן גם לא הכרחי. יחד עם זאת, אפשר להגדיר מספר כללים פשוטים שיכולים לשפר את אמינותו/הסתברותו. למשל, אלמנטים באנלוגיה חיובית מגדילים לרוב את ההסתברות ואת הדרגה האפיסטמית של האמיתות המסקנה בטיעון אנלוגי. כמו כן בהנדסה, למשל, ככל שדמיון מבני (הנדסי) בין שתי מערכות יהיה רב יותר, כך העוצמה והאמינות של ההיסק האנלוגי תגבר. במשך השנים, הלוגיקנים והפילוסופים, גיבשו מספר כללים איכותיים פשוטים להערכה טובה יותר של היסקים אנלוגיים וזו על מנת לשפר את ההסתברות ואת הדרגה האפיסטמית של המסקנות הנגזרות מהם. כללים אלה תקפים גם להיסקים אנלוגיים שאנו מסיקים בהנדסת מערכת ומומלץ מאד להתחשב בהם על מנת להפחית את ההסתברות לטעויות. **להלן הכללים באוריינטציה להנדסת מערכת:**

1	ככל שהדומי בין שני תחומים טכנולוגיים או בין שתי מערכות הנדסיות יהיה גדול יותר, כך עוצמת ההיסק האנלוגי בנוגע לדמיון ביניהם יהיה חזק יותר. וההיפך, ככל שהדומי בין שני תחומים טכנולוגיים או בין שתי מערכות הנדסיות יהיה קטן יותר, כך עוצמת ההיסק האנלוגי בנוגע לדמיון ביניהם יהיה חלש יותר.
2	ככל שהידע הטכני שלנו בנוגע לשתי מערכות או טכנולוגיות יהיה קטן יותר, כך ההיסק האנלוגי בנוגע לדמיון ביניהן יהיה חלש יותר. וההיפך, ככל שהידע הטכני שלנו בנוגע לשתי מערכות או טכנולוגיות יהיה נרחב יותר, כך ההיסק האנלוגי בנוגע לדמיון ביניהן יהיה חזק יותר.
3	ריבוי אנלוגיות טכניות/טכנולוגיות התומכות באותה המסקנה , יגביר את עוצמתו של ההיסק האנלוגי.
4	היסק אנלוגי המכיל קשרים סיבתיים (גורמים ותולדות) יהיה יותר חזק מהיסק אנלוגי שאינו מכיל קשרים כאלה.
5	היסק אנלוגי המבוסס על אנלוגיה מבנית (הנדסית) יהיה חזק יותר מהיסק אנלוגי המבוסס על דמיון חיצוני בלבד.
6	בביצוע אנלוגיה מוכרחים לקחת בחשבון את הרלוונטיות ההנדסית/הטכנולוגית של הדמיון (או אי-הדמיון) במהלך הסקת מסקנות טכניות שאנו מסיקים.

איזה סוגי אנלוגיה חשובים יותר לתחומים הנדסיים/מערכתיים ?

מהיבט הנדסי/טכני, נראה כי הכללים החשובים ביותר לתחום הנדסת מערכת הם 4, 5, ו-6, ועליהם המהנדס צריך לתת את דעתו לאורך כל התהליך של הסקת מסקנות אנלוגיות שהוא עושה בין שתי מערכות הנדסיות. מהיבטים מערכתיים, כללים אלה קשורים אלה באלה בקשר הדוק. כך למשל, בטיעון הנדסי אנלוגי, הרלוונטיות של הדמיון והשוני למסקנת הטיעון, קשורה באופן הדוק לאנלוגיות המכילות קשרים סיבתיים ואנלוגיות מבניות (הנדסיות). רלוונטיות הנדסית זו חשובה משום שלא כל דמיון מגדיל באופן גורף את ההסתברות להסקת מסקנות אנלוגיות נכונות ולא כל שוני מפחיתה. לעתים מספר מאפייני דמיון או שוני בין שתי ישויות, בכלל לא רלוונטיים מבחינה טכנית/הנדסית לאנלוגיה שאנו רוצים להסיק, וזה כמובן מצריך מהמהנדס יכולת הבחנה טכנית גבוהה והכרת המערכות שלגביהן הוא רוצה לעשות אנלוגיה – לאמור, על מנת להחליט האם מאפיין טכני כלשהו מתאים לביצוע אנלוגיה

שאנו רוצים לעשות בין שתי מערכות הנדסיות, נדרשת הכרת טכנית גבוהה של מערכת המקור (S) ולא פחות מכך של מערכת מטרה (T). דגש מיוחד יש לתת לרלוונטיות התלויה בתוכן מערכת/מבני בין שתי מערכות הנדסיות מושוות, תוכן תלוי מבנה לוגי, סיבתי והנדסי. רלוונטיות זו צריכה להכיל גם את האספקטים הקשורים לממשקים טכניים וסיבתיים איתם המערכות באות במגע. למשל, אם רוצים לעשות אנלוגיה בין שני גלאים המורכבים במכלולי ביות שונים, נידרש להכיר היטב גם את הממשקים של מכלולים אלה עם המערכות העליונות בהן הם מורכבים.

נושא חשוב לא פחות הוא שימוש נכון באנלוגיות שליליות. כאשר אנו עושים מיפוי אנלוגיות בין שתי ישויות, לרוב יש לנו נטייה אינטואיטיבית להשוות ביניהן באמצעות אנלוגיות חיוביות המדגישות את המאפיינים הדומים ומזניחות את השוני ביניהן. מהנדס טוב צריך לשלוט בנטייה זו ולאזן אותה באמצעות אנלוגיות שליליות. אומנם חשוב מאד באנלוגיה לעשות השוואה בין תכונות דומות של דברים, אך לא פחות חשוב להבין גם את השוני ביניהן. לעתים הבנת השוני בין שתי המערכות חושפת את הדמיון הכוזב ביניהן, כזה שיכול להוביל אותנו למסקנות שגויות או לא רלוונטיות.

המהנדס שיפעל לפי ההמלצות שהועלו לעיל, יפחית אומנם את ההסתברות לטעות בביצוע אנלוגיה, אך עדיין קיימים סיכונים רבים שיכולים להכשילו בביצוע ה-reuse בין שתי מערכות (בין מערכת מקור למערכת מטרה). לכן אם רוצים לעשות אנלוגיה מושכלת בין שתייהן, יש לוותר על חיפוש לאיתור גנריות ברמת מערכות ולהתרכז יותר במודולריות ברמת אבני בניין של אותן המערכות. במילים אחרות, מומלץ לא לבצע אנלוגיות ו-reuse ברמת מערכת, אלא ברמת אבני בניין (מכלולים, תתי מכלולים ופריטי קצה). שתי המערכות המושוות באמצעות אנלוגיה, מכילות הרבה מאד דרישות ואפיונים ולכן יש קושי רב להשוות ביניהן. לכן, הסיכוי לטעות בביצוע אנלוגיה בין שתי המערכות, גדול ולא תמיד ניתן לשליטת המהנדס. לעומת זאת, ביצוע אנלוגיה ברמת אבני בניין הוא תהליך פשוט יותר, אמין יותר ומוריד את ההסתברות לטעות. מכאן שביצוע reuse ברמת אבני בניין, כמעט ולא ישפיע על הפונקציונליות של מערכת המטרה.

אודות המחבר

ד"ר גדי קרביץ הוא בעל תואר B.A. במדעי הטבע מאוניברסיטה הפתוחה ותארי M.A. ו-Ph.D. בפילוסופיה של המדע מאוניברסיטת חיפה. גדי עובד ברפאל 35 שנים במגוון תפקידים בתחום ניהול והנדסת איכות. הוא מהנדס איכות מוסמך CQE וכיום משמש כממונה על פרויקטים הנדסיים ביחידת ביקורת פנימית ברפאל. במקביל לעבודתו ברפאל, גדי חוקר אורח באוניברסיטת חיפה בחוג לפילוסופיה. מחקריו מתמקדים בעיקר בתחומי הפילוסופיה של המדע, הסבר מדעי, אפיסטמולוגיה, ספקנות, לוגיקה ופילוסופיה אנליטית. בתחומי מחקר אלה פרסם גדי ספר ומספר מאמרים בחול בעיתונים מקצועיים חשובים העוסקים בפילוסופיה והלוגיקה של מדעי כדור הארץ.



מדידת מורכבות תכן ובחירת קונספט הנדסי מהיבטי מורכבות¹

אלון בן משה, רפאל
alonbm1@gmail.com

רקע

בתהליך תכן עובר הצוות ההנדסי משלב צרכי הלקוח, דרך מימוש והוכחה של המוצר לעמידה בצרכים אלה ועד להגדרת תהליך שמאפשר ייצור המוצר באופן אפקטיבי. במעבר בין שלבים אלה, נדרש מהנדס המערכת לבחור בין חלופות שונות על בסיס ניתוח הדרישות והערכה (איכותית וכמותית) של הביצועים הצפויים. ניתן לבצע סימולציות או אנליזות לביצועי המערכת בחלופות השונות, אולם במרבית המקרים הבחירה בין חלופות תכן שונות מבוססת על הערכות איכותיות. אחד הכלים התומכים בעזרתם ניתן לבחור בין חלופות תכן, הוא מדידה כמותית של מורכבות התכן. קיימות מספר גישות למדידת מורכבות תכן, רובן עוסקות במדידת המורכבות המבנית, Structural complexity, (Ameri et al 2008, Bashir and Thomson 1999, El-haik et al 1999, Efthymiou et al 2016) ומיעוטן למדידת המורכבות הפונקציונלית, Functional complexity, (Suh 1995, Suh 2005, Tran-cao et al 2001). מאמר זה מציג עבודת מחקר בה נמדדו בו זמנית שני סוגי המורכבות במספר מערכות אקווילנטיות, במטרה להשוות בין שני הסוגים ולבחון האם ניתן להיעזר במדידה מעין זו בתהליך קבלת ההחלטות הנדסיות.

שאלות המחקר

- מדידת המורכבות המבנית והמורכבות הפונקציונלית של מערכות מכניות אקווילנטיות
- האם ניתן לשפר (בו זמנית) את המורכבות המבנית והפונקציונלית של המערכות, על ידי שיפור תכן?
- האם מדידת המורכבויות יכולה לסייע למהנדס המערכת בבחירת קונספט הנדסי?

כללי ומושגי יסוד

קיימות גישות שונות לתכן, החל ממפל המים (Royce, 1970), דרך "מודל ה-V" (Forsberg and Mooz, 1991) ICDM (Hari et al, 2002) ועוד. גישה חשובה נוספת היא תאוריית התכן האקסיומטי (Suh, 1995) שמחלקת את התהליך ההנדסי לארבעה שלבים, החל מצרכי הלקוח, להגדרת הדרישות ההנדסיות, משם לקביעת פרמטרי התכן ומשתני הייצור. השאלה המרכזית היא האם ניתן למדוד את מידת ההצלחה של התהליך ההנדסי, או כיצד ניתן להשוות תוצרי תכן של קבוצות פיתוח שונות על "סרגל" כמותי. מורכבות המערכת שתוכנה היא אחד המדדים הפוטנציאליים לביצוע השוואה שכזו, אולם ראשית יש להגדיר מספר מושגים רלוונטיים.

• **פשטות (Simplicity)** - תכן פשוט (Simple) הוא תכן המוביל למוצר זול יותר, קל לייצור ואינטואיטיבי יותר למשתמש (Watson et al, 1990). השגת פשטות בתכן יכולה להתקבל על ידי פישוט פרמטרי התכן, הערכת תוצרי התכן (Braha and Maimon, 1998) ואופטימיזציה של תהליכי ההרכבה (Ameri et al, 2008). בספר "The laws of simplicity" (Maeda, 2006) מתאר המחבר עשרה כללים להשגת פשטות תכן, כגון "הפחתה מחושבת" של חלקים, "ארגון", "חסכון בזמן" וכדומה. כפי שעולה מהגדרת הפשטות ומהכללים הללו, הפשטות היא תוצר של שלבי המימוש של התהליך ההנדסי עצמו וניתן להיעזר בה כמדד לאיכות התהליך ההנדסי.

1 עבודה זו נעשתה בהנחיית פרופ' ראובן כץ מהפקולטה להנדסת מכונות בטכניון וד"ר אביגדור זוננשיין ממרכז גורדון להנדסת מערכות בטכניון

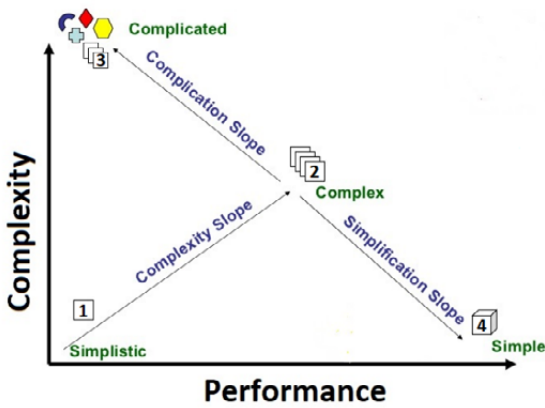
• **מורכבות (Complexity)** - תכן מורכב הוא תכן שמכיל מספר גדול של חלקים וממשקים ביניהם (Simon, 1998). לעתים מוגדרת מורכבות כתכונת איכות למוצר, בו קיימים אלמנטים, תכונות או פרטים השזורים זה בזה, באופן שגורם למוצר כולו להיות קשה להבנה (El-Haik and Yang, 1999). הפחתת מורכבות המוצר צפויה לגרום לקיצור משך הרכבה ולהוזלת המוצר, כמו גם לשיפור אמינותו (Braha and Maimon, 1998). בעוד שפשטות היא תוצר של עבודת ההנדסה בשלבי התכן עצמם, המורכבות מושפעת גם מהשלבים הקודמים לתכן, כגון צרכי הלקוח והדרישות ההנדסיות עליהן מבוסס התכן.

הספרות מגדירה מספר סוגים שונים של מורכבות, ובעיקר מציגה חלוקה בין מורכבות מבנית ומורכבות פונקציונלית. מורכבות מבנית (Structural complexity) מכמתת את מספר החלקים והממשקים בתכן, את מורכבות האלגוריתמיקה במוצר (במידה וקיימת) ועוד. המורכבות המבנית לכן, מהווה מדד למידת הקושי הצפויה בתהליך התכן ובתהליך הוכחתו, בייצור מרכיבי המוצר ובאינטגרציה ביניהם. לדוגמא, אם נבחר שלושה פתרונות לחולץ פקקי שעם (ר' איור 1), ניכר שמוצר א' מכיל יותר חלקים ממוצר ג' וכך ניתן להראות שהמורכבות המבנית שלו גבוהה יותר מזו של מוצר ג'. כפועל יוצא תכנונו, ייצורו, הרכבתו ובדיקתו ככל הנראה ארוכים ומורכבים יותר מאשר אלה של מוצר ג'.



איור 1 - שלושה פתרונות אקווילנטיים לבעיית חליצה של פקק שעם

מורכבות פונקציונלית (Functional complexity) נוגעת לאופן תפקוד המוצר ולהסתברות המוצר למלא את דרישות הביצועים. מוצר בעל מורכבות פונקציונלית גבוהה מתאפיין בכך שביצועיו הדירים פחות או שתלויים באופן ההפעלה על ידי המשתמש. מעבר לעמידה בביצועים הרגועים, מוצרים המכילים אמצעי שימון או אטמים צפויים לחוות ירידה בביצועים כתלות בזמן, ויוגדרו כבעלי מורכבות פונקציונלית שתלויה בזמן. אם נחזור לדוגמא שבאיור 1, מוצר א' הוא בעל מורכבות פונקציונלית נמוכה יותר, שכן ההסתברות שלו לעמוד בדרישה הפונקציונלית (חליצת פקק) ככל הנראה גבוהה יותר מזו של מוצרים ב' ו-ג'. הצורך במיומנות מפעיל (במקרה של מוצר ג') משמעותה מורכבות פונקציונלית גבוהה יותר.



איור 2 - מסובכות בתהליך תכן (Ward 2005)

- מסובכות (Complicatedness) – בספרו The simplicity cycle**, מתאר Ward (2005) את הקשר שבין פשטות, מורכבות ומסובכות של תכן. התאור כולל תרשים איכותי של המורכבות כתלות בביצועים של מערכת תוך כדי תהליך התכן ההנדסי, ראה איור 2. לפי תאורו, התכן הראשוני הפשוטני מתחיל בראשית הצירים, ועולה במעלה קו ה- Complexity slope, עד נקודת אופטימום אותה הגדיר כ- Peak of complexity. בנקודה זו, יכול תהליך התכן להתקדם לאחד משני כיוונים:
 - פישוט התכן** לאורך ה- **Simplicity slope**, כתוצאה מכך המורכבות **תקטן** והביצועים **ישתפרו**.
 - סיבוך התכן** לאורך ה- **Complication slope**, כתוצאה מכך המורכבות **תעלה** והביצועים **יפחתו**.

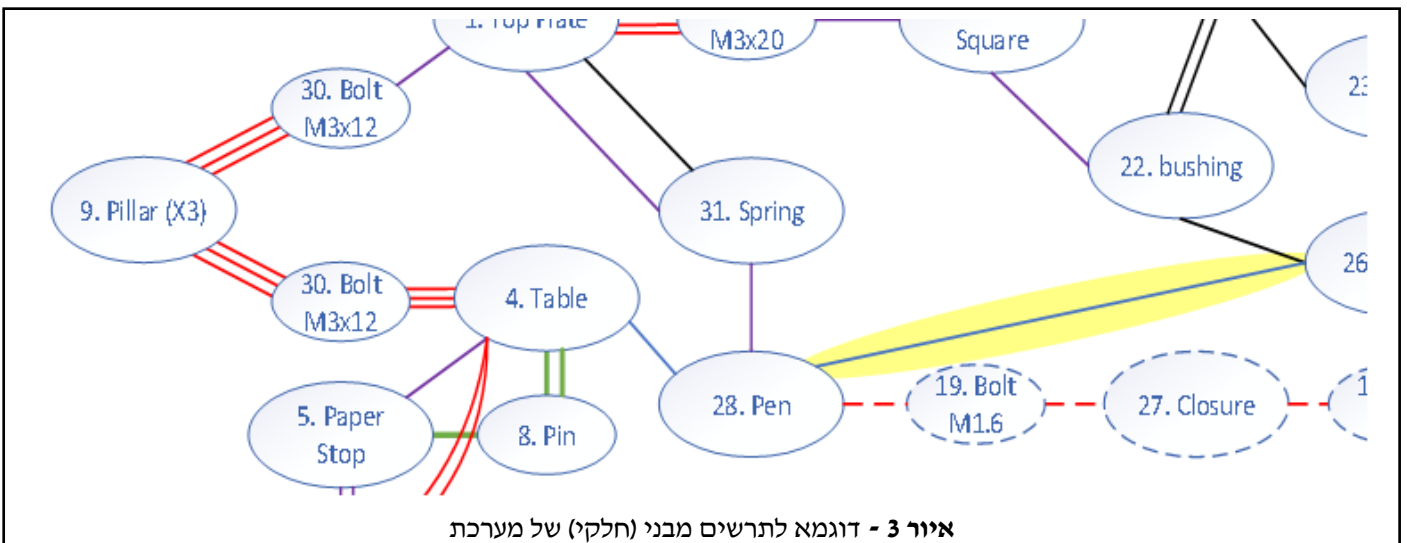
מדידת מורכבות מבנית

מורכבות מבנית של תכן מכני מחושבת בהתאם ל- נוסחה [1] אשר מבטאת מספר יחסי (ללא יחידות) בעזרתו ניתן להציג על "סרגל" אחד מוצרים או תכנים שונים.

$$Cst = (N_1 + N_2) * \log_2 (\rho + N)$$

נוסחה 1

כאשר N_1 הוא מספר הממשקים / הקשרים בין חלקים, N_2 הוא מספר החלקים הכולל, ρ מייצג את מספר סוגי הממשקים (ללא חזרות) ו- N הוא מספר החלקים השונים זה מזה (ללא חזרות). על מנת לחשב את ארבעת הפרמטרים, יש צורך להציג את התכן בתרשים מפושט המציג את חלקי המוצר והקשרים ביניהם, כפי שמוצג באיור 3. בתרשים זה כל אליפסה מייצגת מרכיב מהמוצר וכל קו מחבר מייצג קשר (ממשק) בין שני חלקים. סוג הקשר מיוצג בעזרת צבע הקו. סוגי קשרים מכניים יכולים לכלול הידוק (כוח לחיצה), החלקה מישורית, סיבוב יחסי, כוח חיכוך וכדומה.



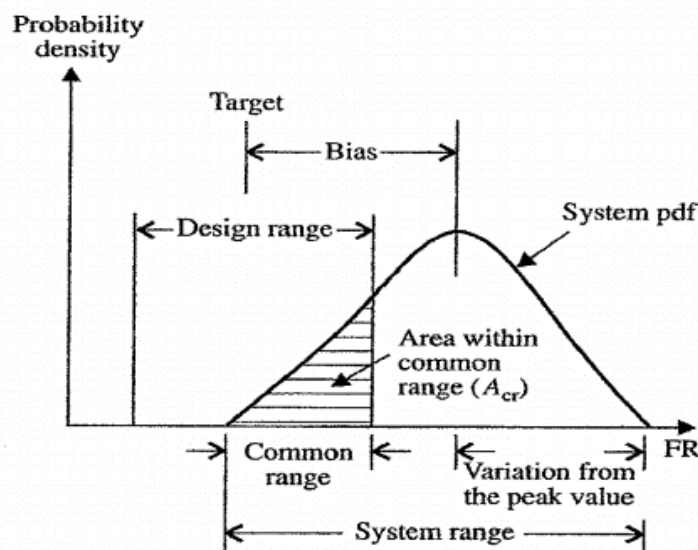
איור 3 - דוגמה לתרשים מבני (חלקי) של מערכת

מדידת מורכבות פונקציונלית

מורכבות פונקציונלית מבטאת את הסתברות המוצר לעמוד בדרישות שהוגדרו במפרט. בהתבסס על עבודתו של Suh (1999), על המוצר לעמוד בתחום ביצועים מסוים בכל אחת מהדרישות (כגון עובי שכבת צבע או אורך בתחום טולרנסים וכד'). תחום זה מוגדר כ- Design range. המתכנן שואף לתכנן כך שתחום הביצועים בפועל (System range) יתלכד עם תחום התכנון (Design range) אולם בפועל קיימת הסטה (Bias) ופיזור (Variation) הגורמים לכך שהסתברות p_i לעמוד בדרישת המפרט i , איננה 100% אלא נמוכה יותר ומסומנת A_{cr} . המורכבות הפונקציונלית הכוללת של המוצר, I , היא סכום ההסתברויות לעמוד בכלל הדרישות, ראה נוסחה [2].

$$I = \sum_{i=1}^n [\log_2 1/p_i]$$

נוסחה 2

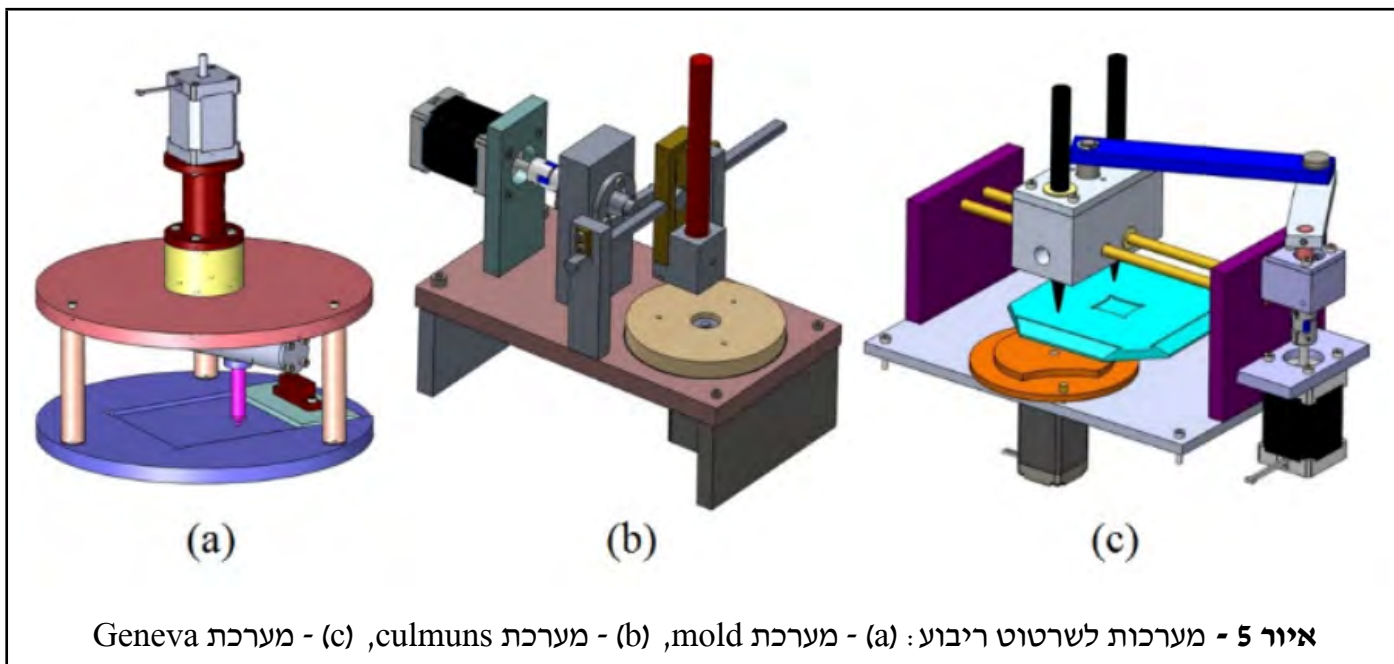


איור 4 - תחום התכנון, הביצועים בפועל וחישוב P_i (מתוך Suh, 1999)

ניתן לראות שככל ששטח החפיפה בין תחום התכנון לתחום הביצועים גדול יותר (דהיינו P_i גדול יותר), המורכבות הפונקציונלית קטנה, וכשהסתברות לביצוע המשימה היא 100% (חפיפה מלאה), המורכבות הפונקציונלית היא 0.

מהלך המחקר ותוצאותיו

במסגרת העבודה, נמדדו המורכבות המבנית והפונקציונלית מערכות אבטיפוס שתוכננו ויוצרו על ידי סטודנטים להנדסת מכונות בטכניון בקורס תכן, בשלהי לימודיהם. שלוש קבוצות סטודנטים תכננו מערכות בעלות קונספט מכני שונה, העונות לאותה דרישה פונקציונלית - לשרטט ריבוע במימדים 50 ± 1 מ"מ. המודלים של שלוש המכונות מוצגים באיור הבא:



על ידי ניתוח התכן לכל אחת מהמערכות ובניית תרשים מבני, חושבה המורכבות המבנית לפי נוסחה [1]. הפעלת המערכות 50 פעם כל אחת ומדידת הריבועים ודיוקם, איפשרה חישוב כמותי של המורכבות הפונקציונלית לפי [2]. העבודה כללה ניתוח סטטיסטי של התוצאות, לרבות שערך תוצאות האוכלוסיה מתוך תוצאות המדגם, אולם ניתוח זה לא יובא כאן. התוצאות שהתקבלו:

מורכבות מבנית	מערכת MOLD	מערכת CULMUS	מערכת GENEVA
מורכבות פונקציונלית	1.60	0.84	0.32
	766	835	989

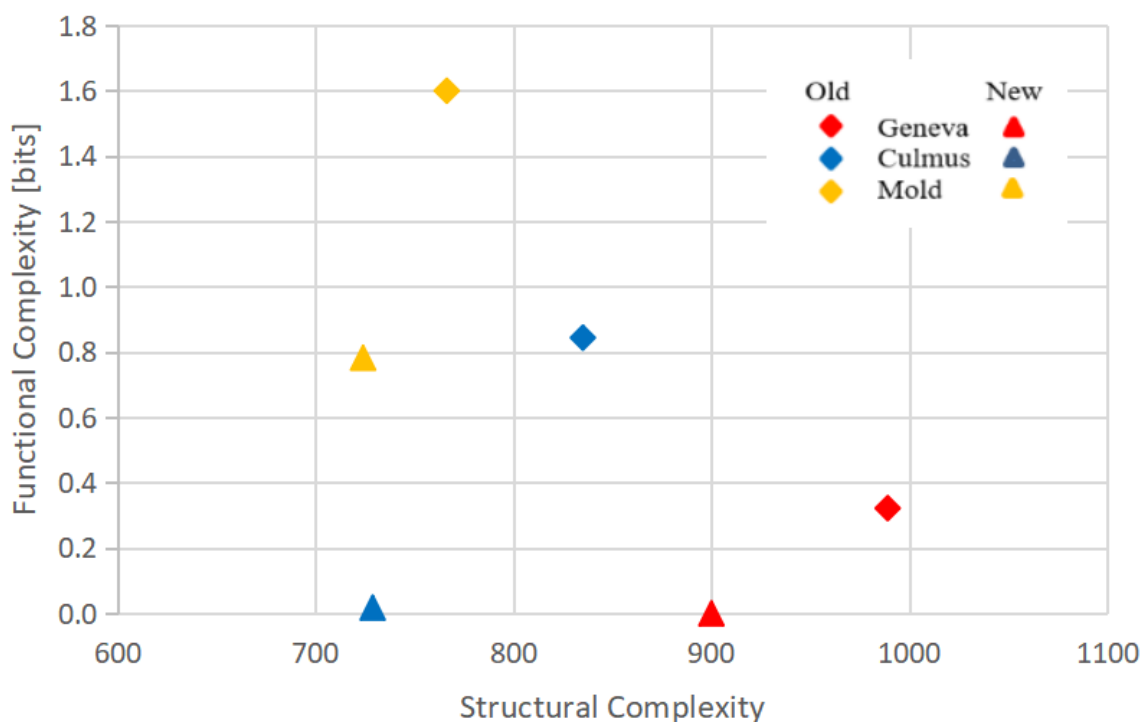
ניתן לראות שמערכת Geneva היא בעת המורכבות המבנית הגבוהה ביותר והמורכבות הפונקציונלית הנמוכה ביותר. מערכת Culmus בעלת תוצאות ביניים בשני המדדים, ואילו מערכת Mold היא בעלת המורכבות המבנית הנמוכה ביותר, ועם זאת בעלת המורכבות הפונקציונלית הגבוהה ביותר, אשר מבטאת סיכויים נמוכים לעמוד בדרישות הביצועים.

בשלב הבא במחקר, התבקש מהנדס מנוסה לבצע שיפורי תכן אינקרמנטליים, במטרה להפחית את המורכבות המבנית של המערכות תוך כדי שמירה או שיפור הביצועים. השינויים שתכנן ומימש, כללו הידוק אחיזת העטים, שיפור דיוק המסילות והפחתת חלקים ככל שהתאפשר.

לאחר מימוש השינויים שהציע, מדדנו את המורכבויות שוב והתקבלו התוצאות הבאות:

מורכבות מבנית	מערכת MOLD	מערכת CULMUS	מערכת GENEVA
מורכבות פונקציונלית	0.78	0.02	$10^{-4} \cdot 1.7$
	724	729	900

ניתן לראות שהן המורכבות המבנית והן הפונקציונלית של כל המערכות פחתו וכי המורכבות הפונקציונלית של מערכות Culmus ו-Geneva ירדו כמעט ל-0 דהיינו ההסתברות שלהן לעמוד בדרישה המפרטית היא כ-100%. איור 6 מציג את תוצאות המורכבות הפונקציונלית כתלות במורכבות המבנית לשלושת המערכות, לפני ואחרי שינוי התכן.

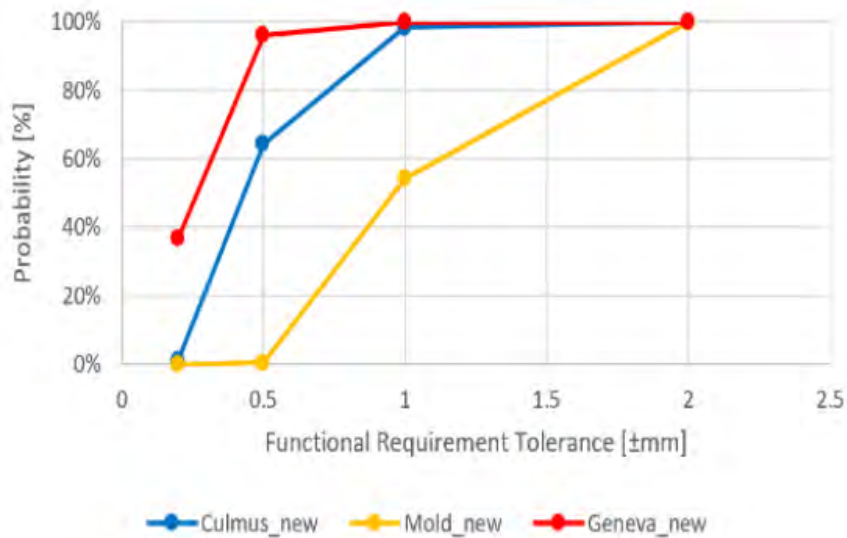


איור 6 - המורכבות הפונקציונלית כנגד המורכבות המבנית, לפני ואחרי שיפור התכנון

דיון ומסקנות

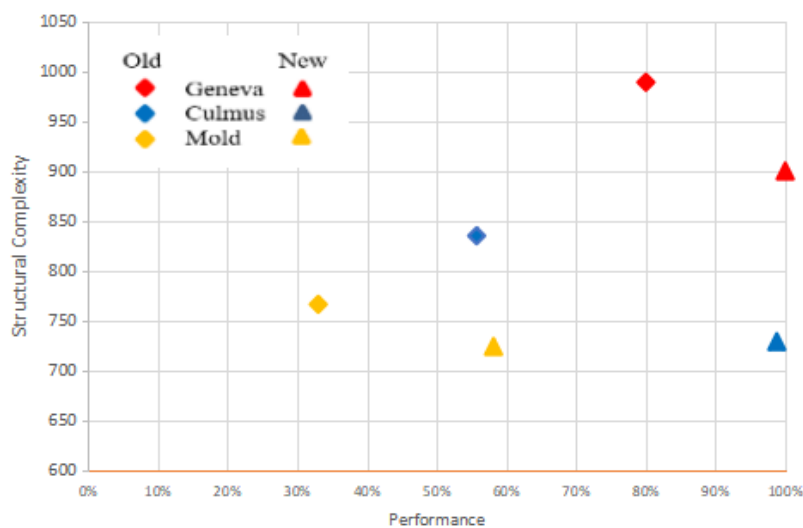
מדידת מורכבות מבנית מאפשרת השוואה יחסית בין מערכות שונות ואפילו בין מוצרים זרים לגמרי כגון חולץ בקבוקים לעומת מדשנת למשל, על "סרגל" משותף. ביחוד מאפשרת מדידה זו להשוות בין קונספטים שונים למימוש מערכות אקווילנטיות עוד בשלב התכנון הראשוני, על מנת להעריך מורכבות מבנית. שלוש המערכות שנבחנו במקרה זה הראו על מונוטוניות בין המורכבות המבנית לפונקציונלית, כך שהמערכת המורכבת ביותר מבחינה מבנית הציגה את המורכבות הפונקציונלית הנמוכה ביותר, דהיינו הביצועים הטובים ביותר. ולהיפך. עם זאת, לא ניתן במחקר זה להכליל מסקנה זו למרות שכל הניסיונות "להפוך את הסדר" כך שמערכת פחות מורכבת מבנית תציג ביצועים טובים ממערכת מורכבת ממנה, לא צלחו.

על מנת להעמיק בבחינת ההשפעה שבין ההסתברות לעמוד בדרישות המפרט (מורכבות פונקציונלית) למורכבות המבנית של הפתרון שנבחר, ביצענו ניתוח חישובי נוסף, בו הקטנו את תחום התכנון על ידי הידוק הטולרנס המותר לריבועים. שינוי זה מהווה אמנם שינוי הדרישה ההנדסית, שבפרויקטים "אמיתיים" אינה ניתנת לשינוי, אולם במקרה אקדמי זה מאפשר לבחון האם קיים הבדל בין הקונספטים השונים במקרים שונים.



איור 7 - הסתברות הצלחה כתלות בטולרנס

בגרף שבאיור 7 ניתן לראות כיצד משתנה הסתברות המערכות השונות לעמוד בדרישות, כתלות בטולרנס המותר לריבוע המצויר. ניתן לראות שאם הריבוע הקביל הוא 50 ± 2 מ"מ, כל שלוש המערכות מצליחות לעמוד בדרישה בהסתברות של כ-100%. עבור מקרה כזה, הבחירה ההנדסית הנכונה היא מערכת Mold בעלת המורכבות המבנית הנמוכה ביותר (ולכן עלות התכן, הייצור והבדיקות נמוכים ביותר). עבור 50 ± 1 מ"מ, כאמור, מערכת Culmus ו-Geneva נותנות מענה מספק, והבחירה הנכונה צריכה להיות בקונספט Culmus בעל המורכבות המבנית הנמוכה בין השניים. במידה ודרישת הביצועים הדוקה יותר, 50 ± 0.5 מ"מ, מערכת Culmus איננה נותנת מענה מספק (הסתברות הצלחה של כ-60%), ורק מערכת Geneva יכולה להתאים לדרישה. הידוק נוסף של הדרישה לרמת טולרנס של ± 0.2 מ"מ גורם לפסילת קונספט Geneva, דהיינו עבור דרישה כה הדוקה נדרש פתרון הנדסי מורכב (מבנית) אף יותר. איור 8 מציג את תמונת ההתאמה בין המורכבות המבנית לעמידה בדרישות (ראה איור 7), במערכת צירים תואמת לעבודתו של Ward (2005) שבאיור 2. ניתן לראות את תהליך שיפור התכן (Simplification line) שהציג Ward.



איור 8 - תמונת המורכבות עפ"י Ward

לסיכום, המדידה של מורכבות מבנית ומורכבות פונקציונלית של מערכות, יכולה לתמוך בקבלת החלטות הנדסיות החל משלב בחירת הקונספט. ניתן למדוד מורכבות מבנית על ידי ניתוח התכן הראשוני והשוואה בין קונספטים שונים. לצורך מדידת המורכבות הפונקציונלית, יש לדגום את ביצועי המערכת בפועל, או בסימולציה שמאפשרת ניתוח ביצועים סטטיסטי.

תודות למרכז גורדון להנדסת מערכות על תמיכתו בעבודה זו.

ביבליוגרפיה

- Ameri F, J. Summers, G. Mocko, and M Porter. 2008. "Engineering Design Complexity: An Investigation of Methods and Measures". Research in Engineering Design, (19), pp.161-179.
- Bashir H A and V Thomson. 1999. "Estimating design complexity", Journal of Engineering Design, Vol 10, Issue 3, pp 247-257.
- Ben-Yehuda T, R Katz and A Zonnenshain. 2018. "Evaluating Complicatedness in Mechanical Design". Journal of Machine Construction and Maintenance, (109), 2/18, pp15-27.
- Braha D and O Maimon. 1997. "The Design Process: Properties, Paradigms, and Structure", IEEE Transactions on Systems, Man & Cybernetics. Vol. 27 No. 2.
- Braha D and Maimon O. 1998. "A Mathematical Theory of Design: Foundations, Algorithms and Applications". Springer, Boston
- Dixon J, M Duffey, R Irani, K Meunier and M Orelup. 1988. "A Proposed Taxonomy of Mechanical Design Problems". Comp. in eng. con. ASME, San Francisco, pp 41-46
- Efthymiou K, D Mourtzis, A Pagoropoulos, N Papakostas and G Chryssolouris. 2016. "Manufacturing Systems Complexity Analysis Methods Review", International Journal of Computer Integrated Manufacturing, Vol.29, No.9, pp.1025-1044
- El-Haik B and K Yang. 1999. "The Components of Complexity in Engineering Design", IIE Transactions 31: 925. <https://doi.org/10.1023/A:1007650829429>
- ElMaraghy W, H Elmaraghy, T Tomiyama and L Monostori. 2012. "Complexity in Engineering Design and Manufacturing", CIRP Annals -Manufacturing Tech, Vol. 61, No. 2, pp.793-814.
- Forsberg, K and Mooz, H. (1991). "The Relationship of System Engineering to the Project Cycle". INCOSE International Symposium, 1: 57-65. doi: 10.1002/j.2334-5837.1991.tb01484.x
- Hari A, J Herscovitz, A Zonnenshain and M P Weiss. 2002. "Application of ICDM for the Conceptual Design of a New Product", International Design Conference - DESIGN 2002, pp. 647-654
- Ko K, K Pochiraju and S Manoochehri. 2007. "Dynamic Evolution of Information Complexity for Analysis of Design and Development". Journal of Advanced Mechanical Design Systems, 1(1): pp. 36-47. doi: 10.1299/jamdsm.1.36
- Krayner N and R Katz. 2018. "Experimental Method for Measuring Simplicity in Mechanical Design", Journal of Engineering Design, 29: 1-2, 1-19, DOI: 10.1080/09544828.2017.1418846

- Maeda J. 2006. "The Laws of Simplicity". MIT Press, Cambridge.
- Royce W. 1970. "Managing the Development of Large Software Systems", Proceedings of IEEE WESCON, 26 (August): 1–9
- Simon H. 1998. "The Sciences of the Artificial". MIT Press, Cambridge
- Suh N P. 1990. "The Principles of Design". Oxford University Press, New York.
- Suh N P. 1995. "Axiomatic Design of Mechanical Systems". ASME V.117: pp. 2–10.
- Suh N P, 2005, "Complexity - Theory and Applications", Oxford University press.
- Summers J and J Shah. 2010. Mechanical Engineering Design Complexity Metrics: Size, Coupling, and Solvability. Journal of Mechanical Design. 132. 10.1115/1.4000759.
- Tang V and V Salminen. 2001. "Towards a Theory of Complicatedness: Framework for Complex Systems Analysis and Design", 13th International conference on engineering design, August 2001 Glasgow, Scotland, UK.
- Tran-Cao D, A Abran and G Levesque. 2001. "Functional Complexity Measurement", International workshop on software measurement, pp. 173-181.
- Ward D. 2005. "The Simplicity Cycle". Harper Business, New York, pp 18–21
- Ward D. 2006. "The Simplicity Cycle Manifesto", Changethis Iss. 22, <https://changethis.com/manifesto/show/22.SimplicityCycle>
- Watson R G, E M Theis and R S Janek. 1990. "Mechanical Equipment Design for Simplicity," AT&T Technical Journal, vol. 69, no. 3, pp. 14-27, May-June 1990. doi: 10.1002/j.1538-7305.1990.tb00333.x

אודות המחבר

אלון בן משה הוא בעל תואר B.Sc בהצטיינות (הנדסת מכונות, טכניון) משנת 1990 ותואר M.Sc בהנדסת מכונות (טכניון) משנת 2019 העוסק במדידת מורכבות תכן מכני. במהלך שנות עבודתו התמחה הכותב בפיתוח מערכות מיגון ושרידות לכלים יבשתיים, אוויריים וימיים. בהמשך, שימש כמהנדס מערכת לפרויקט מיגון מסוקים באמצעות כריות אוויר וכראש פרויקט פיתוח של מערכת הגנה מתקדמת לפלטפורמה ימית. בנוסף, הכותב סיים בהצטיינות לימודי תואר MBA (טכניון) משנת 2004 והיה שותף במספר מיזמים טכנולוגיים חדשניים. מתגורר בנופית, נשוי ואב לשלושה ילדים, רץ למרחקים ארוכים.

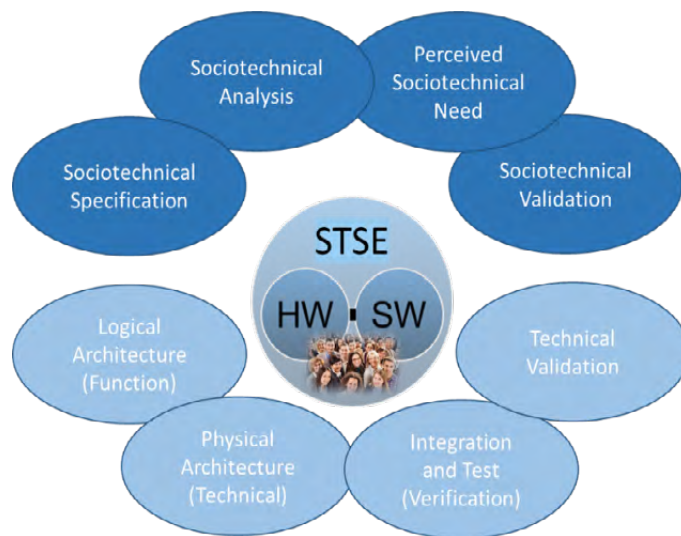
ההזדמנויות ואתגרים של הנדסת מערכות חברתיות-טכניות [תקציר]

ג'ון גיל, מנהל הנדסת מערכות SSCI, ארה"ב
אביגדור זוננשיין, מרכז גורדון להנדסת מערכות ומוסד שמואל נאמן, טכניון
johnjgillphd2@gmail.com • avigdorz100@gmail.com

תקציר

המושג מערכות חברתיות-טכניות נטבע לראשונה בשנות ה-50 לתיאור הארגון במפעלים בהם אנשים עושים משימות ופעילויות טכניות. בשנים האחרונות המושג הזה הורחב לדיון במגוון ההיבטים האנושיים והחברתיים של מערכות משולבות-מערכות טכניות, אנשים וחברה, והסביבה במגוון היבטיה. יום העיון במרכז גורדון ב-14.1.20 נועד להציג את ההזדמנויות והאתגרים של הנדסת מערכות חברתיות-טכניות. לקראת יום עיון זה, שני הכותבים של מאמר זה השקיעו מחשבה לגיבוש מסגרת העבודה (framework) המתאימה להנדסת מערכות חברתיות-טכניות. תוצאת הביניים של חשיבה משותפת זו כלולה במאמר בגיליון זה, ותוצג במהלך יום העיון.

מסגרת העבודה המוצעת להנדסת מערכות חברתיות-טכניות - Socio-Technical Systems Engineering (STSE), אינה באה במקום הנדסת המערכות המסורתית, אלא באה להשלים היבטים חיוניים בפיתוח, הנדסה, יישום ותפעול מערכות חברתיות-טכניות. מסגרת עבודה זו כוללת ארבעה אלמנטים עיקריים: תיקוף המערכת החברתית-טכנית, הצורך הנתפש של המערכת החברתית-טכנית, אנליזה חברתית-טכנית, והאיפיון החברתי-טכני (ר' תרשים).



במאמר המלא מתוארים התכולה והמשמעות של האלמנטים בפיתוח מערכות חברתיות-טכניות. בנוסף, נדונים גם ההיבטים וההשלכות של המהפכה התעשייתית הרביעית על מסגרת עבודה זו. בנוסף, מוצגת גישה חדשנית למודל עסקי למערכות החברתיות-טכניות (Business Model Innovation – BMI).

מסגרת העבודה של הנדסת מערכות חברתיות-טכניות מאפשרת להתמודד עם האתגרים של פיתוח בהם ההיבטים האנושיים, חברתיים ואקולוגיים הם דומיננטיים, ויש צורך במסגרת עבודה חדשה, שגם יכולה לנצל את ההזדמנויות שנושאת בחובה המהפכה התעשייתית הרביעית. מסגרת עבודה זו יכולה להתאים גם לחשיבה פתוחה פתרונית מערכתית לבעיות עולמיות כמו ההתחממות הגלובאלית, אי שוויון, רעב והתפשטות מגיפות. למערכות אלו יש גם משמעות גדולה לחברה, לכלכלה, למדינה ולעולם.

הרחבה בחלקו האנגלי של הגיליון 

סיכום כנס HSI 2019 שהתקיים בביאריץ, צרפת, ספטמבר 2019

ד"ר אביגדור זוננשיין, מרכז גורדון להנדסת מערכות בטכניון

פרופ' אבי פרוש, הפקולטה לתעשייה וניהול, טכניון

אבי הראל, ארגוליט

avigdorz100@gmail.com

כללי

בימים 11-13 בספטמבר 2019 התקיים הכנס הבינלאומי הראשון ל HSI – Human Systems Integration בביאריץ, צרפת שאורגן ע"י INCOSE. בכנס השתתפו כ-100 מהנדסי מערכות ומומחי HSI ממגוון מדינות המיישמים היבטים שונים של HSI בתעשייה ובאקדמיה. יו"ר הכנס היה Prof. Guy Boy המשמש גם כיו"ר קבוצת העבודה של IN-COSE ל-HSI, והיה המרצה הפותח ביום העיון במרכז גורדון שהתקיים בטכניון ביוני 2019.

בכנס השתתפו גם נשיא INCOSE, Garry Roedler והנשיאה הנבחרת Kerry Lunney. שלושת הכותבים הנחו והשתתפו בפנל בכנס, והציגו הרצאת מליאה בכנס. נוצרו קשרים והיכרויות עם משתתפי הכנס, כמפורט בהמשך.

מסרים עיקריים:

- יישום HSI הוא שונה מארגון לארגון בהיקף ובתכנים;
- קיימת התלבטות להיכן להוביל את התפתחות HSI מבחינה ארגונית ומבחינת התכנים. בהקשר זה הפנל בהובלתו בעניין פיתוח HSI כדיסיפלינה חדשה עורר עניין רב;
- נראה שראוי לכוון לכך ש-HSI לא תחשב התמחות מיוחדת אלא יכולת ליבה מובנית בכל הארגון ואנשיו;
- נושא שילוב AI ב-HSI עלה שוב ושוב, סביב השאלה – מה זה כולל ומה זה תורם?
- קיימת פעילות מחקרית מגוונת באקדמיה בתחומי HSI וכן מחקרים יישומיים בארגונים שראוי ליישם ולנצל את ממצאיהם.

פתיחת הכינוס

נשיא INCOSE הציג בפתיחת הכינוס את החזון של האיגוד בינלאומי להנדסת מערכות לשנת 2025, וציין את החשיבות ההולכת וגוברת של שילוב הנדסת אנוש בתהליכי הנדסת מערכות. הוא גם ציין את היוזמה לגבש את הנדסת המערכות של העתיד (Future of Systems Engineering (FUSE) שגם בה חשוב לכלול היבטים מתקדמים וחדשניים של הנדסת אנוש.

נשיאת האיגוד הבינלאומי לארגונומיה (IEA), קתלין מוסייר, בירכה את באי הכינוס באמצעות וידאו וציינה את חשיבות שילוב היבטי הנדסת אנוש בארגונים, בפרויקטים ובמערכות כדי להבטיח את הצלחתם.

יו"ר הכינוס Prof. Guy Boy הציג משנתו לפיתוח HSI בהרצאה בנושא:

Human Systems Integration: A Mix of Human-Centered Design, Systems Engineering, Ergonomics, HCI and Artificial Intelligence

המרצה הציג את דימוי הניצוח (orchestrating) ל-HSI ליצירת מערכות משולבות אנשים, באמצעות מהנדסים, מהנדסי מערכות, מהנדסי גורמי אנוש ומנהלים. בנוסף, הציג את אתגרי האוטומציה והאוטונומיות במערכות מודרניות

שלדעתו מחייבות לנקוט בשיטות visual HCD כדי לתכנן מוחשיות (tangibility) של מערכות מבחינה פסיקאלית, פיגוראטיבית וקוגניטיבית. הוא ציין גם את פתיחת הקתדרה ל FLEXTECH בבית ספר להנדסה בביאריץ ESTIA, בו יוביל פיתוח גישות חדשות לתכנן מערכות מערכות משולבות אנשים. הכינוי FLEXTECH, לטענת המרצה, נובע מכך שהמערכות העתידיות צריכות להיות גמישות (flexible), בוגרות (mature) ובעלות התייחסות ומודעות למורכבות (complexity), ליציבות (stability) ולקיימות (sustainability) שלהן.

הפאנל שניהלנו והצגנו בכינוס

במסגרת הכינוס ניהלנו והצגנו (אבי פרוש, אביגדור זוננשיין) פאנל בנושא הנתון לויכוח:

Do We Need to Develop a New Discipline of Human Systems Integration (HSI)?

השתתפו בפאנל:

- **Prof. Deborah Boehm-Davis** - Facebook Reality Labs, USA
- **Prof. Nancy Cooke** - Arizona State University, USA
- **Prof. Guy Boy** - CentraleSupélec & ESTIA Institute of Technology, France
+ Chair of INCOSE HSI WG
- **Michael Boardman**- MOD, UK
- **Avi Harel** - Ergolight, Israel

הפאנל עורר עניין רב הן במגוון הדיעות שהוצגו על ידי משתתפיו והן בדיון עם קהל המשתתפים שהביעו דיעות מגוונות ומנוגדות. שתי מציגות - ננסי קוק ודבורה בוהם דיוויס - טענו שאין צורך לגבש דיסיפלינה חדשה עבור HSI אלא להשקיע בפיתוח הדיסיפלינה הקיימת דרך מחקר ופיתוח. ננסי קוק ציינה את נושא מדעי הצוות ונושא השילוב של רובוטים ואינטליגנציה מלאכותית שהם מפתחים ב ASU כנושאים לדוגמה להמשך פיתוח HSI. ננסי גם הזכירה את הספר הבא שעומד לצאת, כמקור לרעיונות לפיתוח הדיסיפלינה הקיימת:

Roscoe, Chiou, and Wooldridge, entitled "Advancing Diversity, Inclusion, and Social Justice through Human Systems Engineering"

כמו כן ננסי ציינה את התכנית של Human Systems Engineering המונהגת ב-ASU.

Guy Boy התלבט האם לתמוך בפיתוח דיסיפלינה חדשה, אבל היה נחוש בצורך לשלב ב HSI רעיונות חדשים כמו FLEXTECH כדי לענות לאתגרי המערכות במאה ה 21 ולהזדמנויות של המהפיכה התעשייתית הרביעית.

מיכאל בורדמן היה נחוש בדעתו ש HSI במתכונתו הקיימת אינו מממש את מטרותיו, במיוחד בארגונים קטנים ובינוניים ובארגונים בהם אין אנשי הנדסת אנוש בהיקף מתאים. לכן הוא ממליץ שכל פעילויות HSI יהיו חלק בלתי נפרד ממשיות הנדסת המערכות. לדעתו, כל מהנדס מערכות צריך ליישם HSI כחלק אינטראלי מעבודתו. כמו כן, חשוב שהתפישה הארגונית של HSI לא תהיה כהתמחות מיוחדת אלא כיכולת הנדרשת לכל אורך ורוחב הארגון.

אין ספק שהפאנל שלנו האיר היטב את הדילמה היכן לפתח את דיסיפלינת ה HSI.

המאמר פאנל זה נמצא באתר גורדון בלינק הבא:

[Do We Need to Develop a New Discipline of Human Systems Integration \(HSI\)?](#)

Avi Parush, Avigdor Zonnenshain

מדגם הרצאות שניתנו בכינוס

Challenges in Applying Model-Based Systems engineering: Human-Centered Design Perspective by S.Y. Kim, D. Wagner, A. Jimenez-NASA JPL

במאמר זה מוצגים ומנותחים מספר אירועים (case studies) של יישום MBSE ב JPL באמצעות מתודולוגיית HCD. התובנות העיקריות מניתוח זה:

הצלחה ביישום MBSE איננה מושגת רק על בחירת כלים ותשתיות. היא מחייבת גם:

- הבנה עמוקה של הנדסת המערכות הקיימת מבחינת פרקטיקות, פערים ומגבלות;
- השקעה בפיתוח האונתולוגיות הספציפיות לתחום העיסוק של הארגון;

• הגדרת שיטות ותהליכי MBSE כך שהמומחים המקצועיים יוכלו לתאר את המערכות שלהם בצורה נכונה ומשמעותית תוך שימוש באונתולוגיות.

נראה שהמשימה של הטמעה ויישום של MBSE בארגון המחייבת גם קליטת תפישת MBSE, פיתוח כלים וגיבוש תהליכים חדשים מחייבת יישום זהיר והדרגתי. היישום באמצעות גישת HCD יכול להיות לעזר.

Probabilistic Risk Analysis (PRA) in Aerospace Human-in-the Loop (HITL) Tasks: Review and Extension by Ephraim Suhir, Portland State University

פרופ' אפרים סוהיר הציג מגוון מקרים של שימוש בנתוחים ומודלים הסתברותיים בפתרון בעיות בהם מעורבים אנשים, כגון הנחתת מסוק על נושאת מטוסים. הוא מציע גישות כמותיות שחלקן באות מעולם ניתוחי אמינות וחקר ביצועים. בהקשר זה הוא תיאר מודל להערכת העומס המנטאלי (MWL), מודל קונבולוציה (convolution) של מספר פונקציות צפיפות (pdf) ומודל סיגמנטים (segmentation) לפי שלבי המשימה.

Engineering HIS by A. Harel, Ergolight, A. Zonnenshain, Technion

בהרצאה שלנו שניתנה על ידי אבי הראל, הוצגו האתגרים ההנדסיים לפיתוח HSI והצעות לכווני פיתוח אפשריים בהיבטים ההנדסיים. הדברים הודגמו גם על ידי דוגמאות מ TMI, תכנון תא הטייס של B777 ועוד. דוגמאות להיבטים הנדסיים: מניעת החלקה, איתור וזיהוי כשלים, תכן אזעקות, תכן מצב בטוח ועוד. כמו כן הוצע לגבש חשיבת HSI לגיבוש קונספטים אפשריים ופתרונות לתכן מערכת של HSI.

המאמר של הרצאה זו נמצא באתר גורדון, בלינק הבא:

[Engineering the HSI](#), Avigdor Zonnenshain, Avi Harel

Orchestrating methodology for designing an Industrial System that improves Occupational Health and Safety by E. Quillerou, A. Lux, INRS

המרצה (מתמחה ביבטים קוגניטיביים) והשותף שלה (מתמחה בתהליכי ניהול) הציגו מחקר מתערב שהם ביצעו ב-3 ארגונים לשיפור הבטיחות והבריאות התעסוקתית בגישות של HSI. הוצגו סוגי ההתערבויות והממצאים העיקריים. נראה שהתערבות משולבת ניהולית וקוגניטיבית היא בעלת פוטנציאל תרומה לשיפור תרבות בטיחות ובריאות תעסוקתית והשפעה על התהליכים במפעל הקשורים לכך.

Human teaming with autonomous systems: Building support for situation awareness by Mica Endsley, Former US Air Force Chief Scientist, President of SA Technologies

מיקה אנדסלי נתנה הרצאה מצויינת על החיבור הנדרש של האנשים עם מערכות אוטונומיות כדי לפתח, ליישם ולתמוך במודעות מצבית (SA). מיקה הדגימה את ההתקדמות האיטית של מודעות מצבית ברכבים אוטונומיים, ולכן הדגישה את החשיבות של שילוב וחיבור האנשים במערכות. כדי להבטיח מודעות מצבית ראוייה ועומס עבודה סביר לניהול נדרש לתכנן היטב את הממשק עם המערכת (גמישות!) ולגבש את פרדיגמות האוטומציה.

מפגש קבוצת העבודה של INCOSE HSI

Guy Boy זימן במהלך הכנס מפגש של קבוצת העבודה של HSI שהוא מרכז אותה כבר מספר שנים. במפגש זה השתתפו למעלה מ-20 איש שהביעו נכונות לתרום לפעילות הקבוצה. בשלב זה התבקשו חברי הקבוצה לתרום למשימות הבאות:

- עדכון הפרק על HSI במדריך להנדסת מערכות של INCOSE. מתבקשות הערות והשלמות קונקרטיות בשבועות הקרובים;
- יש עניין לקיים מושב HSI בכנס הבינלאומי להנדסת מערכות של INCOSE שיתקיים בקייפטאון/דרום אפריקה ביולי 2020. קישור לאתר הכנס:

<https://www.incose.org/events-and-news/search-events/2020/07/18/international-symposium/incose-is-2020--cape-town-south-africa>

- מעוניינים לקיים כנס בסגנון INTERNATIONAL WORKSHOP בספטמבר 2020. הוצע לישראל לארח כנס כזה!
- ה-INTERNATIONAL WORKSHOP הבא של INCOSE מתוכנן לינואר 2020 באזור LA, שם יתקיים גם מפגש קבוצת העבודה USA (ר' קישור)

<https://www.incose.org/events-and-news/search-events/2020/01/25/international-workshop/incose-iw-2020--torrance-ca-usa>

- מעוניינים להוציא PROCEEDINGS של הכנס בביאריץ בעזרת ACM.

סיכום והמלצות

הכנס היה מגוון ומוצלח מבחינת הנושאים שהוצגו בו, והאנשים שהשתתפו בו ונראה שדיספלינת HSI נמצאת בנקודת תפנית כדי להתמודד עם מערכות אוטונומיות. במקביל, יש חשיבות גדולה להעמקת המחקר בתחומי HSI מתקדמים כמו אלו שהוצגו בכנס.

ישנה גם חשיבות להכשרת מהנדסי מערכות בהיבטי HSI ולהכשרת מהנדסי גורמי אנוש בהיבטי הנדסת מערכות, כמו גם להטמיע משימות HSI בתהליכי הנדסת מערכות ובתהליכי ההנדסה הכוללים בארגונים.

כדאי ללמוד את מאפייני התכנית Human Systems Engineering של ASU.

רצוי שנמשיך להשתתף בכנסים אלו ונהיה מעורבים בפעילויות של קבוצת העבודה HSI של INCOSE. כדאי לדעתנו לענות לאתגר של אירוח HSI IW ב-2020 בישראל כפי שהוצע על ידי Guy Boy.

כנס INCOSE IS 2019 – רשמים ותובנות

פרופ' דב דורי, הנדסת תעשייה וניהול, טכניון
dori@technion.ac.il

הכנס ה-29 של INCOSE התקיים השנה באורלנדו פלורידה וכרגיל היה מאורגן למופת וכלל פעילויות, הרצאות וארועים רבים ומגוונים שאת קצתם נסקור כאן.

הכינוס התחיל ביום של tutorials במגוון נושאים ובכללם:

- Introduction to Systems Security Engineering - Mark Winstead et al.
- Developing Verification Requirements to Assure Project Success – Mark Powell
- Getting Ready for Industry 4.0 and IoT with Model-Based Systems Engineering – Dov Dori

מבין המרצים המוזמנים (keynote speakers) בלט Prashant Dhawan, Co-Founder, Biomimicry India נושא הרצאתו היה Biomimicry - A Bioinspired approach to Systems Thinking.

ההרצאה היתה מעוררת מחשבה על כמות הדברים שאפשר וכדאי למהנדסים ללמוד ממערכות חיות שהתפתחו במשך ביליוני שנים. הרצאה מרתקת אחרת נתנה על ידי Capt. Winston Scott שהיה אחד האסטרונאוטים בקולומביה 14 תחת הכותרת To the Stars. The Sky Is No Longer the Limit.

להלן סיכום של הרצאות נבחרות נוספות:

Integrating Program/Project Management and Systems Engineering in Practice. Heidi Ann Hahn, Los Alamos National Labs, Ann L. Hodges, Sandia National Labs

נושא שילוב ניהול פרויקטים והנדסת מערכות בפרויקטים ובחברות הוא נושא המעניין את קהילת הנדסת המערכות. הרצאה זו מדווחת על ממצאי עבודה משותפת שהנחו את כותבות המאמר לזיהוי דרכים אפקטיביות לשילוב הנדסת מערכות, ניהול פרויקטים וניהול איכות. בשתי המעבדות הלאומיות המיוצגות במאמר זה יש עניין רב בהבטחת הצלחת המשימות (mission assurance) של המעבדות מבחינת ביצועים, איכות, עמידה בתקציבים ולוחות זמנים, כאשר מעבדות אלה עוסקות בעיקר במחקר ופיתוח של תכניות הגרעין של ארה"ב. לשתי המעבדות יש פתרונות דומים ושונים להבטחת הצלחת המשימה. מבחינת הדימיון - בשתי המעבדות יש חוסר הבנה של הנדסת המערכות ברמת ההנהלה הבכירה, לא ניתן לוותר על דרישות ליבה אבל ניתן לתפור דרישות בהתבסס על שיקולי סיכונים ועוד. מבחינת השוני בין המעבדות, בסנדיה היישום הוא ברמת התכנית ואילו בלוס אלמוס היישום הוא ברמת הארגון כולו. התובנות המשותפות לגבי הדרך לשילוב הן הבנה עמוקה ומשותפת לתועלות של השילוב, יצירה של סביבה ארגונית משלבת דיסיפלינות מקצועיות, איתור הגורמים המשפיעים על הצלחת השילוב וגיוסם למשימה זו, ואיתור בעלי העניין בשילוב ומתן מענה הולם לסיבת התמיכה שלהם בשילוב. המרצות ממליצות לקרוא את הספר הבא כדי להעמיק בנושא הרצאתם:

Rebentisch, E. (Editor-in-Chief), 2017, 'Integrating Program Management and Systems Engineering', John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, NJ, USA.

Agile Systems Engineering Life Cycle Model for Mixed Discipline Engineering. Rick Dove, Paradigm Shift International, Bill Schindel, ICTT Systems Sciences

נושא הנדסת מערכות אגילית הוא פופולארי בכנסים של אינקוסי, ושני המרצים של מאמר/הרצאה זו הם מובילים

של קבוצת העבודה של אינקוסי בנושא כבר מספר שנים. במסגרת זו הם מפתחים מתודולוגיות ומדדים להנדסת מערכות אגיליות. בהרצאה זו הם מסכמים כמה ממצאים ותובנות מקבוצת העבודה באינקוסי ולקחים מעבודה עם חברות, בעיקר אמריקאיות. הממצאים מאפיינים את מרחב הבעיה, את מודל מחזור החיים, את העקרונות התפעוליים, את המערכות שנכון לנהל בו זמנית, ואת הקונספט של חוב האינפורמציה בתהליכי הפיתוח והנדסה. לדעתנו, לכל אלו המיישמים הנדסת מערכות אגיליות נכון לעיין במאמר מקיף זה, ובמאמרים נוספים של הכותבים.

Use of SysML for the creation of FMEAs for Reliability, Safety, and Cybersecurity for Critical Infrastructure. Myron Hecht and David Baum, The Aerospace Corporation

בהרצאה זו מוצגת שיטה לניתוח אופני כשל של מערכות (FMEA) מתוך התיאור ב SysML של המערכת. היתרונות של שיטה זו הם ביישום המערכתי של ניתוח אופני הכשל, אפשרויות יישום אפקטים של הכשלים במגוון רמות וגם ניתוח שלם יותר של מסלולי התפתחות של הכשלים. השיטה מוצעת גם לניתוחי בטיחות והבטחת סייבר. בהרצאה גם מודגם יישום השיטה על מערכת אספקת מים. ראוי שמהנדסי אמינות, בטיחות וסייבר יבחנו את השיטה המוצעת לצורך יישום בפועל. זה נראה חיבור מעניין בין הנדסת RAMS לבין MBSE. נקודות לבחינה: שילוב כשלי תוכנה וגם כשלים מערכתיים שלא נובעים רק מתקלות ברכיבים.

The Digital Twin Throughout the SE Lifecycle. Matthew Hause, PTC

התאום הדיגיטאלי (Digital Twin) הוא גישה מקובלת כיום במיוחד במסגרת הטרנספורמציה הדיגיטאלית - המהפכה התעשייתית הרביעית. בהרצאה זו מוצג יישום הגישה לאורך כל מחזור החיים של הנדסת המערכות, כאשר בכל שלב מוצג תיאור המערכת האמיתית באמצעות CAD/CAM, היישום המערכתי באמצעות MBSE, ותיאור דיאגרמת הבלוקים של המערכת. מוצגות כמה דוגמאות ליישום התאום הדיגיטאלי בפיתוח והנדסת מערכות ביישום התפעול המערכתי.

Systems Engineering: Transforming Digital Transformation. Troy A. Peterson, System Strategy, Inc.

אחת המטרות החשובות של INCOSE הוא טרנספורמציה של הנדסת מערכות מהתבססות על מסמכים להתבססות על מודלים. ההרצאה כוללת תיאור הצעדים הקונקרטיים שנוקטת INCOSE ליישום MBSE בכל הפעילויות שלה (כנסים, הדרכות, קבוצות עבודה), המוצרים שלה (כלים, הסמכות, מודל היכולות, מדריך הנדסת מערכות). תקשור היבטי יישום MBSE עם כל בעלי העניין - חברות תעשייתיות וחברות שירותים, מומחים ויועצים, אקדמיה ועוד. כמו כן, מוצע בהרצאה זו ליצור תיאום עם שיטות מידול הנדסיות אחרות MBE מבחינת העבודה המשותפת ותהליכים מתואמים. בנוסף, נכון להעריך את סטטוס יישום MBSE בארגונים וכן את ה ROI בביצועי הארגון.

המהפכה התעשייתית הרביעית הכוללת גם את הטרנספורמציה הדיגיטאלית היא תשתית מצויינת לטרנספורמציה של הנדסת מערכות להיות מבוססת מודלים. למרות המאמצים והצרכים הגוברים והולכים עדיין הטרנספורמציה לא קורית בהיקפים מספיקים. הרצאה זו מציגה היטב את האתגרים, המכשולים והדרכים להתגבר עליהם.

Systems Engineering–Software Engineering Interface for Cyber-Physical Systems. Sarah Sheard, Mike Phillips, Software Engineering Institute, Michael E. Pafford, INCOSE Chesapeake Chapter

מהנדסי מערכות ומהנדסי תוכנה חייבים לעבוד יחד כדי לפתח יחד מערכות מורכבות עתירות תוכנה. במאמר זה ניתנות הנחיות לעבודה משותפת אפקטיבית. מוצגים התפקידים והפעילויות של מהנדסי המערכות ומהנדסי התוכנה בכל שלב של פיתוח ויישום המערכות. מהנדסי התוכנה נדרשים לגבש ארכיטקטורת תוכנה, תכן תוכנה בקונטקסט של המערכת הכוללת. מהנדסי המערכות צריכים ליישם פרקטיקות הנדסת מערכות הכוללות את מהנדסי התוכנה כמשתתפים חיוניים. מוצע שכל דיסציפלינה תלמד שיטות מהדיסציפלינה השניה. למשל, ראוי שמהנדסי המערכות ילמדו תהליכים אגיליים ממהנדסי התוכנה, ומהנדסי התוכנה שילמדו הנדסת דרישות ממהנדסי המערכות. בנוסף, מוצעות שאלות שראוי שכל דיסציפלינה תשאל את הדיסציפלינה השניה בתהליך הפיתוח וההנדסה. נדרש ששתי הדיסציפלינות יבטיחו שהדרישות מטופלות בצורה נכונה. מודגש שמהנדסי המערכות אחראיים לעשות את ה"מטלות האחרות" שלא טופלו במהלך הפיתוח, כגון טיפול בבעיות לא ברורות, טיפול בהתנהגויות לא דטרמיניסטיות והנדסה של התנהגויות מבצצות (emergent behaviors).

Evolution of the Helix Project: From Investigating the Effectiveness of Individual Systems Engineers to Systems Engineering Organizations. Nicole Hutchison, Hoong Yan See Tao, Pamela Burke, Sergio Luna, Araceli Zavala, Suchita Kothari, Shikha Soneji, Jose Ramirez-Marquez, Systems Engineering Research Center (SERC), Stevens Institute of Technology

ב-SERC מקיימים כבר מספר שנים מחקר על האפקטיביות של מהנדסי מערכות. ממצאי המחקר פורסמו בדו"ח שכונה אטלס לפני מספר שנים ועודכן ב-2018:

Hutchison, N., D. Verma, P. Burke, M. Clifford, R. Giffin, S. Luna, and M. Partacz. (2018). "Atlas 1.1: An update to the Theory of Effective Systems Engineers". Hoboken, NJ: Systems Engineering Research Center, Stevens Institute of Technology.

הערה: בזמנו עיינו ולמדנו את דו"ח אטלס, אבל לא התייחסנו לממצאיו בטענה שהם מייצגים תרבות ארגונית אמריקאית.

במחקר המשך שמדווח בהרצאה זו חוקרים את האפקטיביות של הנדסת מערכות בארגונים. נשאלות שלוש שאלות מחקר:

1. כיצד משפיעה האפקטיביות של מהנדסי מערכות על היכולת של הארגון לפתח מערכות מורכבות?
2. אילו גורמים קריטיים בנוסף לאפקטיביות של מהנדסי מערכות, משפיעים על יכולת הנדסת המערכות של הארגון? (כלים, תהליכים, פרקטיקות, מדיניות, תרבות)?
3. כיצד צריכים הגורמים המשפיעים על אפקטיביות מהנדסי המערכות להשתנות כדי לאפשר מגוון גישות להנדסת מערכות?

המחקר הנוכחי נמצא בעיצומו, לכן מוצגות בהרצאה זו רק תובנות ביניים, ובכללן:

- רוב ההתייחסויות של מהנדסי המערכות בארגונים דומות ומתואמות לאלו של עמיתיהם בארגונים
- העמיתים מעריכים יותר גבוה את האפקטיביות של הנדסת מערכות בארגונים מאשר הערכת מהנדסי המערכות

- הנדסת מערכות בארגונים מזוהה עם תהליכים, תהליכים אלו צריכים להיות תפורים ומותאמים לפרויקט כדי שהנדסת המערכות תהיה אפקטיבית
- מן הראוי שהנדסת המערכות בארגונים תכלול יותר מודלים כמותיים וניתוח נתונים כדי שתהיה יותר אפקטיבית. בעניין זה מוזכר יישום MBSE כחינוי לאפקטיביות הנדסת מערכות
- מן הראוי שהנדסת המערכות בארגונים תעודד הנדסת מערכות של משפחות מוצרים במקום פרויקטים בודדים.

Famous Failures Revisited: A Focus on System Integration. James R Armstrong, Stevens Institute of Technology

המרצה ניתח כ-25 כשלים מפורסמים (טיטניק, אפולו 13, אריאן 5, טלסקופ הבל, קולומביה, צ'לנג'ר...) בהיבטים שונים של הנדסת מערכות. בעבודה קודמת הוא ניתח בעיות הנובעות מנושאי פיתוח דרישות, אימות ותיקוף. בעבודה זו הוא מנתח את הכשלים בהיבטי אינטגרציה מערכתית. הלקחים העיקריים שהציג המרצה בהיבטי אינטגרציה כוללים בין השאר:

- בהיבטי ממשקי חומרה נכון להתייחס לא רק לממשקים המידיים ולמצבים נורמליים, אלא גם לממשקים חבויים ומצבי כשל;
- הממשקים עם תוכנה חייבים התייחסות לאפשרויות רבות, מתוכננות ולא מתוכננות;
- בממשקים עם הסביבה יכולות להיות הפתעות לא צפויות וראוי להתייחס אליהן בתכנון האינטגרציה עם הסביבה;
- הממשקים עם האנשים מועדים להרבה פורענויות וכשלים. התכן המערכתי צריך לכלול את האנשים כחלק מהמערכת בגישות ושיטות של HIS;
- היבטים לוגיסטיים הם גם מקור לממשקים מרובים שראוי לתכנן אליהם מראש ולקיים תכן אינטגרטיבי הכולל את ההיבטים הלוגיסטיים;
- היבטי אינטגרציה בייצור לא תמיד מקבלים תשומת לב מספקת מהנדסת המערכות, לכן נכון להשקיע באינטגרציית היבטי היצור וגם לבדוק אותם בתהליכי האינטגרציה;
- שינויים מחייבים ניהול שינויים ותצורה קפדני הכולל התייחסות לשינויים פנימיים וחיצוניים;
- חוק Conway מציין שמערכות מתוכננות בדומה למבנה הארגוני של צוותי התכנון. יש לשים לב לחוק זה אם הוא גורם לכשלים באינטגרציה המערכתית עקב מבנה ארגוני לא מתאים ו/או מערכות יחסים לא מתאימות המשליכות על התכנון המערכתי.

A Practical Study on How Proactive Quality Approach Can Improve System Development Process to Ensure System-Effectiveness and Performance. Haokar Aziz, Rolf Qvenild, University of South-Eastern Norway

בהרצאה מציגים המרצים מחקר מעשי בחברה מסוימת המפתחת מתקני טיפול במים ומפעילה בתהליך הפיתוח תהליכי הנדסת מערכות. בתהליך הפיתוח הזה נוצרו מתקנים עם כשלים מהותיים. לכן, הוחלט ליישם תהליכי

איכות פרואקטיביים כדי לשפר את תהליכי הפיתוח ואת תוצרי הפיתוח. יישום תהליכי האיכות הפרואקטיביים לווה במחקר שמדווח בהרצאה זו. הצוות בחן מספר גישות איכות פרואקטיביות, והחליט ליישם תהליכי QFD ותהליכי הערכת סיכונים. לפי ממצאי מחקר מלווה זה, אכן התהליכים והמוצרים השתפרו.

Can We Use Wisdom-of-the-Crowd to Assess Risk of Systems Engineering Failures? Georgios Georgalis, Karen Marais, Purdue University

השימוש בחוכמת ההמונים עדיין לא נפוץ בקרב מהנדסי המערכות. בהרצאה זו מוצג מחקר ראשוני על האפקטיביות של חוכמת ההמונים בהערכת תקציב, לוח זמנים וביצועים טכניים במהלך הערכת סיכונים בהנדסת מערכות וניהול פרויקטים. לפי ממצאי מחקר זה עולה שהערכת צוות (חוכמת המונים = WoC) טובה יותר מהערכת היחידים. נראה שיש מקום להרחיב ולהעמיק בשימוש בחוכמת ההמונים בהנדסת מערכות.

12 Principles for SE Leaders. Duncan Kemp, UK Ministry of Defence, Meaghan O'Neil, Bigfoot Biomedical

הרצאה זו מבוססת על ניסיונם של המרצים בגיבוש מערך הנדסת מערכות התורם להצלחת הארגון. גיבוש המערך כולל בניית יכולות הנדסת מערכות, גיבוש והבניית התרבות הארגונית הנדרשת, בניית צוות הנדסת המערכות, שילוב הצוות בעבודה אפקטיבית, בחירה ויישום שיטות וכלים מתאימים. בבניית צוות הנדסת המערכות הודגשו 12 עקרונות ויכולות מנהיגות של הצוות ואנשיו:

1. צרכי הנדסת המערכות מותאמים לצרכי העסק;
2. יכולות הנדסת המערכות צריכות להיות מאוזנות בהיבטי תרבות, מבנה, תהליכים ואנשים;
3. התרבות הנדרשת מוגדרת במושגי אמונות משותפות של חברי הצוות;
4. בניית התרבות הנדרשת על ידי גיוס אנשים המתאימים לתרבות והנהגת מדדים, תגמולים ותקשורת מתאימים;
5. יצירת תקשורת אחידה ומתמידה על ערכי התרבות באמצעות שיתוף בסיפורים רלוונטיים וחוויות מעצבות;
6. החלטה על מבנה והרכב צוות הנדסת מערכות וצוות מוביל;
7. התאמת תהליכי הנדסת מערכות לנושאים ארגוניים רחבים;
8. תפירת מוצרי הנדסת מערכות על ידי יישום גישות הנדסת מערכות לכל מטלה: איתור בעלי עניין, הגדרת דרישות, הערכת הצלחה;
9. תכנון שלב התנסות לפני כל תכנון כדי לאתר צרכי תפירה;
10. שימוש במודלים מתקדמים לעבודת צוות (כגון High Energy Team) כדי לסייע בהנחיית אנשי הצוות במעשיהם;
11. שיטות וכלים הם קריטיים, אבל הם רק אמצעים להשגת המטרה. התמקדות במטרה הסופית ויישום הפיתרון הפשוט ביותר הם המפתח;

Experience from a Program for Accelerating the Creation of T-shaped Technical Leaders. Linda Cederberg, Johanna Wallén Axehill, Erik Herzog, SAAB Aeronautics

בהרצאה זו תוארה תכנית מואצת להכשרת מובילים טכניים (=מהנדסי מערכות) בחברת המטוסים סאאב המכשירה מהנדסים במודל T מורחב. מודל T מורחב כולל הכשרה להבנה ותקשורת במספר דיסציפלינות ובמספר מערכות, הכשרה ביכולות מערכתיות מגוונות וחוצות גבולות (לא רק הנדסת מערכות...), והכשרה ביכולות אישיות מגוונות. התכנית אורכת 2.5 שנים וכוללת קורסים, חניכה על ידי מהנדסי מערכות בכירים, רוטציה כל 3-6 חודשים בעבודות להתנסות מעשית, ביקורים וסמינרים בתעשייה, השתתפות בכנסים ותערוכות, ומטלות קבוצתיות. הרצאה זו מבוססת על ממצאי שלושה סבבים של התכנית-2009, 2012, 2016. נאסף מידע רב ומשוב מפורט מהמשתתפים, מהארגון ומהמנטורים. בסך הכל, התכנית נחשבת להצלחה. יש גם המלצות לשיפור, כמו הצגת יישומים מוצלחים מהעולם ויצירת לימודי המשך של בוגרי התכנית.

The State of Systems Engineering Technical Practice versus Discipline: A Survey of INCOSE Chapter Attendees in North America. Charles Wasson, Wasson Strategics, LLC

הרצאה זו כללה סיכום עבודת מחקר הערכה של המרצה על הסטטוס העכשווי של יישום הנדסת מערכות לעומת הסטטוס המצופה (כפי שמתבטא במסמכי הדיסציפלינה של הנדסת מערכות). ההערכה בוצעה באמצעות סקר עם מומחי הנדסת מערכות המוסמכים לאחת מרמות ההסמכה של INCOSE. המסקנות העיקריות בעבודה: נראה שמהנדסי המערכות המומחים הם ברמה נאותה בהיבטים הניהוליים והתהליכיים של הנדסת מערכות על חשבון יכולות הליבה הטכניות והיכולות הטכניות בהיבטי ביצועי העלות והלו"ז של המערכות שבאחריותם. בנוסף, נמצא שמהנדסי מערכות המגלים רמה גבוהה בדיסציפלינה ההנדסית שלהם, לאו דווקא מציגים רמה דומה בתפקידם כמהנדסי מערכות. לדעת המרצה המצב הזה הוא תוצאה של חינוך מהנדסי מערכות, תקני הנדסת מערכות וכן של פעילות האיגודים המקצועיים בתחום. המרצה מציע את הרצאתו "כקריאת השכמה" בנושא, על מנת להפוך את הנדסת המערכות לדיסציפלינה הנדסית ומדעית.

Professional Competencies – the soft skills to give Systems Engineers a hard edge. Richard Beasley, Andrew C. Pickard, Rolls-Royce plc, Don S. Gelosh, Worcester Polytechnic Institute

נושא הכישורים הרכים של מהנדסי מערכות עולה שוב ושוב בכנסים של INCOSE. בהרצאה זו ניתן תיאור נרחב של הכישורים הרכים הנחוצים למהנדסי מערכות לעשייה הטכנית והניהולית שלהם. הכישורים המפורטים בהרצאה זו הם: תקשורת בין אישית, אתיקה מקצועית, מנהיגות טכנית, משא ומתן, דינמיקת צוות, תפעול ותמיכה באנשים, אינטליגנציה רגשית, חניכה ומנטורינג. ניתן פירוט איך הכישורים הרכים הספציפיים תומכים בתהליכי הנדסת מערכות ספציפיים, כגון אבחון צרכי בעלי עניין, ניתוח המשימה, הגדרת ארכיטקטורה ועוד. בנוסף, מתארים המרצים משמעויות של חוסר כישורים רכים למהנדס המערכות. מוצע לכלול את הכישורים הרכים במסגרת הכוללת של הכישורים של מהנדסי המערכות בהדרכות, הכשרות וחינוך של מהנדסי מערכות.

Recommended Best Practices based on MBSE Pilot Projects. Ryan A. Noguchi, The Aerospace Corporation

למרות המאמצים המתמשכים ביישום והטמעת MBSE, עדיין מאמצי היישום הם בתחילתם. המרצה מציג תובנות מכמה יישומי חלוץ של MBSE בפרויקטים וארגונים. התובנות המוצגות במאמר הן ארבעה תחומים: הבנת מרחב הבעיה לפיתרון, פרקטיקות אפשריות למידול מערכתי, כלים ותשתיות, אתגרי תרבות ארגונית והיבטי הנדסת אנוש. לדעתנו ניתן ללמוד מהתובנות המוצגות במאמר זה כאשר מתניעים יישום MBSE.

Frenemies: OPM and SysML Together in an MBSE Model. Matthew C. Hause, PTC, Robert L. Day, John Deere

OPM ו-SysML נחשבות כשתי שפות שונות ליישום MBSE. לכן ברוב המסמכים המוכרים, כוללים השוואה ביניהם. בהרצאה זו המרצים מציעים סינרגיה בין שתי השפות ביצירת MBSE. מציעים להתחיל את המידול ב OPML, וזאת לאור העובדה שניתן ללמוד וליישם OPM מהר וביעילות במיוחד בשלבים המוקדמים של מחזור חיי המערכת. בהמשך, ניתן להשתמש בתוצאות מידול זה לבניית המודל ב SysML. מודגמת עבודה בפרויקט רחב היקף בחברת John Deere בה נעשה מימוש של שיטה זו בתוכנת PTC.

סיכום

בכנס השנה הוצג מגוון של שיטות והתנסויות בהנדסת מערכות ממגוון חברות ומדינות. הנושאים הפופולריים בכנס זה היו MBSE, גישות אגיליות, יישום גישות דיגיטליות (כגון תאום דיגיטלי), מנהיגות מהנדסי מערכות, הכשרת מהנדסי מערכות, ממשקי הנדסת מערכות והנדסת תוכנה, שילוב הנדסת מערכות וניהול פרויקטים. ההרצאות שנבחרו לסיכום תמציתי ולהצגה כאן על פי נושאי ההרצאות ועל פי שמות המרצים. מי שמתעניין באחת ההרצאות באופן ספציפי יכול לפנות לאביגדור זוננשיין, אשר ינסה להעביר לו את תדפיס המאמר. בנוסף, לחברי INCOSE העולמי יש גישה לאתר CONNECT בו נכלל PROCEEDING של כל ההרצאות. מומלץ!

הנציגות הישראלית כללה ככל הנראה שמונה אנשי רפאל, מהנדסת מערכות מאלביט ופרופי דב דורי מהטכניון.

לסיום משמח, האיגוד הישראלי להנדסת מערכות שלנו INCOSE_IL זכה השנה במדליית כסף (ר' תמונה), והיה לי הכבוד לייצג אותנו בטקס קבלת ההוקרה.

תודה לד"ר אביגדור זוננשיין ממרכז גורדון להנדסת מערכות בטכניון על הסיוע בכתבת דו"ח זה.



מדליית כסף לאיגוד הישראלי להנדסת מערכות

הנדסת מערכות משולבות אנשים

סיכום יום עיון הנדסת מערכות על שם ד"ר זאב בונן, 18.6.2019

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

avigdorz100@gmail.com

מבוא

יום העיון החצי שנתי של מרכז גורדון התמקד הפעם בהנדסת מערכות מתקדמות הממוקדת על שילוב אנשים בעידן הטכנולוגיות החדשניות: HSI – Human System Integration. יום העיון התקיים בטכניון והשתתפו בו למעלה מ-150 מהנדסי מערכות ומנהלי פרויקטים מהתעשייה וממערכת הביטחון. אלמנתו של זאב, שוש, נשאה דברים לזכרו וציינה את חשיבות הנצחתו במסגרת מרכז גורדון בטכניון. מסורת ימי העיון על שם זאב בונן מתקיימת כבר מ-2011.

בפתיחה ברך פרופ' גיל יודלביץ, מ"מ ראש מרכז גורדון, אשר ציין את פועלו של זאב בתחומי תכן מערכת.

בשם האיגוד הישראלי להנדסת מערכות ואילטס, השותפים לארגון ימי עיון אלו, ברך ד"ר רם אורון, נשיא האיגוד. רם תיאר פעילות התנדבותית של חברי האיגוד בשותפות עם תעשידת לחינוך תלמידים בבית הספר הריאלי לנהדסת מערכות.

ד"ר נירית גביש סייעה בגיבוש וארגון יום עיון זה, והנחתה את מחצית היום והפאנל.

Flextech - אינטגרציית מערכות עם אנשים לגמישות לעומת קשיחות

פרופ' Guy Boy מ-Paris Saclay ESTIA ומכון ESTIA הציג גישות חדשות שפיתח במשך השנים בנאס"א ובאירבס לשילוב מושכל של מערכות ואנשים בסביבה טכנולוגית חדשנית ומתקדמת. למרות שעיקר ניסיונו של פרופ' בוי הוא בתעשיית המטוסים והחלל, הוא מעריך שגישותיו ישימות גם ליתר תחומי המערכות, כגון רכב, רכבות ותחבורה, רפואה ובריאות, נפט וגז, תעשיית הגרעין ועוד.

המגמות העיקריות שהוא ממליץ עליהן:

מאוטומציה לאוטונומיה, מקשיחות לגמישות. כדי ליישם מגמות אלו מוצע לעבור למושג המוחשיות (tangibility): משהו הוא מוחשי אם אנחנו יכולים לתפוש אותו במובן הפיסיקאלי, ובמובן הצורני.

המדדים של מוחשיות הם:

- **מורכבות (complexity)**: הבנת המורכבות של המערכת, הבנה כיצד להתמודד עם המורכבות, פישוט מערכות, צמצום מסובכות במערכות, יצירת הכרות (familiarity) וניסיון עם המערכות;
- **גמישות (flexibility)**: התמודדות באמצעות פתרון בעיות ולא באמצעות נהלים;

- **בשלות (maturity):** הבשלת המערכות בהיבטים השונים, כולל תפעול ושימוש;
- **יציבות (stability):** ייצוב המערכות בהיבטים השונים;
- **קיימות (sustainability):** הענקת היבטי קיימות למערכות.

על מנת לפתח ולתכנן מערכות עם רמת מוחשיות גבוהה, נדרש להרבות במודלים וסימולציות, להרבות בדגמים (באמצעות מדפסות תלת מימד), להרבות בסימולציות של אנשים בחוג (HITLS = Human-In-The-Loop Simulation) כלומר ה-HSI החדש מתבסס על הנדסה מבוססת טכנולוגיה, כדי להביא מערכות אינטראקטיביות מוחשיות.

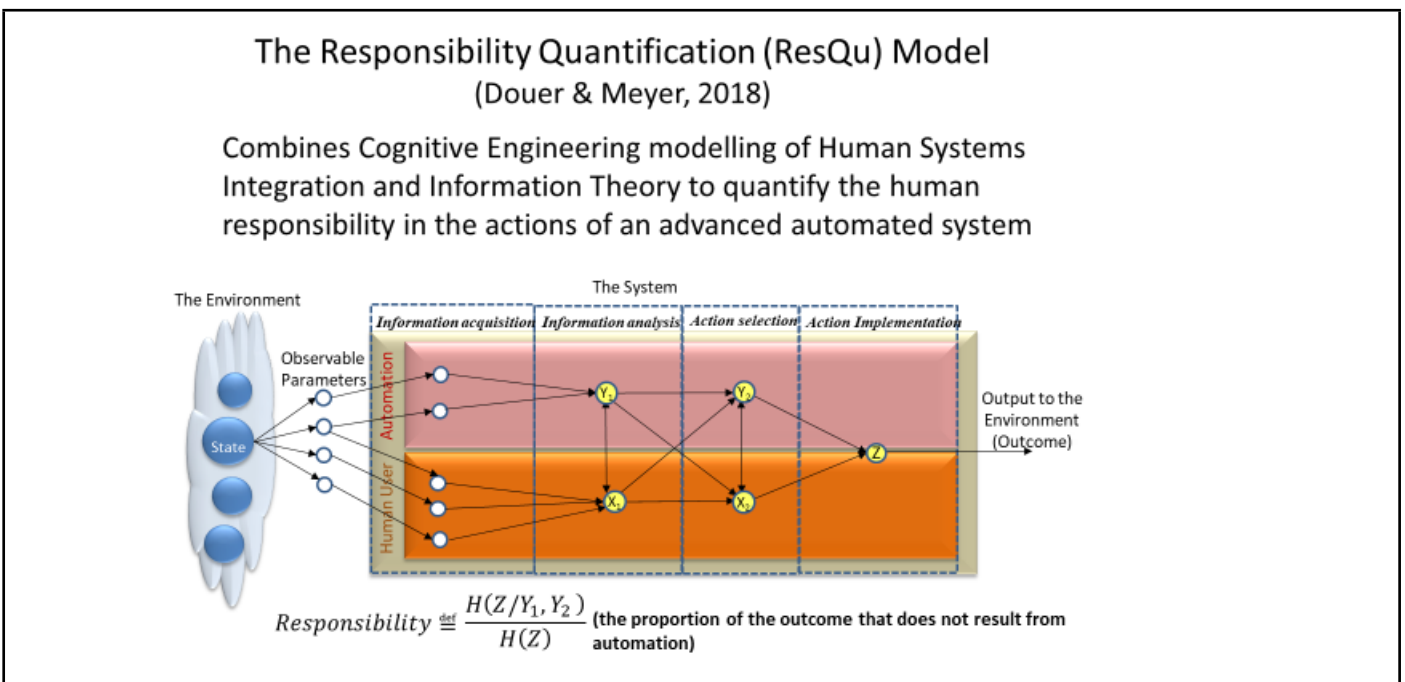
מערכות, פרויקטים ואנשים

פרופ' גיל יודלביץ מהטכניון הציג בצורה סדורה מערכות, פרויקטים ואנשים המעורבים בתכן המערכות ובניהול הפרויקטים ואחר כך בתפעול ושימוש במערכות בפועל. תואר כיצד לזהות את בעלי העניין במערכות, בפרויקטים ובשניהם. הזיהוי כולל הערכת רמת המחוייבות של בעלי העניין בפרויקט ובמערכות ורמת הזיהוי שלנו של בעלי העניין. רשימת בעלי עניין אפשריים: כל צוות הפרויקט, קבלני משנה וספקים בתוך הארגון ומחוצה לו, ההנהלה הבכירה, לקוחות, מזמינים, משקיעים, מפעילים, משתמשים, רשויות, רגולטורים, מתחרים ועוד.

מן הראוי לדרג את בעלי העניין מבחינת ההשפעה שלהם, המחוייבות שלהם, מידת הזיהוי שלהם, ואילו אתגרים הם מציבים. אחד האתגרים שצויינו הוא איפיון ומידול התנהגות משתמשים ומפעילים. ניתנו כמה דוגמאות מתחומי הנהיגה ברכב, ובתחום תפעול מערכות לחימה.

שילוב אנשים לתוך מערכות עם אוטומציה מתקדמת

פרופ' יואכים מאייר מאוניברסיטת ת"א תיאר מספר מחקרים עם אנשיו על שילוב אנשים במערכות עם אוטומציה מתקדמת וחכמה, כולל AI. האנשים האלו יכולים להיות מפעילים, משתמשים, מנהלים, לקוחות ורגולטורים. המעורבות של האנשים יכולה להיות בקבלת החלטות, בבקרה על קבלת החלטות, במעורבות משמעותית כדי שהאנשים יקחו אחריות על ביצועי המערכות. הוצגו ממצאי המחקרים המדגימים כל אחת מאפשרויות מודלי המעורבות של האנשים במערכות. בעבודה אחת תואר תהליך כימות מידת האחריות של האנשים במערכת, כמודגם בתרשים הבא:



מהממצאים עולה, שככל שהאוטומציה משתפרת, התרומה של האנשים יורדת עד שהיא מתאפסת.

תכן האינטראקציה עם מערכות אוטונומיות

פרופ' טל אורן-גלעד, מאוניברסיטת בן גוריון בנגב, תיארה תפישות וניסויים בתכן האינטראקציה של אנשים עם מערכות אוטונומיות. מערכות אוטונומיות קיימות היום בכל מגזרי החברה המתקדמת (SOCEITY 5.0): תנועה ותחבורה, ערים חכמות, שירותים ציבוריים, תשתיות, בנקאות (פינטק וחברה ללא מזומנים), רפואה ובריאות ועוד... בכל סביבה האתגרים הם שונים: במקום העבודה נוצרים תפקידים חדשים, משימות חדשות וכלים חדשים, יותר עבודה באזורים מבוקרים, יותר עבודה משותפת. במרחב הציבורי נפגשים עם יותר טכנולוגיות לא מוכרות. בבית יש שיפור של תנאי החיים, אבל יש חוסר בתמיכה טכנית. האתגרים בכל הסביבות הם: תיאום מודלים מנטליים משותפים ויצירת הבנת הכוונות והקונטקסט, הבטחת מודעות מצבית, יכולת לטפל בבעיות, כיוול האמון.

תהליך תכן האינטראקציה מבוסס על תיאוריות ממדעי התכן, כולל שלבים איטראטיביים, מנצל אנליזות, משתמש בדגמים לצורך פיתוח קונספטים ומערב משתמשים בפועל ומשתמשים בפוטנציה. תהליכי כאלו הודגמו על כמה פרויקטים בשטח ובמעבדה.

CORTANA - הסייעת הדיגיטלית החכמה של מיקרוסופט לחיבור אנשים

ערן יריב, מנהל קבוצת ההנדסה של צוות קורטנה במיקרוסופט ישראל, הציג את המסע לפיתוח קורטנה, והציג את היכולות של קורטנה לסייע בניהול סדר היום שלנו. האתגרים בהמשך הפיתוח הם: שמירה על פרטיות בהתאם לתקנות האירופאיות, השגת האמון של המשתמשים ושמירתו לאורך זמן. ככל הנראה ניתן להתאים את קורטנה כך שתסייע גם לקהילת המהנדסים.

גוף-תודעה-טכנולוגיה: איך מציאות מדומה כותבת מחדש את הפסיכולוגיה של בן האנוש

דר' רותם בנט מאוניברסיטת חיפה הציג תפישות וממצאי ניסויים לגבי האופן בו המוח חושב ואיך התודעה מתגבשת בסביבת טכנולוגיות מתקדמות, כגון מציאות מדומה (VR), מציאות רבודה (AR) ומציאות מעורבת (MR). המוח האנושי הוא מוח ביאסיאני שהפריור שלו זה האמונות, הראיות מתקבלות באמצעות החושים והפוסטריור הוא תפישת המציאות אותה חווה כביכול הגוף. כאשר משתמשים במציאות מדומה הראיות מושפעות מהמציאות המדומה ומכאן גם תפישת המציאות שלנו משתנה. רותם הדגים כיצד טכנולוגיות אלו יכולות לשפר קוגניציה בתפעול ציוד. לפי ממצאי המחקרים של הצוות בהובלת רותם, ניתן לאפיין מודלים לפעילות המוח בסביבה מדומה או רבודה, ובמכאן להדגים אפשרויות יישום טכנולוגיות אלו בתפעול מערכות. בנוסף, הוצגה הדגמה של איסוף מידע מכל הצורות מפעילות אנשים במרחב הציבורי על ידי סנסורים מגוונים, ובאמצעות ניתוח נתוני עתק (Big Data) לנתח התנהגות אנשים בסביבה הטבעית, (ML) ולאתר תבניות התנהגות פיסיות ופסיכולוגיות באמצעות למידת מכונה. רותם רואה בעתיד אפשרות לימוד קשרי מוח-עולם-מוח על ידי הטכנולוגיות המתקדמות.

הצד האפור של הנדסת מערכות

חנן סילוורמן, סמנכ"ל תוכניות בפלסן סאסא, הציג הערכה שלו שבחברות המפתחות מערכות ההיבטים של הנדסת אמינות, הנדסת איכות והנדסת ILS אינם משולבים היטב מתחילת התכן המערכת. כתוצאה מכך המערכות מסופקות ללקוחות ברמות אמינות, איכות ותחזוקתיות לא מספקות ונדרש "מועד ב" שעולה זמן רב, עלויות נוספות

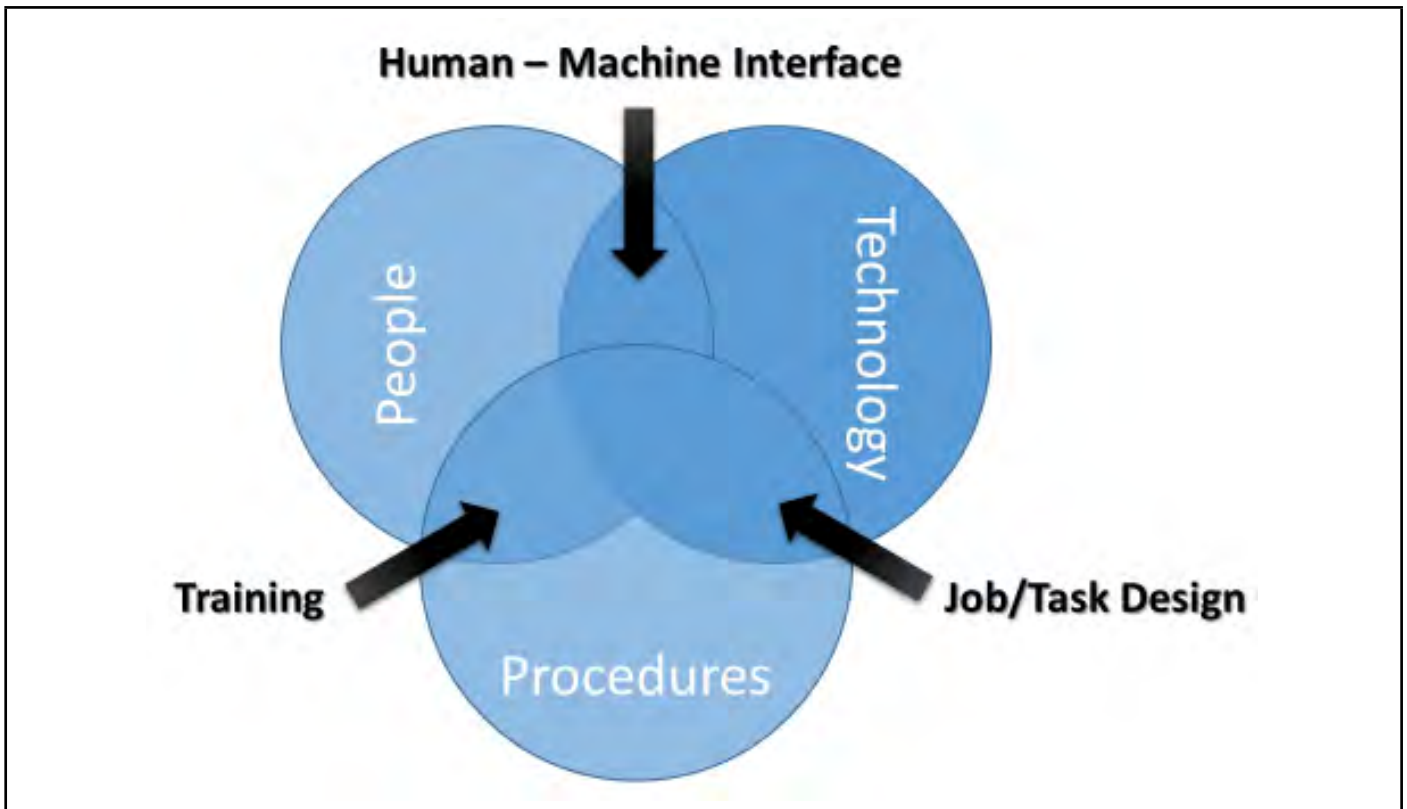
ופגיעה במוניטין.

לפי התגובות שהתקבלו מהקהל, נראה שהמצב שמתאר חנן אינו נפוץ ברוב החברות, כל שכן בחברות הגדולות. הייתה הסכמה שהיבטי אמינות, איכות ו-IILS הם חלק בלתי נפרד וחלק חשוב של הנדסת מערכות נכונה ואפקטיבית.

בעניין שילוב הנדסת גורמי אנוש ציין חנן, שמניסיונו היבטי הנדסת אנוש משולבים היטב בתוך המערכת.

HSI: שיפור השילוב של הנדסת גורמי אנוש או הזדמנות ליצירת דיסציפלינה חדשה

פרופ' אבי פרוש מהטכניון הציג את התפתחות השילוב של הנדסת גורמי אנוש בהנדסת מערכות. בשלב הנוכחי השילוב הוא של הנדסה ממוקדת אנוש (HCD) עם הנדסת מערכות, אבל כל דיסציפלינה חיה ומתפתחת בתוך עצמה. למעשה זהו מצב של מולטידיסציפלינריות ובמקומות שיש שילוב יש אינטרדיסציפלינריות. אבל אז בעיקר מטופל הממשק בין המערכות לאנשים, כמודגם בתרשים הבא:



אבי מציע לעבור לחשיבה ולגישה טרנס-דיסציפלינריות, המחייבות תחילה חשיבה מערכתית הוליסטית, הכוללת את האנשים. גישה טרנס-דיסציפלינרית כזו יכולה להוביל לגישה חדשה ופיתוח דיסציפלינה חדשה: HSI. דיסציפלינה זו תעודד יותר סינתזה בהמשך לאנליזות ואינטגרציות שמבוצעות כיום.

פאנל סיכום

בפאנל הסיכום השתתפו כל המרצים ביום העיון, והוא הונחה על ידי ד"ר נירית גביש מאורט בראודה. נושא הפאנל היה: האם דרושה ב-HSI התפתחות אבולוציונית או מהפיכה, למשל בדמות של דיסציפלינה חדשה. בסבב הראשון של הפאנל הביעו רוב הפאנליסטים דעה שהתפתחות של HSI כיום מספקת. אולם לאחר שהמנחה גירתה את הפ' נליסטים באמירה "אם הכל בסדר אז אנחנו יכולים לסגור את פעילות קבוצת העבודה לפיתוח העתיד של HSI", תמכו הפאנליסטים בעבודת הקבוצה כדי לפתח חשיבה על HSI חדשה, במיוחד לאור ההתפתחויות הטכנולוגיות.

מעבדה ניידת להנדסת אנוש

אורן מוזיקנט ויותם סהר, חוקרי הנדסת אנוש באוניברסיטת אריאל, ייזמו והציבו ביום העיון רכב נוסעים כמעבדה להנדסת אנוש עם חיישנים פיזיקליים ותחושתיים של הנהג, אשר מנטרים את הנהג בזמן נהיגה. משתתפי יום העיון ביקרו ברכב וחוו את החוויה.

סיכום

יום העיון הציג מגוון תובנות ושיטות על אינטגרציה של מערכות מורכבות ואנשים הן מבחינה של מחקרים ותיאוריות והן מבחינת יישום בפועל בתהליכי הנדסת מערכות בחברות ופרויקטים.

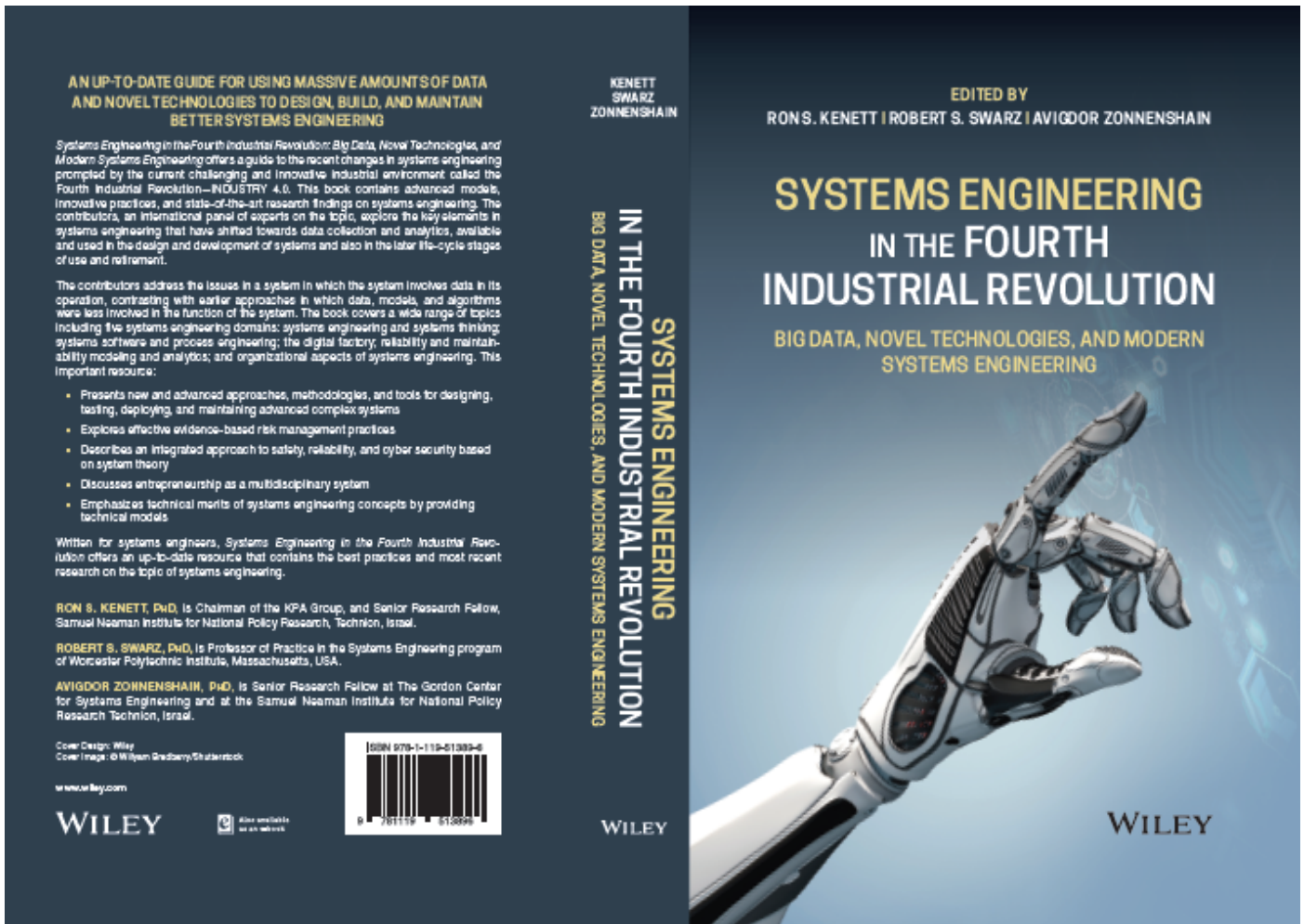
- המסקנות העיקריות מיום עיון זה:
 - HSI היא דיסציפלינה חיונית לשילוב בהנדסת מערכות, אבל לצערנו מיושמת מאוחר וחלקית בפרויקטים;
 - הוצגו גישות ופרקטיקות ליישום מעשי של HSI בפרויקטים של פיתוח מערכות מורכבות;
 - התקיים דיון ער על הצורך בפיתוח HSI כדיסציפלינה מיוחדת לפיתוח והנדסה של מערכות מורכבות הכור ללות אנשים. פיתוח דיסיפלינה זו בארץ יימשך במסגרת קבוצת העבודה (מי שמעוניין מוזמן להשתתף), ובמסגרת בקבוצת העבודה HSI ב-INCOSSE העולמית, בראשות Guy Boy;
 - המהפיכה התעשייתית הרביעית והחדשנות שבה מהווה גם היא תשתית למהפיכה נדרשת בהנדסת מערכות וב-HSI.
- המשוב על יום העיון היה חיובי ועודד להקדיש את ימי העיון האלו לתחומים אתגריים וחדשניים בהנדסת מערכות.

הנדסת מערכות במהפיכה התעשייתית הרביעית

ספר חדש יצא לאור

עורכים: פרופ' רון קנת, KPA, מוסד שמואל נאמן למחקרי מדיניות לאומית, הטכניון,

פרופ' רוברט שוורץ, WPI, ד"ר אביגדור זוננשניין, מרכז גור דון להנדסת מערכות ומוסד שמואל נאמן, הטכניון



ספר חדש זה יצא לאור בינואר 2020 לאור בהוצאת John Wiley and Sons (להלן קישור). הספר עוסק בנושאים של הנדסת מערכות מתקדמת כמענה לאתגרים וההזדמנויות של המהפיכה התעשייתית הרביעית.

<https://www.wiley.com/en-us/Systems+Engineering+in+the+Fourth+Industrial+Revolution%3A+Big+Data%2C+Novel+Technologies%2C+and+Modern+Systems+Engineering-p-9781119513896>

המהפיכה התעשייתית הרביעית כוללת, בין השאר, דיגיטציה נרחבת, מידע מרובה המנותח בכלים מהירים ומתקדמים, רובוטיקה מגוונת וחכמה ועוד, ומציבה להנדסת המערכות אפשרויות מגוונות לתת מענה לאתגריה ולנצל את ההזדמנויות שהיא מציגה, בדמות טכנולוגיות מתקדמות וחכמות, כגון הדפסות תלת מימד, בינה מלאכותית, אינטרנט של הדברים, אנליטיקה של מידע מרובה, ועוד. ההזדמנויות הן בתחומי היצור המתקדם, בתחזוקה חזויה, בתפעול ממוחשב מבוסס נתונים ובניהול חכם מבוסס נתונים ומונע עובדות.

נושא הנדסת מערכות מתקדמת בעידן המהפיכה התעשייתית הרביעית מוצג בספר זה על ידי 30 מומחים מהארץ ומהעולם במגוון נושאים ותחומים. הספר מחולק ל 22 פרקים המשתייכים לחמישה תחומים מקצועיים:

1. הנדסת מערכות וחשיבה מערכתית יישומית;
2. הנדסת מערכת תוכנה ותהליכים;
3. המפעל הדיגיטאלי;
4. אנליטיקה מתקדמת של אמינות ותחזוקתיות המבוססת על מודלים וסימולציות;
5. היבטים אירגוניים של הנדסת מערכות.

הספר מציג מסגרת להנדסת מערכות מתקדמת המתמודדת עם אתגרי מערכות מורכבות עתירות תוכנה בתחומי תוכן חדשים ומגוונים שבהם יש שימוש מועט בהנדסת מערכות, כגון ייצור, בריאות ומדעי החיים, מזון וחקלאות, תקשורת ובידור, תחבורה חכמה וערים חכמות.

הספר מיועד למהנדסים המתמודדים עם אתגרי והזדמנויות המחר, ללימוד באקדמיה ובמסגרות הכשרה מתקדמות נוספות, וכבסיס למחקרים המעצבים את הנדסת המערכות של המחר. אנו שואפים להפוך ולהציע ספר זה כספר לימוד (textbook) בכל המסגרות בהן מלמדים ומכשירים מהנדסי מערכות בארץ ובעולם.

לסיכום, הספר משמש כקריאה לפעולה ולשינוי הדרך שבה אנחנו מיישמים הנדסת מערכות, כדי להתמודד עם האתגרים וההזדמנויות הטכנולוגיות, החברתיות והסביבתיות שהמהפיכה התעשייתית הרביעית מציבה בפנינו.

סקירה רחבה יותר של תכני הספר ודעות של אנשי מקצוע מובאות בחלקו האנגלי של העיתון.

קריאה מהנה ולימוד משכיל.

שלכם,

רון קנת, בוב שוורץ, אביגדור זוננשיין.



הרחבה על תכני הספר בחלקו האנגלי של הגיליון





האיגוד הישראלי
להנדסת מערכות

www.incoseil.org

INCOSE_IL: הנפשות הפועלות

לאור סיום התמיכה הכספית של הרשות לחדשנות באילטס, ועל מנת ליצור המשכיות לפעילות האיגוד, נבחרה נשיאות חדשה של נציגים מהתעשייה אשר התארגנו יחד עם קבוצת פעילים שהתנדבה להוביל את האיגוד. לאחר השלמת תהליך שינוי שם העמותה, מול רשם העמותות, נערך לעריכת בחירות ומינוי בעלי תפקידים באופן פורמאלי. בראש הקבוצה עומד רם אורון, נשיא האיגוד, ועל פי בקשתו כתב כל אחד מהם את חזונו ומחויבותו לאיגוד.

רם אורון - אורבוטק

אמשיך לפעול כדי לשמר את הרמה המקצועית הגבוהה של הנדסת המערכות בארץ. זאת על ידי מתן מענה לצרכי קהילת מהנדסי המערכות, העמקת הקשר בין הנדסת מערכות להנדסת תוכנה וארכיטקטורות תוכנה, וחיזוק הנדסת המערכות בחברות קטנות, בינוניות, ובחברות הזנק. נחזק את הקשר בין הגופים השונים: אקדמיה, תעשייה אזרחית וביטחונית, חברות גדולות וקטנות, וארגונים ממשלתיים. כמו כן, נעמיק את החשיפה למקצוע לתלמידים וסטודנטים, על מנת לדאוג לדור העתיד.



פז רוזנברג - HP Indigo

אני עוסק שנים רבות בפיתוח חומרת אלקטרוניקה ובתכנון ועבודה מול מערכות מורכבות בפרויקטים מולטי דיסיפלינריים ואני חווה יום יום את הצורך וההכרח שבהנדסת המערכות וכן את המחירים של היעדרה. המטרה שלי באיגוד היא להגדיל את החשיפה של התעשייה הישראלית לתחום הנדסת המערכת על ידי הגדלת הקהילה שלנו והבאת התכנים העדכניים ביותר למשתמשי הקצה. אני מאמין בקהילה משותפת ומשתפת כך שהקשיים והתובנות של האחד יהפכו לפריצת דרך אצל האחר.



פרופ' עמיר תומר - האקדמית כנרת

החזון שלי הוא להביא את האיגוד הישראלי להנדסת מערכות לרמה המקצועית הגבוהה ביותר, כיאה לגוף המקשר ומגשר בין אקדמיה לתעשייה. אתרום ככל שאוכל לקידום התכנים המקצועיים של האיגוד – בעיתון, באתר, בהדרכה ובמפגשים – ובמיוחד בכל הקשור לשילוב בין הנדסת מערכות והנדסת תוכנה, לשיפור התכנון והבנייה של מערכות סייבר-פיסיקליות עתירות תוכנה ברמה עולמית.



ד"ר ניב מרדכי - מוטורולה סולושנס

כחבר נשיאות האיגוד אפעל להגברת שיתוף הפעולה בין התעשייה והאקדמיה בישראל ובעולם בתחומי המחקר והיישום של הנדסת מערכות מבוססת מודלים ושילוב מודלים מערכתיים בתהליכי קבלת החלטות ברמה הניהולית, הטכנולוגית וההנדסית. כמו כן אפעל לחיזוק שיתוף הפעולה עם קהילות ההנדסה הדיסציפלינאריות לסוגיהן, דרך חיזוק הקשר עם ארגון IEEE ונציגותו בישראל.



משה סלם - אילטם

לאחר למעלה מ-20 שנה כמנכ"ל אילטם, אני פורש לגמלאות, וכעת, יש לי יותר זמן פנוי לתרום לקהילה.

בדעתי, להתנדב ולקדם את האיגוד הישראלי להנדסת מערכות בתחום הניהולי ובארגון פעילויות האיגוד מתוך מטרה שימשיך להיות הפלטפורמה המקצועית והמובילה בתעשייה הישראלית לשיתוף בידע ולסיעור מוחות עבור מהנדסי המערכות ומהנדסי התוכנה בישראל.



ד"ר אביגדור זוננשיין - מכון גורדון, הטכניון

מזה שנים רבות שאני שותף פעיל לקידום הנדסת מערכות מתקדמת בישראל (בחברות ובאקדמיה), ומפתח את חברי האיגוד בגישות מתקדמות בהנדסת מערכות. תרומתי לאיגוד תתבטא במישורים הבאים:

- פיתוח הקשרים המקצועיים והאנושיים עם INCOSE העולמי וחשיפת חברי האיגוד הישראלי לידע והניסיון הצבור בו. סיוע ביצירת קשרים מקצועיים עם איגודים מקצועיים משיקים;
- פיתוח השותפות עם מרכז גורדון למערכות בטכניון, ופיתוח הקשרים עם המוסדות האקדמיים האחרים העוסקים בהנדסת מערכות (באמצעות יצירת והפעלת פורום אקדמי להנדסת מערכות);
- המשך מאמצים לפיתוח הנדסת מערכות מתקדמת לעידן המהפיכה התעשייתית הרביעית;
- המשך פיתוח קבוצת העבודה בתחומי ה-HSI ותוצריה, גיבוש קבוצות עבודה פעילות עם תוצרים.



פרופ' יורם רייך - אוניברסיטת תל-אביב

אני עוסק שנים רבות בהוראה ומחקר בהנדסת מערכות, כתבתי שלשה ספרים ולמעלה מ-250 מאמרים בנושאים הקשורים להנדסת מערכות. אלו באים לשרת את החזון שלי: לייצר תשתית אנושית וחשיבתית בהנדסת מערכות כדי שאפשר יהיה לתת מענה לאתגרים המורכבים שנמצאים לפנינו כעת ובעתיד לבוא. אתגרים אלו מחייבים שינוי תפיסתי, כלים חדשים ומיומנויות חדשות בהנדסת מערכות. הם מחייבים מחקר תמידי כדי שהכלים והשיטות שלנו יהיו כל הזמן רלוונטיים לאתגרים.

כדי לעמוד באתגרים הקמתי עם עוזי אוריון, ד"ר אבנר אנגל, עמי דניאלי, וד"ר מירי סיטון את מיזם המחקר להנדסת מערכות באוניברסיטת תל אביב ואת התוכנית לתואר שני עם תזה בהנדסת מערכות. אלו מאפשרים לנו לתת מענה חדשני לאתגרים של התעשייה, להכשיר מובילים בתחום ולבצע מחקר בסיסי. אני צופה לשת"פ פורה עם האיגוד לטובת קידום התחום בארץ.



עמי הראל - E2E Systems

החזון שלי כולל:

- החשיבות העמוקה של ראייה מערכתית ומיקומם/מיצובם של מהנדסי המערכות בתעשייה.
- הנחלה של תובנה בציבוריות הטכנולוגית ש"הנדסת מערכות מהווה איבר חיוני באורגן היצירה והשימוש" והיעדרה יוצר חסר.
- הקמה והובלה של קהילת ידע אקטיבית בישראל (בהמשך ובהעצמה לקיים כיום) וגיוס חברים בה, כאמצעי להנחלת הידע והתובנה.
- מאמץ העמקה והרחבה של פעילות HSI – Human System Integration.



ד"ר ניצן ש. - רפאל

אני בעלת נסיון עשיר בתפקידי הנדסת מערכת בפיתוח מערכות מורכבות בחזית הטכנולוגיה. נסיון מגוון בכל השלבים של הפיתוח: החל משלב איסוף הצרכים וגיבוש הדרישות, דרך תכנון על לקביעת נקודת עבודה מערכתית ולאורך כל שלבי הפיתוח ועד להטמעה מבצעית מוצלחת ומוכחת לשביעות רצון הלקוח. כולל הובלה טכנולוגית בפיתוח מערכת שזכתה בפרס בטחון ישראל. בתפקידי הנוכחי, כמהנדסת מערכת ראשית של רפאל, משקיעה גם בפן חשוב נוסף - תהליכי איתור והכשרה של נבחרת מהנדסי המערכת של עתיד רפאל. זאת לאור ההכרה בהנהלה הבכירה של הארגון בקריטיות של הנדסת מערכת מקצוענית לעתיד ושגשוג רפאל. לאור הנסיון הרב הן בחלק המעשי של פיתוח מערכות והן בחלק של בניית תוכניות הדרכה, אוכל לתרום רבות לאיגוד בזיהוי וגיבוש סוגי הפעילויות וגיבושן, בכדי להשיג תועלת מרבית לתעשייה הישראלית בהתבסס על שיתוף בידע וחקירה ולמידה משותפים.



אבי שקד - תעשייה אוירית

אני מאמין בהנדסת מערכות כתחום הנדסי משמעותי הישים להיבטים רבים ומגוונים בחיינו. בראייתי, הנדסת מערכות צריכה לעצב, להתוות ולהוביל תפיסות ויישומים בכל ענפי התעשייה ובתחומי התכנון והמחקר השונים. במסגרת פעילותי באיגוד, בכוונתי לפעול להדגשת ולהנגשת הערך המוסף של שילוב הנדסת מערכות בתחומים השונים, בתקווה שנוכל - כאיגוד מקצועי - לפרוץ מחסומים קיימים ולבסס הכרה רחבה בהנדסת מערכות כתחום המוביל את העשייה היצרנית והערכית בישראל.



ד"ר ישראל פלדמן - אי.פל מערכות

אני בעל ניסיון של מעל 30 שנים בניתוח ופיתוח מערכת ובהובלת פרויקטי מחקר ופיתוח, כולל פרויקטים שזכו להכרה רשמית בתרומתם לביטחון המדינה. בעבר ראש המרכז לניתוח מערכות בצה"ל ומייסד של תחום משחקי המלחמה. יזם ופעיל בתחום מידע תחבורתי ממקורות מידע שונים עם דגש על נתונים של מכשירים ניידים; כגון טלפונים סלולריים, GPS, בלוטות', מצלמות מסוגים שונים. מומחה למיזוג מידע ממקורות שונים, Big Data, Machine Learning ועוד. נשיא אי.פל מערכות, חבר סגל במכללת אפקה ומדען ראשי בחברת Mobility Insight.



חזון ותרומה לאיגוד: סימולציה מערכתית, ניתוח מערכות מורכבות ואומנות ניתוח נתונים בכלל ומאגרי עתק בפרט, הינם נושאים חיוניים להנדסת מערכות. אני מעוניין לתרום מניסיוני ומהידע הייחודי שצברתי בנושאים לעיל במרוצת השנים כדי להשביח את תחום הנדסת מערכות בישראל ולהעלות את רמתם של מהנדסי המערכות בתעשייה הישראלית.

רות אבייב - Mavenir

אני בעלת נסיון רב שנים בהנדסת מערכות, יכולת ראייה מערכתית רחבת היקף, חשיבה יצרנית, מנהיגות והובלה, ותרומה לקהילה מניסיוני הרב. יש לי היכרות מעמיקה עם טכנולוגיות חדשות וחדשניות ומגמות טכנולוגיות ברחבי העולם. ברצוני לתרום מזמני להובלה בתחום הטכנולוגי בכלל ובהנדסת מערכות בארץ בפרט.



מימי תמנת - אלביט מערכות

החזון בעיני הוא **קידום חשיבה מערכתית הוליסטית**, כבסיס לפתוח מערכות/מערכים ומוצרים בסביבה מולטידיסציפלינרית, המשלבת ממשקי עבודה עם בעלי עניין שונים. אני רואה את הארגון **כמוקד לשיתוף וקידום ידע** בנושאי שיטות אפקטיביות לפיתוח פרויקטים במאפיינים שונים, כדוגמת שונות במורכבות, בהיקף, בתחומים הטכנולוגיים, בסביבה הארגונית וסביבת המשתמשים. כחלק מהפעילות נכון בעיני **לקדם זו שיח ושיתוף פעולה עם ארגונים בתחומים מתממשים**,



להבנת זווית הראייה של בעלי עניין שונים, כאמצעי לגיבוש מענה הוליסטי. אוכל לתרום לארגון מניסיוני, ניסיון שהצטבר בתפקידי באלביט מערכות כראש תחום מצוינות בהנדסת מערכת וניהול טכני, ומתפקידי הקודמים בפרויקטי פיתוח מולטידיסציפלינריים, וביניהם תפקידים בהנדסת מערכת, ניהול פיתוח טכני וניהול תכניות.

סרגיי טוזיק - Science of Integration

במהלך שנות שירותי בחיל האוויר והעבודה מחוץ לצה"ל בתחומים של אפיון, אינטגרציה ובדיקות של מערכות תקשורת, כלי טייס מאוישים מרחוק, מטוסי קרב, מערכות שו"ב ותשתיות IT ומערכים משולבים (systems-of-systems) נחשפתי לקהל רחב של "מהנדסי פתרונות": קציני פרויקטים, אינטגרטורים של תשתיות IT, מהנדסים קליניים במערכת הבריאות, מהנדסי מכירות, מנהלי מוצר ובעלי תפקידים אחרים. מהנדסים אלו אינם משתייכים לקהילה מקצועית או אקדמית מוגדרת, אך משימותיהם כמיישמי טכנולוגיות וכמתווכים בין המפתחים למשתמשים חופפות במידה ניכרת עם המשימות של מהנדסי מערכות. ברצוני לפעול לשילוב "מהנדסי הפתרונות" בקהילת INCOSE_IL ולמיתוג שלהם כמהנדסי מערכות, תוך חקר הצרכים הייחודיים שלהם ויישום השיטות והטכניקות של הנדסת המערכות במגוון רחב יותר של תחומי עיסוק, פיתוח ושיתוף ידע, הכשרה והדרכה.



עוזי אוריון - אוניברסיטת ת"א

כחבר הנהלת האיגוד הישראלי להנדסת מערכות, כמרצה באקדמיות ובתעשייה, כחוקר הנדסת מערכות באוניברסיטת תל אביב וכבעל ניסיון רב כמהנדס מערכות, בפיתוח מערכות מורכבות, אני ארכז את הפעילות האקדמית של האיגוד הישראלי להנדסת מערכות, יחד עם ד"ר אביגדור זוננשיין מהטכניון. במסגרת זו, נדון במגוון רחב של נושאים, ביניהם לימוד והכוונת השינויים בתהליכי הנדסת המערכות הצפויים בעתיד הקרוב והשפעתם על הכשרת מהנדסי המערכות באקדמיה, עידוד שיפורים פורצי דרך בתהליכי הפיתוח של פרויקטים מורכבים, הנדרשים לשיפור ההיענות לצרכי הלקוחות וקיצור לוחות הזמנים ועוד. אנו נפעל לשיפור וחיזוק הקשר של האיגוד עם האקדמיות בארץ ובחו"ל, הן על ידי יצירת קשר עם צרכני ידע, הן בשיתוף ידע בין האקדמיות, התעשיות והצבא, הן ע"י קישור משתתפים למחקרים ובכך לשפר את תוצאותיהם וכמובן על ידי הבאת מומחי ידע, מהמעלה הראשונה, מהאקדמיות בחו"ל ובארץ והפצת הידע שלהם בקרב מהנדסי המערכות בארץ.





The Gordon Center
for Systems Engineering

INVITATION & PROGRAM FOR 14.1.2020 INNOVATIONS IN SYSTEMS ENGINEERING FOR SOCIOTECHNOLOGICAL SYSTEMS

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
IN CONJUNCTION WITH YOSSIE LEVINE DAY FOR SYSTEMS ENGINEERING



08:30 - 09:00 **Gathering**

09:00 - 09:30 **Opening:**

Prof. Yossi Ben-Asher, The Gordon Center for Systems Engineering, Technion

A Representative of IAI Management

A Representative of RAFAEL Management

Yossi Levine Family

Awards for Excellence in Systems Engineering

09:30- 10:30 **Dr. John Gill**, Director SE, BAE Systems (Ret.) – The Challenges & Opportunities of Sociotechnological Systems

10:30- 11:00 **Asaf Lewin**, SpacEL – The Story Behind SpacEL and the Social and Technological Challenges of the BERESHEET Mission

11:00- 11:30 **Coffee Break**

11:30- 12:00 **Yoav Landsman**, SpacEL – Engineering Lessons from the BERESHEET Mission

12:00- 12:45 **Yossi Zamri**, Management for Technology-NASA Major Disasters- Insights for Risk Management

12:45- 13:15 **Sergey Tozik** – Socio-Technical Integration Challenges

13:15- 14:00 **Lunch Break**

14:00- 14:30 **TEAM OF AUTHORS** - Launching the Book- Systems Engineering for the Fourth Industrial Revolution

14:30- 15:00 **Ron Nauman**, Elbit Systems – The Challenge of Integrating Human Engineering into the Safety Certification Process of AR/VR Systems

15:00- 15:30 **Alon Ben Moshe**, RAFAEL & TECHNION- Measuring Structural and Functional Complexities

15:30- 16:00 **Idan Liebes**, The Samuel Neaman Institute – Implementing Electric Vehicles System in Israel

16:00- 16:30 **Dr. John Gill**, Director SE, BAE Systems (Ret.) – BIOMIMETICS: Sociotechnological Systems are Ecosystems

16:30- 16:45 **CONCLUSIONS: Prof. Yossi Ben Asher, Dr. Avigdor Zonnenshain, Dr. John Gill** - The Gordon Center for Systems Engineering, Technion

השתתפות ביום העיון הינה ללא תשלום
נא אשר/י השתתפותך עד תאריך: 10.1.2020 בקישור להלן:
<https://forms.gle/ctXMH2d5ZCLagsKe7>

ההרשמה הינה מראש ואישורה על-ידינו ישמש אישור כניסה לטכניון אשר יועבר בדוא"ל

האיגוד הישראלי
להנדסת מערכות  Israeli Society For
Systems Engineering



בקרו באתר האינטרנט שלנו

- ✓ כל האירועים
- ✓ הרשמה אונליין לסדנאות ואירועים
- ✓ מידע שימושי
- ✓ עדכונים שוטפים
- ✓ הרשמה מקוונת ועוד...



www.incoseil.org