

מרכז גורדון להנדסת מערכות בטכניון
עבודת מחקר בנושא :

בחינה ביקורתית של מתודולוגיית עבודה
לתהליכי הנדסת מערכות במערכים בלתי מסונכרנים

דו"ח מסכם

גירסה 8.0

מירי סיטון

ערן ראובני

דר' משה ויילר

11 בנובמבר 2012

מבוא

על רקע ההתפתחות המתמדת של יכולת המחשוב, תשתיות רשתות נתונים ורשת האינטרנט, מזעור, ניידות והוזלה משמעותית בטכנולוגיות תקשורת ואמצעי מחשוב ניידים, יותר ויותר יישומים ושירותים בתחום הצבאי, התעשייתי, שרותי חברה, שרותי בריאות, שרותי הצלה, שרותי תעופה, תחבורה ימית ויבשתית, מתבססים על שילובים רחבי היקף של מערכות.

מאפיין מרכזי של שילובים מערכתיים רחבי היקף אלו מתבטא בעובדה כי לא כל השילובים מבוצעים במהלך פרויקטאלי אחד אלא הם מהלכים מצטברים המתבצעים בזמנים שונים, ע"י בעלי עניין שונים והם כוללים שילובים בין מערכות Legacy System ובין מערכות חדשות State of the art /או תמהיל שלוב אחר.

בעבודה זו, בחרנו לכנות סוג זה מערכות משולבות המבוססות על שילוב נרחב של אמצעי מחשוב ניידים, ניידים, רשתות תקשורת נתונים, טכנולוגיית Mobile, תקשורת רדיו, תקשורת לוויינית, תקשורת סלולארית וכמובן מרכיב גדול ביותר של יכולת פונקציונאלית, מרכיבי תוכנה, תוכנות הפעלה, תוכנות יישומים ושילובי תוכנה: **מערכים של מערכות-Systems Arrays** ואת אופי פיתוחם והתפתחותם: **פיתוח לא מסונכרן של מערכים של מערכות-Un-Synchronized deployment of Systems Arrays**.

במסגרת עבודה זו ביקשנו לבחון האם האתגר ההנדסי של **פיתוח לא מסונכרן של מערכים של מערכות** הינו אתגר הנדסי מולטי-דיסציפלינארי מיוחד? והאם כדי להתמודד עם פרויקטים מסוג זה בהצלחה נדרש ליישם מתודולוגיות הנדסת מערכות מצויות, חדשות, או אולי מתודולוגיות קיימות בהתאמות מסוימות?

על מנת לבחון אם אתגר הנדסי נתון הינו אתגר חדש או מוכר, נדרש להשוות את מאפייני האתגר הנ"ל לרשימת כלל האתגרים ההנדסיים הקיימים. אם תימצא בין הרשימות קבוצת אתגרים שמאפייניה מתאימים למאפייני פיתוח לא מסונכרן של מערכים של מערכות הרי שאין חדש וכל שנדרש הוא לאמץ את מתודולוגיות הנדסת המערכות התקיפות לקבוצה זו וליישמן בעת ניהול פרויקטים וניהול תהליכי הנדסת מערכות מסוג זה.

בניסוח אחר, הידע הנדרש למהנדס המערכות כחלק מהיערכותו לביצוע משימה הנדסית, כולל את 4 שאלות היסוד הבאות:

- מהו סוג הטכנולוגיה המשולבת בפרויקט?
- מהו אופי/היקף הפרויקט? האם פרויקט מחקר, פרויקט ישום ראשוני, פרויקט הטמעה המוני וכד'.
- מהו אופי סביבת הפעלה/הטמעה של הפרויקט? שילוב טכנולוגיה לסביבה הארגונית, לסביבה העסקית ולסביבה הלאומית.
- מהי המתודולוגיה המתאימה להנדסת מערכות בפרויקט זה?

למרות שרעיון פילוח האתגרים ההנדסיים נדון בספרות (זאב בונן, אהרון שנער) הרי שהמיומנויות בתחום זה בלתי מפותחות דיין ועד כה אין בנמצא ספריית מידע המאפשרת לעיין בסוגי אתגרים הנדסיים במיון לפי מאפייניהם השונים.

פרק 1 - הוקדש בעבודה זו לסקירה של שיטות מיון המוצעות בספרות לסווג של אתגרים הנדסיים כבסיס לאיתור מתודולוגיית הנדסת מערכת מתאימה.

פרק 2 - כולל סקירת של הספרות המקצועית בתחומי הנדסת המערכות. הפרק כולל סקירה מתודולוגיות הנדסיות, שיטות ותהליכים וכן של מאמרים העוסקים בניית פרויקט בתחום הנדסת מערכות, תוך ליקוט קפדני אחר תובנות רלוונטיות לתחום פיתוח ושילוב רחב היקף של מערכים של מערכות.

פרק 3 - מוקדש להצגת מודל חדש וקוהרנטי המאפשר פילוח של כלל סוגי האתגרים ההנדסיים כבסיס להתאמת מתודולוגיית הנדסת מערכות מתאימה. על פי המודל המוצע, לסוג הטכנולוגיה ולרמת החדשנות/בשלות המוצר יש השפעה על אופי מתודולוגיית הנדסת המערכות המתאימה. אולם, בנוסף לשני פרמטרים אלו (סוג טכנולוגיה; רמת בשלות) יש לקחת בחשבון באיזו מתוך 4

סביבות התפעול/ההטמעה הטמעה (מתוך סה"כ 5) מיועדות המערכות החדשות לתפקד: בסביבה המערכתית, הסביבה הארגונית, סביבת ענף תעשייה, והסביבה הלאומית. היות ולהבדלי סביבת ההטמעה השפעה כה גדולה על אופי התהליכים ההנדסיים, מוקדש כל אחד מהפרקים הבאים לניתוח המאפיינים המיוחדים של רמה 3 מתוך 5 הסביבות המוכרות. כל המאמץ הנ"ל מבוצע היות **ופיתוח לא מסונכרן של מערכים של מערכות** שייך לסביבה ה-5: הרמה המקומית/לאומית/ממשל.

פרק 4 – בהתאם ללוגיקה שהוצגה לעיל, מוקדש פרק 4 לניתוח תהליכי הנדסת מערכות בסביבה של ארגון, והוא מתבסס על ניסיון ומתודולוגיה ייחודית שהתגבשה בעשור האחרון בארגון ממשלתי. ניתוח תהליכים ארגוניים אלו מוביל לאבחנה החשובה בין תהליכי הנדסת מערכות אורכית לבין הנדסת מערכות רוחבית, וישמש עוגן מרכזי בניתוח הצורך במתודולוגיות המותאמות לאתגרים המתפתחים של תחום הנדסת המערכות.

פרק 5 – מוקדש לניתוח השפעת הסביבה הבין ארגונית/ענף תעשייה: מרגע שיצאנו מהסביבה המוגנת של הארגון מוטלת האפשרות ליצירת שיתופי פעולה על היכולת להציג לבעלי עניין אפשרויות יצירת יתרונות עסקיים עבורם אם באמצעות שיתופם בתהליכי פיתוח הידע, באמצעות תרומה לשיפור תדמיתם הציבורית, ו/או באמצעות חשיפה להזדמנויות עסקיות. לראשונה יוצג הפתרון המוצע להקמת מרכז מידע, תאום והנחיה לענף תעשייה.

פרק 6 - פרק זה יוקדש לניתוח היבטים מנקודת מבט מקומית/לאומית/ממשל. היות וסביבה זו כוללת שילובים של יוזמות ופרויקטים חלקם במימון המגזר הפרטי, חלקם במימון המגזר הציבורי, חשוב לנתח את האתגרים המיוחדים לסביבה זו.

פרק 7 – סיכום, מסקנות והמלצות: פרק הסיכום כולל תמצית של תובנות עיקריות מעבודת המחקר. פירוט המלצות בתחום, כמו גם המלצה ללווי מחקרי לתהליך הקמת מרכז הסדרה והנחיה בתחום מערכות תבוניות לתחבורה – Intelligent Transportation Systems (ITS).

המלצה זו עולה לאחר שהוצג כי תחום ה- ITS מבוסס כאמור על שילוב נרחב של אמצעי מחשוב ניידים, ניידים, רשתות תקשורת נתונים, טכנולוגיית Mobile, תקשורת רדיו, תקשורת לוויינית, תקשורת סלולארית וכמובן מרכיב גדול ביותר של מרכיבי תוכנה, תוכנות הפעלה, תוכנות יישומים ושילובי תוכנה ולפיכך עונה במידה רבה על מאפייני **פיתוח לא מסונכרן של מערכים של מערכות – Un-Synchronized deployment of Systems Arrays**.

יתרה מכך: לפחות על דעת כותבי עבודה זו, הצלחתם של פרויקטים בתחום ה- ITS תלויה במידה רבה ביכולת הפנמה של המלצות עבודה זו ותרגומה לתהליכי עבודה ישימים.

ביבליוגרפיה

נספחים:

נספח א' - ראיונות עם גורמים במגזר הפרטי בתחום התחבורה.

נספח ב' – רקע על מערכות תבוניות לתחבורה.

פרק 1: מיון ופילוח אתגרים הנדסיים

במסגרת עבודה זו בקשנו לבחון האם האתגר הנדסי של **פיתוח לא מסונכרן של מערכים של מערכות** הינו אתגר הנדסי מולטי-דיסציפלינארי מיוחד? והאם כדי להתמודד עם פרויקטים מסוג זה בהצלחה נדרש ליישם מתודולוגיות הנדסת מערכת מצויות? חדשות? או אולי מתודולוגיות קיימות בהתאמות מסוימות?

פרק זה מוקדש לסקירה של שיטות מיון המוצעות בספרות לסווג של אתגרים הנדסיים כבסיס לאיתור מתודולוגיית הנדסת מערכת מתאימה. הפרק כולל גם הצגה הלכה למעשה של תהליך מיון אתגרים הנדסיים לפי מאפיינים שונים.

אולם לפני שנוכל להיכנס לסוגיית מיון האתגרים הנדסיים נקדיש מעט לסוגיית המתודולוגיות הנדסת מערכת.

מושג המתודולוגיה:

בספרות מספר הגדרות למונח מתודולוגיה. על פי מילון אבן שושן: מתודולוגיה - תורת השיטות המדעיות לחקירה בענפי מדע שונים. על פי מילון Longman English Larous: Methodology - a branch of philosophy dealing with the science of method of procedure. A system of methods and rules applied in a science.

דווקא ההגדרה המופיע בוויקיפדיה רחבה יותר ושם: **מתודולוגיה** היא כלל העקרונות, שיטות הפעולה, החוקים וההנחות, אשר מחקר מסוים או העיסוק בדיסציפלינה מסוימת (מדעית, אמנותית או אחרת) מבוסס עליהם ומונחה על-פיהם. מתודולוגיה עשויה לכלול לא יותר מאשר אוסף פשוט של שיטות ונהלים, או לכלול גם את הרציונל, הגישה הפילוסופית וראיית העולם (World view) האונטולוגית והאפיסטמולוגית אשר מעצבת ומנחה אותה.

על בסיס הגדרות אלו זו ניתן לרשום כי מתודולוגיה בתחום הנדסה היא כלל העקרונות, ההנחות, שיטות ונהלים אשר מרכזים את עיקרי הידע היישומי ושיישומם בתהליכי העבודה הנדסיים יוביל להשגה מיטבית של יעדי המאמץ הנדסי.

לעצם השימוש במתודולוגיה מוגדרת היטב, כמערך מנחה של שיטות ונהלים, יש חשיבות רבה גם מהיבט נוסף: עצם פירוט של רשימת המשימות שנדרש לבצע ואופן ביצועם, מוביל ליכולת הכנה מוקדמת ובכלל זה תכנון נכון של זמני ביצוע, הצטיידות בכלים ותשתיות מתאימות וכן פיתוח ידע ומיומנויות בהתאם לצורך.

לכאורה, ההבטחה בשימוש במתודולוגיות גדולה: אם רק נפעל על פי הספר... הצלחה מרבית מובטחת.

אולם לפחות בכל הנוגע לשימוש במתודולוגיות בתחומי הנדסת המערכות המציאות מורכבת הרבה יותר. היות והאתגרים הנדסיים שאנו נדרשים להתמודד עימם, אינם דומים זה לזה ולעיתים אף שונים מהותית זה מזה, הרי שעם הרחבת הניסיון והידע האנושי בתחומי הנדסת המערכות הולך ונבנה מאגר שיטות, לקחים וטכניקות יישומיות בנפח גדל והולך. עם הזמן הופך עצם העיסוק במתודולוגיה תחום התמחות בפני עצמו ויתרה מכך בחירה נכונה של מתודולוגיה בעת ביצוע פעילות הנדסית נתונה הופך לקריטי להצלחתה

לצורך התמודדות עם המצב הנ"ל הבא לידי ביטוי בגודש בהנחיות, נהלים, טכניקות וכד', מקובל לעשות שימוש בשתי טכניקות התמודדות: **השיטה האחת:** תהליך של גיזום והתאמה (Tailoring): בתהליך זה נדרש מהנדס המערכת לבצע תהליך מושכל של בחירה של אותם סעיפים, הנחות היסוד, השיטות והנהלים המתאימים לדעתו לאתגר הנדסי שלפניו.

השיטה השנייה: פילוח של אתגרים הנדסיים לסוגי פרויקטים (פרויקטי תשתית, פרויקטי תוכנה, פרויקטי חומרה וכו') והתאמת מתודולוגיות הנדסיות לכל אחד מסוגי הפרויקטים הנ"ל.

לעשות שימוש בשתי טכניקות התמודדות: **השיטה האחת:** תהליך של גיזום והתאמה (Tailoring): בתהליך זה נדרש מהנדס המערכת לבצע תהליך מושכל של בחירה של אותם סעיפים, הנחות היסוד, השיטות והנהלים המתאימים לדעתו לאתגר הנדסי שלפניו.

השיטה השנייה: פילוח של אתגרים הנדסיים לסוגי פרויקטים (פרויקטי תשתית, פרויקטי תוכנה, פרויקטי חומרה וכו') והתאמת מתודולוגיות הנדסיות לכל אחד מסוגי הפרויקטים הנ"ל.

ייצוג רעיון התאמת מתודולוגיות לסוג המשימה

ניתן לייצג את הרעיון באמצעות ניסוח פורמאלי מהצורה הבאה:

נסמן את מרחב סוגי האתגרים ההנדסיים (חומרה, תוכנה, משולבים) $\{Tp1, Tp2, Tp3, \dots, Tpk\}$

נסמן את מגוון מתודולוגיות הנדסת מערכות (V, מפל המים, אג'ילי, אינקרימנטלי, אבולוציוני, ספיראלי) $\{SE1, SE2, SE3, \dots, SEm\}$

נסמן את מגוון שיטות ניהול הפרויקטים (ניהול לפי אילוצים, PMP) $\{PM1, PM2, PM3, \dots, PMn\}$

היות ושיטות הנדסת המערכות השונות פותחו כמענה לאתגרים הנדסיים שונים והיות סוגי שיטות ניהול פרויקטים פותחו אף הם כמענה לאתגרים מיוחדים, קיימת ככל הנראה לכל אתגר הנדסי מיטבי מסוג TPs, מתודולוגיית הנדסת מערכות SEs מיטבית, שבשילוב שיטת ניהול פרויקטים PMs מתאימה תוביל למקסימום את סיכויי הצלחת הפרוייקט.

אם נרצה לנסח את הטענה באופן סמי-מתמטי נוכל לטעון, שאם נסמן את סיכויי הצלחת הפרוייקט:

$$f\{TPs_1, SEs_2, PMs_3\}$$

הרי קיים S $[s_1, s_2, s_3]$ כלשהו (S אינדקס תלת מימדי) המקיים את המשוואה:

$$f_{success} f\{TP_i, SE_j, PM_l\} = \text{Max} f\{ TP_i, SE_j, PM_l \}$$

[Where: $i=s_1, j=s_2, l=s_3$]

[Where: $i=1..k, J=1..m, l=1..n$]

לחלופין S הוא אינדקס תלת מימדי המביא למינימום את סיכויי הפרוייקט:

$$f_{risk} f\{ TP_i, SE_j, PM_l \} = \text{Min} f_{risk} \{ TP_i, SE_j, PM_l \}$$

[Where: $i=s_1, j=s_2, l=s_3$]

[Where: $i=1..k, J=1..m, l=1..n$]

סימון גרפי של הטענה מוביל לקבלת המפה הגרפית הבאה:

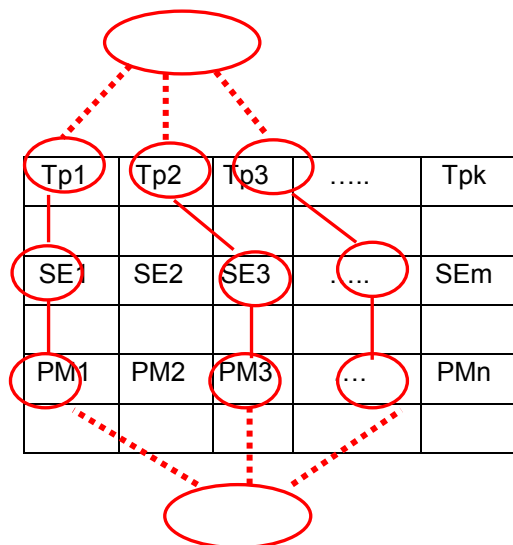


Figure 1: מפת סוגי האתגרים, מתודולוגיות וניהול

הערה: יתכן כי היכולת להתאים לכל אתגר הנדסי את מתודולוגיית הנדסת המערכות המתאימה צריכה להיכלל בין מיומנותיו של מהנדס המערכות והתמצאות בתחום זה עשויה להוות סמן מובהק של מומחיותו (טענה שהועלתה כבר במאמריו של זאב בון).

מודלים למיון אתגרים הנדסיים

ענה משהוברהרר חשיבות התאמת מתודולוגיית הנדסת מערכות לסוג האתגר הנדסי, נפנה לשאלת מיון האתגרים הנדסיים עצמם.

לצורך איתור מודל מיון מתאים לסוגי אתגרים הנדסיים בוצעה סקירת ספרות לאיתור מאמרים, שיטות וכלים המתאימים לפילוח הפרויקטים הנדסיים וניתוח מאפייני האתגרים הנדסיים המוכרים בכל סוג פרויקט.

גיליון מס. 8 של כתב העת של מהנדסי המערכות בישראל, קול המערכות (יולי 2011), שהוקדש לזכרו של ד"ר זאב בון, כולל 3 מאמרים מפרי עטו של (אחד מהם בשיתוף עם פרופ' אהרון שנהר), העוסקים כולם בסוגיות בהנדסת מערכות. כתיבת מאמרים אלו הנפרשת על פני תקופה של כ-40 שנה (1969-2009), מהווה הזדמנות מעניינת לבחון מקרוב את אופי הסוגיות שהעסיקו את קהיליית מהנדסי המערכות לאורך שנים מרכזיות אלו בהתפתחות תורת הנדסת המערכות. רישום סוגיות על פני ציר הזמן מאפשר לבחון את תורת הנדסת המערכות מנקודת מבט חדשה: המבט המציג את תורת הנדסת המערכות לא רק כאוסף של מתודולוגיות ושיטות אלא כהליך השתנות מתמיד המלווה את ההתפתחויות העצומות שחלו בעשורים אלו בתחומי הטכנולוגיה מחד ובהיקף האתגריים הנדסיים-מערכתיים מאידך.

דוגמה פשוטה לשוני מהותי שחל במהלך 4 עשורים אלו היא למשל בסוגיית ניסוח צרכי הלקוח. אם בשנות ה-70 סבלו פרויקטים רבים מקושי בתרגום אופטימאלי של הרצוי אל מול המצוי וזאת בגלל עמדה דעתנית של לקוחות שטענו "זה מה שאנו רוצים, אנחנו יודעים למה, תעשו מה שאומרים לכם" (תכנון העבודה בפרויקט פיתוח, Bonen), הרי שבשנת 2010, למרות שעדיין אנחנו מוצאים את בעיית התרגום של הצורך כאתגר מרכזי בתהליך הנדסת המערכות, הסיבה לכך נעוצה בערך ההופכי של הלקוח הדעתני. על פי דו"ח טכני שנכתב עבור משרד התחבורה בפלורידה [FDOT, 2003] עולה כי במקרה של אפיון מערכות מורכבות, משתמשי קצה/לקוחות אינם מסוגלים להביע את דעתם אודות דרישותיהם כל עוד לא חוו את חווית המשתמש.

דוגמה אחרת לשוני הדרמטי שחל בתקופה זו באתגרי הנדסת המערכות עולה ממאמרו האחרון של ד"ר בון [Bonen, Issues in Man Made System Theory, 2009], שכאן אנו עדים למושג חדש שהוא אולי ההיפך הגמור מכל מה שעסקה בו תורת הנדסת המערכות עד כה: **Unmanaged Networks Evolution**.

בון מוסיף 2 הערות חשובות (אם כי הוא בוחר שלא להרחיב בנקודות אלו, **ההדגשות** שלנו):

The population of unmanaged systems (Bonen #4), requires a **separate category**. They are self-organized systems, which probably require **additional methodological tool box**. Note that this layer includes also political & economic systems. These are beyond the scope of this paper.

Managed SOS (Bonen #2) contains both the engineered systems & the organizations which produce them. The latter sometimes require total systems intervention when inputs and/or missions undergo major changes.

שתי דוגמאות אלו המציעות שתי זוויות הסתכלות על העולם המורכב של הנדסת המערכות, מעלות את הצורך לבחון את תורת הנדסת המערכות גם מנקודת מבט של סביבה משתנה של אנשים וטכנולוגיות וכשכזו מעלה את הצורך לתת מענה לאתגרים המתפתחים ומשתנים עם הזמן.

הבנת השינויים בסביבה הטכנולוגיות והאנושית יכולה להוות בסיס להבנת הצורך בגישה חדשנית לניהול פרויקטים כפי שמציעים פרופ' אהרון שנהר ודב דביר בספרם [Reinventing Project Management, 2007], לכל פרויקט נדרש להתאים את תפיסת הניהול וטכניקות הנדסת המערכות המתאימות לו.

מיפוי סוגי האתגרים הנדסיים-מערכתיים סולם בונן-שנהר (Bonon, Shenhar, 1997)

מיפוי תהליכי הפיתוח ומאפייניהם העיקריים מהווה בסיס לשאלת המחקר הראשונה שהיא: האם כל סוגי האתגרים הנדסיים-מערכתיים השונים, אמורים לקבל מענה ע"י תהליך פיתוח והנדסת מערכות רובוסטי (חסין) המאפשר להתמודד עם כל סוגי תהליכים אלו, או שמא, קיים שוני מהותי בין סוגי האתגרים המחייב שימוש במספר מתודולוגיות פיתוח והנדסת מערכות שונות המותאמות כל אחת לסוג האתגר הנדסי-מערכתי הנתון.

The מיפוי סוגי האתגרים הנדסיים-מערכתיים מבוסס על מודל בונן-שנהר כפי שהוצגו במאמר: The New Taxonomy of Systems: Toward an Adaptive Systems Engineering Framework, IEEE Transactions 1997, זאת בתוספת קטגוריה חדשה לציר המורכבות המערכתית.

המאמר כולל הצעה לפילוח סוגי פרויקטים במישור המוגדר ע"י שני צירים: ציר ה-X: ציר סוג מורכבות מערכתית וציר ה-Y – ציר סוג המערכת.

על פי הצעתם של בונן-שנהר ניתן לחלק את המורכבות המערכתית (ציר ה-X) לקטגוריות הבאות: Low-Tech, Medium-Tech, High-tech Super High-tech ואת ציר סוג המערכת (ציר ה-Y) לקטגוריות הבאות: Assembly, System, Array כך שמתקבלת למעשה טבלת המיון הבאה:

3 Array				
2 System				
1 Assembly				
	A Low- Tech	B Medium- Tech	C High- Tech	D Super- Hi-tech

הדגמה של שיטת מיון אתגרים הנדסיים:

כדי להדגים את תפיסת המיון של פרויקטים הנדסיים-מערכתיים שונים מיפה צוות המחקר פרויקטים שונים המוכרים כיום וניסה לבחון התאמתם לקטגוריות השונות המוצעות ע"י בונן-שנהר.

הערה: על סמך תהליך זה עולה כי הניסיון לסווג פרויקטים הנדסיים לקטגוריות ברורות מראה כי לא תמיד קיימת בהירות או הסכמה של כל חברי הצוות על קטלוג פרויקט, יחד עם זאת ברוב מוחלט של המקרים הדיון המתפתח נוגע לשאלה באם הפרויקט מתאים לקטגוריה מסוימת או לקטגוריה סמוכה. לא נצפו מקרים של סיווגים מרוחקים זה מזה.

הבהרה: כאמצעי עזר בתהליך הסיווג הוגדרו ע"י צוות המחקר שמות כינוי זמניים לסוגי פרויקטים. אין בשימוש שמות סוגי פרויקטים אלו מבחינת הגדרה מחייבת ו/או מרומזת.

סה"כ הוביל תהליך הניתוח לזיהוי של 8 סוגי פרויקטים ואלו הם:

- P1 - פיתוח מוצר - Product Development.
- P2 - פיתוח מערכת - System Development.
- P3 - פיתוח מערכות מורכבות – Composite Systems.
- P4 – פיתוח מערכות אוטונומיות – Autonomous Systems.
- P5 – פיתוח מערכות של מערכות (SoS) **System of Systems**.
- P6 – פיתוח מערכים של מערכות - Systems Arrays.
- P7 – התפתחות בלתי מנוהלת של מערכים.
- P8 – פיתוח מערכים אזוריים.

להלן תוצרי תהליך הפילוח שבוצע והוא כולל: פירוט סוגי הפרויקטים השונים, פירוט מאפיינים של כל סוג פרויקט ולצידו הצגת דוגמאות לתוצרי הפיתוח בתחומי תוכן כגון תחום הביטחוני, תחום התעופה, תחום התחבורה, מערכות מחשב, ומערכות תקשורת:

P1: פיתוח מוצר (Product Development)

<p>מאפייני פיתוח מוצר מאפייני משתמש קצה: ידועים דרישות פונקציונאליות: ברורות מהנדס מערכת: בודד מוקד הרכבה: יצרן בודד אינטגרציה עם מערכות אחרות: לא נדרש מקור מימון: אחד אחריות לביצועים: גורם יחיד (המזמין/היצרן/המפתח).</p>	<p>דוגמאות: תחבורה: רמזורים, חיישני תנועה, מצלמות תנועה. תעופה: מנועי מטוסים, חלקי מבנה, חיישנים מחשוב: מחשבים, צגים, מדפסות. תקשורת: מכשירי קצה, טלפונים, ממסרים, קווי תקשורת, מרכזיות. ביטחון: פיתוח רובים, פצצות, אמצעי ראיית לילה, אמצעי תצפית.</p>
--	---

P2: פיתוח מערכת (System Development)

<p>מאפייני פיתוח מערכת מאפייני משתמש קצה: ידועים מאפייני סביבת השימוש: ידועים דרישות פונקציונאליות: ברורות מהנדס מערכת: בודד מוקד הרכבה: יצרן בודד אינטגרציה עם מערכות אחרות: יידרש בהמשך אם כי לא באחריות היצרן. מקור מימון: יחיד אחריות לביצועים: גורם יחיד (המזמין/המפתח).</p>	<p>דוגמאות: תחבורה: ברכב - מערכות היגוי, מערכות הנעה, מערכת מתלים. תעופה: מערכות אוויוניקה, מערכות ניווט. ביטחון: מערכות מחשב, מערכת מכ"ם, מערכת בקרת ירי.</p>
---	--

P3: פיתוח מערכות מרוכבות (Composite Systems)

<p>מאפייני פיתוח מערכות מרוכבות מאפייני משתמש קצה: ידועים מאפייני סביבת השימוש: ידועים דרישות פונקציונאליות: ברורות, אם כי דרישות מרובות, שמקורן בסוגי משתמשים שונים ו/או מגוון רחב של שימושים לאותה מערכת מהנדס מערכת: צוות הנדסי הכולל מספר מהנדסים כל אחד עוסק בתחומו מוקד הרכבה: כל מכלול/תת מערכת מורכב בבית היצרן מוקד אינטגרציה: מעבדת אינטגרציה - SIL, בד"כ באחריות גורם אינטגרציה מקור מימון: מרובה</p>	<p>דוגמאות: תחבורה: אבזור תא הנהג ברכב. תעופה: סביבת משולבת של תא טייס. בטחון: תאי שליטה. מחשוב משרדי, אוויוניקה בתא טייס, מערכות מידע ארגוניות.</p>
--	--

	אחריות לביצועים: מרובה (המזמין/המפתח)
--	---------------------------------------

P4: פיתוח מערכות אוטונומיות (Autonomous Systems)

<p>דוגמאות: תחבורה: כלי רכב תעופה: מטוסים ימי: אוניות בטחון: טנקים, תותחים</p>	<p>מאפייני פיתוח מערכות אוטונומיות מאפייני משתמש קצה: ידועים מאפייני סביבת השימוש: ידועים דרישות פונקציונאליות: ברורות, אם כי דרישות מרובות, שמקורן נובע מהמאפיין המרכזי של המערכות והיא יכולת תפקוד מלאה תוך מעבר מנקודה לנקודה ו/או הפעלה מאתרים גיאוגרפיים שונים מהנדס מערכת: מרובים, מאורגנים בצוותים הנדסיים ובניהול מהנדס ראשי מוקד הרכבה: יצרנים מרובים מוקד אינטגרציה: יתכן שיותר מאחד, אינטגרציה סופית באתר יעודי בד"כ של היצרן. מקור מימון: אחד, מותנה בהזמנות אחריות לביצועים: גורם יחיד (המפתח).</p>
--	--

P5: פיתוח מערכת של מערכות (SOS - System of Systems)

<p>דוגמאות: תחבורה: מרכזי בקרת תנועה בטחון: מערכות הגנה נגד טילים – כדוגמת "חץ". תעופה: שדה תעופה</p>	<p>מאפייני פיתוח מערכת של מערכות מאפייני משתמש קצה: ידועים מאפייני סביבת השימוש: ידועים דרישות פונקציונאליות: ברורות, אם כי דרישות מרובות, קשות יותר לאימות מפאת פערי תרבות/תפיסות/גיל/ניסיון בין משתמשים End Users. מהנדס מערכת: מרובים מוקד הרכבה: יצרנים מרובים מוקד אינטגרציה: יתכן שיותר מאחד, אינטגרציה סופית בחצר הלקוח ובהתאם לדרישותיו המיוחדות. מקור מימון: מרובה (ממשלתי/פרטי) אחריות לביצועים: (המזמין/קבלת אינטגרציה).</p>
--	---

P6: פיתוח מערכים של מערכות (Systems Arrays)

<p>דוגמאות: תחבורה: מערכות מידע לנוסע בתחבורה הציבורית כולל מידע אודות תנועת רכבות, מערכי אוטובוסים, מוניות ואמצעי ניידות נוספים (אופניים להשכרה)</p>	<p>מאפייני פיתוח מערכים של מערכות מאפייני משתמש קצה: ידועים מאפייני סביבת השימוש: ידועים דרישות פונקציונאליות: משתנות, מתפתחות עם הזמן, תלויות שילובים, דרישות מרובות, קשות לאימות end to end.</p>
--	---

<p>תעופה: מערכות כרטוס של חברות התעופה. מערכות ניהול שדות תעופה (ניהול נושאים, ניהול כבודה, ניהול אבטחה, ניהול מכס, ניהול אבטחה והקשרים שביניהם), מערכי שו"ב לשליטה והכוונה לתעופה אזרחית ביטחון: מפקדות, בסיסי הפעלה, רשתות שו"ב.</p>	<p>מהנדס מערכת: מרובים מוקד הרכבה: יצרנים מרובים גיל המערכות: אחיד/שונה. מוקד אינטגרציה: אינטגרציות מרובות בצמדים של מערכות מסוגים שונים בד"כ בחצר הלקוח עיתוי האינטגרציה: לאורך חיי המוצר. אחריות לביצועים: לא ברורה: אחראי המערכת או מובילי פרויקטי האינטגרציה.</p>
--	---

P7: התפתחות בלתי מנהלת של מערכים (Unmanaged Evolution of Systems Arrays)

<p>דוגמאות: מחשוב: שרותי אינטרנט, טכנולוגיות ענן – Cloud מערכות אבטחה לרשת שרותי תקשורת אשכולות של שרותי תקשורת</p>	<p>התפתחות בלתי מנהלת של מערכים של מאפייני משתמש קצה: ידועים מאפייני סביבת השימוש: ידועים דרישות פונקציונאליות: לא קיים מקום אחד בו מרוכזות הדרישות המתפתחות מהנדס מערכת: מרובים מוקד הרכבה: יצרנים מרובים גיל המערכות: אחיד/שונה מוקד אינטגרציה: אינטגרציות מרובות בצמדים של מערכות מסוגים שונים בד"כ בחצר הלקוח עיתוי האינטגרציה: לאורך חיי המוצר אחריות לביצועים: לא ברורה: אחראי המערכת או מובילי פרויקטי האינטגרציה</p>
---	--

P8: פיתוח מערכים אזוריים (Local Systems Arrays)

<p>דוגמאות:</p> <p>תחבורה: פיתוח ושילוב אמצעים לתחבורה באזור נתון (שילוב נגישות בין תחנות אוטובוס, תחנות רכבת, מבני ציבור, חניות, שבילי אופניים, רשת כבישים.</p> <p>הנגשת אמצעי תחבורה לאוכלוסיות: הנגשה לבעלי מוגבלויות, תאום לוחות זמנים בין מופעי אוטובוסים וזמני מופע רכבות</p> <p>תחבורה: פיתוח, שילוב והטמעה של יישומי ITS</p> <p>עיר חכמה: פיתוח מערכות אבטחה עירוניות</p> <p>עיר חכמה: מערכות ניהול עירוניות</p> <p>עיר חכמה: שילוב יישומים בין מערכות אבטחה עירוניות, מערכות ניהול אירועים עירוניים ומערכות ניהול תנועה</p>	<p>מאפייני פיתוח מערכים אזוריים</p> <p>מאפייני משתמש קצה: ידועים</p> <p>מאפייני סביבת השימוש: ידועים</p> <p>דרישות פונקציונאליות: לא קיים מקום אחד בו מרוכזות הדרישות המתפתחות</p> <p>מהנדס מערכת: מרובים</p> <p>מוקד הרכבה: יצרנים מרובים</p> <p>גיל המערכות: אחיד/שונה</p> <p>מוקד אינטגרציה: אינטגרציות מרובות בד"כ של מערכות מסוגים שונים נדרש מוקד אינטגרציה אזורי</p> <p>עיתוי האינטגרציה: לאורך חיי המוצר</p> <p>אחריות לביצועים: בנקודות מסוימות קיימת חובת עמידה בדרישות רגולציה. נקודות אחרות פתוחות לעמדת יצרן</p>
--	---

מיון אתגרים הנדסיים לפי HKM:

לצורך ניתוח האתגרים המיוחדים של סוגי הפרויקטים השונים, בוצע מיון של 8 סוגי הפרויקטים השונים על פי שיטת המיון שהוצעה ע"י על פי Hitchins Kasser and Massie (2000). על פי HKM ניתן לזהות חמש רמות להנדסת מערכות:

רמה 1 – מוצר (בד"כ רכיב במערכת) שעבורו מבוצעת הנדסת מערכות על מנת לייצר מוצר איכותי. בארגונים רבים הנדסת המערכות מבוצעת ברמה זו.

רמה 2 - מערכת או פרויקט שעבורו מבוצעת הנדסת מערכות שמטרתה לבצע אופטימיזציה בראיית אינטגרטיבית של כלל תתי-המערכות או המרכיבים במערכת/בפרוייקט. המונח הנדסת מערכות מוכוון במקרים רבים לרמה זו.

רמה 3 – ארגון שעבורו מבוצעת הנדסת מערכות שמטרתה לבצע אופטימיזציה בראיית כלל הארגון (באופן עצמאי ופנים ארגוני ללא תלות בארגונים אחרים).

רמה 4 – ענף בתעשייה שעבורו מבוצעת הנדסת מערכות לשרשרת הערך כולה.

רמה 5 – סוציו-אקונומית – ממשל, חוקים ותקנים.

במאמרו האחרון של זאב בון [Bonon, 2008] Issues in Man Made Systems theory מציג בון אף הוא חלוקה ל-5 שכבות של מערכות והן:

Bonon	HKM	רמה
Inanimate Systems	מוצר	רמה 1
A Managed Systems Engineered System Producing Organizations	מערכת	רמה 2
Population of Independent Managed SOS	מערך תומך ארגון	רמה 3
Population of Unmanaged Systems & actors	ענף בתעשייה	רמה 4
Regulation & Control Systems	סוציו אקונומית, ממשל	רמה 5

סיכום:

מיון ופילוח אתגרים הנדסיים לצרכי התאמת מתודולוגיה הנדסית

בפרק זה הונחו היסודות לתהליך הניתוח לבחינת מתודולוגיות הנדסת מערכות והתאמתן לסוגי האתגרים ההנדסיים השונים. נסקרו מספר מודלים לפילוח אתגרי הנדסת מערכות וביניהם מודל בונן-שנהר, מודל HKM מודל 5 שכבות של בונן. לשלושת המודלים נקודות ייחודיות מחד ושטחי חפיפה, מאידך. היות ולצרכי מיון אתגרים הנדסיים נדרש מודל פשוט וחד-חד ערכי הוחלט שלצרכי עבודה זו יגובש מודל לוגי המתאים לפילוח סוגי האתגרים ההנדסיים ומאפשר שיוך והתאמה של מתודולוגיות הנדסת מערכות מתאימות.

תהליך מיון האתגרים ההנדסיים הוביל לקבלת תמונת מצב/מאפייני פרויקטים הבאים:

מאפייני פרויקטים	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8
סוג פרויקט:	Product Develop	System develop	Composite Systems	Autonomous	SOS	System Arrays	Unmanaged development	Local Systems
מאפייני משתמש קצה:	לא ידועים	ידועים	ידועים	ידועים	ידועים	ידועים	ידועים	ידועים
מאפייני סביבת השימוש:	לא ידועים	ידועים	ידועים	ידועים	ידועים	ידועים	ידועים	ידועים
דרישות פונקציונאליות:	ברורות	ברורות	ברורות אם כי מרובות	ברורות אם כי מרובות	ברורות אם כי מרובות	ברורות אם כי מרובות	מתפתחות	מתפתחות
מהנדס מערכת:	בודד	צוות	צוות רב תחומי	צוות רב תחומי	צוות רב תחומי	צוות רב תחומי	מהנדסי פרויקטים אחרים	מהנדסי פרויקטים אחרים
מוקד הרכבה:	יצרן בודד	יצרן בודד	מרכז אינטגרציה	מרכז אינטגרציה	מרכז אינטגרציה	מבזר	מבזר	מבזר
מוקד אינטגרציה:	יחיד	מרכזי	מרכזי	מרכזי	מרכזי	מבזר /אירגון	מבזר /אירגון	מבזר /אירגון
האינטגרציה עם מערכות לקוח אחריות לביצועים:	לא נדרש	לקוח באחריות לקוח	לקוח באחריות לקוח	לקוח באחריות לקוח	אנטגרטור ראשי לקוח	אנשי האירגון	אנשי האירגון	אנשי האירגון
אחריות לביצועים:	יצרן	יצרן	מרבחה: מזמין/מפתח	אינטגרטור יצרנים	אינטגרטור יצרנים	IT/אירגון/ יצרנים	אירגון /מנהלי פרויקטים נלווים	אירגון /מנהלי פרויקטים נלווים
עיתוי אינטגרציה:	תוכנית הפרויקט	תוכנית הפרויקט	תוכנית הפרויקט	תוכנית הפרויקט	תוכנית הפרויקט	לאורך כל חיי המערכות	לאורך כל חיי המערכות	לאורך כל חיי המערכות
סביבת הפעלה/הטמעה:	-----	-----	-----	רובטיקה ותחבורה	צבאית/אירגונים	אירגונים	Cloud	העירונית הסביבה
חדשנות/בשלות:	משתנה	משתנה	משתנה	משתנה	משתנה	משתנה	בינונית/נמוכה	נמוכה

על פי המלצות עבודה זו מוצע לקדם בהמשך מהלך לפילוח מוסכם של סוגי האתגרים ההנדסיים.

פרק 2: הצגת מצב הידע

מצב הידע ברשומות – סקר ספרות

בפרק זה יתקיים דיון בשפה העברית, בנושא הספרות הקיימת כיום במישור פתרון הבעיות שציינו בפרק קודם. סקירת ספרות מלאה באנגלית מפורטת בנספח ב'.

מערך של מערכות (System of Systems), מוגדר כאוסף של מערכות הנשענות על משאבים משותפים, המייצרות יחד יכולת חדשה ומורכבת, שאינה נוצרת מסך היכולות שכל אחת מהמערכות מייצרת בנפרד.

על פי Maeir (1994, 1996) ישנם מספר מאפיינים למערך של מערכות:

עצמאות תפעולית של כל תת-מערכת/רכיב.

עצמאות ניהולית של כל תת-מערכת/רכיב.

פיתוח הדרגתי של היכולות.

התנהגות מתהווה (Emergent behavior).

תפוצה גיאוגרפית של תתי-המערכות/רכיבים כך שאינם נמצאים באתר אחד.

על פי Selber and Austin (2008) ישנם שני מאפיינים נוספים מתחייבים:

מורכבות המערך אינה גדלה כאשר מוסיפים, גורעים או משנים מערכת/רכיב.

עקרונות ארכיטקטורת המערך אינם משתנים כאשר מוסיפים, גורעים או משנים מערכת/רכיב.

על פי Hitchins Kasser and Massie (2000) ישנן חמש רמות להנדסת מערכות:

רמה 1 – מוצר (בד"כ רכיב במערכת), שעבורו מבוצעת הנדסת מערכות על מנת לייצר מוצר איכותי. בארגונים רבים הנדסת המערכות מבוצעת ברמה זו.

רמה 2 – מערכת או פרויקט שעבורו מבוצעת הנדסת מערכות, שמטרתה לבצע אופטימיזציה בראייה אינטגרטיבית של כלל תתי-המערכות או המרכיבים במערכת/בפרוייקט. המונח הנדסת מערכות מוכוון במקרים רבים לרמה זו.

רמה 3 – ארגון שעבורו מבוצעת הנדסת מערכות שמטרתה לבצע אופטימיזציה בראיית כלל הארגון (באופן עצמאי ופנים ארגוני ללא תלות בארגונים אחרים).

רמה 4 – ענף בתעשייה שעבורו מבוצעת הנדסת מערכות לשרשרת הערך כולה.

רמה 5 – סוציו-אקונומית – ממשל, חוקים ותקנים.

על פי מודל HKM, מערך של מערכות מהווה חלק מרמה 2. אך בבואנו לדון בפתרונות לבעיה שהוצגה, אנו נדרשים לתת מענה למערכים בלתי מסונכרנים של מערכות ולכן מודלים של SoS אינם מספקים מכיוון שעוסקים במאמץ מסונכרן של פיתוח המערכים. לכן, בוצעה סקירה של מתודולוגיות להנדסת מערכות ברמה 3 שנותנת מענה להנדסת מערכות רוחבית בארגון (Enterprise Architecture).

המתודולוגיות העיקריות שנסקרו להנדסת מערכות ברמת הארגון הן: המודל של Zachman, DODAF, ו-TOGAF.

המודל של Zachman (1987) הוא מודל אנליטי שמגדיר קונספט לאינטגרציה של כלל הארכיטקטורות הפרטניות של מרכיבים שונים בארגון, לידי תמונה כוללת. המודל מורכב משני מימדים: האחד בציר המימוש מהתכנון בהקשר הרלוונטי, הגדרת הקונספט, אפיון המימוש ועד המימוש הפרטני, והשני בציר ההמחשה שמעלה שאלות מה? איך? היכן? מי? מתי? ולמה? שני מימדים אלו יוצרים טבלה שמסייעת להבנת תמונת הארגון הכוללת.

המודל (The Department of Defense Architecture Framework) DODAF הוגדר על מנת לתכנן ולנהל את ארכיטקטורת הארגון. ע"פ **Levis & Wagenhals** (2000), הוא מכוון לעולם הצבאי ובגרסתו הראשונה נקרא C4ISR- Command, Control, Communications, Computers, and Intelligence, Surveillance, and Reconnaissance. המודל מורכב מאוד למימוש ומותאם בעיקר לארגונים גדולים עתירי IT, עבורם השילוביות חוצת הארגון מהווה אתגר משמעותי. המודל מגדיר מספר רב של תוצרים, כשכל אחד מהם מייצר נקודת מבט ארכיטקטונית שהמרכזיות שבהן הינן ארכיטקטורה תפעולית, ארכיטקטורת מערכות ושירותים וארכיטקטורת תקנים טכנית.

מודל TOGAF פותח ע"י חברות מובילות בעולם בתחום ה-IT בשיתוף עם גורמי אקדמיה באמצעות פורום שנקרא The Open Group. ע"פ **Buckl, Ernst, Matthes, Ramacher & Schweda** (2009) המודל מגדיר תהליך מעגלי של זיהוי, הגדרה ועדכון דרישות לארכיטקטורת הארגון. כתנאי מקדים לתחילת התהליך נדרש לבצע הערכות ארגונית והתנעה לניהול ארכיטקטורה בארגון. התהליך המעגלי מתחיל בהגדרת ארכיטקטורת חזון ע"י בעלי העניין, הגדרת ארכיטקטורה עסקית נוכחית, ארכיטקטורת מערכות מידע נוכחית, ארכיטקטורת טכנולוגיות קיימות והגדרת הפערים בין מצב קיים לחזון. לאחר מכן מוגדרות ההזדמנויות והפתרונות ונבנית תכנית הגירה לארכיטקטורת החזון. לאחר מכן מתבצעת בקרה על המימוש וניהול השינויים. בתום התהליך מותנע שוב מעגל חדש של התהליך.

על פי **Humphrey** (2006) האתגרים העתידיים שנובעים ממורכבות הולכת וגדלה בהיקף האינטגרציה מחייבים מתודולוגיית הנדסת מערכות מתאימה. כל ניסיון, לעשות שימוש במתודולוגיות ההנדסיות הקיימות להתמודדות עם אתגרים אלה נועד לכישלון. המפרי מציע מרשם בסיסי וקוים כלליים למתודולוגיה חדשה שכוללים: הגדרת ליבת מערכת, עבודה מקבילית בכמה כיווני התפתחות ובחינת בשלותם והפיתוח הספיראלי.

סקירת ספרות (בשפת המקור)

הערה: במהלך סקירת הספרות הגיע צוות המחקר למסקנה כי ייצוג של תובנות מתקדמות בתחום תורת הנדסת המערכות מתבסס על מושגים המופיעים בקונטקסט מסוים ותרגומם לשפה העברית עלול לפגוע בבהירות הדברים. אי לכך מצא צוות המחקר לנכון להשאיר חלק מסקירת הספרות בשפת המקור ובכך להישאר נאמן לקונטקסט המדויק בו נכתבו הדברים.

System of systems (SoS) is a collection of task-oriented or dedicated systems that pool their resources and capabilities together to obtain a new, more complex, 'meta-system' which offers more functionality and performance than simply the sum of the constituent systems.

Commonly proposed descriptions, not necessarily definitions, of systems of systems are outlined below in order of their appearance in the literature (**Jamshidi**, 2005):

Linking systems into joint system of systems allows for the interoperability and synergism of Command, Control, Computers, Communications, and Information (C⁴I) and Intelligence, Surveillance and Reconnaissance (ISR) Systems: (**Manthorpe**, 1996) *description in the field of information superiority in modern military.*

Systems of systems are large-scale concurrent and distributed systems the components of which are complex systems themselves: http://en.wikipedia.org/wiki/System_of_systems_-_cite_note-3 (**Kotov**, 1997) *description in the field of communicating structures and information systems in private enterprise.*

System of systems education involves the integration of systems into system of systems that ultimately contribute to evolution of the social infrastructure: http://en.wikipedia.org/wiki/System_of_systems_-_cite_note-4 (**Luskasik**, 1998)

description in the field of education of engineers on the importance of systems and their integration.

System of systems integration is a method to pursue development, integration, interoperability, and optimization of systems to enhance performance in future battlefield scenarios: http://en.wikipedia.org/wiki/System_of_systems_-_cite_note-5 (**Pei**, 2000) *description in the field of information intensive systems integration in the military.*

Modern systems that comprise system of systems problems are not monolithic, rather they have five common characteristics: operational independence of the individual systems, managerial independence of the systems, geographical distribution, emergent behavior and evolutionary development: http://en.wikipedia.org/wiki/System_of_systems_-_cite_note-6 (**Sage**, et al., 2001) *description in the field of evolutionary acquisition of complex adaptive systems in the military.*

Enterprise systems of systems engineering is focused on coupling traditional systems engineering activities with enterprise activities of strategic planning and investment analysis: (**Carlock**, et al., 2001) *description in the field of information intensive systems in private enterprise.*

System of systems problems are a collection of trans-domain networks of heterogeneous systems that are likely to exhibit operational and managerial independence, geographical distribution, and emergent and evolutionary behaviors that would not be apparent if the systems and their interactions are modeled separately: (**DeLaurentis** , 2005) *description in the field of National Transportation System, Integrated Military and Space Exploration.*

According to Sage: (**Sage**, 2007), SoS is defined by following characteristics:

Elements include:

Organizations.

People.

Processes.

Products (Inanimate systems).

Usually dispersed over a large area.

Sub-Systems can survive and perform by themselves useful missions, even if disconnected from the higher levels of the SOS; in short they are stable sub-Systems.

This is a federation of divisible stand alone Systems.

According to Bonen (**Bonen**, 1984) stresses the major role of people as an essential part of the SOS.

It includes also monolithic, indivisible systems. In any case, the inclusion of people inside a system requires also the application of “soft” methodologies, in analysis and synthesis. These are not necessary for the analysis and synthesis of “hard” inanimate systems. Hence, SOS engineering is different in many aspects from traditional system engineering.

SOS are dispersed, hence they must use connecting networks to tie their parts together. Thus a system and the various networks used by it are complementary.

Indeed, the structure of a system depends a great deal on its networks. In particular, adaptive networks are essential for system adaptation.

According to Mark Maier (**Maier**: 1994, 1996), SOS is defined by the following characteristics:

Operational Independence of the Elements: If the system-of-systems is disassembled into its component systems the component systems must be able to usefully operate independently. The system-of-systems is composed of systems which are independent and useful in their own right.

Managerial Independence of the Elements: The component systems not only can operate independently, they do operate independently. The component systems are separately acquired and integrated but maintain a continuing operational existence independent of the system-of- systems.

Evolutionary Development: The system-of-systems does not appear fully formed. Its development and existence is evolutionary with functions and purposes added, removed, and modified with experience.

Emergent Behavior: The system performs functions and carries out purposes that do not reside in any component system. These behaviors are emergent properties of the entire system-of-systems and cannot be localized to any component system. The principal purposes of the systems-of-systems are fulfilled by these behaviors.

Geographic Distribution: The geographic extent of the component systems is large. Large is a nebulous and relative concept as communication capabilities increase, but at a minimum it means that the components can readily exchange only information and not substantial quantities of mass or energy.

Since one of our case studies is from the transportation arena it is interesting to explore carefully Mark Parker (**Parker**, 2010), SOS definitions, since he address the unsynchronized issue. To achieve the global need for efficient transportation of people and goods across land without having a complexity growth, we require the application of a system of systems approach that unifies existing, diverse transportation modes and unsynchronized systems into a functioning whole, optimizes their operations, and enables future capability growth to respond to national, regional, and local needs. Parker mentions **Selberg and Austin** (2008) that go further in defining an evolutionary SOS by adding two principles:

The **complexity of the SOS** framework **does not grow** as constituent systems are added, removed, or replaced.

The **constituent SOS does not need to be re-engineered** as other constituent systems are added, removed, or replaced.

These principles may be counterintuitive but for a national transportation system to continue to meet a nation's needs it must be structured so to **evolve without growing in complexity**. System evolution coupled with increased complexity generates the risk of the system collapsing due to its complexity. Similarly, a well structured transportation system with open architectures and defined interfaces will enable constituent system changes without a costly system level redesign.

Using a SOS definition promotes a new way of thinking for solving unprecedented and complex challenges where the interactions of technology, policy and economics influence the system's development and operation. The new thinking must recognize that, unlike traditional system development, a SOS will likely

experience greater influence from policy and economics than technology. It also does not mandate specific tools, methods, or practices; instead, the development and maintenance of such systems relies on multiple types and levels of descriptive architectures. These architectures serve the purpose of providing unifying conceptual views as well as identification of interfaces between and among the architectures. The interfaces are the connective points that enable the individual systems to interoperate as a whole system. It is the maintenance of the interfaces that enables the constituent systems to evolve while remaining in and contributing to the integrated whole.

Standards are important, defining elements of the interfaces of the SoS. According to **Maier and Rechtin (2002)**, standards are network goods that, in economics, are a commodity that increases in value the more it is consumed. In the case of a standard, it increases in value the more widespread its use by products and industries. A standard also provides a degree of uniformity and certainty that fosters system development and performance. In its Smarter Planet™ initiative, IBM (2010) wrote, “Importantly, we’ve learned that our companies, our cities, and our world are complex systems — indeed, systems of systems — that require new things of us as leaders, as workers, and as citizens. ...Global standards, not just technological ones, across all dimensions and at all the interfaces of these complex systems. ...A smarter planet will require a profound shift in management and governance toward far more collaborative approaches.”As IBM notes, standards are not solely technical in nature. Many standards come from standard-setting organizations such as the International Standards Organization (ISO), but they can also take the form of best practices and design guides that, through widespread application, become de facto standards. The de facto standards become more evident as guiding solutions when applied to local situations that are more directly influenced by social, political, and cultural effects. In applying standards to a system it is also important to identify the areas where standards do not exist and the existing standards that require modification.

Standards must also be managed over the life of the system to ensure they continue to be enablers for system interoperability and performance. Standards that are locally imposed will be the easiest to manage over time whereas more broadly used standards will require existing or new standards-governing bodies to add, modify, or delete standards to address evolving requirements and technologies.

In the context of transportation, a SoS approach has the flexibility to be used at the macro global, regional, and national levels, and at the micro local, neighborhood levels. It can be applied to relatively small-scale, grass roots, bottom-up initiatives as well as large-scale, complex, top-down solutions with strong governmental involvement or strong market-driven emphasis. A bottom-up approach relying on local, limited resources to identify the existing components of a here-to-fore unrecognized SoS can begin by simply mapping how the existing independent components intersect and interoperate to form a higher-level SoS. This newly identified, local SOS when combined with other local systems will itself become a constituent system or building block in a larger, regional or national transportation SOS. In essence, a national level transportation system then becomes a system of smaller systems of systems that interoperate through shared architectural frameworks, interfaces, and standards.

HKM (Hitchins, Kasser and Massie) Framework

HKM is a framework for a systems engineering body of knowledge (Kasser and Massie, 2000). They proposed an approach based on architectures in which

military enterprise architecture would be developed. It is based on Hitchins' Five-layer Model (2000) proposed the following five-layer model for systems engineering:

Layer 5 – Socioeconomic - regulation and government control.

Level 4 - Industrial Systems Engineering - engineering of complete supply chains/circles.

Level 3 - Business Systems Engineering - many businesses make an industry. At this level, systems engineering seeks to optimize performance somewhat independent of other businesses.

Level 2 - Project or System Level - many projects make a business. Western engineer managers operate at this level, principally making complex artifacts.

Level 1 - Product Level - many products make a system. This level is the tangible artifact level. Many engineers and their institutions consider this to be the only "real" systems engineering.

Hitchins states that the 5 layers form a "nesting" model, i.e. many products make a project, many projects make a business, many businesses make an industry and many industries make a socio-economic system.

According to HKM framework SOS models would be part of level 2. SOS models usually refer to a synchronized effort, and therefore we also cover some important standards of enterprise architecture at level 3 to address our issue of business system engineering.

ZACHMAN Framework this one is the first to be really relevant

In 1987 John A. Zachman, an IBM researcher, proposed the Zachman Framework, which is an analytic model of conceptualizing how all of the more specific architectures that an organization might create, can be integrated into a comprehensive picture (**Zachman, 1987**). Zachman borrowed the term architecture from the building trades and suggested parallels in software development. He stressed that an organization does not have a single architecture, but has, instead, a whole range of diagrams and documents representing different aspects or viewpoints and different stages. In the years since, he has worked to refine and elaborate his framework. [שגיאה! מקור ההפניה](#) [לא נמצא. שגיאה! מקור ההפניה לא נמצא.](#) provides an overview of the current Zachman Framework.

	What? Data	How? Function	Where? Network	Who? People	When? Time	Why? Motivation
Scope (contextual) Planner	Goal List	Process List	Material List	Organizational Unit & Role List	Geo. Location List	Event List
Enterprise model (conceptual) Owner	Goal Relation	Process Model	Entity Relations Model	Organizational Unit & Role Model	Location Model	Event Model
System model (logical) Designer	Rules Diagram	Process Diagram	Data Model Diagram	Role Relations Diagram	Location Diagram	Event Diagram
Technology model (physical) Builder	Rules Spec.	Process Function Spec.	Data Entity Spec.	Role Spec.	Location Spec.	Event Spec.
Detailed representations (out of context) Sub-contractor	Rules Details	Process Details	Data Details	Role Details	Location Details	Event Details

Table 1: Zachman Framework overview

The Framework for Enterprise Architecture is a two dimensional classification scheme for descriptive representations of an Enterprise. The vertical dimension (the rows) describes the perspectives of those who use the descriptions contained in the cells. The top row represents generic perspective of an organization, while lower rows are more concrete. The bottom row represents a description of the actual data, code and people that make up the enterprise. The horizontal dimension of the framework (the columns) describes the types of abstractions that define each perspective. These abstractions are as follows: DATA: What is it made of? This focuses on the material composition of the product. In the case of software systems, it focuses on data.

FUNCTION: How does it work? This focuses on the functions or processes.

NETWORK: Where are the elements located relative to one another? This focuses on the geometry or connectivity of the product.

PEOPLE: Who does what work? This focuses on the people and the operating instructions or models they use to perform their tasks.

TIME: When do things happen? This focuses on the life cycles, timing and schedules used to control activities.

MOTIVATION: Why do things happen? This focuses on goals, plans and rules that prescribe policies that guide the organization.

The Framework is a generic classification scheme for design artifacts, that is, descriptive representations of any complex object, like an organization.

The advantages of this framework are that it is a comprehensive – addresses the enterprise as a whole, it is simplistic in its structure, easy to understand, and has logical structure for descriptive representations of any complex object independently of tools or methodologies.

Despite of its popularity, the Zachman framework could be a challengeable one in practical situations because there are not enough well-known methods and tools covering all of its aspects. Its major disadvantages are the large number of cells, which is an obstacle for the practical applicability of the framework, and the relations between the cells are not clearly defined. This framework is simply a classification scheme for descriptive representations of complex objects and does not give details of enterprise development and direction to incorporation.

DoDAF

The Department of Defense Architecture Framework (DoDAF) is a reference model to organize the enterprise architecture (EA) and systems architecture into complementary and consistent views. The first version was developed in the 1990s under the name C4ISR architectural Architecture Framework. C4ISR stand for The Command, Control, Communications, Computers, and Intelligence, Surveillance, and Reconnaissance, and it is clearly aimed at military systems (**Levis & Wagenhals**, 2000). The latest version DoDAF v2.0 was approved on 2009. Other derivative frameworks based on DoDAF include the NATO Architecture Framework (NAF) and Ministry of Defense (United Kingdom) Architecture Framework (MoDAF). Like other EA approaches, DoDAF is organized around a shared repository to hold work products. A key feature of DoDAF is

interoperability, which is organized as a series of levels, called Levels of Information System Interoperability.

The DoDAF defines a set of products that act as mechanisms for visualizing, understanding, and assimilating the broad scope and complexities of an architecture description through graphic, tabular, or textual means, in purpose to ensure a common denominator for understanding, comparing and integrating architectures.

It is especially suited to large systems with complex integration and interoperability challenges, and is apparently unique in its detailing the customer's operating domain in which the developing system will operate. It focuses on the significant impact on technology intensive organizations. The purpose of DoDAF is to define concepts and models usable in six core processes: Capabilities Integration and Development (JCIDS), Planning, Programming, Budgeting, and Execution (PPBE), Acquisition System (DAS), Systems Engineering (SE), Operations Planning and Capabilities Portfolio Management (CPM).

The DoDAF encompasses 29 architectural products or "views" that can be used to describe a myriad of complex technical, physical, and conceptual systems. The views are divided into four main categories: All Views (AV), Operational Views (OV), Systems and Services Views (SV), and Technical Views (TV). Each view is tailored to provide information on different aspects of the system. The operational views are functional description of how systems work together. The system views describe the physical components and their relationships. The technical views focus on technical standards and conventions for interoperability and commonality.

The framework concentrates on required deliverables, and not on the architectural process. Its main advantages are that it gives comprehensive perspective to define the enterprise in totality, from conception to design to implementation through verification and validation, through upgrades and final disposal. The framework stimulates the architect to produce a product that can grow as technology changes and software requirements migrate. The DoDAF is highly structural in that it provides a sturdy framework or base to begin building an architecture description.

Architecture frameworks are tools for managing system complexity by structuring data in a common language and format. By characterizing the form, function, and rules governing systems, architecture frameworks serve as a communication tool to stakeholder communities. DODAF was found most applicable for emergent properties and conducting dynamic quantitative analyses of system architecture (**Richards, Shah, Hastings & Rhodes, 2007**).

However, this framework is cumbersome, almost impractical and it is doubtful that such an effort would contribute significantly to system development (**Lankhorst, 2009**). The DoDAF is inelastic in that it follows a direct path with little variance, and leaves little room for tolerances or diversions to enable enterprise adaption.

TOGAF

TOGAF is an industry standard architecture framework that may be used by any organization wishing to develop information systems architecture for use within that organization. TOGAF has been developed and continuously evolved since 1995 by representatives of some of the world's leading IT customer, vendor organizations and academics working in The Open Group's Architecture Forum.

Its first version was originally based on TAFIM (U.S. DoD). Its updated version is TOGAF Version 9 Enterprise Edition, which was published in 2009. It is a detailed method and set of supporting resources for developing an Enterprise Architecture. Its main goals are to understand and address current and emerging requirements, establish policies and share best practice, facilitate interoperability, evolve and integrate specifications and open source technologies and generate Architecture Development Method (ADM) guidelines and techniques (**Buckl, Ernst, Matthes, Ramacher & Schweda, 2009**). The ADM process and techniques for architecture development are:

Architecture Content Framework: Architecture content meta-model, architectural artifacts, architecture deliverables and building blocks.

Enterprise Continuum and Tools: A model for structuring a virtual repository, methods for classifying architecture and tools for architecture development.

TOGAF Reference Models: Technical reference model (Foundation architecture) and integrated information infrastructure reference model.

Architecture Capability Framework: A structured definition of the organizations, skills, roles and responsibilities to establish and operate an Enterprise Architecture.

The ADM describes a cyclic process model, in ten different phases of EA development (see Figure 2) as a generic method.

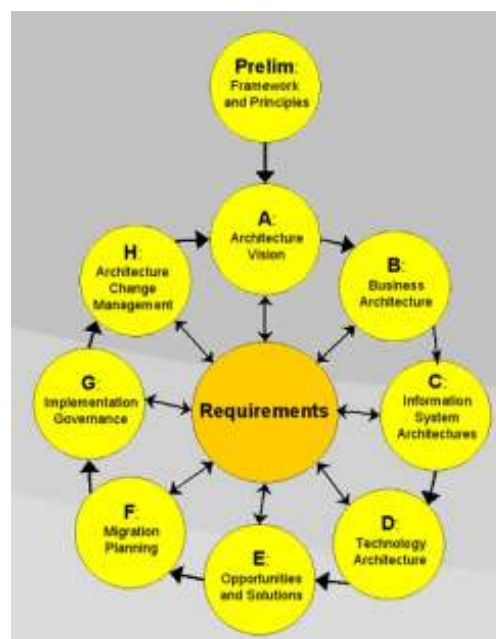


Figure 2: ADM cyclic process model

The TOGAF ADM cycle starts with the Preliminary phase, which prepares and initializes the EA management approach. Typical tasks executed in this phase include definition and establishment of the EA team, selection and implementation of supporting tools, as well as the definition of architecture guidelines and principles. After these activities are performed, the EA management endeavor is defined within the Architecture Vision phase (A). A core objective of this phase is to identify the relevant stakeholders and their concerns. Based on the architecture vision developed, the corresponding Business Architecture (B), Information Systems Architectures (C), and Technology Architecture (D) are developed. Initially, the current architecture is described. A gap analysis is performed to

evaluate the differences between the current and the target architecture. The phase Opportunities and Solutions (E) is concerned with the derivation of projects and programs, which describe the transformation from the current to the target architecture. The major steps to be performed in this phase are the consolidation of the gap analyses. The Migration Planning phase (F), which is concerned with the formulation of an implementation and migration plan that schedules and realizes some or all of the planned architectures. The major steps within this phase are the assignment of a business value to each project, the prioritization of projects, and the generation of a roadmap and migration plan. In the phase Implementation Governance (G) the projects selected for realization in the preceding phase are executed. Major tasks of this phase are the identification of deployment resources and skills, monitoring of the execution, and the conduction of reviews. The Architecture Change Management phase (H) concludes an ADM cycle and prepares the initiation of another cycle. Key tasks of this phase are the deployment of monitoring techniques for the architecture process, and the development of change requirements to meet performance targets. This phase looks at the process of managing architecture requirements throughout the ADM. All phases together define a process whereby requirements for enterprise architecture are identified, stored, and changed.

This framework advantages are that it provides guidance on a less abstract level than the Zachman framework. The ADM is developed to be a generally applicable EA management process, not tailored to a narrow application field such as DODAF. These guidelines nevertheless stay on a rather generic level and might hence not be directly applicable to a specific enterprise.

Systems of Systems: Scaling Up the Development Process (Watts Humphrey, 2006)

Large and complex computer-based systems are now critical to the economic and military welfare of the society population worldwide. These systems form the backbone of modern military, business, and governmental operations. Unfortunately, the development of such systems has been troubled, and the systems needed in the future will be vastly more complex and challenging. If history is any guide, attempting to develop these future systems with the outmoded methods of the past will almost certainly yield unsatisfactory results.

System of Systems research area is extensive and involves a host of technical and management issues. However, there has not yet been a concerted effort to define and understand the process management and control issues involved in the development, evolution, and operation of these systems. Since a number of groups are currently defining and starting to develop such methodologies, it is important to understand the suitability of the traditional development processes that will have to be used if newer and more appropriate methods are not defined and adopted.

The report reviews the challenges of developing near future technological systems and outlines steps for addressing them. The report tries to verify whether different classes of scale of integration requires specific SE methodologies & if yes, what are the characteristics of such integration classes & what processes, methods, and practices should be used?

The Internet is an array-of-systems that has evolved over a number of years and in a largely undirected manner. It was started with an inspired set of architectural and design choices, but its subsequent evolution has not been centrally controlled or directed. However, the many SoS-like systems that have been and are being

proposed are all needed for specific purposes, and must be obtained on defined schedules and for committed costs. The characteristics of such systems differ widely from those of prior large-scale systems, and the development methods used in the past are almost certainly inadequate.

The principal characteristics of these future SoS-like systems relate to their emergent behavior. In such behaviors many largely autonomous nodes cooperate to produce complex and unique overall system capabilities.

The report discusses the nature of future systems design. The partitioning of truly massive systems-of-systems into multiple semi-autonomous evolving large-scale systems. The tradeoffs required for this partitioning are particularly critical and have significant implications for the systems-development processes of the future.

Critical system-development projects have almost always failed because of project-management problems and the relationship between processes and technology.

The report discusses the requirements for a process that is scalable from small projects to truly massive development programs. It also describes why the current commonly used systems-development methods are not scalable.

Unless the steps outlined in this report are taken in conjunction with continued technical research and development, the systems development efforts of the future will continue to fail, and often catastrophically.

There are five ways in which a defined, planned, measured, and quality-controlled process can help improve both the business and technical performance of very large-scale traditional and SoS-like programs.

1. All modern science and engineering is based on learning from prior experience. Competent engineers and scientists know what experiments have been successful and base their processes on them. They stay current with process research developments and do not waste time experimenting with processes that have already produced unsatisfactory results. Until developers consistently use defined and proven processes, they will waste their time relearning known truths.

2. With an inefficient or ill-defined process, developers must follow poorly defined and inaccurate plans. With the data available from a modern process, plans can be both accurate and precise. With more appropriate plans, developers do not waste their time on routine project-management and planning tasks and can devote more of their efforts to creative technical work.

3. Quality work is not done by mistake. Quality must be planned, measured, tracked, and managed. When it is, product defect levels are normally reduced by orders of magnitude [Davis 03]. With current common practices, large software products typically have thousands of test defects and developers spend at least half of their time finding and fixing enough defects for the product to run the basic tests. Even then, finished products have many unidentified defects. While it takes considerable skill to fix defects in test, fixing defects is not creative work. For SoS-like systems, the development work must be done by people who strive to produce quality products in every step of their work.

4. Development is a learning process. However, unless this learning is codified and preserved, the resulting knowledge is generally lost. That is the reason developers should define, use, and continually improve their processes: to build on their own and other's experiences.

5. For individuals and groups to work together effectively, they must coordinate their activities. While very small groups can often do this informally, without defined processes and detailed plans, large groups cannot. To have a reasonable chance of being successful, the more challenging SoS-like development programs of the future must address the critical systems-development problems of cost and schedule, requirements instability, system properties, and process management. Further, whenever the separate system node or platform development efforts must coordinate their work, a higher level of system coordination, process management, and development planning is essential.

The need for new design, analysis, project-management, and quality methods with increasing scale are obvious in building construction.

SoS-like systems are like skyscrapers and the suitability of all of the methods used in their design and development must be defined, managed, and quality controlled.

When a project involves a system of unprecedented scale, that project must discover for itself the need for new methods.

There is generally little or no focus on the continued suitability of the existing smaller scale methods. The principal concern here is with the design and quality-management methods used in software development. When developers design and implement the modules and components of massive systems, they typically continue to use precisely the same methods they learned to use with the small toy problems they solved when first learning to program.

As noted in the previous sections of this report, the development processes of the future must meet five requirements. They must predictably control development costs and schedules, responsively handle changing needs, minimize development schedules, be scalable and predictably produce quality products.

This report concludes that, to successfully produce the large complex, and critical systems of the future, the development processes must be suitable to the scale of system integration.

The current commonly used systems-development methods have reached (or soon will reach) their feasibility limits, and continuing to develop the increasingly challenging and massive systems of the future with the outdated methods of the past is destined to failure. Furthermore, continuing to address the technology issues of SoS-like systems without simultaneously addressing their process-management, team-management, and quality-management issues will be counter-productive and could even be dangerous.

The danger is that, with the rapid pace of technology, society could well be lulled into the false belief that the technical community is capable of building the systems we can technically describe.

As these newer systems are used to support increasingly critical aspects of modern society, we then will likely face far more catastrophic system failures than we have experienced heretofore.

In summary, this report recommends that efforts be established, staffed, and funded to refine, test, and widely adopt processes that meet the requirements outlined in this report and that early projects be identified for testing and refining these processes on large-scale systems.

פרק 3: התאמת מתודולוגיות הנדסת מערכות בהתאם לאופי האתגר המערכתי

פרק זה יוקדש להצגת מודל חדש וקוהרנטי המאפשר פילוח של כלל סוגי האתגרים ההנדסיים כבסיס להתאמת מתודולוגיית הנדסת מערכות. על פי המודל המוצע, לסוג הטכנולוגיה ולרמת החדשנות/בשלות המוצר יש השפעה על אופי מתודולוגיית הנדסת המערכות המתאים לנקוט. אולם, בנוסף לשני פרמטרים אלו (סוג הטכנולוגיה ורמת הבשלות) יש לקחת בחשבון באיזו מ-4 (מתוך 5) סביבות התפעול/סביבת ההטמעה מיועדות המערכות החדשות לתפקד. בסביבה מערכתית, סביבה ארגונית, ענף תעשייה, סביבה לאומית. היות ולהבדלי סביבת ההטמעה, השפעה כה גדולה על אופי התהליכים ההנדסיים, מוקדש כל אחד מהפרקים הבאים לניתוח המאפיינים המיוחדים של רמה שלוש מתוך 5 הסביבות המוכרות.

התאמת מתודולוגיות לסוגי אתגרים הנדסיים

נדמה שההמשגה הטובה ביותר לרעיון התאמת מתודולוגיות לסוגי אתגר הנדסי מתקבלת בשאלת מושגים מעולם תובלת מטענים שבו לכל סוג מטען (מטענים ארוזים, מטען תפזורת, מטען נוזלי, מכולות סגורות, בטון) מותאם סוג כלי תובלה מתאים. כמו כן לכל סוג כלי תובלה דרכי הנסיעה האפשריים/מותרים לו (רכבת, משאיות קטנות, אוניות, מכולות וכו').

לאופי המטען השפעה ישירה על אופן פריקת המטען באתר היעד (הובלה ידנית, מנוף עזר, מסוע, צינורות יניקה וכד').

ניתן לייצג באופן גרפי את רעיון התאמת "דרכי הפעולה" (מתודולוגיות) לסוג "המטען הנדסי":

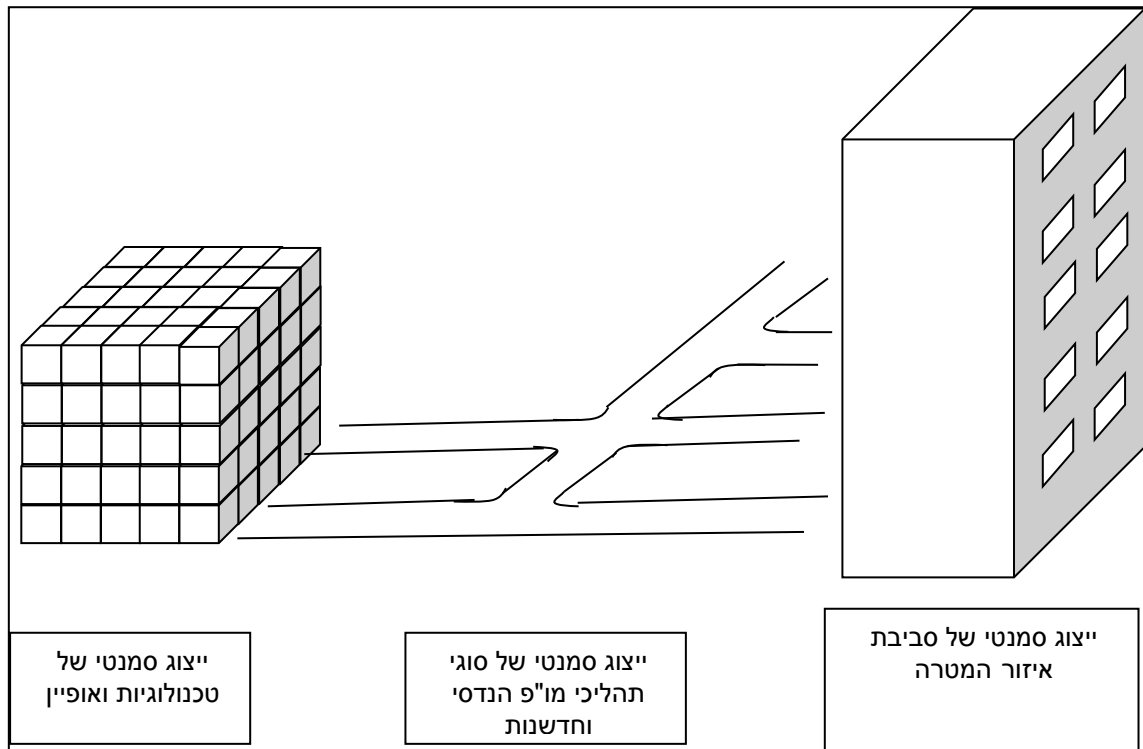


Figure 3: התאמת "דרכי הפעולה" (מתודולוגיות) לסוג "המטען הנדסי"

שלבים במיון אתגרים הנדסיים:

ניתן לזהות 3 שלבים במיון אתגרים הנדסיים:

- זיהוי סוג הטכנולוגיה המשולבת בפרויקט.
- זיהוי אופי איזור היעד של הפרויקט: שילוב טכנולוגיה לסביבה הארגונית, לסביבה העסקית ולסביבה הלאומית.
- זיהוי רמת הפרוייקט: פרויקט מחקר, פרויקט ישום ראשוני, פרויקט הטמעה המוני וכד'.

ניתוח סקר הספרות (המוצג בפרק 2) בוצע בהתייחס ל-3 שלבי המיון הנ"ל וזאת תוך חיפוש אחר מאמרים תובנות והמלצות בשלושה תחומים אלו.

להלן פירוט ממצאים ותובנות עיקריות העולים מסקר הספרות וזאת בפילוח ל 3 קטגוריות המודל:

קטגוריה ראשונה: סוגי טכנולוגיות/אתגרים הנדסיים

ממצא א1: התפיסה המציעה לבצע הבחנה בין סוגים שונים של אתגרים הנדסיים הועלתה לראשונה ע"י ד"ר זאב בון ופרופ' אהרון שנהר (1968). והיא מהווה בסיס ראוי להתחלת תהליך פילוח אתגרים הנדסיים.

ממצא א2: פרופ' אהרון שנהר הרחיב את השיטה ופיתח את מודל היהלום (עם פרופ' דביר) הכולל גם ניתוח סיכונים לכל סוג טכנולוגיה/אתגר הנדסי.

ממצא א3: שינויים בטכנולוגיות מחשוב, טכנולוגיות אינטרנט וטכנולוגיות תקשורת יצרו בסיס ליצירת מערכות מבוצרות בהיקפים שלא נודעו בעבר. מערכות אלו מייצרות אתגרים הנדסיים-מערכתיים חדשים המחייבים התייחסות מפורטת (Watts Humphrey).

ממצא א4: דו"ח מפורט ביותר, המעלה באופן מפורש את הצורך במתודולוגיות חדשות להתמודדות עם היקפי האינטגרציה המערכתית של מחר, הוא הדוח שנכתב ע"י Watts Humphrey עבור ה- SEI - Software Engineering Institute. יחד עם זאת, היות ו- Humphrey היה ממעבדי תהליכי הנדסת התוכנה ולזכותו נרשמו פיתוח תפיסת ה- CMMI, PMP ו- TMP, יתכן והמלצותיו נתפסות כרלוונטיות לתחום התוכנה בלבד בעוד שהמלצות אלו נכונות לכלל תחומי הנדסת המערכות.

קטגוריה שנייה: תצורת (ארכיטקטורת) אתר היעד

ממצא ב1: חשיבותה והשפעתה של הסביבה הארגונית על אופי המאמץ הנדסי מוזכרת במאמרו האחרון של ד"ר בון תוך שהוא מציינ את הצורך בבחינה של השפעתם של התהליכים הארגוניים על תהליכי הנדסת המערכות. או כפי שניסח זאת:

Bonen, 2009: Manmade systems theory laws include laws of nature & man made laws. The latter, if they interfere with the laws on nature, are hazardous.

ממצא ב2: SMARTER PLANET - IBM - מזהים כבר את הרב כיווניות אך עדיין כל תהליכי העבודה מתחילים בסדר תהליכי כלשהו.

In the context of transportation, a SoS approach has the flexibility to be used at the macro global, regional, and national levels, and at the micro local, neighborhood levels. It can be applied to relatively small-scale, grass roots, bottom-up initiatives as well as large-scale, complex, top-down solutions with strong governmental involvement or strong market-driven emphasis. A bottom-up approach relying on local, limited resources to identify the existing components of a here-to-fore unrecognized SoS can begin by simply mapping how the existing independent components intersect and interoperate to form a higher-level SoS.

ממצא ב3: טכנולוגיות התקשורת הקווית ותקשורת Mobile מובילים לשילובים בין מערכות שטרם שולבו בעבר ומייצרים על ידי כך ערך מוסף. למשל שילוב בין טכנולוגיות רכב לטכנולוגיות דרך. שילובים מסוג זה יוצרים שילוב פונקציונאלי בעל ערך ובנוסף מייצרים גם שילוב עקיף בין סביבות הנדסיות שמנוהלות באופן מסורתי בשפה, ותרבות תהליכית שונה.

קטגוריה שלישית: סוגי תהליכי הנדסת מערכות/מתודולוגיות עבודה

ממצא ג1: לאורך השנים פותחו מתודולוגיות שונות להנדסת מערכות וקיימים פרסומים רבים לגבי מתודולוגיות אלו. ברוב המוחלט של המקרים מוקדש המאמר לסקירת המתודולוגיה מבלי לעסוק בתיאור כלשהו של האתגר הנדסי שהיא מיועדת לפתור. (לדוגמה סקירת מתודולוגיות הנדסת מערכות FMOT- Florida Ministry of Transportation).

ממצא ג2: הספרות המקצועית מכילה מספר ארכיטקטורות עבודה המיועדות לפיתוח של מערכות מורכבות: Federal Architecture Model, TODAF, DODAF, וניתן לראות כי הפתרון כולל מודל ניהול תהליכי הנדסת מערכות, מודל ניהול פרויקטים, ומודל ניהול ארכיטקטורה עסקית!!! . מבלי להיכנס לפרטי הקשרים בין תהליכי ההנדסה, תהליכי הניהול והתהליכים העסקיים - חשוב להפנים את הצורך לתכנן במסגרת כל פרויקט את יחסי התאימות בין 3 תחומים אלו. אי התייחסות לנקודה זו, עלולה להביא לאי התאמות בין המודלים העסקיים, שיטות ניהול הפרויקטים ותהליכי הנדסת מערכות, דבר שיוביל לדיסוננס ארגוני שעלול להביא לכישלון הפרויקט.

ממצא ג3: IBM – בהצגת האתגרים המערכתיים העומדים לפנינו בעשור הבא, מזוהה הצורך בתהליכים הנדסיים המבוססים על שיתוף פעולה אמיתי ומציינים שנדרשת הרבה יותר מאשר הסכמה על סטנדרטים טכניים כדי ליצור את יכולת השיתופיות והשילוביות הנדרשת: Collaboration.

In its Smarter Planet™ initiative, IBM (2010) wrote, “Importantly, we’ve learned that our companies, our cities, and our world are complex systems — indeed, systems of systems — that require new things of us as leaders, as workers, and as citizens. ...Global standards, not just technological ones, across all dimensions and at all the interfaces of these complex systems. ...A smarter planet will require a profound shift in management and governance toward far more collaborative approaches.”As IBM notes

ממצא ג4: בסקירת הספרות שבוצעה להלן לא נמצא אזכור להבחנה בין הנדסת מערכות של מערכות SoS ובין הנדסה של מערכות System Arrays, למרות שהמונח System Arrays כן מופיע (בונן).

ממצא ג5: הספרות המקצועית רוויה במאמרים המפרטים תופעות בלתי רצויות (תב"רים) מעולם התוכן של הנדסת מערכים של מערכות. בסקירת הספרות שבוצעה להלן לא נמצא אזכור לזיהוי הסיבות לתופעות אלו בהקשר של היות הפרויקטים במערך פרויקטים בלתי מסונכרנים וזאת למרות שעל-פי עבודה זו, סיבת השורש לחלק מהתב"רים הנ"ל קשורה לאפקט של פרויקטים בלתי מסונכרנים.

מודל מיון אתגרים הנדסיים לשייך מתודולוגי - SRW-Sitton-Reuveni-Weiler Model

לאור חשיבותה של היכולת להתאים לכל אתגר הנדסי מתודולוגיית הנדסת מערכות מתאימה, ומאחר שלא נמצא בספרות מודל מתאים, מוצע להלן מודל קוהרנטי לפילוח אתגרים הנדסיים:

המודל המוצע להלן, מהווה למעשה מיזוג של נקודות המבט השונות של HKM מחד ובונן-שנהר מאידך. המודל מתבסס על סיווג אתגרים הנדסיים כתלות במאפייני הטכנולוגיה, מורכבות/חדשנות האתגר ההנדסי ומאפייני הסביבה היישומית.

המודל הוא מודל תלת מימדי המבוסס על ביצוע הבחנה בשלושה צירים:

ציר X – ציר רמת התכלול:

ציר זה מיועד לזיהוי סוג/רמת התכלול של המערכת והיא כוללת את הקטגוריות הבאות:

- רמת רכיב - Component
- רמת מערכת – System
- רמת מערכת של מערכות – SoS
- רמת מערך - System Array
- רמת מערכים שכנים – Adjacent Arrays

ציר Y - חדשנות/הבשלות הטכנולוגית

ציר זה מיועד לזיהוי רמת הבשלות של הטכנולוגיה/בשלות השוק והוא כולל את הקטגוריות הבאות:

- רמת חדשנות גבוהה: טרם יושם בעבר
- רמת מחקר יישומי: יישומים בודדים בלוי מחקרי Implementation Research
- רמת יישום ראשוני: בשימוש אצל מאמצים ראשוניים (Early Adopters)
- רמת בשלות מלאה: פונקציונאליות מלאה/היקף יישומים נרחב/ברמת סיכון נמוכה.
- רמת בשלות תשתיתית: משמש כאבן בנין בתכנון מערכות מסדר גבוה יותר.

ציר Z - סביבת המטרה:

ציר זה מיועד לאפיין את סביבת המטרה בה מיועדת המערכת לפעול והוא כולל את הקטגוריות הבאות:

- יישום יעודי - Unique Deployment
- יישום מודולארי – Modular Deployment
- יישום ארגוני – Organizational Deployment
- יישום בענף תעשייה – Industry's Branch Deployment
- יישום אזורי/חברתי – Regional/Social Deployment

SRW - SE Methodology Fit Model

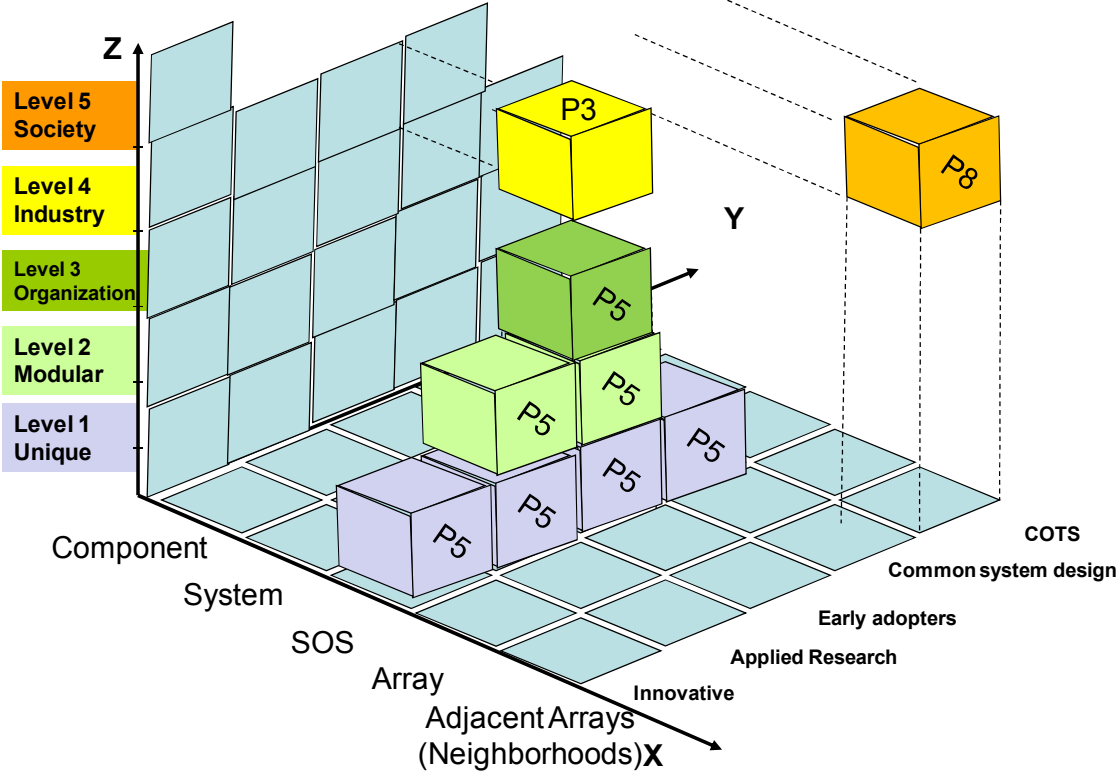


Figure 4: SRW - Fit Model

משמעויות נגזרות מהמודל המוצע:

מודל SRW מציע שיטה קוהרנטית למיון אתגרים הנדסיים לטובת התאמת מתודולוגיות הנדסיות. על פי מודל זה קיימות 5 משפחות של אתגרים הנדסיים ולכל אחד מהם מתודולוגיית הנדסת מערכות מתאימה.

כך למשל מתודולוגיית הנדסת מערכות של מעבורות החלל (SoS-Research-Unique) תהיה שונה מהנדסת מערכות של מטוסי קרב: (SoS-Small Scale-Organization) וזאת תהיה שונה מהנדסת מערכות של מכוניות: (SoS-Mass Deployment-Society).

המודל מזהה סוג חדש של קשר בין מערכתי – קשר השכנות/צמידות גיאוגרפית של מערכות. כדוגמת האפשרות לאחד בין מצלמות תנועה למצלמות אבטחה אם ורק אם הן ממוקמות באותו מקום. קשרי שכנות/צמידות גיאוגרפית הם אחד הגורמים להיווצרות של Emerging Properties הנובעים בד"כ מכך שמשתמשי הקצה של 2 מערכות שונות לחלוטין שתוכננו ע"י גורמים שונים מבחינים, כתוצאה מסמיכות מיקומם, באפשרות לשילובים מערכתיים חדשים.

מודל SRW מניח את התשתית להכנת קטלוג מתודולוגיות הנדסת מערכות, הכולל חלוקה למתודולוגיות ראשיות ופירוט ואריאנטים מתודולוגיים.

מודל SRW יפורט במאמר נפרד. המאמר יפרט את תכונות המודל, יציג דוגמאות לפילוח אתגרים הנדסיים לאור מודל זה.

קטלוג מתודולוגיות הנדסת מערכות הנגזר ממודל SRW יפורט במאמר נפרד. המאמר יפרט את אופן הבניית המתודולוגיות ויציג דוגמאות למתודולוגיות הנדסת מערכות.

פרק 4: מאפייני הסביבה הארגונית להנדסת מערכות

בהתאם ללוגיקה שהוצגה לעייל, מוקדש פרק 4 לניתוח תהליכי הנדסת מערכות בסביבה של ארגון, והוא מתבסס על ניסיון ומתודולוגיה ייחודית שהתגבשה בעשור האחרון בארגון ממשלתי. ניתוח תהליכים ארגוניים אלו מוביל לאבחנה החשובה בין תהליכי הנדסת מערכות אורכית לבין הנדסת מערכת רוחבית, וישמש עוגן מרכזי בניתוח הצורך במתודולוגיות המותאמות לאתגרים המתפתחים של תחום הנדסת המערכות.

בפרק זה תוצג סביבה לניהול תהליכי הנדסת מערכות בארגון מסוים עתיר טכנולוגיות בישראל, כדוגמה לרמה 3 עפ"י מודל חמש הרמות של Hitchins, תוך הבחנה ברורה בין שתי דיסציפלינות הנדסת מערכות (שלעיתים נוטים לראותן כדיסציפלינה אחת):

- הנדסת מערכת רוחבית.
- הנדסת מערכת אורכית.

על מנת להמחיש את הדוגמה נפרט מהם תהליכי הנדסת המערכות האורכית, המתבצעים בארגון ברובד המערכת הבודדת או הפרויקט, ומהם תהליכי הנדסת המערכות הרוחבית, המתבצעים ברובד התהליכים והמדיניות בארגון. בנוסף, נפרט את ההשפעות ההדדיות והממשקים בין שתי דיסציפלינות הנדסת מערכות אלו והשילוב ביניהן.

בעשור האחרון, עם הכניסה לעידן המידע, הפך המידע ליסוד בעל ערך רב לצורך עמידה ביעדים אופרטיביים, יעדים עסקיים ו/או אסטרטגיים, כאחד. בד בבד עם הבנת הצורך העסקי, ועם הבשלת היכולת הטכנולוגית, החלו לעלות צרכים לשיתוף מידע בין משתמשים בעולמות תוכן משותפים. דבר זה גרם להתפתחותם של ערוצי קישוריות בין מערכות המשרתות עולמות תוכן משותפים. דוגמה לערוץ קישוריות היא יצירת קישוריות גבוהה בין מערכות השו"ב (שליטה ובקרה, Command & Control – C²) השונות, שאפשרה למשתמשים שונים לשתף ביניהם מידע מערכתי ובכך לשפר את אפקטיביות תפקודם.

"ערוצי" קישוריות אלו היוו צעד ראשון ביצירת קישוריות לצורך שיתוף מידע, והדגימו את היכולת לייצר ערך מוסף (Added Value), שלא היה קיים קודם לכן תחת פעילות עצמאית של כל תת מערכת.

מעבר להזדמנויות הרבות שפתח עידן הקישוריות והמידע, נוצרה ארכיטקטורת "ספגטי" שהפכה לסבך מורכב. במקביל, החלו לצוץ בעיות רבות בפיתוח וניהול המערכות מסוג זה.

להלן סקירה של הבעיות העיקריות:

חוסר בכלי החלטה ברמה הארגונית

הארגון נחשף להזדמנויות רבות לשיפור האפקטיביות ע"י מיצוי ושיתוף מידע בין עולמות התוכן שבו. כתוצאה מכך, הולכת וגדלה ההשקעה ב- (Information Technology-IT), מתוך הבנה שהטכנולוגיות והמידע מהווים נדבך מרכזי בתפקודו של הארגון. למקבלי ההחלטות חסרים כלים שיסייעו להם להחליט כיצד להשקיע את הדולר הבא? דרישות פונקציונאליות חדשות וצרכים חדשים לשיתוף מידע עולים בד"כ ע"י משתמשים מתוך עבודתם בפועל, או ע"י מהנדסים שנחשפים לטכנולוגיות חדשות. ברוב המקרים, הצרכים עולים בראיה של אופטימיזציה מקומית של משתמש/מהנדס שרוצה לשפר תפקוד של עולם תוכן או מערכת מסוימת. לדוגמה, צורך לשילוב סנסור חדש עולה כמענה לצורך גילוי האויב במתאר חדש. אך ברמה הגלובלית, אין בארגון גורם שתפקידו לבחון את הצרכים הגלובליים של הארגון ולהעלות דרישות חדשות. היכולת לבצע אופטימיזציה גלובלית על כלל הצרכים קיימת אצל ההנהלה הבכירה, ואינה נתמכת בכלים או מתודולוגיה שתסייענה בקבלת ההחלטות.

תקלות בעת הפעלת מערכות/גרסאות חדשות (צימודים לא צפויים)

ככל שהקישוריות בין עולמות התוכן בארגון הולכת וגדלה, אנו צופים התנהגות אנומאלית, ואף כשל של מערכות הנגרם כתוצאה מ"התנהגות" בלתי צפויה של מערכת אחרת. הדבר נובע מכך שבעת פיתוח מערכת חדשה או גרסה חדשה למערכת קיימת, מתבצעות בדיקות מערכת ואף בדיקות אינטגרציה של המערכת עם המערכות המתממשקות אליה. אך בדיקות אלה אינן מספקות, מכיוון שלעיתים, זרימת מידע בעל תוכן שונה או בקצב שונה עלולה לגרום לנפילה

באחת מהמערכות המקושרות באופן עקיף למערך מערכות המידע בארגון. הקושי העיקרי הצפוי בתקלות מסוג זה הוא חוסר היכולת לחקור ולהבין את זרימת המידע כך שניתן יהיה להתחקות אחר מקור התקלה.

קושי והתארכות זמני אינטגרציה

עם עליית רמת הקישוריות, מתארך זמן בדיקות האינטגרציה, שמערכת מבצעת מול כלל המערכות המתממשקות אליה. לעיתים, נוצר אבסורד, כאשר משך בדיקות אלה עלול להיות ארוך יותר ממשך הזמן הנדרש לבדיקת הפונקציונאליות החדשה של המערכת עצמה. מעבר לכך, קשה מאוד לסנכרן את לוח"ז בדיקות האינטגרציה של המערכות השונות מכיוון שמדובר במערכות המפותחות בתעשיות שונות ובאתרים שונים, דבר שמאריך עוד יותר את משך זמן האינטגרציה.

כשל מערכות הנובע מפגיעות

בצד ההזדמנויות שיצר שיתוף המידע, נוצרו אתגרים וסיכונים חדשים הצפויים לנבוע מקישוריות בין מערכות ברמת סיווג שונה ובנגישות של משתמשים בעלי הרשאות שונות למידע רחב ונגיש יותר. התגבשה הבנה כי דבר זה עלול לחשוף את המערכות לרמת פגיעות גבוהה יותר. האתגר בהגנת המערכות ובשליטה במידע הפך להיות מורכב. נדרש היה להגן על ארכיטקטורת המערכות מתרחיש של "אפקט הדומינו" שבו נפילת מערכת אחת עלולה לייצר נפילה של המערכות המקושרות אליה והמערכות המקושרות אליהן, עד כדי קריסה כללית. לדוגמא, פגיעה במערכת משרדית שמקושרת למערך של מערכות שו"ב יכולה להביא לנפילת המערכת המשרדית, ויחד איתה לגרום לקריסת מערך של מערכות השו"ב.

קושי בתפקוד תשתיות הקישוריות והתקשורת

ככל שמודעות הארגון להזדמנויות הרבות שטומן בחובו שיתוף המידע התרחבה, כך עלתה הקישוריות בין עולמות תוכן שונים בארגון כמענה לצרכים חדשים. דבר זה עלול היה לגרום להעמסת תשתיות הרשת ומרכיבי קישור אחרים. מנהלי הארגון הבינו את צרכי הקישוריות הגואים ונתנו להם מענה, אך ניכר קושי בזיהוי וניתוח של הצרכים השונים כפי שהם נדרשים לכלל המשתמשים. מצב זה הוביל לכך שהרחבת תשתיות הקישוריות נעשתה לעיתים כמענה לצורך פונקציונאלי ספציפי ולא מתוך זיהוי של כלל צרכי המשתמשים.

"התנהגות" המערכות בזמן אמת שונה מהצפוי בעת התכנון ברמת התפקוד האינטגרטיבי (אורקסטראציה)

תהליכי הפיתוח וניהול הפרויקטים הינם מובנים ומקיפים ותומכים בביצוע אפיונים ואף בתכנון קונספטואלי טרום הפיתוח של המערכות, ואפילו במקרים מיוחדים מבוצע תכנון של תפקוד אינטגרטיבי של מספר מערכות שיפעלו בתפקוד אינטגרטיבי משותף. ההנחה הבסיסית וההגיונית הינה, שהמערכות תפעלנה על פי התכנון, אך כידוע לנו בתפקודן של רשתות מתרחשת תופעה של Emerging Behavior, לפיה ה"התנהגות" הקולקטיבית של כלל המרכיבים ברשת וזרימת המידע בזמן ריצה שונה מהצפוי. הדבר עלול להתבטא בפגיעה בשלמות המידע ובזמני העברתו מקצה לקצה ובהתנהגות מערכת שונה מהצפוי.

על בסיס ניתוח הפערים שלעיל, נוצרה הבנה כי נדרשת הסתכלות כוללת על עולם המידע בארגון, מקצה לקצה. על מנת לנצל את ההזדמנויות למיצוי המידע וכתוצאה מהאתגרים הצפויים, ולאחר בחינת עמוקה של הנושא ודיון במכלול האפשרויות, הוחלט להקים גוף מהנדס מערכות ראשי, שתפקידו יהיה לתכנן ולנהל את ארכיטקטורת הקישוריות של כלל המערכות והרשתות בארגון.

מבנה ארגוני

תפקידים

עיקרי התפקידים של מרכז C⁴I הוגדרו באופן הבא:

מהנדס מערכות ראשי לעולם המידע:

- ניהול ארכיטקטורת המידע הקיימת, המתבטא בריכוז וניהול מפת מערכות ורשתות עדכנית וזמינה.

- הגדרת ארכיטקטורת יעד הנותנת מענה לפערים הקיימים ולצרכים חדשים. ארכיטקטורת היעד נתמכת ביצירת תכנית אופרטיבית להגירה של המערכות ותשתית הקישוריות למצב הרצוי.
- הגדרת תקנים טכנולוגיים ותקנים של ישויות מידע.
- ועדת ארכיטקטורה לאישור ארכיטקטורת פרויקטים בסקרי תכנון ופיתוח.
- הגדרת מדיניות טכנית של הגנת מידע ומערכות
- הגדרת מדיניות ותקנים לפיתוח מאובטח של מערכות בארגון.
- הגדרת "ארגז כלים" המגדיר פתרונות אבטחת מידע גנריים.
- הגדרת תכנית לפיתוח תשתיות וכלים מתקדמים לאבטחת מידע.
- ניהול טכני של אירועי הגנת מידע.
- גוף מטה לבדיקות אינטגרציה
- פיתוח ותחזוקה של תשתית מעבדת שילובים (רפליקה של כלל המערכות והרשתות בסביבה מבוקרת).
- פיתוח מתודולוגית בדיקה רב מערכתית.
- הגדרה, תעדוף ובקרה של תכנית עבודה למעבדת שילובים.
- אישור סקר מוכנות לבדיקות אינטגרציה.
- בטיחות מידע
- הגדרת מדיניות ותקנים לפיתוח בטיחותי של מערכות בארגון.
- הגדרת "ארגז כלים" המגדיר פתרונות בטיחות מידע גנריים.
- ניתוח מונע לאירועי בטיחות מידע אפשריים.
- אישור תכניות ניסוי של פרויקטים.
- ניהול אירועי בטיחות מידע.
- פיתוח ותחזוקה של תשתית הקישוריות
- פיתוח ותחזוקה של מערכות תשתית קישוריות והפצת מידע.
- ניהול תהליכים
- פיתוח ותחזוקה של תהליכים חוצי ארגון (ניהול התהליכים כפרויקטים).
- מוקד ידע C4I
- פיתוח ידע ומתודולוגיות הנדסת מערכות רוחבית.
- הקנית ידע C⁴I לכלל מהנדסי המערכות בארגון.
- ייצוג הארגון בתחום ה-C⁴I מול גופים שונים וכנסים בארץ ובעולם.

מתודולוגיית הנדסת מערכות רוחבית:

מתודולוגיית הנדסת המערכות הרוחבית נבנתה ביסודה בתחילת שנות ה-2000 על בסיס מתודולוגיות קיימות כגון:

C⁴ISR (Command, Control, Computer, Communication, Intelligence, Surveillance and Reconnaissance) as part of DODAF (DOD Architecture Framework);

EA (Enterprise Architecture) as part of TOGAF (The Open Group Architecture Framework);

המתודולוגיה מגדירה את תהליכי הליבה של הארגון, ומתארת אותם בשני Views: ארכיטקטורה אופרטיבית וארכיטקטורה הנדסית.

הארכיטקטורה האופרטיבית מציגה את כלל המשתמשים, צמתי קבלת ההחלטות וזרימת המידע בין המשתמשים.

הארכיטקטורה ההנדסית משקפת את תהליכי זרימת המידע בין המשתמשים במערכות ותשתיות התקשורת והקישוריות. הארכיטקטורה ההנדסית כוללת שיקולי ארכיטקטורה של יעילות, ביצועים וכד', אך מעבר לכך, מביאה לידי ביטוי גם שיקולי בדיקות מערכתיות, אבטחת מידע, בטיחות מידע, וניטור המשפיעים ומעצבים אותה. ארכיטקטורה הנדסית זו, נפרטת לתכנית עבודה אופרטיבית למימוש השיפור באותם תהליכים בהם הנהלת הארגון בוחרת להתמקד.

סוגיית תהליכי הנדסת מערכות רוחבית בארגון תפורט במאמר נפרד. המאמר יבצע הגדרה פורמאלית של מתודולוגיית העבודה שמומשה במרכז C⁴I המובאת כדוגמא במסמך זה, תוך ביצוע ההתאמות הנדרשות, כך שניתן יהיה ליישמה בדיסציפלינות וארגונים מתחומים שונים.

מתודולוגיית הנדסת מערכות אורכית:

מתודולוגיות ניהול פרויקטים והנדסת מערכות מהוות נדבך משמעותי בתהליך הפיתוח של מערכות החל משלב הגדרת הדרישות, דרך אפיון פונקציונאלי, אפיון טכני, מימוש, בדיקות וכלה בתחזוקה וגריטה. למרות זאת, עד לפני כעשור, הנדסת המערכות היתה לוקאלית, ומונעת משיקולים הנוגעים ברובד הפרויקט הספציפי או עולם תוכן ספציפי. לכן, באופן טבעי, שיקולי הנדסת המערכות הפרויקטאליים עלולים היו לבוא בסתירה לאופטימום הגלובלי ולצרכים הגלובליים של הארגון.

מתודולוגיית שילוב הנדסת מערכות אורכית ורוחבית:

תוצרי הנדסת המערכות האורכית משפיעים בעיקרם על הכוונת הארגון בראייה ארוכת טווח. עם זאת, על מנת להביא לשילוב תוצרי הנדסת המערכות הרוחבית כבר בטווח הקצר והבינוני, נדרש להביא לשילוב תוצרים אלה בהנדסת המערכת האורכית המשפיעה על פיתוח המערכות וניהול הפרויקטים בארגון. במילים אחרות, מדובר בשילוב תוצרי הנדסת המערכות הרוחבית ע"י הגדרת וקטורי התקדמות ברורים בציר התהליכים האופרטיביים, המסנכרנים את כלל הארגון (Top-Down), במקביל להכוונה בציר הפרויקט הבודד (Bottom-Up). מערכת מתודולוגית משולבת זו כוללת עקרונות מדיניות ותקנים לכלל היבטי השילוביות (C⁴I), המגדירים כיצד פרויקט בודד נדרש להתנהל על מנת להביא לאינטגרציה טובה יותר עם כלל המערכות בארגון, כך שמיצוי המידע יהיה מיטבי ויהיה תואם לוקטורי ההתקדמות שהוגדרו. על מנת להביא להכוונה ברורה של הנדסת המערכות הרוחבית בפרויקטים, נדרש לבצע התאמות ושינויים בנהלי הפיתוח של המערכות וניהול הפרויקטים בארגון, כך שתוצרי הנדסת המערכות הרוחבית יוטמעו בציר תהליכי הפיתוח כבר משלב הגדרת הדרישות, דרך אפיון ארכיטקטורת המערכות וכלה בשלב הבדיקות, ההטמעה והאחזקה. לדוגמא, בשלב הגדרת דרישות מערכת בודדת, ישולבו דרישות מערכתיות בנוסף לדרישות המערכת הלוקאליים, כגון הפצת מידע הקיים במערכת למשתמשים ומערכות נוספים, שינוי לוגיקה לטיפול במידע המתבצעת במערכת על מנת לשפר ביצועים, אמינות או

שלימות העברת מידע בתהליך חוצה ארגון בו משתתפות מספר מערכות. בנוסף, תתכן הגדרת דרישות נוספות לשילוב עמידה בתקנים טכנולוגיים ותקני ישויות מידע. דרישות אלה נדרשות לבוא לידי ביטוי בהגדרת ארכיטקטורת המערכת ובבדיקתה. השפעה מרכזית של הנדסת המערכות הרחבת, היא בהגדרת בדיקות שילובים לתהליך אופרטיבי. לאחר שלב של סיום פיתוח מערכת ובדיקות הקבלה שלה, נדרש לבצע בדיקת המערכת במעבדת בדיקות מערכתית. זאת על מנת לוודא עמידה של המערכת בדרישות התהליך האופרטיבי קצה לקצה, בד בבד עם בדיקות גרסיה לתהליך שמטרתן לוודא שלא נוצרה תקלה מערכתית המשפיעה על תפקודן של מערכות אחרות בתהליך.

חוזקה של מתודולוגיה ה-C⁴I בארגון הוא בהיותה פשוטה ולכן בת מימוש. היא אינה עוסקת רק ברובד התוויית הקונספטים אלא יורדת גם לרובד הפרקטי. היא מייצרת מספר מצומצם יחסית של Views, עם קשר חזק מאוד ביניהם.

בניגוד לרוב המתודולוגיות הקיימות, היא מייצרת ראייה אינטגרטיבית של הנדסת מערכות הכוללת מעטפת של שיקולי ארכיטקטורה, בדיקות מערכתיות, אבטחת מידע, בטיחות מידע, וניטור והתמודדות עם כשלים מערכתיים.

בנוסף, מייצרת המתודולוגיה ראייה אינטגרטיבית הנדסית-אופרטיבית. הדבר בא לידי ביטוי בתוצרים הבולטים והחשובים של מתודולוגיה זו: שפה משותפת חוצת ארגון וסנכרון כולל של הארגון לוקטוריי התקדמות ברורים. עצם הניתוח התהליכי מחייב יצירת קשר הדוק בין המשתמשים, הדורשים (בעלי התקציב) והמממשים (מנהלי הפרויקטים ומהנדסי המערכות), כך שלא מדובר בשינוי טכנולוגי בלבד, אלא בשינוי כולל של הארגון, הבא לידי ביטוי גם בתפיסת ההפעלה של הארגון ובתרבות הארגונית שלו.

האבחנה בין הנדסת מערכות אורכית והנדסת מערכות רוחבית תפורט במאמר נפרד. המאמר יפרט את השוני יחסי הגומלין הנדרשים בין הנדסת מערכת אורכית להנדסת מערכת רוחבית.

סוגיית הנחלת שינויים בתהליכי הנדסת המערכות בארגון תפורט במאמר נפרד. המאמר יפרט את בעיית ההטמעה של מתודולוגיות חדשות בארגון ויציע דרכים להתמודדות עם בעיה זו.

פרק 5 - ניתוח אתגרים / תהליכים הנדסיים בסביבת ענף תעשייה:

פרק זה מוקדש לניתוח השפעת הסביבה הבין ארגונית/ ענף תעשייה: מרגע שיצאנו מהסביבה המוגנת של הארגון מוטלת האפשרות ליצירת שיתופי פעולה על היכולת להציג לבעלי עניין אפשרויות יצירת יתרונות עסקיים עבורם אם באמצעות שיתופם בתהליכי פיתוח ידע, באמצעות תרומה לשיפור תדמיתם הציבורית, ו/או באמצעות חשיפה להזדמנויות עסקיות. לראשונה יוצג הפתרון המוצע להקמת מרכז מידע, תאום והנחיה לענף תעשייה.

פרק זה, יוקדש לניתוח היבטים שונים בפיתוח בלתי מסונכרן של מערכים של מערכות בסביבת ענף תעשייה. לצורך בהירות רבה יותר של הטענות בחרנו לעשות שימוש בענף תעשייתי (ITS - Intelligent Transportation Systems) - מערכות תבוניות לתחבורה – ראה נספח ב'.

מאפייני השילוביות בתחום מערכות ITS

תחום המערכות התבוניות לתחבורה מהווה דוגמה למערכים של מערכות. אחד ממאפייני המערך שהוא מורכב ממגוון רחב של מערכות, המתוכננות לתת מענה לצרכים שונים למשתמשי הדרך. תשתית מערכתית זו מהווה בסיס למגוון רחב של הזדמנויות לסינרגיה בין פתרונות של גזרה אחת וצרכים של גזרת פעילות אחרת. להלן מספר דוגמאות לסינרגיה אפשרית בין גזרות פעולה שונות של תחום ה-ITS:

הזדמנויות לשילוביות מידע בין מרכזי בקרה וניהול תנועה

על מנת להקנות יכולת ניהול תנועה אינטגרטיבית, המבוססת על ניהול תנועה באזורים ובכבישים שונים על ידי גורמים שונים, נדרש לאפשר שיתוף מידע בין גורמים אלה. כך לדוגמה, כאשר ישנו עומס תנועה בכביש מסוים, חשוב שמידע זה יגיע גם למרכזי הבקרה וניהול תנועה אחרים של הכבישים המובילים אליו, על מנת למנוע העצמת הבעיה.

הזדמנויות למתן עדיפות גבוהה לזרימת תנועה של רכבי הצלה.

על מנת לאפשר שילוביות זו נדרש לשתף מידע בין כלל מרכזי הבקרה וניהול התנועה, לבצע היתוך מידע ולייצר תמונת מצב כוללת והמלצות לניהול זרימה מיטבי המתעדכן בזמן אמת.

הזדמנויות לשילוביות מידע בין מפעילי תחבורה ציבורית/מוניות

על מנת להקנות יכולת מתן שירותי תחבורה ציבורית ומוניות ברמה אינטגרטיבית, המבוססת על שירותים הניתנים ע"י מפעילים שונים, נדרש לאפשר ולייצר שיתוף מידע בין גורמים אלה. כך לדוגמה, ישנן כיום תחנות רכבת בערים השונות, שאין בקרבתן תחנת אוטובוס או מוניות. נוסע ברכבת נדרש ללכת באופן רגלי או להשאיר את רכבו הפרטי בחניות הרכבת. דוגמה נוספת היא לתת לנוסעים בתחבורה ציבורית מידע אודות מפעילי אמצעים משלימים מתחנת היעד, ולאפשר להם להזמין טרם הגעתם לתחנה.

הזדמנויות להעברת מידע בזמן אמת לנוסע בתח"צ:

בכדי לאפשר לנוסע לדעת מהי ההשפעה של עיכוב בהגעת אוטובוס על המשך נסיעתו וכיצד להתאים את לוח הזמנים לנסיעות בקווי המשך.

הזדמנויות לשיפור הליכי תכנון, תפעול וניהול תחבורה ציבורית:

ניתן לנטר את מספר הנוסעים הממתינים בתחנות העלאה אל מול לוח הזמנים המתוכנן.

הזדמנויות להעברת מידע מצב הצומת לנהג

המלצה לנהג לפני כניסה לצומת ובמפגש כביש מסילה על מנת למנוע אירועי התנגשות. כל יקבל הנהג התרעה לפני כניסה לצומת. יסייע במקרים בו נהג טועה בהתבוננות על הרמזור שלא בנתיב שלו.

הזדמנויות לשילוביות מידע אמצעי תובלה

ניתן לייצר שיתוף מידע בין גורמי תובלה. כך לדוגמה, ניתן יהיה להביא לשיתוף בהסעת מטענים בין נהגים שיוצאים מאותה נקודת מוצא ונדרשים להגיע אל אותו יעד ויצמצם נסיעות מטען ריק בכיוון חזרה.

הזדמנויות למידע לנהג על מהירות מותרת בדרך (ISA)

העברת מידע לרכב אודות המהירות החוקית המותרת ומידע נוסף כגון תנאי הראות/תנאי מזג האוויר יאפשר לתת התראה לנהג במקרה של חריגה מהמהירות המתאימה לתנאי הדרך.

הזדמנויות להעברת מידע למשתמשי הדרך אירועי פיקוד עורף/ביטחון והצלה

העברה יזומה של התרעה לנהג בכניסה לאזור סכנה כגון אזור צבאי, אזור מוכה אסון טבע וכו' ויכולת העברת הנחיות כוחות ביטחון והצלה לנהג בנושא דרכי פינוי.

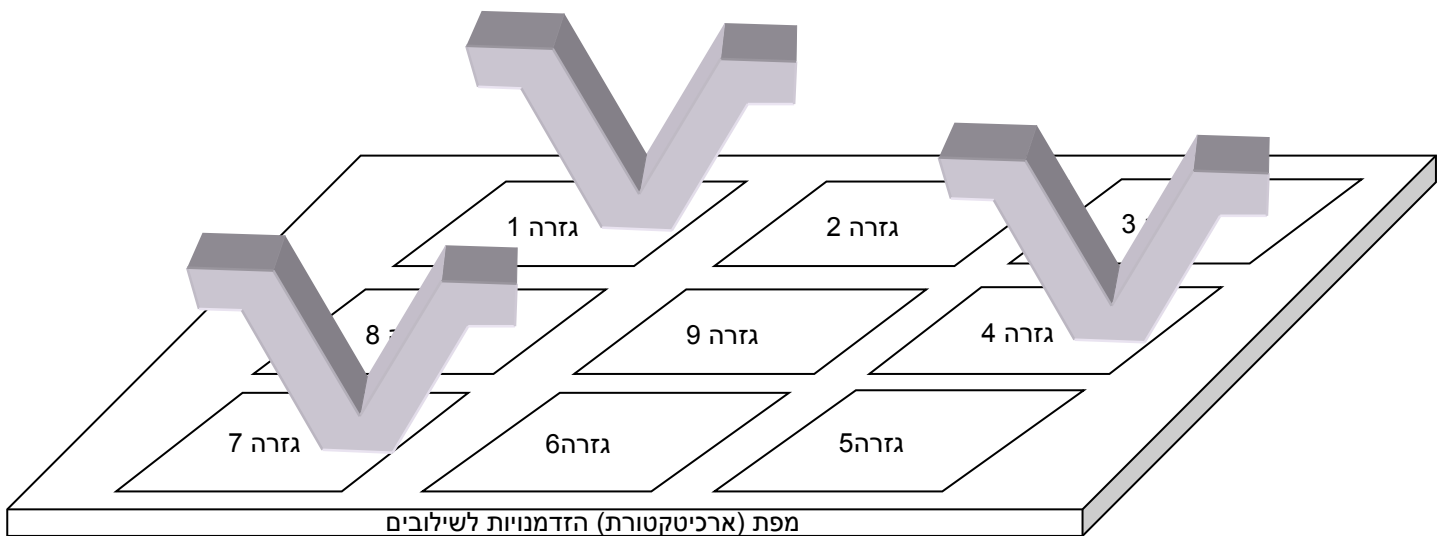
הזדמנויות לשיתוף מידע בין כוחות ההצלה וגורמי ניהול תנועה

ניתן לאפשר שיתוף מידע בין גורמי ביטחון והצלה לגורמי בקרת תנועה. כך לדוגמא, אפשר להקטין את משך הזמן מדיווח על אירוע תאונה או חרום ועד להגעת כוחות ההצלה לשטח ע"י מתן עדיפות לכוחות פינוי והצלה באמצעות שליטה בבקרת הרמזורים על מנת לאפשר לרכבי ההצלה נסיעה ב"גל ירוק".

הזדמנויות לשילוביות מידע של מפעילי חניה ומשתמשי תח"צ

על מנת להקנות חסכון בזמן ויכולת נידוד טובה יותר למשתמשי הדרך לאחר הגיעם ליעד ברכבם הפרטי או לתחנת היעד בתחבורה ציבורית, המבוססת על השירותים הניתנים ע"י מפעילי חניה שונים ומפעילי אמצעים משלימים, נדרש לאפשר ולייצר שיתוף מידע בין גורמים אלה. כך לדוגמא, ניתן יהיה לבדוק את מצב מקומות החניה בחניונים טרם הגעה לאזור היעד ולחסוך זמן רב של חיפוש חניה בעת הגעה למקום.

האיור הבא מייצג את מצב הדברים בפרויקטים בלתי מסונכרנים כאשר מישור התשתית מציג את גזרות הפעולה השונות ואילו כל V מייצג פרויקט עצמאי בלתי מסונכרן עם פרויקטים אחרים.



ניתוח סיבות לשילוביות מועטה בין יישומי ITS:

למרות שמגוון ההזדמנויות לשילובים בין מערכות ITS המפורט מעלה מבוסס על טכנולוגיות קיימות, ולמרות שהפוטנציאל התרומה לענף התחבורה ולמשק הינו גדול, מתנהל תהליך יצירת השילוביות באופן איטי למדי.

ניתן למנות סיבות רבות לתופעה זו ביניהן שמרנות מקצועית של ענף התחבורה, איטיות הנובעת מעודף רגולציה בתחום התחבורה, חשדנות עסקית בין גורמי מגזר פרטי לממשלתי ועוד.

יחד עם זאת מעניין לבחון את הסיבות לקושי בשילובים פתרונות ITS בהקשר של מערכים בלתי מסונכרנים:

חוסר שפה משותפת:

לתופעת אי הסנכרון בין מפתחי המערכות קיימת השפעה מהותית על תוצרי השילוביות הנמוכים בענף ה-ITS. כתוצאה מאי סנכרון בין מפתחי היישומים השונים, מתברר שמפתחים שונים בונים את היישומים שלהם לפי תקנים שונים, לפי תפיסת עבודה שונה ותוך שימוש בשפת מושגים שונה. מתברר כי כתוצאה מהצורך ליצר ייחודיות בעיני הצרכן, אזי אפילו התכונות השונות של המערכת מפורטות בשפה שונה, וכך לעיתים רבות אותה תכונה נקראת בשמות שונים אצל יצרנים שונים.

אי תאימות לתקנים:

בתקופה ראשונית להופעתם של מוצרים טכנולוגיים חדשניים, אין ליצרני הטכנולוגיה את המוטיבציה הנדרשת כדי להשקיע בהתאמת מוצריהם לשילוב עם מוצרי של יצרנים אחרים. נהפכו, בשלבי חדירה ראשוניים מוקדשים מירב המאמצים כדי להציג את הייחודיות ואת התכונות המבדלות של מוצר החדשני שלהם ביחס למוצרי המתחרים ובוודאי ביחס למוצרי דור קודם. כך למשל בפיתוח של מוצרי Smartphone נשמרת כמובן התאימות להגדרות תקשורת דור 3 אולם לא מושקע מאמץ להאחדה של תצורת המטענים למשל. שכן קיים אינטרס ברור לכל יצרן להמשיך וליצר מטענים בתצורה ייחודית לו באופן התומך באופן מלא בדרישות ההספק הנדרשות למכשיר שלו ומבלי להסתכן, סיכון מיותר, בתקלות מכשירים כתוצאה מבעיות מטען.

הופעה מאוחרת של תקנים מחייבים:

למרות התפיסה הרווחת כי "תעשיית התקנים" (המתגלגלת ע"י מכוני התקנים בשיתוף בעלי עניין מקרב התעשייה, ממשל וארגוני צרכנים) היא שתוביל את הסדרת השילובים שבין מערכות שונות, הרי שבשלב ראשוני של מחזור חיי מוצר חדשני, בד"כ אין עדין תקנים מחייבים (ע"ע ערך תקנים למערכת Mobileye הנמכרת בשוק הישראלי וברחבי העולם מזה 5 שנים) ויתרה מזאת, כפי שהוסבר מעלה, אין גם אינטרס רב ליצרנים המובילים להיכנס לתהליך תקינה שרק יסייע למתחרים לישר קו עם הישגי התעשייה פורצת הדרך.

אי תאימות לארכיטקטורת שילובים:

התעשיות מיטיבות מאוד ביצירת קשרים עסקיים B2B. לצורך יצירת הסכם שיתוף פעולה בין שני צדדים יסדירו הצדדים את כל ההיבטים הנדרשים ליצירת שילוביות בין מערכותיהם. יחד עם זאת כאשר מדובר בשילוב של יותר מ-3 גורמים הרי שנדרשת מעורבות צד שלישי בגיבוש ארכיטקטורה של שילובים. גם במקומות שנלקחה היוזמה ע"י גורמי ממשל, כמו משרדי תחבורה ליצירת ארכיטקטורת ITS לאומית, רמת העניין שמגלות התעשיות בהתאמת מוצריהן לארכיטקטורה המוצעת, נמוכה ביותר.

אי תאימות המודל העסקי:

על פי רב המודלים לתיאור ארכיטקטורה של שירותים מבוססי טכנולוגיה, נכלל המודל העסקי כחלק בלתי נפרד מתיאור הפתרון המערכתי השלם. בעת ישום יישומי IT בארגון ניתן להתעלם מסוגיה זו שכן כל הארגון פועל וכפוף ליצירת רווחים בהתאם למודל עסקי מוגדר ומתואם. יחד עם זאת כאשר עוברים מסביבת הארגון לסביבת ענף תעשייה, עצם ההיתכנות לבצע שילוב עם יצרן של אבן בנין אחרת תלויה בהתאמת המודלים העסקיים של שתי החברות בעלות העניין.

חשוב לציין כי אין לקחת כמובן מאילו את היכולת להגיע להסכמות בעניין מודל עסקי מתואם בין חברות, וסוגיית חוסר הסנכרון עלולה להוביל לחוסר אפשרות ליצירת שילובים בין מערכתיים. דוגמה בולטת מתחום מערכות ה-ITS מהווה המודל העסקי של חברת Waze (להלן הבעלים)

שהוא מודל של קהילת משתמשים המתמקדת ביצירת ערך לחברי הקהילה ובכך מגדילה את מספר החברים בה – כך שהרווח לבעלים הנו תלוי מספר המשתמשים. מודל עסקי זה יכול לעמוד כנגד מודל עסקי הרגיל של מענה למכרז מצד גורמי ממשל ועירויות ובו הבעלים מציע המוצר שלו במחיר קבוע ללקוח. במידה ולבעלים קיים מוצר מגובה משתמשים – הוא אינו מעוניין בהכרח בכאב הראש הכרוך בלהתאים המערכת ללקוח ממשלי בודד. מאידך אם המוצר שלו עדיין אינו מבוסס מספיק משתמשים, אמינותו נמוכה, והגורם הממשל יראה בו כמקור אינפורמציה לא מספק.

דילמת היציבות של הפתרון המערכתי (Robustness)

סוגיית יציבות הפתרון המערכתי (Robustness) מהווה בעיה נוספת הנגזרת מסוגיית הפרויקטים הבלתי מסונכרנים. היות וחלק מהשילובים המערכתיים אינם פרי תכנון מערכתי מפורט, אלא מענה להזדמנויות ולצרכים מתפתחים, הרי שבד"כ קל למדי ליצור את השילוב המקומי ולאפשר זרימת נתונים בין מודולים סמוכים ולתמוך במענה לצורך שהועלה. יחד עם זאת קשה הרבה יותר לבצע אנליזות מערכתיות במערכת תמנון מסוג זה. מצד גורמי הממשל, מוביל הקושי בהוכחת יכולות חדשות בשילובים של מערכים של מערכות, לנקיטה של זהירות יתר מהשמה של כספי ציבור על פתרונות חדשניים, לא מוכחים. בנוסף, במקרה של יציאה מיציבות, לא תמיד ברור מי מהשותפים "אשם" ועל מי מוטל לתקן הבעיה.

סוגיית המוטיבציה לשיתופי פעולה:

הנקודה החשובה ביותר שנדרש לתת עליה את הדעת היא סוגיית המוטיבציה לשיתופי פעולה עסקיים. חשוב להבין כי לתופעת אי הסנכרון בין מפתחי המערכות השפעה מהותית על המוטיבציה העסקית להסכמי שיתופי פעולה/ יצירת שילוביות בין מוצרי ITS. במקומות מסוימים ימצא מקום לשיתוף פעולה עסקי אולם לעיתים עלול שיתוף פעולה להיתקל בחשש מה מצד אחד הצדדים לפגיעה בעסקיו האחרים.

סביבת פתוחה לשילובים רב מערכתיים:

לאור תמונת המצב שהוצגה מעלה, לאור המוטיבציה הנמוכה לבעלי ענין לפעול לשילוב מערכתיים, מוצע למסד מסגרת פתוחה לתמיכה בשילוב טכנולוגיות בתחבורה (Open Framework) שתסייע, לבעלי ענין לשלב ולהתאים את מוצריהם ולצרכים ולדרישות משתמשים.

הרעיון העסקי העומד מאחורי סביבת השילובים צריך להיות כדלקמן:

להוות תשתית ניהולית-הנדסית התומכת בשילוב בין תוכניות ופרויקטים באמצעות יצירת תשתית נוחה ופתוחה לאינטגרציה פיסית ויצירת שילוביות מערכתית המובילה להגדלת ערך/הכנסות של בעלי ענין, מפתחי ומפעילי המערכות בתצורת Stand alone

סביבת עגינה:

המסגרת מיועדת למנהלי תוכניות הן מן המגזר הציבורי והן מן המגזר הפרטי, שלתוכניותיהם רמת שילוביות גבוהה עם תוכניות אחרות. מוצע כי מסגרת השילובים תכלול צוות הנדסי שיהיה אחראי למימוש המשימות הבאות:

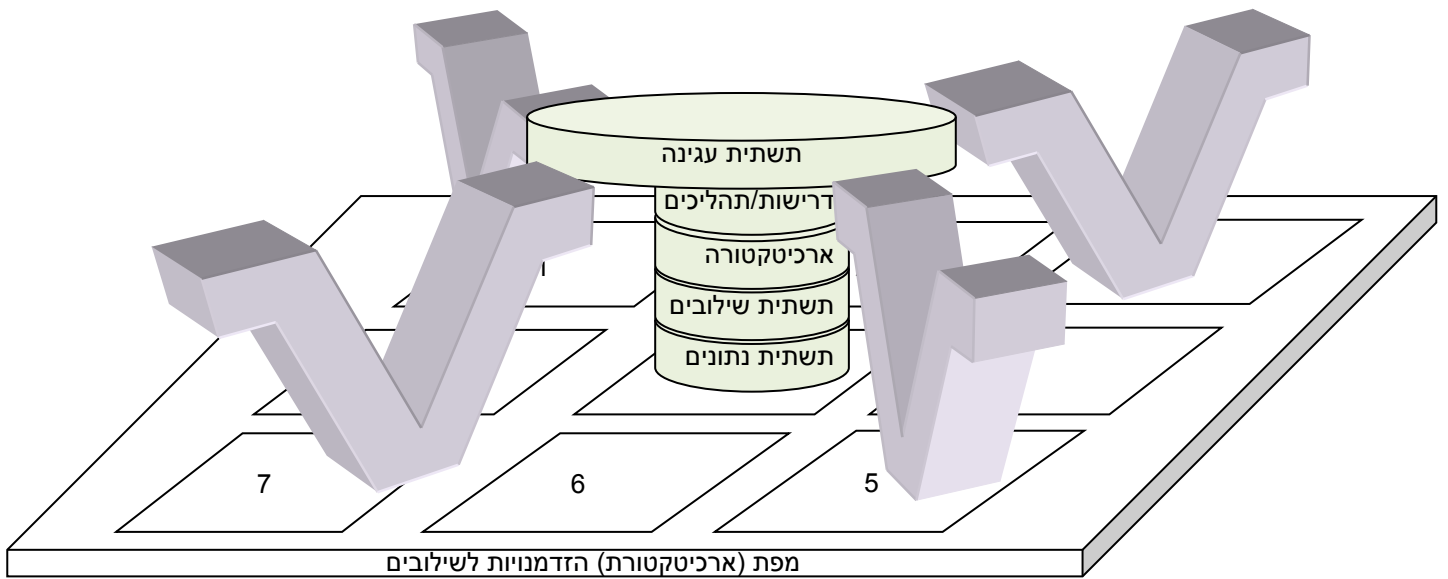
- ניהול ותחזוקת ארכיטקטורת המערך
- תכן, הקמה של מערכת עגינה (Core) המאפשר שילוב ועגינה של מוצרים במערך.
- פיתוח מתאמים נדרשים לשילוב מערכות עם סביבת עגינה (Core)

תשתיות שילובים, בדיקות ועמידה בדרישות:

כמו כן תכלול המסגרת מוקד שרותי אינטגרציה ובדיקות שיאפשרו מתן השירותים הבאים:

- אפיון בדיקות ושילובים נדרשים
- אפיון, תכן תשתיות נדרשות לבדיקות ושילובים
- סיוע בהעמדה של תשתיות נדרשות לביצוע שילובים, בדיקות וניסויים
- אימות עמידה בדרישות לקבלת אישור תאימות ITS Ready/Compliance

איור סביבת עגינה לשילוב מערכות



פירוט תפיסת ניהול לפיתוח בלתי מסונכרן של מערכים של מערכות יפורט במאמר נפרד. המאמר יפרט את תהליכי הפיתוח העיקריים הנדרשים ביצירת יכולות משולבות החוצות ארגונים.

בחינת עמדת התעשיות:

במסגרת עבודה זו, בוצעו ראיונות עם מספר גורמים במגזר הפרטי בתחום ה- ITS בתחבורה על מנת לבחון את עמדתם לגבי הסוגיות הבאות:

האם אופי הפעילות והפיתוח של מערך של מערכות בלתי מסונכרות בתחום התחבורה מתרחש כיום בצורה טובה או שקיימים קשיים בפיתוח?

האם מערך של מערכות בלתי מסונכרות מצדיק מתודולוגיית הנדסת מערכות ייחודית לצורך שילוב טוב יותר בין המערכות?

האם תהיה מעוניין לקבל הכוונה לפיתוח מונחה או שתעדיף להמשיך לפעול באופן עצמאי? הנשאלים בשאלון זה היו תמימים בדעתם כי אכן קיימת בעיה מהותית בתהליכי הפיתוח של מערכות ITS, ושנדרש ליישם מנגנון הנדסת מערכת על מנת לפתור אותה. סיכום עיקרי הראיונות מובא בנספח א'.

פרק 6 - ניתוח אתגרים / תהליכים הנדסיים בסביבה אזורית וארצית

פרק זה יוקדש לניתוח היבטים מנקודת מבט מקומית/לאומית/ממשל. היות וסביבה זו כוללת שילובים של יוזמות ופרויקטים חלקם במימון המגזר הפרטי, חלקם במימון המגזר הציבורי, חשוב לנתח את האתגרים המיוחדים לסביבה זו.

כדי לעמוד על מאפיינים המיוחדים של שילובים בין יוזמות הנדסיות שונות, נבחן את מאפייני פיתוח ITS בתחום העירוני. תחום זה מאופיין במגוון רחב של משתמשי דרך: תושבי העיר ואורחיה. יוממים העובדים בעיר המגיעים אליה מידי יום ועוזבים לקראת ערב, משתמשי תחבורה ציבורית והיסעים מיוחדים (תלמידים, עובדים, ואחרים), עוברי אורך ותיירים, ספקי סחורה ותעשיינים, עובדים בכביש וקבלנים, קהל משתתפים באירועים פתוחים הן מהעיר והן מסביבותיה ועוד. כל אלה מצטופפים במקום שוקק חיים אחד: התחום העירוני ומצפים להגשים את יעדיהם בעיר באמצעות מערכת אחת - מערכת התחבורה העירונית. יחד עם זאת אל מול מגוון הצרכים המרובים של משתמשי הדרך בתחום העירוני, מתפתחים בשנים האחרונות פתרונות טכנולוגיים שונים, שחלקם מבוססים על מודלים עסקיים שאיננו מבוססים על מימון ציבורי, כלל, ובכך מאפשרים פריסתם בכל עיר ואם בישראל. חלק גדול מפתרונות אלו נכלל במשפחת המערכות התבוניות לתחבורה- ITS-Intelligent Transport Systems (ראה נספח ב').

ניתוח עיקרי ההבדלים בין מאפייני תהליכי פיתוח מערכות ITS סולל את הדרך למיסוד עקרונות מתודולוגיים המתאימים להגדרת **מערכים של מערכות-Systems Arrays** ואת אופי פיתוחם והתפתחותם: **פיתוח לא מסונכרן של מערכים של מערכות-Un-Synchronized deployment of Systems Arrays**

תיאור מסוים של מאפייני פיתוח מערכות בתחום העירוני ניתן למצוא במסמך מאת IBM :

In the context of transportation, a SOS approach has the flexibility to be used at the macro global, regional, and national levels, and at the micro local, neighborhood levels. It can be applied to relatively small-scale, grass roots, bottom-up initiatives as well as large-scale, complex, top-down solutions with strong governmental involvement or strong market-driven emphasis. A bottom-up approach relying on local, limited resources to identify the existing components of a here-to-fore unrecognized SoS can begin by simply mapping how the existing independent components intersect and interoperate to form a higher-level SoS. This newly identified, local SOS when combined with other local systems will itself become a constituent system or building block in a larger, regional or national transportation SOS. In essence, a national level transportation system then becomes a system of smaller systems of systems that interoperate through shared architectural frameworks, interfaces, and standards

מאפייני פעילות פיתוח מערכים בסביבה אזורית

מאפיין 1: רב תחומיות - פעילות בגזרות פעילות שונות בו-זמנית.

תהליך הפיתוח העירוני מוביל לכך כי במקביל יבוצעו פעילויות פיתוח במספר חזיתות: פיתוח מערכות תומכות תחבורה, מערכות מידע לנוסע, מערכות גביית חניה, מערכות ניהול תנועה, זאת לצד פיתוח תשתיות עירוניות, מערכות מידע לאזרח, פרישת מערך מצלמות כחלק מתשתית HLS, הקמת מערך מידע לתמיכה בהפעלת העיר בחירום. כל אחד מתחומי התוכן הנ"ל מהווה גזרת פעילות עתירת ידע, בעלת עולם מושגים משלה, אנשי מקצוע המתמחים רק בה, לקוחות קבועים ומערכות ארגוניות ועסקיות הפועלות בהתאמה.

מאפיין 2: מגזר ציבורי-מגזר פרטי

בכל אחת מתחומי הפעילות פועלים הן גורמי ממשל והן גורמים פרטיים. יחסי הגומלין בין המגזרים נעים בין יחסי ספק-לקוח, מגזר ממשלתי בוחן עמידה בתקנים ועד לא מכיר לא יודע.

מאפיין 3: יוזמות ופרויקטים בלתי מסונכרנים:

פיתוח תשתיות עירוניות מאופיין ביוזמות ופרויקטים בלתי מסונכרנים. בין הפרויקטים ניתן למצוא:

- תוכניות ופרויקטים המתגבשים כמענה למכרזים מטעם גורם ממשל (Top Down)
- תוכניות ופרויקטים ביוזמת המגזר הפרטי על בסיס נכסים שברשותם (Bottom-Up).
- תוכניות ופרויקטים ביוזמת מקומית: עיריות/עמותות/בעלי עניין וזאת כמענה לדרישות מתפתחות.

ובעיקר חוסר באחריות כוללת לתוצר המתקבל.

אסטרטגיית פיתוח מערכים של מערכות בהנחת אי סנכרון

להבנה והפנמת תופעת אי הסנכרון המערכתית חשיבות מכרעת על אופי גיבוש אסטרטגיית הפיתוח של מערכים של מערכות בראיה לטווח בינוני ולטווח ארוך.

המשמעות העמוקה של הפנמת תופעת אי סנכרון באה לידי ביטוי בהבנה כי מצד אחד יש לבצע תכנון ארכיטקטורה כוללת של הפתרון המערכתי הרצוי. יחד עם זאת, בניגוד לניהול פיתוח בסביבה המקובלת, שבה נמצא זכיין/קבלת ראשי המקבל על עצמו את המשימה לאסוף קבלני משנה מתאימים ולממש באמצעותם הלכה למעשה את ארכיטקטורת הפתרון שגובשה, הרי בתחום המערכים הבלתי מסונכרנים, צריך לקחת בחשבון כי לא ניתן להבטיח קיומה של מוטיבציה עסקית ליצרני אבני הבניין השונות המופיעות בארכיטקטורה, ולכן עלולה שילובה של אבן דרך מסוימת להתאחר או להגיע ביכולות שונות מהמתוכנן.

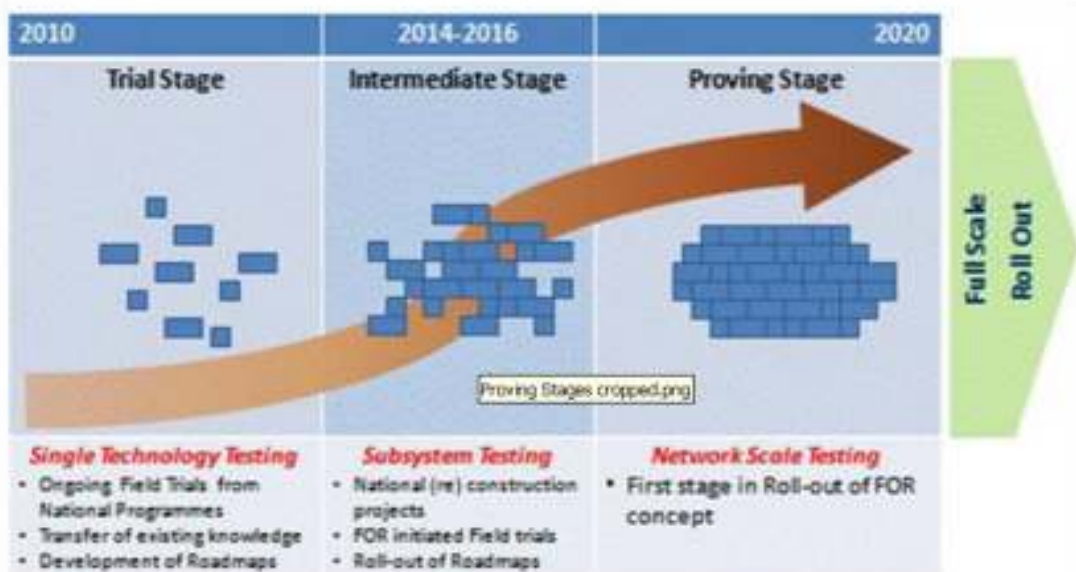
הבנה של נקודה זו מוביל לצורך בתכנון ארכיטקטורה רובוסטית (חסינה) המאפשרת תפעול חלקי של המערך גם בהעדר חלק מאבני הבניין.

מנגד חשוב לאתר את נקודות המשען של המערך, אותן אבני בניין הנכללות בליבת המערך (Core) ואותן יש לממש בשלבים, תוך הוכחת יכולת ראשונית לדרישות הליבה.

יש ליצר סביבת אינטגרציה קבועה המלווה את המערך ובאמצעותה ניתן יהיה לבדוק שילוב את אבני בניין שונות עם הבשלתם לאורך השנים.

חשוב להבין כי כדי לנהל את תהליך הגידול וההתפתחות של המערך לאורך השנים נדרש למסד פעילות של מנהלת הנדסית שתישא באחריות לכוון, לתעדף, לנהל, לאשר ולתאם את כלל הפעילויות הנגזרות משילוב בלתי מסונכרן של יכולות במערך.

למה התרשים קשור?



רעיון מרכז הכוונה והסדרה:

כדי לתמוך בהשגת שיתופי פעולה בין ארגונים ולהצליח להביאם ליצירה של מוצרים המשתלבים לכלל מערך של מערכות בעל פונקציונאליות מוגדרת היטב התואמת את צרכי משמשי הדרך, נדרש להביא את בעלי העניין ליישור קו בכמה מישורים:

- הסכמה על קונספט תפעול בהינתן ישום של מערכות חדשות (Con. Op.)
- הסכמה על הקצאה צרכי משתמש: מי נותן מענה על אילו צרכים.
- הסכמה על התאמת ארכיטקטורת מערכות לארכיטקטורה לאומית.
- הסכמה על תקנים /פרוטוקולים לשילוב עם מערכות נושקות.

ברור לכל עוסקים בתחום כי הגעה למכלול ההסכמות הנ"ל, מחייב השקעת מאמץ ניהולי /הנדסי לא מבוטל. כמו כן היות ומדובר בהגעה להסכמות בין קבוצת בעלי ענין (שאינם מסונכרנים זה עם זה)

לאור זאת מוצע בעבודה זו לאמץ פתרון של הקמת מרכז תאום והסדרה. המרכז ישמש קודם כל כשולחן עגול, גורם מתאם ומסנכרן לקידום הפעילויות הבאות:

- תיאום, ריכוז וניהול תהליכי גיבוש קונספט תפעול מוסכם (Con. Op.)
- תיאום, ריכוז וניהול הקצאות של צרכי משתמש למימוש ע"י בעלי ענין.
- תיאום, ריכוז וניהול תהליכי גיבוש ארכיטקטורת לאומית משלבת.
- תיאום, ריכוז וניהול תקנים / פרוטוקולים מוסכמים לשילוב עם מערכות נושקות.

היות ומדובר בסביבה של מאמצי פיתוח לא מסונכרנים, הרי שצפוי שלאורך ציר הזמן יופיעו גורמים נוספים שלהם עניין בהסכמות שגובשו:

לגבי בעלי עניין אלו יפעל מרכז תאום והסדרה למתן שרותי תמיכה והכוונה הבאים:

- שרותי הכוונה הנדסית למידע עדכני אודות ארבעת תחומי הענין שלמעלה.
- ההכוונה בעלי העניין להתאמת תצורת מערכותיהם לארכיטקטורה המוסכמת.
- סיוע בגישור בין עמדות/ ציפיות/ צרכי לקוחות/ יכולות התעשיות.
- העלאת דרישות בעלי עניין לשינויים בקונספט תפעול/הקצאת צרכי משתמש/ארכיטקטורה לאומית ו/או תקנים ופרוטוקולים.

פירוט תפיסת ניהול תהליך פיתוח רב שנתי למערך של מערכות יוצג במאמר נפרד. המאמר יפרט את התהליכים העיקריים בניהול הפיתוח הרב-מערכי בראייה ארוכת טווח. בפרט, המאמר יגדיר מסגרת ניהול פיתוח באופן מחזורי שייתן מענה לחוסר הסנכרון ע"י הצפה מחזורית של הזדמנויות ופערים לאורך זמן ובראייה ארוכת טווח.

פרק 7: סיכום: מסקנות/המלצות והצעות למחקרי המשך

במסגרת עבודה זו: בוצע ניתוח מפורט של סוגיות בפיתוח בלתי מסונכרן של מערכים של מערכות.

יתכן והנקודה המעניינת ביותר, שהתגלתה במהלך המחקר הינה: שתופעת הפיתוח הבלתי מסונכרן של מערכים של מערכות, היא ככול הנראה תופעה נרחבת ביותר (אם כי היא מופיעה תחת שמות שונים בארגונים שונים), ולפיכך פיתוח של בסיס ידע לזיהוי התופעה ולהתמודדות עמה עשוי להיות בעל תרומה מהותית לחברה.

תובנות עיקריות:

להבחנה באם פרויקט מסוים הוא מסוג **פיתוח מערכת** או **פיתוח מערך** של מערכות יש משמעות **מהותית** על אופי הפרויקט, הבנת אופי הסיכונים הטמונים בו ויכולת ההערכות הנדרשת להתמודדות עם סיכונים אלו.

בסביבה בין ארגונית שבה לכל ארגון ארכיטקטורה ארגונית משלו, נדרש לבצע מיפוי ארכיטקטורה בחמש שכבות וזאת כתנאי יסודי לתכנון פרויקטים חוצי ארגונים.

בפרויקטים של מערכים של מערכות, הכוללים שילוב של מערכות ושירותים מארגונים שונים, הכרחי למפות את כלל חמש שכבות הארכיטקטורה שכן לא ניתן להניח כי קיימת תאימות בתפיסת הפעולה בכל אחת משכבות אלו:

- שכבת הביצועים
- שכבת מודל עסקי
- שכבת שירותים
- שכבת מידע
- שכבת טכנולוגיה

בסביבה בין ארגונית, דהיינו בסביבת מערכים של מערכות, פרויקט יוגדר כמכלול שינויים והתאמות המבוצע באופן מתואם ב- 5 שכבות הארכיטקטורה וזאת בכדי לממש יכולת פונקציונאלית חדשה.

חוסר הסנכרון בתפיסת עסקית של ארגונים, הבדלים בגיל המערכות שהם מציעים, פלח השוק אליו מיועדות המערכות, סדרי גודל תקציביים וגורמים נוספים, מובילים לכך שהסיכוי למצוא תאימות **בכל השכבות** בין מערכות שונות הנדרשות להשתלב, נמוכה ביותר!

כתוצאה מקיומה של ארכיטקטורה פנימית (קיומם של קשרים פונקציונאליים ומבניים פנימיים) בין 5 השכבות לא פשוט לבצע התאמה של השכבות.

על מנת לייצר תאימות בין ארגונים ב- 5 השכבות להלן נדרש להגדיר תהליכים מובנים לתאום ושילובים בין-ארגוניים. מוקדי הסדרה, תאום ומסר שיפעלו באופן רציף קבוע ליצירת שילוביות בשכבות השונות, עשויים להוות אמצעי אפקטיבי להכוונה של תעשיות ובעלי עניין לאמוץ ארכיטקטורות פתרון שיש להן מכנה משותף נוח לשילוביות. בפרט, יסייעו מוקדי הסדרה אלה בזיהוי הזדמנויות ליצירת יכולות חדשות המתבססות על מוטיבציה משותפת (Incentives) לשיתוף פעולה חוצה ארגונים.

תובנות בתחום המתודולוגיות :

העובדה כי בתחומים הנדסיים שונים (בניה, תוכנה, תקשורת, תשתיות דרכים..) מיישמים מתודולוגיות הנדסיות שונות איננה חדשה, והקהילייה ההנדסית מכירה בקיומו של קטלוג תהליכים הנדסיים. יחד עם זאת מעצם התמחותו של כל ארגון הנדסי בפיתוח ויצור אבני בנין טכנולוגיות שונות, המציאות מראה כי על פי רוב יפעל הארגון בהתאם למתודולוגיה הנדסית מרכזית אחת מכלל קטלוג התהליכים האפשריים.

- קיימת בעיית הטמעה למתודולוגיות חדשות בארגונים. הדבר נובע מהרצון לשמר תהליכים קיימים ומוכרים, ואף מכניסה להיבטי רכש ואף שינויים במערכות התומכות (ERP) כמו גם היבטים משפטיים.
- במקרים רבים, לא קיימת מוטיבציה ליצירת פתרונות גנריים ולשימוש בסטנדרטים משיקולים כלכליים – כלכלת הלא סטנדרטי חזקה יותר וארגונים שואפים לבדל את עצמם.

- נדרש שיתוף ידע הנדסי בין ארגונים – Collaborative System engineering, לצורך למידה ושיפור התהליכים ההנדסיים.
- שיתוף ידע הנדסי בין ארגונים עשוי להתהוות ביצירת מנגנונים מובנים ומימון של גורמי ממשל, תוך הובלה מקצועית של גורמים אקדמיים המתמחים בהנדסת מערכות.

המלצות:

תחום פיתוח מערכות תבוניות לתחבורה ITS-Intelligent Transportation Systems מהווה תחום שבו מצטרפים כיום בעוצמה רבה כלל מאפיינים הבעיה: מערכים של מערכות, מורכבות גבוהה של ארכיטקטורה מערכתית, אזורית וארצית, מגוון בעלי עניין הפועלים בפרויקטים בלתי מסונכרנים תוך ישום מתודולוגיות הנדסת מערכת שאינן תואמות את האתגר ההנדסי. לאור האמור מוצע לעשות שימוש בתחום זה לצרכי הדגמה, בחינה ופיתוח של מתודולוגיות הנדסיות חדשות. בפרט, מוצע לבצע מחקר המשך ובו לעקוב אחר מידת היישומיות של מתודולוגיות חדשות בפרויקט "נתיבי מידע לתחבורה", המבוצע בהנחיית משרד התחבורה ועוסק בפיתוח שילוב והנגשה של מידע למשתמשי הדרך במגזר העירוני. עיקרי המחקר יתרכזו במיפוי תופעות אי-סנכרון, מיפוי חלופות לפתרון ומעקב ותחקור ישימות חלופה מתודולוגית שנבחרה. על בסיס מחקר זה ניתן יהיה להגדיר את מתודולוגיות הפיתוח והנדסת המערכת בתהליכי פיתוח בלתי מסונכרנים של מערכים של מערכות.

בנוסף, מומלץ לדעתנו, לבצע מחקר המשך המפרט את תהליכי הנדסת המערכת הרוחבית בארגון. המאמר יבצע הגדרה פורמאלית של מתודולוגיית העבודה שמומשה במרכז C4I המובאת כדוגמא במסמך זה, תוך ביצוע ההתאמות הנדרשות, כך שניתן יהיה ליישמה בדיסציפלינות וארגונים מתחומים שונים. כמו כן מוצע:

- לקדם מהלך לפילוח מוסכם של סוגי האתגרים ההנדסיים.
- לפעול למיסוד קטלוג מתודולוגיות הנדסת מערכת הכולל גם פירוט התאמת מתודולוגיה מול סוגי האתגרים ההנדסיים שמופו מעלה.
- לייצר מאגר ידע ללקחים מתחקור פרויקטים, בפילוח סוגי פרויקטים וישום מתודולוגיות.
- לבצע מיפוי של מוקדי ידע בתחומי תוכן שונים. מוקד הידע יעסוק בהנחיה וסנכרון של תהליכי פיתוח בין ארגוניים וקידום שפה משותפת.
- לפעול להתאמת תפיסת ניהול פרויקטים התומכת בישום מתודולוגיות הנדסת מערכות בפרויקטים בלתי מסונכרנים (בהתאמה למגזר ציבורי ופרטי).
- לבצע מחקר מלווה לתהליך הפעלת מרכז הכוונה לפרויקטים בתחום ה-ITS. המחקר יכלול מיפוי ראשוני של מצב הידע בהנדסת המערכות (מיפוי רמת Acceptance ע"י בעלי עניין וניתוח סיבות קבלה/הדחייה. ניתוח והערכת רמת התרומה להחדרת תפיסות היסוד של הנדסת המערכות לתחום הנדסי זה.

מאמרים נוספים:

על בסיס עבודה זו ניתן יהיה ליזום כתיבתם של המאמרים הבאים:

- מאמר בנושא מודל SRW למיין סוגי אתגרים הנדסיים. המאמר יפרט את תכונות המודל ויצג דוגמאות לפילוח אתגרים הנדסיים העיקריים לאור מודל זה.
- מאמר בנושא קטלוג מתודולוגיות הנדסת מערכת הנגזר ממודל SRW. המאמר יפרט את אופן הבניית המתודולוגיות ויצג עקרונות להתאמת מתודולוגיות הנדסת מערכת לאתגרים השונים.
- מאמר פירוט תפיסת ניהול אסטרטגיית הפיתוח של מערך של מערכות בראיה רב שנתית. המאמר יפרט את התהליכים העיקריים בניהול הפיתוח הרב-מערכי בראייה ארוכת טווח. בפרט, המאמר יגדיר מסגרת ניהול פיתוח באופן מחזורי שייתן מענה לחוסר הסנכרון ע"י הצפה מחזורית של הזדמנויות ופערים לאורך זמן ובראייה ארוכת טווח.
- מאמר פירוט תפיסת ניהול לפיתוח בלתי מסונכרן של מערכים של מערכות יפרט במאמר נפרד. המאמר יפרט את תהליכי הפיתוח העיקריים הנדרשים ביצירת יכולות משולבות החוצות ארגונים.

- מאמר בנושא האבחנה בין הנדסת מערכת אורכית והנדסת מערכת רוחבית. המאמר יפרט את השוני ויחסי הגומלין הנדרשים בין הנדסת מערכת אורכית להנדסת מערכת רוחבית.
- מאמר בסוגיית הנחלת שינויים בתהליכי הנדסת המערכת בארגון. המאמר יפרט בעיית ההטמעה של מתודולוגיות חדשות בארגון ויציע דרכים להתמודדות עם בעיה זו.

Bibliography

Ben Erwin, Education and Systems Engineering: A New Perspective, Tufts University, Center for Engineering Educational Outreach, 1998.

Bonen, Z., "Evolution of Military SoS", (in Hebrew), Rafael report, 1984 cite kol hamarachot 7/11.

Bonen Z. & Shenhar A., "The new Taxonomy of Systems: Toward an Adaptive systems Engineering Framework. IEEE Transactions on Systems, Man & Cybernetics-Part A: Systems & Humans, Vol. 27 Number 2, March 1997

Bonen Z., "Issues in Man Made Systems Theory, after 2008 first published also published: Kol Hma'archot, July 2011.

Buckl, S., A. M. Ernst, F. Matthes, R. Ramacher and C. M. Schweda, " Using Enterprise Architecture Management Patterns to Complement TOGAF", IEEE International Enterprise Distributed Object Computing Conference, 2009.

Carlock, P.G., and R.E. Fenton. "System-of-Systems (SoS) Enterprise Systems for Information-Intensive Organizations," Systems Engineering, Vol. 4, No. 4 (2001), pp. 242-261, 2001.

DeLaurentis, D., "Understanding Transportation as a System of Systems Design Problem," 43rd AIAA Aerospace Sciences Meeting, Reno, Nevada, January 10-13, 2005. AIAA-2005-0123.

FDOT, A Process Review & Appraisal of the System Engineering Capability for the Florida Department of Transportation (FDOT), Feb 2003.

Hitchins Kasser and Massie(2000)

Jamshidi, M., "System-of-Systems Engineering - A Definition," IEEE SMC 2005, 10-12 Oct. 2005.

Kasser, J. and A. Massie, "A Framework for a Systems Engineering Body of Knowledge", 11th International Symposium of the INCOSE, Melbourne, Australia, July 2000.

Kotov, V. "Systems-of-Systems as Communicating Structures," Hewlett Packard Computer Systems Laboratory Paper HPL-97-124, pp. 1–15, 1997.

Lankhorst, M., "Enterprise Architecture at Work: Modeling, Communication and Analysis", Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2009.

Levis A.H., & L. W. Wagenhals, "C4ISR Architectures: I. Developing a Process for C4ISR Architecture Design", George Mason University, Virginia, 2000.

Luskasik, S.J., "Systems, Systems-of-Systems, and the Education of Engineers," Artificial Intelligence for Engineering Design, Analysis, and Manufacturing, Vol. 12, No. 1 (1998), pp. 55-60.

Maier, M. W., Heuristic Extrapolation in System Architecture, in Proceedings of the 4th International Symposium of the National Council on System Engineering, NCOSE, Vol. 1, pp. 525- 532, 1994.

Maier, M. W., Integrated Modeling: A Unified Approach to System Engineering, Journal of Systems and Software, 32:2, February, 1996.

Maier, M. & E. Rechtin (2002). The Art of Systems Architecting. CRC Press, New York.

Manthorpe Jr., W.H., "The Emerging Joint System-of-Systems: A Systems Engineering Challenge and Opportunity for APL," Johns Hopkins APL Technical Digest, Vol. 17, No. 3 (1996), pp. 305–310.

Parker, J. (2010) "Applying a system of systems approach for improved transportation". S.A.P.I.EN.S. 3 (2).

Pei, R.S., "Systems-of-Systems Integration (SoSI) – A Smart Way of Acquiring Army C4I2WS Systems," Proceedings of the Summer Computer Simulation Conference, (2000), pp. 574-579.

Richards, M. G., N. B. Shah, D. E. Hastings and D. H. Rhodes, "Managing Complexity with the Department of Defense Architecture Framework: Development of a Dynamic System Architecture Model", MIT, Massachusetts, 2007.

Sage, A.P., and C.D. Cuppan. "On the Systems Engineering and Management of Systems of Systems and Federations of Systems," Information, Knowledge, Systems Management, Vol. 2, No. 4, 2001, pp. 325-345.

Sage, A.P., "The Evolution and Future of the Profession of Systems Engineering and Management", 2007, p.11.

Selberg, S. & M. Austin (2008). Toward an evolutionary system of systems architecture. URL:<http://www.isr.umd.edu/~austin/reports.d/INCOSE2008-Paper378.pdf>.

Shenhar A. Dvir D. (2007). Reinventing Project Management, Harvard Business school press.

Zachman, J. A., "A Framework for Information Systems Architecture," IBM Systems.

נספח א':

ראיונות עם גורמים במגזר הפרטי בתחום התחבורה

השאלות שנשאלו במהלך הראיון:

האם אופי הפעילות והפיתוח של מערך של מערכות בלתי מסונכרנות בתחום התחבורה מתרחש כיום בצורה טובה או שקיימים קשיים בפיתוח?

האם מערך של מערכות בלתי מסונכרנות מצדיק מתודולוגיית הנדסת מערכות ייחודית לצורך שילוב טוב יותר בין המערכות?

האם תהיה מעוניין לקבל הכוונה לפיתוח מונחה או שתעדיף להמשיך לפעול באופן עצמאי?

עופר חרובי – תעשייה אווירית – ראש תחום חדשנות – מייצג ארגון גדול

השאלות רלוונטיות לכל תחום כמו גם לתחום הביטחון והתחבורה. באופן עקרוני נכון לפתח מערכת באופן עצמאי ככל האפשר. יש לשאוף לפיתוח מערכות קטנות ככל האפשר כך שניתן יהיה לפתח במהירות ולהגיע לפריצות דרך טכנולוגיות. עם זאת, נדרש לייצר מנגנון הנדסת מערכות ורגולציה שמכוון למיצוי של כלל המערכות ברמה המערכתית.

התהליך הנכון הוא לפתח מערכות באופן עצמאי, ולאחר שיש כבר הרבה נכסי IT, נכון לבצע הסתכלות מערכתית שתגדיר מדיניות ותקנים על מנת להביא לשילוביות.

הסיבה המרכזית היא שפעמים רבות, שילוב מערכות וטכנולוגיות חדשות נעשה ללא יכולת להבין לעומק את השימוש שהמשתמש יעשה במערכת. פעמים רבות לא ניתן להתחיל בקונספט מערכת ונכון דווקא להתחיל ביישום קטן של אב טיפוס, ורק אז לאחר בשלות מסוימת יוכל המשתמש להגדיר את קונספט העבודה. שילוב הסתכלות מערכתית במקרים אלה עלול לייצר אילוץ. לעומת זאת, כאשר תהליכי העבודה עם המערכות מתבהרים, קל לייצר קפיצת מדרגה נוספת, בשילוב של קונספט חדשני.

ספציפית בתחום התחבורה, נדרש לפתוח אילוצים שקיימים כיום למגזר הפרטי. משרד התחבורה נדרש לעודד פעילות של המגזר הפרטי באמצעות מדיניות, תקנים והטבות לגורמי הפיתוח הפרטיים. נדרש גוף מכוון שיגדיר תקנים (ממליץ לאמץ תקנים מהעולם). גוף זה נדרש גם לעסוק במו"פ קונספטואלי לקידום תפיסות חדשניות.

אם גוף זה ידע לייצר הזדמנויות עסקיות ולא רק להטיל אילוצים אזי תהיה מוטיבציה עסקית לעבוד איתו ולקבל את הכוונתו.

אמיר לורבר – טרקטק – מנכ"ל – מייצג ארגון בינוני

המגזר הפרטי מונע משיקולים כספיים וזה יוצר תחרות והאצה טכנולוגית – שהיא דבר בריא. חיבור בין גורמים פרטיים לפיתוח מערכות קורה כיום מעצמו כאשר קיימת הזדמנות עסקית. עם זאת, הפער המרכזי כיום הוא ביצירת הזדמנויות ושיתופי פעולה בין המגזר הפרטי לגורמים ממשלתיים. ישנם חברות ציבוריות או ממשלתיות בתחום התחבורה שלא ניתן לייצר איתן שיתופי פעולה ושיתוף מידע. חסר גורם הנדסת מערכות במשרד התחבורה שיכול לתת הסתכלות כוללת ולייצר הזדמנויות בין המגזר הפרטי לממשלתי. גורם זה יהיה גורם מכווין ויהווה טריגר של כניסת מערכות מהמגזר הפרטי לתחום התחבורה. הדבר יגרום לגורמים פרטיים לרצות לקבל הכוונה רק אם זו תהיה הכוונה של משרד התחבורה. כל מנגנון הכוונה אחר, שלא במשרד התחבורה, לא יפתור את האילוצים לשילוב מערכות ממשלתיות ויהיה בזבוז זמן.

יונתן – מנכ"ל Decell - מייצג ארגון קטן

בתחום התחבורה ישנו נתח משמעותי של גורמים ציבוריים. כחברה פרטית אנחנו חסרים הכוונה של גורם מוסמך לתקינה, בפרט תקנים טכנולוגיים ותקני בטיחות. כיום, כאשר לקוח ציבורי פונה לחברה פרטית הוא מגדיר לה את הדרישות והיא מפתחת את המערכת. חסר גורם הנדסת מערכות, שייצג את הגופים הציבוריים (עיריות, משרדי ממשלה, חברות חצי ממשלתיות), שיגדיר את הצרכים שלהם כלפי הגורמים הפרטיים, שידע לדבר את השפה שלהם ויבין את התהליכים. גורם כזה יכול לייצר את מה שחסר כיום והוא יצירת הזדמנויות חדשות, ובפרט ייזום והנבטה כבסיס לפיתוח עסקי. תכנון ארכיטקטורה כוללת הוא דבר נדרש אך בד"כ מוכתב ע"י גוף ציבורי ולכן יש מקום לבחון לאיזה ארגון ישתייך הגורם המכווין.

כתעשייה קטנה הוא יהיה מאוד מעוניין בגוף הנדסת מערכות מכווין שמייצר את הקשר לגורמים הציבוריים, בניגוד לגופים גדולים שיחשבו שהם יכולים לבצע זאת באופן עצמאי.

נספח ב'

מערכות תבוניות לתחבורה – Intelligent Transportation Systems

מערכות תבוניות לתחבורה (ITS), הן מערכות משולבות של טכנולוגיות תקשורת, בקרה, מחשבים ומידע המיועדים להתקנה ברכב או בתשתיות הדרך במטרה לשפר את כלל ביצועי מערכת התחבורה, רמת בטיחות בדרכים וצמצום הפגיעה באיכות הסביבה.

למערכות תבוניות לתחבורה פוטנציאל תרומה משמעותי למערך התחבורה בתחומים הבאים:

מערכות ITS לניהול תנועה - מערכות המיועדות לבקרת תנועה וניהול מצבי גודש, מערכות מידע למשתמשי הדרך, מערכות נווט (נווטן-מבוסס GPS או סלולר), מערכות תקשורת בין הרכב לתשתית המאפשרות זימון ופינוי נתיבים לרכב הצלה וביטחון, מערכות לשיפור מערך החנייה, מערכות לניהול מהירות ועוד.

מערכות מידע לנוסע - מערכות מידע המתוכננות לספק שירותי מידע למשתמשי הדרך לצורך תכנון מסע משולב תוך שימוש מיטבי בכל מצבי הנסיעה (הליכה ברגל, נהיגה ברכב, אוטובוסים, רכבות, מוניות, שיתוף נסיעות ואמצעים מיוחדים), מידע בזמן אמת לנוסע בתחבורה הציבורית (תח"צ), צורך התאמת הזמן אמת של המשך תוכנית הנסיעה אם וכאשר התרחשו עיכובים ו/או שינויים בתוכנית הנסיעה המתוכננת, מידע לצרכי תכנון חלופות בציר הדרכים על בסיס מידע תנועתי המשודר בזמן אמת למשתמשי הדרך.

בטיחות בדרכים - מערכות eSafety המותקנות ברכב שתפקידן להקטין את הסיכונים להתרחשותם של אירועי תאונה וכן מערכות שתפקידן להגדיל את סיכויי ההישרדות במקרה של התרחשותה של תאונת דרכים. מערכות eSafety כוללות: מערכות עזר בבלימה ומניעת נעילת בלמים, מערכות ייצוב אלקטרונית, מערכות להתרעת אי שמירת מרחק וסטייה מנתיב, מערכות להתרעת הירדמות, מערכות לניטור לחץ אוויר בגלגלים, מערכות להתראה על משתמש דרך אחר בסביבת הרכב, מערכות המעדכנות בתקשורת על מצב סיכון בהמשך הדרך (האטה בתנועה, רכב תקוע) ועוד.

תרומה לאיכות הסביבה - מערכות לניטור לפליטות ומזהמים בתחבורה המאפשרות לסייע בניטור ובקרה אחר של תהליכי ישום של תוכניות ממשלתיות להפחתת פליטות ומזהמים בתחבורה. מערכות מסוג זה ניתן לחלק לשתי קבוצות: **מערכות המותקנות ברכב המאפשרות לנהג ו/או למנהל צי הרכב לנטר את הפעילות המזהמת של כלי הרכב או מערכות המותקנות בתשתית שתפקידן לנטר על בסיס אזור בעל סיכויי זיהום (למשל אזור הסובל מעומסי תנועה חמורים לאורך רוב שעות היום).**

מעניין לציין כי ברב המקרים אין מדובר במערכות ייעודיות הנדרשות להתקנה ברכב ובתשתית אלא במערכות שממילא מותקנות כבר ונידרש רק לאפשר הוצאת מידע נוסף בתצורה מתאימה לשימושי ניטור מזהמים. כך לדוגמה: מערכות "קופסא ירוקה" שיעודן ניטור מאפייני בטיחות הנהיגה מהיבטי אגרסיביות הנוהג (תאוצות, חריגה ממהירויות נסיעה) מאפשרות ניטור מדויק גם של צריכת יתר של דלק ופליטת יתר של מזהמים. בצורה זו מערכות המותקנות בדרך המשמשות לניטור עומסי תנועה ניתן לחשב באמצעותן את פליטת המזהמים באזור מוגדר ולנטר באמצעותן השפעה הלכה למעשה של תוכניות מקומיות של הפחתת מזהמים

אירועי אסון לאומי (תקלה תעשייתית/ פח"ע / אסון טבע) - תחום חשוב שבו למערכות ITS יכולה להיות תרומה משמעותית הוא תחום צמצום הנזק הסביבתי בעת אירוע אסון לאומי הכולל התפרצות שריפות, הצפות, פליטות גזים רעילים, ו/או זליגה של חומרים מסוכנים. זיהוי מוקדם של פרטי האירוע והעברת מידע מדויק על מיקום האירוע והחומרים המסוכנים המעורבים בו עשוי לתרום משמעותית להקטנת מימדי הפגיעה באוכלוסיה ופגיעה בסביבה. מערכות ניטור (המבוססות על טכנולוגיית קופסא ירוקה) צריכות להיות מותקנות על פי חוק ברכבי תובלה ולאפשר ניטור ומעקב רציף של תקינות הנסיעה לאורך צירי הדרך המורשים לנסיעה. במקביל, ניתן לפעול להקמת יכולת התאמת הנחיות/כיווני תנועה לאירוע אסון, שתפקידם לאפשר יצירת נתיבי גישה פתוחים לכוחות הצלה אל מקום האירוע ונתיבי פנוי חד כיוונים לאוכלוסיה לפני מהיר של איזור האסון ובכך להוות מנגנון שיפחית משמעותית את הנזק לאוכלוסיה ולסביבה.

פירוט צרכי משתמשי הדרך/בעלי עניין

מקובל לחלק את כלל הצרכים של משתמשי הדרך/בעלי עניין בתחום ה-ITS ל-9 גזרות פעילות:

ניהול תנועה:

הצורך בהקניית יכולת אינטגרטיבית לניטור וניהול זרימת התנועה, מתן עדיפות גבוהה לזרימת תנועה של רכבי הצלה ורכבי תח"צ, הפחתת עומסים ושיפור הזרימה והניידות של כלל האוכלוסייה והסחורות. השירות ניתן באמצעות איסוף מידע מכלל מערכות התחבורה, היתוכו ויצירת תמונת מצב הכוללת המלצות לניהול זרימה מיטבי שהמתעדכן בזמן אמת.

ניהול תחבורה ציבורית

הצורך במתן שירותי מידע למיכון תהליכי תכנון, תפעול וניהול תחבורה ציבורית. ביצוע אנליזות על ביצועי תח"צ שמטרתן לתת המלצות לשיפור תהליכי התפעול והתחזוקה באמצעות ניטור מיקומי התח"צ וכמות הנוסעים אל מול לוח הזמנים המתוכנן להם. הדבר יאפשר עמידה בלוח זמנים מתוכנן לתח"צ כך שמשתמשי הדרך יוכלו לבצע מסע משולב כפי שתכננו מראש תוך שמירה על עיכובים מינימאליים בלוח"ז. בנוסף, יתאפשר ניהול ותכנון כוח האדם להפעלת התח"צ.

ניהול ביקושים תשלומי אגרת שימוש:

הצורך ביכולת גביית תשלומי אגרה לשירותי תחבורה שונים באופן אחיד ותואם החל האמצעי תשלום אחדים למפעילים שונים של תחבורה חיצונים וכלה בגביית אגרת נסיעה בכבישים ע"י מפעילים שונים.

ניהול ציי רכב מסחרי

הצורך במתן שירותי מידע אודות מצב בטיחות רכבי באופן אוטומטי באמצעות ציוד המותקן ברכב. המידע שייאסף יכלול בטיחות הרכב, משקל ונפח מטען ומידע בטיחותי נוסף. שימוש בציוד זה ועמידה בדרישות הבטיחות והמטען תסייע הן למנהלי ציי הרכב והן לגורמי האכיפה להימנע מעצירת אותם רכבים שיעמדו בדרישות לצורך בדיקות דרך ידניות.

כוחות ביטחון והצלה:

הצורך במתן שירותי מידע שמטרתם להקטין את משך הזמן מדיווח על אירוע תאונה או חרום ועד להגעת כוחות ההצלה לשטח, ולאחר מכן במידת הצורך גם להקטין את זמן הפינוי לבית החולים. מתן שירותי קריאה לכוחות הצלה בעת תאונה או מצב חרום באופן ידני יזום ע"י נהג/נוסע ברכב, או באופן אוטומטי בעת זיהוי התנגשות באמצעות התקן ברכב. בנוסף,

טכנולוגיות בטיחות מתקדמות:

לצורך תמיכה בקבלת החלטות הנהג בעת נסיעה ברכב, נדרש לייצר לנהג מעטפת בטיחותית קוהרנטית לתפעול. המצב הנוכחי מייצר קשיי תפעול לנהג כאשר הוא נדרש לבצע נסיעה תוך התמודדות עם מכלול מקורות מידע, החל מלוח השעונים וחיווי הרכב עצמו, דרך מידע מבוסס אפליקציות סלולר וכלה באמצעי ניווט GPS ואמצעי רדיו. עומס מידע זה מפריע לנהג בביצוע משימתו במרכזית והיא הגעה לנקודת היעד בבטחה. על מנת לשפר את תפקודו של הנהג בהיבט מיצוי אפקטיבי יותר של מידע באופן בטיחותי, נדרש לבצע שילוב מרכיבים שונים כחלק מתצוגות הרכב ושילוב שיקולי הנדסת אנוש. במקביל נדרש להתניע תהליכי רגולציה לאופן מימוש, הצגה ושילוב אפליקציות סלולר המיועדות לנהג.

שכבות מידע ומאגר נתונים לתכנון ותפעול תחבורה:

בניית מרכז מידע (Data center) המאפשר אחסון ואחזור כלל פרמטרי המידע לתחבורה החל מנתוני זרימת תנועה, נתוני אירועים מיוחדים, נתוני תחבורה ציבורית, התנהגות הציבור וכל מידע נוסף שנרצה לנתח בעתיד את התנהגותו לטובת הצגתו לבעלי העניין. ניתוח זה יאפשר תמיכה בקבלת החלטות טקטיות כגון ניהול התנועה בעיר בחתכים שונים וניהול אירועים בזמן אמת, ובביצוע אנליזות תחבורה כגון תמיכה בתהליכי תכנון תחבורה במטרופולין, תכנון קווי תחבורה ציבורית, תכנון תנועת רכבות, תכנון בקרת רמזורים, תחקור אירועים ותאונות ועוד. בנוסף, ניתן יהיה לבצע שימוש במרכז המידע לצורך ביצוע סימולציות (What if?) שיסייעו לנו בחיזוי התנהגות

עתידיית כתוצאה משינוי נקודת עבודה נוכחית כבסיס לתהליכי תכנון שונים כגון סלילת כבישים, שינוי צמתים וכו'.

שירותי מידע למשתמשי הדרך

מתן שירותי מידע עדכני לתכנון נתיב נסיעה מהבית הכולל מידע אודות רשתות הכבישים, מזג אויר, תאונות, עבודות בכביש ואירועים צפויים. על בסיס מידע זה מתכנן הנסיעה יכול לבחור באופן מיטבי את זמן יציאתו, נתיב הנסיעה, אמצעי התחבורה (פרטי, רכבת וכו') ולשערך את זמן הגעתו אל היעד.

רכב אוטונומי (למחצה) משולב מידע (V2I, I2V, V2V)

לצורך הפעלה אוטונומית או אוטונומית למחצה נדרש יכולת העברת מידע בין כלי רכב לבין עצמם (V2V), העברת מידע בין כלי רכב לתשתית (V2I) והעברת מידע בין תשתית לכלי רכב (I2V). במצב זה יוכל הרכב לבצע (Download) של שכבות מפה עדכנית + שכבת תמרורים באזור הנסיעה. תמרורים אלו, כולל מהירויות נסיעה ומצב התנועה יועברו לתצוגה פנימית ברכב. יתרה מזו כלי הרכב יוכל להתאים את עצמו למצבי הנסיעה הנדרשים. כך בכל מקרה של חריגה מהמהירות המותרת בקטע הדרך, תתקבל התראה לנהג על חריגה זו אולם כלי הרכב יתאים עצמו למהירות המותרת (במידת הצורך יוכל הנהג להאיץ את כלי הרכב לצורך השלמת עקיפה או מסיבה אחרת). מצב הרמזורים יוצג בתוך כלי הרכב ויאפשר חישוב והתאמה של מהירות הנסיעה עד הרמזור כך שההגעה איליו תהיה במופע ירוק. כל מקרה של עמידה ברמזור לא תתאפשר התנהגות ויציאה לדרך, עד שמצב רמזור אדום לא התחלף. עם הגעה לאזור היעד סימון מקומות חניה פנויים, יאפשר ניווט מידי לנקודת חניה. בחירת ציר הנסיעה תתחשב בעלויות מיסי שימוש.

מערכים של מערכות ITS:

אל מול 9 הגזרות הנ"ל הכוללות פירוט צרכים של משתמשי הדרך, ניתן למצוא כיום בשוק המערכות התבוניות לתחבורה את סוגי המערכות הבאות:

מערך של מערכות ניהול תנועה:

מערכות לניהול תנועה הן מכלול טכנולוגיות הפועלות במשולב למען מטרה עיקרית – טיפול בעומסי תנועה באופן יעיל ובטיחותי באזורים עירוניים המאוכלסים בצפיפות ובמרכזי תנועה בהם גודש התנועה גבוה. תפקיד המרכזים לניהול התנועה, הוא ניהול הירארכי של ככל התנועה במרחב (תחבורה ציבורית, תחבורה פרטית, הולכי רגל). ניהול זה, מתבטא בהזרמת התנועה והכוונתה באופן יעיל בעת שיגרה ובזמן חירום (תאונות, מלחמה, אסונות אחרים), ניהול מערך החניונים הציבוריים, העברת מידע עדכני לנוסעים ומשתמשי הדרך בחלופות התנועה וההיסעים העומדים לרשותם. המערך הטכנולוגי העומד לרשות המרכזים לניהול תנועה כולל מצלמות, חיישני תנועה, טלוויזיה במעגל סגור (CCTV) מערכות איסוף נתונים, מערכות תוכנה, חומרת מחשב, מערכות תקשורת וטכנולוגיות מעקב אחר שינויים במזג האוויר, רמזורים, שלטי הודעה אלקטרונית משתנה (VMS) ועוד.

מערך של מערכות ITS לתשתיות:

מערכות ITS לתשתית הן מגוון אמצעים המותקנים בצידי הדרך והתשתית המהווים אמצעי קצה של מערכות ה-ITS. אמצעים אלו כוללים בד"כ אמצעי גילוי, חישה וניטור המיועדים לאיסוף מידע אודות מצב התנועה (מצלמות למעקב אחר גודש הנסועה, חיישני תנועה המותקנים במיסעה או מעליה) ואמצעים המיועדים להעברת ולהצגת מידע למשתמשי הדרך (שילוט מתחלף, רמזורים חכמים, עיני חתול אקטיביים, אמצעים סימון, מעברי חצייה פעילים וכד').

מערך של מערכות מידע ותקשורת:

מערכות מידע ותקשורת, מהוות את התווך עליו מועברים נתונים ומידע בין ספקי מידע וצרכני מידע. סוגי ערוצי התקשורת כוללים: תקשורת קוויית, תקשורת אלחוטית ייעודית, תקשורת המבוססת על תשתיות Cellular, תקשורת Bluetooth, תקשורת Wi-fi, תקשורת Wi-Max. לערוצי תקשורת שונים נעשה שימוש בפרוטוקולי מידע שונים, ולצורך שפה משותפת נדרש לעשות שימוש במילון נתונים אחיד: Data Dictionary.

מעריך של מערכות עזר לנהג:

מערכות עזר לנהג, הן יישומים טכנולוגיים המותקנים ברכב ומיועדים לאתר מצבי סכנה בכביש, להעלות את ערנות הנהג, להשפיע על אופן קבלת ההחלטות שלו ועל אופיין ובמידת הצורך אף להתערב ולהפקיע מידיו את ניהוג הרכב, עד יציאה ממצב סכנה. קיימות מספר טכנולוגיות בתחום זה, חלקן מובנות ברכב בזמן תהליך הייצור (OEM) וחלקן ניתן לרכוש כמוצר מדף (After market). מערכות עזר לנהג כוללות: מערכות עזר בבלימה ומניעת נעילת בלמים, מערכות ייצוב אלקטרונית, מערכות להתרעת אי שמירת מרחק וסטייה מנתיב, מערכות להתרעת הירדמות, מערכות לניטור לחץ אוויר בגלגלים, מערכות להתראה על משתמש דרך אחר בסביבת הרכב, מערכות המעדכנות בתקשורת על מצב סיכון בהמשך הדרך (האטה בתנועה, רכב תקוע) ועוד.

מעריך של מערכות ניטור נהיגה:

מערכות ניטור נהיגה, נועדו לעקוב אחר מרכיבים שונים בביצועי הרכב, לצורך בניית פרופיל מאפייני נהיגה בהיבט הבטיחותי ובהיבט התפעולי- כלכלי. רוב המערכות, נשענות על טכנולוגיות GPS וסולר המאפשרות קבלת תמונה עדכנית מכל מקום ובכל זמן.

ההיבט הבטיחותי, מתבטא באיכות הנהיגה הכוללת ניהוג, תאטות, תאוצות, בהתאמה לתוואי הדרך, המהירות המותרת על פי חוק בכל חלק מתוואי הנהיגה והעומסים על מערכות הרכב בכל שלב בנהיגה. הפועל היוצא של בניית פרופיל נהיגה בטיחותי, הוא מתן האפשרות לוודא כי הנהג היוצא למשימתו, ימנע מסיכונים מיותרים לו ולסביבתו.

ההיבט התפעולי - כלכלי בא לידי ביטוי (בעיקר בציי רכב), ביכולת לעקוב אחר איכות ביצועי הרכב בכל הנוגע לעומסים על המנוע, שחיקת הצמיגים ומערכת הבילום, צריכת הדלק והחשמל ופעולה תקינה של כלל מערכות הרכב (לרבות מערכות קירור בציי רכב המובילים מזון וכד'). מעקב זה, מאפשר למנהל צי הרכב לשנות דפוסי נהיגה הגורמים לבזבז דלק ובלאי מואץ של מערכות הרכב השונות ולאפשר לבעל החברה רווח תפעולי גדול יותר במקביל להפחתת זיהום האוויר.

מעריך של מערכות הגנה לנוסע:

מערכות הגנה לנוסע, הן כלל הטכנולוגיות והאמצעים המיועדים למנוע פגיעה בנוסעי הרכב בעת התרחש תאונה, או בעת שינוי קריטי במהלך הנהיגה העלול לסכן מי מן הנוסעים (סטייה ושינוי כיוון פתאומי, עצירת פתאום, החלקה על הכביש וכיו"ב). מערכות ההגנה לנוסע, מתחלקות על פי אופי פעולתן: מערכות המונעות מן הנוסע, להגיע אל גורם קשיח העלול לגרום לו חבלה ואף מוות (שמשה קדמית, לוח שעונים, הגה, גוף הרכב וכד'). עם מערכות אלו, נמנות חגורות הבטיחות וכל כסאות הבטיחות לילדים. מערכות אלו, אינן אקטיביות על פי רוב ותפקידן לרסן/למנוע את תנועתו החופשית של הנוסע. מערכות המופעלות רק בהתרחש תאונה ותפקידן למנוע מן החלקים הקשיחים ברכב שהתעקמו כלפי פנים בעקבות ההתנגשות מלהגיע אל הנוסע ולפגוע בו. עם מערכות אלו, נמנות סוגים שונים של כריות אוויר (כריות נפרדות, ווילונות ומערכות משולבות).