

הנדסת מכונות

כתב־עת מקצועי של לשכת המהנדסים, האדריכלים
והאקדמאים במקצועות הטכנולוגיים בישראל (ע"ר)

גיליון 1

ינואר 2014



- בדיקות לא הורסות
- טכנולוגיות ייצור
- חקר כשלים
- מתקני הרמה ושינוע

- הנדסת רכב
- רובוטיקה
- אנרגיה
- אווירונאוטיקה

רכבי מרוץ של סטודנטים מישראל השתתפו בתחרות בינלאומית באיטליה

שלוש קבוצות של סטודנטים ישראלים, שתיכנו ובנו רכבי מרוץ, השתתפו בתחרות הפורמולה של איגוד מהנדסי הרכב העולמי (SAE), שנערכה בחודש ספטמבר באיטליה. הקבוצות מאוניברסיטת תל-אביב ומהטכניון השתתפו לראשונה בתחרות, בעוד שהקבוצה החלוצה מאוניברסיטת בן-גוריון התחרתה זו השנה השלישית ברציפות.

שחף בן צבי

במרוצת השנה החולפת ביצעו הקבוצות, שכוללות עשרות סטודנטים להנדסה, תהליך תכן מקיף לרכבי פורמולה, ייצרו והרכיבו את כלי-הרכב. הסטודנטים גם נהגו ברכבי המרוץ בתחרות באיטליה, והפגינו את ביצועיהם על המסלול.

תחרויות הפורמולה של SAE מתקיימות זה 40 שנה ברחבי העולם, ובמסגרתן מדומות קבוצות הסטודנטים לחברות פיתוח רכבים, הנדרשות לבצע תכן וייצור של אב-טיפוס בהתאם למפרט דרישות תובעני, ולהציג את ביצועיו על מסלול מרוץ. תקנון התחרות כולל הגבלות רבות, רובן בטיחותיות, אך חלקן נועדו לאתגר את הסטודנטים ולאפשר מגוון פתרונות נרחב (למשל הגבלת נפח המנוע ויניקת המנוע לקוטר מזערי). התחרות בוחנת ומקנה ניקוד הן על ביצועי הרכב במספר מקצים דינמיים שונים והן על התנהלות הסטודנטים כחברה תעשייתית. בנוסף לנהיגה, נבחנים הסטודנטים על רמת התיכון והביצוע של הרכב, חדשנות ויעילות הפתרונות ההנדסיים, העלות הכוללת של הרכב – לרבות פירוט דקדקני של כל המרכיבים ותהליכי הייצור, הצגת המוצר למשקיעים פוטנציאליים ועוד.

התחרות מקנה למהנדסים לעתיד ניסיון בחומרים ותהליכי ייצור שונים, ניהול פרויקט בסדר גודל נרחב, ליווי תהליך פיתוח של מוצר מקונספט לייצור, גיוס משקיעים, שיווק ועוד. חברות הרכב

הגדולות עוקבות מקרוב אחרי המשתתפים בתחרות, ומנצלים אותה כהזדמנות לגיוס כוח-אדם איכותי לשורותיהם.

על כלי-הרכב מוטלות מגבלות הנדסיות מגוונות, שבאות לאתגר את הסטודנטים. ברובן הן בטיחותיות, כלומר: הגבלות גיאומטריות על השלדה, כדי שהנהג לא ייפגע במקרה של תאונה או התהפכות חלילה; דרישות חוזק לפלדה בשימוש (שגם ידגמו במהלך התחרות לוודא התאמה); ובדיקות בפועל של התאמת כל נהג לרכב. חניקת המנוע לפתח של 20 מ"מ מאלצת תהליך חשיבה מקיף לבחירת המנוע שימש להנעת הרכב – לאחר הגבלה זו, ההספק דומה בין מגוון מנועים וישנה חשיבות לשיקולים הנדסיים שונים כמו משקל, חלוקת המשקל, ממדים גיאומטריים, אמינות ועוד. כמו-כן, התחרות מעודדת חדשנות ובדלנות מפתרונות סטנדרטיים נפוצים בתעשייה, ולכן הפתרונות הייחודיים ימשכו תשומת לב משמעותית יותר גם אם לא תמיד יהיו היעילים



ביותר או בעלי הביצועים המרביים. הקבוצות מאוניברסיטת תל-אביב, מהטכניון מאוניברסיטת בן-גוריון דורגו במקומות ה-30, 19 ו-14 בהתאמה, מתוך 47 קבוצות מנוסות מרחבי העולם שהתחרו בתחרות הפורמולה של SAE באיטליה. הישגים חריגים נרשמו לטובת הקבוצה מאוניברסיטת תל-אביב במבחני העלות – ניתוח עלויות החומרים והייצור – בו זכתה למקום ה-8 מתוך 47, ובמבחן התכן – הערכת רמת תיכון הרכב – בו מוקמה 15 מתוך 47. במבחן התכן זכתה הקבוצה המנוסה מאוניברסיטת בן-גוריון במקום ה-7.

מימוש הפרויקטים התאפשר בזכות תמיכה של עשרות חברות במשק, שהתנדבו לסייע במתן חסויות, תרומת חלפים, חומרים או שעות עבודה. הקשר בין הקבוצות לחברות התבצע באמצעות מערכי שיווק ופרסום שהקימה כל קבוצה. לטובת המשכיות הפרויקטים ושימור תנופת הפיתוח בתחום, תידרש גם השנה הירתמות של החברות במשק, כאשר התמורה תהיה בדמות הפרסום וייצור מהנדסים איכותיים יותר לשוק.

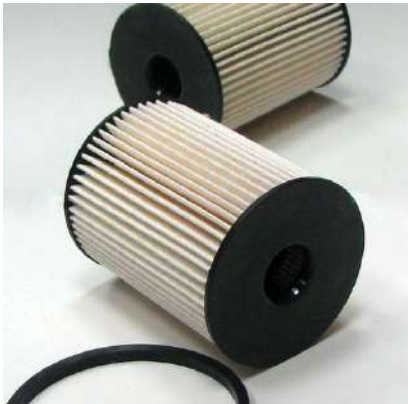
בשנת 2014 מתכננות שלוש הקבוצות להקים דור המשך ולייצר רכבים חדשים שישתתפו בתחרות. במקביל, קבוצת סטודנטים ממכללת "אפקה" פעילה מזה כשנתיים בתהליך דומה לייצור רכב פורמולה חשמלי, והיא מייחלת להשתתף בתחרות פורמולה של SAE לרכבים חשמליים ב-2014. כמו-כן, ישנה כוונה לזיום תחרות דומה בישראל, להגברת המודעות לנושא בארץ והתחרותיות בין המוסדות האקדמיים. □

למטה: שלוש הקבוצות המתחרות מהטכניון, אוניברסיטת בן-גוריון ואוניברסיטת תל-אביב. למעלה: רכב המרוץ שפותח על-ידי הסטודנטים מתל-אביב.



מסנני דיזל – איכות ללא פשרות

סינון הדלק במנועי דיזל עובר כיום מהפכה של ממש, כאשר הדגש הוא על סינון חלקיקים בגודל של 4 מיקרון ומטה ביעילות סינון של מעל 99.9%, והגדלת אורך החיים של המסנן תוך שמירה על מפל לחץ נמוך על המסנן. המהנדס איציק לוי ממסנני א.ל. סוקר את החידושים בתחום מסנני הדלק למנועי דיזל.



מסנן Cartridge.



מסנן In line.



מסנן Spin-On.

ההזרקה מפני שחיקה.

● **נייר סינטטי** – נייר עם אורך חיים אדיר ויעילות סינון סבירה. משמש בעיקר למערכות דיזל גדולות.

● **ניירות הסינון של המחר** יהיו בעלי יותר משלוש שכבות סינון, וניירות סינון במבנה גרדיאנטי.

שיפור יעילות הסינון גורם לנייר להיות אטום יותר, ולגודל הנקבים בנייר להיות קטן יותר, מה שישפיע באופן ישיר על מפל הלחץ וקיבולת אבק. שימוש בטכניקת הגרדיאנט ושכבות של

● **נייר דו-שכבתי**: שכבת צלולוס ושכבה סינטטית – ניירות סינון כאלה ניתן למצוא כיום ברוב מסנני הדיזל החדשים (בעשר השנים האחרונות). לניירות האלו יעילות סינון שנעה מ-80% עד 96% לחלקיקים בגודל ארבעה מיקרון. השכבה הסינטטית מאפשרת גם קיבולת אבק גבוהה במיוחד, ובנוסף שיפור של יכולת הפרדת המים שנדרשת במסנני דיזל.

● **נייר תלת-שכבתי**: שכבת צלולוס, שכבת סיבי זכוכית ושכבה סינטטית – משמש למערכות הזרקה בלחץ גבוה מאוד, בעיקר בגלל יעילות סינון גבוהה מאוד (99.5% לחלקיקים בגודל ארבעה מיקרון), שמטרתה להגן על מערכת

השאפה לשיפור יעילות תצרוכת הדלק גרמה לשינוי בתפיסה של ייצור מנועים, ויצרני הרכב הגיעו למסקנה כי שימוש במנועי דיזל מוגדשים נותן את אחת התשובות הטובות ביותר לצרכן.

עם השינוי בתפיסה והרגולציה בפליטות מזהמים, תחום הסינון עובר מהפכה של ממש. מסנן דלק יכול להגיע בכמה צורות, כאשר הצורות הנפוצות ביותר הם: מחסנית סינון (Cartridge), מסנן על קו (In line), ומסנן Spin-On.

בעבר, היה צריך לסנן דלק ברמת סינון חלקיקים נמוכה. הכוונה ברמת סינון היא באיכות הסינון של חלקים מיקרוניים, אפילו עד 4 מיקרון, ולרמה של סילוק החלקיקים ב-99.9%. כיום הדגש הוא על סינון חלקיקים בגודל של 4 מיקרון ומטה ביעילות סינון של מעל 99.9%, והגדלת אורך החיים של המסנן תוך שמירה על מפל לחץ נמוך על המסנן.

המטרה של סינון חלקיקים ליעילות כזו היא משתי סיבות עיקריות:

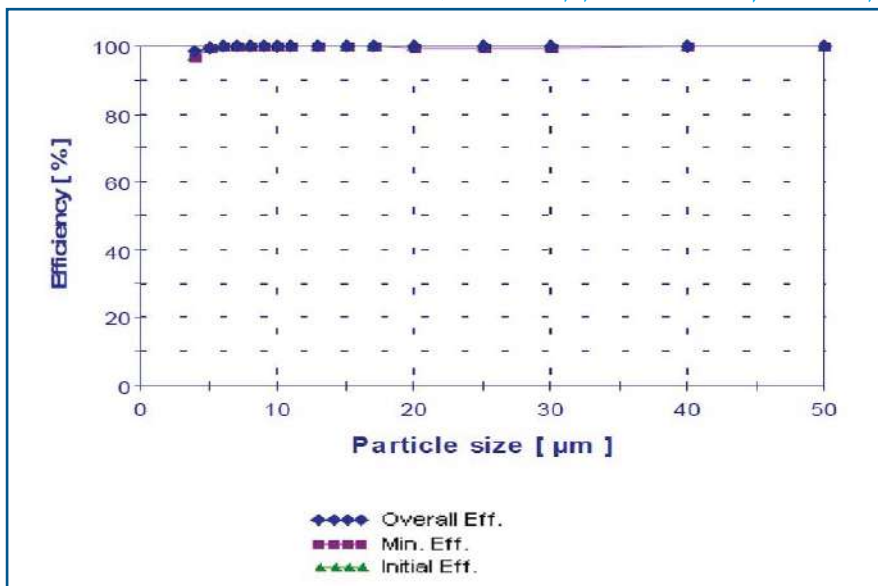
● אורך החיים של מערכות ההזרקה החדשות, שעובדות בלחצים של מעל 1,800 אטמוספרות.

● הקטנת כמות הזיהום שיעבור לתא הבעירה וייפלט דרך צינור הפליטה לאטמוספירה.

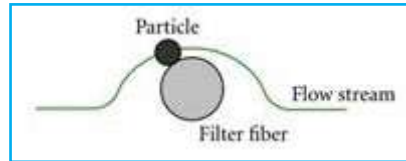
השיפור בא לידי ביטוי בשינוי שבוצע בניירות הסינון. אם לפני זמן רב השתמשו בנייר צלולוס פשוט עם יכולת קיבולת אבק, יעילות סינון והפרדת מים מוגבלת, הרי שכיום רואים שיפור מתמיד בסוגי ניירות הסינון כדי שיוכלו לעמוד במרווחי שירות ו/או החלפת המסננים.

כיום משתמשים בטכניקות שונות כדי לשפר את הביצועים של ניירות הסינון:

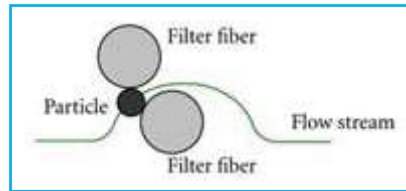
גרף יעילות סינון כתלות בגודל חלקיק (ISO 19438).



● **יירוט (interception)** – מצב שבו חלקיק זורם על זרם האוויר ונצמד לסיב כתוצאה מכוחות ואן דר ואלס (כוח משיכה בין מולקולות). במצב זה, כאשר יהיה כוח גזירה גדול יותר מכוח ואן-דר-וואלס כתוצאה מזרימת האוויר, החלקיק ייגזר מהסיבים.



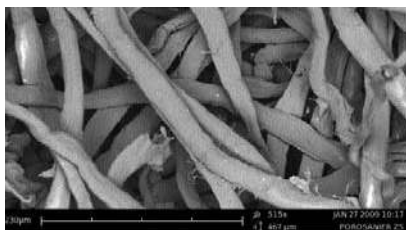
● **סינון (sieving)** – המכאניזם הנפוץ ביותר בסינון, כאשר חלקיק גדול מאוד נע בין סיבים שגודל המרווח קטן מגודל החלקיק.



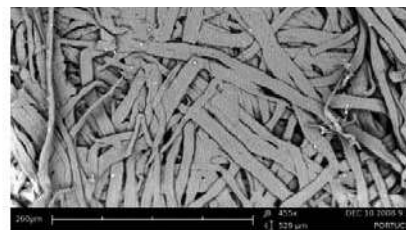
אפקט מאוד חשוב בסינון נקרא עוגת אבק. יעילות הסינון של מסנן חדש שיצא כרגע מדלת המפעל לעולם תהיה נמוכה מזו של מסנן שעבד. הרעיון הוא, שכל שאבק נלכד על קרב הסינון הוא יוצר שכבה אטומה למעבר חלקיקים. בדרך כלל השכבה תיווצר מהחלקיקים הגדולים (מעל 50 מיקרון).

לסיכום: מערכות מתקדמות משפיעות על כל חלקי הרכב, וגם על המסנן. מה שנראה כמוצר פשוט הוא בעצם פיתוח טכנולוגי מתקדם ומורכב. התקדמות הטכנולוגיה ומעבר לשיטות חדשות כמו שימוש במערכות תא דלק מימני ומנועי חשמל יחייב מחשבה מחדש איך ייראו המסננים של המאה הבאה. □

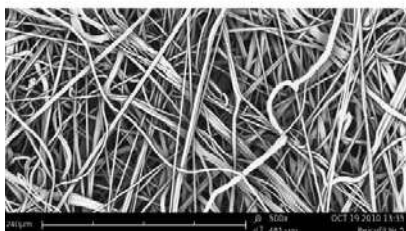
לשאלות ופרטים ניתן לפנות למהנדס איציק לוי בטלפון 0544454011.



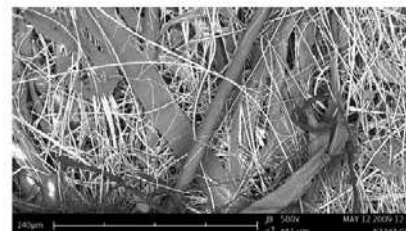
Pine 30 μm



Eucalyptus 15 μm



Meltblown



Media with 35% glass fibers
[medium fiber diameter 600nm]

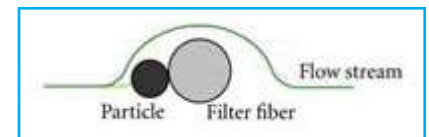
סיבי זכוכית מאפשר השגה של התוצאות האלה.

בדורות החדשים (2013) ניתן למצוא שיפור נוסף בתחום הפרדת המים, שמתבטא בשימוש ברשתות הידרופוביות להפרדת מים ושימוש בקואליסרים (coalescing) כדי להגדיל את יעילות הפרדת המים גם לטיפות מים בגדלים של כ-10 מיקרון.

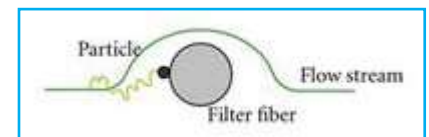
התקנים החדשים בוחנים את מסנן הדלק בסדרת בדיקות מחמירות ודואגים לכך שהלקוח יקבל את המוצר הטוב ביותר. התקנים בודקים את יעילות הסינון של המוצר בסינון חלקיקים והפרדת מים, וכן את קיבולת האבק: SAE J 905, ISO 4020, ISO 19438, והתקן החדש 16332.

ישנם ארבעה מכאניזמים עיקריים שמשתתפים בלכידת אבק בנייר הסינון:

● **אינרציה (inertia impaction)** – משפיעה על חלקיקי האבק הגדולים שתלויים בזרימת האוויר. חלקיקים אלו כבדים יותר מהזרם סביבם. כאשר הזרם משנה את כיוונו בכניסה לחלל הסיבים, החלקיק ממשיך בכיוון ישר ומתנגש עם סיבי המדיה ונלכד על ידה.

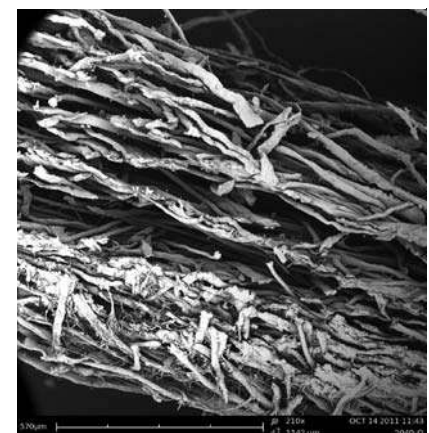


● **דיפוזיה (diffusion)** – משפיעה על חלקיקי האבק הקטנים, אשר לא זורמים בצורה ליניארית בזרם. החלקיקים הקטנים נעים במסלולים אקוטיים ולא מסודרים, אשר מגדילים את הסיכוי שלהם להילכד על הסיב.



משמאל: סיבים בשימוש בניירות סינון במסנני דלק.

למטה: נייר סינון במבנה גראדיאנט לשיפור יעילות סינון וקיבולת אבק ללא שימוש בסיבי זכוכית.



כנס AUVSI לכלי-שיט בלתי מאוישים "מישראל תצא הבשורה"

הרובוטיקה הימית בישראל נמצא בתנופת פיתוח חסרת תקדים, אולם רוב אנשי השטח והמחקר בארץ סבורים כי הדרך עוד ארוכה. בכנס AUVSI לשנת 2013 הציגו מובילי התחום את הפיתוחים שנעשו, לצד הקשיים בדרך להפוך את ישראל למעצמת רובוטיקה ימית. "לא נעשים מספיק מאמצים", התריע אלוף (מיל') צייני מרום, מפקד חיל הים לשעבר.

דבר על הצורך בבני אדם, נזדקק לאוניה מאוישת וסביבה כלים בלתי מאוישים. "שינוי זה דבר שלוקח זמן. כמעט אין מקפצות מדרגה בחיים", סיכם מרום באופטימיות.

את המושב הראשון, שבראשו עמד סא"ל שמעון סיסו, ראש ענף אופק בחיל הים, פתח אל"מ אסף שפי, ראש מחלקת תקשוב בחיל. הוא הציג את תוכנית-האב לכלי-שיט בלתי מאוישים (כשב"מים), ודיבר על מחקר לרובוטיקה ימית שמתבצע בשיתוף פעולה עם גופי מחקר בעולם. שפי הסכים עם הדוברים הקודמים כי כלי-שיט בלתי מאוישים נמצאים בתנופת פיתוח בעולם, ועתידים למלא משימות בתחום המחקר והביטחון. הוא הסביר, כי במספר ציידים בעולם, כלי-שיט בלתי מאוישים על-ידיים משמשים בעיקר למשימות חיפוש, סריקה והצלה, רשתות חיישנים לתקשורת והפעלת קבוצות כלים למשימות הגנה.

שפי סיפר על אתגרים מבצעיים בעולם הבלתי מאויש בים, על כשב"מים והאבולוציה שלהם, מבחני הקיום ליכולות בלתי מאוישות, דרישות מבצעיות וכו'. כן פירט אודות הכשב"ם האולטימטיבי, שזקוק לפלטפורמה אמינה ושרידה, רב-משימתיות, תקשורת גרית לכלל היכולות, מערך מפעיל גרתי ופשוט, ויכולות אוטונומיות מתקדמות.

פרופ' נתאי דרימר מהטכניון דיבר על העומס הדומיננטי בכלי-שיט מהיר בלתי מאויש, הנובע מאירועי חבטה של הסירה במים. לדבריו, מפעיל מנוסה פועל להקטנת החבטות באמצעות תגובות כיוון ודחף, אולם בסירה לא מאוישת קשה יותר לעשות זאת. בהרצאה התמקד דרימר בתופעה, בעקרונות פיסיקאליים, שיטות תכן והשוואת חישובי תכן למדידות בסירות הפרוטקטור של רפאל.

מעל פני הים: מבט לעתיד

המושב השני, בהנחייתו של פרופ' דורון חבצלת ממפא"ת, החל בהרצאתו של מארגן הכנס, רס"ן אורן גל, שהציג את מרכז הרובוטיקה הימית המשותף לטכניון בתוכנית למערכות אוטונומיות, לחיל הים ולמפא"ת. התוכנית מאגדת למעלה מ-40 חוקרים בכירים משמונה פקולטות, ועוסקת בפיתוח ומחקר בן-תחומי לפתרונות אוטונומיים. בהרצאה הציג גל את עקרונות הפעלת המרכז והתייחס



אלוף (מיל') אלי צייני (מרום).

מרכזיותו של האדם בשדה הקרב? אני חושב שהמרחק לשם עוד גדול, אבל אנחנו ללא ספק מתקרבים לשם בצעדים גדולים. להערכתי, אנחנו שמרנים מדי ולא מעזים מספיק בלקיחת היכולת הטכנולוגית והובלת קדימה.

"לאחרונה התפרסם שמטוס F-16 טס ללא טייס, אבל למעשה היכולת הזו קיימת כבר שנים רבות. כיום אפשר להפוך כל כלי בלתי מאויש, אבל מי ירצה לטוס בטיסה ללא טייס?" "בשנים האחרונות מתחוללת מהפכה", המשיך מרום. "כלי-הטיס הבלתי מאוישים הפכו לכלים משמעותיים בשדה הקרב, אבל לתחושת, מעבר לזה שהורדנו את האדם מהפלטפורמה, אנחנו עדיין לא מפקים מהם את המיטב ויש לנו עוד דרך ארוכה. בים הסיפור קצת שונה: המרחקים שונים, למזג האוויר יש השפעה חשובה, המשימות יותר ארוכות, המכונות יותר מורכבות. עשינו בים צעדים מאוד קטנים עד לרגע זה".

מרום סיפר על כלי-השיט הבלתי מאוישים שהחלו לצוץ לאחרונה במים, כאשר הגוף המוביל הוא חברת רפאל, ודיבר על ערכם בחיפוש תת-ימיים ופירוק מוקשים. הוא העלה את האפשרות, כי כדי להתגבר בסופו של

כנס AUVSI ישראל לשנת 2013 התקיים ב-31 באוקטובר באוניברסיטת תל-אביב ועסק בחידושים ובמגמות עולמיות בתחום הרובוטיקה הימית. כמדי שנה, איגד הכנס את קהילת הרובוטיקה בישראל, בהם מקבלי החלטות במשרד הביטחון וחוקרים מכל האוניברסיטאות בארץ. על ארגון הכנס שקדו לשכת המהנדסים ורס"ן אורן גל, ראש תחום כלים אוטונומיים בחיל הים, אשר שימש גם כיו"ר.

פוטנציאל לא ממומש

ד"ר אריה פרי, יו"ר AUVSI ישראל, הציג את פעילות הצ'פטור הישראלי, שכוללת ימי עיון המתקיימים ברחבי הארץ, והציג מסר של איחוד. "לאחרונה יש הרבה חידושים בתחום הבלתי מאויש. אנחנו אמנם מעצמה ואימפריה, אולם מוטב שנעבוד כלנו יחד, כי אנחנו לא גדולים כפי שאנחנו חושבים", אמר פרי. "בישראל הובלנו את נושא המזל"טים לפני הרבה שנים, ובגלל מצבנו הביטחוני יש לנו פוטנציאל רב. אני מאמין כי ישראל תצא הבשורה בתחום הרובוטיקה הבלתי מאוישת". עמנואל ליבן, יו"ר אגודת מהנדסי מכונות בלשכת המהנדסים, אמר כי המטרה היא לשים את ישראל על המפה. "נושא הגילויים במים הפך למאוד רלוונטי עבורנו ויש לו חשיבות ביטחונית וכלכלית", אמר ליבן. הוא הדגיש את מורכבות המבצעים בים, בהשוואה לתחום האווירי, אך עמד גם על הסינרגיה הקיימת בין שני התחומים והציג זאת על-ידי דוגמאות מחידושים בתחום. "הרובוטיקה הימית נמצאת בתחילת דרכה, ולכן יש הזדמנות להוביל אותה", אמר.

הרצאת הפתיחה ניתנה על-ידי אלוף (מיל') אלי צייני (מרום), מפקד חיל הים לשעבר. מרום הדגיש בדבריו את הפוטנציאל הבלתי ממומש: "לא נעשים מספיק מאמצים במדינת ישראל", פתח מרום ואמר. "יש פה אוסף של כלי אדיר שלא מנוצל, אשר יכול לשפר באופן ניכר את היכולות שלנו. השימוש בכלים בלתי מאוישים בשדות הקרב – באוויר, בים וביבשה – התרחב, אולם האם אופי המלחמות העתידיות עומד להשתנות? האם אנחנו עומדים בפני מהפכה בה הרובוטים ילחמו זה בזה ונבטל את



קהל המשתתפים בכנס שנערך באוניברסיטת תל-אביב.

סיכם את הרצאתו. פרופ' חוגו גוטמן, ראש המרכז לרובוטיקה באוניברסיטת בן-גוריון, הסביר בהרצאתו על פיתוחו של כלי צולל בלתי מאויש במסגרת תחרות ה-Robosub, בה לקחו חלק סטודנטים מאוניברסיטת בן-גוריון. גוטמן הציג את שלבי הפיתוח, שלקחו כ-9 חודשים, והתייחס לכיווני התפתחות להמשך המחקר. פרופ' חזי גילדור מהאוניברסיטה העברית בחר לדבר על רובוטים הנעים לאורך קווי עיגון ושימושיהם. לדבריו, רובוטים אלו מסוגלים לשאת מספר חיישנים בזמנית ומהווים פתרון יעיל לביצוע מדידות ברזולוציה גבוהה. גילדור סקר את המבנה והמאפיינים העיקריים של הרובוטים, וכן יתרונותיהם וחשיונותיהם בהשוואה לקווי עיגון עם מספר מוגבל של חיישנים הממוקמים בעומקים קבועים. את יום העיון חתם פרופ' טוביה מילוא, מארח הכנס מטעם אוניברסיטת תל-אביב, שהבטיח כי גם אוניברסיטת תל-אביב תיקח חלק בפרויקטים השונים, על מנת לפעול לטובת קידום תחום הרובוטיקה הימית. □

כמורכן דיבר מקובסקי על פיתוח כלים ייעודיים כדי לחקור את השטח, ופירט על הבעיות והפתרונות האפשריים. לטענתו, הבנה של אזור זה יסייע להבין את השפעת ההתחממות הגלובלית, ההשפעה האנושית, משאבי הגז וכו' בכל העולם. אל"מ (מיל') ולרי זליצ'ונוק דיבר על המוקש התתימי כ"נשק יהודי". "רוב ממצאי העולם בתחום מוקשי הים היו יהודים", הסביר זליצ'ונוק. לטענתו הסיבה לכך שהמוקש התפרסם כ"נשק יהודי" טמונה במספר גורמים: אנטישמיות, העובדה שזהו נשק שתוצאותיו לא נראות באופן מידי, וכן כי כל ממצאי מוקשי הים ברוסיה היו אכן יהודים. זליצ'ונוק סקר את הממצאים, החל מדיווידי בושל, שהמציא את המוקש הראשון באמריקה, דרך פאבל שילינג ברוסיה, סמואל ברנר מאנגליה ועד לבוריס ליימן, אברהם גייר ודיויד לגבינוביץ' מרוסיה. זליצ'ונוק הוסיף לדבר גם על מוקשים שונים שהיו פריצת דרך בתחום ועל עבודתו של גייר. "כשרוב היהודים ברחו מרוסיה, נעצרה גם התקדמותה בתחום המוקש הימי",

למחקרים עתידיים.

גל שם דגש על שני נושאים: יכולות אוטונומיות מתקדמות, הדורשות יכולת חישה מדויקת ללא מעורבות אדם בחוג; ומחקר שמכיל מספר תתי-בעיות, הן בהיבטי בחירת הסנסור למימוש והן בפיתוח התמודדות עם סביבת העבודה לזיהוי אוטומטי.

הצלע הנשית ביום העיון הייתה ד"ר נועה אגמון מאוניברסיטת בראילן. "רוב העיסוק ברובוטיקה מתבצע בארץ במחלקות להנדסה", הסבירה אגמון, "אבל אנחנו במדעי המחשב מתמקדים יותר בבניה מלאכותית". אגמון הוסיפה לדבר על שימוש בכוחות מאוישים ובלתי מאוישים למשימות אבטחה, והציגה סוגים שונים של פטרולים. היא הסבירה על הקלות בפיצוץ פטרול עם דפוס, בו יכול האויב להשתמש על מנת לחדור בנקודת התורפה. בהרצאתה הציגה פתרונות הקיימים היום בחזית המחקר בנושא אסטרטגיות פטרול, תוך התמקדות בזירה הימית.

מתחת לפני המים

על המושב השלישי היה מופקד סא"ל ד"ר יובל כהן, ראש ענף ים והגנ"א במפא"ת. מושב זה נפתח בהרצאתו של ד"ר איציק מקובסקי מאוניברסיטת חיפה, שדיבר על אתגרים ושימושים בכלים רובוטיים למחקר ופיתוח בים התיכון. "הים התיכון הוא מאוד מורכב ומעניין, אבל מוכר במידה מאוד מועטה", הסביר מקובסקי. "אנחנו יכולים לפתח אותו בצורה ברת-קיימא, והנושא הביטחוני נכנס לנושא הקיימות. הבעיות שמציג האזור הזה יכולות להיות מנוף של מקצועיות עבורנו ברמה הגלובלית".

לדברי מקובסקי, מחקר שנערך עם אוניברסיטת MIT העלה כי מול תל-אביב יש שמורת אלמוגים ומול עכו בורות אדירים – דברים שלא היו ידועים כלל. שש אוניברסיטאות התאגדו כדי לחקור את מימי הים התיכון, כאשר חלק ממה שהמרכז עושה הוא להכנס למרחב הים.

כלי-השיט הבלתי מאויש פרוטקטור, שפותח על-ידי חברת רפאל, נושא חיישנים אלקטרו-אופטיים לתצפית וצריח ירי מסוג מיני-טייפון.



אנרגיה סולארית להנעת כטב"מים

כטב"מים המופעלים באמצעות הנעה חשמלית מוגבלים בזמן השהייה שלהם באוויר על-ידי האנרגיה החשמלית שאצורה במצברים. זה מאלץ להחזיר את כלי-הטיס הביתה לאחר שהייה מועטה יחסית באוויר, מבלי שהשלים את משימתו. כדי לאפשר לכטב"ם לשהות באוויר זמן ארוך במיוחד, דרוש מקור אנרגיה נוסף לטעינת המצברים. מקור אנרגיה חלופי סולארי יכול להוות פתרון הולם.

דוד בר סוקר בכתבה זו את פתרונות ההנעה החשמלית שנמצאים בשימוש בכטב"מים, ומתאר את האפשרויות לשילוב תאים סולאריים. מסקנתו היא, שהשילוב של אנרגיה חשמלית ממצברים עם תאים סולאריים יהווה את פריצת הדרך העתידית בהארכת השהייה של כטב"מים, קטנים כגדולים, באוויר.



הכטב"ם הסולארי הגדול הלוס הוטס לניסיון על-ידי נאס"א מ-1999 עד 2003.

קיימים שני פתרונות לבעיית זמן/משקל של מצברים:

- שימוש בתאי דלק (Fuel Cells) – התקן המייצר אנרגיה חשמלית בתהליך כימי של עירוב מימן וחמצן. ניתן להשיג עד פי 4 זמן שהייה באוויר ביחס למצבר.

- שימוש בתאים סולאריים להטענת מצברים. מאפשר גם טיסה בלילה, לאחר שהמצברים נטענו באור יום.

תורמים לעד כ-60% ממשקל הכטב"ם, כאשר לרוב הסוללה הינה הכבדה מכולם.

זמן טעינת המצברים על הקרקע יכול לקחת עד כשעה, בעוד שהחלפת מצברים בכטב"ם הקטנים לוקחת דקות ספורות.

ככל שהמצבר גדול יותר, כך כמות האנרגיה שלו תאפשר שהייה ארוכה יותר של הכטב"ם. אך משקל גדול יותר של המצבר גורע מביצועי הכטב"ם ומיכולתו לשאת מטען ייעודי (מטע"ד) משמעותי.

כלי-טיס בלתי מאוישים (כטב"מים) קטנים הולכים וכובשים להם מקום בשימושים צבאיים ואזרחיים שונים. מיני-כטב"מים כאלה מתאפיינים במשקל של פחות מ-10 ק"ג, והם מסוגלים לשהות באוויר עד כשלוש שעות. האנרגיה להפעלת המדחף הינה חשמלית, ומושגת באמצעות מצברים נטענים.

כטב"מים בינוניים, המתאפיינים במשקל של מאות עד אלפי ק"ג, מונעים לרוב במנוע בוכנה, שבו תהליך שריפת הדלק והחמצן מתבצע בתהליך פנימי הדומה למנוע רכב. לעומתם, הכטב"מים הגדולים מצוידים במנועי טורבו-מדחף או טורבו-סילון. בכטב"מים אלו, זמן השהייה באוויר מוגבל בהתאם לכמות הדלק (בנזין או דיזל) שהם נושאים, ואינו עולה ברוב המקרים על 30 שעות טיסה.

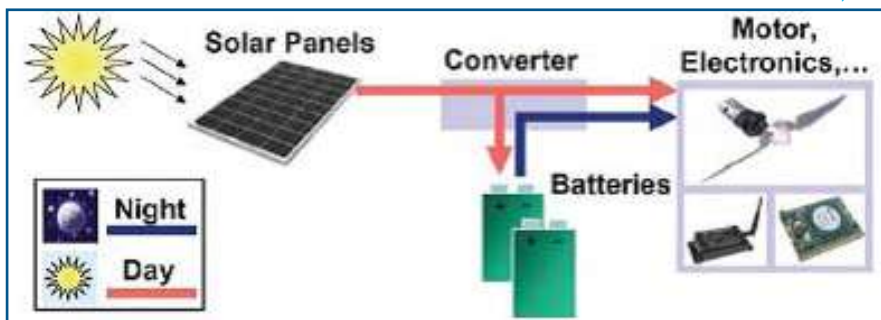
בכטב"מים הקטנים, מגבלת האנרגיה החשמלית במצברים מאלצת להחזיר את כלי-הטיס הביתה לאחר שהות מועטה יחסית באוויר, מבלי יכולת להשלמת משימתו. כך לדוגמה, בהפעלת כטב"ם קטן להעברת מודיעין חוזי ברמת הגדוד, לעתים קרובות יש צורך לבהות במטרה זמן רב עד להשגת המידע הנדרש, דבר שמאלץ כיום להחזיר את הכלי לנחיתה לצורך הטענת המצברים ושיגור כלי אחר להמשך המשימה.

גם בשימושים אזרחיים נדרשת לעתים שהייה ארוכה באוויר. כך לדוגמה בניטור שרפות, יש צורך בשהייה ארוכה מעל אזורי האש לאיתור מקורות השרפה ולתאום פעולות הכיבוי. גם ביישום חקלאי, לצילום שטחי חקלאות לאיתור מזיקים, הצורך בשהייה ארוכה הינו חיוני. דוגמה נוספת: כטב"ם לגובה רב שישנה באוויר במשך חודשים ארוכים וישמש בתור ממסר, במקום לוויין.

כדי לאפשר לכטב"ם לשהות באוויר זמן ארוך במיוחד, דרוש מקור אנרגיה נוסף לטעינת המצברים. מקור אנרגיה חלופי סולארי יכול להוות פתרון. פנלים סולאריים הוכיחו את יעילותם כמקור אנרגיה בליווינים בשל, וניתן לשלבם גם בכטב"מים.

הנעה חשמלית

רכיבי מערכת ההנעה החשמלית של כטב"מים קטנים (סוללה, מנוע חשמלי, מדחף)





חברת טייטון איירוספייס מפתחת כיום בארה"ב כטב"ם סולארי בעל מוטת כנף של 50 מטר, שיוכל לשהות באוויר במשך שבועות ויהווה תחליף ללוויין קטן.

מצברים נטענים

המצבר אוגר אנרגיה, וכאשר הוא מחובר לעומס הוא מתחיל להתפרק ומתמיר אנרגיה כימית לאנרגיה חשמלית. המצבר הנפוץ כיום לשימוש בכטב"מים קטנים מבוסס על סוללת ליתיום-יון, המתאפיינת בצפיפות אנרגיה גבוהה. המשתתפים בתהליך החשמלי-כימי הינם: האנודה, קתודה והאלקטרוליט. סוללת ליתיום-יון תעשייתית מורכבת מקתודת LiCoO₂ ומאנודת גרפיט. יוני הליתיום יוצאים מהקתודה, בעוד הקובלט משנה את מצב החמצון שלו, ונכנסים בין שכבות הגרפיט בתהליך שנקרא פריקה. יציאתם מהגרפיט וחזרתם למבנה תוך שחרור של אלקטרונים נקרא טעינה.

סוללות כאלו מספקות מתח של כ-3.6 וולט, בערך פי 3 מהמתח של סוללות ניקל-קדמיום (Ni-Cd) או ניקל מתכת הידריד (Ni-MH) נטענות. האלקטרודות מאפשרות ליוני הליתיום לבצע הגירה מהאלקטרודות ואליהן, זאת בניגוד לסוללות ליתיום ראשוניות, המבוססות על ליתיום מתכתי כאלקטרודה השלילית. סוללות ליתיום-יון שכיחות בעיקר במכשירים אלקטרוניים ניידים, בזכות צפיפות האנרגיה הגבוהה שלהן, מספר מחזורי פריקה/טעינה גבוה, ואיבוד נמוך של הקיבול במהלך המחזורים. כיום, ניתן למצוא את סוללות הליתיום-יון ביישומים צבאיים, כלי-רכב חשמליים ובשימושים שונים בתעופה. סוללות נטענות חדשות יותר, עם צפיפות אנרגטית גבוהה יותר, הן ליתיום-פולימר (Li-Pol). ההבדל הוא באלקטרוליט, המאפשר הוזלת מחיר הסוללה ואמינותה הגבוהה יותר. הסוללות האלה מתאימות אמנם עבור הכטב"מים הקטנים, אך הינן בעלות אורך פעילות קצר יחסית עד לטעינתם מחדש.

תאים סולאריים

הטענת המצברים יכולה להתבצע גם בעזרת

אנרגיה סולארית, מקרינת השמש.

תא סולרי (Photovoltaic cell) המורכב על המעטפת החיצונית של הכטב"ם פועל בשלושה שלבים:

- הפוטונים מקרני השמש פוגעים בתא הסולארי ונספגים על-ידי המוליכים-למחצה בתא, כגון סיליקון.
- אלקטרונים (טעונים שלילית) משתחררים מהאטומים שלהם ויוצרים מפל חשמלי. זרם מתחיל לזרום דרך החומר כדי לבטל את מפל המתח, וזרם זה נאגר. בתצורת מבנה התא, האלקטרונים יכולים לנוע רק בכיוון אחד.
- מערך של תאים סולאריים רבים מתמיר את האנרגיה לכמות גדולה של זרם ישר (DC). השמש מספקת לכדור-הארץ אנרגיה של כ-1,000 ואט למ"ר. פנל סולארי יכול לייצר כ-130 ואט למ"ר. נצילות הפנלים הסולריים כיום נעה בין 10-29%, כאשר תא סולארי יכול להפיק 0.5-0.65 וולט. על-ידי חיבורם בטור או במקביל, ניתן להגיע למתח הסוללה הרצוי.

החומרים המשמשים בתאים הסולאריים באים מקבוצות מיוחדות בטבלה המחזורית – הסיליקון (Si). אך שיטות מתקדמות יותר לייצור לוקחות שני אלמנטים מהטבלה – גאליום (Ga) וארסניק (As). השילוב שלהם מצליח לספוח אליו אנרגיה רבה יותר מהשמש, ולכן לייצר יותר חשמל מאשר רק תא סיליקון. עבור כטב"מים קטנים, חשוב שעובי התא יהיה מזערי. ואכן, ישנם תאים סולאריים בעובי של 1 מיקרון (אלפית המ"מ). להשוואה: עובי שיער הוא כ-40 מיקרון.

גורם נוסף שיש לקחת בחשבון בתיכון תאים סולאריים – טמפרטורת הסביבה ותנאי התאורה החיצוניים.

תאים סולאריים בכטב"מים

הדגמות לשילוב תאים סולאריים בכטב"מים בוצעו כבר בתחילת שנות ה-70, כאשר עם השנים משתכללים יכולות התאים, משקלם, נצילותם, עוביים וכדומה.

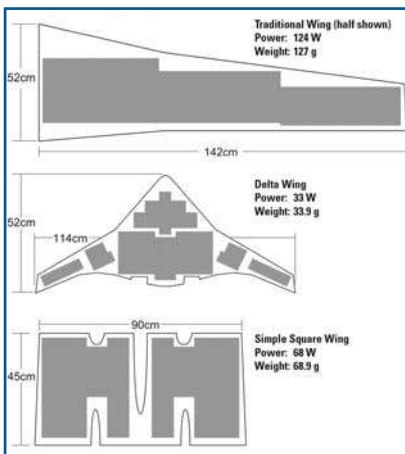
השימוש בטכנולוגיה זו ילך ויגבר לשם הגדלת נצילות השימוש בכלי-הטיס, הקטנת זיהום האוויר וצריכת הדלק.

יתרונות של תאים סולריים מתוצרת חברת Alta Devices:

- התאים גמישים וניתן להתקין אותם על משטחים קעורים/קמורים.
 - השפעה מזערית על הביצועים האוויר-דינמיים של הכטב"ם.
 - רגישות גבוהה לתאורה נמוכה ומקדמי טמפרטורה נמוכים.
- למשל: בכטב"ם בעל מוטת כנפיים של 4.5 מטר, תאים סולאריים אלו יכולים להפיק הספק של כ-125 ואט, והמשקל של כלי-הטיס יגדל רק בכ-127 גרם.

לסיכום: השילוב של אנרגיה חשמלית ממצברים עם תאים סולאריים יהווה את פריצת הדרך העתידית בהארכת השהייה של כטב"מים, קטנים כגדולים, באוויר. □

אפשרויות להתקנת תאים סולאריים על הכנפיים, כפי שמציעה חברת Alta Devices.



דיאטה לאומית בתחום האנרגיה

התייעלות בצריכת אנרגיה במפעלים וחברות יכולה להביא לצמצום חשבונות החשמל ולחיסכון כספי ניכר. ניתן להשיג זאת די בקלות על-ידי ניהול אחראי של משאבי האנרגיה בארגון, תוך הסתייעות במידע היומי שמשודר מהמונים החכמים שהתקינה חברת החשמל אצל כ-6,000 לקוחות עסקיים גדולים. מידע מועיל זה עדיין אינו מנוצל כראוי.

עופר קרן, מנהל הפיתוח של חברת **קרן ידע אנרגיה**, מתאר בכתבה זו את הכשלים שמונעים התייעלות אנרגטית בארגונים, ומציע דרך לצמצום חשבונות החשמל של לקוחות שיתחברו למרכז שליטה ארצי. בנוסף הוא מציע ליישם תוכנית לאומית לדיאטה אנרגטית, שתחסוך מיליוני שקלים למדינה.

שאנחנו צורכים, ובוודאי על כל ליטר סולר. המגמות האלה מקשות עלינו לשנות את הכיוון. אנחנו חייבים להבין, ולגרום לארגונים להבין, שיש דרך אחרת; שחיסכון באנרגיה היא הדרך היעילה ביותר להגדיל את הרווחיות בארגון.

אם כן, מה עוד עוצר אותנו? למה כולנו לא נמצאים היום בתהליכי התייעלות אנרגטית? מסתבר, שבנוסף לתהליכים החיצוניים שתיארת יש גם תהליכים פנים-ארגוניים המפריעים לנו. יש כשלים פנימיים כמעט בכל הארגונים, שבהם כל אחד ואחת מכם עובדים. אתאר בקצרה ארבעה כשלים פנים-ארגוניים:

הכשל הראשון הוא חוסר ידע. אם אנחנו לא מבינים את חוקי המשחק, אנחנו צורכים הרבה יותר ממה שאנחנו צריכים, כי אנחנו לא מודעים לבעיה. בדיוק כמו שאנחנו אוכלים יותר ממה שאנחנו צריכים. אנחנו יודעים שהיה רצוי שנרד קצת, אבל נותנים לעצמנו כל מיני סיבות למה לא להתחיל, למה זה לא הזמן הנכון.

גם בנושא של האנרגיה, אנחנו לא שמים לב כמה אנחנו חורגים משימוש סביר. משווקים לנו מוצרים לא נחוצים, ואם כבר חשבנו על התייעלות, אנחנו מוצאים שכולם רוצים למכור לנו עוד ועוד מוצרים – נורות, מזגנים, מקררים חדשים – אבל מעט מאוד באים למכור לנו

הלכה למעשה המון כסף וזיהום אוויר. כעת האתגר הוא לעשות זאת במדינה כולה, וזה אפשרי.

חברת החשמל התקינה אצל יותר מ-6,000 לקוחות עסקיים, שמהווים 50% מצריכת החשמל בישראל, מונה חכם – מעין "קופה רושמת", שמתעדת בכל רבע שעה את צריכת החשמל של הארגון. קוראים לזה: Smart Grid. בחצות, נתוני הצריכה היומיים מועברים לחברת החשמל בתקשורת סלולארית. מאוד פשוט. הטכניקה הזאת עובדת יפה כבר כמה שנים, אבל אף אחד לא מסתכל על הנתונים האלה. למה אנחנו צורכים כל שנה יותר ויותר חשמל? יש כוחות שונים הדוחפים את כולנו לכיוון העלייה המתמדת בצריכה. מדובר בכוחות חיצוניים ופנימיים.

ראשית, חברת החשמל היא מייצרת את החשמל, ובמשך שנים היה לה עניין בכך שנצרך יותר. הפחות צעירים שבינו זוכרים את הפרסומת: "יותר חשמל פחות עמל". מוצרים שהם מאוד לא ירוקים ומאוד לא ידידותיים לסביבה, אבל היה אינטרס לאומי לייצר אותם והם קיבלו תו תקן.

מדינת ישראל יכלה לאסור כבר לפני עשר שנים את שיווקן של נורות ליבון. אבל בכלכלה המודרנית המדינה מרוויחה ממיסים על כל מוצר מיובא, מרוויחה מיסים על כל קוט"ש

מדינת ישראל התחייבה באמנה לשני תהליכים הקשורים לסביבה: צמצום כמות פליטות הפחמן המזהמות ב-20% עד לשנת 2020; וייצור של לפחות 10% מכלל האנרגיה בארץ ממקורות מתחדשים. מבדיקת הנתונים מסתבר, שאנחנו כל הזמן עולים בצריכת האנרגיה. שני הדברים אינם מתיישבים האחד עם השני. השמנו בשנים האחרונות (כמו שקורה כשמתבגרים), ואנחנו זקוקים בדחיפות לדיאטה.

בתנאי החיים אליהם הורגלו, אנחנו כבר לא מסוגלים לחשוב אם המזגן לא עובד. אנחנו לא מתרכזים אם לא מהבהב לנו פלורסטנט מעל לראש. עם השנים אנחנו כבר לא מסתפקים בדירת שניים או שלושה חדרים – כמו שהיתה להורינו. יש לנו דירה גדולה יותר, אותה אנחנו צריכים למזג ולקרר. הדירה כבר לא במרכז העיר, אלא במרחק של כ-20 ק"מ ממקום העבודה, עם פקקים אינסופיים בכבישים, וכמובן ששני בני-הזוג צריכים מכונת, כי שניהם עובדים.

בכל קנייה של מזגן מציעים לנו, "קחו קצת יותר גדול, חבל, ההפרש במחיר לא גדול". בדיוק כמו ברשתות המזון מהיר, שגם אם לקחנו יותר ממה שאנחנו אמורים לאכול, הרי מציעים לנו להגדיל בתוספת מחיר קטנה.

ומה עם המונדיאל? בכל ארבע שנים אנחנו מתיישבים בסלון מול הטלוויזיה הגדלה עוד ועוד בין כל מונדיאל, עם מזגן גדול יותר בסלון ועם פחות חברים, כי גם להם יש מסך גדול ומזגן משלהם. ומה זה car pool? כבר שכחנו. אנחנו צריכים להתחיל לחשוב בצורה מקיימת יותר, כדי להשאיר משהו לטובת הדורות הבאים. זה לא עוד הרבה זמן. כשהילדים שלנו יגיעו לגיל 50 יהיו על כדור הארץ 9 מיליארד בני-אדם וכמות סולר זניחה. ההתחלה מעט מפחידה. אז מה עושים? איך מכניסים מדינה שלמה לדיאטה? איך מביאים מדינה שלמה להוריד את הרגל מהגז ולצרוך אנרגיה בצורה נבונה? איך מביאים מדינה שלמה להתייעלות אנרגטית? שאלה גדולה, עליה ננסה לתת תשובה בכתבה זו.

לאחר שני עשורים של עיסוק בהתייעלות אנרגטית, הובלת תהליכי יעוץ בכל הרמות – רשויות מקומיות גדולות וקטנות, מפעלי היי-טק ולואו-טק, עסקים בינוניים וקטנים – אנחנו יודעים לעשות זאת. אנחנו חוזרים הביתה כל יום אחרי יום עבודה, בו חסכנו





בכדי לצמצם במעט את חשבונות החשמל. אנחנו ניציר מידע ברמה אחרת לגמרי. נעשו כבר עבודות מחקר רבות בתחום ההתייעלות באנרגיה, בעיקר בחו"ל, וגילו שאנחנו יכולים לשים שלטים כמו "בחייד", תכבה את המזגן והאור כשאתה יוצא, ואם לא קשה לך גם את המחשב, אבל שיטה זו לא יעילה. גם שילוט שמתייחס למחיר – "הפעלת המזגן עולה 5 שקלים לשעה" – לא משפיע. הדבר היחיד שעובד ברמה בינלאומית, בצורה מדהימה, הוא כאשר אנחנו מיידיעים את המפעל שמקום דומה לו (מבחינת כמות העובדים או שטח המבנה) הצליח לשלם החודש כך וכך פחות על חשבון החשמל, יחסית אליכם. כל בוקר נוכל להודיע, למשל, לכל מלונאי אם הוא היה הכי טוב, או מה הציון שלו בחשבון החשמל מול המצב הרצוי, שאותו נפתח בצורה מעשית, ברמה יומיומית, מתוך ניתוח המידע שיגיע אלינו.

זכרו: המידע קיים ומגיע לחברת החשמל, אלא שלא משתמשים בו – הוא הופך מ"סמארט גריד", למצב של פשוט לא "סמארט". עכשיו, לאחר שיש לנו את המידע ברמה יומית, העברנו את הנתונים, כל מה שנשאר זה להכשיר בכל ארגון את מנהל משאבי האנרגיה.

להדביק אחד את השני במחלות החורף. התייעלות באנרגיה נמדדת לא רק דרך החור שימוש מושכל במשאבי כדור-הארץ, והיא תורמת לבריאות של כולנו. מדובר בחשיבה הוליסטית על צריכת המשאבים שלנו.

דיאטה ברמה הלאומית

הזכרנו קודם, שליותר מ-6,000 מונים של צרכנים גדולים יש כבר אנטנה, והם מעבירים את הנתונים לחברת החשמל כל יום. זוהי רשת חכמה, שעובדת לשני הכיוונים. אבל בפועל חברת חשמל לא עושה עם הנתונים האלה דבר. הנתונים עומדים גם לרשות הצרכנים, אבל הצרכן צריך להיות ברמה של מהנדס כדי לדעת להפיק מהנתונים האלה משהו. המטרה שלנו היא לקבל את הנתונים האלה במקביל לחברת החשמל וליצור מרכז שליטה ארצי – מרכז הדיאטה הלאומי.

קרן ידע אנרגיה, בחברה פרטית, מעוניינת למכור לצרכנים התייעלות באנרגיה ולהביא לצמצום חשבונות החשמל. באפשרותנו לספק לכל צרכן שיהיה מחובר אלינו את חשבון החשמל כל בוקר, עם המלצות מה לעשות היום

התייעלות אנרגטית, חיסכון בחשמל. **הכשל השני** בהתייעלות באנרגיה נקרא "העדפת עובד". אין הכוונה לעובד מסוים בחברה, אלא לכך שכל עוד המזגן עובד, אנחנו לא נחליף אותו. אף פעם אין עודף בתקציב, ולכן לא נחפש לקנות דברים חדשים כשהקיימים עדיין מתפקדים.

אנחנו לא רואים את "נזילת החשמל" – את הצריכה המוגברת של המנוע הישן. את הצינור המטפטף בכניסה למתחם העבודה אנחנו רואים, ואולי אפילו נתריע לאב הבית. אבל את טפטוף החשמל אי אפשר לראות. כל כך קל לבדוק זאת. כל מה שצריך זה להתקין מונה חשמל על מערכת המיזוג ולבדוק כמה היא צורכת. כשנגלה שמערכת הקירור צורכת יותר מ-1,000 שקל ביום(!), אולי נתייחס לכך אחרת; כשנגלה שאותו מזגן נשכח דלוק במשך סוף השבוע, נבין שירדו לטמיון יותר מ-2,000 שקל.

מידע מתחיל לשנות לנו את התמונה. בדיוק כמו בדיאטה – כל מי שמתחיל בה דואג שיהיה לו משקל בבית. גם את החשמל צריך למדוד. **הכשל השלישי** הוא פיננסי. הרבה יותר "קל" לנו לשלם כל חודש חשבון מנופח עבור צריכת חשמל שלא היינו צריכים, מאשר ללכת ולרכוש התייעלות באנרגיה. הרי חשבון החשמל הוא "גזרה", דבר אוטומטי שקורה כל חודש, ויש לנו הוראות קבע שמטפלות בו.

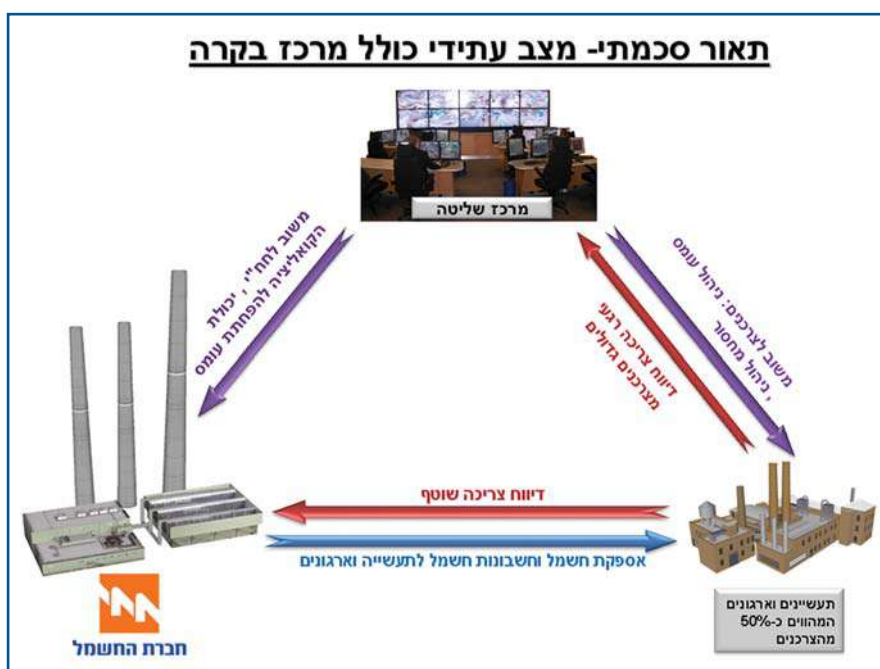
להכניס את היד לכיס ולקנות התייעלות אנרגטית, מוצר שיצמצם לנו את חשבונות החשמל, זה יותר מסובך. זה כבר דורש הקצאה תקציבית, סעיף תקציבי נפרד, ישיבות עם הגורמים המתאימים. לא פשוט.

נכון, יעיל יותר לרכוש מכונה יעילה שתוך חודשים ספורים תחזיר את ההשקעה בה, רק מהקטנת חשבונות החשמל. אבל אף אחד לא אמר לנו דבר כזה. אף אחד לא הראה לנו את צריכת החשמל של המכונה הבודדת. הרי יש לנו רק מונה חשמל אחד, ובינתיים עוד לא קנינו התייעלות אנרגטית.

הכשל הרביעי והמעניין ביותר הוא כשל הניהול. אנחנו לא יודעים לנהל תהליכים – תהליך דיאטה, תהליכי גמילה משימוש בסוכר, תהליכי גמילה מעישון. כל אלו זקוקים לניהול. זקוקים לאותו אדם שיהיה אחראי עליהם. כמו הדיאטנית שמרכזת את קבוצת הדיאטה, או האחיות שעוקבת אחרי רמות הסוכר שלנו.

ארגונים שצורכים חשמל באלפי שקלים ביום וממיליוני שקלים בחודש לא לוקחים אדם במשרה מלאה, ברמה של מנהל, כדי שינהל את חשבון החשמל. וכידוע, כאשר לא מנהלים כראוי את העובדים בארגון, כל אחד עושה מה שהוא רוצה או מבין. ובדיוק אותו הדבר קורה באנרגיה. אם אנחנו לא מנהלים את משאבי האנרגיה, חשבונות האנרגיה הרבה יותר גדולים ממה שאנחנו באמת צריכים.

הניסיון מלמד, כי ניהול מאפשר לנכות שליש על התנהגות טובה. כאשר נתחיל לנהל את משאבי האנרגיה באחריות, נבדוק, נבקר ונלמד את האקלים במבנה, נגיע לתוצאות טובות מאוד. נגלה כי אין טעם למזג את המבנה ל-24 מעלות, כאשר הטמפרטורה בחוץ היא 22 מעלות. כל מה שצריך זה שמישהו יכבה את המיזוג ויפעיל את האוורור. ואם אין מערכת אוורור במבנה, אז כדאי מאוד לרכוש מערכת כזו. ובמקרה הקיצוני, אפשר פשוט לפתוח חלון. זה גם יעזור לכך שלא נמשך



תחנת כוח יוצאת מכלל פעולה בגלל תקלה, באותו שביר שנייה גם 7% מהעומס יורד למשך 20 דקות – יהיה לחברת החשמל מספיק זמן לתקן את התקלה, או להפעיל טורבינה סילונית נוספת. את זה ניתן ליישם באמצעות מרכז שליטה ואיגוד הנתונים.

לדבר הזה קוראים היענות הצרכנים. זהו צעד שניתן ליישמו ברמה הלאומית בשיטה שהצטנו, והוא יכול למקם אותנו במקום טוב יותר, בטוח יותר, וחשכוני הרבה יותר.

את החלום היפה הזה ניתן ליישם בתוך פחות משנה. כל מה שצריך זה תקציב לא גדול, והסכמה של שלושה שרים: שר האנרגיה, שר האוצר והשר להגנת הסביבה.

התוכנית שאנו מציעים היא ישימה, ותחשוק מיליוני שקלים למדינה. היא תתרום לתקציב, לביטחון, לרווחה של כל מפעל וארגון, כמו גם למדינה כולה.

אנחנו מתכוונים להגיש את הצעתנו כתוכנית לאומית. הקמת מרכז שליטה לאומי שבו כל קילוראט ייבדק – האם הוא היה אפקטיבי ותרם לנו לשורת הרווח של הארגון, או היה שלילי ויתרום לזיהום הסביבה + נזק בלתי הפיך לאוצרות הטבע + פגיעה בעתיד ילדנו. □

ללא המערכת שלנו.

כשאנחנו פועלים בצורה כזו ברמה הלאומית, ניתן להוריד ללא קושי 5% מחשבון החשמל הלאומי, וכך למשל לסגור את תחנת רדינג.

אבל, זה עוד לא הכול. כשעושים זאת ברמה הלאומית, אפשר לעשות עוד הרבה יותר. אפשר לשמש כמאגד של נתוני הצרכנים בישראל, דבר מאד חשוב וחיוני, צעד שיכול להוריד עוד 10% מצריכת האנרגיה.

חברת חשמל מחזיקה כיום כ-7% מהצריכה של המדינה כאנרגיה סובבת, עם תחנת כוח אחת לגיבוי, שנמצאת כל הזמן במצב המתנה. במקרה של תקלה באחת מתחנות הכוח, תחנת הגיבוי תיכנס מייד לפעולה, ולא תהיה הפסקת חשמל. אף אחד לא ירגיש. אבל על ה"אף אחד לא ירגיש" הזה אנחנו משלמים מחיר יקר.

חשוב להבין, שבניגוד למה שקורה באירופה, כאשר מדינות יכולות להיעזר בשכנותיהן ולקחת חשמל בעת צריכת יתר או תקלה, מדינת ישראל מוגדרת כ"א אנרגטי". אנחנו לא מחוברים לכבלי חשמל של מדינה אחרת, ולכן אנחנו חייבים מבחינה אסטרטגית וביטחונית לדאוג לכך שיהיה לנו ביטחון אנרגטי.

לו הייתה לנו אפשרות לדאוג לכך שכאשר

אדם שידע שהפרמיה השנתית שלו לא תגיע מזה שהמפעל עלה או ירד בתפוקה שלו, אלא מזה שהוא הצליח לצמצם את צריכת המשאבים של הארגון. תבינו: שם הכסף הגדול. אדם שיועד את חוקי המשחק ויודע על מה הוא נמדד, מצליח לעשות צעדים מדהימים. מפעל שחשבון החשמל שלו מגיע ל-100,000 ש"ח בחודש, אם רק יקטין את צריכת החשמל ב-10% (והרי אנחנו מדברים על הרבה יותר), יחסוך 10,000 ש"ח בכל חודש! אתם יכולים לחשב כמה מזגנים אפשר לקנות עם חיסכון כזה. בעזרת המידע, העברת הנתונים והכתובת הנכונה בארגון, נוכל גם להגיע למצב שבו אפשר לתת לאנשים התרעות לפני בזבז האנרגיה.

ניקח לדוגמה מפעל שלא עובד ביום שישי. ניתן לוודא זאת אם מחוברים גם לברז המים, ורואים שהמפעל הפסיק לצרוך מים ביום שישי, כלומר: אם אין הדחת מים בשירותים, המפעל ריק. ואם במצב כזה מאתרים שמזון ממשיך לפעול, אפשר כבר ביום שישי בבוקר, או ביום חמישי בערב, להודיע לאחראי המבנה – היי! קרתה תקלה קטנה, מישוה שכח לכבות את המזגן. קורה. אבל כעת יוכל האחראי להגיע למקום לכבות אותו ולצמצם בזבז שהיה קורה

רותם תעשיות מתמחה באנרגיה תרמו־סולארית, אגירה תרמית ותכן קולטים סולאריים

המרכז להנדסה ומכניקה חישובית ברותם תעשיות – החברה היישומית-שיווקית של הקריה למחקר גרעיני (קמ"ג) בנגב – מהווה זרוע טכנולוגית התומכת במרכז לפיתוח אנרגיות מתחדשות, ובמסגרת פעילות זו התפתחו שני מוקדי ידע עיקריים בתחום האנרגיה התרמו־סולארית: תחום האגירה התרמית ותחום תכן הקולטים.

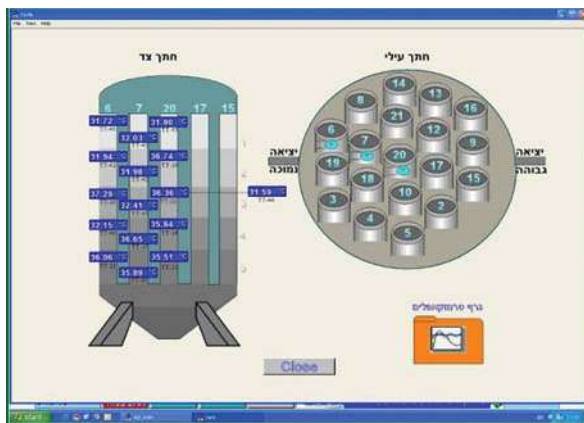
ד"ר יעל יסעור מרותם תעשיות מתארת את פעילות המרכז להנדסה ומכניקה חישובית בתחומים אלה.

בצורה דרסטית למשך פרקי זמן קצרים. קיימות מספר שיטות לאגירה תרמית, ביניהן: אגירה בחומרים משני פאזה (PCM – Phase Change Materials), אגירת חום מורגש (Sensible Heat), אגירה על בסיס תהליכים כימיים או תהליכי ספיגה/ספיחה. המרכז להנדסה ברותם תעשיות התנסה בפרויקטים בתחום אגירה תרמית מסוג PCM ואגירה תרמית מסוג Sensible Heat. אגירה תרמית בחומרים משני פאזה מבוססת על אגירת חום בטמפרטורה קבועה (טמפרטורת מעבר הפאזה), והיא מאופיינת בנפח סגולי קטן יחסית לכמות האנרגיה הנאגרת. בחירת חומרי האגירה צריכה להתאים לטמפרטורות העבודה הדרושות, החל מפרפינים (שמנים) המיועדים לעבודה בטמפרטורות נמוכות יחסית (עשרות מעלות צלסיוס), ועד למלחים שונים העוברים התכה בטמפרטורות של כמה מאות מעלות צלסיוס. במסגרת פעילות **רותם תעשיות** בתחום

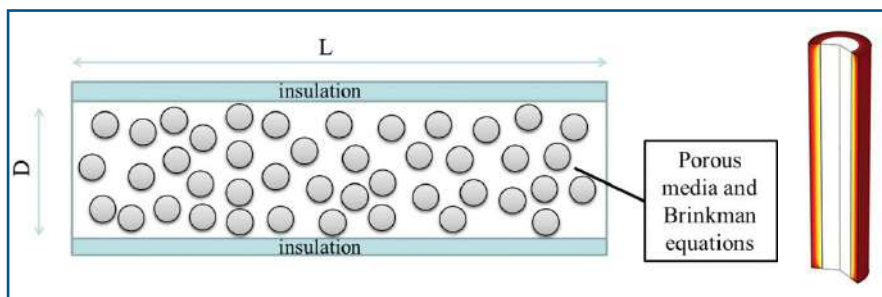
הנומריות, התכן ובניית מודלים חישוביים ומתמטיים. מאז הקמתו בשנת 2006, נתן המרכז להנדסה שירותי תכן ואנליזות חישוביות בתחום האנרגיה למגוון תעשיות בארץ, החל מחברות גדולות כגון **רפאל, קמ"ג וחברת החשמל**, וכלה בחברות הזנק או יזמים הפועלים במסגרת חממות טכנולוגיות. המרכז להנדסה מהווה זרוע טכנולוגית התומכת במרכז לפיתוח אנרגיות מתחדשות, ובמסגרת פעילות זו התפתחו שני מוקדי ידע עיקריים בתחום האנרגיה התרמו־סולארית: תחום האגירה התרמית ותחום תכן הקולטים. מאחר והפעילות הסולארית זמינה בחלק משעות היממה, תחום האגירה התרמית הינו בעל חשיבות מכרעת לעתיד הטכנולוגיה התרמו־סולארית. אגירת חום תאפשר להשתמש בחום זה לצורך ייצור חשמל בזמן שהפעילות הסולארית אינה זמינה. אגירה תרמית תספק מענה גם למצבי מעבר במשך היום, לדוגמה בעת מעבר ענן וירידת השטף

רותם תעשיות הינה הזרוע היישומית-שיווקית של **הקריה למחקר גרעיני (קמ"ג)** בנגב. פעילותה של **רותם תעשיות** חובקת מספר מוקדי ידע וייצור, ביניהם ייצור מים מועשרים בחמצן 18 לתעשיית הרפואה הגרעינית, ייצור ועיבוד של גבישי ספיר לתעשייה הביטחונית, פיתוח ושיווק של מכשירי ביקורת קרינה, ומתן שירותים לתעשייה בתחומי כימיה, סביבה ומחקר ופיתוח. בשנת 2009 הוקם **ברותם תעשיות** מרכז לפיתוח אנרגיות מתחדשות, המאכלס מגוון חברות שהקימו מתקני ניסוי בשטח פארק התעשייה ומקבלים מגוון שירותים מחברת **רותם תעשיות**, בתחום הרגולטורי, הפיננסי והטכנולוגי.

המרכז להנדסה ומכניקה חישובית **ברותם תעשיות** מספק שירותים לתעשייה בישראל בהיבטי תכן מכני, סימולציות וחישובים נומריים, ייעוץ וביצוע ניסויים. המרכז להנדסה מצויד במיטב התוכנות בתחומי הסימולציות



מתקן לאגירה תרמית במלח מותך. פותחה אפליקציה לשיפור מעבר החום לתוך המלח המותך, ונבנה מתקן להוכחת היעילות הטכנולוגית.

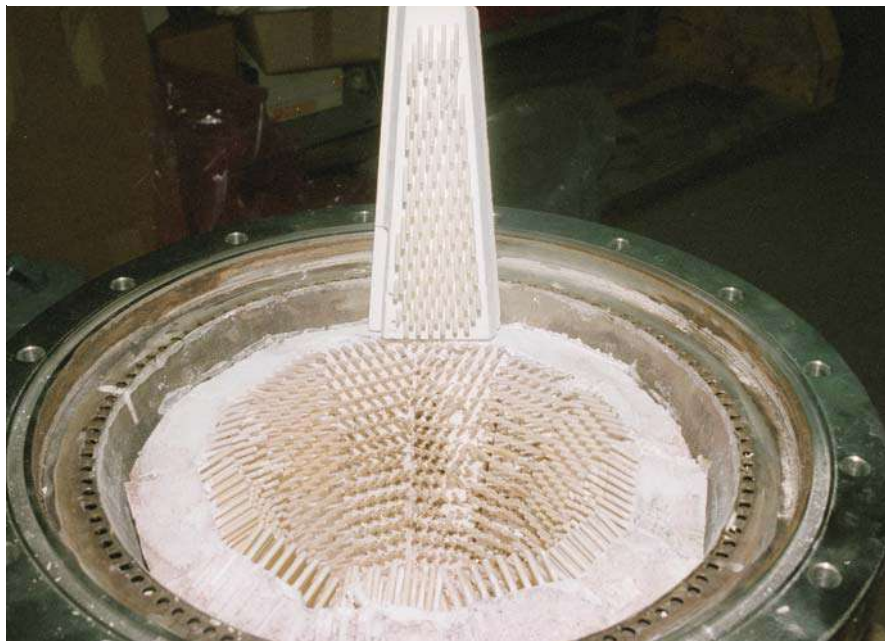


אגירה קרמית של חום מורגש בחומר נקבובי. פותחה מתודולוגיה לתיכון ממדי אוגר קרמי ולתכן תרמי של בידוד, מבוססת משוואות ומודלים נומריים.

תחום האנרגיה התרמו-סולארית טומן בחובו אתגרים טכנולוגיים מורכבים ורבים, אשר חלק מהם ייחודיים ומהווים פערי ידע. המרכז להנדסה ומכניקה חישובית פיתח במהלך שנות קיומו מספר תחומי ידע, המאפשרים מתן תמיכה חישובית וטכנולוגית בנושאי האנרגיות המתחדשות. □

מושכל. איבודי החום לסביבה מהווים אתגר המשפיע באופן ישיר על נצילות הקולט. המרכז להנדסה היה שותף בפרויקטי תכן ופיתוח של קולטים במגוון הספקים (1KW-1MW), במגוון חומרים (קרמיים, מתכות), ובמגוון תצורות וזורמי עבודה (קטור, אוויר, שמן תרמי).

קולט סולרי מחומרים קרמיים. פותח, נבנה ונוסה קולט קרמי בתצורת "קיפוד", בשיתוף של צוות רותם תעשיות עם צוות מכון ויצמן.

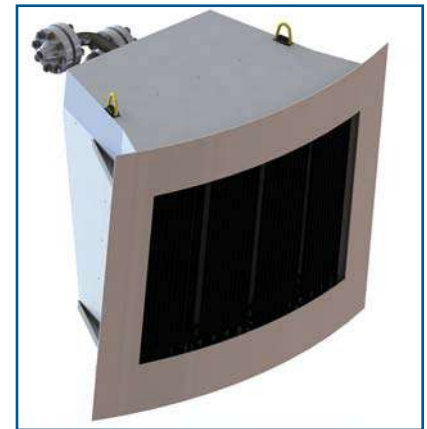


האגירה התרמית מסוג PCM, נרשם פטנט ייחודי של אגירת חום במלח מותך, המבוסס על שימוש בחומרים משני פאזה. הפטנט כולל אמצעים ייחודיים לשיפור מעבר החום אל תוך המלח האוגר, וזאת על מנת לשפר את קצב מעבר החום ואת קצב התכת המלח, וכדי לפתור בעיות אופייניות בתהליכי ההתכה וההתמצקות. בתחום של אגירת חום באמצעות חום מורגש, פותחה במרכז להנדסה מתודולוגיה להגדרת ממדי האוגר התרמי והתכן שלו על בסיס כתיבת מודלים חישוביים ייחודיים. אגירה תרמית מסוג זה מתבטאת בעליית טמפרטורה של החומר האוגר ככל שמטענים אותו בחום. בטכנולוגיה זו משתמשים בדרך כלל בחומרים קרמיים, באבנים או בבטון.

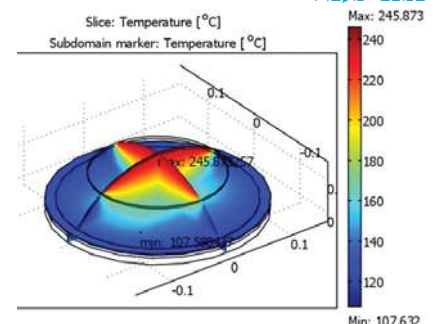
תחום נוסף שבו קיים מוקד ידע במרכז להנדסה, והינו בעל חשיבות לא פחותה מתחום האגירה, הוא תחום תכן קולטים סולאריים. בפיתוח קולטים לתחנות כוח תרמו-סולאריות עומדים בפני אתגרים רבים. נדרש תכן מורכב לעמידה בשטפי חום גבוהים מאד, טמפרטורות עבודה גבוהות מאד, וזורמי עבודה שתכונותיהם התרמיות לעיתים לא מאפשרות מעבר חום טוב בין מבנה הקולט לאזור העבודה (לדוגמה אוויר).

הפרשי הטמפרטורות הגדולים הקיימים בקולט בזמן עבודתו, וכן שינויי הטמפרטורה הגדולים בין היום והלילה, מתבטאים בהתפ-שטויות תרמיות ובמאמצים תרמיים ניכרים, המחייבים בחירת חומרים וציפויים וביצוע תכן

תכן מכני של קולט סולרי בקליטה ישירה לתחנת כח תרמו-סולרית. פותח קולט שמש עבור טופולוגיה חדשה של שדה סולארי, עבור חברת חממה טכנולוגית.



תכן תרמי בשטפים גבוהים. פותחה מעטפת הגנה לתאים פוטו-וולטאים מרוכזים (CPV), על מנת שתוכל לשאת את שטפי החום הגבוהים, גם במצבי מעבר.



תיק מוצר מוכח לאיכות בתהליכים משולבים לתיכון ופיתוח מוצר

דניאל נאור מתאר איך להגדיר וליישם ביעילות ובחכמה את הקווים המנחים של תקנים בינלאומיים לקבלת תיק מוצר מוכח לאיכות, תוך שימוש בתהליכים משולבים לתיכון ופיתוח מוצר. מפת הדרכים המוצגת מאפשרת פיתוח ייעודי של תיק מוצר וייצור מבוסס ידע, מומחיות, ומתודולוגיות בפיתוח וייצור מערכת בשיטות פשוטות, מחיר נמוך, מינימום זמן, עם רמת איכות גבוהה ללא פשרות.

מבדק התצורה הפונקציונלית (FCA) – Functional Configuration Audit הינו אימות במסגרת בחינה פורמאלית שפיתוח מרכיב במערכת הושלם, התכן שלו כפי שמשקף במפרט המוצר ובתיק המוצר עומד בתכונות ובביצועים הנדרשים, התפקודים הפונקציונליים של המרכיב תואמים את הדרישות, וכי הוא עומד בביצועים ובתכונות הנדרשות. מבדקים אלו מתבצעים לכל מרכיב במערך, ומומלץ לבצע בשלבים (מטעמי חיסכון ויעילות) בכל שלב של הסקר ולסיים בגמר ניסיון הוכחת הכושר.

מבדק התצורה הפיזית (PCA) – Physical Configuration Audit נועד לאמת במסגרת בחינה פורמאלית שהרכיב כפי שנבנה תואם את מפרט המוצר ואת תיק המוצר, ומומלץ לבצע לאחר הסיום ביקורת פריט ראשון (ניתן להשתמש בתוצאות ביקורת פריט ראשון לביצוע PCA, וכך לחסוך בהוצאות).

מפת הדרכים ליישום

מפת הדרכים ליישום הקווים המנחים לקבלת תיק מוצר מוכח לייצור מורכבת מהשלבים הבאים:

- ניתוח התשתית הקיימת של החברה, כולל תהליכים לפיתוח תיק מוצר וזיהוי פערי ידע קיימים.
- הגדרת דרישות תכן מבוססות ידע לפיתוח ותיכון מערכת/מוצר.
- הגדרת תהליכים משולבים/מתודולוגיות מבוססות ידע לפיתוח ותיכון מערכת/מוצר.
- הגדרת אבני דרך להכנת ובדיקת תיק מוצר (לפי שלבי התוכנית) מבוססי ידע, כולל סקרי תיכון ומבדקי תצורה.
- הגדרת תיק מוצר לפי דרישות התוכנית, עם התחשבות בדרישות טכניות מפורטות של המוצר.
- הגדרת תהליך לקבלת תיק מוצר מוכח כולל הגדרת אחריות של הלוקו, קבלן ראשי וקבלני-משנה:
- להכין תוכנית מפורטת.
- העברת אחריות מלאה לקבלן-המשנה ליישום הקווים המנחים והפיכתו לאחראי לפיתוח פריט תצורה רלוונטי.
- מהנדס מערכת/פיתוח צריך להיות אחראי להכנה ואישור תיק מוצר עבור פריט תצורה שנמצא באחריות (ולא מנהל תצורה או איכות).
- מהנדס מערכת/פיתוח ראשי (או נציגו) אצל קבלן ראשי צריך להיות אחראי לאישורים

- תשתית לקווה לפיתוח ותיכון לתיק מוצר הנדרש, לפי סוג התוכנית.
- אריהבנות וחוסר ידע של התקנים הבינ-לאומיים, מדריכים ודרישות.
- חוסר הדרכות מתאימות ונכונות ליישום הדרישות לעיל ממנהלי פרויקטים, מהנדסים/טכניים/שרטטים שעוסקים בפיתוח ותיכון, איכות, תיכון כלים וקבלני-משנה.
- לכן, נדרש לפתח וליישם דרישות לתיק מוצר לפי סוג התוכנית אצל קבלנים ראשיים וקבלני-משנה.

תיק מוצר מבוסס ידע לאיכות

- לתמיכה בפיתוח וייצור של מוצר חדש יש להגדיר תיק מוצר שמפרט עמידה בדרישות טכנית של המוצר סופי.
- הגדרת דרישות טכניות, כולל תנאי סביבה.
 - דרישות לאיכות הנדרשת, כולל ניסויים, מבדקים וביקורת פריט ראשון.
 - דרישות אריזה, הובלה ואחסנה.
 - הנחיות מפורטות ומהימנות כדי לוודא שקבלני-משנה מקובלים בתחום מסוגלים לזיום ולייצר את המוצר המתואר בתיק.
 - תיק מוצר צריך לכלול מסמכים הנדסיים, דוחות טכניים, מפרטים, שרטוטים וכל המסמכים הדרושים. לא נדרשים מסמכי עזר, כמו לדוגמה מדריכי תכן, מדריכי שרטוט ונוהלי המפעל.
 - כמ-וכן יש להגדיר דרישות להכנת תיק מוצר לפי סוג הפרויקט ועבור כל שלבי הפיתוח של המערכת כדלקמן:
 - סקר דרישות (SRR) – (System Requirement Review)
 - סקר תיכון מערכת (SDR) – (System Design Review)
 - סקר תיכון מוקדם (PDR) – (Preliminary Design Review)
 - סקר תיכון קריטי (CDR) – (Critical Design Review)
 - סקר מוכנות לייצור (PRR) – (Production Readiness Review)
 - סקר מוכנות לניסוי (TRR) – (Test Readiness Review)
 - סקר מוכנות לטיסה (FRR) – (Flight Readiness Review)
- בתהליכי פיתוח תיק מוצר יש לשלב מבדקי תצורה פונקציונליים ופיזיים לאימות שהמוצר שפותח עומד בדרישות המוגדרות.

בתעשיות הצבאיות, במיוחד בתחומי התעופה והחלל, בהן קיימות דרישות של תוכניות רב-לאומיות, מומלץ להכין תיק מוצר לפי קווים מנחים של משרד ההגנה של ארה"ב, המקובלים בכל מקום בעולם. בנוסף, בהתאם לרפורמת הרכש במסגרת DoD's MilSpec Reform Initiative משנת 1994, מומלץ השימוש בתקנים מסחריים, מפרטי דרישות ויישום תהליכים מקובלים אצל קבלני-משנה להכנת תיק מוצר. מדריכים ותקני עזר המשתמשים בעיקר להגדרת דרישות להכנת תיק מוצר:

MIL-DTL-31000 : Technical Data Packages, General Specifications

ASME Y14.100 : Engineering Drawing Practices

MIL-HDB-61: Configuration Management Guidance

MIL-HDBK-961 : Defense and Program – Unique Specifications Format and Content

לצורך עמידה ביעדים העיקריים בפיתוח וייצור מוצר (קבלת איכות כנדרש, שמירה על עלויות התוכנית במסגרת התקציב, ומסירת המערכת/המוצר בזמן), יש צורך להכין תיק מוצר נכון ומוכח לאיכות. זוהי גם דרישה מקדימה להעברת ידע ומיקור חוץ מוצלח מול שותפים וקבלני-משנה בארץ ובחו"ל.

נימוק לשינוי

למרות שבדרך כלל דרישות להכנת תיק מוצר מוגדרות במפורט בדרישות לתכולת עבודה מלקוח לקבלן ראשי וקבלני-משנה אחרים, במסגרת מבדקים הנדסיים שביצעת בהרבה מפעלים שונים זיהיתי, שרוב המפעלים מייצרים מוצרים שלהם לפי תיק מוצר לקוי ולא מוכח. הדבר מוביל להגדלת הוצאות בתוכנית, ובסוף ההפסדים, איכות נמוכה של המוצרים ומסירת מערכת/מוצר ללקוח באיחור ובאיכות לקויה (שגם לה יש תג מחיר). כמ-וכן התברר, שיש הרבה אי-הבנות ובלבול לגבי הבנת הדרישות לפיתוח תיק מוצר, יישום וקבלת תוצאות אופטימאליות לפי סוג התוכנית. הסיבות העיקריות לתוצאות בלתי מספקות היו כדלקמן:

סופיים.

● הכנת הדרכות מתאימות ושונות למנהלי פרויקטים, מהנדסים / טכנאים / שרטטים שעוסקים בפיתוח ותיכון, איכות, תיכון כלים וקבלני משנה.

המלצות מעשיות

● הבנת דרישות של תהליכי פיתוח ותיכון, כולל דרישות של תקנים בינלאומיים, הכרחית לראשי מינהלים עסקיים/מקצועיים, ראשי תחומים, מנהלי פרויקטים, מהנדסים וטכנאים, לצורך יישום נכון של דרישות תיק מוצר בתחום

סמכותם ואחריותם לעמידה ביעדי מינהל/ תוכנית.

● מניעת דרישות מיותרות בפיתוח תיק מוצר:

— ליישם דרישות איכות שיש להן ערך מוסף לתוכנית.

— ליישם SPC (Statistical Process Control) ו-KC (Key Characteristics) בצורה נכונה ובחכמה.

— הבנה מלאה של תהליכי ייצור ומטרולוגיה.

— תכנון לשש סיגמה (טולרנס בתיכון לתהליכי ייצור גדול מ-2).

— התאמת מנגנונים לאבטחת איכות לפי

דרישות התוכנית.

● פיתוח הדרכות מעשיות ליישום נכון ויעיל של דרישות התוכנית.

מסקנות

התוצאה של הגדרה ויישום של מפת הדרכים שפורטה לעיל ויישום נכון של המלצות היא קבלת תיק מוצר איכותי בפיתוח וייצור מוצר חדש.

בצורה זו אפשר לעמוד באתגרים של שווקים חדשים, תוך התמקדות בעמידה בדרישות הלקוח ובמטרות העסקיות של הארגון. □

סיבולות גיאומטריות בתיכון מכני, ייצור וביקורת מערכות

דניאל נאור מתאר את המתודולוגיה של סיבולות גיאומטריות (Geometric Dimensioning and Tolerancing) בתיכון מכני, ייצור וביקורת מערכות, ומביא המלצות לשיפור ההדרכות לצורך קבלת תיק מוצר מוכח לאיכות. יישום המתודולוגיה הזאת (שמסומנת בראשי התיבות GD&T) בפיתוח תכן מכני היא דרישת חובה של רוב הלקוחות הבינלאומיים, כולל כל חברות התעופה האמריקניות.

הגדרה ויתרונות של המתודולוגיה

המתודולוגיה של סיבולות גיאומטריות (GD&T) הינה שפה בינלאומית (תקן לשרטוט מכני), המשמשת בשרטוטים הנדסיים לתיאור מדויק של חלקים, אשר מבוססת על תפקוד החלק במוצר סופי עם הגדרת דרישות לשיטות הייצור ואבטחת איכות. זוהי שפה מתמטית מדויקת, המשמשת לתיאור מידות, צורה ומיקום של האלמנט. סימנים המוגדרים היטב, עם חוקים והגדרות מוסכמות (על פי Y14.5 ASME או ISO1101). היתרונות של השיטה הם:

● שיפור ההתקשרות על-ידי אחידות בשרטוטים והבנתם, מה שמפחית את הניחושים וחילוקי הדעות ומאפשר לעבוד בשפה אחידה. ● שיפור בתיכון המוצר, שמעניק למתכן כלים המאפשרים "לבטא את כוונותיהם" בהתייחסות לפילוסופיה של מתן מידות פונקציונליות. ● ובעיקר, מאפשר חיסכון ניכר בעלויות הייצור על-ידי פתיחת טולרנסים במקומות שאפשר.

בעיות עקב יישום לא נכון

התקנים הבינלאומיים לדרישות ויישום של סיבולות גיאומטריות כתובים היטב ובמפורט. למרות האמור לעיל, יש מספר קשיים אופייניים אצל רוב המהנדסים/הטכנאים בעבודות התכן: ● קושי בהגדרה נכונה של דרישות הסיבולות הגיאומטריות. ● חלק מהדרישות שהוגדרו אינן ניתנות לבדיקה. ● טעויות בבחירת הטולרנסים ועשיית שימוש

יתר של הדרישות.

ליישום לא נכון של מתודולוגיית GD&T בשרטוטים יש השפעה ישירה על עלות המוצר (ייצור יקר, תהליכי אבטחת איכות מיותרים ויקרים, כולל ב-FAI ודרישות לעדכון חוזר של שרטוטים). יש לזה גם השפעה ישירה על העלות במסגרת העברת ידע.

סיבות לתוצאות לא משביעות רצון

לאחר ניתוח ניתן לסכם ש- ● עקב גידול רב בנושאים חדשים בתוכניות הלימודים של מהנדסי מכונות ואווירונאוטיקה, לא מושם דגש מספיק על לימודי תהליכי ייצור, ביקורת של חלקים מכנים ושרטוט מכני, שהם דרישות קדם ליישום נכון של GD&T בתכן מכני. ● חוסר הדרכה מתאימה של GD&T בנושאים כמו אבטחת איכות, תיכון כלים והנדסת ייצור לאנשי מקצוע שעוסקים בפיתוח, הביאו לחוסר בהערות של אבטחת איכות והנדסת ייצור בשלבי תיכון ולפני שחרור שרטוטים. ● חוסר מומחים בנושא GD&T במחלקות תיכון לסייע למתכננים ביישום נכון. ● חוסר הדרכות מתאימות ללימודי תהליכי ייצור, ביקורת חלקי מכני ושרטוט מכני.

הצורך בתוכנית לפיתוח הדרכות

● הדרכות עבור מתכנים בתהליכי ייצור וביקורת חלקים מכניים (דרישות קדם לפני לימוד GD&T). ● הדרכות מתאימות למנהלי פרויקטים, מהנדסים/טכנאים/שרטטים שעוסקים בפיתוח

ותיכון, איכות, תיכון כלים וקבלני משנה:

— GD&T בסיסי
— GD&T מתקדם
— GD&T בתיכון כלים ומדידים
— GD&T ושש סיגמה
— GD&T בהרכבות כולל הצטברות טולרנסים
— GD&T בסביבה תלת-ממדית (Model Based Environment)

● סדנאות לתרגול לאחר הדרכות עם דוגמאות מפרויקטי פיתוח.
● שימוש מרבי במאגר ההדרכות הקיימות בארגון מהנדסי מכונות בארה"ב (ASME).

המלצות מעשיות

● הכנת הדרכה פשוטה לצורך הבנת דרישות של GD&T בתהליכי פיתוח ותיכון לפי תקנים בינלאומיים.
● מניעת דרישות מיותרות של GD&T בפיתוח תכן מכני יחד עם הבנה מלאה של תהליכי ייצור ומטרולוגיה.
● יחד עם GD&T ליישם בצורה נכונה וחכמה SPC (Statistical Process Control) ו-KC (Key Characteristics).
● תיכון לשש סיגמה (טולרנס בתיכון לתהליכי ייצור גדול מ-2).
● פיתוח הדרכות מעשיות ליישום נכון ויעיל לפי דרישות התוכנית לפיתוח מערכות מכני.

סיכום

מתודולוגיית GD&T הכרחית לצורך הגדרת טולרנסים ומידות בפיתוח, תיכון ושרטוט של מערכות מכניות.

רשימת מקורות

MIL-STD-31000 : Technical Data Packages, Standard Practice

ASME Y14.100 : Engineering Drawing Practices

ASME Y14.5 : Dimensioning and Tolerancing

ASME Y14.41 : Digital Product Definition Data Practices

ASMEY 14.43 : Dimensioning and Tolerancing Principles for Gages and Fixtures

AS9103 : Variation Management of Key Characteristics

ISO 1101 : Technical Drawings – Geometrical Tolerancing

● נקודת ראייה כלכלית – יש להדגיש ולהדגים את ההשלכות של דרישות לא מתאימות בייצור, תוך ציון העלויות הנובעות מכך.

● קורס בסיסי עם טכניקות של מתן הטורנסים ושיקולים בסיסיים לכל האוכ' לוסיות: המתכנים, ביקורת וייצור.

● קורסים מתקדמים של שיקולים ועקרונות בהקצאת טולרנסים, כולל השלכות על איכות המוצר ועלות בייצור, חישוב הצטברות טולרנסים ותיכון לשם סיגמה.

מתודולוגיית GD&T בפיתוח מערכות תכן מכני היא אחד הכלים לקבלת תיק מוצר איכותי בפיתוח וייצור מוצר חדש. יישום נכון של GD&T מאפשר לשפר מטרות עסקיות של הארגון. □

לצורך יישום GD&T בהצלחה במפעלים יש צורך להקפיד על הפרטים הבאים:

● תקן GD&T – לאמץ את התקן הבינלאומי העדכני וליישם בכל המחלקות המקצועיות, כולל אצל כל קבלני-המשנה.

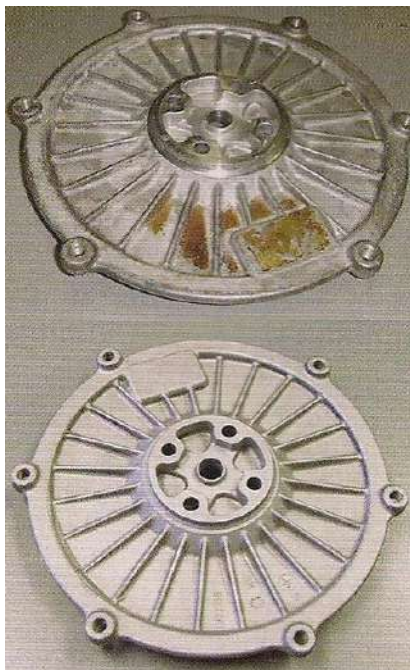
● מומחיות ברמת המפעל – הקמת צוות משימה להשגת מומחיות, פיתוח הדרכות והגדרת איש הקשר לייעוץ ותמיכה לכל הפעילויות בחברה.

● מומחיות מקומית – פיתוח מומחים במחלקות מקצועיות לתמיכה מקומית.

● תוכנית הדרכה מסיבית – תוכנית הדרכה נמרצת לצורך שיפור הבנה של כל אחד המעורב בפיתוח מערכות בתכן מכני.

● שיפור תהליכי תיכון – ההדרכה הכרחית לצורך שמירה ושיפור רמת המודעות לנושא, כחלק אינטגרלי מתהליך התיכון.

ניקוי מכני עדין של חלקי מתכת מבלי לפגום או לחרוץ בפני השטח



- ניקוי תבניות ליציקות אלומיניום.
- ניקוי פיות אקסטרוזיה לתעשיית האלומיניום.
- ניקוי חלקי רכב ביצור ראשוני ובשיפוץ מבלי לפגוע במידות של קדחים אפוצים ובתברגים.
- ניקוי פחם המצטבר על פני שטח של שסתומים.
- ניקוי יציקות אלומיניום מבלי הצורך בטבילה בתמיסות של סודה קאוסטית.
- הסרת צבע וציפוי מתברגים של קשיחים מבלי לפגום בהם.
- הסרת הצטברות צבע ממקבעים קטנים (דקי דופן) לפני שימוש חוזר.
- הסרת גרדים מ"כלובים" של מיסבים מבלי ליצור עיוותים. □

בתמונה משמאל: חלק מאלומיניום לפני ואחרי ניקוי עם כדוריות NU-SOFT. ניתן לראות שלא נגרם נזק כלשהו לסימני הזיהוי על החלק.

תורגם ועובד על-ידי **אברהם לביא**
 מתוך: Metal Finishing News
www.mfn.li/article/save_article.php?id=1202

כדוריות פלדה יצוקה רכות (NU-SOFT) פותחו בארה"ב במטרה לנקות בהתזה חלקים עדינים, מבלי לפגום בפני השטח, וככל הנראה גם לא לעוות את החלק המותז. פני השטח המותזים נשארים מושלמים מבלי להרוס סימון מזהה שקוע או בולט, והמידות האפוצות לא נפגמות.

התהליך מתאים לניקוי חלקים עדינים מיצור המוני, אשר התזת כדוריות זכוכית או שיטה לא-אברזיבית אינן מעשיות מבחינה כלכלית. הכדוריות שפותחו הינן יצקת פלדת פחמן פשוטה בקושי של Rc 12-15.

הצפיפות של הכדוריות זהה לצפיפות כדוריות סטנדרטיות, ולכן ניתן להשתמש במערכות ההתזה המסורתיות: צנטריפוגלית או לחץ אוויר. לא נדרשת כל התאמה או שינוי למערכות ההתזה ולמערכות ההפרדה.

החומר החדש אינו עובר הקשאת פני שטח, כך שאיכות ביצוע הניקוי אינה פוחתת במהלך מחזור חיי החומר. כמו-כן מתקבל אורך חיים גבוה יותר של חלקי מערכות ההתזה. כדוריות ה-NU-SOFT הן בעלות אורך חיים של פי שלוש לערך, מאשר כדוריות על פי דירוג ה-SAE לפי ניסויי אורך חיים תקינים.

החומר ניתן לרכישה ב-5 מידות בתחום של מ-70 NS עד NS-330. תחום זה מספק את מירב הצרכים לניקוי החלקים העדינים ביותר. הכדוריות מגיעות ארוזות בפחים של 50 פאונד, חביות קטנות של 500 ו-750 פאונד, ובחביות גדולות של 2,000 פאונד.

החומר פותח לראשונה במטרה לנקות תבניות בתעשיות הגומי והזכוכית, ונוספו מטרות אחרות:

השוואה בין כדוריות NU-SOFT לבין שיטות ניקוי אחרות.

PRODUCT	HARDNESS	DURABILITY	DENSITY	EQUIPMENT REQ.
Glass Beads	50-60 Rc (5-7 Mohs)	5-8 Cycles	2.6 g/cc	Air Blast
SAE Steel Shot	42-65 Rc (6-8 Mohs)	2500-3500 Cycles	7.4 g/cc	Air or Cent. Wheel
Stainless Shot	20 Rc (Work Hardens to 60 Rc)	3500-4500 Cycles	7.0 g/cc	Air or Cent. Wheel
Plastic Media	3-4 Mohs	4-6 Cycles	1.5 g/cc	Air Blast
Ceramic Beads	60-65 Rc (5-7 Mohs)	300-500 Cycles	3.7 g/cc	Air or Cent. Wheel
Nu-Soft	<20 Rc (3-3.5 Mohs)	6000-7000 Cycles	7.4 g/cc	Air or Cent. Wheel

"הכל בגלל אסור קטן"

מתודולוגיית חקר כשל

כשלים הם חלק בלתי נפרד מתהליכי הפיתוח והתמיכה במערכות ייעודיות. הכשלים יכולים לנבוע מתקלות בתכנון ובפיתוח, בייצור ובהכללה, בניסויים מערכתיים ובשירות המתמשך של המערכות.

בניגוד לנטייתנו הטבעית להאשים ולהצביע על מקור התקלה כ"כוח עליון", "אצבע אלוהים" וכדומה, מקור הכשל או סיבת השורש שהובילה אליו נעוצים תמיד בטעות או ברשלנות אנושית.

עמית ב' מרפאל מדגיש את חשיבות חקר הכשל ומציע מתודולוגיה לתהליך.

3. שקלול אובייקטיבי של סבירות כל סיבת שורש אפשרית בטבלה, ומכאן יש להגיע להחלטה אילו ניסויים סביר וכדאי לבצע כדי לאשש או להפריך סיבות אלה. ביצוע ניסויים, אם אינו מנוהל כנדרש, הוא הזדמנות להתבדרות. גורמים וכיוונים להתבדרות כזו הם: דילוג מהיר מדי לשלב המסקנות, טביעה בים העובדות והרעיונות לניסויי שיחזור, מציאת סיבה "בעלת סבירות גבוהה" וכיפוף הראיית בהתאם, מחסור בהקצאת משאבי זמן, כסף או כוח-אדם.

4. דיון ובחינת כל הממצאים והגעה להגדרת הסיבות – החל מהסיבות הישירות ועד לסיבות הסמויות לתקלה.

השלבים הבאים הם חלק מפעילות הוועדה בתנאי שההמלצה לתיקון הוגדרה כמטלה בכתב מינוי הוועדה, או כשאלות הפיתוח בוועדה מהווה תחליף לצוות פיתוח שלא קיים כבר.

5. זיהוי וניפוי פתרונות פוטנציאליים: עדכונים, תכנון, הקלות בדרישות או הגבלה במעטפת הביצועים בשימוש, הדרכות, עדכון, תוספת או הקלה בתהליכי ההרכבה או הבדיקות, אזהרות והתרעות.

"מי שלא עושה לא טועה"

בתהליך תכנון "תקין" מבצעים בדיקות וניסויים, חווים כשלים לאורך כל התהליך ולומדים מהם איך לשפר את הרובוטיות ולהגדיל את אמינות המערכת. מטרת המפתח היא לחוות את הכשל בשלב מוקדם ככל האפשר בתהליך, לרדת לשורש הבעיה ולבצע תיקון הולם.

מתודולוגיה של תהליך חקר כשל

1. יש להבין את הבעיה במלואה ולהגיע להסכמה על הגדרת הכשל, על מטרת החקירה ועל מה היא אמורה לפתור. קל מאוד "לקפוץ" אל תוך הניתוח הטכני, אבל רק הגדרה מוסכמת על כולם (ממני הוועדה וכל חבריה) תהווה מצפן להכוונת פעילות הוועדה.

2. מציאת הגורמים וסיבות השורש לכשל באמצעות:

– איסוף מידע על-ידי צילום, תחקור עדים/מפעילים, בדיקת ניירת מלווה, ביצוע בדיקות NDT וכדומה.
– סיעור מוחות תוך שימוש בכלים כמו עץ תקלות, עץ תרחישים או Mind Map, על מנת למצוא סיבות אפשריות רבות ככל האפשר לכשל.

מה יצא לנו מחקר כשל מתודולוגי?

- נחשפים תמיד כמה וכמה ליקויים שהטיפול בהם מגדיל את אמינות המערכת.
- תיקון תכנון קיים בתוך ים האילוצים = אתגר גדול.
- חבר בוועדה מקבל ראייה רחבה על הפרויקט/המערכת/מפעל הייצור ועוד... נהנה מהעשרת ידע כללי, מפיתוח ראייה מערכתית ומלימוד התכנון, הפתרונות והשגיאות של אחרים.
- אתגר וסיפוק בלימוד המערכת, במציאת והוכחת סיבות השורש.

הגדרות

כשל – חוסר היכולת של רכיב, מכונה, תהליך, חשיבה, התנהגות או תרבות לתפקד כנדרש/כמצופה.

חקר כשל – חקירה או אבולוציה המבוצעת לצורך הגדרת הכשל, זיהוי הגורמים המהווים סיבות שורש לכשל והמלצות לשיפור.

ועדת חקר כשל – ועדה המוקמת לצורך חקירת אירוע כשל ספציפי, הכוללת חברים בעלי ידע רלוונטי למערכת שכשלה ולחקר כשל.

סיבת שורש – הגורם הבסיסי והאמיתי לכשל, החובק בתוכו את שלושת הגורמים הבאים:

- סיבה פיזית: מכניזם הכשל (התעייפות, עומס יתר, קורוזיה, היתפסות וכדומה);
- סיבה אנושית: הגורם האנושי שהוביל לסיבה הפיזית לכשל (עבודה בניגוד לנהלים, רשלנות, שיכחה, אינסטינקט הפוך להיגיון, תיכון לא נכון, בדיקות לקויים ועוד).
- סיבה סמויה: כללים תרבותיים או תרבות ארגונית שהובילו לגורם הכשל האנושי.

מתי מתרחשים כשלים? או מתי נזרע זרע הפורענות? סיבות השורש לכשל עלולות להיזרע כבר בשלב התיכון המערכתי וכתובת המפרטים, וכמובן בשלב התכנון. הכשלים עצמם מתחילים משלב הייצור הראשוני (לביצוע שלב הורדת הסיכונים ובדיקות הפיתוח), ונמשכים דרך שלבי הייצור, ההכללות ובדיקות הקבלה, האריזה והשינוע, השימוש המבצעי והתחזוקה.

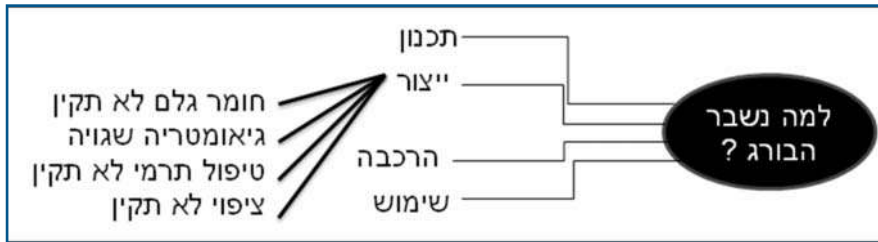
דוגמה מפושטת למגוון האפשרויות להגדרת התקלה, לגורמי הכשל האפשריים ולסיבות השורש.

הגדרה מוסכמת מה הבעיה או התקלה – רעש הבכי? הכאב? הפצע המדמם? הפסד במרוץ שליחים?

מציאת הגורמים וסיבות השורש – פזיזות? צורך במשקפיים? קליפת בננה? התרבות הסובלת זריקת קליפות בננה?

לא להפסיק לשאול למה – למה בוכה? למה פצע? למה נפל? למה קליפת בננה?





דוגמה ראשונית להתפללות ענפי דיאגרמת Mind Map.

6. המלצה על הפתרון המיטבי והמלצות רוחביות (אם יש כאלו). בשלב זה נשאלת השאלה איך מעריכים או משקלים את הפתרונות? טבלאות עם ציונים ומשקלים? אינטואיציה אינטליגנטית?

7. הפקת דו"ח סיכום מסודר וליווי פעילויות התיקון.

בשלב 2 קיימת חשיבות רבה לשימוש בכלי עזר גרפי. זאת משום שכלי כזה מהווה:

- תיעוד חזותי קבוע ומסודר של כל סיבות השורש האפשריות;
- "רשימה חיה" הניתנת לשינוי/עדכון במהלך החקירה ומשמשת כלי עזר גם בחקירות דומות בעתיד;
- יצירת אווירה של סיעור מוחות, ומכאן – תרומה להשגת מרב המידע האפשרי;
- אפשרות לגלות ביתר קלות שינויים תהליכיים (ייצור, הרכבה, בדיקה);
- יכולת להציף שיפורים רבים יותר לתהליכים או לתכנן;
- תרומה לסדר;
- תיעוד המשמש כלי עזר מסודר להצגת סטטוס החקירה;
- מניעת מיקוד בסיבת שורש "אטרקטיבית" המושכת לטיפול צר בבעיה בודדת.

כללי "אל תעשה" בחקר כשל

- אל תקפץ למסקנות בטרם תעבור על כל אופני הכשל האפשריים ותגיע לסיבות השורש לכשל;
- אל תהסס לבקש עזרה מקצועית בכל מקום בו היא נדרשת;
- אל תחזיר את החלק לקבלן-המשנה בציפייה שהוא יבצע את החקירה;
- אל תפסול או תנפה מהתיעוד ממצאים שאינם תואמים להשערות;
- אל תפרק/תחתוך לדגמים לפני שגובשה תוכנית פעולה מלאה;
- אל תחליף את החלק הכושל בחלק זהה חדש, בתקווה שהתקלה לא תחזור;
- אל תבצע תיקון חפז של החלק שכשל ללא הבנה מלאה של התקלה וסיבות השורש;
- אל תיסחף להיענות לפניות מנהלים כמו: "על סמך ניסיוןך, תן לי הערכה מהירה/אנליזה ראשונית של מה לא בסדר", או "תן לי את הניחוש הטוב ביותר שלך";

- המנהלים לא תמיד מודעים להשפעתו של הכשל הנוכחי או הבא באותה מערכת, מבחינת בטיחות, זמינות או פגיעה בביצועים, עלויות ליצרן/למשתמש, פגיעה במוניטין וכדומה;

- מניעת כשלים תלויה גם בחינוך – הבנה של הגורמים לכשל ושל יסודות חקר הכשל תביא תועלת לכל המעורבים (מתכננים, מכלילים, מפעילים, עובדים תומכים, מנהלים...). הבנת משמעות הכשל (בטיחות, כשל משימה, מוניטין...) מהווה מפתח להשגת שיתוף פעולה וסיום מוצלח של חקירת כשל;

- צריך לאמץ שיטות מובנות לחקר כשל, להנחילן ולהצמד אליהן בכל הכשלים המשמעותיים;

- קיצורי דרך ניתן לעשות רק לאחר הבנה ותרגול של השיטה;

- שימוש במערכת או לפחות גליון אלקטרוני לתיעוד וסיווג חקרי התקלות חשוב למעקב, לקידום ולניתוח סטטיסטי. כשממלאים או סוגרים דו"ח במערכת כזו, יש לשים לב שזוהו וטופלו כל סיבות השורש. □

ממצאים שאינם חד משמעיים!

יש להביא בחשבון, כי גם כאשר עושים את החקירות היסודיות ביותר עלולים להגיע לסיום שאינו חד-משמעי. מקרים לדוגמה: ניסויים שכשלו כאשר אין שרידים רלוונטים במצב המאפשר אבחון, ובמיוחד במערכות מבוססות ראש גפרור (SQUIB) ומערכות OSD (One Shot Device) אחרות, כשלא ניתן להוכיח מה לא עבד בשרשרת ההפעלה.

איך מוכיחים שמחבר ברגים לא הודק, או לא הודק למומנט הנדרש?

- אל תיכנע לסיסמאות כמו: "היה מהר יותר לתקן זאת", או "התכוונו לעדכן את התכנן ממילא".

ראשי פרקים בדו"ח סיכום

1. תיאור המערכת והכשל;
2. התנאים שאליהם היו החלק/מערכת חשופים במהלך הכשל;
3. היסטוריית שירות וכשלים של החלק/מערכת;
4. היסטוריית ייצור של החלק/מערכת;
5. אנליזה מכנית/תרמית/דינמית... של החלק שכשל.
6. בחינה מטלורגית של אזור החלק שכשל, איכות החלק, התאמת חומר הגלם והטיפול התרמי לדרישות;
7. סיכום המנגנונים וסיבות השורש לכשל;
8. המלצות לפעילות המתקנת (פרטנית ורוחבית) למניעת כשלים דומים בעתיד ולתיקון רכיבים דומים שבשירות;
9. נספח הכולל את כל המידע החשוב שנאסף במהלך החקירה.

סיכום

- חקר הכשל הוא אחת ההתמחויות המשמעותיות בשיפור המקצוענות;
- כל כשל משאיר אחריו שובל של רמזים. תפקידנו לאסוף אותם, להבין את התמונה הגדולה, להגיע לסיבות השורש ולהמליץ על דרכי הפעולה להמשך;
- אחד האתגרים הראשונים הוא להשיג את הזמן, התקצוב וכוח-האדם לביצוע חקר הכשל במלואו;

פרויקט תקנים למתקני הרמה

לרוב מתקני ההרמה לא היה עד כה תקן ישראלי, ובחלק מהמקרים בהם היה תקן, הוא היה מיושן ולא מעודכן. כמו-כן, לאביזרי הרמה לא היה אף תקן ישראלי, פרט לכבלי פלדה ורצועות הרמה. במטרה לכסות את תחום מתקני ההרמה בתקינה מתאימה, הוחלט על פרויקט הכנת תקנים ביוזמת משרד התמ"ת ובמימון מכון התקנים הישראלי.

אלון שמש, מנכ"ל חברת הנדסה בגובה, סוקר את פרויקט הכנת התקנים.

הדרישות לתכן ואת הדרישות לבדיקה של אב-טיפוס (דגם) ובדיקת הוכחה אישית בסדרת ייצור. בין היתר ניתן לבחור בין בדיקה תחת עומס יתר של פי 2 לבין בדיקה חישובית בלבד. הדבר עומד בסתירה לתקנות הנמלים, המוכרות ומקובלות בארץ, שמחייבות בדיקה בעומס לכל אביזר בבדיקה הראשונית לפי טבלה מדורגת. לכן החליטה הוועדה לבטל את האפשרות לאשר קורות הרמה על פי חישוב בלבד, ולהכניס לתקן את לוח עומסי הבחינה של "ציוד תלוש" מתקנות הנמלים לצורך הגדרת עומס בדיקת ההוכחה הראשונית.

לדוגמה: סלי הרמה לעגורנים – בתחום רגיש זה התגלו במסגרת הדיונים מספר בעיות:

א. התקן האירופי אינו מגביל את מספר האנשים בסל, לעומת התקנות בארץ שמגבילות לשני אנשים. לפי גישת התמ"ת, הוחלט להגביל ל-3 אנשים.

ב. התקן מחייב להתאים את העגורן להרמת אדם, ובתוך זה הוא אמור לכלול מערכת להורדה בחירום. כיוון שמערכת חירום לא מצויה בעגורנים הקיימים, החליטה הוועדה לדחות דרישה זו בשנתיים מיום הפצת התקן על מנת לאפשר לשוק להתארגן בהתאם.

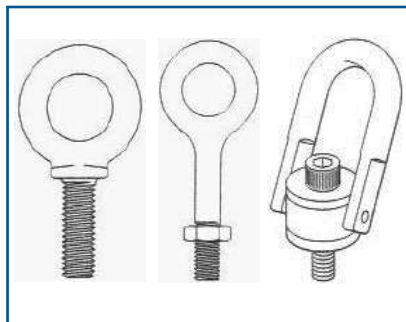
ג. בתקן האירופי אין אזכור לסלים קשיחים שמתחברים לקצה זרוע של עגורן ומשמשים להרמת אדם. מכיוון שהנושא חשוב, הוחלט על הכנת תקן ישראלי חדש (בהמשך הפרויקט), שיהיה חלק מסדרת התקנים לאביזרים. □

סל הרמה לעגורנים.



לפי מפרט אמריקאי RRC271 משנת 1986, המשמש עד היום את צבא ארה"ב לרכש אביזרי הרמה.

הדבר הביא לכך, שאומצו במקביל שני מסמכים: תקן אירופי והמפרט האמריקני, מה שדרש בדיקה קפדנית של המידות הגיאומטריות ועומסי העבודה בטבלאות של התקנים השונים, על מנת להבטיח התאמה בין האביזרים שמגיעים ממקורות שונים.



לדוגמה: תקן ברגי עין – תקני הברגים נותנים מידות של תברגים שונים במידות מסריות או אינציות בקטרים סטנדרטיים.

בכדי לא לבנות טבלאות לכל תברג ולהיצמד לאימוץ תקנים קיימים, הוחלט בוועדה לפתור את בעיית התברגים השונים והמיוחדים בעזרת הערה בתחילת התקן בנוסח הבא: **"כוח הקריעה של מידות שאינן בטבלה יהיה לפי נתוני היצרן, ולא פחות מהממוצע בין שתי מידות בטבלת התקן"**.

במספר תקנים עלה הצורך בהתאמת התקן האירופי לדרישות החקיקה בארץ.



לדוגמה: תקן קורות הרמה – התקן האירופי EN 13155 מטפל בקורות הרמה, תפסניות פחים, בתקני ואקום ומגנט, והוא מפרט את

במסגרת פרויקט הכנת התקנים, הוקמה לכל נושא ועדת מומחים, שמורכבת מבעלי מקצוע בתחום – אנשי משרד הכלכלה (התמ"ת לשעבר), מהנדסים ממכון התקנים, בודקים מוסמכים וכן יצרנים ויבואנים – מתוך מטרה להגיע להסכמות רחבות ככל שניתן בשלב ההכנה של התקן, ובכך לקצר את משך ההתייחסות בשלב ביקורת הציבור. ההנחיה לכלל ועדות המומחים הייתה לאמץ בעדיפות ראשונה תקן אירופאי (EN) עדכני. במידה וקיים גם תקן אמריקאי מקביל הוא אומץ לאחר השוואה.

בתחילת התהליך נעשה מיפוי לאיתור תקנים זרים משלושה מקורות: אירופיים, אמריקניים ובינלאומיים. כל התקנים שנמצאו הוכנסו לטבלה אחת, כולל התקנים הקיימים, לפי שלושה נושאים: תקנים כלליים, תקנים ייעודיים (שחלים על מתקן מסוים) ותקנים לאביזרים.

מתוך טבלת התקנים נבחרו לשלב הראשון של הפרויקט התקנים הבאים:

● **מתקני הרמה עם סיכון גבוה – עגורני צריח, במות הרמה, משאבות בטון ומעליות בנייה.**

● **ציוד ומתקנים המיוצרים בישראל – עגורני גשר ומתקנים ידניים.**

● **ציוד הרמה בשימוש נרחב – אביזרי הרמה.**

הישיבות הארוכות ביותר התנהלו בנושא אביזרי הרמה, תחום שמקיף מגוון רחב של סוגי אביזרים, מענבים, קורות הרמה וסלים להרמת אדם. בתחילת הדיונים הייתה כוונה לאמץ תקנים לאביזרים העשויים מפלדה מטיב 8 בלבד, אולם בהמשך התהליך הוחלט להרחיב את הטיפול גם לטיב 4 המשמש בתעשייה בשימושים מיוחדים, וגם לטיב 10 החדשני, למרות שאינו נפוץ עדיין. לאחר 13 ישיבות, הוחלט על מבנה התקן שכולל 27 חלקים, שכל אחד מתייחס לסוג אחר של אביזר בדרגת טיב מסוימת (4, 8, 10).

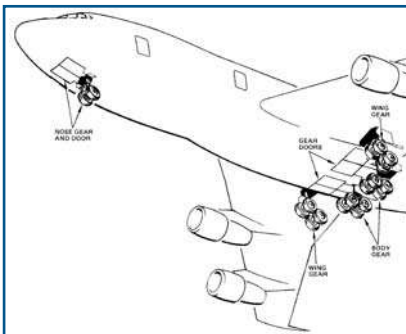
הבעיה המרכזית שעמדה בפני החברים הייתה, שהתקנים האירופיים שהיו עדכניים ביותר לא משמשים את היצרנים בעולם, ורוב היצרנים הגדולים והמוכרים מייצרים ומוכרים

כניסע במטוסים – תיכון ורישוי

נחיתה של מטוס היא למעשה מעין "התרסקות מבוקרת", כי יש לבלום את מהירותו של המטוס בכיוון האנכי והאופקי. כל נושא התיכון והרישוי של מטוסים מפורט בתקנות FAR, הכלולות באוסף התקנות CFR של רשות התעופה הפדרלית (FAA) בארה"ב. תקנות אלה אומצו גם על-ידי מדינת ישראל בחוק הטיס 2011.

ראובן אופיר, שעבד שנים רבות ברשות התעופה האזרחית, מתאר היבטים חשובים בתיכון וניסויי רישוי של כניסע, המתייחסים למטוסים כבדים יחסית.

בשיפוע (כיוון הטיסה הוא לימין), כך שבזמן הנחיתה קודם נוגע זוג הגלגלים האחורי. הכוח האופקי שנוצר מסובב את כר-הנסע של 6 הגלגלים בכיוון השעון, ואז נוגע הזוג הקדמי חזק במסלול ומייד אחרי זה הזוג האמצעי. התוצאה היא שמאצים בורזמנית רק 2 גלגלים של הכן. תיכון מתוחכם.



התמונה למעלה מראה את כניסע הנסע של מטוס **בואינג 747** (הג'מבו הידוע). העומס מחולק בין ארבעה כנים ראשיים. גם כאן, בזמן נחיתה נוגעים רק זוג הגלגלים האחוריים בכל כר-נסע ראשי, כך שיש להאיץ רק שני גלגלים.

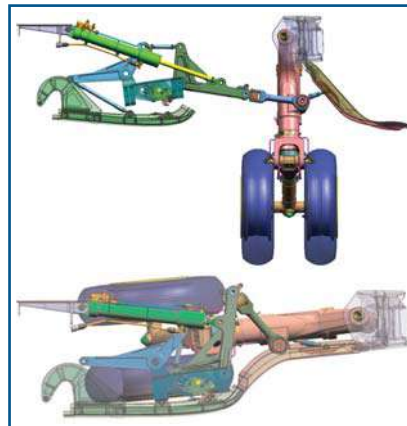
נשאלת השאלה, איך ניתן לדמות את הפעלת כוח ההאצה האופקי הזה במעבדה, לצורך בדיקת אב-הטיפוס של הכן החדש? כאן מתחכמים, ומניחים שזמן עצירת הגלגל זהה לזמן ההאצה שלו, ולפיכך לפני ביצוע בדיקת ההפלה במתקן המיועד מאיצים את הגלגלים למהירות סיבובם בזמן הנחיתה. בעת הבדיקה, עצירת הגלגלים מספקת בדיוק את אותו הכוח הנוצר בזמן האצתם בנחיתה (ראה בהמשך).

בדיקות בניסוי הפלה

התקנות מחייבות לבצע באב-הטיפוס של כר-הנסע את כל הבדיקות שידמו את הנחיתה עצמה, כלומר: לבצע נחיתה אמיתית. גם מפרטים ומגדירים את התנאים שבהם הכן צריך לעמוד בנחיתה במשקל הנדרש, ובמהירות ירידה אנכית של 12 רגל לשנייה. לצורך ביצוע הבדיקות הללו בנו מתקן הפלה מיוחד. את אב-הטיפוס של הכן החדש רותמים לעגלה במתקן, המייצגת את המטוס. משקל העגלה הוא כמחצית ממשקל המטוס. העגלה

מנגנוני קיפול ושחרור בחירום

לצורך הקטנת הגרר בטיסה, כניסע הנסע מתקפלים לתוך גחון המטוס או הכנפיים. תהליך הקיפול והקטנת נפח האחסון מודגמים באיורים.



פרק התקנות FAR 25.729 מחייב תיכון קפדני, בטיחותי ואמין של מנגנון הקיפול, וכן יכולת שחרור הכנים בעת חרום, גם כאשר חלק מהמערכות של המטוס מושבתות.

כוחות אופקיים מהאצת הגלגלים

בזמן הנחיתה מואצים גלגלי המטוס, הנמצאים במנוחה, בבת אחת למהירות האופקית של המטוס (לכ-2,000 סל"ד). הכוח שנוצר בגלל האצת הגלגלים הוא כה גדול, שגורם לכיפוף הכן הראשי לאחור בכמה סנטימטרים!

התמונה למטה מראה את הכנים הראשיים של מטוס **בואינג 777** לאחר ההמראה, כאשר כל הגלגלים עדיין סובבים. הגלגלים נמצאים



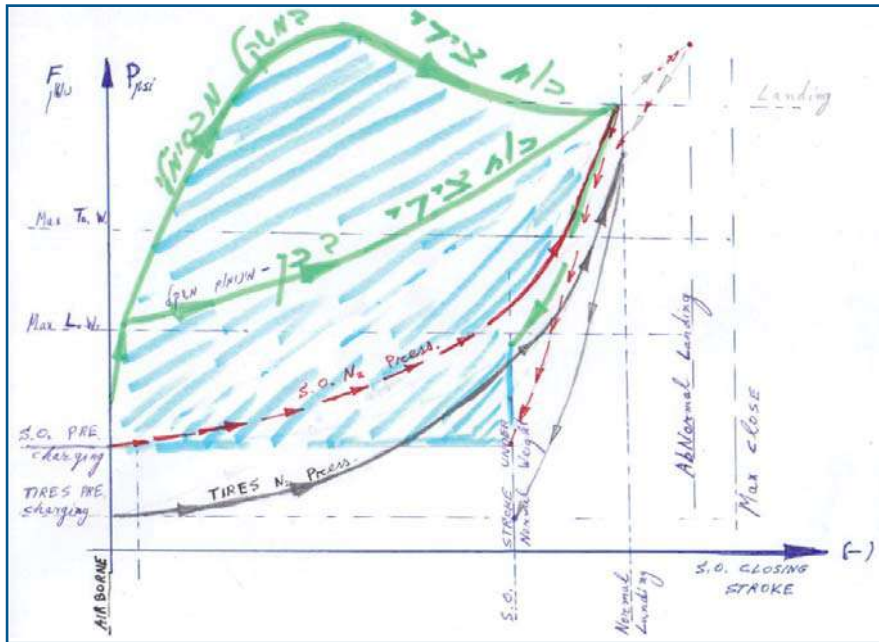
בכתבה זו נסתפק בהעלאת הנקודות החשובות, שאינן מוכרות למהנדס המצוי:

- הכנים הראשיים מתוכננים להיקרע מהמטוס בזמן עומס יתר.
 - המטוס מתוכנן להשלים את הנחיתה גם ללא הכנים.
 - איך מתגברים על הכוחות העצומים שמתפתחים בזמן ההאצה הפתאומית של הגלגלים, וכיצד מודדים את האצת הגלגלים בניסוי הפלה.
 - איך בולעים את האנרגיה הקינטית של בלימה אנכית של המטוס הנוחת, וכיצד מודדים זאת בניסוי הפלה.
- התיכון חייב לענות על כל הדרישות המצוינות ב-FAR 25.723. אנו נעסוק כאן בעיקר במטוסים הכבדים (במשקל המראה מעל 19,000 פאונד – כ-8.6 טון), אשר תוכנו לפי פרק 25 של ה-CFR.

נחיתת גחון על משטח סלול

יש לקיים את הדרישות של FAR 25.721. לדוגמה: מטוס מנהלים סילוני דרמנועי חדש, עם משקל נחיתה של 32,000 פאונד (14.5 טון). הדרישות הללו תקפות לכל המטוסים המיועדים ליותר מ-10 נוסעים. המטוס חייב להיות מסוגל לנחות על גחונו, כך שלא תהיה נזילת דלק שתסכן אותו (יש הרבה דלק בכנפיים ובמכלי הגוף). דרישה זו קיימת גם אם אחד מכניסע הנסע לא נפתח. ראה האיורים למטה.





מאחר והשמן מייצר התנגדות לפי ריבוע הספיקה, וגם ההתנגדות של הצמצם היא לפי ריבוע שטח מעבר השמן, הרי לתכן משכך שייתן נצילות טובה – כלומר: כוח התנגדות כמעט קבוע במהירות סגירה משתנה – זו אמנות! וזו גם הסיבה לכך שהתקנות דורשות ניסוי של כל מערכת השיכוך במסגרת ניסוי ההפלה. רישוי מטוסים ואביזרים חדשים נמצא באחריות רשות התעופה האזרחית (רת"א). **התעשייה האווירית** מתכנתת כניסע ומייצרת אותם. פיתוח כניסע חדש נמשך כ-3 עד 5 שנים. כל תהליך הפיתוח מלווה בפקיח של מהנדסי רשות התעופה האזרחית. □

המשכך ההידראולי ולחיצת הצמיג. בציר Y של הדיאגרמה מסומנים כוחות בכניסע ולחצים בצמיג, במשכך ההידראולי, ובתא החנקן בחלקו העליון של הכן. ציר X מציין את מהלך סגירת המשכך בזמן הנחיתה. מערכת הצמיג בולעת כ-10-15 מאנרגיית הנחיתה, דחיסת החנקן בחלקו העליון של המשכך בולעת כ-20% מהאנרגיה, והמשכך ההידראולי בולע כ-65% מהאנרגיה. יש לזכור, כי התחלת סגירת המשכך מבוצעת במהירות היורדת עם סגירתו, כשהשמן מועבר דרך צמצם קוני, כאשר שטח חתך מעבר השמן משתנה עם סגירת המשכך.

יחד עם הכן הנבדק מופלים בנפילה חופשית מגובה של כ-70 ס"מ אל שולחן כוחות, שהוא בסיס התלוי על מדי עומס. לפני שהגלגל פוגע בבסיס הזה, העגלה פוגשת שתי בוכנות הנתמכות באוויר דחוס, שמתנגדות למשקל העגלה ובכך למעשה מבטלות אותו. לפיכך, המסה של העגלה הנופלת כלפי שולחן הכוחות מדמה מטוס בטיסה.

כפי שהזכרנו, מאיצים את גלגלי כניסע לסל"ד המתאים למהירות הנחיתה, אבל בכיוון הפוך למה שקורה במציאות. ההאצה מבוצעת על-ידי הצמדת גלגל מניע לגלגל הכן הנבדק (הגלגל המניע ייסוג לאחר לפני ביצוע ההפלה). בתמונה למטה רואים את המהנדס עמנואל נהיר – אשר הקים את הנדסת **ה"ל בתעשייה האווירית** – בעת הצמדת הגלגל המניע לכן ראשי של מטוס **כפיר**. בוכנת האוויר המדמה את המצב בטיסה נראית מאחור. רגלו השמאלית של נהיר נמצאת על שולחן הכוחות. המטוסים של היום הם כבדים ומהירים.

לדוגמה: מטוס המטען **בואינג 747-400F** שנמצא בשירות **אל-על** יכול להמריא במשקל של 870,000 פאונד (395 טון) ולנחות במשקל של 652,000 פאונד (296 טון). מהירות הנחיתה היא כ-160 קשר (כ-83 מטר לשנייה), ובקצב שקיעה אנכית של עד 10 רגל לשנייה (3.05 מטר לשנייה), לפי FAR 25.473. חישוב פשוט יראה שיש לספוג 1,376,770 ג'אול.

אם נניח שאנרגיית הנחיתה הזו תתחלק בין ארבעה משככים, ושמהלך המשכך הוא כ-0.3 מטר, הרי הכוח הממוצע בכל משכך יהיה 117 טון. זהו כוח נטו לצורך בליעת האנרגיה (משקל המטוס מאוזן על-ידי כוח העילוי כאשר המטוס נמצא בטיסה).

לצורך תיכון יש לערוך את הדיאגרמה המוצגת משמאל, אשר מסבירה את מהלך הכוחות בכניסע בזמן הנחיתה, וגם מאפשרת את חישובי האנרגיה הנספגת תוך כדי סגירת

הצמדת הגלגל המניע לכניסע הראשי של מטוס **כפיר** (בשנות ה-70').



אוטומציה בבדיקות זרמי ערבולת

בדיקות בשיטת זרמי ערבולת (Eddy Current) ידועות כבדיקות יעילות ומדויקות לרוב, כאשר הן מבוצעות בצורה מדויקת על פי הוראות והנחיות שנבחנו קודם לכן, והמערכת כוילה לפני הבדיקה כנדרש. מסיבה זו, הבדיקות בזרמי ערבולת מיושמות במקרים רבים בתעופה. בדיקת גלגל של מטוס באופן ידני נמשכת כ-2-3 שעות, והביטחון שהגלגל נבדק במלואו לא היה מובטח. בחברת אל-על פתרו את הקשיים המתעוררים בבדיקות ידניות על-ידי תיכון והזמנת מערכת ממוחשבת, הבודקת בבת אחת את כל הגלגל בשני תדרים, תוך כדי סיבוב הגלגל.

ד"ר י.א. פסח ועמיחי פסח מתארים את מערכת הבדיקה בזרמי ערבולת.

הכתבה מוגשת ברשותו האדיבה של **אורן ג'רסי**, מנהל הנדסת מבנה ופנים המטוס באגף הנדסה באל-על.



למעלה: המערכת הכוללת לבדיקה בשיטת זרמי ערבולת. למטה: גלגל במהלך בדיקה עם זוג גשישים.



בדיקות בשיטת זרמי ערבולת נעשות ידנית על שטחים קטנים המוגדרים במפרטים, ו/או בהוראות בדיקה טכניות שנכתבו על-ידי יצרן או מוסמך בדיקות ברמה III (הרמה המקצועית הגבוהה ביותר).

בבדיקות בזרמי ערבולת נתקלים בקשיים כגון:

- הבטחת גילוי אי רציפויות בעומקים שונים.
- התאמת התדירות.
- התגברות על Lift-Off.
- השפעת הצורה הגיאומטרית של החלק הנבדק.
- השפעת השינויים במבנה המטלורגי של החלק הנבדק.
- השפעה של מהירות הבדיקה.
- הבטחה שכל השטח של החלק אכן נבדק ב-100%.

הבעיות שהוזכרו לעיל מחמירות כאשר מדובר בחלק בטיחותי גדול בעל צורה גיאומטרית משתנה, כגון גלגל (ראשי או קדמי) של מטוס. בדיקת 100% של גלגל כזה בצורה ידנית נמשכת כ-2-3 שעות, וגם אז הביטחון שהגלגל נבדק במלואו לא היה מובטח.

בנוסף לכל הקשיים שהוזכרו כבר, קיים קושי נוסף המתייחס לגילוי סדקים ואי-רציפויות גם בצדו השני של דופן הגלגל. כידוע, לגילוי פגמי שטח רצוי להשתמש בתדר גבוה, ואילו לגילוי פגמים בעומק חייבים לעבוד עם תדר נמוך. מבחינה מעשית זה אומר שחייבים לבדוק כל גלגל פעמיים.

בחברת אל-על פתרו את הקשיים הללו על-ידי תיכון והזמנת מערכת ממוחשבת הבודקת בבת אחת את כל הגלגל בשני התדרים (שני גשישים) תוך כדי סיבוב הגלגל.

המערכת כוללת מכשיר לבדיקות בזרמי ערבולת מתוצרת חברת רומן מגרמניה; חומרה ומערכת אוטומציה מתוצרת אנדק בקנדה. בתוכנה עצמה ניתן לאחסן את תוכנית הבדיקה של מספר רב של גלגלים.

אופן הבדיקה:

1. בוחרים על מסך ההפעלה את סוג הגלגל שרוצים לבדוק.
2. מניחים את הגלגל על הבסיס המסתובב

ומסמנים את נקודת ה-0°.

3. מורידים פנאומטית את המוט הממרכז.
4. מפעילים את המערכת. הגלגל מתחיל להסתובב, הגשישים מתקרבים אל הגלגל. הבדיקה מתחילה. הגלגל מסתובב והגשישים מתחילים לרדת תוך כדי כיסוי שטח הגלגל ביותר מ-200%. בגלל הימצאות גשישים על צירים, הם מסוגלים לבדוק כל נקודה גם באזור של כיפוף פני השטח.

תוך כדי הבדיקה, ניתן לעקוב על המסך של מכשיר הבדיקה ועל מסך הפלט ולראות את תוצאת הבדיקה הרגעית.

בתום הבדיקה, הגשישים חוזרים למקומם ההתחלתי ומתקבל הפלט.

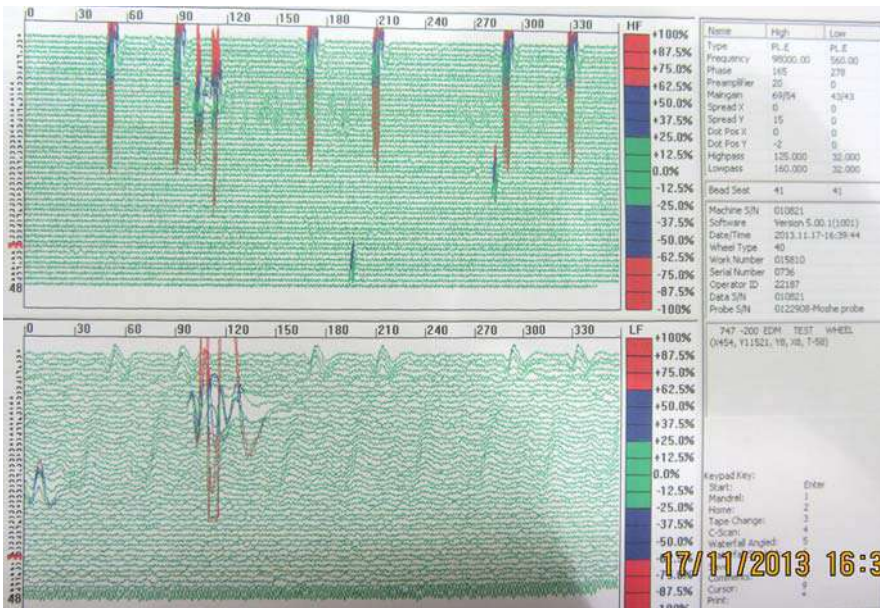
בפלט עצמו (בתמונה משמאל) ניתן לראות תוצאת בדיקה של גלגל עם פגמים מלאכותיים:

- סדקים על פני השטח.
- סדקים בעומק ובצדו השני של דופן הגלגל.
- קדחים קבועים בגלגל.

על כל פלט כתוב: מספר הגלגל; שם הבודק

וזיהוי; תאריך הבדיקה.

משך הבדיקה של כל הגלגל הוא כשתי דקות (לעומת 2-3 שעות בבדיקה ידנית).

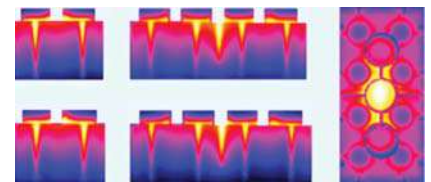


מצלמה תרמית לבקרת איכות בתעשיית הפלסטיק

אלמוג פרי

אלינה טכנולוגיות

בייצור חלקי פלסטיק בהזרקה, פגמים בהזרקה מתבטאים בין היתר בשינויים בטמפרטורת הרכיב בעת יציאתו מהתבנית. המיקום של היווצרות פגם לרוב לא ידוע מראש בצורה מדויקת, לכן נדרשת מצלמה תרמית המסוגלת למפות את הטמפרטורה בכל פני החלק ולאחר פגמים. חברת **מיקרו-אפסילון** פיתחה סדרת מצלמות תרמיות להטמעה במכונות הזרקה בתעשיית הפלסטיקה.



מיפוי תרמי: חמש פאות שונות של חלק פלסטיק ביציאה מתבנית ההזרקה.

יצרניות חלקי פלסטיק בהזרקה נדרשות לעמוד בפני דרישות איכות הולכות וגוברות מצד משתמשי הקצה, בעיקר עבור יישומים בתעשיות הרכב והתעופה. מגמה זו מגבירה את המודעות לחשיבותה של בקרת טמפרטורה בתהליך הייצור מייד לאחר ההזרקה, כאמצעי לשיפור כולל באיכות התוצרים.

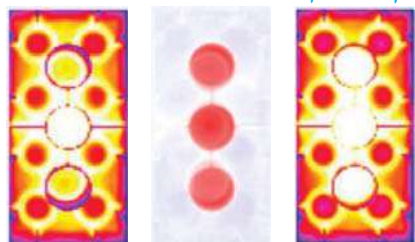
פתרון חדש יחסית לאיתור פגמים באיכות הנגרמים מתהליכי בקרה ירודים על טמפרטורה בתהליך הייצור הוא תרמוגרפיה (דימות תרמי). זהו תחום מדעי העוסק בדימות, אשר מבוסס על העיקרון של קרינת גוף שחור. גוף שחור הוא מונח פיזיקלי המתאר גוף שבוכל באופן מושלם קרינה אלקטרומגנטית בכל אורך גל, כך שאין לו כלל תכונות של

במכונות הזרקה מודרניות תוצר ההזרקה לא מחולץ מהתבנית על-ידי מפעיל המכונה, אלא באמצעות מערכת ייעודית. המערכת מסירה את רכיב הפלסטיק מהתבנית ומעבירה אותו להמשך התהליך, למשל למסוע או מכל. ההעברה האוטומטית כוללת, בפרט ברכיבים קריטיים, הבחנה בין חלקים תקינים לפגומים, כדי למנוע בעיות בהמשך התהליך.

הבדיקה מתבצעת על-ידי מערכת החליצה בזמן שבין הזרקה להזרקה. המערכת מציגה את הרכיב שזה עתה יצא מהתבנית למצלמה התרמית, אשר מצלמת תמונה תת-אדומה של החלק (ניתן לצלם גם ממספר זוויות שונות). לקיחת התמונות מסונכרנת עם מערכת החליצה, שנותנת למצלמה אות לצלם כשהיא מגיעה לעמדות המדידה.

תוכנה ייעודית עבור היישום מקשרת בין מצלמת ה-TIM למערכות הבקרה של מכונת ההזרקה. התוכנה משווה את התמונות מהמצלמה התת-אדומה לתמונת ייחוס של חלק תקין. על בסיס ההבדלים המערכת מחליטה, על פי ערכי סף (טולראנס) שניתנים להגדרה פשוטה, אם החלק תקין. ההחלטה מועברת חזרה אל מערכת המיון שמניחה את המוצר במקום המתאים בהתאם להחלטה.

דוגמה לזיהוי חלק לא תקין על-ידי שימוש במצלמה תרמית TIM-160: משמאל מוצגת מפת הטמפרטורה הרצויה לפי חלק ייחוס תקין; מימין הפרט הנוכחי; ובמרכז מוצגים ההפרשים בין שני חלקים.



החזרה או העברה של קרינה. כל גוף בטבע פולט קרינה אלקטרומגנטית באופן שאינו תלוי בתכונות האופטיות של הגוף, אלא בתלות אך ורק בטמפרטורה. קרינה זו מכונה קרינת גוף שחור.

קרינת גוף שחור מתבצעת בכל אורכי הגל, בעוצמה שמשתנה כתלות באורך הגל ובטמפרטורה, בהתאמה לחוק פלאנק. בטמפרטורה הנמוכה מ-700 מעלות קלווין (כ-430 מעלות צלסיוס), גוף שחור פולט מעט מאוד קרינה באור הנראה, וקורן בעיקר בתדירויות נמוכות יותר, כמו גלי רדיו, מיקרוגל ותת-אדום.

מצלמות תרמיות מבוססות על חיישנים שקולטים ומעבדים את העוצמה ואת אורכי הגל של הקרינה הנפלטת מהגוף המצולם (לרוב בתחום התת-אדום, באורכי גל של 9-14 מיקרון).

בייצור חלקי פלסטיק בהזרקה, המיקום של היווצרות פגם לא ידוע מראש בצורה מדויקת. לכן אי אפשר להסתפק במד טמפרטורה נקודתי, אלא נדרשת מצלמה תרמית המסוגלת למפות את הטמפרטורה בכל פני החלק ולאתר פגמים. כמענה לדרישות אלו פיתחה חברת **מיקרו-אפסילון** הגרמנית את סדרת TIM – מצלמות תרמיות ברזולוציה גבוהה, קומפקטיות ובעלות קצב עבודה מהיר במיוחד, המיועדות לשימוש תעשייתי. אנליזה של תוצרי הזרקה באמצעות מצלמות TIM כבר מיושמת בחברות תעשייתיות רבות.

מצלמה תרמית TIM-160 המוצגת על מערכת חליצה של מכונת הזרקה. הרכיב הנבדק הוא החלק השחור.

