

מור-טק

כתב העת של מרכז המורים
הארצי למקצועות הטכנולוגיים

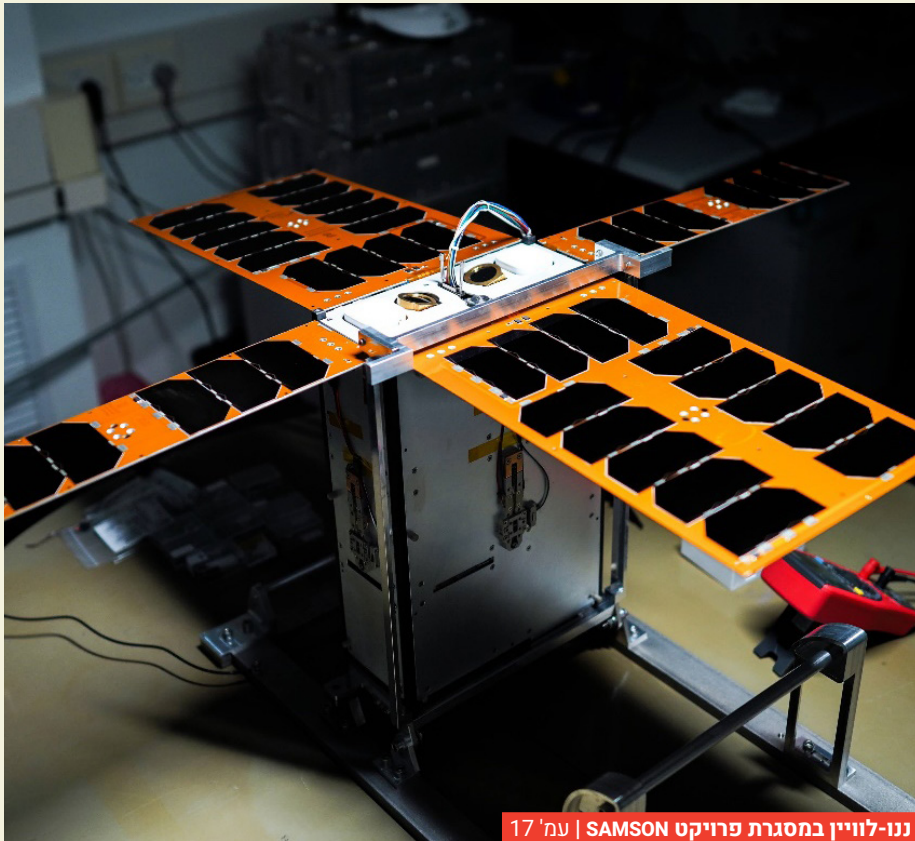
<https://moretech.net.technion.ac.il>

גיליון

17

סיוון תשפ"ג
יוני 2023

מגמות המרכז: הנדסת מכונות • הנדסת חשמל • הנדסת אלקטרוניקה • תחבורה מתקדמת • מדעית טכנולוגית • הנדסת ביוטכנולוגיה



ננו-לוויין במסגרת פרויקט SAMSON | עמ' 17



שיעור בתוכנת אלקטיווד
בית הספר החקלאי כדורי | עמ' 27



המעבדה של מתחם סדנת הרכב
בית הספר החקלאי כדורי | עמ' 29



טכנולוגיה חדשנית ליצירת עדשות אופטיות מורכבות | עמ' 36



בשר מתורבת - חברת מיטאפורה | עמ' 35

הפקולטה לחינוך
למדע וטכנולוגיה
כשמדע וחינוך נפגשים



הטכניון
מכון טכנולוגי לישראל



מל"מ
המרכז הישראלי
לחינוך מדעי
טכנולוגי ע"ש
עמוס דה שליט



המיהל למדע
וטכנולוגיה
ומערכות תקשוב



משרד החינוך
המזכירות הפדגוגית
אגף א' למדעים



הפקולטה לחינוך
למדע וטכנולוגיה
כשמדע וחינוך נפגשים



הטכניון
מכון טכנולוגי
לישראל



מל"מ
המרכז הישראלי לחינוך מדעי טכנולוגי
ע"ש עמוס דה-שליט

המינהל לטכנולוגיה
ומערכות תקשוב



משרד החינוך
המוזכירות הפדגוגית
אגף אי למדעים



© כל הזכויות שמורות למשרד החינוך

מרכז המורים הארצי למקצועות הטכנולוגיים, מור-טק

הפרויקט מבוצע על ידי מוסד הטכניון עפ"י מכרז 22/11.2020

הפרויקט מבוצע עבור המזכירות הפדגוגית, משרד החינוך

כתב העת "מור-טק" יוצא לאור במימון האגף למדעים במזכירות הפדגוגית ומינהלת מל"מ המרכז הישראלי לחינוך מדעי טכנולוגי.

אין לשכפל, להעתיק, לצלם, להקליט, לתרגם, לאחסן במאגר מידע, לשדר או לקלוט בכל דרך או אמצעי אלקטרוני, אופטי או מכני או אחר כל חלק שהוא מהחומר שבחוברת זו. שימוש מסחרי מכל סוג שהוא בחומר הכלול בחוברת זו אסור בהחלט אלא ברשות מפורשת בכתב מהמוציא לאור.

לחברות וחברי מרכז המורים הארצי למקצועות הטכנולוגיים, מור-טק שלום,

הישיבה הראשונה של ועדת היגוי מור-טק לשנת תשפ"ג התקיימה בחודש ינואר בהשתתפות חברי הועדה ובנוכחותן של ד"ר גילמור קשת מאור (מנהלת אגף א' מדעים, משרד החינוך) וד"ר נירית לביא-אלון (מנהלת מרכז "בידנר"). נושא הישיבה: מיומנויות המאה ה-21 וקיימות - כיצד ניתן לשלבם בחינוך ההנדסי-טכנולוגי?

ד"ר נירית לביא-אלון, הציגה את נושא הקיימות וחשיבות שילובו בחינוך הנדסי-טכנולוגי בתיכון ע"י הוראה, הערכה, פיתוח חומרי למידה ועוד (**למצגת לחצו כאן**). ד"ר גילמור קשת מאור הדגישה גם היא את חשיבות הנושא וציינה שהמורים נדרשים להכיר את תחום שינוי האקלים והקיימות על כל בעיותיו. המורים חייבים להיות מודעים לתחום הנ"ל ובמיוחד בעת שהם מנסחים בעיות ואז מוצאים להם פתרונות טכנולוגיים ירוקים שתורמים לשמירה על הסביבה והקלה במשבר האקלים. למילון מונחים בהקשר שינוי אקלים וקיימות באתר משרד החינוך **לחצו כאן**, למפרט תכנים ומיומנויות באותו הקשר **לחצו כאן**. ד"ר גילמור קשת ציינה בדבריה שהתוכנית הינה חובה וכוללת 3 עקרונות: 1. שילוב בתחומי הדעת מגן עד י"ב בהתאם לגיל, כך שבכל שכבה התלמיד יקבל 30 שעות על נושא שינוי אקלים. 2. בכיתה ח' ו-ו' התלמיד מקבל 30 שעות כדיסציפלינה בפני עצמה, דהיינו בגיאוגרפיה בכיתה ח' או במבוא למדעים בכיתה י'. 3. הנעה לפעולה על ידי שילוב בפרויקטים ויוזמות כולל חינוך חברתי.

לסיכום, עיקרי הדברים שעלו: 1. הנושא שינוי אקלים, חינוך סביבתי וקיימות הינו נושא חשוב מאוד. חשוב לשלב בתוכניות הלימודים, בהשתלמויות, בכנסים ולהטמיע אותו בכל דרך אפשרית בקרב צוות הפיקוח, המדריכים הרכזים והמורים של מגמות החינוך הטכנולוגי. חשוב מאוד להכיר את הנושא על כל פניו וללמד את התלמידים נושאים וטכנולוגיות ירוקות רלבנטיות לעתיד, לנסח בעיות הקשורות למשבר האקלים ולפתור בעיות אלו ע"י הצעת פתרונות טכנולוגיים העשויים לשפר את משבר האקלים. היבט זה יכול לבוא לידי ביטוי בפרויקטי הגמר של התלמידים ובכלי ההערכה (מחווניים וקריטריוניים) שמתייחסים לנושא מבחינה אתית, כלכלית, חברתית, חינוכית וכו'. 2. חשוב להקנות לתלמידים את המיומנויות של המאה ה-21, כגון: חשיבה מערכתית ופתרון בעיות אשר מהוות חלק מהמיומנויות החשובות בלימוד נושא זה.

במור-טק מקדמים ומפתחים יוזמה בהקשר כטב"מים – צוות המרכז יחד עם מומחים בתחום מפתחים פלטפורמה סטנדרטית לבניית אב-טיפוס של כלי בלתי מאויש אשר תשרת את מורי.ות ותלמידי.ות המגמות: הנדסת אלקטרוניקה, הנדסת מכונות ותחבורה מתקדמת. תהליך הפיתוח התחיל בשנת תשפ"ב וממשיך בשנה הנוכחית. בחודשים יוני ויולי מתוכננות להתקיים שתי השתלמויות בנושא: הראשונה תתמקד בהקניית הידע התיאורטי והשנייה תהווה פעילות סדנאית להתנסות המורים בתהליך הבנייה והפיתוח. ישר כח והערכה גדולים לכל הצוות הפועל לפיתוח וקידום הפרויקט (ראו הכתבה עמ' 20). בנוסף, בגיליון הנוכחי תמצאו כתבות בנושאים שונים, כגון: מהות ההנדסה (עמ' 1), קורס בין תחומי במעגלים אלקטרוניים לשיפור הישגי סטודנטים (עמ' 9). בסוף הגיליון, מוצגים מחקרים ישראלים מטעם דוברות הטכניון.

לסיום, נשמח לקבל מכם.ן משוב, ולהתעדכן בפעילויות מעניינות בבתי הספר, כמו סיורים, תחרויות, או כנסים, ולשתף את קהילת המורים על ידי הוצאתן לאור בגיליונות הבאים.

קריאה מהנה ונעימה

עורכת אחראית:

ד"ר אמונה אבו-יונס עלי, מנהלת מרכז המורים הארצי למקצועות הטכנולוגיים, מור-טק, הפקולטה לחינוך למדע וטכנולוגיה, הטכניון

חבריות המערכת:

פרופ' אמריטה יהודית דורי, ראש מרכז המורים הארצי למקצועות הטכנולוגיים, מור-טק, הפקולטה לחינוך למדע וטכנולוגיה, הטכניון

פרופ' מרים ברק, הפקולטה לחינוך למדע וטכנולוגיה, הטכניון

ד"ר אהרון גרו, ראש המסלול לחינוך הנדסי, הפקולטה לחינוך למדע וטכנולוגיה, הטכניון

ד"ר אהרון שחר, מנהל אגף טכנולוגיה מגמות מדעיות הנדסיות, מינהל מדע וטכנולוגיה, משה"ח

יועץ אקדמי:

פרופ' עומר יחזקאלי, הפקולטה להנדסת ביוטכנולוגיה ומזון, הטכניון

כתובת המערכת:

מרכז המורים הארצי למקצועות הטכנולוגיים, מור-טק, הפקולטה לחינוך למדע וטכנולוגיה
טל': 073-3783146
קריית הטכניון
חיפה 3200003

moretech@ed.technion.ac.il

<https://moretech.net.technion.ac.il/>

תוכן העניינים

מהות ההנדסה: הצעה למסגרת פדגוגית לקידום חינוך הנדסי בבתי הספר פרופ' מרים ברק.....	1
קידום הישגים של סטודנטים להנדסת חשמל ומחשבים: קורס בין תחומי במעגלים אלקטרוניים ד"ר אהרון גרו ובטו כץ	8
כשהוראה, תעשייה וחלל חוברים יחדיו - ראיון עם יעקב הרשקוביץ ד"ר אורית הרשקוביץ.....	13
קווים מנחים לפיתוח עתידי של חומרי לימוד בנושא כלים בלתי מאוישים - תחרות פרויקטים ד"ר שחף רוקר יואל, ד"ר אמונה אבו-יונס עלי ופרופ' יהודית דורי.....	19
פעילויות ממגמות המרכז - מדברים מהשטח ד"ר אמונה אבו-יונס עלי	26
נגיעות ממחקרים מובילים בטכניון דוברות הטכניון.....	34

מהות ההנדסה: הצעה למסגרת פדגוגית לקידום חינוך הנדסי בבתי הספר

פרופ' מרים ברק
הפקולטה לחינוך למדע וטכנולוגיה
הטכניון - מכון טכנולוגי לישראל

תקציר

בשנים האחרונות גוברת ההכרה בצורך לקדם אוריינות הנדסית אצל תלמידים בבית הספר, מתוך הבנת נחיצותה לקיומה של חברה מודרנית מוכוונת טכנולוגיה. אנשי חינוך טוענים לצורך בהבנת 'מהות ההנדסה' (Nature of Engineering) כבסיס לחינוך הנדסי מעמיק. עם זאת, קיים דיון מתמשך לגבי המשגה של 'מהות ההנדסה' ודרכי ההוראה שיש ליישם כדי ללמד תחום דעת זה באופן משמעותי. המאמר הנוכחי מציג דוחות בינלאומיים ומחקרים עדכניים בתחום החינוך ההנדסי בבתי הספר. המאמר דן באפיון 'מהות ההנדסה' בעזרת גישת הדמיון המשפחתי, תוך התייחסות לארבע היבטים: מטרות וערכים, ידע הנדסי, כללים מתודולוגיים ופרקטיקות הנדסיות. המאמר דן בהבדלים בין הנדסה, מדע וטכנולוגיה ודן במורכבות ההוראה והלמידה של המקצוע שדורש הבנה מעמיקה של חוקים פיסיקליים, מודלים מתמטיים, תיאוריות מדעיות וחשיבה חדשנית ומערכתית. בהתבסס על גישת הדמיון המשפחתי, מאמר זה מספק מסגרת לדיון על 'מהות ההנדסה'.

מבוא

דוחות בינלאומיים ומחקרים עדכניים בתחום החינוך ההנדסי הטרום-אוניברסיטאי דוגלים בשילובו בתכנית הלימודים החל מגילאים צעירים (Cunningham et al., 2020; AE3 & ASEE, 2020; NASEM, 2020). החשיבות לכך נובעת משלוש סיבות עיקריות: ראשית, החינוך ההנדסי מרכזי לקיומה של חברה מודרנית ולכלכלה ברת-קיימא (NAGB, 2018; NGSS Lead States, 2013); שנית, לימודי הנדסה כוללים מיומנויות כמו פתרון בעיות, חשיבה מערכתית, יצירתיות וחדשנות, שהן מרכזיות לפיתוח דמות הבוגר (Bark & Yuan, 2021; Lavi & Dori, 2019; NASEM, 2020); שלישית, קיים מחסור מתמשך במהנדסים, ומקצועות ההנדסה מוגדרים כמשרות בעדיפות לאומית (NAGB, 2018; NASEM, 2020). כיוון שהחינוך ההנדסי דרוש לקיומה של חברה מוכוונת טכנולוגיה, מפתיע שרק חלק ממערכות החינוך בעולם משלבו בתוכניות הלימוד בבתי הספר (AE3 & ASEE, 2020). אחת הסיבות לכך היא ששילוב תכנים הנדסיים בתוכניות הלימוד נעשית על ידי מומחים בעלי רקע דיסציפלינרי מגוון וכתוצאה מכך קיימים הבדלים בגישות הפדגוגיות ובדרך שילוב המקצוע (Purzer, et al., 2021; AE3 & ASEE, 2020; Cunningham et al., 2020). סיבה נוספת היא שאנשי חינוך עדיין מתלבטים בשאלות כגון: אילו מושגים ומיומנויות הנדסיות יש ללמד בבתי ספר? באילו גישות פדגוגיות להשתמש? האם יש ללמד הנדסה כדיסציפלינה נפרדת או כחלק מתכנית הלימודים במדעים? כיצד ניתן להכשיר מורים ללמד הנדסה? כדי לענות על שאלות אלו, עלה הצורך לענות על שאלה בסיסית יותר והיא: מהי 'מהות ההנדסה'? לאור זאת, מטרת מאמר זה היא להציע מסגרת להמשגה של 'מהות ההנדסה' כאנלוגיה ל'מהות המדע' דרך העדשה של 'גישת הדמיון המשפחתי' (Barak et al., 2022).



חינוך הנדסי בתכנית הלימודים במדע בבתי ספר

לאור החשיבות של לימודי הנדסה בבתי ספר, פורסמו מספר דוחות בינלאומיים שכללו סטנדרטים לחינוך הנדסי וטכנולוגי (ITEA, 2007; NAGB, 2018; NGSS Lead States, 2013). לדוגמה, מסמך הסטנדרטיים האמריקאי ללימודי מדע (NGSS Lead States, 2013), הציע לשלב פרקטיקות הנדסיות בתכנית הלימודים כדי להגדיל את הבנת התלמידים והתעניינותם במדעים. פרקטיקות אלו כוללות את היכולת להגדיר מדדים ואילוצים של בעיה הנדסית, להציע ולהעריך פתרונות אפשריים, לנתח נתונים ולזהות את הפתרון הטוב ביותר, ולפתח דגם של תוצר או תהליך. בדומה, המועצה הלאומית להערכה בארה"ב (NAGB, 2018) הציעה שורה של סטנדרטים לקידום אוריינות טכנולוגית-הנדסית, כגון פתרון בעיות, חשיבה מערכתית, חילופי רעיונות, הצגת תוצר ועוד. מסמכים אלו מדגישים את החשיבות של הבנת תהליך התכנון ההנדסי כתהליך איטרטיבי של פיתוח מוצר, טכנולוגיה, ו/או מערכת במטרה לענות על צורך מסוים של האדם ו/או החברה. בנוסף, קיים דגש גם על הקשר בין התכנון ההנדסי לחינוך מדעי ומתמטי. חלק מהמסמכים והמחקרים מעלים את הקושי ביצירת הבחנה ברורה בין הנדסה, מדע וטכנולוגיה (Barak et al., 2022; Cunningham et al., 2020; NAGB, 2018). באופן תמציתי, ניתן להגדיר 'מדע' כמחקר שיטתי, יסודי ואובייקטיבי של הטבע והעולם הפיזי שנעשה באמצעות תצפיות, ניסויים, פיתוח מודלים ועוד (Erduran & Dagher, 2014; NGSS Lead States, 2013). בעוד שה'הנדסה' עוסקת בפתרון בעיות ו/או מתן מענה לצרכים של האדם והחברה בעזרת תהליך התכנון (NAGB, 2018). לעומת זאת, ה'טכנולוגיה' היא התוצר של התהליך הנדסי, כמו גם הכלים והמערכות שמהנדסים משתמשים בהם כדי לפתור בעיות ולתת מענה לצרכים של האדם והחברה (ABET, 2019; NAGB, 2018). למרות קיומם של תכניות לקידום חינוך הנדסי בבתי הספר בארץ ובעולם, כגון אלו המוזכרות לעיל, תלמידים רבים מסיימים שתיים-עשר שנות לימוד ללא חשיפה או עם חשיפה מועטה למושגים בתחום ההנדסה (כך, סבירסקי ודורי, 2018; Purzer, et al., 2021; Pleasants & Olson 2019). הספרות מספקת שלושה הסברים עיקריים לתופעה זו. ראשית, קיים מספר מצומצם של מורים בעלי רקע הנדסי, שכן בעלי תואר בהנדסה כמעט ולא בוחרים בקריירת הוראה (Purzer, et al., 2021). שנית, יש מספר מצומצם של תכניות להכשרת מורים בחינוך הנדסי (NASSEM, 2020). שלישית, דיסציפלינת ה'הנדסה' כוללת מגוון של מקצועות (כגון, הנדסת מכונות, כימית, אזרחית, ביו-רפואית ועוד) הדורשים יישום של מדעים ומתמטיקה ברמות הגבוהות ביותר, כך שההוראה והלמידה של מקצועות אלו מורכבים במיוחד (Barak & Usher, 2022; Pleasants & Olson, 2019). לפיכך, מורים עם השכלה הנדסית מועטה או ללא השכלה הולמת עשויים שלא לעמוד בדרישות לקידום חינוך הנדסי בבתי הספר (Purzer, et al., 2021).

אפיון 'מהות ההנדסה' בעזרת גישת הדמיון המשפחתי

גישת הדמיון המשפחתי (Family Resemblance Approach-FRA) מהווה מסגרת תיאורטית ומעשית להמשגה של 'מהות ההנדסה', כאנלוגיה ל'מהות המדע'. בהתבסס על עבודתם של Irzik ו-Nola (2011) ומחקרי המשך, גישת הדמיון המשפחתי מתארת 'מדע' כמשפחה של דיסציפלינות



(פיסיקה, כימיה, ביולוגיה ועוד) החולקות היבטים מרכזיים דומים, אך כל אחת מהן ייחודית ומעט שונה (Erduran & Dagher, 2014; Irzik & Nola, 2011). גישה זו הוכרה כמסגרת פדגוגית יעילה ומאחדת להמשגה של 'מהות המדע' (Erduran & Dagher, 2014) ובשנים האחרונות הוא הורחב לדיון על 'מהות STEM' – כלומר, מהות המדע, טכנולוגיה, הנדסה ומתמטיקה' (Erduran, 2020). בהסתמך על כך, המאמר הנוכחי נעזר בגישת הדמיון המשפחתי לאפיון של 'מהות ההנדסה', באמצעות ארבע היבטים: מטרות וערכים, ידע הנדסי, כללים מתודולוגיים ושיטות הנדסיות, כפי שמפורט בהמשך.

א. מטרות וערכים

מהנדסים, בדומה למדענים, מונחים על ידי מטרות וערכים כגון שיקול דעת, דיוק ויצירתיות (AE3 & ASEE, 2020; NASEM, 2020). ההנדסה, כדיסציפלינה כללית, עוסקת במענה לצרכי האדם והחברה, בתכנון ופיתוח של מוצרים, מבנים ומערכות נתונים, ובחיפוש אחר הזדמנויות חדשות תוך התייחסות לצרכי השוק המשתנים (ABET, 2019; Barak & Usher, 2022). בדיון על המטרות והערכים של המדע, Erduran ו-Dagher (2014) העלו את הרעיון שהמדע נתמך על ידי שבעה עקרונות עיקריים: (א) חדשנות - חיפוש אחר הסברים חדשים, (ב) דיוק - הצגה קפדנית של הסברים ומתן פרשנות מדויקת, (ג) אובייקטיביות - הקפדה על ניטרליות והימנעות מהטיה, (ד) הלימה אמפירית - ביסוס טענות על עובדות ונתונים רלוונטיים, (ה) בחינה ביקורתית - מתן נימוקים להצדקת טענות, (ו) התייחסות לחריגות - זיהוי רעיונות מנוגדים ומתן תגובה מבוססת לממצאים חריגים, (ז) מתן מענה לאתגרים - הצגת פרשנות ויצירת תוצאות ברות קיימא (Erduran & Dagher, 2014; Erduran, 2020). מטרות וערכים אלה ניתן לייחס להנדסה; עם זאת, בעוד שהמטרה העיקרית של המדע היא בניית ידע על מהות העולם, ההנדסה מתמקדת בשיפור מוצרים ו/או יצירת תוצרים חדשים בדגש על יישום מסחרי, כפי שמפורט בטבלה 1.

טבלה 1. מטרות וערכים של תחום ההנדסה' ודוגמאות למשימות לימודיות

מטרות וערכים	חינוך הנדסי: דוגמאות למשימות לימודיות
חדשנות	חיפוש רעיונות יצירתיים לפתרון בעיה הנדסית ויצירת תוצר מעשי ויעיל ליישום.
דיוק	הקפדה על דיוק בתהליכי התכנון והפיתוח של מוצר.
אובייקטיביות	יישום גישה רציונלית נטולת הטיות לתהליך התכנן ומציאת פתרון ישים לצרכי האדם והחברה.
הלימה אמפירית	יצירת פתרונות טכנולוגיים ההולמים את האנשים והחברה בה הם חיים.
בחינה ביקורתית	הערכת התאימות והאיכות של תהליך התכנון, המידול המוצר הסופי, ביצוע ניתוח מערכות וקבלת החלטות.
התייחסות לחריגות	הכרה בפתרון המתאים ביותר במסגרת המגבלות הקיימות כגון, המשאבים האפשריים, הטכנולוגיה הקיימת, בטיחות ועלויות.
מתן מענה לאתגרים	טיפול באילוצים כלכליים, סביבתיים, חברתיים ואתיים כדי ליצור תוצאות הנדסיות ברות קיימא.



בעוד שידע מדעי נחשב כ"תוצר" של פעילות מדעית (Erduran & Dagher, 2014; Irzik & Nola, 2011), ידע הנדסי הוא פועל יוצא של תהליך התכן שעוסק בתכנון וייצור מוצר (NAGB, 2018; NASEM, 2020). ידע הנדסי מורכב מהבנה מעמיקה של חוקים פיסיקליים, מודלים מתמטיים, תיאוריות מדעיות וחשיבה חדשנית ומערכתית (Lavi & Dori, 2019; NAGB, 2018). ידע זה כולל נושאים בתחום התיכנות והמחשוב, משוואות דיפרנציאליות, פונקציות מורכבות, תרמודינמיקה, מכניקת מוצקים וזורמים, מערכות ואותות חשמליים ועוד. לכל דיסציפלינה הנדסית, כגון הנדסה אזרחית, הנדסת מכונות, הנדסה כימית, הנדסת נתונים, קיים ידע מקצועי ייחודי לטכנולוגיה בה משתמשים, לתהליכי הייצור ולתוצרים. ידע הנדסי מספק תיאורים הגיוניים ושיטתיים של אופן הפעולה לפיתוח טכנולוגיה חדשנית ומוצרים מעשה ידי אדם, ופותח אפשרות לחידושים והתפתחויות נוספות (Barak et al., 2022; Barak & Usher, 2022). ידע זה מקדם פיתוח של מוצרים מוחשיים ולא מוחשיים כאחד. מוצרים מוחשיים כוללים כלי תחבורה, רובוטים, מחשבים וכדומה. מוצרים לא מוחשיים כוללים פיתוח שורות קוד, רישום פטנטים, פיתוח דרכים לניהול ממוחשב של מערכות מורכבות בתעשייה, וכדומה.

ג. כללים מתודולוגיים

כללים מתודולוגיים מתייחסים למגוון ההנחיות והגישות שבהן משתמשים מדענים כדי להבטיח תוצר מדויק ומהימן (Erduran & Dagher, 2014). בעוד שתהליכי החקר או המחקר המדעי נתפסים כייצוג של המתודולוגיה המדעית, תהליכי התכן נתפסים כייצוג של המתודולוגיה ההנדסית. קיימים מספר רב של מקצועות הנדסיים, וברוח גישת הדמיון המשפחתי, כל אחת מהדיסציפלינות דומה בהיבטים מתודולוגיים מסוימים, אך גם שונה וייחודית, בעיקר בטכנולוגיה ובתוצרים. באופן גס, ניתן לחלק את מקצועות ההנדסה לארבעה תחומים מרכזיים: חומרים, מכונות, מבנים ונתונים (איור 1).



איור 1. חלוקת מקצועות ההנדסה לארבעה תחומים מרכזיים

מבנים – מקצועות הנדסה שכוללים תכנון ובנייה של מבנים ותשתיות, כגון כבישים, מסילות, מערכות ביוב וסכרים, כדי לתת מענה לצרכים האנושיים ולפתור בעיות חברתיות (ABET, 2019);



(NASEM, 2020). זה התחום ההנדסי העתיק ביותר, כשדוגמאות לכך הן הפירמידות במצרים ובפרו ואמות המים מתקופת האימפריה הרומית. מהנדסים בתחום זה עוסקים בזיהוי מבנה השטח, בחינת חומרי הבנייה המתאימים והכמויות כך שהמבנה יעמוד בעומס תפעולי, מתן מענה לפגעי מזג האוויר, רעידות אדמה ולכוחות פנימיים וחיצוניים אחרים. התכנון והפיתוח של מבנים ותשתיות אופייניים להנדסה אזרחית, הנדסת מבנים ואדריכלות.

מכונות – מקצועות הנדסה שכוללים שימוש ופיתוח של מכשירים וכלים מכאניים מורכבים על מנת לבצע משימות הדורשות העברת כוח (ABET, 2019; ITEA, 2007). מהנדסים בתחום זה עוסקים בפיתוח מכשור מכני העושה שימוש במנועים, מכשור הידראולי העושה שימוש בנוזלים כגון מים או שמן, שימוש בתמסורת פניאומטית באמצעות גז דחוס ועוד. פיתוח מכשירים אופייני לתחומי הנדסיים רבים כגון הנדסת מכונות, הנדסה ביו-רפואית, הנדסת אווירונאוטיקה וחלל והנדסה ימית (ITEA, 2007; NASEM, 2020). תחומי הנדסה אלו כוללים ייצור מנועים, משאבות, מנופים, כלי תחבורה, מערכות חימום וקירור, רובוטים ועוד.

חומרים – מקצועות הנדסה שכוללים שימוש ומניפולציה של חומרים שונים בכל מצבי הצבירה - מוצקים, נוזלים וגזים, לפיתוח מוצרים שימושיים. תחום זה עוסק בתהליכים כימיים בקנה מידה גדול כפי שנעשה במפעלים פטרוכימיים, ועד לשימוש במיקרואורגניזמים ופיתוח של ננו-חומרים (ITEA, 2007; NASEM, 2020). מהנדסים בתחום זה עוסקים בפיתוח וייצור של חומרים לתעשיית התרופות, דשנים ומזון, תעשיית הפולימרים, קרמיקה, מתכות, מוליכים למחצה ועוד. היצירה והשימוש בחומרים אופייניים לתחומי הנדסה כגון הנדסה כימית, הנדסת חומרים, הנדסה גרעינית, הנדסה גנטית, הנדסת מזון ועוד.

נתונים – מקצועות הנדסה שכוללים פיתוח ושימוש בנתונים דיגיטליים מבוססי מחשב ויצירה ומניפולציה של אותות חשמליים בצורה של סמלים או תווים (ABET, 2019; ITEA, 2007). באמצעות רצף של הוראות בשם "אלגוריתם", מהנדסים משתמשים במערכות קידוד בינאריות כדי לחשב ולעבד נתונים ולאחסן אותם בשרתים. תחום הנדסה זה הינו חדש יחסית והוא כולל טכניקות איסוף, ניתוח ועיבוד נתונים להבנת תהליכים וקבלת החלטות (ABET, 2019; NASEM, 2020). מהנדסי נתונים עוסקים בסינתזה, בקידוד ובפענוח של אותות דיגיטליים, ובשידור וקבלה של נתונים ממקורות שונים כגון מערכות מיקום גלובליות. הם עוסקים ביצירת תוכנות, מערכות בקרה, אבטחת סייבר, בינה מלאכותית ועוד. יצירה ושימוש בנתונים ממוחשבים ניתן למצוא בתחומים הנדסיים רבים, אך הוא אופייני להנדסת מחשבים, הנדסת חשמל והנדסת מערכות.

ד. שיטות הנדסיות

שיטות ודרכי פעולה בהנדסה, או במילים אחרות – 'פרקטיקות הנדסיות' כוללות, בין היתר: הגדרת בעיה או צורך, שימוש במודלים מתמטיים להצגת פתרונות אפשריים, הערכה ובחירת הפתרון המתאים ביותר במגבלות המשאבים הקיימים (AE3 & ASEE, 2020; Barak et al., 2022; NASEM, 2020). שיטות הנדסיות כוללות שיקולים של היתכנות טכנולוגית, מחיר פיתוח המוצר, גודל ומראה המוצר, בטיחות השימוש ועמידה בדרישות החוק. למעשה, הן כוללות תהליך מורכב של איזון בין קריטריונים מתחרים, כגון עלויות אל מול בטיחות, שימושיות אל מול אסתטיקה ועוד. ניתן לשלב פרקטיקות אלו, במגוון משימות לימודיות מותאמות גיל, כגון: א. פעילות לזיהוי בעיה



ו/או צורך של אוכלוסיות מסוימות, כמו אנשים עם נכויות ו/או צרכים מיוחדים, תינוקות, מבוגרים, שימור החי והצומח ועוד, ב. הגדרה של המשאבים הדרושים, המפרט הטכני, החומרים, הציוד ואילוטי המערכת, ג. ציון פתרונות אפשריים באמצעות מודלים הנדסיים, ד. הערכת המשאבים הזמינים, בטיחות ועלויות הפיתוח, ה. זיהוי הפתרון הטוב ביותר ותכנון מוצר לדוגמה, ו. הצעת אסטרטגיה שיווקית וקמפיין פרסומי. אחת הדרכים לעשות זאת היא באמצעות למידה מבוססת-פרויקטים המקדמת עבודת צוות ושיתופי פעולה (Barak & Usher, 2022; Barak et al., 2022).

סיכום

בהתבסס על הרעיון שחינוך מדעי בבתי הספר מועשר על ידי הבנה עמוקה של 'מהות המדע' (Erduran & Dagher, 2014; Irzik & Nola, 2011), מאמר זה דן בצורך לקדם את ההמשגה של 'מהות ההנדסה', כאמצעי לטיפוח אוריינות הנדסית אצל תלמידים. המאמר דן בהבדלים בין הנדסה, מדע וטכנולוגיה ומציג דוחות בינלאומיים המציעים דרכים מגוונות לקידום חינוך הנדסי בבתי הספר. במאמר זה נעשה שימוש בגישת הדמיון המשפחתי כאמצעי לאפיין את 'מהות ההנדסה', תוך התייחסות לארבע היבטים: מטרות וערכים, ידע הנדסי, כללים מתודולוגיים ופרקטיקות הנדסיות. בנוגע ל'מטרות וערכים', המאמר מציג שבעה עקרונות עיקריים, החל מחדשנות ודיוק ועד בחינה ביקורתית של תוצרים. בנוגע ל'ידע הנדסי', המאמר דן במורכבות המקצוע שדורש הבנה מעמיקה של חוקים פיסיקליים, מודלים מתמטיים, תיאוריות מדעיות וחשיבה חדשנית ומערכתית (Barak & Usher, 2022; Lavi & Dori, 2019; NAGB, 2018). בנוגע ל'כללים מתודולוגיים', המאמר מתאר ארבעה תחומי הנדסה מרכזיים: מבנים, מכונות, חומרים ונתונים, כל אחד מאופיין בדרך ייחודי על ידי הטכנולוגיה בה משתמשים והתוצר המתקבל. בנוגע ל'פרקטיקות הנדסיות' המאמר מציג דוגמאות למשימות לימודיות לקידום הבנת תהליכי התכנון הנדסי, כגון פעילות לזיהוי צרכים של האדם ו/או החברה בה אנו חיים, הגדרה של המשאבים הדרושים, זיהוי הפתרון הטוב ועוד. בהתבסס על גישת הדמיון המשפחתי, מאמר זה עשוי לשמש מסגרת להמשך דיון על 'מהות ההנדסה' והדרכים לקידום החינוך הנדסי בבתי הספר.

מאמר זה מתבסס על:

Barak, M., Ginzburg, T., & Erduran, S. (2022). Nature of engineering: A cognitive and epistemic account with implications for engineering education. *Science & Education*, DOI:10.1007/s11191-022-00402-7.

מקורות

כץ, ב., סבירסקי, ח. ודורי, י. (2018). תכנון הנדסי - פעילויות מבוססות סרטונים להוראת תהליך התיכון הנדסי בהוראת "מדע וטכנולוגיה לכל". אוגדן למורה. הפקולטה לחינוך למדע וטכנולוגיה. טכניון, חיפה. https://meyda.education.gov.il/files/Mazkirut_Pedagogit/Motav/heker-tichun/ogdantichunsirtonim2019.pdf

Accreditation Board for Engineering and Technology [ABET] (2019). Criteria for accrediting engineering programs. Retrieved April 5, 2023, from <https://www.abet.org/wp-content/uploads/2020/09/EAC-Criteria-2020-2021.pdf>



- Advancing Excellence in P–12 Engineering Education, & The American Society for Engineering Education [AE3 & ASEE]. (2020). *Framework for P–12 engineering Learning: A defined and cohesive educational foundation for P–12 engineering*. Washington, DC: American Society for Engineering Education. DOI:10.18260/1-100-1153-1
- Barak, M. & Usher, M. (2022). The innovation level of engineering students' team projects in hybrid and MOOC environments. *European Journal of Engineering Education*, 47(2), 299–313.
- Barak, M. & Yuan, S. (2021). A cultural perspective to project-based learning and the cultivation of innovative thinking. *Thinking Skills and Creativity*, 39, 100766.
- Barak, M., Ginzburg, T., & Erduran, S. (2022). Nature of engineering: A cognitive and epistemic account with implications for engineering education. *Science & Education*, DOI:10.1007/s11191-022-00402-7
- Cunningham, C. M., Lachapelle, C. P., Brennan, R. T., Kelly, G. J., Tunis, C. S. A., & Gentry, C. A. (2020). The impact of engineering curriculum design principles on elementary students' engineering and science learning. *Journal of Research in Science Teaching*, 57(3), 423–453.
- Erduran, S. (2020). Nature of “STEM”? Epistemic Underpinnings of Integrated Science, Technology, Engineering, and Mathematics in Education. *Science & Education*, 29, 781–784.
- Erduran, S., & Dagher & Z. (2014). *Reconceptualizing the nature of science for science education*. Dordrecht: Springer.
- International Technology Education Association [ITEA] (2007). *Standards for Technological Literacy: Content for the Study of Technology*, 3rd ed. Reston, VA: International Technology Education Association. Retrieved January 25, 2023, from <https://www.iteea.org/File.aspx?id=67767&v=b26b7852>
- Irzik, G., & Nola, R. (2011). A family resemblance approach to the nature of science for science education. *Science & Education*, 20(7), 591-607.
- Lavi, R., & Dori, Y. J. (2019). Systems thinking of pre- and in-service science and engineering teachers. *International Journal of Science Education*, 41(2), 248-279.
- National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine [NASEM]. (2020). *Building Capacity for Teaching Engineering in K-12 Education*. Washington, DC: The National Academies Press.
- National Assessment Governing Board [NAGB]. (2018). *Technology & Engineering Literacy Framework for the 2018*. National Assessment of Educational Progress. Retrieved January 25, 2023, from <http://files.eric.ed.gov/fulltext/ED594359.pdf>
- Next Generation Science Standards [NGSS] Lead States. (2013). *Next Generation Science Standards: For States, By States*. Washington, DC: The National Academies Press.
- Pleasant, J., & Olson, J. K. (2019). What is engineering? Elaborating the nature of engineering for K-12 education. *Science Education*, 103(1), 145–166.
- Purzer, S., Quintana-Cifuentes, J., & Menekse, M. (2022). The honeycomb of engineering framework: Philosophy of engineering guiding precollege engineering education. *Journal of Engineering Education*, 111, 19–39.



קידום הישגים של סטודנטים להנדסת חשמל ומחשבים: קורס בין תחומי במעגלים

אלקטרוניים

ד"ר אהרון גרו ובטו כץ
הפקולטה לחינוך למדע וטכנולוגיה
הטכניון – מכון טכנולוגי לישראל

תקציר

באופן מסורתי, אלקטרוניקה אנלוגית (תקבילית) ואלקטרוניקה דיגיטלית (ספרתית) נלמדות בנפרד באקדמיה. לאחרונה, הרלוונטיות של שבבים המכילים מעגלים אנלוגיים ודיגיטליים גם יחד גדלה באופן ניכר. לפיכך, הפקולטה להנדסת חשמל ומחשבים (הטכניון – מכון טכנולוגי לישראל) החליטה לשלב שני קורסים יסוד, הראשון עוסק באלקטרוניקה אנלוגית והשני באלקטרוניקה דיגיטלית, לקורס יחיד "מעגלים אלקטרוניים" המאחד את שני התחומים. המחקר המוצג כאן בחן האם גישה בין תחומית זו מקדמת למידה בהשוואה לגישה המסורתית, המפרידה בין התחומים. במחקר, שעשה שימוש בכלים כמותיים, השתתפו 156 סטודנטים להנדסת חשמל ומחשבים. על פי התוצאות, הישגיהם של סטודנטים שלמדו בגישה הבין תחומית היו גבוהים באופן מובהק מאלו של חבריהם שלמדו בדרך המסורתית. ממצאי המחקר עשויים לשפר את הכשרתם של מהנדסים ותלמידי תיכון המתמחים בהנדסה.

מבוא

שני הענפים המרכזיים של האלקטרוניקה הם האלקטרוניקה אנלוגית (תקבילית) ואלקטרוניקה דיגיטלית (ספרתית). הגם ששניהם חולקים את אותם התקנים פיסיקאליים, כל ענף מתבסס על הנחות שונות, משתמש במודלים שונים ויש לו מטרות שונות. באקדמיה נהוג ללמד כל תחום בנפרד, ומקובל שסטודנטים מתמחים באחד משני תחומים אלה (Haskell, Hanna & Morrell, 2008). לאחרונה, הרלוונטיות של שבבים המכילים מעגלים אנלוגיים ודיגיטליים גם יחד גדלה באופן ניכר (Nestor & Rich, 2003). לפיכך, יתכן שעדיף ללמד מעגלים אלקטרוניים בגישה בין תחומית המשלבת את שני הענפים.

לאור האמור לעיל, הפקולטה להנדסת חשמל ומחשבים (הטכניון – מכון טכנולוגי לישראל) החליטה לשלב שני קורסים יסוד, הראשון עוסק באלקטרוניקה אנלוגית והשני באלקטרוניקה דיגיטלית, לקורס יחיד "מעגלים אלקטרוניים" המאחד את שני התחומים. קורס זה, שהוא חובה לסטודנטים להנדסת חשמל ומחשבים, מתמקד בניתוח מעגלים אלקטרוניים מנקודות המבט האנלוגית והדיגיטלית תוך הדגשת יחסי הגומלין ביניהן. חשוב לציין כי במרבית האוניברסיטאות בעולם מעגלים אלקטרוניים נלמדים בגישה המסורתית, המפרידה בין התחומים, אולם במספר מוסדות מצומצם (כמו, MIT) מוצע קורס בגישה בין תחומית.

המחקר המתואר במאמר בחן, בעזרת כלים כמותיים, האם גישה בין תחומית בהוראת מעגלים אלקטרוניים (המשלבת בין אלקטרוניקה אנלוגית ודיגיטלית) מקדמת למידה בהשוואה לגישה המסורתית (המפרידה בין אלקטרוניקה אנלוגית לבין אלקטרוניקה דיגיטלית). למיטב ידיעת המחברים, בחינה שכזו בוצעה כאן לראשונה. ממצאי המחקר ומסקנותיו מרחיבים את גוף הידע בנושא ועשויים לשפר את הכשרתם של מהנדסים ותלמידי תיכון המתמחים בהנדסה. תרומות אלה



מקבלות משנה תוקף לנוכח הפער המשמעותי בין הכישורים של בוגרי תוכניות לתואר ראשון בהנדסה לבין המיומנויות הנחוצות בתעשייה (Gero & Mano-Israeli, 2020).

למידה בין תחומית

רוב החוקרים מגדירים בין תחומיות כפעילות המשלבת שני תחומי דעת או יותר במטרה להשיג אפקט סינרגטי (Rhoten, O'Connor & Hackett, 2009). הספרות מציעה היררכיות שונות לדרגת האינטראקציה בין תחומי דעת. אחד הסיווגים המקובלים מבחין בין רב תחומיות בה השילוב בין תחומי הדעת הוא מזערי (או לא קיים), בין תחומיות בה קיימת סינתזה מסוימת בין התחומים, ועל תחומיות בה הסינתזה האינטנסיבית מטשטשת את הגבולות בין הדיסציפלינות המקוריות (Piaget, 1972).

במרוצת השנים פותחו תוכניות לימוד בין תחומיות ברמות שונות, עבור תלמידי תיכון וסטודנטים באוניברסיטאות. תוכניות אלה מכסות מנעד נרחב של נושאים, כמו רובוטיקה (Desmond, Horton, Morrison & Khorbotly, 2016), ננו-טכנולוגיה (Stavrou, Michailidi, Sgouros & Dimitriadi, 2015) ותעופה וחלל (Gero, 2013). מחקר שליווה את התוכניות הנזכרות לעיל ואחרות זיהה חוזקות וחולשות המאפיינות חינוך בין תחומי, כמפורט להלן.

בתחום הרגשי, ללמידה בין תחומית יש יתרון בולט. בזכות העניין שהיא יוצרת, למידה בין תחומית מקדמת לרוב מוטיבציה פנימית (Lattuca, Voight & Fath, 2004). בתחום ההכרתי, הספרות מדווחת על תוכניות בין תחומיות שקידמו הבנה (Gerke, 2017) ויכולות חשיבה מסדר גבוה של (Gero & Shlomo, 2021). ההסבר התאורטי לכך מתבסס על תורת ההתפתחות הקוגניטיבית של פיאז'ה. לפיה, בהשוואה לשיעור תחומי, שיעור בין תחומי מספק הזדמנויות רבות יותר בהן התלמיד יכול לקשר ידע חדש עם ידע שרכש בעבר, ולכן הלמידה משמעותית יותר (Piaget, 1952).

יחד עם זאת, חינוך בין תחומי עשוי להיתפס כשטחי, בבחינת "תפסת מרובה – לא תפסת", או כחסר איזון בין מרכיבי התחומיים והבין תחומיים. במקרה הקיצוני, חוסר איזון זה יכול לגרום לכך שתוכנית לימודים בין תחומית להלכה תיתפס על ידי הלומדים כרב תחומית למעשה (Costa, Ferreira, Barata, Viterbo, Rodrigues & Magalhães, 2019).

הקורס "מעגלים אלקטרוניים"

כאמור, בפקולטה להנדסת חשמל ומחשבים בטכניון הוחלט לאחד את הקורס "מעגלים אלקטרוניים ליניאריים", העוסק באלקטרוניקה אנלוגית, ואת הקורס "מעגלי מיתוג אלקטרוניים", הדן באלקטרוניקה דיגיטלית, לקורס יחיד "מעגלים אלקטרוניים". בדומה לשני הקורסים שקדמו לו, הקורס החדש הינו קורס חובה לסטודנטים בשנת הלימודים השלישית בהנדסת חשמל ומחשבים, ואורך 13 שבועות.

בתום הקורס הסטודנט אמור להיות מסוגל לנתח מעגלים אלקטרוניים (אנלוגיים ודיגיטליים) תוך לקיחה בחשבון של שיקולים מערכתיים. מטרה לימודית זו דומה לאלה שנוסחו בקורסים הנפרדים (עבור מעגלים אנלוגיים או דיגיטליים).



פרשיות הלימוד בקורס החדש כוללות את מרבית הנושאים שנלמדו בקורסים הנפרדים וברמת העמקה דומה, אך לא את כולם. כך, למשל, הטכנולוגיה הביפולרית שנדונה בקורסים הנפרדים לא נכללת בקורס המאוחד. כמו כן, נוספו מספר נושאים חדשים שלא כוסו בקורסים הנפרדים ושמקורם בגישה הבין תחומית, כמו, למשל, המרת אות דיגיטלי לאנלוגי ולהפך. חשוב לציין כי בקורס המשולב ניתן דגש על התבוננות במעגל אלקטרוני מנקודות המבט האנלוגית והדיגיטלית גם יחד, תוך דיון ביחסי הגומלין ביניהן. כך, לדוגמא, רוחב הסרט של מגבר אנלוגי מקושר להשהיות במעגל דיגיטלי.

הקורס מתנהל במתכונת של ארבע שעות הרצאה ושתי שעות תרגול שבועיות. בכל המפגשים דרך ההוראה היא פרונטלית. ההערכה בקורס מתבססת על תרגילי בית ובחינה סופית. לשם השוואה, כל אחד מהקורסים הנפרדים התקיים במתכונת של שלוש שעות הרצאה ושעות תרגול שבועיות. דרך ההוראה בכל קורס נפרד הייתה פרונטלית וההערכה הייתה דומה לזו שבקורס הבין תחומי.

מערך המחקר

המחקר נועד לבחון האם גישה בין תחומית בהוראת מעגלים אלקטרוניים (המשלבת בין אלקטרוניקה אנלוגית ודיגיטלית) מקדמת למידה בהשוואה לגישה התחומית המסורתית (המפרידה בין אלקטרוניקה אנלוגית לבין אלקטרוניקה דיגיטלית).

במחקר השתתפו 156 סטודנטים להנדסת חשמל ומחשבים בטכניון שהביעו את הסכמתם להשתתף במחקר. קודם להשתתפות במחקר, המשתתפים לא נחשפו ללמידה בין תחומית.

114 סטודנטים למדו את הקורס הבין תחומי "מעגלים אלקטרוניים" (קבוצת ניסוי), ושאר 42 הסטודנטים למדו את שני הקורסים הנפרדים "מעגלים אלקטרוניים ליניאריים ו-"מעגלי מיתוג אלקטרוניים" באותו הסמסטר (קבוצת יחוס). טרם תחילת המחקר לא נמצא הבדל מובהק ($p > 0.05$) בין המחזורים של שתי הקבוצות מבחינת ממוצע מצטבר $(M_{exp}=84.10, SD_{exp}=6.18; M_{ref}=84.54, SD_{ref}=6.92)$, והערכים $(0 \leq M \leq 100)$ הצביעו על כך שהמשתתף הממוצע במחקר היה סטודנט בעל הישגים טובים. המרצים בכל אחד משלושת הקורסים היו מנוסים ונחשבו כמורים טובים.

בתום כל אחד משלושת הקורסים התקיים מבחן הישגים. בוגרי כל קורס נבחנו על סוג המעגלים (אנלוגי ו/או דיגיטלי) שנלמד במהלכו. ציון חברי קבוצת הניסוי נקבע כציון מבחן ההישגים בקורס המאוחד וציון חברי קבוצת היחוס חושב כממוצע הציונים של מבחני ההישגים בקורסים הנפרדים. בכדי לבדוק האם קיים הבדל מובהק בין הישגי שתי הקבוצות בוצע מבחן t . היות ומשיקולים אתיים

לא התאפשרה גישה לממוצע המצטבר של הסטודנט הבודד לא בוצעה ANCOVA.

כאמור, כל אחד משלושת מבחני ההישגים עסק במעגל אלקטרוני (אנלוגי ו/או דיגיטלי) בהתאם לנלמד בקורס הרלוונטי, והם היו דומים ברמת הקושי שלהם. כל מבחן ארך שעה אחת והותר להשתמש בו בדף נוסחאות ובמחשבון. המבחן חובר על ידי סגל ההוראה של הקורס ותוקף על ידי שני מומחים בחינוך הנדסי. המבחנים נבדקו על ידי שני בודקים בלתי תלויים תוך שימוש במחווון.



ממצאים

טבלה 1 מציגה את ציוני קבוצת הניסוי וקבוצת היחוס (ממוצע $0 \leq M \leq 100$ וסטיית תקן SD). מבחן t (שונויות שונות) מצביע על הבדל מובהק לטובת קבוצת הניסוי ($t=3.05, p<0.01$) המתאפיין בגודל אפקט בינוני ($d=0.47$).

טבלה 1. הישגים לימודיים

Group	M	SD
Experimental	64.33	16.70
Reference	57.12	11.47

דיון ומסקנות

על פי הממצאים, הישגיהם של סטודנטים שלמדו בגישה הבין תחומית, היו גבוהים באופן מובהק מאלו של חבריהם שלמדו בדרך המסורתית. הבדל זה התאפיין בגודל אפקט בינוני. תוצאה זו נמצאת בהלימה עם ממצאים לפיהם למידה בין תחומית משפרת הישגים. כך, למשל, הישגי תלמידים שהשתתפו בפעילות בין תחומית בנושא רובוטיקה היו גבוהים באופן מובהק ביחס מאלה של עמיתיהם שלא השתתפו בה (Nugent, Barker, Grandgenett & Adamchuk, 2010).

ניתן להסביר את הממצאים באמצעות הטענה שבהשוואה ללמידה תחומית, למידה בין תחומית מפתחת טוב יותר את הכישורים הקוגניטיביים של הלומד. כפי שהוסבר לעיל, הסיבה לכך היא שלמידה בין תחומית מספקת הזדמנויות רבות יותר עבור הלומד לקשר ידע חדש עם ידע קיים, ובכך הלמידה משמעותית יותר (Piaget, 1952). במחקר הנוכחי, ההתבוננות במעגל האלקטרוני מנקודות המבט האנלוגית והדיגיטלית גם יחד היא זו שסיפקה לסטודנט אפשרויות רבות יותר לקישור ידע חדש עם ידע שנרכש בעבר.

למחקר מגבלה אחת עיקרית: מספר המשתתפים בקבוצת היחוס היה קטן יחסית. המגבלה נבעה מהמספר הנמוך של סטודנטים שלמדו את שני הקורסים הנפרדים במקביל באותו הסמסטר שבו התקיים המחקר.

תרומתו התאורטית של המחקר היא בהדגמה שהוראה בין תחומית של מעגלים אלקטרוניים מקדמת הישגים לימודיים. למיטב הידיעה, הדגמה זו התבצעה כאן לראשונה. התרומה המעשית של המחקר עשויה לבוא לידי ביטוי בישום ממצאיו לצורך קידום הכשרת מהנדסים ותלמידי תיכון המתמחים בהנדסה. תרומות אלה מקבלות משנה תוקף לנוכח הפער המשמעותי בין הכישורים של בוגרי תוכניות לתואר ראשון בהנדסה לבין המיומנויות הנחוצות בתעשייה (Gero & Mano-Israeli, 2020).

מאמר זה מתבסס על:

Gero, A. & Catz, B. (2023). Interdisciplinarity as a means of promoting learning in electrical and computer engineering. In M. Auer, W. Pachatz & T. Rüttmann (eds), *Learning in the Age of Digital and Green Transition* (vol. II, pp. 498-504). Springer, Cham.



- Costa, A. R., Ferreira, M., Barata, A., Viterbo, C., Rodrigues, J. S. & Magalhães, J. (2019). Impact of interdisciplinary learning on the development of engineering students' skills. *European Journal of Engineering Education*, 44(4), 589-601.
- Desmond, D., Horton, M., Morrison, A. & Khorbotly, S. (2016). Robotic football dance team: An engineering fine-arts interdisciplinary learning experience. In *Frontiers in Education Conference* (pp. 1-6). IEEE.
- Gerke, A. (2017). *Interdisciplinary Education in the Elementary Curriculum: Exploring Teacher Perceptions and Practices*. University of Toronto.
- Gero, A. (2013). Interdisciplinary program on aviation weapon systems as a mean of improving high school students' attitudes towards physics and engineering. *International Journal of Engineering Education*, 29(4), 1047-1054.
- Gero, A. & Mano-Israeli, S. (2020). Importance of technical and soft skills: Electronics students' and teachers' perspectives. *Global Journal of Engineering Education*, 22(1), 13-19.
- Gero, A. & Shlomo, I. (2021). Promoting systems thinking in two-year technology students: An interdisciplinary course on medical ultrasound systems. *International Journal of Engineering Education*, 37(2), 564-572.
- Haskell, R. E., Hanna, D. M. & Morrell, W. M. (2008). Combining digital and analog circuits in a freshman laboratory. In *ASEE North Central Section Conference*. ASEE.
- Lattuca, L. R., Voight, L. J. & Fath, K. Q. (2004). Does interdisciplinarity promote learning? Theoretical support and researchable questions. *The Review of Higher Education*, 28(1), 23-48.
- Nestor, J. A. & Rich, D. A. (2003). Integrating digital, analog, and mixed-signal design in an undergraduate ECE curriculum. In *International Conference on Microelectronic Systems Education: Educating Tomorrow's Microsystems Designers* (pp. 80-89). IEEE.
- Nugent, G., Barker, B., Grandgenett, N. & Adamchuk, V. I. (2010). Impact of robotics and geospatial technology interventions on youth STEM learning and attitudes. *Journal of Research on Technology in Education*, 42(4), 391-408.
- Piaget, J. (1952). *The Origin of Intelligence in Children*. International University Press.
- Piaget, J. (1972). The epistemology of interdisciplinary relationship. In L. Apostel, G. Berger, A. Briggs & G. Michaud (eds), *Interdisciplinarity: Problems of Teaching and Research in Universities* (pp. 127-139). OECD.
- Rhoten, D., O'Connor, E. & Hackett, E. J. (2009). The act of collaborative creation and the art of integrative creativity: Originality, disciplinarity and interdisciplinarity. *Thesis Eleven*, 96(1), 83-108.
- Stavrou, D., Michailidi, E., Sgouros, G. & Dimitriadi, K. (2015). Teaching high-school students nanoscience and nanotechnology. *International Journal on Math, Science and Technology Education*, 3(4), 501-511.



כשהוראה, תעשייה וחלל חוברים יחדיו - ראיון עם יעקב הרשקוביץ^{2,1}

ראיינה וכתבה: ד"ר אורית הרשקוביץ^{3*}
¹רפאל – מערכות לחימה מתקדמות בע"מ
²עמית מחקר בפקולטה להנדסת אווירונאוטיקה וחלל, הטכניון – מכון טכנולוגי לישראל
³הפקולטה לחינוך למדע וטכנולוגיה, הטכניון – מכון טכנולוגי לישראל

תקציר

במאמר זה נציג כיצד פרויקטים של סטודנטים בפקולטה להנדסת אווירונאוטיקה וחלל מונחים על-ידי מומחים מהתעשייה, דבר המקנה לבוגרים ידע מעשי ובהמשך קליטה "קלה" בתחום האוויר-חלל (Aerospace). המהנדסים מהתעשייה, המנחים את הסטודנטים, מנחילים להם את דרך החשיבה ההנדסית-פרויקטית. כך בוגרי הפקולטה להנדסה אווירונאוטיקה וחלל נחשפים לתהליכי פיתוח הנהוגים בתעשייה, לחשיבה העומדת מאחוריהם וגיבוש המענה שהם נותנים לצרכי הלקוחות. בעשור האחרון, מר יעקב הרשקוביץ, לשעבר מהנדס מערכות ראשי בקו חלל ברפאל, הנחה עשרות סטודנטים בפרויקטים הקשורים לתחום החלל.

פרויקטים בתחום החלל בפקולטה להנדסה אווירונאוטיקה וחלל בטכניון

במסגרת לימודים לתואר ראשון, הסטודנטים בפקולטה זו משתתפים בפרויקט תכן שנמשך שני סמסטרים רצופים עליו הם מקבלים 3 נקודות זכות בכל סמסטר. בפקולטה קיימים פרויקטים בתחומי עניין מגוונים, למשל מטוסים, רחפנים, טורבינות, מנועים, טילים וכדומה. אחד מהפרויקטים ממוקד בתחום החלל, אותו מנחה מר יעקב הרשקוביץ. עיקר הפעילות בפרויקט היא ביצוע תכן של לוויין שלם במתכונת הנדסית, כפי שנהוג בתעשיות אוויר-חלל. הפעילות מחולקת לדיסציפלינות הנדסיות, למכלולים ומערכות לוויין. מערכות אילו כוללות בין השאר: משימה ומסלולים, מבנאות, אוויוניקה (Avionics - Aviation Electronics - אלקטרוניקה אווירית. שם כולל למערכות בקרה, האלקטרוניקה, חשמל והמחשבים בכלי טיס), תקשורת, בקרת הכוון, בקרת מסלול, תחנת קרקע, שיגור, הנדסת מערכות וניהול פרויקט, אמינות ועוד.

ייחודו של פרויקט הסטודנטים הוא בחיקוי תהליך העבודה בפרויקטים בתעשיית החלל. הקבוצה מונה בד"כ בין 5 ל-10 סטודנטים, אשר מתחלקים ועובדים בצוותים של 2-3 משתתפים, וכל צוות מקבל אחריות על אחד הנושאים אותו הוא מוביל עד סוף הסמסטר. בנוסף לצוותים המקצועיים, נבחר סטודנט אחד לשמש כראש הפרויקט וסטודנט נוסף כמהנדס המערכת - בנוסף לתפקידיהם בצוותים הדיסציפלינריים. הם מנהלים את העבודה, התיאום ושיתוף הפעולה של כל צוותי הסטודנטים, בדומה לתהליך בו מתקיימים בפרויקטים בתעשיית החלל.

יעקב, כמנחה הפרויקט, מגדיר בתחילת השנה את נושא העבודה ובהתאם מגדיר את צרכי המשימה והלוויין. לרוב, הפרויקט ממשיך משנה לשנה, וכך סטודנטים אחרים ממשיכים לפתח את הלוויין. העבודה מתחילה בהגדרת הדרשות, שמשמעותה תרגום של הצרכים והמשימות לדרשות טכניות והנדסיות מהלוויין. כל צוות מגדיר את הדרשות מהמכלול או הדיסציפלינה שבאחריותו. בסופו

* גילוי נאות: ד"ר אורית הרשקוביץ הינה רעייתו של יעקב הרשקוביץ.



של תהליך זה, הסטודנט שבתפקיד מהנדס המערכת משלב את כל הדרישות שהפיקו הצוותים למסמך מערכתי, הכולל סט שלם של דרישות מהלוויין ומשימתו. בהמשך, הסטודנטים כותבים גם תוכנית עבודה סמסטריאלית, אותה מגישים למנחה לאישור. תוכניות אילו מפרטות את הפעילויות שיבוצעו ע"י כל צוות עד השלמת הפעילות. במהלך הסמסטר הסטודנטים מבצעים תכן ופיתוח של אותן מערכות שהם אחראים עליהם. הפעילות מתחילה כעבודה תיאורטית, ממשיכה בסימולציות ואנליזות במחשב ולעיתים עוברת לניסויים במעבדה.

תהליך הלמידה והערכה

במהלך הסמסטר מתקיימים מפגשים שבועיים, שבמהלכם 2-3 קבוצות מציגות את ההישגי העבודה שלהן, כולל בעיות ואתגרים שנתקלו בהם. בסיום כל הצגה של צוות, מתקיים דיון טכני על החומר שהוצג וכל הצוותים מתייחסים לבעיות ומעלים הצעות לפתרונות שהוצגו. תהליך זה יוצר סינרגיה של הידע ותחושת שיתוף אמיתית בין כל הצוותים ומשרה אווירה של עבודה בצוות, כפי שגם מקובל בתעשייה. לחיזוק תחושת השיתוף ושיפור הקשר בין הצוותים, מפגשי הצוות והמנחה אינם מתקיימים בכיתת לימוד – אלא בחדר דיונים, כשכולם מסביב לשולחן אחד וקיים קשר עין בין כולם.

בפרויקטים אלו אין בחינות, אין בחנים ולא מגישים תרגילי בית. ההערכה מתבצעת במספר ממדים הכוללים: הישגים אישיים בקידום המשימות והתוצרים ההנדסיים, עמידה בלוח הזמנים, השתתפות פעילה במפגשים ותרומה לצוות. לכן יש גם חובת השתתפות בכל המפגשים. השלמת ההערכה מתבצעת בהצגת הפרויקט בסקר המסכם ותרומה אישית לדו"ח הסופי שמוגש. דו"ח זה מורכב מפרקים, כאשר כל פרק נכתב על ידי הצוות שהיה אחראי על הנושא הספציפי. בנוסף לדו"ח הסופי, הסטודנטים מגישים מאמר מדעי אשר מפורסם ומוצג ע"י הסטודנטים עצמם, בכנס שנתי למדעי התעופה והחלל שמתקיים בכל אביב בטכניון. המאמר משתתף במושב ייעודי של תחרות סטודנטים, בו משתתפים גם סטודנטים אחרים מהטכניון ומהאוניברסיטאות אחרות בארץ.

אחד האתגרים הגדולים שקיים כל שנה הוא, שהסטודנטים מתחלפים והסטודנטים החדשים צריכים ללמוד את כל החומר שלמדו קודמיהם, בנוסף להשלים התמחות דיסציפלינרית בתחום החלל, להם זקוקים למילוי משימתם בפרויקט. לכן, מושם דגש מיוחד על המשכיות עד כמה שניתן, ב"העברת המקל" משנה לשנה, כך שהפרויקט יתקדם ולא יחזור על עצמו יותר מדי.

אתגר משמעותי נוסף, העומד בפני הסטודנטים כל שנה – הינו הצורך להתמודד עם בעיות שאינן מוגדרות בשלמות, חסרים נתונים, צריך לחפש בספרות, לבצע לימוד עצמי של נושאים חדשים שלא נלמדים בקורסים הרגילים, כלומר להפגין "ראש גדול" ולתרגל משמעת עצמית בעמידה במשימות. דבר זה הינו חדש ולעיתים מעורר חשש בקרב הסטודנטים ללא ניסיון קודם בתעשייה, שאך זה סיימו שנה שלישית ורגילים ללמוד לפי חומר מוגדר היטב בסילבוס ובספרי הקורסים. בפרויקט התכן הם נדרשים להפגין למידה עצמאית, מקצוענות ויותר מכל - עבודת צוות. כדי להתגבר על קשיים אילו, המנחה ואחראי המקצוע מעמידים לרשות הסטודנטים פאנל מומחים מהפקולטה ומהתעשייה, אשר מייעצים ומנחים כל אחד בתחומו.

למרות קשיים אילו, הסטודנטים בפקולטה להנדסת אווירונאוטיקה וחלל מצליחים להפגין יכולות גבוהות ואף לזכות בפרסים חשובים. לדוגמא, בשנת 2021, למרות קשיי הלימוד בתקופת הקורונה, זכה צוות סטודנטים בהנחייתו של יעקב הרשקוביץ בפרס ראשון בתחרות סטודנטים ע"ש שלומית



גליא ז"ל. באיור 1 ניתן לראות את צוות הסטודנטים הזוכים בשנת 2021 ואת הפוסטר הזוכה שלהם
באיור 2.



איור 1. צוות הסטודנטים זוכה במקום ראשון ובפרס תחרות סטודנטים ע"ש שלומית גליא ז"ל,
בשנת 2021

Drivesat Nanosatellite Mission Using Vacuum Arc Thruster and Hard Disc Drive Momentum Wheel

DEPARTMENT OF AEROSPACE ENGINEERING TECHNION

Introduction

DriveSAT is a satellite project led by the Technion and Asher Space Research Institute (ASRI). The project includes a single 2U CubeSat satellite equipped with a cutting-edge experimental Vacuum Arc Thruster (VAT) and a classic hard disc drive (HDD) as momentum wheel (MW).

The mission is separated to 3 main parts and will last for at least a year:

- Test the VAT technology of ASRI in space environment
- Demonstrate the use of the HDD-MW in space
- Controlling the satellite's orbit by combining both systems

Space Experiments

To fulfill the space mission goals, two experiments will be conducted in space at low earth orbit:

- Orbit Control Experiment: Two thrusters work diagonally in order to compensate on natural decay, so a required orbit altitude is maintained and to analyze the VAT performance
- Thrust Measurement Experiment: Two right-hand thrusters work simultaneously which allows calculating the thrust through the momentum wheel's angular velocity

The measured results will be transferred to the ground station where the data will be analyzed

Control Simulation – Sun Pointing

During the space mission, the satellite is required to rotate itself in order to achieve the maximum solar exposure and by that better battery charging. In order to do that we use 3 magnetorquers and 1 HDD

Structure Analysis

During launch and flight the satellite is exposed to a variety of thermal and mechanical environment. To ensure the satellite can withstand in this environment structural and thermal analysis was performed using ANSYS Workbench

Right figure: Modal analysis results
Left figure: Thermal analysis with MW

Propulsion Experiment

In order to validate the VAT and the satellite's on-board computer (OBC) connectivity, synchronized operation and electrical interference from the VAT on the OBC, a vacuum chamber experiment has been conducted in collaboration with Prof. Igal Kronhaus' laboratory. The experiment was successful! The OBC sent activation command to the VAT and didn't reset while the VAT was activated inside a vacuum chamber.

Conclusion

The DriveSAT project is progressing and now is in a key-moment as the propulsion experiment was successful, and final design decisions has been made. During this academic year we managed to fulfill each team requirements while learning about diverse subjects in space environment and space engineering. Future work will deal with design implementation and proving it stands in all the edge cases.

Supervisor: Jacob Herscovitz

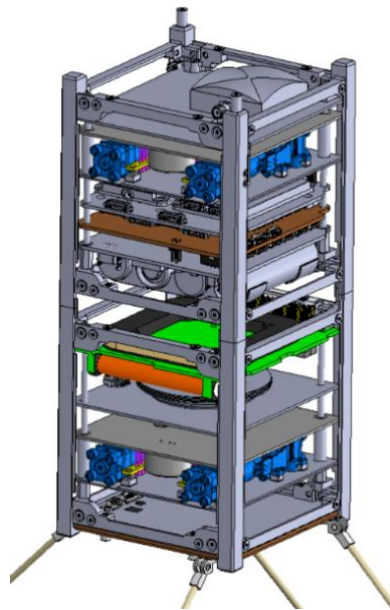
איור 2. פוסטר הפרס של הסטודנטים המצטיינים, צילום: ניצן זוהר, דוברות הטכניון



דוגמאות לפרויקטים

הפרויקט הנוכחי, עליו עובדים סטודנטים בשנה זו, הוא לוויין DriveSat, שהוא לוויין זעיר מסוג CubeSat שגודלו רק 10X10X20 ס"מ. הלוויין הינו רעיון פיתוח חדש של הפקולטה להנדסת אווירונאוטיקה וחלל בשיתוף מכון "אשר" לחקר החלל. הלוויין אמור להדגים מכלול בקרה זול תוצרת עצמית. פרויקט זה מתקיים זו השנה החמישית. השנה יעקב הצליח לגייס כספים ולרכוש דגם הנדסי של הלוויין אשר ישמש להמשך הפיתוח. באיור 3 ניתן לראות דגם מבני של הלוויין, פרטים נוספים בקישור:

<https://aerospace.technion.ac.il/he/projects/%d7%9c%d7%95%d7%95%d7%99%d7%99%d7%9f-drivesat/>

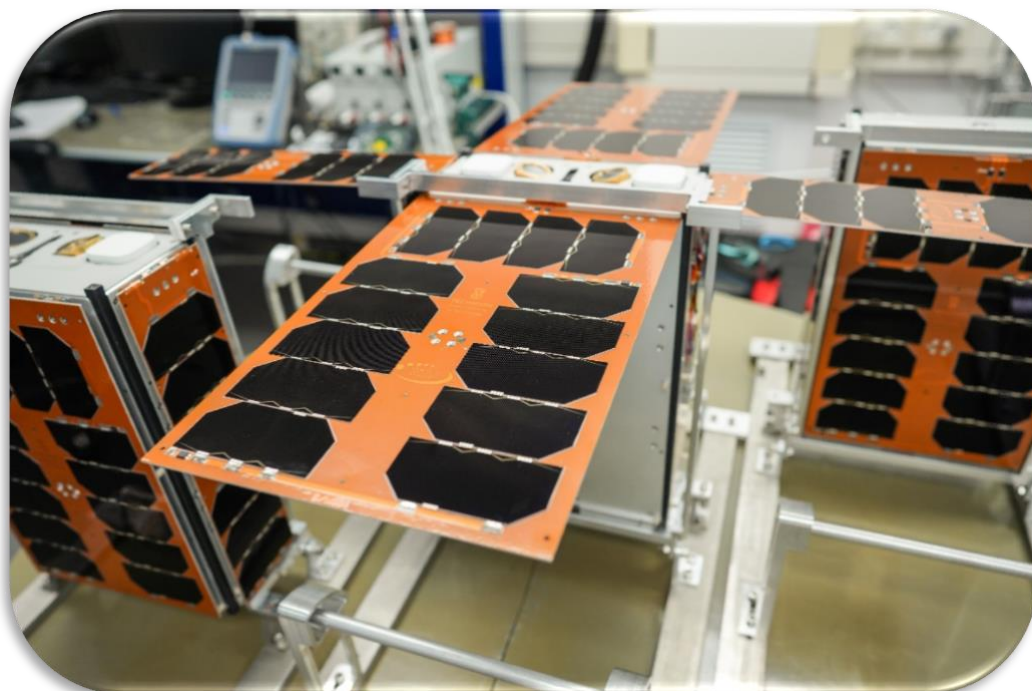
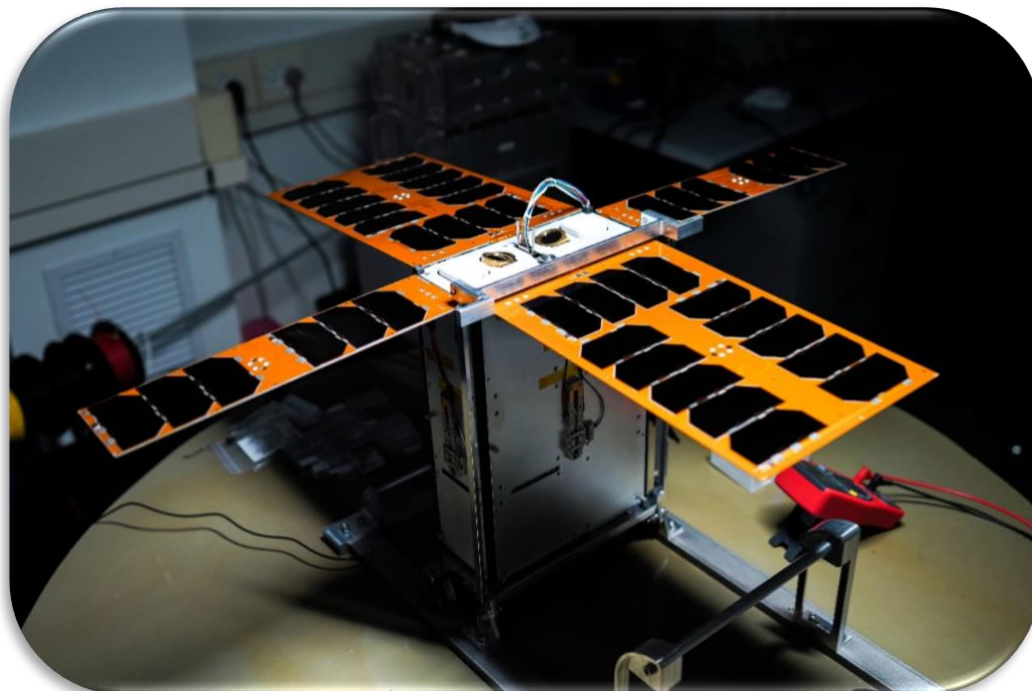


איור 3. דגם מבני של לוויין DriveSat (מתוך פרסומי הפקולטה להנדסת אווירונאוטיקה וחלל)

פרויקט נוסף ידוע, שהחל כפרויקט סטודנטים בהנחייתו של יעקב, היה פרויקט SAMSON שהחל בשנת 2010. מדובר במערך של שלושה לוויינים זעירים, במסלול סביב כדור הארץ בגובה של כ-600 ק"מ לביצוע ניסויים בגאולוקציה (Geopositioning / Geolocation) - איתור ואיכון מהחלל של אנשים (במצוקה) בדיוק של מאות מטרים, לפי אלגוריתמים שפותחו על-ידי סטודנטים וחוקרים בטכניון. הפרויקט אומץ על ידי מכון "אשר" לחקר החלל בטכניון ועבר לפיתוח מלא עד לשיגורו בשנת 2021. באיור 4 ניתן לראות את אחד משלושת הננו-לוויינים ששוגרו במסגרת פרויקט SAMSON. באיור 5 ניתן לראות את יעקב עם הסטודנטים בפרויקט SAMSON. פרטים נוספים בקישור: [Technion Returns to Outer Space - Technion - Israel Institute of Technology](#). פרויקט SAMSON מהווה דוגמה מצוינת לכך, שסטודנטים יכולים "להנביט זרעים" של פרויקט אמיתי ולהעבירו לאנשי המקצוע שימשיכו ויקדמו אותו לידי מימוש בפועל, ולא להשאירו בתחום התיאורטי-לימודי.



יעקב וצוות הסטודנטים הנוכחי, מקווים ופועלים שגם הפרויקט הנוכחי DriveSat, יקרום עור וגידים, יסיים פיתוח וישוגר לחלל, בתנאי כמובן שיושג המימון הנדרש.



איור 4. אחד משלושת הננו-לוויינים ששוגרו במסגרת פרויקט SAMSON צילום: ניצן זוהר, דוברות הטכניון (מתוך אתר הפקולטה להנדסה אווירונאוטיקה וחלל)





איור 3. יעקב עם הסטודנטים בפרויקט SAMSON (מתוך כתבה באתר הפקולטה, עיתון "גלילאו" ועיתון הסטודנטים "פקטור")

רקע על המנחה, יעקב הרשקוביץ

בנוסף להנחיית פרויקטים בתחום החלל בפקולטה להנדסת אווירונאוטיקה וחלל, יעקב גם מנחה פרויקטים למסטרנטים להנדסת מערכות ביחידה ללימודי חוץ. בתפקידו כעמית מחקר בפקולטה, יעקב גם אחראי על הקמת מעבדת הוראה חדשה - המעבדה למערכות חלל Space Systems Laboratory. במעבדה זו הסטודנטים ילמדו ויתנסו בניסויים שונים על מערכות לוויין. המעבדה תכלול מספר עמדות מייצגות של מכלולי לוויין מרכזיים, כגון הנעה, בקרה, ניווט, אוויוניקה, מבנאות ותקשורת. ההתנסות במעבדה זו תאפשר לסטודנטים העתידיים התמודדות קלה ויותר מקצועית עם מטלות הנדסיות של הלוויינים בפרויקטים בתחום החלל.

יעקב הינו בעל תואר ראשון בהנדסת מחשבים (1980) ותואר שני בהנדסת מערכות (2001), שניהם מהטכניון. ליעקב יש יותר מארבעים שנות ניסיון ברפאל, כולל בהובלת פרויקטים בינלאומיים בנושאי חלל. אחד הבולטים הוא פרויקט Venus, כשיעקב ניהל את חלקה של רפאל בפרויקט זה (<https://www.space.gov.il/news-space/132878>).



קווים מנחים לפיתוח עתידי של חומרי לימוד בנושא כלים בלתי מאוישים - תחרות

פרויקטים

ד"ר שחף רוקר יואלי, ד"ר אמונה אבו-יונס עלי ופרופ' יהודית דורי.²
הפקולטה לחינוך למדע וטכנולוגיה, הטכניון – מכון טכנולוגי לישראל
²מוסד שמואל נאמן למחקר מדיניות לאומית, הטכניון – מכון טכנולוגי לישראל

תקציר

במהלך החודשים פברואר – אוגוסט 2022 התקיים תהליך תכנון וחשיבה להבניית קווים מנחים לפיתוח עתידי של חומרי לימוד לתחרות פרויקטים בנושא כלים בלתי מאוישים לתלמידי תיכון בכיתות "א-ב". בהמשך לקווים המנחים שעלו בתהליך, ניתן יהיה לבנות בהמשך את חומרי הלימוד, תוכנית ההכשרה למורים, תכולת חומרה ותוכנה לפרויקטים. התהליך כלל את אבני הדרך בפיתוח הפרויקט, פעילות צוות מומחה חיצוני וצוות הפיתוח, ותהליך החשיבה על דרישות ויישום, כולל תהליך קבלת ההחלטות וההחלטות עצמן שהתקבלו.

הפרויקט כולל תחרות פרויקטים בין קבוצות בבתי ספר, המשלבת פיתוח כלים בלתי מאוישים המבוססים על אב טיפוס משותף כבסיס טכנולוגי. על בסיס אב הטיפוס התלמידים יוסיפו וישדרגו גם בתחום החומרה וגם בתחום התוכנה. תוך כדי התחרות, בני הנוער ילמדו תחום טכנולוגי חדש, ישתפו פעולה בין חברי הקבוצות ובין הקבוצות עצמן תוך כדי פיתוח מיומנויות בינאישיות. התחומים החדשים יכללו בינה מלאכותית, תקשורת, רובוטיקה ועוד. במסגרת המיומנויות הבינאישיות יהיה דגש על עבודת צוות, פתרון בעיות, עמידה באתגרים, יצירתיות ועוד. הפרויקט יהיה בהיקף של 5 יח"ל בגרות במסגרת לימודי ההתמחות באחת מהמגמות הטכנולוגיות. בשלב פיתוח התוכנית המיקוד במגמת הנדסת אלקטרוניקה ומחשבים בהמשך מגמות נוספות תוזמנה להצטרף לתוכנית.

רקע תיאורטי

למידה מבוססת פרויקטים - PBL – Project Based Learning הינה מודל המארגן למידה סביב פרויקטים והמכיל משימות מורכבות על סמך שאלות ובעיות מאתגרות שדורשות מהתלמידים לתכנן, לפתור בעיות, לקבל החלטות, לחקור פעילויות, לעבוד באופן עצמאי לתקופות ממושכות ולהגיע למוצרים ריאליסטיים (Thomas, 2000). למידה מבוססת פרויקטים מאפשרת הוראת מיומנויות הנדסיות, טכניות, מקצועיות, תחומים מדעיים-הנדסיים כמו רובוטיקה (Verner & Ahlgren, 2007). ניתן לחלק את המיומנויות לשלושה סוגים: מיומנויות הנדסיות, מיומנויות המאה ה-21 ותכונות המהנדס הגלובלי (Ramírez et al., 2017). למידה מבוססת פרויקטים תואמת את המעבר מתרבות של בחינה לתרבות של הערכה, המהווה רפורמה למורים ולמוסדות (Dori, 2003), לפיכך קיימת חשיבות רבה לתכניות ההכשרה למורים בלמידה מבוססת פרויקטים. רובוטים ניידים אוטונומיים, הקרויים גם כלים בלתי מאוישים, יכולים לנוע במרחבים שונים: בקרקע, בים ובאוויר, ומשמשים גם ככלי לימודי במערכות החינוך השונות (Demetriou, 2011). רובוטים ניידים Mobile Robotics הם תחום חדשני הכולל טווח רחב של רובוטים, החל מרובוט מכסח דשא ביתי, רחפנים צבאיים ועד רובוטי החלל המתוחכמים. רובוטים ניידים מבוססים על



תחומים רבים של הנדסה ומדע, כגון, הנדסת מכונות, חשמל, אלקטרוניקה ומדעי המחשב (Siegwart & Nourbachsh, 2004). רובוט נייד הוא מכונה ניידת אוטונומית או מופעלת מרחוק המסוגלת לנוע בסביבה מוגדרת, משתמש בחיישנים כדי לתפוס את הסביבה ולקבל החלטות על סמך המידע שנרכש מהחיישנים. מהפכת הרובוטים הניידים העלתה גם את הצורך במהנדסי רובוטיים ניידים לטובת ייצור, מחקר, פיתוח וחינוך. בעקבות כך, יש שינוי בחינוך ההנדסי החל מבתי הספר ועד לימודים גבוהים, שמשלבים קורסי רובוטיקה בתוכניות הלימודים שלהם. רובוטים ניידים דורשים גישה רבת תחומית לשילוב ויצירת ידע בתחומים שונים כמו הנדסת מכונות, הנדסת חשמל, בקרה, מדעי המחשב, תקשורת, ואפילו פסיכולוגיה או ביולוגיה במקרים מסוימים. לצורכי לימוד התחום, התפתחו כמה פלטפורמות של רובוטים ניידים מותאמות למערכת החינוך כדוגמת: VEX, LEGO Mindstorms, Engino Robotics ועוד.

חינוך ומחקר ברובוטים ניידים - רובוטים ניידים משמשים בבתי הספר ככלי הוראה וטכנולוגיה חדשנית, ומשולבים בדרך כלל בתוך המחלקות למדעי המחשב וההנדסה. תלמידים בגילאים שונים מוצאים בפעילות עם רובוטים הנאה ועניין. קיימות שתי גישות לגבי אופן השימוש ברובוטים ניידים בחינוך: (1) שימוש ברובוטים כדי ללמד קורסים הקשורים ישירות לרובוטיקה, כולל קורסים תיאורטיים ומעבדות (2) שימוש ברובוטים ניידים ככלי ללמד נושאים אחרים בהנדסה, מדע ואפילו תחומים שאינם קשורים כמו ביולוגיה ופסיכולוגיה (Malec, 2001). השימוש ברובוטים בחינוך יצרו תחרויות רובוטיקה מקומיות, לאומיות ובינלאומיות רבות, בנוסף לסדנאות רובוטיקה ומחנות קיץ לתלמידים בכל הרמות (Rocker Yoel & Dori, 2021).

אבני דרך בפיתוח הפרויקט

אבני הדרך בפיתוח הפרויקט כללו תשעה שלבים החל מהמפגש הראשון, העלאת רעיונות, המפגשים של צוות הפיתוח וצוות המומחה ועד לסיום הפעילות בשנה הנוכחית. להלן תיאור קצר של השלבים:

שלב I - מפגש של צוות הפיתוח, בכפר הנוער הדסה נעורים, במתקני תוכנית הרובוטיקה FIRST. היכרות בין חברי הצוות, תיאום ציפיות לפרויקט וסיור במתקני FIRST בכפר הנוער הדסה נעורים. הועלו תובנות, מטרת הפרויקט ותכנון השלבים הראשוניים הדרושים בכדי לקדם את הפרויקט.

שלב II - צוות הפיתוח העלה באופן חופשי בכתב, בקובץ משותף, רעיונות והצעות לפרויקט. שלב III - פגישה של צוות מומחה חיצוני במטרה לחשיפת הפרויקט בפני המומחה החיצוני. תיאום ציפיות, סיעור מוחות לגבי רעיונות אפשריים כפרויקט תחרותי בנושא כלים בלתי מאוישים. ההתמקדות בתהליך הפיתוח ב-3 רבדים: סוג הכלי הבלתי מאויש (יבשה/אוויר/חלל/ים), סוג הטכנולוגיה ונהלים לתחרות. כל אחד מהמשתתפים העלה רעיון לתחרות, בסך הכל הועלו 14 רעיונות. הרעיונות עברו דירוג ע"פ קריטריונים (ציון בין 0 - גרוע ל 5 - מעולה): תחרותיות, טכנולוגי, פדגוגי, זמינות אבני הבניין, עלות, חדשנות, זמינות תשתיות ואתגרים.

שלב IV - מפגש מומחה בנושא בחירת רעיון מועמד, קבלת החלטות בנושאים: בחירת הטכנולוגיה, בחירת שיטות ההוראה, בחירת כלי. קבלת החלטות לגבי הרעיונות שהועלו במפגש שתואר בשלב II ע"י שקלול קריטריונים. על מנת לבחור את החלופות המתאימות ביותר, הצוות הכין טבלת לשקלול הקריטריונים (ראה טבלה 1), בשיטת Nominal Group Technique (NGT), במטרה



לקבוע את משקלי הקריטריונים בהחלטה משותפת של כל המשתתפים. לכל משתתף יש תקציב של 100 "נקודות" שאותן הוא יחלק בין הקריטריונים השונים לפי שיפוטו. על פי הציונים שכל משתתף נתן לכל קריטריון בוצע חישוב הציון הממוצע המשוקלל של כל הצוות, וסטיית התקן של כל קריטריון שמשמעותה היא רמת המחלוקת של המשתתפים לגבי אותו קריטריון, ולבסוף יחושב דירוג החשיבות של כל קריטריון, כאשר 1 מסמל את החשוב ביותר.

טבלה 1. טבלת שקלול הקריטריונים, בשיטת NGT (Nominal Group Technique)

שקלול המשתתפים								מס.	קריטריון	תיאור קריטריון
דירוג חשיבות	סטיית תקן	ממוצע	ירון	שחף	שי	גדי	אמונה			
2	2.74	18.00	15	20	20	20	15	1	תחרותיות	אפשר לקיים תחרות בזה, בכמה מחזורים
3	3.78	15.60	18	15	20	15	10	2	טכנולוגי	אוריינטציה טכנולוגית-מיומנויות קשות
4	3.71	12.60	18	10	10	15	10	3	פדגוגי	מיומנויות רכות
6	2.74	12.00	10	15	10	10	15	4	זמינות אבני הבניין	האם המרכיבים זמינים ברכש
4	4.88	12.60	8	20	10	10	15	5	עלות	תקציב נדרש מתאים לבית הספר
1	7.40	18.60	18	10	15	30	20	7	חדשנות	יחסית לפעילויות קיימות במערכת החינוך
7	4.18	6.00	5	5	10	0	10	8	זמינות תשתיות	האם התשתיות קיימות או אפשריות לבנייה
8	2.88	4.60	8	5	5	0	5	9	אתגרים	

כתוצאה משכלול הקריטריונים סוכם על משקל לכל קריטריון כפי שמופיע בטבלה 2.

טבלה 2. משקל לכל קריטריון – סה"כ המשקלים מסתכמים ל-100

אתגרים	זמינות תשתיות	חדשנות	עלות	זמינות אבני הבניין	פדגוגי	טכנולוגי	תחרותיות
4.60	6.00	18.60	12.60	12.00	12.60	15.60	18.00

לאחר הגדרת המשקל לכל קריטריון, חושב לכל רעיון ציון מספרי המתחשב בכל הקריטריונים. בהתאם לציון הכולל שחושב, נערך דיון לגבי שלושת הרעיונות שקיבלו את הציון הגבוה ביותר ומעשיים מבחינת הגדרות הפרויקט: מלחמת רובוטים, רובוט במבוך ורכב מרוצים אוטונומי. סוכם על רעיון כללי שמשלב את הרעיונות שנבחרו – מלחמת רובוטים בתוך מבוך עם מכשולים דינמיים. לתחרות יהיו שני שלבים: שלב מוקדמות: רובוט מול מסלול ושלב הליגה: רובוט מול רובוט בזירה בעלת מאפיינים משתנים משנה לשנה.

שלב V - מפגש בנושא הכנת ראשי פרקים לרעיון המועמד ובדיקת היתכנות ביצוע טכנולוגית ופדגוגית. במהלך המפגש סוכם על רעיון כללי שמשלב את הרעיונות שנבחרו במפגשים הקודמים



– מלחמת רובוטים בתוך מבוך עם מכשולים דינמיים. הועלו אפשרויות לתחרויות רובוט מול מסלול ואפשרויות לשלב הליגה - רובוט מול רובוט. הועלו נקודות לגבי חלוקת האחריות בין צוות מכין/מארגנים לתלמידים/מתחרים בשני תחומים, תוכנה וחומרה, בחלוקה מה באחריות צוות מכין/מארגנים ומה באחריות תלמידים/מתחרים.

שלב VI - מפגש צוות מומחה חיצוני בנושא ראשי פרקים לרעיון המועמד ובדיקת היתכנות ביצוע טכנולוגית ופדגוגית. הועלו ראשי הפרקים העיקריים עבור הרעיון בשני היבטים (1) הצוות שיבנה את הרובוט ופדגוגי, (2) הצוות שיכתוב את מערכי השיעור למורים ולתלמידים. הפרקים הועלו עבור כל אחד משלושת המרכיבים: תכן תוכנה, תכן חומרה והכנת תשתית בנייה. בוצעה הערכה של זמני הביצוע מבחינה טכנולוגית וזמני ההוראה לתלמידים, על מנת לבדוק שהפרויקט אכן עומד בהיקף השעות הנדרש לביצוע במסגרת כיתה י"א – י"ב כ-180 שעות.

שלב VII - מפגש מומחה חיצוני בנושא קביעת תתי-פרקים וזמן משוער לביצוע טכנולוגי וזמן הוראה משוער לרעיון הנבחר. על פי הערכת הזמנים הפרויקט דורש זמן הכנה למורים ולתלמידים, מעבר ל-180 שעות הקיימות בכיתות יא'-יב'. הפרויקט דורש עוד מומחים בתחומים שונים במיוחד בחלק פיתוח חומרי הלמידה. הוחלט להתמקד בשלב ראשון ב-3 פרקים שיכולים להוות בסיס לתחרות "קטנה ומצומצמת" ובהמשך בניית שאר הפרקים עד לבניית תחרות ברמת המטרה. במקביל לתהליך פיתוח החומרים נדרשת הכשרה בהתאם למורים "המנחים" וגם ולמורים "הבוחנים" את הפרויקט בהתאם לחומרי הפיתוח והפרקים שיפותחו.

שלב VIII - במפגש צוות מומחה חיצוני הוצג נושא הפרויקט למומחים ולצוות הפיתוח. הוסכם על ידי המשתתפים שלמורים ולתלמידים חסר ידע בנושאים של 3 אבני הדרך ולכן, תיידרש הכשרה מתאימה למורים בהיקף לפחות 60 שעות. על מנת לעודד מורים להשתתף בהכשרות אלו יידרש תגמולם בהתאם, כי מדובר על טכנולוגיה חדשה שאינה נלמדת במסגרת תוכנית הלימודים הנוכחית בבית הספר. ניתן להציע פיתוח מקצועי זה כחלק מתוכנית גפ"ן (תוכנית המאפשרת יותר גמישות פדגוגית וניהולית למנהלי בתי הספר היסודיים ולחטיבות הביניים). כמו כן, נדרש צוות תמיכה וייעוץ למורים לאורך כל תהליך הפיתוח – צוות מלווה למורים שיחליטו להשתתף בפרויקט. המסקנה לאחר הדיון עם היועצים ששלושת אבני הדרך הינם ברי ביצוע הן מבחינת התכנות טכנולוגית והן מבחינת התכנות פדגוגית, אך נדרשת הובלה של שלבים אלו ע"י מומחים המכירים את התוכנות ואת החומרה שתשמש את צוות הפיתוח.

שלב IX - התקיים מפגש של צוות מומחה חיצוני וצוות הפיתוח, שבו חברי שני צוותים יחד עם נציגים של מגמת הנדסת מכונות דנו בקידום הפרויקט בשנת תשפ"ג. המוטיבציה של הפרויקט הוצגה ע"י שלומי אחנין (מפמ"ר מגמת הנדסת אלקטרוניקה ומחשבים) לבנות כלי אוטונומי יבשתי, ימי, אווירי, המאפשר להתחבר בצורה של רשת לאותו כלי ולאפשר התקשרות בין כלי אחד להרבה כלים מסביבו. עד כה זה בוצע על רכבים אוטונומיים, כיום הרצון הוא להשתמש בפלטפורמות אלו לתחום כטב"מים – אוטונומיים, כי זו המוטיבציה של הצבא, משרד החינוך ויחידות אחרות. הוחלט לבקר במעבדה לניווט אוטונומי וחישה עולם (ANPL) של פרופ' ואדים אינדלמן, הפקולטה להנדסת אווירונאוטיקה וחלל, בטכניון, על מנת להכיר מקרוב את הטכנולוגיה. הוכנה הצעה לרשימת ציוד חומרה ותוכנה לפרויקט כלים בלתי מאוישים לבדיקת התכנות טכנולוגית של אב טיפוס יבשתי או אווירי.



דרישות מהתלמיד

דרישות ידע טכנולוגי בנושאים הבאים: לדעת להסביר את האלגוריתמים ואת החומרה שהשתמש בה. האלגוריתמים דורשים ידע מתמטי נרחב ולכן מכוון לתלמידים עם 5 יח"ל מתמטיקה. דרישות פדגוגיות וחינוכיות: מוכנות להישאר שעות מעבר לשעות הלימודים, סקרנות, רצון ללמוד תחומים נוספים, אהבת אתגרים, סקרנות לתחומי הטכנולוגיה, רצון להשקעה ועבודה קשה.

דרישות ממורה מנחה

דרישות ידע טכנולוגי בנושאים הבאים: שפת פיתון, Raspberry Pi (או לוח תואם כדוגמת jetson nano), ידע בעיבוד תמונה, הפעלת רובוט בעל יכולת למידת מכונה, תוכנות סימולציה, ידע במערכות הפעלה, ידע בפיתוח סביב מיקרו בקרים, עקרונות בלמידת מכונה, היכרות עם התחום הטכנולוגי עליו יהיה הפרויקט. דרישות פדגוגיות וחינוכיות: ניסיון בהנחיית ובהערכת פרויקטים ב-4 השנים האחרונות, סקרנות, מורה שמעוניין ללמוד וללמד תחומים חדשים, עבודה עם קבוצות קטנות, הכוונה לפתרון בעיות בקבוצה.

דרישות ממורה מעריך

דרישות ידע טכנולוגי בנושאים הבאים: שפת פיתון, Raspberry Pi (או לוח תואם), עיבוד תמונה, הפעלת רובוט בעל יכולת למידת מכונה, תוכנות סימולציה, מערכות הפעלה, היכרות עם התחום הטכנולוגי עליו יהיה הפרויקט, ידע בתחומי הדעת הרלוונטיים. דרישות פדגוגיות וחינוכיות: ניסיון בהנחיית ובהערכת פרויקטים ב-4 השנים האחרונות, יכולת הערכה של מיומנויות בינאישיות, רצון ומוכנות ללמוד תחומים חדשים.

דרישות מבית הספר

דרישות כלליות: קביעת מורה מוביל בבית הספר שקיבל על כך תגמול ממנהל בית הספר. מנהל בית הרואה את עצמו בתוך התהליך. דרישות טכנולוגיות: היערכות עם מעבדה וציוד מתאים: מחשבים, רובוטים, כרטיסי Raspberry Pi, קו Wi-Fi חופשי, מעבדה עם ציוד מתאים. דרישות פדגוגיות: בית ספר שיאפשר לתלמידים ולמורים לעבוד בשעות הרצויות, הקצאת ציוד, שטח עבודה, הכשרה מתאימה למורים.

התהליך כולל (החל משלב רעיון כללי לתוכנית לימודים חדשה בנושא כטב"מים אוטונומיים, דרך כל שלבי החשיבה וההתייעצות) טבלאות וכלים שונים, ועד החלטות לגבי המשך ביצוע בפועל. מעבר לתיאור התהליך הספציפי, התהליך המתואר יכול לשמש כמודל כללי ליצירת תוכניות חדשניות במערכת החינוך, כולל שיטות לקבלת החלטות, מציאת פתרונות, ושינוי החלטות בהתאם להתייעצות עם מומחים.



תודה לחברי הצוותים שלקחו חלק ביצירת התהליך (סדר השמות לפי א"ב):

שם	תפקיד	שיוך לצוות
אבי פורת	מורה מוביל, תיכון הכפר הירוק	פיתוח
גדי הרמן	צוות הפיקוח של מגמת הנדסת אלקטרוניקה ומחשבים, משרד החינוך	מומחה ופיתוח
ד"ר אמונה אבו-יונס עלי	מנהלת מרכז המורים מור-טק, הטכניון	מומחה ופיתוח
ד"ר דן קופרמן	עמית מחקר ומנהל המרכז לחינוך לרובוטיקה וטכנולוגיה דיגיטלית, הפקולטה לחינוך למדע וטכנולוגיה, הטכניון	מומחה חיצוני
ד"ר רועי יניב	צוות הפיקוח של המגמה מדעית טכנולוגית, משרד החינוך	ייעוץ
ד"ר שחף רוקר יואל	יועצת פדגוגית מרכז המורים מור-טק, הטכניון	מומחה ופיתוח
ורד שוקרון	רכזת מגמת הנדסת אלקטרוניקה ומחשבים, הכפר הירוק	פיתוח
זאב רביץ	מנהל בית הספר קציני ים עכו	מומחה חיצוני
יואב גולן	אורט מכללה טכנולוגית עפולה	פיתוח
יוחנן ארז	מהנדס מעבדה, הפקולטה להנדסת חשמל, הטכניון	פיתוח/ייעוץ
ד"ר יורי קלונטרוב	צוות הפיקוח של מגמת הנדסת אלקטרוניקה ומחשבים, משרד החינוך	פיתוח/ייעוץ
יעקב הרשקוביץ	הפקולטה לאווירונאוטיקה וחלל, הטכניון	מומחה
ירון דורי	מורה מוביל במגמת הנדסת אלקטרוניקה ומחשבים, מקיף אורט למדע וטכנולוגיה – חולון	מומחה ופיתוח
מוחמד אבו-פודה	צוות הפיקוח של מגמת הנדסת מכונות, משרד החינוך	פיתוח/ייעוץ
מיכל בנימין	צוות כפר הנוער הדסה נעורים	ייעוץ
משה אביב	אחראי מוקד כוח אדם בצוות הפיקוח של מגמת הנדסת אלקטרוניקה ומחשבים, משרד החינוך	פיתוח/ייעוץ
עידו מזורסקי	מנכ"ל פרויקט FIRST	ייעוץ
עמי מגן	מנהל כפר הנוער הדסה נעורים ומנכ"ל העמותה	ייעוץ
פרופ' א' יהודית דורי	ראש המרכז האקדמי של מור-טק, הטכניון	מומחה ופיתוח
פרח כהן	מורה מובילה, תיכון קציני ים עכו	פיתוח
שי ביטון	נציג חברת מובילאיי	מומחה ופיתוח
שלומי אחנין	מפמ"ר מגמת הנדסת אלקטרוניקה ומחשבים, משרד החינוך	פיתוח/ייעוץ
שלומית כהן	מנהלת בית הספר כפר הנוער הדסה נעורים	ייעוץ

מקורות

Demetriou, G. A. (2011). Mobile robotics in education and research. In Z. Gacovski (Ed.). *Mobile Robots-Current Trends* (pp. 27-48). Rijeka, Croatia: InTech publishing.

Dori, Y. J. (2003). A framework for project-based assessment in science education. In Segers, M., Dochy, F., Cascallar, E. (Eds.). *Optimising New Modes of Assessment: In Search of*



Qualities and Standards. Innovation and Change in Professional Education (vol. I, pp. 89-118). Springer, Dordrecht.

Malec, J. (2001). Some Thoughts on Robotics for Education, 2001 AAAI Spring Symposium on Robotics and Education, Stanford University, USA, March 2001.

Ramírez, J. R. J., Jiménez, S., Huertas, C., & Navarro, C. X. (2017). Promotion and assessment of engineering professional skills: A project-based learning approach in collaboration academy-industry. *The International Journal of Engineering Education*, 33(6), 2033-2049.

Rocker Yoel, S. & Dori, Y. J. (2021). FIRST High-School Students and FIRST Graduates: STEM Exposure and Career Choices. *IEEE Transactions on Education*, 65(2), 167-176.

Siegwart, R. & Nourbakhsh, I. (2004). *Introduction to Autonomous Mobile Robots*, MIT Press, ISBN: 0-262-19502-X, Cambridge, MA, USA.

Thomas, J. W. (2000). A Review of Research on Project-based Learning.

Verner, I., M. & D. Ahlgren (2007). Robot Projects and Competitions as Education Design Experiments, Intelligent Automation and Soft Computing, Special Issue *Global Look at Robotics Education*, 13(1), 57-68.



פעילויות ממגמות המרכז - מדברים מהשטח

ראינה וערכה: ד"ר אמונה אבו-יונס עלי
מנהלת מור-טק, הפקולטה לחינוך למדע וטכנולוגיה
הטכניון – מכון טכנולוגי לישראל

המגמה לתחבורה מתקדמת – בית הספר החקלאי כדורי

מנהלת בית הספר: גב' דלית אביגד

קישור לאתר בית הספר: <https://www.school.kadoorie.org.il/>

בבית הספר לומדים מכיתה ז' עד יד'

מספר המורים בבית הספר: 151

מספר התלמידים בבית הספר: 1548

מגמות טכנולוגיות בבית הספר: מדעי המחשב - הנדסת תוכנה, תקשורת הפקות, הנדסת מכונות – מכטרוניקה, תחבורה מתקדמת בשתי התמחויות – הנדסת אוטוטק ויישומי אוטוטק, אומניות העיצוב.

במגמת תחבורה מתקדמת לומדים בתשפ"ג 80 תלמידים בכיתות י'–יב' ובמכללה להנדסאים עוד 55 סטודנטים הלומדים את המגמה בכיתות יג' יד' – הנדסת תחבורה.

ראיון עם המורה לתחבורה מתקדמת ורכז המכללה להנדסאים: עומר בן ארוש

עומר בן ארוש, בוגר בית הספר התיכון חקלאי כדורי במגמת תחבורה מתקדמת, סיים את לימודיו בהצטיינות גם בתיכון וגם כבוגר מסלול יג'–יד' במכללה להנדסאים בכדורי. עומר, התגייס לצבא ושירת בחיל הטנ"א, ובמהלך השנים, במקביל ללימודיו האקדמיים, התמקצע יותר ויותר בתחום האוטומוטיבי, וברשותו שלל הסמכות לניהול מוסכים במגוון תחומים כולל רכב היברידי וחשמלי. עומר מלמד בכדורי משנת 2009, ולמעלה משש שנים, בנוסף להיותו מורה מוביל, מרכז גם את המכללה להנדסאים בכדורי. ההכשרות השונות בתחום האוטומוטיבי, הקנו לו ראייה רחבה בתחום הרכב והתחבורה.

לדבריו: "המהפכה הרביעית שאנחנו חלק ממנה, הולידה מונח חדשני בעולם - ACES - Autonomous Connected Electric Shared, המושג הפך מוכר ומקובל בתעשיית הרכב, ומאחד 4 מהפכות שיוצרות רכב אוטונומי, מקושר, חשמלי ושיתופי. המהפכה שמתרחשת כאן ועכשיו, גורמת לכך שהרכב משנה את הגדרתו ממכונה על גלגלים למחשב על גלגלים, ומהרגע שבו ההבנה הזו מחלחלת ותופסת את מקומה, חלה עליי החובה להעביר הלאה תפיסה זו, למורים, לתלמידים ולכל הסובבים".

עומר ציין, שמנהלת בית הספר, הגב' דלית אביגד, השרישה בו את החזון הבית ספרי "מצוינות בחברה מרובת תרבויות", תוך שימת דגש, שעלינו לכבד אחד את תרבות האחר. מצוינות זה לעשות את מה שאתה מצטיין בו, הכי טוב שאפשר, והכי הרבה פעמים שאפשר", ועם המוטו הזה, הוא צועד. עוד הוא הוסיף, שמפמ"ר תחבורה מתקדמת, מר עדן נסים, מציע פעילויות ויוזמות רבות לקידום המגמה, ומאפשר לצוות המגמה לחלום בגדול. וכך, בשיתוף ההנהלה והפיקוח, הצליח עומר, לגבש מטרות על, והוביל תהליך שינוי, במספר מישורים:

1. במישור הפדגוגי



1.1 עומר פיתח יחד עם צוות ההוראה[†], מערכי שיעור עם דגש על מיומנויות המאה ה-21, הכוללים בתוכם תהליכי למידה שמאפשרים לתלמידי המגמה יכולת למידה עצמית, יכולת עבודה בצוות, פיתוח אוריינות בשפה האנגלית וקידום אוריינות דיגיטלית, תוך שילוב לחינוך סביבתי וקיימות. כל תלמידי המגמה, כבר בכיתה י' ועד סיום כיתה יד', מקבלים User Name לתכנת: E-learning של חברת **ELECTUDE**, תוכנה הולנדית הנמכרת בכל העולם, ללימודים בתחום הרכב והתחבורה. במסגרת שימוש בתוכנה, נחשפים התלמידים לתרשימים, שרטוטי חשמל, אנימציות ברמה גבוהה, אנגלית אוטומוטיבית ואפילו אפשרות להדמיית תקלות שונות ברכב עם אבחון תקלות מונחה – Troubleshooting.



איור 1. א. תוכנת אלקטיווד - למידה בשילוב טאבלטים במעבדה; ב. שיעור בתוכנת אלקטיווד בעזרת טאבלטים; ג. התנסות בשיעור מעבדה; ד. מבחן מתוקשב בשילוב תוכנת אלקטיווד

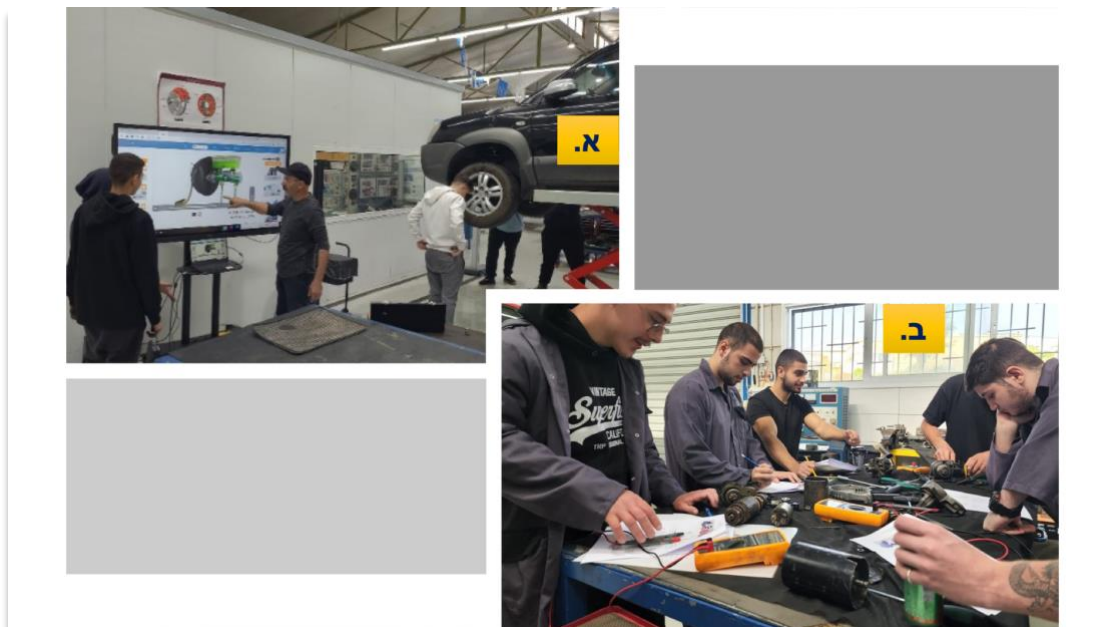
שיטת ההוראה בשילוב התוכנה מאפשרת (איור 1א), לאחר שיעור עיוני, לבצע תרגול הדרגתי בנושא מסוים. התלמידים מבצעים את יחידות הלימוד בעזרת טאבלט (איור 1ב), ורק לאחר סיום היחידות בנושא, ניגשים לעבודה מעשית במעבדה (איור 1ג). שיעורי המעבדה מלווים בסרטונים חלקם מדובבים מתוך תוכנה מיוחדת בשם **VehicleVisuals** (איור 2). הסרטונים נשלחים לתלמידים בהתאם למטלה הנדרשת בשיעור ו/או מוצגים במסכי המעבדה. ניתן בעזרת תוכנה זו לקיים מבחנים מתוקשבים על הנושאים שנלמדו (איור 1ד).

1.2 שימת דגש על איכות פרויקט הגמר. לכל תלמידה קיימת תיקייה בדרייב הארגוני, בה מוצגת חוברת **אב טיפוס בסיסית**, המהווה את החלק של החקר הספרותי, ועליה עובדים באופן משותף התלמידה והמורה. כך שלשניהם, קיימת אפשרות, לראות את קצב ההתקדמות ולכתוב הערות בונות. צוות הפיקוח של המגמה, בה שותף עומר, שידרג את איכות הפרויקט, והוסיף דרישה ליישום דוחות מעבדה בהתאם לנושא הנבחר בפרויקט. הדוחות מאפשרים למידה בעזרת ניסוי,

[†] שמות חברי הצוות השותפים: חנפסי מואיד, מאיר מתן, מזרחי דוד, שגיא קרן, שיפרין אלכס, שמכה מוטי.



ומפתחים מיומנות של כתיבת דוחות מעבדה. צוות ההוראה בכדורי דורש שלפחות אחד הדוחות, יוגש בשפה האנגלית. חוברת הגמר הכוללת בתוכה את הסקר הספרותי ואת דוחות המעבדה והפרויקט מוגשת להערכת בוחן חיצוני (דוח מעבדה לדוגמא בנושא שימוש בסורק תקלות OBD, דוח מעבדה לדוגמא בנושא מצבר, דוח מעבדה בנושא בלם דיסק).



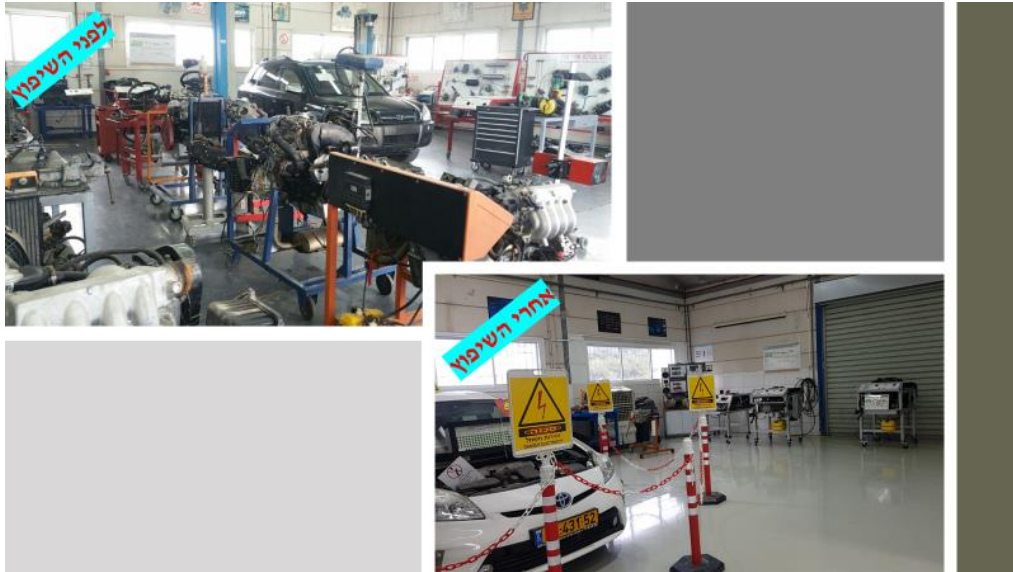
איור 2. א. שיעור מעבדה תוך שימוש בתוכנת Vehicle Visuals; ב. שיעור מעשי כולל מילוי דוחות מעבדה.

1.3 בעזרת ישיבות צוות קבועות, לוקטו ופותחו חומרי לימוד עדכניים, המסייעים לתלמידים ולמורי המגמה בבית הספר ומחוצה לו, [קישור למספר חומרי לימוד](#).

2. במישור סביבת העבודה

עומר הבין, שיש לשדרג את מתחם סדנת הרכב ולהפוך אותה למעבדה מתקדמת. על ידי ניצול קולות קוראים לתקצוב מגמות טכנולוגיות משודרגים כל העת הדגמים/סימולטורים/ מכשירי אבחון לרכב ואמצעי המחשה שונים ובסיוע של גורמים נוספים הצליח עומר להשיג תקציב לביצוע שיפוץ במתחם העבודה והפך את המתחם, מסדנה מיושנת למעבדה מחודשת, אוטומוטיבית, המאפשרת את הלמידה המגוונת (איור 3).





איור 3. המעבדה של מתחם סדנת הרכב לפני ואחרי השיפוץ

בנוסף, בנו צוות מורי המגמה דגמים מיוחדים שעוזרים בהבנת מנגנוני הרכב והציבו אותם במתחם המעבדה (איור 4).



איור 4. דגם מערכת שמע וחיישני קרבה שנבנה על ידי צוות מורי המגמה

3. במישור ההתמקצעות

הושם דגש על מעבר למוקד השתלמויות פנים בית ספרי שנפתחו גם למורי המגמה וגם למורים אחרים החפצים בכך. כמו כן, הושם דגש גם על יציאה להשתתפות פעילה בהשתלמויות שונות



של המגמה, שמתקיימות על ידי הפיקוח, באזור הצפון. ומאחר ועל צוות המורים, להתעדכן כל העת בטכנולוגיות מתחדשות בכלי הרכב, וללמוד וללמד בדיוק כפי שלומדים ומלמדים בתעשיית הרכב בארץ ובעולם, ההשתלמויות בכדורי מועברות על ידי עומר באופן מעשי (איור 5).



איור 5. השתלמות מורים - פיתוח חומרי לימוד בשיתוף חברת מומנטום

4. במישור החברתי

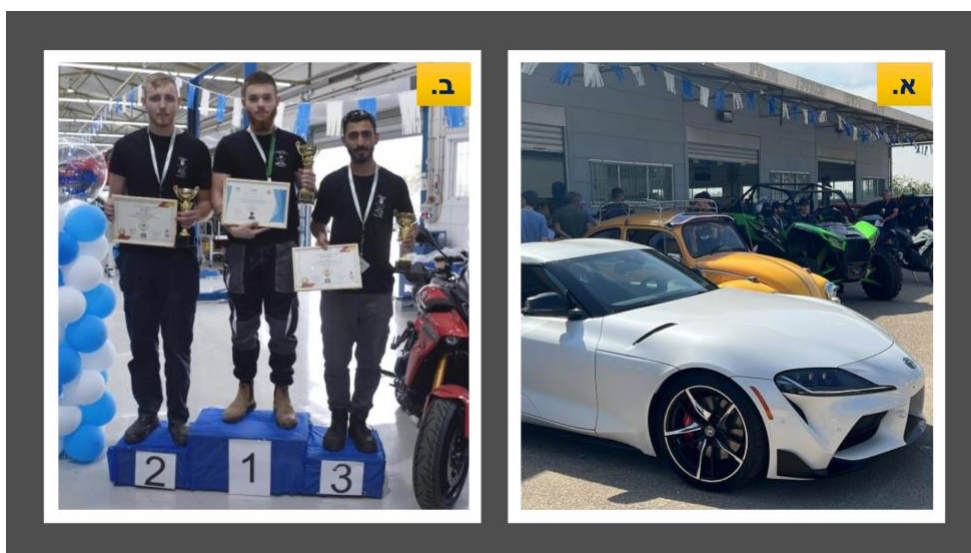
4.1 בכל שנה, נבחר יום, המכונה יום מגמה, בו כל תלמידי בית הספר יוצאים לסיור מקצועי, ונחשפים לתעשייה בתחום ההתמחות שלהם. השנה, ארגן צוות המגמה בשיתוף חברת מומנטום – מנוע הצמיחה של מקצועות הרכב ביקור בחברת מטרו-מוטור, כחלק מתת התמחות חדשה שנפתחה רק השנה בכדורי, ועוסקת ברכב דו גלגלי ורכבי פנאי ושטח (איור 6).



איור 6. סיור תלמידי מגמת תחבורה מתקדמת בחברת מטרו-מוטור



4.2 בשנת תשפ"ב, עומר וצוותו יזמו יום הפנינג גדול של המגמה וביום זה התקיימה תחרות מקצועית לסטודנטים מהמכללה של כדורי, שבה השתתפו כשופטים נציגים מהתעשייה[‡], ומצה"ל[§], הנציגים השתתפו במספר עמדות שונות, כגון: רכב היברידי, תקשורת מחשבים, איתור תקלות במנוע, בקרת אקלים ועוד (איור 7א). לכבוד האירוע, הגיעו לכדורי, ד"ר אהרון שחר, מנהל אגף טכנולוגיה (מגמות מדעיות הנדסיות) במשרד החינוך, מר עדן נסים - מפמ"ר המגמה לתחבורה מתקדמת, מדריכי הפיקוח על המגמה, נציגי צה"ל מחיל הטכנולוגיה והאחזקה (טנ"א), נציגי משרד התחבורה, נציגים שונים מחברות יבואני הרכב, ואיגוד המוסכים, אשר העניקו את הפרס לזוכה במקום הראשון, הפרסים למקום השני והשלישי העניקו חברת מוטו-גת וחברת מאירס שיווק (איור 7ב). כל תלמידי המגמה בתיכון, הוזמנו כצופים ליום ההפנינג, הם גם נהנו, וגם הבינו את חשיבות רצף הלמידה האקדמית והאופק האקדמי הקיים עבורם כתלמידי המגמה. עקב ההצלחה הגדולה, הוחלט לערוך את יום ההפנינג מידי שנה, ובימים אלו ממש, שוקד צוות המגמה בכדורי על ארגון התחרות שתתקיים בחודש מאי הקרוב.



איור 7. א. יום הפנינג כולל תצוגה של מגוון רכבים; ב. הזוכים - במקום הראשון רון מעוז, במקום השני דימה רפפורט ובמקום השלישי יובל שלמה

4.3 אירוח בתי ספר תיכוניים - צוות המגמה לתחבורה מתקדמת בכדורי, מצא לנכון להפיץ את הידע והאמצעים שיש לו, לכל בתי הספר התיכוניים בארץ המעוניינים להגיע ולחוות מקרוב את הקידמה הטכנולוגית בתחום הרכב והתחבורה. במהלך הביקור נחשפים המבקרים, להיסטוריה המפוארת של בית הספר כדורי ולפעילויות השונות המתקיימות בכדורי, במכללה ובמגמה לתחבורה מתקדמת (איור 8).

[‡]חגית אליאס מנכ"לית חברת מומנטום, טל ניר - מנהלת מחלקת הדרכה בחברת כלמוביל, חזי ברק מנהל מחוז צפון איגוד המוסכים, ויקטור, ג'נח מנכ"ל חברת KVO, יניב טוכמן מהנדס חברת מוטוגת, מר חנוך גרינברג מנכ"ל חברת CARDATA יבואנית ELECTUDE בישראל, אסף חן - חברת מאירס שיווק, רמי חדאד מנכ"ל חברת רובוטיקס.
[§]סגן אלוף שלום נוח, רב סרן תומר כהן, רנ"ג איציק וקנין, רנ"ג אבי בן יתח.





איור 8. א. אירוח תלמידים מבית ניר העמק; ב. אירוח תלמידים מבית ספר דרכא שקד שדה אליהו לסיכום שאלנו את עומר מספר שאלות:

כיצד ניתן לדעתך להמשיך ולקדם את המגמה בבית הספר?

מיתוג נכון וקיום הבטחות לתלמידים, הרצאות אורח, ביקור בעלי תפקידים מהתחום, ביצוע פעילויות שונות ומגוונות שהתקיימו לאחרונה בכדורי: שיתופי פעולה עם עמותת ארגון ידידים בדרכים, שיתופי פעולה עם מגמת גיאוגרפיה בנושא קיימות וזיהום אוויר ועידוד לחינוך סביבתי.

מהם האתגרים בלימודי המגמה?

האתגרים בלימודי המגמה הינם מגוונים ורבים אך תמיד צריך לראות את החלק הטוב שבאתגר שנותן לנו להישאר מגוונים וערניים לשינויים המתמידים בטכנולוגיה המתפתחת. במקביל לכך המגמה הינה בית לכל התלמידים במגוון הרמות ולכן נוצרת הטרוגניות כזו המצריכה התגייסות מלאה של הצוות החינוכי, כמו כן, נדרשת הערכה דיפרנציאלית.

האם יש לך טיפים למורים מתחילים?

קודם כל אהבה למקצוע, להוביל ולהרגיש שהחינוך מהווה את המפתח לשינוי העתידי ולא להפסיק לחלום וליזום.





איור 9. חלק מצוות ההוראה של המגמה בכדורי – בפתחה של השתלמות מעשית ביחד עם מנהלת בית הספר הגברת דלית אביגד

באיור 9 ניתן לראות חלק מצוות ההוראה, בבית הספר החקלאי כדורי. ליצירת קשר ולקבלת פרטים נוספים ניתן לפנות ל:

מנהלת בית הספר השש שנתי: דלית אביגד, מייל: dalit.avigad@kadoorie.org.il

ממונה חטיבה עליונה וסגן מנהלת: שלום גוזלן, מייל: shalom.g@kadoorie.org.il

רכזת פדגוגית וסגנית מנהלת: דינה הירש, מייל: dina.h@kadoorie.org.il

רכז המכללה הטכנולוגית להנדסאים והמורה המוביל בצוות המגמה, עומר בן ארוש, מייל: omer.b@kadoorie.org.il



נגיעות ממחקרים מובילים בטכניון

דוברות הטכניון

1. הקמת "מרכז מחקר לחלבונים בני קיימא" בתקציב ראשוני של 20 מיליון דולר

נוכח אתגרי התקופה – בריאות, שינויי האקלים והגידול באוכלוסיית העולם – הכריז הטכניון על הקמתו של מרכז מחקר רב-תחומי לחלבונים בני-קיימא – חלבונים שיופקו ממקורות חלופיים ומתחדשים ויחליפו מזונות מן החי, שייצורם מחריף את המשברים השונים שעיימם האנושות מתמודדת. המרכז ישמש פלטפורמה למחקר בסיסי ויישומי, למסחור וליזמות ויספק תמיכה מחקרית לתעשייה. העלייה העולמית בדרישה למזון מן החי מהירה אף יותר מהגידול באוכלוסיית העולם, מצב שלא יוכל להימשך עוד זמן רב. תעשיית המזון מן החי אחראית לפליטת 20% מגזי החממה בעולם, לשימוש נרחב באנטיביוטיקה (73% מכלל השימוש העולמי), להתפרצות מגיפות ולניצול לא יעיל של שטחי אדמה ומים. עם זאת, הצריכה העולמית של מזון מן החי גבוהה היום מאי פעם וצפויה להמשיך לעלות.

מרכז המחקר לחלבונים בני-קיימא (Sustainable Protein Research Center, SPRC) ימשוך חברי סגל חדשים וחוקרים חדשים ומעולים ויקדם את התחום באמצעות טיפוחה של סביבת מחקר יוצאת דופן בקמפוס. את היוזמה להקמת המרכז מוביל הטכניון בשיתוף עם ה-Good Food Institute ארגון מדעי בין-לאומי ללא מטרת רווח הפועל להאצת המחקר והחדשנות הטכנולוגית בתחום החלבונים האלטרנטיביים. בראש המרכז יעמדו פרופ' יואב ליבני (ראש המרכז) ופרופ' אבי שפיגלמן (סגן ראש המרכז) מהפקולטה להנדסת ביוטכנולוגיה ומזון. דוד שם טוב ממוסד הטכניון ינהל את קשרי המרכז עם התעשייה ועם גופי ממשל בזירה הלאומית והבין-לאומית. לדברי פרופ' ליבני, "גידול בעלי חיים למאכל אינו בר-קיימא משום שהוא מצריך משאבים ההולכים ואוזלים. זהו אחד הגורמים לכריתת יערות-עד הפוגעת במגוון הביולוגי ולהאצת ההתחממות הגלובלית. יתר על כן, חקלאות בעלי חיים היא גורם זיהום משמעותי והצרכן הגדול ביותר (כ-70% בארה"ב) של אנטיביוטיקה. הגידול בצריכת אנטיביוטיקה גורר התפתחות של חיידקים עמידים – הצפויים להיות אחד מגורמי התמותה העיקריים בעשרות השנים הבאות. כמענה לאתגרים אלה התחוללה בשנים האחרונות התקדמות חסרת תקדים בפיתוח אלטרנטיבות למאכלים מן החי. אלטרנטיבות אלה מבוססות על שימוש במקורות צמחיים, על גידול תאים בתרבית (בשר מתורבת - איור 1) ועל תהליכי פרמנטציה (תסיסה). לתחום זה נכנסו מעבדות וחברות סטרטאפ רבות והושקעו בו משאבים הולכים וגדלים, לרבות תקציבי ממשלה שנועדו לפתח את התחום של חלבונים בני-קיימא. עם זאת, קצב התפתחותו של תחום זה מוגבל על ידי אתגרים מדעיים וטכנולוגיים עצומים שהמרכז נועד לקדם את ההתמודדות עמם".

החלטת הטכניון להקים את המרכז התקבלה בסוף דצמבר 2022, והפעילות להקמת המרכז כעת בעיצומה. מרכז המחקר לחלבונים בני-קיימא (SPRC) יקדם ויאין שיתופי פעולה מחקריים רב-תחומיים שיולידו תובנות חדשות וטכנולוגיות חדשניות וכשיר אנשי את מדעני ומהנדסי העתיד בתחום. המרכז החדש יתמוך בתעשייה, ובעיקר בחברות סטארט-אפ, בהתמודדות עם האתגרים השונים ובהם אתגר הגימלון (Scaling up) – תרגומם של פיתוחים במעבדה לייצור תעשייתי.



המרכז החדש יתאם פעילויות משותפות בין עשרות חוקרים מיותר מעשר יחידות אקדמיות בטכניון ושיתופי פעולה עם אוניברסיטאות אחרות וחברות בתעשייה. הוא ירתום את משאביו להתמודדות עם האתגרים הבווערים ביותר בקיימות ובבריאות האדם – אתגרים הקשורים באופן הדוק לגידול באוכלוסיית העולם ולעליה המואצת בצריכת מוצרים מן החי.



איור 1. בשר מתורבת (קרדיט: פרופ' מרסל מחלוף, המעבדה למערכות שחרור מבוקר ותרפיה תאית, הפקולטה להנדסת ביוטכנולוגיה ומזון, הטכניון)

לסרטון מטעם חברת מיטאפורה (הוקמה ע"י פרופ' מרסל מחלוף, הפקולטה להנדסת ביוטכנולוגיה ומזון, הטכניון) המתאר תהליך ייצור של בשר מתורבת ע"י שימוש בנשאים (פיגומים) על בסיס חלבון צמחי סרקו את קוד ה-QR:

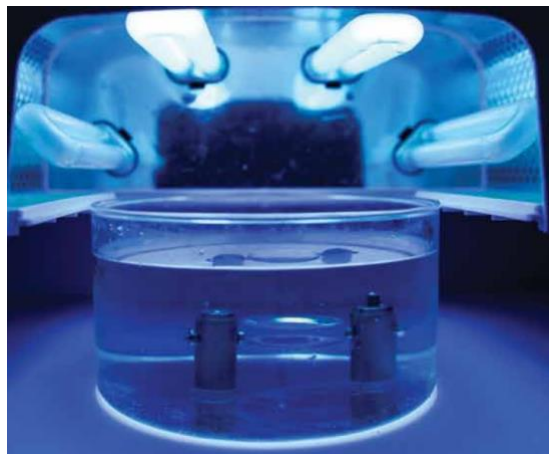


2. אופטיקה נוזלית

טכנולוגיה מקורית שפותחה בטכניון מאפשרת לייצר רכיבים אופטיים מורכבים ומדויקים במהירות וללא צורך ביציקה ובליטוש. פריצת דרך זו הניבה לאחרונה מאמר בכתב העת, Optica ניסוי בתנאי מיקרו-כבידה באטמוספירה והדגמה מוצלחת בתחנת החלל הבין-לאומית, שם יישם אותה האסטרונאוט הישראלי איתן סטיבה במסגרת משימת 'רקיע' של קרן רמון. הטכנולוגיה החדשנית שפותחה במעבדתו של פרופ' מורן ברקוביץ מהפקולטה להנדסת מכונות מאפשרת לייצר עדשות ורכיבים אופטיים אחרים בדיוק גבוה ובמהירות. בין השאר תאפשר טכנולוגיה זו לייצר בחלל עדשות ענק שאין אפשרות לשגר מכדור הארץ בשל גודלן. נוסף על כך, המערכות שמשמשים בהן על כדור הארץ כדי לייצר עדשות ורכיבים אופטיים הן מערכות מסורבלות וזוללות אנרגיה שעושות שימוש בכרסום ומירוק כדי לייצר את הרכיבים, ואין אפשרות להביא אותן לחלל. לטלסקופי חלל יש חשיבות אדירה הן בהבנה בסיסית של היקום והן במשימות יישומיות יותר כמו מעקב אחר אסטרואידים שעלולים להתנגש בכדור הארץ. לגודל הטלסקופ חשיבות עצומה. ככל שהטלסקופ גדול יותר, כך הוא יכול לאסוף יותר אור והרזולוציה שלו טובה יותר. לכן טכנולוגיה שתאפשר לייצר



בחלל עדשות גדולות תשפר את יכולתנו לחקור את החלל העמוק. כזו היא הטכנולוגיה שפיתחו חוקרי הטכניון. המאמר שהתפרסם ב-Optica מתאר כיצד פולימר נוזלי הנמצא בתוך סביבה נוזלית מיוחדת מתעצב לצורות מורכבות על ידי הכוחות הפיזיקליים הפועלים עליו. לאחר שהפולימר מקבל את צורתו הסופית הוא מוקשח באמצעות קרינת UV והופך לעדשה מוצקה. הממציאים, חוקרים בפקולטה להנדסת מכונות בטכניון, מעריכים כי הטכנולוגיה החדשה תקדם ייצור מהיר של רכיבים אופטיים מורכבים על פי דרישה למגוון יישומים ובהם משקפיים ועדשות מגע, מערכות של מציאות מדומה ורבודה, דימות פנורמי, מיקוד קרינת שמש, כלי רכב אוטונומיים, מכשירי דימות רפואי, מיקרוסקופייה וטלסקופייה. בנוסף, הדגימו החוקרים את יעילות השיטה בייצור רכיבים אופטיים בעלי גאומטריה מורכבת המכונה Freeform optics. במאמר החוקרים מראים כי העדשות המתקבלות מאופיינות באיכות פני שטח הדומה לזו של עדשות המעובדות בטכנולוגיות הליטוש הטובות ביותר הקיימות כיום. במאמר הם מציגים "רמת חספוס" של פחות מ-1 ננומטר, המושגת בתהליך מהיר ופשוט. החוקרים מעריכים שבנוסף לייצור עדשות קשיחות תשמש הטכנולוגיה החדשנית גם ליצירת עדשות נוזליות, כלומר עדשות שישמשו כרכיבים אופטיים במצבן הנוזלי. כך תושג דינמיות של העדשה, שכן יהיה אפשר לשנותה על פי צורך באמצעות הזרקת פולימר נוזלי נוסף או בשינוי צפיפות הנוזל הראשוני שבתוכו נוצרת העדשה.



איור 2. טכנולוגיה חדשנית ליצירת עדשות אופטיות מורכבות (דוברות הטכניון)

לציטוט המאמר:

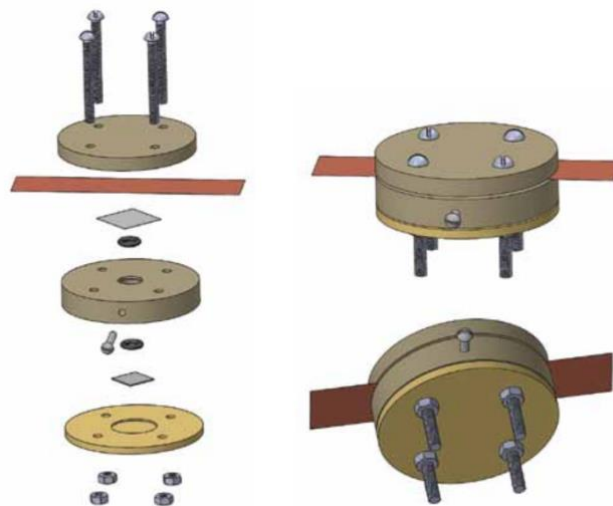
Elgarisi, M., Frumkin, V., Luria, O., & Bercovici, M. (2021). Fabrication of freeform optical components by fluidic shaping. *Optica*, 8(11), 1501-1506.

למאמר סרקו את קוד ה-QR:



3. עידן חדש באגירת אנרגיה

צורך הגובר בשימוש במקורות אנרגיה מתחדשים מציב אתגרים הנדסיים רבים ובהם אתגר האגירה. מאחר שמקורות אלה אינם יציבים על ציר הזמן - קרינת השמש אינה מגיעה לכדור הארץ כל שעות היום ואנרגיית הרוח אינה קבועה בעוצמתה - נדרשים פתרונות אחסון יעילים. מעבר לסוגיה הסביבתית והאקלימית קיימים אתגרים טכנולוגיים רבים, למשל בהנעת כלי רכב חשמליים. מצברים חזקים וארוכי טווח הם משאלה שעדיין לא התגשמה, וכיום מבוססים המצברים האלה ברובם על סוללות ליתיום-יון המאופיינות במחיר גבוה ובהשלכות סביבתיות שליליות. על רקע זה נערכים בעשורים האחרונים מחקרים רבים שנועדו לפתח סוללות המבוססות על רכיבים זולים וזמינים יותר כגון מגנזיום, סידן, אלומיניום ואבץ. זהו הרקע למחקרים הנערכים במעבדתו של פרופ' יאיר עין-אלי בנושא סוללות מבוססות סיליקון. פרופ' עין אלי הוא חבר סגל בפקולטה למדע והנדסה של חומרים וחבר ב-GTEP, תוכנית האנרגיה ע"ש גרנד בטכניון. סיליקון הוא היסוד הנפוץ ביותר בקרום כדור הארץ מלבד חמצן ולכן הוא זמין וזול. יתרה מזו, הוא מאופיין ביציבות ובצפיפות אנרגיה גבוהה - מאפיינים ההופכים אותו לחומר מתאים לסוללות. מחקר בנושא זה במעבדה של פרופ' עין אלי החל כבר בשנת 2009, וכבר הניב פיתוח של סוללות סיליקון-אוויר. כעת מפרסמת קבוצת המחקר בראשות פרופ' עין אלי פריצת דרך חדשה: סוללות נטענות על בסיס סיליקון, ללא ליתיום. את המחקר שהתפרסם ב- Materials Energy Advanced הובילו הדוקטורנט אלון אפשטיין מהצד הניסויי וד"ר איגור בסקין מהצד התאורטי, והשתתף בו פרופ' מתי סאס מהפקולטה להנדסת מכונות. צוות המחקר הראה כיצד הסיליקון מתמוסס בעת פריקת הסוללה ומשוקע בחזרה בעת הטעינה באופן המאפשר פריקה וטעינה לסירוגין. בניסויים שנערכו במעבדה הצליחו החוקרים להדגים מספר סבבים של פריקה-טעינה, והם מעריכים כי שיפור התכן יוביל להגדלת מספר הסבבים והנצילות האנרגטית. המחקר נתמך על ידי המועצה להשכלה גבוהה והקרן הלאומית למדע, התוכנית הלאומית לתחילפי דלקים.



איור 3. מידול של המערכת בתוכנת ANSYS (דוברות הטכניון)



לציטוט המאמר:

Epshtein, A., Baskin, I., Suss, M., & Ein-Eli, Y. (2022). Rechargeable Silicon Redox Batteries. *Advanced Energy Materials*, 12(30), 2201626.

למאמר סרקו את קוד ה-QR:



משוב

לקוראי וקוראות כתב העת מור-טק שלום,

למילוי טופס משוב אלקטרוני סרקו את קוד ה-QR, להלן:



תודה על שיתוף הפעולה,
חברי המערכת





MoreTech
מור-טק
מרכז המורים הארצי
למקצועות הטכנולוגיים

גיליון 17 • יוני 2023