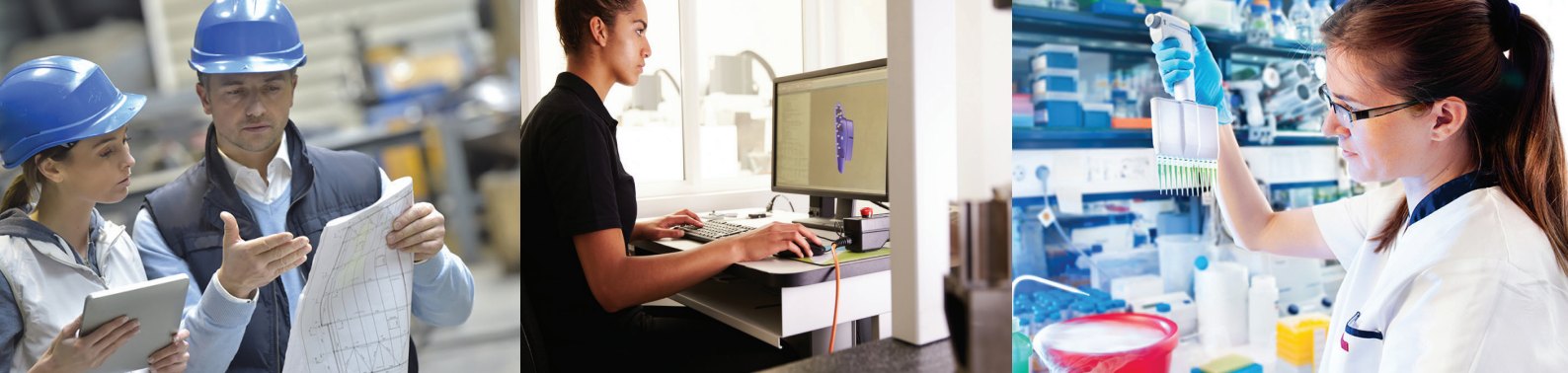




תהליך תיכון הנדסי לתלמידי מוט"ב

ד"ר רחל כהן, יועצת במחלקה להוראת המדעים במכון ויצמן למדע ומרצה (בשבתון) במכללת אורנים

הקדמה: הנדסה, טכנולוגיה וחשיבות הוראתם

די להביט סביבנו בבית, בבית הספר, בתעשייה או בכל מקום אחר ולהבחין שההנדסה והטכנולוגיה עומדים במרכז הווייתנו. האדם מסוגל לפתח אמצעים להעצמת יכולתו ולשנות ולעצב את הסביבה בהתאם לצרכיו. תוצרי הנדסה וטכנולוגיה (תפוקות ותהליכים) משפרים את איכות חיינו.

מחד, יש שיציבעו על כך שההנדסה או טכנולוגיה הם יישום של מדע. אלא שההתייחסות אליהם רק כאל "מדע שימושי" מהווה תפיסה חלופית.

מקובל להגדיר טכנולוגיה כתחום דעת העוסק בחדשנות, בשינוי הסביבה הטבעית ובמציאת פתרונות מעשיים כדי לספק רצונות וצרכים אנושיים. ההנדסה היא השמה מנומקת של ידע, ניסיון ושיטות, שנרכשו מהמחקר המדעי והמתמטי לתכנון וייצור של מוצרים שימושיים לטובת האנושות (ITEA, 2000). ההנדסה הוגדרה כעיצוב תחת האילוצים (National Academy of Engineering, 2010; Wulf, 1998). מהנדסים מעצבים פתרון בעיה ובה בעת מביאים בחשבון אובייקטים פיזיים ואילוצים נוספים כזמן, עלות כספית, זמינות חומרים, תקנות סביבתיות ושיקולים פוליטיים.

על כן החברה מייחסת חשיבות להוראת הנדסה וטכנולוגיה שבאמצעותם התלמידים ילמדו ויחקרו היבטים יישומיים שונים בסביבתם. הוראת הנדסה וטכנולוגיה עשויה גם לספק הקשר שבו תלמידים יכולים לבחון את הידע המדעי שלהם ולהחילו על בעיות מעשיות (Cunningham & Carlsen, 2014). באופן זה עשויה להשתפר הבנת התלמידים במדע, בהנדסה ובטכנולוגיה וביחסי הגומלין בין תחומים אלה (Wicklein, 2006).

ברור כי לא כל התלמידים יהפכו למהנדסים או ימשיכו בקריירה של הנדסה לאחר סיום בית הספר תיכון, אך כל התלמידים יכולים ליהנות מחוויות תכנון לפתרון בעיות הנדסיות בתיכון (Wicklein, 2006; Apedoe, Reynolds, Ellefson, & Schunn, 2008). ההוראה של תכנון הנדסי עשויה לסייע לתלמידים לפתח חשיבה ביקורתית ומיומנויות עבודת צוות (Wicklein, 2006), יכולת פתרון בעיות ופיתוח מיומנויות חשיבה מערכתית (Householder & Hailey, 2012).

ואכן, הסטנדרטים בארצות הברית (NGSS, NRC, 2015) משקפים את הצורך להבנה של רעיונות לבה, שילוב תכנים מדעיים והנדסיים וקישור בין מושגים מתחומים אלו. הם מגדירים חזון ושיטות חדשות להוראת מדעים אשר ממזגות ידע ומיומנויות הנדרשים במאה ה-21, ומקנים לתיכון ההנדסי סטטוס ומעמד הזהה לזה של החקר המדעי (Lederman & Lederman, 2014; Pruitt, 2014; Robelen, 2010).

בישראל, במסגרת תכנית הלימודים מוט"ב (מדע וטכנולוגיה בחברה) לחטיבה העליונה הוחלט ללמד בתשע"ו את תהליך התיכון ההנדסי. לפני מספר חודשים הסתיימה כתיבת הטייטה הראשונה, והוראת המבנית בכיתות הניסוי החלה בשנת תשע"ו.

כאן אנו מגיעים למטרת המבנית "תהליך התיכון ההנדסי לתלמידי מוט"ב". התכנית פותחה במגמה להכשיר את הלומדים לעתיד עתיר הנדסה וטכנולוגיה ובו מידע המשתנה כל העת. על כן הושם דגש על עקרונות היסוד של תהליך התיכון ההנדסי כחלק מהותי במבנית ולעקרונות החינוכיים להבנת תכנים עתידיים. הרי בפתיחת כלי תקשורת ניכרים חידושים הנדסיים-טכנולוגיים חדשות לבקרים. מכאן שאין טעם בלימוד היבט תוכני בידיעה שהוא עשוי להשתנות בקרוב. לעומת זאת עקרונות יסוד של תהליך התיכון ההנדסי הם הבסיס להבנת תכנים חדשים גם בעתיד. יחד המבנית "תהליך התיכון ההנדסי לתלמידי מוט"ב" מציעה מגוון רחב של היבטים מדעיים, חברתיים, כלכליים ואחרים. במטרה לעורר עניין, סקרנות והגברת המוטיבציה של התלמידים נבחרו ביחידת הלימוד דוגמאות הכוללות היבטים תוכניים עדכניים כהדפסת זכוכית, שינוע מסך טלפון נייד ועוד.

המטרה היא לתת לתלמידים בוגרי מוט"ב את היכולת לקשר בין מושגים הקשורים להנדסה, מדע וחברה, ליחסי גומלין והדדיות ביניהם, ולהגביר את מודעותם לתהליכים בתחומים אלו המתרחשים בסביבתם.

שלושת הרעיונות המרכזיים של תהליך התיכון ההנדסי

(Engineering Design Process)

לבעיות הדורשות תכנון הנדסי אין פתרון יחיד ונכון, ועל כן זהו מאמץ תהליכי ויצירתי אך גם שיטתי ומתמשך של עיצוב המתחיל עם זיהוי בעיה ונגמר בפתרון המתחשב באילוצים המזוהים והמכוון למפרטי ביצועים רצויים. למעשה, כיום מתייחסים להנדסה כאל תחום המכוון לתכנון ועיצוב לוליאתי (אי־טֶרְטִיבִי) ולמיטוב (אופטימיזציה) של חומרים וטכנולוגיות לצרכים אנושיים, תוך כדי התייחסות להגדרת דרישות (קריטריונים) ולאילוצים.

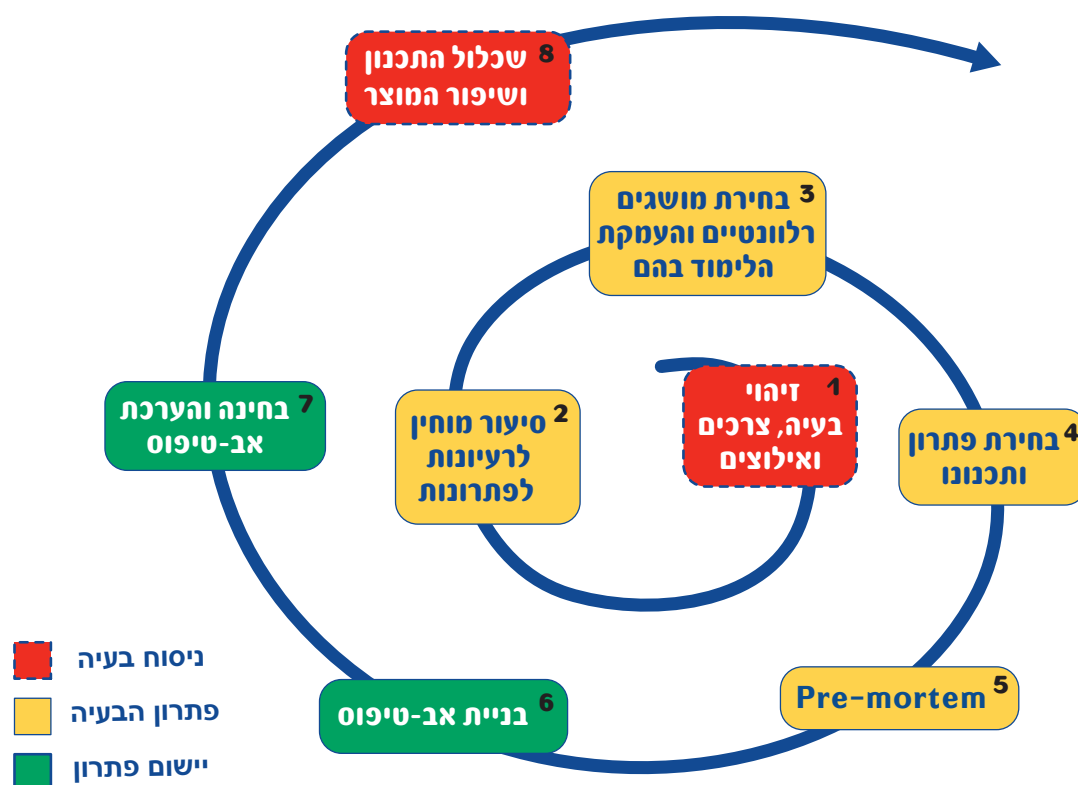
הגדרה ותיחום של הבעיה ההנדסית שעבורה נדרש פתרון כולל, וביאור מפורש של הדרישות (קריטריונים להצלחה), האילוצים או ההגבלות.

תכנון פתרון הנדסי לבעיה החל מיצירת מספר פתרונות אפשריים, הערכתם ובחירת הפתרון הטוב ביותר העונה לדרישות והאילוצים.

מיטוב (אופטימיזציה) הפתרון שבו מתקיימים תהליכי הערכה שיטתיים ושכלול הפתרון לתכנון סופי על-ידי שיפור ושינוי מאפיינים חשובים יותר על חשבון מאפיינים חשובים פחות (National Research Council, 2015).

על כן תלמידים המבצעים תהליך של תכנון הנדסי עוברים שלושה שלבים: ניסוח בעיה, פיתוח פתרון בעיות ויישום הפתרון ומיטובו. ביתר פירוט בתהליך התיכון ההנדסי התלמידים מזהים ומגדירים בעיה, דרישות ואילוצים; מבצעים סיעור מוחין לרעיונות לפתרון הבעיה; חוקרים ולומדים מושגים; בוחרים בפתרון מיטבי ומתכננים אב-טיפוס; מבצעים ניתוח כשלים אפשריים (pre-mortem); בונים אב-טיפוס ומעריכים אותו; מתכננים את מיטוב הפתרון ובונים את המוצר (איור 1).

תהליך תיכון הנדסי ב"מדע וטכנולוגיה לכל"



איור 1: תהליך התיכון-ההנדסי

מאפיינים דידקטיים של המבנית וחלקיה

המבנית נועדה לזמן ללומדים התנסויות של תכנון ובנייה של מוצרים בהקשר של תחומי התוכן שהפרק עוסק בהם. העיסוק בתהליך התכנון והבנייה תורם כאמור להבניית מושגים בהנדסה וטכנולוגיה ולהבנת דרך היישום של המושגים המדעיים. המבנית גם מחזקת את ההבנה של קשרי הגומלין בין מדע והנדסה ויישום של משאבי ידע שונים בפתרונות הנדסיים. עקרונות מנחים שהיוו תשתית בכתיבת המבנית היו:

- עיסוק בחדשנות שעשוי להמחיש לתלמידים את רלוונטיות התחום לחיי היום יום שלהם ולעורר את עניינם;
- טיפול ומיקוד במושגים מדעיים;
- לימוד פעיל תוך כדי פיתוח עבודת צוות ושיתופיות (collaboration) בקרב התלמידים;
- פיתוח יצירתיות ותרגול מיומנויות רבות, כגון: בנייה וניסוח טיעונים, השוואה, ארגון ומיון מידע, מיזוג מידע, ייצוג מידע באופן חזותי ועוד.

במבנית תהליך התיכון ההנדסי התלמידים מתכננים פתרון הנדסי לשתי בעיות שונות. בשלב הראשון - במשימת שינוע מסך טבלט - שלבי התיכון ההנדסי מרומזים (Implicit). רק בשלב המטה-קוגניטיבי של משימה זו נחשפים התלמידים לחלק משלבי תהליך התיכון ולהגדרתם. אחר כך הם מתרגלים את שלבי תהליך התיכון תוך כדי

זיהויים ואיתורם בכתבה חדשותית (הדפסת גשר להולכי רגל, שיוצב מעל אחת מהתעלות באמסטרדם). לבסוף, התלמידים מתבקשים לבחור סוגיה ולפתור אותה שלב אחר שלב (step by step) תוך שימוש בכל שלבי התיכון ההנדסי המפורשים (Explicit).

דוגמאות לפעילויות מהמבנית

מטבע הדברים המאמר הנוכחי אינו יכול להתייחס לכל פרקי המבנית, ולפיכך נצמצם את הכתוב בהמשך לשתי דוגמאות המדגימות את רוחה המיוחדת של המבנית.

דוגמה א'

"יש לי טבלט שקנו לי לפני שבועיים-שלושה, ועכשיו הוא נפל כשפניו על הרצפה מגובה של שולחן מחשב. זה לא היה צפוי כלל, ולא הייתי מוכן להוצאה כספית נוספת. חיפשתי באינטרנט את ההצעה הזולה ביותר להחלפת מסכי טבלט. התקשרתי למעבדה נוספת, והם אמרו שעליהם לקבל משלוח של מסכי טבלט וינסו לזרז את קבלת המשלוח".



דוגמה זו ממחישה את העיסוק בחדשנות שעשוי להמחיש לתלמידים את רלוונטיות התחום לחיי היום יום שלהם ולעורר את עניינם. עוד היא ממחישה את הטיפול והמיקוד במושגים מדעיים ואת הלימוד הפעיל תוך כדי פיתוח עבודת צוות ושיתופיות (collaboration) בקרב התלמידים ומודעותם לכך.

לשם כך מובאים מקטעים שונים ממשימת שינוע מסך טבלט להדגמת הרעיונות שלעיל. לצורך הדגמת העיסוק בחדשנות שעשוי להמחיש לתלמידים את רלוונטיות התחום לחיי היום יום שלהם, נבחרה בעיה של שבירת מסך טבלט - תהליך שלצערנו מוכר בעידן התקשורת היום יומי.



מסך טאבלט שבור

במטרה להדגיש את הצורך להתמקד במושגים מדעיים בתהליך התיכון ההנדסי, מובאת בזה דוגמה לאחת

המשימות שניתנת לתלמידים בהמשך לחקירה ולסקירה הספרותית במשימת הטבלט.

- מה למדתם (תארו את למידותיכם מחקירתכם)?
- מהו הבסיס המדעי הנדרש לפתרון הבעיה? ציינו את המושגים והסבירו אותם במילים שלכם; העלו את העקרונות המדעיים הקשורים למוצר וכתבו כיצד הם רלוונטיים לפתרון הבעיה.
- מהן המלצותיכם לתכנון המוצר בעקבות הלמידה?
- במטרה להמחיש את הלימוד הפעיל של התלמידים שגם פיתחו בצורה מודעת עבודת צוות ושיתופיות (collaboration), מובאים בזה המחווה והמשימה שניתנו לתלמידים.
- העריכו את עבודתכם באמצעות המחווה ודונו בממצאיו. מה אתם לומדים על עבודת הצוות שלכם?

המבנית גם מאפשרת למעוניינים בכך (רשות) להבחין בין תהליך החקר לבין תהליך התיכון ההנדסי. נושאי ותוכני המבנית מתוארים באיור 2 ביתר פירוט.



איור 2: נושאי ותוכני המבנית

מחווה למורה ולתלמיד להערכת המשימה של שינוע זכוכית להגנת טבלט

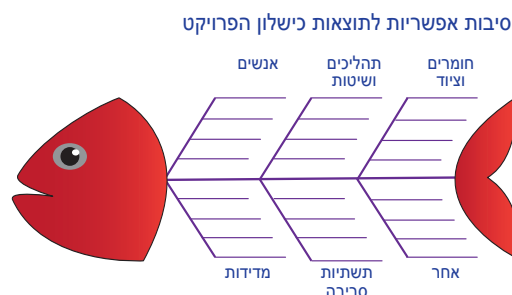
ממדים	רמת ביצוע מיטבית	רמת ביצוע טובה	רמת ביצוע בינונית	רמת ביצוע של תחילת הדרך
סיעור מוחין לפתרונות	כל חברי הצוות תורמים רעיונות אפשריים רבים.	כל חברי הצוות תורמים רעיונות אפשריים.	מעט מחברי הצוות תורמים רעיונות אפשריים	תלמיד אחד מחברי הצוות תורם רעיונות אפשריים.
יצירת רעיונות ובניית אבטיפוס	הצוות מתכנן לפחות שתי סקיצות פורטות ומסביר את האבטיפוס כפתרון מיטבי ואת הבסיס המדעי שלו.	הצוות מתכנן לפחות שתי סקיצות כלליות ומסביר את האבטיפוס כפתרון מיטבי ואת הבסיס המדעי שלו.	הצוות מתכנן סקיצה אחת שאינה מפורטת או שאין הסבר על האבטיפוס כפתרון מיטבי ואת הבסיס המדעי שלו.	הצוות אינו מתכנן סקיצה או אינו מסביר את האבטיפוס כפתרון מיטבי ואת הבסיס המדעי שלו.
טיוב התהליך	הצוות מטיב את האבטיפוס על בסיס איסוף נתונים ובדיקות של רעיונות יצירתיים ומשפר באופן ניכר את תכנונו וביצועו.	הצוות מטיב את האבטיפוס על בסיס איסוף נתונים ובדיקות ומשפר את תכנונו וביצועו.	הצוות מחדד מה צריך להיות באבטיפוס אך אינו עורך איסוף נתונים ובדיקות ואינו משפר את תכנונו וביצועו.	הצוות אינו משנה כראוי את האבטיפוס.
הצגת האבטיפוס הסופי	הצוות מציג אבטיפוס סופי ויצירתי שמוצלח מהמקורי ומסביר בבהירות איך טיוב האבטיפוס על בסיס הידע המדעי והנתונים שנאספו.	הצוות מציג אבטיפוס סופי שמוצלח מהמקורי ומסביר איך טיוב האבטיפוס על בסיס הנתונים שנאספו.	הצוות מציג אבטיפוס סופי שמוצלח מהמקורי ומתאר איך האבטיפוס שונה.	הצוות מציג אבטיפוס סופי.

דוגמה ב'

שלב ייחודי בתהליך התיכון לתלמידי מוטב הוא שילוב ניתוח כשלים אפשריים (Pre-mortem) בטרם נבנה האבטיפוס. במטרה להציג את פיתוח היצירות ותרגול מיומנויות רבות מובאים בזה ההנחיות למורה ולתלמיד בשלב ניתוח כשלים אפשריים, המתרחש בהתנסות בשלבי התיכון ההנדסי המפורשים (Explicit).

שלב 5: ניתוח כשלים אפשריים (Pre-mortem)

הנחיות למורה: לאחר שכתבו התלמידים את רעיונם לפתרון הבעיה ושרטטו סקיצה (ארגון מידע חזותי), ננחה אותם לבצע ניתוח כשלים אפשריים לפני בניית המוצר. לשם כך, נעזר בתרשים עצם הדג.



תרשים: שלד הדג לפירוט סיבות אפשריות לכישלון הפרויקט

הנחיות לתלמיד: כתבו שניים או שלושה פריטים שהם המשמעותיים ביותר בעיניכם מרשימת הסיכונים, חולשות והחששות לכישלון הפרויקט, וציינו אותם בתרשים שלד הדג שלמטה. פרטו את השפעותיהם לכישלון עתידי של הפרויקט. לבסוף, חשבו על רעיונות להימנעות או לצמצום הבעיות שצינו.

ביבליוגרפיה

- Apedoe, X. S., Reynolds, B., Ellefson, M. R., & Schunn, C. D. (2008). Bringing engineering design into high school science classrooms: the heating/cooling unit. *Journal of Science Education and Technology*, 17(5), 454–465.
- Cunningham, C. M., & Carlsen, W. S. (2014). Teaching engineering practices. *Journal of Science Teacher Education*, 25(22), 197-210.
- Householder, D. L., & Hailey, C. E. (Eds.). (2012). Incorporating engineering design challenges into STEM courses. Retrieved from <http://ncete.org/flash/pdfs/NCETECaucusReport.pdf>
- International Technology Education Association. Standards for Technological Literacy: Content for the Study of Technology. Reston, VA: ITEA, 2000.
- Lederman, N. G., & Lederman, J. S. (2014). The next generation science standards: implications for preservice and inservice science teacher education. *Journal of Science Teacher Education*, 25(2), 141-143.
- National Academy of Engineering. (2010). Standards for K-12 engineering education? Washington, DC: National Academies Press
- National Research Council (2015). Guide to implementing the next generation science standards. Washington, DC: The National Academies Press
- Pruitt, S.L. (2014). The next generation science standards: The features and challenges. *Journal of Science Teacher Education*, 25(2), 145-156.
- Robelen, E. W. (2010). Panel moves toward 'next generation' science standards. *Education Digest*, 76(2), 32-33.
- Wicklein, R. C. (2006). Five good reasons for engineering as the focus for technology education. *The Technology Teacher*, 65(7), 25–29. Retrieved from http://digitalcommons.usu.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1065&context=ncete_publications
- Wulf, W.A. 1998. Diversity in engineering. *The Bridge* 28(4). Available online at <http://www.nae.edu/Publications/TheBridge/Archives/CompetitiveMaterialsandSolutions/DiversityinEngineering.aspx>. (Accessed February 17, 2015)