

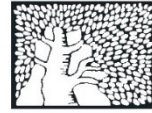


מדינת ישראל
משרד החינוך
המזכירות הפדגוגית, אגף מדעים
הפיקוח על הוראת מדע וטכנולוגיה

מינהלת מל"מ
המרכז הישראלי לחינוך מדעי וטכנולוגי
על-שם עמוס דה-שליט



מרכז מורים ארצי
למו"ט בחט"ב



המחלקה להוראת המדעים



הטכניון

הפקולטה
לחינוך למדע
וטכנולוגיה

תכן הנדסי

פעילויות מבוססות סרטונים להוראת תהליך התיכון

ההנדסי

בהוראת "מדע וטכנולוגיה לכל"

אוגדן למורה

פותח בטכניון, בפקולטה לחינוך למדע וטכנולוגיה

במסגרת המרכז הארצי למוט"ל, יולי 2018

כתיבה ועריכה: בטו כץ

ד"ר חני סבירסקי

יעוץ מדעי ופדגוגי: פרופ' יהודית דורי

תכן הנדסי בהוראת מוט"ל – פותח בטכניון, הפקולטה לחינוך למדע וטכנולוגיה, במסגרת המרכז
הארצי למורי מוט"ל, יולי 2018

כתיבה ועריכה: בטו כץ וד"ר חני סבירסקי, יעוץ מדעי ופדגוגי: פרופ' יהודית דורי

| | |
|----|--|
| 4 | מבוא |
| 6 | לפני שמתחילים... מהו בכלל תכן הנדסי? |
| 7 | חשוב לזכור: |
| 13 | 1. מדע והנדסה: הדומה, השונה? |
| 13 | 1.1 מסרים |
| 13 | 1.2 דגשים למורה |
| 14 | 1.3 הצעות להתנסות: מערך שיעור בנושא מדע, הנדסה ומה שביניהם |
| 15 | 1.4 חומרי עזר למורה |
| 16 | 2. איך מתחילים? זיהוי הבעיה |
| 17 | 2.1 מסרים |
| 17 | 2.2 דגשים למורים |
| 18 | 2.3 הצעות להתנסות: מערך שיעור בנושא זיהוי בעיות |
| 21 | 3. אילוצים... .. |
| 21 | 3.1 מסרים |
| 21 | 3.2 דגשים למורים |
| 22 | 3.3 הצעות להתנסות: מערך שיעור בנושא אילוצים |
| 24 | 4. העלאה ועידון של רעיונות לפתרון – כותב היחידה: רע לביא |
| 24 | 4.1 מסרים |
| 24 | 4.2 דגשים למורים |
| 25 | 4.3 הנחיות להתנסות |
| 30 | 5. מפרט |
| 31 | 5.1 מסרים |
| 31 | 5.2 דגשים למורים |
| 32 | 5.3 הנחיות להתנסות |
| 37 | מטלת סיכום ביניים לפרקים 1-5 |
| 38 | 6. סקרים |
| 38 | 6.1 מסרים |
| 38 | 6.2 דגשים למורים |
| 39 | 6.3 הנחיות להתנסות (המלצה לדרכי הוראה) |
| 41 | 7. ניתוח אופני כשל |
| 41 | 7.1 מסרים |
| 41 | 7.2 דגשים למורים |
| 41 | 7.3 הנחיות להתנסות (המלצה לדרכי הוראה) |
| 49 | לאן ממשיכים מכאן? בניית אב טיפוס – פרויקטים קבוצתיים |

49 מקורות

50 נספח א: הצעה חלופית לשיעור הפתיחה

55 נספח ב' – שיטה לזיהוי בעיית השורש לזיהוי בעיית השורש

מבוא

אוגדן זה פותח במטרה להנגיש את נושא התכן ההנדסי למורי ומורות מוט"ל באמצעות שילוב של סרטונים ואנימציות בנושאי תיכון. האוגדן כולל אוסף של פעילויות מתוקשבות עם הערות והמלצות פדגוגיות. לכל קישור (סרטון, אנימציה וכיוב') מצורף "כרטיס מידע" ופעילות לתלמיד. **הפעילויות פותחו בדגש על נקודות הקושי שהועלו על ידי המורים בהשתלמויות מוט"ל ומתוך תובנות הפיילוט שנערך בשנת תשע"ז.**

בנוסף, האוגדן כולל רקע על תהליכי תיכון הנדסי, מעבר לקיים ביחידות ההוראה, בהלימה למסמך הסטנדרטים לאוריינות מדעית (NGSS, 2017) תוך התייחסות להיבטים פדגוגיים בהנחיית תהליכי תיכון.

בפתיחת האוגדן (עמ' 5) מופיע רקע תיאורטי על משמעות המושג תכן הנדסי ודגשים בהוראת הנושא. לאחר המבוא, מופיעים שבעה פרקים להוראת נושא התכן מתחילתו ועד לשלב תחילת הפרויקטים (בניית אב-טיפוס). משלב תחילת הפרויקטים ניתן להיעזר [בחומרים המופיעים בפרק תיכון הנדסי באתר המפמ"ר](#).

כל פרק כולל:

- ❖ הסבר תמציתי על הנושא.
- ❖ מסרים = דברים שחשוב שנדע לפני שאנו מלמדים את הנושא.
- ❖ דגשים למורה = דברים שחשוב לשים לב אליהם בהוראה.
- ❖ הצעות להתנסויות = מערך שיעור. הפעילויות המוצעות במערכים מלוות במגוון קישורים לסרטונים שתוכלו לשלב בהוראתכם.
- ❖ קישורים לחומרי עזר נוספים.

מומלץ לקרוא תחילה את הרקע התיאורטי ולהבין מהו תכן הנדסי ואת התועלת הגדולה שבלימוד הנושא.

איך לשלב את התכנים שבאוגדן להוראת תכן הנדסי?

כל פרק מתייחס לתחנה בתהליך התכן ההנדסי כפי שמוצג באיור הספירלה שבעמוד הבא:

פרק 1 "מדע והנדסה – הדומה והשונה" מתייחס לתחילת התהליך לפני תחילת שלב איתור הבעיה והצרכים – תחנה ראשונה בספירלה שבאיור .

פרק 2, "איך מתחילים - זיהוי הבעיה" ופרק 3 "אילוצים", מתייחסים לתחנה הראשונה "בעיה, צרכים ואילוצים" בתהליך התכן ההנדסי כפי שמוצג באיור.

פרק 4 "העלאה ועידון של רעיונות לפתרון" מתייחס לתחנה השנייה "רעיונות לפתרונות".

תכן הנדסי בהוראת מוט"ל – פותח בטכניון, הפקולטה לחינוך למדע וטכנולוגיה, במסגרת המרכז הארצי למורי מוט"ל, יולי 2018

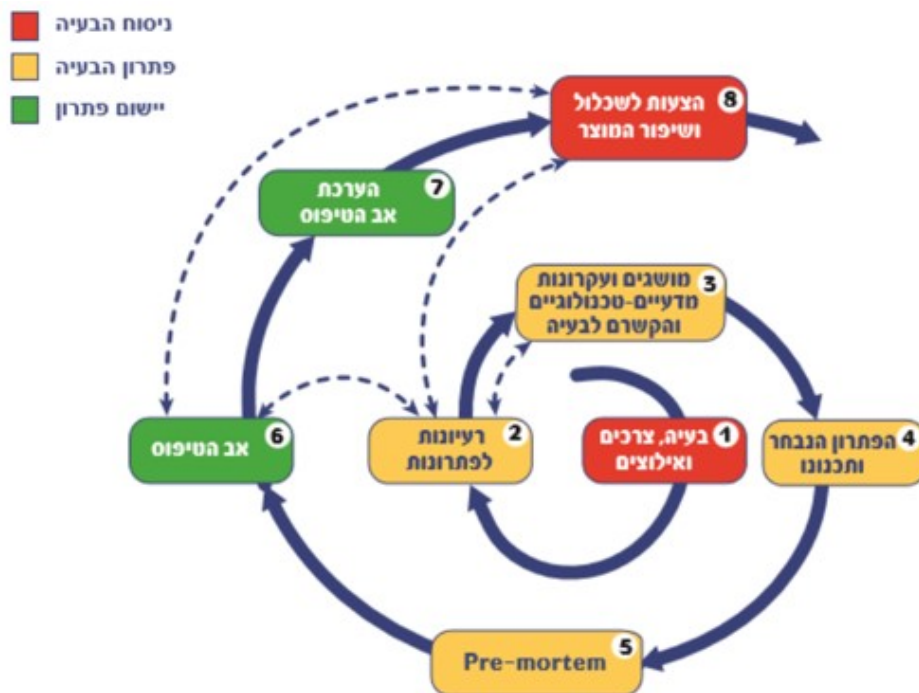
כתיבה ועריכה: בטו כץ וד"ר חני סבירסקי, יעוץ מדעי ופדגוגי: פרופ' יהודית דורי

פרק 5 "מפרט" מתייחס לתחנה הרביעית "הפתרון הנבחר ותכנונו".

מטלת סיכום הביניים המוצעת בסיום פרק 5 מומלצת לביצוע בסיום התחנה הרביעית "הפתרון הנבחר ותכנונו".

פרק 6 "סקרים" מתייחס לכל התהליך ומוצג כרעיון להוספה לתהליך. פרק זה ניתן ליישום בכל אחד מהתחנות, אך מומלץ במיוחד בסיום התחנה הרביעית "הפתרון הנבחר ותכנונו".

פרק 7 "ניתוח אופני כשל" מתייחס לתחנה החמישית "Pre-mortem".



האיור לקוח מתוך המדריך הראשי למורה בנושא תכן הנדסי בהוראת מוט"ל (פרץ ועמיתותיה, 2016).

תגובות והארות לאוגדן ולדפי המשימות ניתן לשלוח לעורכי האוגדן לכתובות:

hanis@campus.technion.ac.il

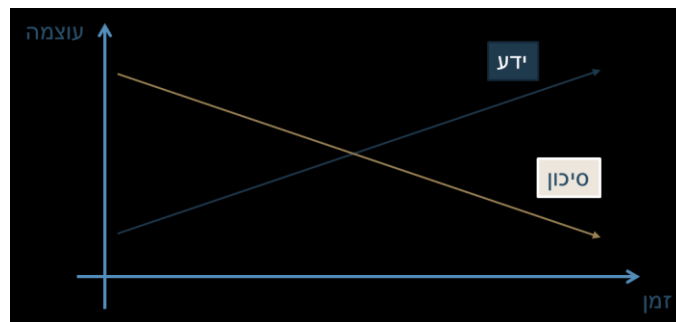
betoc@campus.technion.ac.il

לפני שמתחילים... מהו בכלל תכן הנדסי?

תכן הנדסי הוא תהליך הפיתוח של מערכת, מרכיב או תהליך מתוך כוונה לתת מענה לצורך מסוים. תהליך התכן הינו תהליך של קבלת החלטות (לעיתים באופן איטרטיבי). המדע, המתמטיקה וההנדסה משמשים משאבים להשגת מטרה מסויימת באופן אופטימלי¹. להשגת המטרה יש לעמוד בדרישות מפרט מוגדר מראש (Dym, C., & Little, P., Engineering Design, 2004).

בתכן ההנדסי באים לידי ביטוי המדע והאומנות גם יחד: ניתן ללמוד תכן בעיקר ע"י התנסות בתכן עצמו, כלומר, האינטואיציה של מהנדס היא מיומנות הנרכשת לאורך זמן עם העיסוק בתכן הנדסי. מיומנות זו מתבססת על הנסיון המצטבר של אותו מתכנן ומאפשר לו להשתמש בנסיון זה על מנת לפתח פתרונות לבעיות תכנון חדשות. בשל כך, לתכן תכונות של אומנות. מאידך, לתכן תכונות של ניתוח אנליטי ומדעי וגישה ססטמטית לפתרון של בעיות בדומה לתהליך המדעי.

תהליך התכן ההנדסי במהותו הוא תהליך למידה שמתחיל ברמת אי-וודאות גבוהה ומתקדם למצב של ודאות גבוהה, כפי שניתן לראות באיור מס' 1.



איור מס' 1. שלבים בתכן הנדסי: האופן בו מתנהל תהליך התכן ההנדסי בתעשייה ובמוט"ל. להלן פרוט שלבי תהליך התכן ההנדסי:

- א. הבעיה: זיהוי בעיה וחשיבות הזיהוי והאיפיון בתהליך התכן
- ב. גבולות התהליך: זיהוי אילוצים ודרישות
- ג. סיעור מוחות
- ד. המפרט ההנדסי: איך ניתן להגדיר מוצר לפני שמפתחים אותו
- ה. שלב התכן: תהליכי הנחיה כ"מומחה למידה" ולא כ"מומחה תוכן"

¹ ההגדרה מתורגמת מתוך אתר מוסד ההסמכה בארה"ב, ABET, לתוכניות השכלה גבוהה בטכנולוגיה ובהנדסה. <http://www.abet.org/>

ו. בדיקת אופני-כשל (Pre- Mortem): תהליך מובנה לזיהוי כשלים לפני בניית אב טיפוס

ז. בניית אב טיפוס

ח. בדיקות עמידה במפרט

ט. הפקת מסקנות טכנולוגיות וחינוכיות מהתהליך

י. הערכת התהליך

חשוב לזכור:

- ❖ לתכן הנדסי שלושה אבני יסוד: מפרט (הגדרת המוצר) זמן ותקציב. אי אפשר להשיג הכל ולכן צריך להתפשר. כלומר, תכן הנדסי תמיד מבוסס על פשרות.
 - ❖ אין פרויקט תכן הנדסי שמשיג את כל מטרותיו.
 - ❖ תכן הנדסי מלווה תמיד ברמות עמימות ואי-ודאות משמעותיות.
 - ❖ לתכן הנדסי תמיד יש מגוון גדול של דרכי פתרון אפשריים. אי-אפשר לדעת מהי הדרך הטובה ביותר לפתרון, לכן תמיד לוקחים סיכון כשבחרים דרך לפתרון.
 - ❖ אם לא מגדירים בתחילת הדרך מה המוצר שרוצים לתכנן לא נוכל בסופה לוודא שעמדנו במשימה.
 - ❖ אם לא בודקים בסוף הדרך ומוודאים שהמוצר שתכננו ובנינו עומד במה שהתחייבנו, לא נוכל לוודא שעמדנו במשימה.
- נובע מכך, שעלינו המורים לשים לב ש:
- ❖ בשונה מהמקובל בתחומי תוכן שונים בהוראה, תכן הנדסי עוסק בהתמודדות עם בעיות פתוחות שאינן מוגדרות היטב. כל בוגר בחברה הטכנולוגית של ימינו, נדרש להתנהל בסביבה של שינוי מתמיד הכוללת מרכיבים של עמימות ואי-ודאות. לכן התנסות של תלמידים בתכן הנדסי עשויה לתרום למוכנות שלהם בכל מקצוע.
 - ❖ בדרך כלל, תכן הנדסי מתבצע בקבוצות ולא בצורה יחידנית ובזוגות. עבודת צוות תורמת לפיתוח יכולת פתרון בעיות ושיפור כישורים רכים הנדרשים בכל מסגרת בוגרת .
 - ❖ הסתגלות לעבודה בתנאים של עמימות וחוסר ודאות היא תהליך שלוקח זמן.

❖ חשוב להשתמש בדוגמאות רלוונטיות לחיי היום יום. לדוגמא, נושאים שקשורים לטלפונים סלולריים, רשתות חברתיות, משחקים אלקטרוניים וכדומה. נושאים אלו עשויים לעורר את המעורבות הפעילה של התלמידים בתהליך הגילוי המודרך.

והכי חשוב – לא לפחד כלל!

ייתכן ומאחר ורובנו, מורי מוט"ל, הגענו מעולמות התוכן המדעיים, קיים בנו חשש (ובצדק!) ללמד את נושא התכן ההנדסי, נושא שיש בו הרבה אי-ודאות. ייתכן שחלקנו חוששים שניתפש בעיני תלמידנו כבעלי ידע מועט בנושא, בדיוק כמו המורה באיור 2.



איור 2. חששות מהוראת נושא התכן.²

אך קיימת חשיבות רבה שנתגבר על חשש זה ונעודד את תלמידנו ליזום פרויקטים בתחום תכן הנדסי, הנה כמה דוגמאות לכך שהדבר אפשרי! **תודה למורה ספאא מחאג'נה מבית הספר תיכון אל-אהליה "עתידי" אום אל פחם (דוגמאות 1-3)** ולמורה עזריאל לוי מבית הספר "תיכון מרום" - הכפר הירוק (דוגמאות 4-6). דוגמאות נוספות זמינות בדף ['תוצרידע'](#) שבאתר מפמ"ר מוט"ל.

² © האיור עוצב על ידי ספיר שאנס sapisrhans.github.io.

דוגמא מס' 1: מתקן להכנת מזון לתינוק

היוצרות: לאמא מסארוה ומאהא אג'באריה



התלמידות הכינו דגם למתקן להכנת פורמולת חלב לתינוק "בלחיצת כפתור". המתקן בא לענות על הצורך להכין לתינוק בקבוק חלב במהירות (במיוחד בשעות הלילה). המתקן כולל שני מכלים למים ולאבקת החלב וכן וסת המתאים את טמפרטורת המים. התלמידות ציפו לדגם פוסטר המסביר את הבעיה שהמתקן נועד לפתור, הסבר כיצד המתקן עובד, הוראות שימוש והסבר טכני על המוצר עצמו. כמו כן, הן ציינו את החומרים הדרושים ליצירתו, את החסרונות של המוצר, את הבעיות האפשריות והצעות לדרכים לשיפור המוצר ומקורות המידע.

דוגמא מספר 2: מתקן לייצור אנרגייה בשירותים

היוצרות: רזאן מחאג'נה ושהד אגבאריה



התלמידות הכינו דגם למתקן לייצור אנרגיה באמצעות זרימת המים בניאגרה. המתקן יכול לשמש כמקור אנרגיה למוצרים שונים. בפוסטר שנלווה לדגם, התלמידות הציגו את הרעיון המדעי מאחורי המוצר והסבר על כל חלקיו. באמצע מתחת לתמונה ציירו את השמות של החלקים של המתקן עם הסבר קצר על כל חלק בצירוף מקורות המידע בהם השתמשו. כמו כן, התלמידות ציינו את הדרישות לייצור המוצר, את הבעיות שבו והציעו דרכים לשיפור המוצר לצורך ייעול אנרגטי.

דוגמא מס' 3: מתקן לשמירה על בטיחות פעוטות בעת יציאה לטיול בגן

היוצרות: טיבה זחאלקה ואימאן עסלי



התלמידות החליטו לבנות את המתקן בעקבות אירוע עצוב שהתרחש בכפר בו הן גרות. גננת יצאה לטיול עם פעוטות ופעוט אחד ברח לכביש ונדרס וכעת הוא יושב בכסא גלגלים. דרך הסיפור, התלמידות הציגו ב'תוצרידע' את הבעיה הקיימת ואת הצורך במוצר שפיתחו. בפוסטר נלווה הן תארו את דרישות המוצר (שיהיה זול יחסית, אטרקטיבי לילדים, לא חד פעמי וכיוב') והסבירו על חלקיו ועל החומרים מהם ייצרו אותו. כמו כן, התלמידות תארו בעיות שונות שבעת נמצאות במתקן והציעו מגוון פתרונות. בנוסף, הן הציעו דרכים לשיפור המוצר ולהרחבת קהל היעד.

דוגמא מס' 4: מתקן לייבוש גרביים ונעלים רטובות

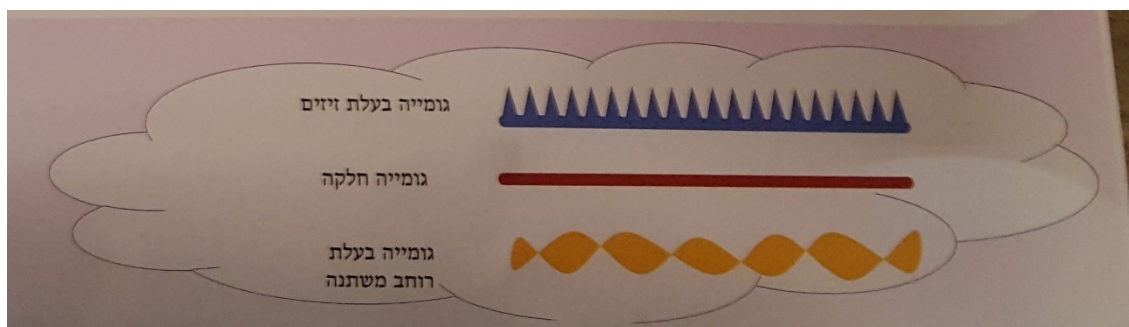
היוצרים: ערן מלכה והדר רטיג



המתקן בא לענות על הצורך לשמור על נעלים וגרביים יבשות בעיקר לאנשים העובדים שעות רבות בעבודה משרדית. התלמידים הציגו את הכשלים האפשריים, רקע מדעי-הנדסי על חלקי המוצר (חיישן טמפרטורה, פילטר פחם וכדו') וכן הציעו חלופות נוספות שהועלו.

דוגמא מס' 5: קוקו ספורט

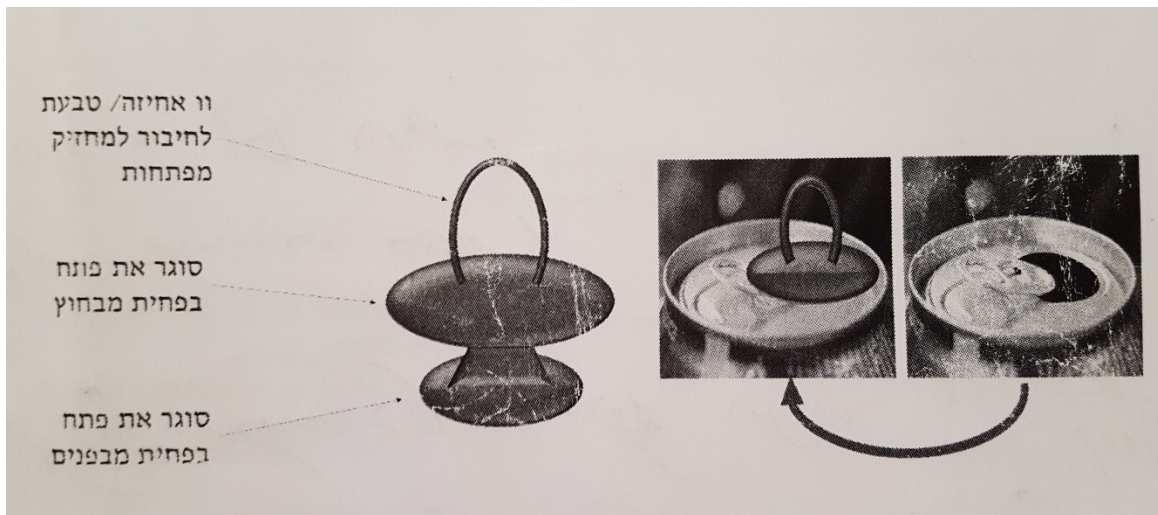
יוצרות: דניאלה אולין, דנה לנדאו ושחר פריטי



כל בעלי שיער ארוך העוסקים בספורט ודאי נתקלו לא פעם בבעיית הגומי הנופל. התלמידות הציגו מגוון פתרונות אפשריים, את הפתרון שנבחר לבסוף, כשלים אפשריים ורקע מדעי הנדסי רלוונטי לבעיה, כמו בנושא פולימרים-סינטיים, חיכוך, סוגי שיער וכדו'.

דוגמא מס' 6: סוגר פחיות

יוצרים: עומרי בן עמי, אמיר אלעד ויובל בכר



התלמידים המציאו מתקן לסגירת פחיות בכדי למנוע את "בריחת הגזים" לאחר פתיחת הפחית. התלמידים הציגו את מגוון הפתרונות שהועלו, למשל, לתכנן פחית חדשה הכוללת סוגר. הם הסבירו מדוע נפסל כל רעיון ומדוע הפתרון הנבחר הוא הטוב ביותר. כמו כן, התלמידים הציגו את חלקי הסוגר, החומרים הנדרשים לבניית כל חלק (בהתאם לתכונותיהם) והציעו דרכים לשכלול ושיפור המתקן.

1. מדע והנדסה: הדומה, השונה?

תהליך החקר המדעי ותהליך התיכון הנדסי שונים זה מזה. בעוד המדע עוסק בחיפוש אחרי אמיתות מוחלטות, ההנדסה עוסקת במציאת פתרונות לבעיות רלוונטיות לבני אדם. ככזו, ההנדסה היא בהכרח תהליך הכולל פשרות ומתבסס עליהן, שכן מוצר המהווה פתרון לבעיה ערכו נמדד בעיני המשתמש החווה את הבעיה (הלקוח).

1.1. מסרים

- ❖ ההבדל המהותי בין מדע והנדסה טמון בשורשי שני הענפים. המדע צומח מתוך רצון לגלות אמיתות על מנת להסביר את מציאות. לעומתו, ההנדסה נובעת מהרצון והצורך להתמודד עם בעיה. מהנדסות ומהנדסים מנסים לתת מענה לצורך מסוים שנוצר כתוצאה מבעיה שקבוצה של אנשים חווים.
- ❖ לא עוסקים בתכן הנדסי (כלומר, לא מפתחים מוצרים) כי אפשר, או כי יש לנו רעיון מעניין, מפתחים מוצרים כי יש צורך שמקורו בבעיה ומחפשים לתת מענה.
- ❖ בתהליך ההנדסי תמיד מתייחסים למגבלות, כמו תקציב, זמן ועדיפויות ובהקשר לכך, מעריכים את הערך של הפתרון המוצע בעיניי אותם אנשים הסובלים מהבעיה (לקוחות היעד). אם אין ערך לפתרון המוצע עבור אותם אנשים או שהיחס עלות/תועלת בעיניהם לא יצדיק קנייה של המוצר, אז לא מפתחים את המוצר.
- ❖ בתכן הנדסי מפעילים כל הזמן שיקולים ערכיים (כמו, האם המוצר המתוכנן יהיה שווה את העלות ללקוח הפוטנציאלי) וכן שיקולים חברתיים ואתיים (למשל, האם הפתרון שאני מתכנן יזיק לסביבה או לאנשים אחרים).

1.2. דגשים למורה

- ❖ בניגוד להבנה האינטואיטיבית שלנו אודות הצורך בעיסוק במדע, הבנת הצורך בעיסוק בהנדסה אינה מובנת מאליה. לא מעט מהנדסים חושבים שלהיות מסוגל לפתח מוצר חדש היא סיבה מספקת להתניע תהליך תכן. זו אחת הסיבות לכך שמרבית מיזמי הזנק לא מצליחים. לכן טבעי שגם לתלמידים הנושא לא יהיה ברור. לכן, רצוי מאוד לפתח את הנושא באמצעות שיח ודיון כיתתי בכדי 'להציף' תפיסות שגויות.
- ❖ יש להדגיש בפני התלמידים שלהבדיל מתהליך החקר המדעי שהינו מתפתח ומתמשך (אינו מוגבל בזמן), בתהליך ההנדסי תמיד יש להתחשב במגבלות של זמן תקציב. כמו כן, יש לוודא שהבעיה שמנסים לפתור עדיין רלוונטית (כלומר, בזמן הפיתוח לא יוצא לשוק מוצר אחר הפותר את הבעיה ונותן מענה מלא לצורך).

1.3 הצעות להתנסות: מערך שיעור בנושא מדע, הנדסה ומה שביניהם

מטרה: התלמידים יזהו את ההבדלים בין המדע וההנדסה בדגש על השלב ההתחלתי ממנו צמחה כל תורה.

הציוד הנדרש: מקרן, מחשבים, רמקולים וחיבור לרשת. כמו כן, יש להכין לפני השיעור קובץ שיתופי ובו טבלה של שתי עמודות: באחת מופיע המושג 'מדע' ובשנייה 'הנדסה'. יש לשתף את כלל התלמידים בקובץ עם אפשרות לעריכה.

מיומנויות: השוואה, שאלת שאלות

מהלך הפעילות בכיתה:

| מהלך הפעילות | משך הזמן הנדרש | אופן ביצוע הפעילות | שלב |
|---|----------------|-----------------------|--------------------|
| הקרינו על הלוח את הקובץ השיתופי ובו המושגים: 'מדע' ו-'הנדסה'. כל תלמיד יכתוב על דף: ❖ הגדרה למושג 'מדע'. ❖ הגדרה למושג 'הנדסה'. ❖ 3 מאפיינים דומים ו- 3 מאפיינים שונים בין שני המושגים: 'מדע' ו-'הנדסה'. | 15 דק' | עבודה אישית | 1. חושבים לחוד |
| בקשו מהתלמידים להציג לחבר היושב לצדם את תשובותיהם ולהגיע יחד לתשובה המוסכמת על שניהם ולסכם בקובץ השיתופי מהו 'מדע' ומהי 'הנדסה'. | 10 דק' | עבודה בזוגות | 2. חושבים בזוג |
| העתיקו את כל תוכן העמודה 'מדע' לענן מילים ואת תוכן העמודה 'הנדסה' לענן מילים נוסף. הקרינו על הלוח את שני "ענני המילים" והגיעו יחד להגדרה המקובלת על כולם (ראו הגדרות בסעיף 1.4). | 15 דק' | מליאה | 3. חושבים יחד |
| למדנו היום שמדע צומח משאלה והנדסה צומחת מבעיה. | 15 דק' | עבודה אישית או במליאה | 4. מיישמים ומסכמים |

| | | | |
|---|--|--------------------|---|
| <p>מיינו את רשימת השאלות והבעיות שלפניכם למען המתאים: מדען / מדענית או מהנדס / מהנדסת</p> <p>הוסיפו עוד בעיות ושאלות לכל טור (אפשר על גבי פתקים, אפשר באמצעות טבלה בדף עבודה או באמצעות האפליקציה "סדר ת'ניירת").</p> | | | |
| <p>צפו בסרטון האנימציה מהי הנדסה?</p> <ul style="list-style-type: none"> ❖ כתבו חמש שאלות שיש להן מענה בסרטון. ❖ כתבו חמש שאלות שאין עליהן מענה בסרטון. ❖ הסבירו מהי בעיה לפי הסרטון ותנו דוגמאות מתוך הסרטון. ❖ הוסיפו דוגמאות משלכם לבעיות. <p>צפו בסרטון שבקישור, על ההבדלים בין מדעי המחשב להנדסת תוכנה.</p> <p>הסבירו במילים שלכם את המשפט: "מדע צומח משאלה והנדסה צומחת מבעיה" ביחס למדעי המחשב והנדסת תוכנה.</p> | | <p>עבודה אישית</p> | <p>5. שיעורי בית (ישמש לפתיחת השיעור הבא העוסק בהגדרת בעיה)</p> |

1.4 חומרי עזר למורה

- ❖ טבלת השוואה בין תהליכי תיכון ותהליכי חקר ניתן למצוא בעמ' 15 [במדריך הראשי למורה לתהליך התיכון ההנדסי](#) (נחשון ועמיתיה, 2016).
- ❖ [סרטון הסבר](#) (באנגלית) על ההבדלים בין מדע והנדסה (הסרטון אינו מתאים לתלמידים).
- ❖ [סרטון הסבר](#) (באנגלית) על ההבדלים בין מדע והנדסה כפי שהם נתפסים בעיני תלמידי בית ספר יסודי.
- ❖ [סרטון הסבר](#) (באנגלית) על הקשר בין מדע להנדסה מה משותף ומה שונה (ניתן להכין פעילות השוואה תוך שימוש בסרטון).
- ❖ [הסבר על השיטה המדעית](#) הכולל הגדרה מילונית למושג 'מדע' מאתר דוידסון – מכון ויצמן למדע.

2. איך מתחילים? זיהוי הבעיה

בעיה מוגדרת כפער בין מצב רצוי למצב מצוי (Pounds, 1969). ניתן לסווג בעיות כבעיות מובנות (structured) או סגורות וכבעיות שאינן מובנות (ill-structured), כלומר פתוחות (Jonassen, Strobel, & Lee, 2006).

בעיות מובנות / סגורות הן בעיות שבהן:

- ❖ ניסוח הבעיה כולל כל המרכיבים הנדרשים
- ❖ פתרון הבעיה דורש מספר סופי של כללים ועקרונות
- ❖ פתרון הבעיה דורש מספר סופי של צעדים עד להשגת הפתרון
- ❖ ידוע קיים לפחות פתרון נכון אחד. הפתרונות הם ניתנים להשוואה.

דוגמה לבעיות סגורות הן כל התרגילים מספרי הלימוד שמרבים להשתמש בהם בהוראת המתמטיקה, למשל: "פתרו את המשוואה: $5x^2 - 16x + 25 = 0$ ".

למשוואה זו יש שני פתרונות נכונים. יש כמות צעדים סופית עד להשגת הפתרונות. ניתן באופן עקרוני לתכנת מחשב לבצע את החישוב. כל זה מצביע על מאפיינים של בעיה סגורה.

בעיות פתוחות / לא מובנות הן בעיות שבהן:

- ❖ קיים מרכיב של עמימות: יש נתונים לא ידועים או שהנתונים שקיבלנו סותרים זה את זה.
- ❖ אין וודאות לפתרון נכון. לחילופין, יש ריבוי פתרונות ודרכים לפתרון ואין אנו יודעים להגיד איזה דרך לפתרון הוא בעל הסיכויים הטובים ביותר להצלחה.
- ❖ קיימים קריטריונים מרובים להערכת הפתרון. למשל יכול להיות פתרון אפשרי שהכי טוב מבחינת מענה לצורך אבל העלות שלו היא גבוהה מדי או משך הפיתוח ארוך מדי. לכן נדרשת כאן הכרעה ערכית: "האם שווה לנסות לפתור?" במידה וכן, יש להחליט על הדרך המועדפת לפתרון.
- ❖ בעיות לא מובנות הם בעיות הדורשות תהליך תכן של פתרון, לכן תהליך תכן הנדסי מתקיים בניסיון לפתור בעיות לא מובנות. מחקרים עדכניים מעידים כי, להבדיל ממה שהיה נהוג לחשוב, יכולת פתרון בעיות מובנות לא תורמת לפיתוח מיומנויות בפתרון בעיות לא מובנות (jonassen, 2006).

להלן, דוגמה לבעיה לא מובנת:

- ❖ מחר מתקיים פיקניק בחוף דור. אתם אחראים להכין שתייה קרה.

מניסוח הבעיה עולה שיש הרבה נתונים שאנחנו לא ידועים:

- ❖ האם זה קיץ או חורף?
 - ❖ הפיקניק בבוקר, בצהרים או בערב?
 - ❖ מתי מקבלים את השתיה?
 - ❖ מה מספר המשתתפים בפיקניק?
 - ❖ האם מקבלים שתייה שהיא כבר קרה?
 - ❖ האם יש חשמל במקום או לא?
- וכיוב'...

כל השאלות הללו מחייבות תהליך של חקירה וגילוי נתונים ובנוסף זיהוי של הבעיה, ולאחר מכך העלאת רעיונות לפתרונות אפשריים והתנעה של תהליך תכן הנדסי. יכול להיות למשל שפתרון אפשרי אחד הוא להזמין קייטרינג שידאג להביא לנו בזמן הנכון שתייה קרה. אבל יתכן שהפתרון הזה יקר לנו מדי, לכן אולי נסתפק בהטמנת השתייה עם קרח עמוק בתוך החול....

2.1 מסרים

- ❖ בעיה היא תיאור של תופעה: פער בין הרצוי למצוי.
- ❖ בעיות תכן הן בעיות פתוחות, לא מובנות (ill-structured) ולעיתים חסרים נתונים חיוניים לפתרון ולפעמים הנתונים הקיימים אף סותרים זה את זה.
- ❖ לעיתים התופעה המתוארת היא של 'תסמינים' בלבד ואינה משקפת את בעיה האמיתית. לדוגמא, אם יש לנו שפעת נגיד שכואב לנו הראש או שיש לנו חום. שימוש בכוד אקמול כפתרון מוריד את החום אך אינו פותר את הבעיה האמיתית, שהיא השפעת. כלומר, לעיתים הבעיה אינה גלויה ונדרשת חקירה על מנת לזהות את הבעיה האמיתית.
- ❖ יש לשים לב לא לכלול דרך אפשרית לפתרון בתיאור הבעיה.

2.2 דגשים למורים

- ❖ הגדרה נכונה של הבעיה היא קריטית להצלחת התהליך.
- ❖ בתהליך הגדרת הבעיה, חשוב להבחין בין "עובדות" ל"השערות". את העובדות יש לגבות באסמכתאות.
- ❖ זיהוי של בעיה היא השערה, ולכן צריך לתקף אותה ע"י שיחה עם אותם אנשים שאנחנו חושבים ש'סובלים' מהבעיה. כך לגבי כל ההשערות שלנו.

2.3 הצעות להתנסות: מערך שיעור בנושא זיהוי בעיות

מטרה: התלמידים יזהו את הבעיות בסיטואציות שונות ויגדירו בעיות חדשות.

הציוד הנדרש: מקרן, מחשבים, רמקולים וחיבור לרשת.

מיומנויות: שאלת שאלות

מהלך הפעילות בכיתה:

| מהלך הפעילות | משך הזמן הנדרש | אופן ביצוע הפעילות | שלב |
|--|----------------|--------------------|---------------|
| <p>הקרינו על הלוח את סרטון אנימציה שבקישור (סרטון אנימציה המסביר מהו מהנדס וכן אילו סוגי מהנדסים ובמה עיסוקם) עד לדקה 1:30.</p> <p>בקשו מהתלמידים להגדיר את הבעיה של תושבי סן-פרנסיסקו (תושבי סן-פרנסיסקו לא יכלו לצאת ולהיכנס לעיר בצורה נוחה).</p> <p>חשוב לשים לב לא לכלול בהגדרת הבעיה דרכי פתרון אפשרויות (למשל, לא להגדיר כבעיה: "איך לבנות גשר")?</p> <p>הקרינו לתלמידים את המשך הסרטון מדקה 1:30 עד דקה 2:00.</p> <p>לאחר מכן, בקשו מהתלמידים להציע פתרונות חלופיים (למשל: מנהרה, מעברת וכדו'). יש להדגיש שאם אנחנו מגדירים כבעיה "איך לבנות גשר?" אנו נחמיץ את הפתרונות החלופיים.³</p> | 15 דק' | מליאה | 1. מהו מהנדס? |
| <p>הגדרת הבעיה, מדוייקת ככל שתהיה, אינה מספיקה. יש להתייחס גם לי יש את הבעיה (מי "לקוח" ומי "משתמש" – לא תמיד יש זהות ביניהם) וגם באיזה קונטקסט הבעיה קיימת</p> <p>הקרינו על הלוח את איור מס' 3 "מה הבעיה?"</p> | 10 דק' | עבודה אישית | 2. מהי בעיה? |

³ . בכדי לזהות מתוך התופעה שאנו רואים את הבעיה האמיתית, נהוג לחפש את הבעיה המקורית שבשפה המקצוע נקראת "בעיית השורש". טכניקה מקובלת למציאת בעיית השורש היא גישת "חמש ה'למות" – ראו הסבר [בנספח ב'](#).

תכן הנדסי בהוראת מוט"ל – פותח בטכניון, הפקולטה לחינוך למדע וטכנולוגיה, במסגרת המרכז הארצי למורי מוט"ל, יולי 2018

כתיבה ועריכה: בטו כץ וד"ר חני סבירסקי, יעוץ מדעי ופדגוגי: פרופ' יהודית דורי

| | | | |
|---|--------|-----------------------|-------------------|
| <p>לבקש מהתלמידים לענות בצורה אישית על השאלות הבאות:</p> <p>1. מה הבעיה?</p> <p>2. למי יש את הבעיה?</p> <p>3. מהן דרכי פתרון אפשריות?</p> | | | |
| <p>לאחר מילוי המטלה יש לבקש מהתלמידים לעבוד בזוגות כאשר כל אחד בזוג מסביר לשני ויחד מגיעים לתשובות מוסכמות. בשלב השלישי כל זוג נותן את התשובות שלו, שנרשמות על הלוח ומתקיים דיון, להגיע לתשובות מוסכמות על ידי כל הכיתה.</p> | 15 דק' | מליאה | 3. הכל תלוי בהקשר |
| <p>הסבירו לתלמידים את חשיבות ההקשר: לעיתים קרובות מהנדסים מקבלים תמונה לא שלמה ולא ברורה, ממש כמו זו. להתבסס רק על מה התמונה אומרת לנו עלול להטעות ולכוון לפתרון לא נדרש, כי בעצם הבעיה אינה קיימת כפי שחשבנו. אם מסתכלים על כל התמונה רואים את התמונה האמתית.</p> <p>כעת הקרינו לתלמידים את הסרטון הקצרצר בקישור והדגישו שלמעשה, לא הייתה בסיטואציה כלל בעיה ואם היינו מפתחים פתרון על סמך התמונה הראשונה בלבד, סביר להניח שאף אחד לא היה צריך אותו...</p> | 15 דק' | עבודה אישית או במליאה | 4. מסכמים |
| <p>צפו בסרטון שבקישור וכתבו מהי הבעיה אותה מנסה המהנדס לפתור ולמי יש את הבעיה. למורה: הבעיה המוצגת בסרטון היא הקושי של רופאים מרדימים להחדיר זריקת אפידורל בצורה מדוייקת (מבחינת מיקום ומבחינת עומק) כאשר קיים סיכון לפגוע במערכת העצבים.</p> | | עבודה אישית | 5. שיעורי בית |



איור מס' 3. מה הבעיה?⁴

חומרים נוספים להרחבה:

❖ סרטון (באנגלית) המתאר כלי לזיהוי בעיות.

<https://youtu.be/o4dddmOpQ5s>

❖ שני סרטוני הסבר (באנגלית) לכלי "Five whys" ([הסבר בנספח ב'](#)).

<https://youtu.be/zAs40EbTPnw>

<https://youtu.be/UrSDTWW1KhU>

❖ [מגוון כלים לזיהוי בעיות ודוגמאות](#) (באנגלית)

⁴ האיור לקוח מתוך הסרטון שבקישור

<http://quietube7.com/v.php/http://www.youtube.com/watch?v=0n6BdnceNpQ>
בהמשך הפעילות מקרינים את הסרטון המלא (5 שניות).

תכן הנדסי בהוראת מוט"ל – פותח בטכניון, הפקולטה לחינוך למדע וטכנולוגיה, במסגרת המרכז הארצי למורי מוט"ל, יולי 2018

כתיבה ועריכה: בטו כץ וד"ר חני סבירסקי, יעוץ מדעי ופדגוגי: פרופ' יהודית דורי

3. אילוצים...

אילוצים הם מגבלות הכרחיות הנקבעות עקב אופי הבעיה. ללא מענה לאילוצים, הפתרון אינו עונה על הצורך. למשל, נניח שכביש 6 מפריד בין שני חלקי כפר. התושבים לא יכולים לבקר בני משפחה החיים בצידו השני של הכפר. כל פתרון שיתן מענה לבעיה חייב לאפשר מעבר בטוח באורך של כ-50 מטר (רוחב כביש 6). כלומר, האילוץ הוא לאפשר מעבר בטוח למרחק של 50 מטר. כל רעיון לפתרון שלא יתן מענה למרחק זה אינו מהווה פתרון לבעיה.

3.1 מסרים

- ❖ אילוצים הם דרישות הכרחיות (תנאי בל יעבור). תכן (רעיון) שלא נותן מענה לאילוצים אינו פתרון לבעיה.
- ❖ האילוצים נובעים מהבעיה ומשמשים לסינון הרעיונות שעולות כדרכי פתרון אפשריים בשלב העלאת הרעיונות (סיעור המוחות), על מנת להגיע לפתרון הנבחר.
- ❖ להבדיל מאילוצים, ה'דרישות' הם התנאים שעל המוצר לעמוד בהם, אך 'אי-עמידה' לא פוסל בהכרח את התכן. דרישות לרוב קשורות לדרך הפתרון שנבחרה. למשל, אם כפתרון לבעיה שתוארה בתחילת הפסקה בחרנו לתכנן מנהרה מתחת לכביש, ניתן להגדיר כדרישה שתהיה אפשרות למעבר ללא מדרגות. אם מסיבות כלשהן, התכן לא יאפשר זאת ויהיה צורך במדרגות, לא בהכרח נפסול את הפתרון.

3.2 דגשים למורים

- ❖ יש להדגיש הבדלים בין 'אילוצים' שהם תנאי בל יעבור ל'דרישות', שאינן כאלה.

3.3 הצעות להתנסות: מערך שיעור בנושא אילוצים

מטרה: התלמידים יזהו אילוצים מתוך צפייה בבעיה.

הציוד הנדרש: מקרן, מחשבים, רמקולים וחיבור לרשת.

מיומנויות: שאלת שאלות

מהלך הפעילות בכיתה:

| מהלך הפעילות | משך הזמן הנדרש | אופן ביצוע הפעילות | שלב |
|---|----------------|--------------------|---|
| <p>הקרינו על הלוח 40 שניות ראשונות בסרטון האנימציה (סרטו באנגלית המתאר בפשטות את התהליך ההנדסי).</p> <p>נגדיר יחד את הבעיה: בעוד חצי שעה מגיעים אלי חברים וכולנו רעבים ואין לי שום דבר מוכן. התלמידים מתבקשים לכתוב את האילוצים של הבעיה והדרישות מהפתרון.</p> <p>אילוצים: הזמן שיש להכין את האוכל, תכולת המקרר, הכסף הזמין להזמנת אוכל מוכן.</p> <p>דרישות: שהאוכל יהיה חם, שהארוחה תכיל מנה ראשונה, עיקרית וקינוח ושיהיה גם מנה עיקרית בשרית וצמחונית.</p> | 15 דק' | מליאה | 1. מהם אילוצים? |
| <p>אילוצים הם דרישות הכרחיות (תנאי בל יעבור).</p> <p>תכן (רעיון) שלא נותן מענה לאילוצים אינו פתרון לבעיה.</p> | 5 דק' | מליאה | 2. מסכמים מה ההבדל בין 'אילוץ' ו'דרישה' |
| <p>דוגמא 1:</p> <p>הקרינו (או חלקו) את התמונה שבקישוב.</p> <p>המשפחה שבתמונה מתקשה לנסוע לבקר את הסבים הגרים בערים אחרות. חברת מכוניות מעוניינת להציע פתרון למשפחות כאלה יש להגדיר לפחות אילוץ אחד למכונית שהחברה מעוניינת לפתח (7 מושבים שכולם יכנסו באוטו אחד).</p> | 15 דק' | עבודה בזוגות | 3. התנסות |

תכן הנדסי בהוראת מוט"ל – פותח בטכניון, הפקולטה לחינוך למדע וטכנולוגיה, במסגרת המרכז הארצי למורי מוט"ל, יולי 2018

כתיבה ועריכה: בטו כץ וד"ר חני סבירסקי, יעוץ מדעי ופדגוגי: פרופ' יהודית דורי

| | | | |
|---|--------|-------|--------------------|
| <p>יש להגדיר דרישות:</p> <ul style="list-style-type: none"> • בגאג' גדול שיתאים להעמסת הטיולון והעגלה של הילדים הקטנים יותר • שיהיה חסכוני בדלק <p>דוגמא 2:</p> <p>חברה נדרשת לתכנן תחנת חלל אליה יגיעו אסטרונאוטים לתקופות של חצי שנה. מדי חודש מתוכננת שיגור של חללית אספקה</p> <p>נדרש להגדיר חמישה אילוצים:</p> <ul style="list-style-type: none"> • שהמבנה היה אטום למנוע בריחת אוויר • שהמבנה יכלול מקום אחסון אספקה של לפחות חודש • שהמבנה יהגן בפני קרינה סולרית • שהמבנה יכול לפסק חשמל ללא התחברות לרשת חשמל כלשהי במשך פרק זמן של שנים • שהמבנה יכול לפסק מים לשתייה במשך פרק זמן של שנים • שהמבנה יכול לספק אוויר לנשימה לפרק של שנים לפחות <p>נדרש להגדיר דרישות:</p> <ul style="list-style-type: none"> • שלכל אסטרונאוט יהיה אזור פרטי • שההתחברות לחללית האספקה תהיה כזו שלא מחייבת יציאה מהמבנה בחליפת חלל • שהמבנה יכלול ליכולת אחסון מזון טרי ויכולת חימום ובישול | | | |
| <p>בקשו מהתלמידים להציג את תשובותיהם לדוגמא 2 ודונו בתשובות. הדגישו את ההבדלים בין אילוצים לדרישות.</p> | 10 דק' | מליאה | 4. מיישמים ומסכמים |

4. העלאה ועידון של רעיונות לפתרון – כותב היחידה: רע לביא

בהסתמך על תיאוריות מתחום הפסיכולוגיה הקוגניטיבית ומתחום הקונסטרוקטיביזם בחינוך, ניתן לומר כי לכל אדם מודלים חשיבתיים (מנטליים) המקשרים בין מושגים שונים באמצעות מושגים וקשרים מסוגים שונים. באופן דומה, ניתן לומר כי לכל חבר בצוות המתמודד עם בעיה מסוימת מודל חשיבתי משלו המתאר את הבעיה.

הגיוון של מודלים חשיבתיים בצוות תורם למגוון של רעיונות ולהפריה הדדית, אך עלול גם להוביל לאי-הבנות וסתירות בין חברי הצוות בכל הנוגע להבנת הבעיה. הבדלים אלה עלולים לגרום לתקלות בהמשך תהליך התכן ההנדסי ואף במוצר המוגמר.

התהליך היצירתי מטרותו, בין היתר, היא ליצור הפרעות במודל המנטלי של הבעיה, על מנת לאפשר חשיבה אחרת לגביה והעלאה של רעיונות מקוריים לפתרונה. כפי שאמר אלברט איינשטיין: "לא נוכל לפתור בעיות באמצעות אותה חשיבה שהשתמשנו בה כדי להציג אותן".

4.1 מסרים

- ❖ תהליך יצירתי משלב חשיבה מתבדרת וחשיבה מתכנסת.
- ❖ רעיון יצירתי הוא מקורי ושימושי כאחד:
 - מקוריות של רעיון: עד כמה הוא שונה מפתרונות קיימים לבעיות דומות.
 - שימושיות של רעיון: מוערכת לפי בעלי העניין בפתרון.
- ❖ העלאת רעיונות עדיפה לבד או בזוגות, על מנת לאפשר חשיבה מתבדרת ולמנוע 'חשיבת עדר'.
- ❖ עידון רעיונות עדיף בצוות, על מנת לאפשר חשיבה מתכנסת ולמנוע הטיה של הוגה הרעיון.

4.2 דגשים למורים

- ❖ חשוב להבהיר לתלמידים שניתן באמצעות תהליך וסביבה מתאימים לשפר את יכולתו של כל אחד מהם להעלות רעיונות יצירתיים.
- ❖ במהלך העלאת הרעיונות יש להקפיד כי אף משתתף, כולל הוגה הרעיון והמורה, לא יעביר ביקורת על הרעיונות.
- ❖ יש להבהיר לתלמידים בתחילת התהליך שהחשיבות של מי העלה איזה רעיון אינה גבוהה, מכיוון שכל רעיון יעבור עידון ולאחר מכן פיתוח ושינויים במהלך תהליך התכן ההנדסי.

4.3 הנחיות להתנסות (המלצה לדרכי הוראה)

מטרה: התהליך המוצע הינו חלק משיטה לפתרון בעיות באמצעות חשיבה יצירתית שהומצאה על ידי מר רע לביא⁵. מידע נוסף ניתן למצוא באתר www.solveproblems.com (באנגלית).

הציוד הנדרש: דפים וכלי כתיבה.

מימוניות: עבודת צוות

מהלך הפעילות בכיתה: משך התהליך כולו כשעתיים, ולכן ניתן לפצלו על פני מספר שיעורים. יש להקפיד על עמידה בלוחות זמנים. חמש הדקות הראשונות של כל שלב יוקדשו להסבר של המורה לגבי מה יש לעשות באותו שלב. המורה יהיה זמין עבור התלמידים במהלך כל שלב.

| מהלך הפעילות | משך הזמן הנדרש | אופן ביצוע הפעילות | שלב |
|--|----------------|--------------------|----------------------------------|
| הציגו את השיטה לתלמידים והסבירו את מטרתה. הקפידו להסביר את המטרה של כל שלב בנפרד. הגדירו עבור התלמידים מהו רעיון יצירתי, מהו רעיון מקורי, ומהו רעיון שימושי. חלקו את לצוותים של 3–5 תלמידים, הטרוגניים ככל האפשר מבחינת יכולות. כל צוות ישב סביב שולחן. חלקו ציוד לכל צוות: ניירות חלקים ועפרונות. ניתן לחלק גם עטים וטושים בצבעים שונים, אולם אין חובה לעשות זאת. בנוסף, המורה יחלק את תרשים התהליך לכל צוות (ראו טבלה א). | 15 דק' | מליאה | הצגת השיטה והכנה לפעילות קבוצתית |
| הציגו את הבעיה שבדוגמא (בהמשך הפרק) בפני התלמידים. ניתן לבחור בעיה אחרת אך יש לשים לב שעל הבעיה להיות מסוג של תכן הנדסי, והתיאור שלה | 10 דק' | מליאה | הצגת הבעיה |

⁵ למידע נוסף לגבי השיטה, ניתן ליצור קשר ישיר עם כותב היחידה, מר רע לביא: realavi@gmail.com

תכן הנדסי בהוראת מוט"ל – פותח בטכניון, הפקולטה לחינוך למדע וטכנולוגיה, במסגרת המרכז הארצי למורי מוט"ל, יולי 2018

כתיבה ועריכה: בטו כץ וד"ר חני סבירסקי, יעוץ מדעי ופדגוגי: פרופ' יהודית דורי

| | | | |
|---|--|---------------|--------------------|
| חייב להתבסס על מחקר מוקדם. אופן ייצוג הבעיה הטוב ביותר הוא באמצעות תרשים (דיאגרמה) ממצה ולא עמוס מדי. במקום להציג את אותה הבעיה בפני הכיתה כולה, ניתן לתת בעיה שונה לכל צוות. | | | |
| ראו דוגמאות לתוצרים אפשריים בהמשך הפרק | | עבודה קבוצתית | פעילות |
| כל קבוצה מציגה בקצרה את התוצרים ומקבלת משוב משאר התלמידים. | | מליאה | סיכום הצגת התוצרים |

דוגמא לבעיה

צוות: 3 אנשים – יוצר השיטה, מהנדס מחשבים, ומעצב גרפי.

לקוח: זוג הורים לתאומות בנות שלוש וחצי שנים (מהנדסה המחשבים הוא האבא).

הבעיה: במהלך חודשי הקיץ, במהלך שנת הלילה, הילדות נעקצות מספר פעמים בלילה על ידי יתושות שנכנסות לחדר שלהן. הזמזום והעקיצות מפריעות לשינה של הילדות.

הצורך: הפחתה משמעותית עד מוחלטת של זמזום ועקיצה של היתושות.

פירוט הבעיה – הפשטה לצרכי הדגמה בלבד: קריאת מאמרים על דרך איתור הפונדקאי של היתושות. יתושות מופרות זקוקות לדם כמקור לחלבון עבור גדילת הביצים. יתושה קולטת שובל של פחמן דו-חמצני ממרחק של כ-30 מטרים. כאשר היא מתקרבת למרחק של כמספר מטרים מהקורבן היא משתמשת ברמזים חזותיים (בעיקר ניגודיות של צבעים), לאחר מכן במרחק של כמטר ברמזים כימיים בזיעה (כגון סוג דם), ולבסוף, במרחק של כ-20 ס"מ (בשלב זה הפונדקאי שומע את הזמזום) ברמזים תרמיים (הפרשי טמפרטורה בין הפונדקאי לבין הסביבה) על מנת למצוא נקודה טובה לנחות עליה ולשאוב ממנה דם. לאחר העקיצה, הפונדקאי חש תחושת גירוד במקום העקיצה.

טבלה 1. פירוט שלבי התהליך

| פירוט שלב | משך הזמן הנדרש (בדקות) | מטרה - שם שלב | צוות או יחיד | מס' שלב |
|---|------------------------|-----------------------------------|--------------|---------|
| 1. נהלו דיון כצוות לגבי מדדים שלפיהם תיבחן מידת השימושיות של כל רעיון 2. כצוות, בחרו שלושה עד חמישה מדדים ויכתבו נימוק עבור כל אחד מהם. על הנימוק להתייחס לבעלי העניין בפתרון 3. כצוות, תנו משקל לכל מדד, כאשר סך המשקלים יהיה בדיוק 1 4. כצוות, כתבו נימוק לגבי כל משקל שנתתם | 15 | הגדרת מדדי שימושיות | צוות | 1 |
| בצעו תרגילים להעלאת רעיונות מקוריים (ראו טבלה מס' 2). כל חבר צוות ירשום את הרעיונות שלו | 30 | העלאת רעיונות מקוריים | צוות יחיד | 2 |
| 1. כל חבר בצוות מציג את הרעיונות שלו 2. כל חבר צוות מצביע האם להעביר או לפסול את הרעיון (מעלה הרעיון מצביע על הרעיונות שלו) 3. רעיון שמקבל לפחות קול 'עובר' אחד, עובר לשלב הבא | 15 | בחירת רעיונות לסיווג | צוות | 3 |
| 1. כצוות, הגדירו קטגוריית פתרון עבור כל רעיון. כל קטגוריה תוגדר בארבע מילים לכל היותר 2. כצוות, רשמו ליד כל רעיון את הקטגוריה שהוא שייך אליה | 15 | סיווג רעיונות לפי קטגוריות פתרון | צוות | 4 |
| 1. כצוות, עבור כל קטגוריית פתרון, שלבו חלק או את כל הרעיונות באותה הקטגוריה לרעיון אחד ונסו להפוך אותו לשימושי ככל האפשר 2. כצוות, רשמו את הרעיונות שיצרתם | 20 | עידון רעיונות לפי שימושיות | צוות | 5 |
| 1. כל חבר צוות בנפרד ייתן ציון לכל רעיון, עבור כל מדד שימושיות 2. כצוות, חשבו ממוצע של כל הציונים של חברי הצוות 3. כצוות, דרגו את הרעיונות מהציון הגבוה ביותר לנמוך ביותר | 20 | ניקוד ודירוג רעיונות לפי שימושיות | צוות יחיד | 6 |

טבלה 2. העלאת רעיונות מקוריים

| שם התרגיל | שלב I (3 דקות) | שלב II (10 דקות) | שלב III (3 דקות) |
|----------------|---|---|---|
| הנחות חבויות | כל חבר צוות רושם בדיוק שתי הנחות סמויות בנוגע לבעיה | כל חבר צוות מציג את ההנחות שרשם לשאר חברי הצוות כצוות. רושמים את כל ההנחות הסמויות על דף | תוך קבלת השראה מרשימת ההנחות הסמויות, כל חבר צוות רושם בדיוק שני רעיונות מקוריים לפתרון בעיה |
| סיפורים הפוכים | 1. כל חבר צוות רושם סיפור קצר (בין 4-8 שורות) עם התחלה, אמצע, וסוף, המתאר את הבעיה 2. כל חבר צוות הופך את הסיפור שכתב: כותב סיפור חדש שמתאר את הסיפור המקורי בהתרחשות הפוכה. ניתן להפר חוקי טבע, לכתוב דברים אבסורדיים, וכולי – כל עוד זה נשאר סיפור | כל חבר צוות מקריא את הסיפור ההופכי שרשם לשאר חברי הצוות. רושמים את כל הסיפורים ההופכיים על דף | תוך קבלת השראה מרשימת הסיפורים ההופכיים, כל חבר צוות רושם בדיוק שני רעיונות מקוריים לפתרון בעיה |

דוגמאות לתוצרים אפשריים

דוגמא לתוצר טבלה 1. פירוט שלבי התהליך

| מס' שלב | שם שלב | פירוט |
|---------|----------------------------------|---|
| 1 | הגדרת מדדי שימושיות | 5. בריאות ובטיחות הילד – 0.5 6. אפקטיביות (הפחתה במספר הזמזומים והעקיצות ללילה) – 0.3 7. עלות למשך חמש שנים – 0.2 |
| 2 | העלאת רעיונות מקוריים | הועלו 30 רעיונות – שישה עבור כל תרגיל* ראה טבלה 2 |
| 3 | בחירת רעיונות לסיווג | כ-20 מהרעיונות נבחרו לשלב הבא |
| 4 | סיווג רעיונות לפי קטגוריות פתרון | 3. משיכה והסטה (של היתושה) 4. משיכה והשמדה 5. הסטה 6. איתור והשמדה 7. איתור ומניעה 8. חמיקה 9. מניעה |
| 5 | עידון רעיונות לפי שימושיות | שבעה רעיונות – אחד עבור כל קטגוריה |

| | | |
|---|-----------------------------------|--|
| 6 | ניקוד ודירוג רעיונות לפי שימושיות | שני רעיונות קיבלו את הניקוד הגבוה ביותר: 1. משיכה והשמדה: מלכודת עם חיישן מרחק שמושכת יתושות באמצעות כל מיני רמזים חזותיים וכימיים ושואבת אותן פנימה 2. חמיקה: פיג'מה סופגת זיעה בצבע העור של הילד שמפחיתה את המשיכה שלו ליתושות |
|---|-----------------------------------|--|

* בדוגמה הנוכחית הצוות ביצע חמישה תרגילים שונים להעלאת רעיונות מקוריים, במקום שני תרגילים בלבד.

דוגמא לתוצר טבלה 2. העלאת רעיונות מקוריים

| שם התרגיל | שלב I – רמזים לשינוי המודל המנטלי | שלב III – העלאת רעיונות מקוריים |
|----------------|---|--|
| הנחות חבויות | דוגמאות להנחות חבויות: 1. ילדים מזיעים 2. יתושות נמשכות לפחמן דו חמצני | דוגמאות: 1. פיג'מה סופגת זיעה 2. מכונה ששואבת פחמן דו-חמצני |
| סיפורים הפוכים | דוגמה לסיפור הפוך: ג'קי גירדה יתושה מהקיר עם הנעל שלה ורדפה אחרי היתושה בכל החדר. אחרי זה היא הלכה לישון והיתושה עזבה את החדר. | דוגמאות: 1. להשאיר כמסת דם עבור היתושה 2. לפזר גז שגורם ליתושה להרגיש 'שבעה' |

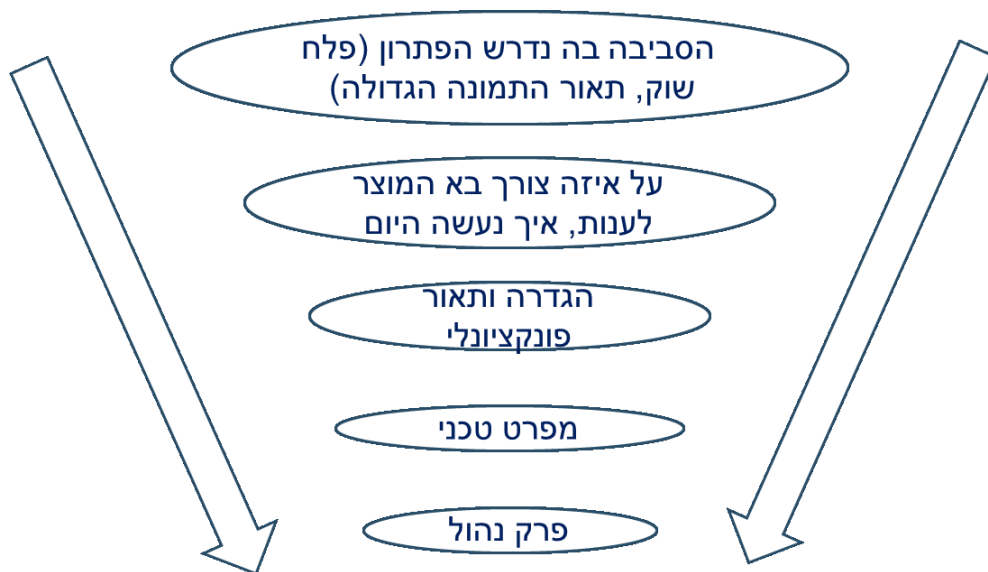
5. מפרט

המפרט הוא מסמך המגדיר את ביצועי הפתרון הנבחר (מה הפתרון הנבחר אמור להיות מסוגל לבצע). המפרט כולל תיאור של: היכולות, שהן התכונות של הפתרון שתורמות להשגת המענה לצורך ושל מדדים ביצועיים, שהם יעדים מדידים עבור כל יכולת, שעל הפתרון לעמוד בהם בכדי להוות פתרון לבעיה. בנוסף, המפרט יציין את הדרישות כפי שהוגדרו בפרקים קודמים לעיל.

פרקי המפרט

- ❖ הגדרה פונקציונלית - משפט אחד המתאר את מטרת המוצר המפותח.
- ❖ תיאור פונקציונלי - רשימה של יכולות אשר מאפשרות לפתרון להשיג את מטרתו (הגדרתו).
- ❖ מפרט טכני - רשימה של מדדים ביצועיים מצופים אשר על הפתרון לעמוד בהם על מנת להכריז שהפתרון עונה על הצורך. מקובל להגדיר מספר מדדים עבור כל יכולת בתיאור הפונקציונלי.
- ❖ דרישות.

אין תקן (סטנדרט) אחיד לניסוח מפרט בתעשייה. אנו נשתמש במפרט בסיסי העונה לצרכים של פרויקט ברמת בית הספר התיכון. מבנה עקרוני של מפרט מתואר באיור 4.



איור 4. מבנה בסיסי של מסמך המפרט.

כפי שניתן לראות באיור, הפרק הראשון מתאר את המצב הנוכחי בשוק הרלוונטי לבעיה שאנו רוצים לפתור. הפרק השני מגדיר את הבעיה שאנו מבקשים למצוא לה מענה. הפרקים השלישי והרביעי מגדירים את המוצר עצמו, והפרק האחרון כולל נושאים ניהוליים כגון תקציב, לו"ז ומשאבים נדרשים.

ביחידת ההוראה הזו אנו נעסוק בפרקים שלישי ורביעי.

דוגמאות לתיאור פרקי המפרט:

- ❖ הגדרה פונקציונלית - משפט אחד המתאר מה מטרת הפתרון: לדוגמא, מערכת הזעקה ביתית תוגדר כמערכת המזהה כניסה לא מורשית לאזור מוגדר ומתריעה באמצעים קוליים וויזואליים ובהודעות חרום למשתמש ולמוקד חרום.
- ❖ תיאור פונקציונלי - רשימה של יכולות אשר מאפשרות לפתרון להשיג את מטרתו. התיאור יכול רשימה של 5-8 יכולות עיקריות, מנוסחות בצורה מילולית, בדוגמא של מערכת אזעקה ביתית יכולות אפשריות הן: יכולת תצוגה, יכולת קליטת קול, יכולת עיבוד נתונים, ויכולת חישה של נוכחות אדם באזור הלא מורשה.
- ❖ מפרט טכני – רשימה של מדדים ביצועיים מצופים אשר על הפתרון לעמוד בהם על מנת להכריז שהפתרון עונה על הצורך. מקובל להגדיר מספר מדדים עבור כל יכולת בתיאור הפונקציונלי. לדוגמא: זיהוי נוכחות אדם ברדיוס של 10 מטרים לפחות, יכולת שמירת ארבעה מספרי חירום והשמעת האזעקה למרחק של 100 מטר לפחות.

5.1 מסרים

- ❖ הגדרה מראש של תכונות יכולות המוצר הינה קריטית להצלחת התהליך.
- ❖ קביעת מדדים ביצועיים לכל יכולת ותכונה מאפשרת וממקדת את תהליך התכן והוכחה של עמידת התכן במפרט.
- ❖ המפרט הוט סוג של התחייבות חוזית בין המפתח ל'לקוח'. עם זאת, בתעשייה המפרט הוא מסמך 'דינמי' המתעדכן מדי פעם בהתאם לצורך.

5.2 דגשים למורים

- ❖ יש להקפיד לבצע את כל השלבים בהכנת המפרט ולא לוותר על הגדרת מדדים ביצועיים.
- ❖ המפרט יכול הגדרה של המוצר ("הגדרה פונקציונלית"), תיאור יכולות נדרשות (תיאור פונקציונלי) וטבלת מדדים ביצועיים לכל יכולת ("מפרט טכני").

- ❖ בנוסף יש להגדיר דרישות שעל המוצר לעמוד בהם, לדוגמה: בצע, גודל פיזי, משקל, עמידה בתקנים, וכדומה. אין לבלבל עם האילוצים שהוגדרו בשלב הבעיה
- ❖ מתכננים, גם מהנדסים מנוסים, נוטים לא להגדיר מראש מדדים ביצועים, על מנת לא להיכשל באי-עמידה בהם. לכן טבעי שמי שפחות מנוסה ועוסק בתכן הנדסי בפעם הראשונה, יחשוש "להתחייב". אך חלק חשוב מהאופי הלימודי של התכן ההנדסי הוא ההשוואה בסוף הפרויקט בין מה ש"התחייבנו" במפרט לבין התוצאות בפועל של בדיקת אב הטיפוס. זהו תהליך רפלקטיבי משמעותי ויש לתת לו מקום משמעותי בתהליך ההערכה\מצגת\ספר הפרויקט.

5.3 הנחיות להתנסות (המלצה לדרכי הוראה)

מטרה: התלמידים יגדירו מפרט של טלפון סלולרי מדור ישן, לדוגמה נוקיה 2120.

הציוד הנדרש: מחשב ומקרן.

מיומנויות: עבודת צוות, הסקת מסקנות, בניית טיעון, מיזוג מידע

מהלך הפעילות בכיתה:

| מהלך הפעילות | משך הזמן הנדרש | אופן ביצוע הפעילות | שלב |
|---|----------------|--------------------|-------------------|
| <p>הקרינו על הלוח את תמונת הטלפון שבקישור. בקשו מהתלמידים לכתוב במשפט אחד מהו המכשיר המתואר. שימו לב: מדובר בטלפון NOKIA 2120, מלפני העידן הסמרט-פונים נחבר בכוונה כי קל יותר לתיאור, מכיוון שהדגם הזה מסוגל לבצע שיחות טלפון, לשלוח SMS ולשמור ספר טלפונים. אין הגדרה אחידה אחת נכונה. הגדרה סבירה אחת היא: "מכשיר תקשורת אל-חוטית נייד המאפשר הקמה של תקשורת קולית ונתונים בין שני מכשירים המחוברים לרשת או בין מכשיר המחובר לרשת לבין מכשיר טלפון קווי."</p> | 10 דק' | עבודה אישית | הגדרה פונקציונלית |

| | | | |
|--|--------|--------------|------------------|
| <p>בקשו מהתלמידים להצטוות בזוגות ולהציג אחד לשני את תשובותיהם ולהגיע יחד לתשובה המוסכמת על שניהם לשאלה "מהי ההגדרה הפונקציונלית של המכשיר?"</p> | 10 דק' | עבודה בזוגות | |
| <p>כל זוג מציג את ההגדרה שלו. ניתן לעשות זאת בקובץ שיתופי או שהמורה תרשום על הלוח. המורה מבצעת סנתזה של ההגדרה על בסיס כל ההגדרות של התלמידים. חשוב שהשלב הזה יתבצע בשיתוף כל הכיתה על מנת להגיע להגדרה שתהיה מוסכמת על כולם. הערה חשובה: יש נטייה לבלבל בין דרישות לבין יכולות. מוצע להבהיר ש"דרישות" הם מגבלות שאנחנו מבקשים מהפתרון לעמוד בהן, למשל שהירידה למנהרה (ראו שיעור על דרישות ואילוצים) תהיה ללא מדרגות. דוגמה נוספת מידות של המוצר, או משקל. "יכולות" הם תכונות שהמכשיר מסוגל לבצע. כאן למשל הטלפון מסוגל לקלוט קול אנושי, לכן זו יכולת.</p> | 15 דק' | מליאה | |
| <p>הקרינו על הלוח את תמונת הטלפון לצד ההגדרה מהשלב שלב הקודם. בקשו מהתלמידים לכתוב 3 עד 5 יכולות שהמוצר חייב להיות מסוגל למלא על מנת קיים את ההגדרה שלו. דוגמאות ליכולות תוכלו למצוא בטבלה יכולות ומדדים של המכשיר בהמשך הפרק.</p> | 10 דק' | עבודה אישית | תיאור פונקציונלי |
| <p>בקשו מהתלמידים להצטוות בזוגות ולהציג אחד לשני את תשובותיהם ולהגיע יחד לתשובה המוסכמת על שניהם על 5 יכולות שנדרשות למכשיר.</p> | 10 דק' | עבודה בזוגות | |
| <p>כל זוג ירשום על הלוח או בקובץ שיתופי יכולת אחת (עד שכל היכולות מופיעות על הלוח).</p> | 20 דק' | מליאה | |

| | | | |
|---|--------|--------------|-----------------------|
| המורה מבצעת סנתזה של היכולות על בסיס כל התשובות של התלמידים בכדי להגיע ל 5-8 יכולות המוסכמות על כל הכיתה. | | | |
| כעת על הלוח: התמונה, ההגדרה הפונקציונלית והתיאור הפונקציונלי. בקשו מהתלמידים לכתוב מדד אחד לפחות לכל יכולת מרשימת היכולות של המכשיר. דוגמאות ליכולות תוכלו למצוא בטבלה יכולות ומדדים של המכשיר בהמשך הפרק | 10 דק' | עבודה אישית | הגדרת מדדים לכל יכולת |
| חלקו את התלמידים לזוגות ובקשו מהם להציג אחד לשני את תשובותיהם ולהגיע יחד לתשובה המוסכמת על שניהם על פרמטרים עבור היכולות שנדרשות למכשיר | 10 דק' | עבודה בזוגות | |
| מבקשים מכל זוג להציג מדד עבור יכולת אחת ורושמים על הלוח. כך מבקשים מכל הזוגות עד שכל קיימים לפחות מדד אחד עבור כל היכולות. | 20 דק' | מליאה | |

דוגמא לטבלת יכולות ומדדים של המכשיר

| יכולת | מדדים | הערות למורה |
|--------------------------|---|--|
| יכולת קלט קולי | המכשיר יכול לקלוט קול אנושי עד מרחק של 1 מטר | הכוונה ליכולת של המכשיר "לשמע" את מה שאנחנו אומרים ולתרגם את הצלילים לאותות חשמליים. זאת היכולת של המיקרופון. אבל בשלב זה אנו נקפיד להגדיר יכולות ולא רכיבים |
| יכולות קלט נתונים | המכשיר יכול לקלוט את כל האלפביתיים העברי והאנגלי וכל כל המסרים מ- 0 עד 9 וסימנים נבחרים (כוכבית), | כנ"ל לגבי היכולת "לתקתק" מספר טלפון או הודעת SMS |

| | | |
|--|---|--|
| | סולמית, "שלח", "נתק" (וכל") | |
| היכולת של המכשיר להשמיע צלילים, בין אם צלצול של שיחה נכנסת או הקול של המדבר בצד השני | 1- ניתן לשמוע את הצלצול של המכשיר מ-10 מטר 2- ניתן לשמוע את הקול של בן שיחתנו ממרחק של 2 מטר מהמכשיר | יכולת פלט קולי |
| הכוונה למה שמוצג במסך אך יכול להיות גם לנורת חיווי המתריע על שיחה או הודעה נכנסת | תצוגה תהיה של 4 שורות, כל שורה 16 סימנים, בשחור על רקע ירוק, עם תאורה פנימית כך שניתן יהיה לראות את הכתוב גם בחוש מוחלט, וגם לאור שמש | יכול פלט חזותי |
| הכוונה לשמירה של שיחות אחרונות, ספריית אנשי קשר והדעות ישנות וכדומה | המכשיר יוכל לשמור עד 500 אנשי קשר עם שם פרטי, שם משפחה ומספר טלפון | יכולת לזכור נתונים |
| הכוונה לאפשרות לעבוד עם סוללה פנימית שמאפשרת למכשיר להיות נייד | המכיר יכול לעבוד בשיחה רצופה עד 10 שעות ללא טעינה ובמצב המתנה עד 20 שעות ללא טעינה | יכולת עבודה בלי חיבור לחשמל |
| היכולת להתחבר לרשת סלולרית | המכשיר יוכל להתחבר לרשתות הסלולריות של פרטנר, פלאפון וסלקום | יכולת תקשורת ברשת סלולרית |
| זהו המוח של המכשיר. המנגנון ש"מבין" שהכנסתי מספר לחיוג ומחייג דרך הרשת הסלולרית, או ש"מבין שנכנסת שיחה ומפעיל את צלצול. המוח | הערה: בדרך כלל המדדים המקובלים ליכולת הזו הם טכניים מאוד, למשל מספר פעולות מסוג | יכולת עיבוד נתונים וקבלת החלטות |

| | | |
|--|---|--|
| <p>הזה קיים בכל מכשיר אלקטרוני. במחשבים ובטלפונים חכמים אנו קוראים לו "מעבד" דוגמת מעבדים של אינטל i5 i3 וכול" או מעבדי snapdragon של qualcomm, הנפוצים בסמארטפונים החדשים ביותר. היכולת הזו בדרך כלל לא אינטואיטיבית והתלמידים לא מציינים אותה וחשוב להוסיף אותה לרשימה במידה וזה המצב.</p> | <p>מסוים לשנייה. מכיוון שכך, מומלץ כאן להגדיר יכולות רלוונטיות לתפעול של המכשיר למשל:</p> <p>1- המכשיר ידלק ויהיה מוכן לפעולה תוך שנייה לכל היותר</p> <p>2- תידרשנה לכל היותר שלוש פעולות כדי לשלוף מספר טלפון מהזיכרון</p> <p>3- תידרשנה לכל היותר שתי פעולות כדי לשמור מספר טלפון בזיכרון יש לשים לב לא להגדיר מדדים שתלויים בגורמים מחוץ למכשיר, למשל אין להגדיר שההודעה כתובה תגיע לנאמן ב-X זמן, כי למעשה הזמן השליחה תלוי ברשת הסולרית ולא במכשיר עצמו.</p> | |
|--|---|--|

מטלת סיכום ביניים לפרקים 1-5

צפו בסרטון שבקישור וענו על השאלות הבאות:



1. זהו וכתבו את הבעיות שמפריעות לעבודת העובדים במפעל.
2. אילו אילוצים ניתן להגדיר לפתרון.
(למשל: פתרון שקל לעובדים לתפעל)
3. מה התועלות שמפיקים העובדים מהשולחן החדש?
4. כתבו מפרט לפתרון שמוצג בסרטון.
5. הציעו רעיונות נוספים לפתרון הבעיה, או שיפורים לפתרון שמוצג בסרטון.

6. סקרים

סקר תיכון בתעשייה הינו תהליך שבו צוות פיתוח מציג את התכן מעודכן לזמן ההצגה, מול קהל הכולל מומחים, בעלי עניין ועמיתים. הסקר הוא כלי חשוב באמצעותו ניתן לקבל החלטות לגבי מצב הפיתוח ולאופן המשך התהליך. הסקר מקובל גם כתהליך פורמלי המשמש כאבן דרך שיש לעבור על מנת לקבל אישור להתקדם הלאה. את סקרי תיכון מקובל לקיים מספר פעמים במהלך תהליך התכן.

אמנם הסקרים אינם חלק מתהליך התיכון שהוגדר במוט"ל, אך ישנם יתרונות רבים לשילובם במסגרת הוראת הנושא ותהליך ההתנסות בו. כך למשל, סקרים מאפשרים להתנסות בהערכת עמיתים, ללמוד לקבל ביקורת בונה, לבצע רפלקציה על התכן המוצג, לעבוד בצוות, להתנסות בהצגה מול קהל ועוד. **התהליך עשוי לתרום להפיכת הכיתה למרחב של שיתוף פעולה.**

6.1 מסרים

- ❖ הערכת עמיתים הינו כלי למידה ולא ביקורת. לכן יש להתחיל את ההערכה בנקודות לשימור ורק לאחר מכן לציין את שנדרש שיפור. מההערכה ניתן ללמוד רבות ולשפר את התכן.
- ❖ כשמקבלים הערה לשיפור, אין הכוונה להתחיל דיאלוג או ויכוח מי צודק. הערכה של העמיתים היא תרומה למציגים, ועליהם להחליט האם לקבלה או לאו.

6.2 דגשים למורים

- ❖ מומלץ לקיים סקר הכולל הערכת עמיתים לפחות פעם אחד בשלב סיום כתיבת המפרט, כחלק משלב ניתוח אופני הכשל (פרק 7) או בסיום תהליך התכן ושוב בשלבי סיום הפרויקט, כהכנה לתהליך ההערכה.
- ❖ כל צוות יציג ויקבל הערכה מתלמידים אחרים. מומלץ לקבוע קווים מנחים או מחוון על מנת להדגיש את הנושאים החשובים בסקר.
- ❖ בשלב זה התלמידים לא מקבלים ביקורת על התכן שלהם אלא על תכן שנוצר על ידי אחרים. תהליך זה יכול לסייע להם בשלב העבודה על הפרויקטים לקבל ביקורת על התכן שלהם.

6.3 הנחיות להתנסות (המלצה לדרכי הוראה)

מטרה: התלמידים ינסחו נקודות לשימור ושיפור על בסיס תכן של מוצר מסויים.

הציוד הנדרש: מחשב, רמקולים ומקרן, יש להכין קובץ שיתופי.

מיומנויות: בניית טיעון, הערכת עמיתים

מהלך הפעילות בכיתה:

| מהלך הפעילות | משך הזמן הנדרש | אופן ביצוע הפעילות | שלב |
|--|----------------|--------------------|--------------------------------------|
| <p>ספרו לתלמידים על חברה שתכננה מכונת משפחתית (עבור משפחות עם שלושה ילדים) והציגו בפניהם את המוצר בסרטון שבקישור: https://youtu.be/8Wm0TS9o_6A</p> <p>בקשו מהתלמידים לרשום, תוך כדי צפייה בסרטון, 3 נקודות לשיפור ו- 2 נקודות טובות בתכנון על מנת שהפתרון ייתן מענה טוב יותר למטרת המכונת.</p> | 15 דק' | עבודה אישית | הצגת התכן |
| <p>בקשו מהתלמידים להציג לחבר היושב לצדם את תשובותיהם ולהגיע יחד ל- 3 נקודות לשיפור ו- 2 נקודות טובות בתכנון של המכונת. את התשובה המוסכמת על שניהם עליהם לרשום בקובץ שיתופי.</p> <p>דוגמאות להערות לשיפור:</p> <ul style="list-style-type: none"> ❖ אין מושב אורי ❖ אין דלתות אחוריות ❖ הגחון נמוך מדי לכבישים בדרום ❖ הבגאג' קטן מדי ❖ תחזוקה יקרה... <p>דוגמאות להערות לשימור:</p> <ul style="list-style-type: none"> ❖ מנוע חזק ❖ עיצוב מתקדם ❖ מושב הנהג נוח מאוד | 10 דק' | עבודה בזוגות | חשיבה בזוגות על נקודות לשימור ושיפור |

תכן הנדסי בהוראת מוט"ל – פותח בטכניון, הפקולטה לחינוך למדע וטכנולוגיה, במסגרת המרכז הארצי למורי מוט"ל, יולי 2018

כתיבה ועריכה: בטו כץ וד"ר חני סבירסקי, יעוץ מדעי ופדגוגי: פרופ' יהודית דורי

| | | | |
|---|--------|------------|------------------|
| ❖ חווית הנהיגה טובה | | | |
| הקרינו על הלוח את המסמך השיתופי ודונו בנושא. הגיעו בשיתוף כל הכיתה לרשימת נקודות לשיפור ונקודות לשימור בתכן של המכונית. | 15 דק' | מליאה | מסכמים |
| בקשו מכל זוג תלמידים למצוא מכשיר שמעניין אותם ולהכין לשיעור הבא רשימה של נקודות לשימור ונקודות לשיפור בתכן של המכשיר. | | שיעורי בית | יישום |
| בשיעור הבא כל זוג מציג את עבודתו וחושבים יחד על התכן. | | | דגשים לשיעור הבא |

7. ניתוח אופני כשל

ניתוח אופני כשל (פרה-מורטם) בתהליך התיכון ההנדסי של מוט"ל מהווה שלב בתהליך התכן לפני תחילת בניית אב הטיפוס. זהו תהליך מובנה המאפשר לבצע פעולה מונעת לפני שהכשל מתרחש בפועל באב טיפוס ממשי. מקובל לבצע ניתוח אופני כשל במסגרת סקר תיכון. בתהליך מאפייני התכן נסקרים ונדונים מרכיבי תכן המאובחנים כבעלי פוטנציאל להיכשל ולא לעמוד בדרישות המפרט. לכל מרכיב מקצים דרגה חומרה (בד"כ בין 1 ל-5) ורמת סיכוי להתרחשות (כנ"ל). רמת החומרה מוכפלת ברמת הסיכוי להתרחשות. התוצאה מהווה רמת הסיכון של המרכיב או הנושא. המרכיבים השונים מתועדפים בהתאם לרמת הסיכון שלהם. שינויים בתכן מבוצעים על מנת להקטין את רמת החומרה, את סיכוי ההתרחשות או שניהם יחד, כאשר כמובן דנים קודם במרכיבים בעלי רמת סיכון גבוה יותר. ניתוח אופני כשל זהו אם כן תהליך של ניתוח סיכונים, ממוקד בנושאי תכן טכנולוגיים.

7.1 מסרים

❖ ככל שמתקדמים בתהליך התכן, ולאחריו בתהליך הייצור, עלות גילוי של כשל או תקלה גבוהה יותר בצורה משמעותית. לכן רצוי לבצע פעולות מונעות ("להקדים תרופה למכה"). כלומר, ניסיון לגלות נקודות חולשה על מנת לטפל בהן או להקטין את רמת הפגיעה במוצר, את סיכוי ההתרחשות או שניהם גם יחד.

7.2 דגשים למורים

❖ מומלץ לקיים תהליך מסודר של התנסות בניתוח אופני-כשל כחלק מסקר התיכון של הפרויקט.

7.3 הנחיות להתנסות (המלצה לדרכי הוראה)

מטרה: התלמידים יזהו תקלות אפשריות, יזהו אותן ויגדירו פעילות מונעת לכל תקלה.

הציוד הנדרש: מחשבים, תוכנת אקסל.

מיומנויות: אוריינות דיגטלית, בניית טיעון

מהלך הפעילות בכיתה:

| מהלך הפעילות | משך הזמן הנדרש | אופן ביצוע הפעילות | שלב |
|------------------------|----------------|--------------------|--------------|
| המורה מציגה את הסיפור: | 15 דק' | בכיתה | 1. הצגת התכן |

| | | | |
|--|--|--|--|
| <p>אנחנו מתכננים טיול יומי (גיחה) עם הכיתה. צוות תלמידים תכנן את הטיול ובקשנו מה להציג את התכנון על מנת לחפש סיכונים (נקודות כשל אפשריות) ולהיערך בהתאם.</p> <p>הצוות מציג את התכנית: ,</p> <p>מתכנסים ב 08:00 בבית הספר הזמנו את האוטובוס ל 07:45. התכנון הוא לצאת לכיוון מטולה לעלות על הרכבל לתצפית. הזמנו תור ל- 10:00 ולא כדאי שנאחר כי אין אפשרות לעלות באיחור.</p> <p>יש בכיתה 40 תלמידים והצוות הזמין 40 לחמניות, וכמה קופסאות של שוקולד השחר. לארוחת צהרים הוזמן מקום במסעדת הבוקרים ברמת הגולן, אליה נגיע ישר ממטולה. לאחר ארוחת הצהריים נעשה טיול באזור ונחזור לבית הספר בשעה 17:30.</p> <p>מבקשים מכל הכיתה לנסות ולעלות רעיונות מה יכול להתקלקל. רושמים את הרעיונות על הלוח. הערה למורה: רצוי להכין מראש רשימה של 3-4 דברים שיכולים להתקלקל, למשל:</p> <ul style="list-style-type: none"> • האוטובוס יכול לאחר ואז נצא מאוחר ולא נגיע לצוק מנרה בזמן, • זמן הנסיעה הוא כשעתים. אם יהיה עומס או תאונה לא נספיק להגיע. • אין לחמניות עודף. אם כולם יגיעו לטיול ולמישהו תיפול הלחמנייה לא יהיה לו מה לאכול. • יתכן שחלק מהילדים לא אוהבים שוקולד השחר. | | | |
|--|--|--|--|

| | | | |
|----------------|--------|---------|--|
| 2. חושבים בזוג | בזוגות | 10 דק' | מבקשים מזוגות תלמידי לדרג את חומרת התקלה בציון בין 1 ל 5 (5 הכי חמור), לפי הרשימה שלעיל. |
| 3. חושבים יחד | מליאה | 15 דק' | כל זוג מציג את ציוני החומרה שלו ומגיעים לטבלה מוסכמת על כולם. לדוגמה: טבלת דירוג דרגת החומרה של כל תקלה אפשרית בציון בין 1 ל 5 (5 הכי חמור), המוצגת בהמשך הפרק. |
| 4. חושבים בזוג | בזוגות | 10 דקות | מבקשים מזוגות תלמידי לתת ציון לפי הסיכוי שהתקלה תתרחש לפי בציון בין 1 ל 5 (5 סיכוי הכי גבוה שהתקלה תתרחש), |
| 5. חושבים יחד | מליאה | 15 דק' | כל זוג מציג את ציוני לסיכוי ההתרחשות ומגיעים לטבלה מוסכמת על כולם. לדוגמה: טבלת דירוג סיכוי להתרחשות של כל תקלה אפשרית בציון בין 1 ל 5 (5 סיכוי הכי גבוה), המוצגת בהמשך הפרק. |
| 7. חושבים יחד | מליאה | 15 דק' | מכינים יחד טבלה מסכמת המציינת את הרמת הסיכון של כל תקלה אפשרית : בשלב הסופי של הניתוח מכפילים עבור כל תקלה אפשרית את דרגת החומרה בסבירות להתרחשות ומקבלים ציון הסיכון. דוגמה לטבלה מסכמת ניתן למצוא בטבלה טבלת ציון רמת הסיכון של כל תקלה (הכי גבוה = הכי חמור) המוצגת בהמשך הפרק ומסדרים את הנתונים לפי סדר יורד. מומלץ להשתמש באקסל וללמד את התלמידים למיין בתוכנה. |
| 8. חושבים בזוג | בזוגות | 10 דקות | מבקשים מזוגות תלמידים לחשוב ולהכין רעיונות על דרכים לתכנן פעולה מונעת שתקטין את רמת הסיכון של התקלה החמורה ביותר לפי הטבלה שהכנו בסעיף הקודם. הכוונה לנסות להקטין את הדרגת החומרה, את סבירות התרחשות או שניהם יחד. שימו לב שאפשר |

| | | | |
|---|--------|-------|---------------------|
| לבצע יותר מפעולה מונעת אחת עבור תקלה נתונה. | | | |
| כל זוג מציג את רעיונות לפעולה מונעת ומגיעים לטבלה מוסכמת על כולם. לדוגמה: טבלת רעיונות לפעולה מונעת שתקטין את רמת הסיכון של התקלה החמורה ביותר בהמשך הפרק. ציינו בפני התלמידים שאם נבצע את הפעולות המונעות שבטבלה נוכל להקטין את רמת הסיכון מ- 25 ל-4 בלבד! | 15 דק' | מליאה | 9. חושבים יחד |
| מסדרים את טבלת רמת הסיכון עם הציון החדש של התקלה החמורה ביותר, ובחרים תקלה חמורה ביותר חדשה לפי הציון הכי גבוה של רמת הסיכון וחוזרים על סעיפים 8 ו-9 שבטלה הזו על מנת להקטין את רמת הסיכון של התקלה החמורה ביותר החדשה. כך מקטינים את רמות הסיכון של כל התקלות. דוגמה לטבלת סיכונים המעודכנת אחרי הטיפול בתקלה הראשונה: טבלת הסיכונים המעודכנת המוצגת בהמשך הפרק | | | 10 חזרה על סעיף 8-9 |

דירוג דרגת החומרה של כל תקלה אפשרית בציון בין 1 ל 5 (5 הכי חמור)

| תקלה | דרגת חומרה | הסבר |
|--|------------|--|
| <ul style="list-style-type: none"> האוטובוס או הילדים יכולים לאחר ואז נצא מאוחר ולא נגיע לצוק מנרה בזמן | 5 | אם לא נגיע לצוק מנרה בזמן אין לנו מה לעשות עד הצהרים |
| <ul style="list-style-type: none"> זמן הנסיעה הוא כשעתים. אם יהיה | 5 | אם לא נגיע לצוק מנרה בזמן אין לנו מה לעשות עד הצהרים |

תכן הנדסי בהוראת מוט"ל – פותח בטכניון, הפקולטה לחינוך למדע וטכנולוגיה, במסגרת המרכז הארצי למורי מוט"ל, יולי 2018

כתיבה ועריכה: בטו כץ וד"ר חני סבירסקי, יעוץ מדעי ופדגוגי: פרופ' יהודית דורי

| | | |
|---|---|---|
| | | עומס או תאונה לא נספיק להגיע |
| בעיה אבל לא כולם אוכלים הכל ממילא, ומתוכננת ארוחת צהרים טובה, וסיר להניח שהביאו כריכים אישיים | 3 | <ul style="list-style-type: none"> אין לחמניות עודף. אם כולם יגיעו לטיול ולמישהו תיפול הלחמנייה לנחל לא יהיה לו מה לאכול. |
| לא נורא כל כך | 2 | <ul style="list-style-type: none"> יתכן שחלק מהילדים לא אוהבים שוקולד השחר |

דירוג סיכוי להתרחשות של כל תקלה אפשרית בציון בין 1 ל 5 (5 סיכוי הכי גבוה)

| תקלה | סבירות להתרחשות | הסבר |
|---|-----------------|---|
| <ul style="list-style-type: none"> האוטובוס או הילדים יכולים לאחר ואז נצא מאוחר ולא נגיע לצוק מנרה בזמן | 5 | מהניסיון מטיולים קודמים גם הילדים מאחרים וגם האוטובוס |
| <ul style="list-style-type: none"> זמן הנסיעה הוא כשעתים. אם יהיה עומס או תאונה לא נספיק להגיע | 2 | אנחנו לקראת הקיץ אין הרבה עומס בכבישים |
| <ul style="list-style-type: none"> אין לחמניות עודף. אם כולם יגיעו לטיול ולמישהו תיפול הלחמנייה לנחל לא יהיה לו מה לאכול. | 4 | זה קורה כל כמעט כל טיול... |
| <ul style="list-style-type: none"> יתכן שחלק מהילדים לא אוהבים שוקולד השחר | 5 | ידוע שיש כמה ילדים שאוהבים גבינה וירקות |

טבלת ציון רמת הסיכון של כל תקלה (הכי גבוה = הכי חמור)

| תקלה | חומרה | סבירות להתרחשות | ציון הסיכון |
|--|-------|-----------------|-------------|
| • האוטובוס או הילדים יכולים לאחר ואז נצא מאוחר ולא נגיע לצוק מנרה בזמן | 5 | 5 | 25 |
| • זמן הנסיעה הוא כשעתיים. אם יהיה עומס או תאונה לא נספיק להגיע | 5 | 2 | 10 |
| • אין לחמניות עודף. אם כולם יגיעו לטיול ולמישהו תיפול הלחמנייה לנחל לא יהיה לו מה לאכול. | 3 | 4 | 12 |
| • יתכן שחלק מהילדים לא אוהבים שוקולד השחר | 2 | 5 | 10 |

ומסדרים לפי סדר ציון סיכון יורד:

| סדר | תקלה | ציון הסיכון |
|-----|--|-------------|
| 1 | • האוטובוס או הילדים יכולים לאחר ואז נצא מאוחר ולא נגיע לצוק מנרה בזמן | 25 |

תכן הנדסי בהוראת מוט"ל – פותח בטכניון, הפקולטה לחינוך למדע וטכנולוגיה, במסגרת המרכז הארצי למורי מוט"ל, יולי 2018

כתיבה ועריכה: בטו כץ וד"ר חני סבירסקי, יעוץ מדעי ופדגוגי: פרופ' יהודית דורי

| | | |
|----|---|---|
| 12 | <ul style="list-style-type: none"> • אין לחמניות עודף . אם כולם יגיעו לטיול ולמישהו תיפול הלחמנייה לנחל לא יהיה לו מה לאכול. | 2 |
| 10 | <ul style="list-style-type: none"> • זמן הנסיעה הוא כשעתיים. אם יהיה עומס או תאונה לא נספיק להגיע | 3 |
| 10 | <ul style="list-style-type: none"> • יתכן שחלק מהילדים לא אוהבים שוקולד השחר | 4 |

טבלת רעיונות לפעולה מונעת שתקטין את רמת הסיכון של התקלה החמורה ביותר

| תוצאה | פעולה מונעת | תקלה | סדר |
|--|---|--|-----|
| דרגת החומרה לא משתנה אבל הסבירות שהאיחור יקרה כן . ציון חדש לסבירות 2, כי רק יהיה אירוע חריג בהגעה לבית הספר או בדרך לצוק נאחר | נזמין את האוטובוס ל0715 ואת הילדים ל 0730 | <ul style="list-style-type: none"> • האוטובוס או הילדים יכולים לאחר ואז נצא מאוחר ולא נגיע לצוק מנרה בזמן | 1 |
| הסבירות להתרחשות לא | נוסיף לתכנון אפשרות של סיור | <ul style="list-style-type: none"> • האוטובוס או הילדים יכולים | 1 |

| | | | |
|--|-----------------------------------|---|--|
| השתנתה אבל דרגת החומרה כן כי עכשיו יש אלטרנטיבה. הציון של דרגת החומרה החדש הוא 2 | בגדר הטובה במקרה שנאחר לצוק | לאחר ואז נצא מאוחר ולא נגיע לצוק מנרה בזמן | |
|--|-----------------------------------|---|--|

ציון הסיכון של התקלה הראשונה התשנה מ-25 ל-4!

טבלת הסיכונים המעודכנת נראית עכשיו כך:

| ציון הסיכון | תקלה | סדר |
|-------------|---|-----|
| 12 | • אין לחמניות עודף . אם כולם יגיעו לטיול ולמישהו תיפול הלחמנייה לנחל לא יהיה לו מה לאכול. | 1 |
| 10 | • זמן הנסיעה הוא כשעתים. אם יהיה עומס או תאונה לא נספיק להגיע | 2 |
| 10 | • יתכן שחלק מהילדים לא אוהבים שוקולד השחר | 3 |
| 4 | • האוטובוס או הילדים יכולים לאחר ואז נצא מאוחר ולא נגיע לצוק מנרה בזמן | 4 |

ועכשיו חוזרים על התהליך עבור התקלה החמורה ביותר החדשה!

לאן ממשיכים מכאן? בניית אב טיפוס – פרויקטים קבוצתיים

הגענו לשלב ההתנסות. התלמידים בשלב זה מכירים את תהליך התכן ההנדסי וכעת הגיע שלב ההתנסות. כל תהליך ההתנסות והתוצר הנדרש מפורטים [באתר מפמ"ר מוט"ל](#).

להלן מספר דגשים אליהם יש לשים לב בתהליך בניית אב הטיפוס:

- ❖ חשוב לתכנן את הבדיקות שתבוצענה כבר בשלב התכן של אב הטיפוס, כי לפעמים להקים מערך הבדיקות הוא תהליך מורכב לפחות כמו התכן עצמו.
- ❖ חשוב להכין תוכנית בדיקות בכתב, כאשר כל בדיקה מתוארת, וקיימת רשימה של ציוד נדרש.
- ❖ חשוב להכין רשימה של תוצאות רצויות עבור כל בדיקה ולציין לאחר כל בדיקה את התוצאה בפועל ולציין בצורה מפורשת האם הבדיקה הצליחה או לא.
- ❖ רשימה התכונות הנבדקים כוללות את כל המדדים הביצועיים שמפורטים במפרט וכמו כן את וידוא עמידה בכל הדרישות והאילוצים.
- ❖ יש להקפיד על שימוש ביחידות לכל אורך התהליך.
- ❖ רצוי שהתלמידים יכינו מראש סקיצות של הבדיקות הצפויות, רשימות ציוד ומיקום פיזי נדרש, על מנת להיערך בהתאם לצורך.

מקורות

Jonassen, D., Strobel, J., & Lee, C. B. (2006). Everyday Problem Solving in Engineering: Lessons for Engineering Educators. *Journal of Engineering Education*, 95(2), 139–151. <http://doi.org/10.1002/j.2168-9830.2006.tb00885.x>

NGSS, (2017). NGSS District Implementation Indicators Available for District Administrators, News Item, NGSS.

Pounds, W. F. (1969). The Process of Problem Finding. *Industrial Management Review*, 11(1), 1–19. <http://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>

נספח א: הצעה חלופית לשיעור הפתיחה

ההצעה נבנתה על בסיס הרעיון המוצע ב**מדריך הראשי למורה בנושא תכן הנדסי בהוראת מוט"ל** (פרץ ועמיתותיה, 2016).

קראו את השיר "מהרץ אל הפקס" שכתב יורם טהרלב. סמנו בצבע צהוב את כל הבעיות המתוארות בשיר.

- א. סמנו בצבע ירוק את כל הפתרונות המופיעים בשיר.
- ב. קראו את המשך השיר והשלימו בטבלה (עליכם ליצור את הטבלה) את הבעיות והפתרונות המופיעים בשיר. מהו הפתרון האחרון המוזכר בשיר?
 חלק מהמשך השיר זמין ב**קישור**
 השיר המלא מופיע בדפים הבאים.
- ג. מאז כתיבת השיר הומצאו עוד אמצעי תקשורת שונים. חברו המשך לשיר (בדף השיר) המתאר את התפתחות אמצעי התקשורת עד היום ובעתיד...

מהרץ אל הפקס / יורם טהר לב

1. בראשית היה הקול אדם צועק בקול חזק אל ידידו שבמרחק וזה שומע וזוכר ומעביר את המידע לאיש אחר, רחוק יותר. וכך, באמצעות שורה של "צועקים" כל ידיעה היתה עוברת אל המרחקים

2. אך אם "צועק" אחד היה פתאום חולה או משתעל או קצת צרוד הכל היה אבוד

3. אז ביוון העתיקה בחרו רצים זריזים מאוד, אמנו אותם לרוץ חזק להעביר את הידיעות.

4. אך אם אחד בתוך ריצה קבל מכה או עקיצה נתקל באבן או עמוד או סתם שכח לאן הוא רץ, כל המידע היה אבוד.

5. האינדיאנים באמריקה פתחו פטנט מאוד חדשן. הם העבירו ידיעות באמצעות... עשן.

6. עשן שחור, עשן לבן. כל סוג עשן היה סימן.

7. אך אם רצו מידע למסור דווקא בליל סופה וקור, ברוח או ברד, או במטר כבד, כל המידע היה אובד.

8. באפריקה פתחו שיטה: קולות הטמטם והתוף שהדהדו בג'ונגלים ואף עברו מחוף אל חוף. תיפוף מהיר, תיפוף איטי, תיפוף חלש, תיפוף איתן, כל סוג תיפוף היה סימן.

9. אבל גם כאן, ביום סגריר, ברק או רעם מתגלגל את המידע בלבד.

10. וגם אצלנו פה בכנען הייתה שיטה דומה אי-פעם. את בשורת החג היו מעבירים במדורות על ההרים. סוכות, פסח, שבועות – כל חג היה נפתח במשואות.

11. אך אם מישהו לא הצליח להדליק את המדורה, מה אז קרה? עם ישראל היה עלול לחגוג את פסח – באלול.

12. ואנשים כבר אז הרגישו שהשיטות העתיקות בכלל בכלל לא מספיקות

13. כי האדם רצה יותר יותר הרבה, יותר רחוק, יותר ברור, יותר מהר.

14. וכשהמציאו את הכתב, אפשר היה לכתוב מכתב על חרס, פפירוס או על דף או על מגילה של קלף.

15. ומה שנכתב באותה מגילה הגיע מדויק, מלה במלה.

16. את המגילות היו נושאים רצים קלי – רגליים, אשר חצו שדות, הרים ונחלים של מים.

17. אבל גם הם עם כל כוחם היו כמונו, בני אדם. לא יכלו לגמוע מרחקים ממש גדולים וארוכים.

18. והאדם רצה יותר...

קראו את המשך השיר (מופיע בנספח)

וכתבו המשך משלכם

השיר המלא – "מהרץ אל הפקס"/יורם טהר-לב

| <u>מהרץ אל הפקס / יורם טהר לב</u> | | |
|---|---|---|
| <p>16. את המגילות היו נושאים רצים קלי – רגליים, אשר חצו שדות, הרים ונחלים של מים.</p> <p>17. אבל גם הם עם כל כוחם היו כמונו, בני אדם. לא יכלו לגמוע מרחקים ממש גדולים וארוכים.</p> <p>18. והאדם רצה יותר...</p> <p>19. ואז רתמו את הסוסים לשרותו של האדם, והם, בעזרת מרכבות קלות, נשאו לא רק מכתבים אלא גם חבילות. אבל אפילו הסוסים היו בעצם מוגבלים</p> <p>20. כי הם יכלו לנוע רק על פני דרכים או על שבילים. לא פעם הם שקעו בבוץ או התהפכו לתוך נהר או סתם רצו להשתולל, והמידע כולו היה הולך לעזאזל.</p> <p>21. והאדם רצה יותר...</p> <p>22. ואז חפשו פתרון אחר חפשו יצור זריז יותר שעף מעל הסכנה, והם גלו את – היונה.</p> | <p>8. באפריקה פתחו שיטה: קולות הטמטם והתוף שהדהדו בג'ונגלים ואף עברו מחוף אל חוף. תיפוף מהיר, תיפוף איטי, תיפוף חלש, תיפוף איתן, כל סוג תיפוף היה סימן.</p> <p>9. אבל גם כאן, ביום סגריר, ברק או רעם מתגלגל את המידע בלב.</p> <p>10. וגם אצלנו פה בכנען הייתה שיטה דומה אי-פעם. את בשורת החג היו מעבירים במדורות על ההרים. סוכות, פסח, שבועות – כל חג היה נפתח במשואות.</p> <p>11. אך אם מישהו לא הצליח להדליק את המדורה, מה אז קרה? עם ישראל היה עלול לחגוג את פסח – באלול.</p> <p>12. ואנשים כבר אז הרגישו שהשיטות העתיקות בכלל בכלל לא מספיקות</p> <p>13. כי האדם רצה יותר יותר הרבה, יותר רחוק, יותר ברור, יותר מהר.</p> <p>14. וכשהמציאו את הכתב, אפשר היה לכתוב מכתב על חרס, פפירוס או על דף או על מגילה של קלף.</p> <p>15. ומה שנכתב באותה מגילה הגיע מדויק, מלה במלה.</p> | <p>1. בראשית היה הקול אדם צועק בקול חזק אל ידידו שבמרחק וזה שומע וזוכר ומעביר את המידע לאיש אחר, רחוק יותר. וכך, באמצעות שורה של "צועקים" כל ידיעה היתה עוברת אל המרחקים</p> <p>2. אך אם "צועק" אחד היה פתאום חולה או משתעל או קצת צרוד הכל היה אבוד</p> <p>3. אז ביוון העתיקה בחרו רצים זריזים מאוד, אמנו אותם לרוץ חזק להעביר את הידיעות.</p> <p>4. אך אם אחד בתוך ריצה קבל מכה או עקיצה נתקל באבן או עמוד, או סתם שכח לאן הוא רץ, כל המידע היה אבוד.</p> <p>5. האינדיאנים באמריקה פתחו פטנט מאוד חדשן. הם העבירו ידיעות באמצעות... עשן.</p> <p>6. עשן שחור, עשן לבן. כל סוג עשן היה סימן.</p> <p>7. אך אם רצו מידע למסור דווקא בליל סופה וקור, ברוח או ברד או במטר כבד, כל המידע היה אובד.</p> |

| | | |
|--|---|---|
| <p>34. אבל גם זה עוד לא הספיק, כי החוטים והכבלים לא היו מסוגלים להגיע, למשל, למטוסים ולספינות והשאירו אותם חשופים לסכנות.</p> <p>35. ואז פתחו את האלחוט כמו טלפון – אבל בלי חוט. מכשיר שמשדר וקולט ומעביר את קולו של האדם ככה סתם באויר.</p> <p>36. אך האדם רצה יותר...</p> <p>37. הוא רצה למסור מידע לא רק לאיש בודד באמצעות טלפונים. הוא רצה להעביר מידע לאלפי בני אדם, למיליונים.</p> <p>38. הרצון הזה לא התחיל היום. כבר לפני אלפי שנים, בעולם העתיק, כשהמלך רצה למסור את פקודתו להמוני האזרחים של מדינתו,</p> | <p>29. בעקבות החשמל הומצא הטלגרף, אשר באמצעות חוטים דקים העביר למרחקים מלים בשפת הסימנים. במקום א' – נקודה וקו. במקום ב' – 'ק, נקודה וקו.</p> <p>30. ובקצה החוט במרחק רב ישב מומחה לסימנים שתרגם את הכל למשפטים מובנים. אך עד שהוא גמר את התרגום, האנשים סביבו נהיו עצבניים.</p> <p>31. והאדם רצה יותר...</p> <p>32. ואז הומצא הטלפון, מכשיר חכם ומשכולל: מבינים את המילים, שומעים אפילו את הקול, ובני - אדם חשבו: פתרנו את הכל.</p> <p>33. מתחו חוטים מעיר לעיר, ממדינה למדינה ואפילו מתחת לים, הטלפון הגיע לכל העולם.</p> | <p>23. אמנם את היונה שום מכשול לא עצר. היא חצתה אגם והר בלי כביש או דרך עפר, נשאה מידע על גב פתקים ממש ממש למרחקים.</p> <p>24. אבל יונה, כולם יודעים, היא טרף קל לציידים. וכך היתה יונה לא פעם, אל השליחות שלה נשלחת, אך מגיעה – אל הצלחת.</p> <p>25. והאדם רצה יותר...</p> <p>26. והשנים חלפו עברו וכלי הרכב השתפרו. רכבת, אוטו, אוניה נשאו אתם את המידע.</p> <p>27. וכשהופיע המטוס, חשבו כולם כי זה הסוף: מידע עובר כל כך רחוק, כל כך מהר, שלא צריך יותר.</p> <p>28. וגם גלוי החשמל עשה מהפכה ממש. המהירות קבלה ממד חדש. כל המהירות הידועה עד עכשיו נראתה לפתע כמו זחילה של צב.</p> |
|--|---|---|

39. הוא היה שולח, איש ענק,
כרוז גבוה, בעל קול חזר,
אשר יופיע בככר של עיר הפלך
ויעביר להמונים את דבר המלך.

40. ואחר – כך עם השנים
המציאו את העתונים,
והם התחילו להפיץ
מידע להמונים:

חדשות בכלכלה
מה נשמע בממשלה,

41. תאונות ואסונות,
סיכויים וסכנות,

חתונות וגרושים,
רכילות ולחששים

סכסוכים ומלחמות,
מודעות ופרסומות,
הצעות של עבודה...
במילה אחת: מידע.

42. אך האדם רצה יותר...

43. ואז יום אחד – רווח לאדם:
בא הרדיו לעולם!
גם מי שאינו יודע לקרוא,
יכול לשמוע כמו כולם –

חדשות בכלכלה,
מה נשמע בממשלה,

44. תאונות ואסונות,
סיכויים וסכנות....

45. אך האדם רצה יותר...

46. כי העיתון מסר מידע
רק דרך העיניים.

הרדיו העביר מידע,
רק דרך האוזניים,

והאדם חפש מכשיר
שיאחד לו את השניים.

47. ואז נולדה הטלוויזיה,
היא דברה בבת אחת לאוזן ולעין,
והאדם ישב מולה ולא עצם עיניים.

48. הכל נראה פתאום
כל כך אמיתי:

אם ישנה אולימפיאדה
בקצה העולם,
הטלוויזיה שולחת לשם צלם.

49. והוא שולח את הסרט שצלם
בתחרות,

ומטוס סילון מסיע
את הסרט לאולפן במהירות,

ואחרי שעה או שעתיים
אתה רואה את זה

ממש אצלך בתוך הבית.

50. אך האדם רצה יותר...

51. והיום שלח האדם לחלל
את הלווין,

שמוסר כל הזמן מידע מעודכן
על תנועות של צבא
ותנועות עננים,
רעידות אדמה
וניסוי גרעיני.

52. ואם ישנו משחק כדורסל
בסוף העולם,

הטלוויזיה שולחת לשם צלם,
והוא משגר את צלומיו אל
הלווין

תוך כדי המשחק,

53. והשדור מגיע
לכל מקום מרחק,

ואדם יושב בביתו מרתק,
באוסטרליה או בסין

או בקצה העולם,
וצועק "סל!!!"

יחד עם הקהל באולם.

54. והוא יכול לדעת
לא מה שקרה אתמול

או לפני יומיים,

לא מה שקרה היום,
לפני שעה או שעתיים,

אלא מה קורה כעת,

זה עתה בזמן אמת!

בלי לחכות, בלי לאחר,

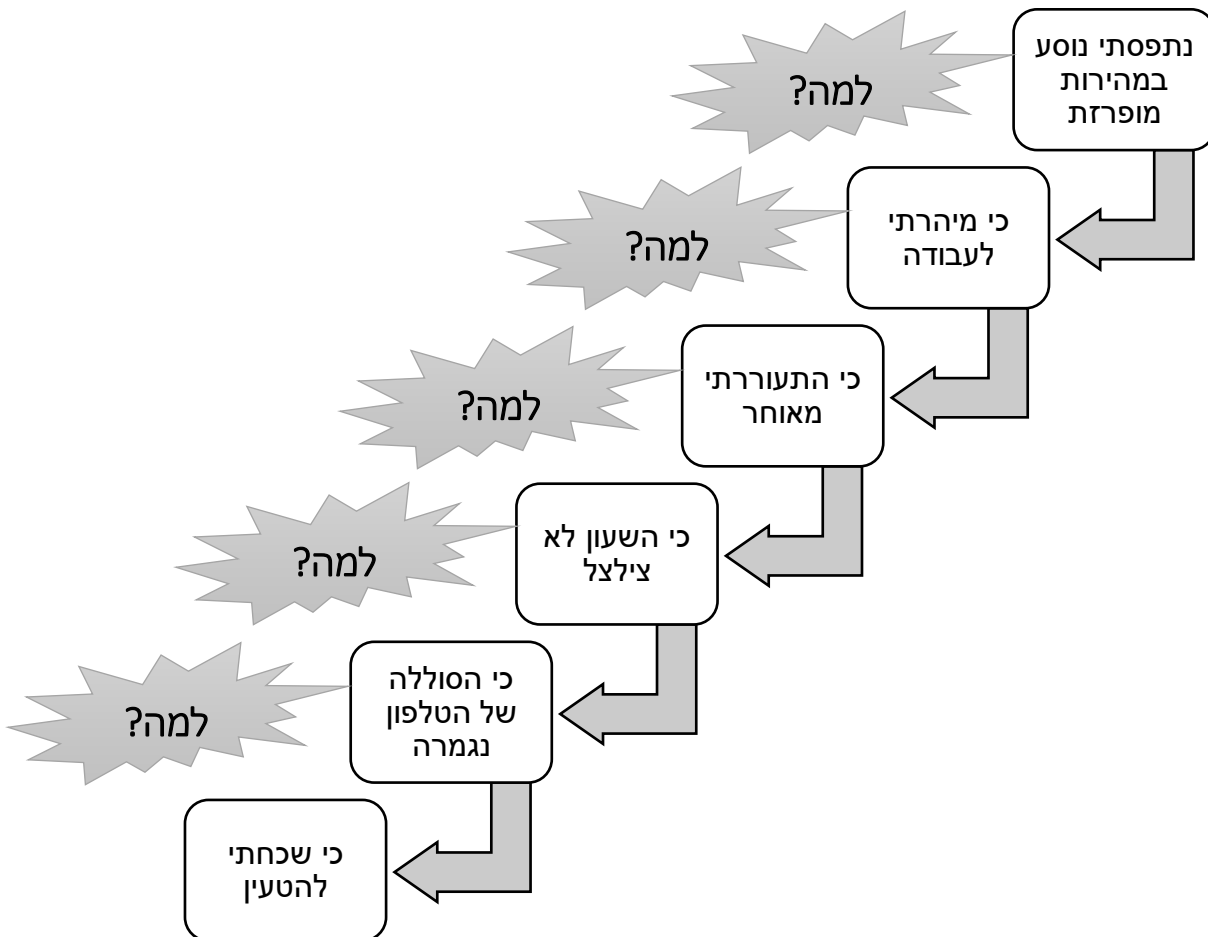
אך האדם – רוצה יותר!

נספח ב' – שיטה לזיהוי בעיית השורש לזיהוי בעיית השורש

אחד האמצעים למציאת השורש של בעיה בצורה מהירה היא שיטת "שאל חמש פעמים למה?" ("The 5 whys"). מקור השיטה בחברת טויוטה היפנית. השיטה מבוססת על שאלת "למה?" כשנתקלים בתופעה. התשובה שתתקבל לגרום לשאלה נוספת "למה?" וחוזר חלילה 5 פעמים בהנחה שתוך 5 חזרות על השאלה תמצא קרוב לוודאי את בעיית השורש.

השיטה קלה ללמידה ויישום, ומאפשרת זיהוי מהיר של בעיית השורש. אולם, נטען שהשיטה פשטנית מדי, ותוצריה עשויים לבלבל שכן, צוותים שונים המיישמים את השיטה על אותה בעיה עשויים להגיע למסקנות שונות (Serrat, 2009).

לדוגמה⁶:



Serrat, O. (2010). The five ways technique. Washington, DC: Asian Development Bank.

⁶ מעובד מתוך המסמך ["The 5 Whys": Root Cause Analysis](#) מאתר [Mindtools](#).

תכן הנדסי בהוראת מוט"ל – פותח בטכניון, הפקולטה לחינוך למדע וטכנולוגיה, במסגרת המרכז הארצי למורי מוט"ל, יולי 2018

כתיבה ועריכה: בטו כץ וד"ר חני סבירסקי, יעוץ מדעי ופדגוגי: פרופ' יהודית דורי