



משרד החינוך
המזכירות הפדגוגית
מנהל תקשוב ומערכות מידע
אגף מדעים
אגף טכנולוגיה
הפיקוח על הוראת "מדע וטכנולוגיה לכל"

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



המחלקה להוראת המדעים

ערכה למורה תהליך התיכון ההנדסי ב"מדע וטכנולוגיה לכל"

מודלינג: חלקים א'-ב'

ד"ר רחל כהן

יולי 2016

כתיבה: ד"ר רחל כהן

עריכה: ד"ר יעל שורץ

יועץ מדעי: פרופ' דייוויד פורטס

עריכה לשונית: נדין קלברמן

עיצוב גרפי, איורים וכריכה: ציפי עובדיה

עריכה במחשב: אבי טל וציפי עובדיה

קראו והערו: מדריכי מוט"ל, ד"ר רוחמה ארנברג וד"ר מיכל נחשון

רוב האיורים והתמונות המשולבים בעיתון זה נלקחו באישור מאת אתר שטרסטוק - Shutterstock

©

כל הזכויות שמורות למשרד החינוך, המזכירות הפדגוגית

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.

תוכן העניינים

4	מבוא - רציונל ורקע למורה.....
5	מבנה היחידה ומטרות שלביה
6	טבלת תכנון יחידת ההוראה.....
7	חלק א': על מדע והנדסה - שיעורים 1-7.....
24	חלק ב': התנסות בתהליך התיכון - שיעורים 8-17.....
44	מחווה לכרזת התיכון ההנדסי ב"מדע וטכנולוגיה לכול".....
47	מילון מונחים.....
48	ביבליוגרפיה.....

תוכן תרשימים

14	תרשים 1: תהליך התיכון ההנדסי.....
17	תרשים 2: תהליך התיכון ההנדסי (להשלמת שלביו).....
27	תרשים 3: תיאור מבנה מזקקת שמש.....
34	תרשים 4: כלי חשיבה לריכוז התשתית המושגית הנדרשת לביסוס פתרון הבעיה.....
35	תרשים 5: תיאור המוצר (האב-טיפוס) לפתרון הבעיה כולל הסבר מילולי של חלקיו.....
37	תרשים 6 : שלד הדג לפירוט סיבות אפשריות לכישלון האב-טיפוס (הפרויקט).....
40	תרשים 7: תיאור המוצר (הסופי) לפתרון הבעיה כולל הסבר מילולי של חלקיו.....

תוכן טבלאות

9	טבלה 1: מיון פעולות ותיאורים המאפיינים את המדענים, את המהנדסים או את שניהם.....
18	טבלה 2: מחווה להערכת המשימה שינוע זכוכית להגנת טבלט.....
22	טבלה 3: התאמה בין קטעי הכתבה לסדר תהליך התיכון ההנדסי.....

רציונל ורקע למורה

החברה האנושית מייחסת חשיבות להוראת **הנדסה** וטכנולוגיה שבאמצעותם התלמידים ילמדו ויחקרו היבטים יישומיים של המדע. לימודי ההנדסה והטכנולוגיה עשויים לספק הקשר שבו תלמידים יכולים לבחון את הידע המדעי שלהם ולהחילו על בעיות יום יומיות מעשיות. באופן זה עשויה להשתפר הבנת התלמידים במדע, הנדסה וטכנולוגיה ובהכרתם את יחסי הגומלין בין תחומים אלה.

לאור הנכתב לעיל יש שיצביעו על כך שההנדסה ו/או הטכנולוגיה הם יישום של מדע. אלא שההתייחסות אליהם רק כאל "מדע שימושי", היא תפיסה חלופית -אלטרנטיבית.

מקובל להגדיר טכנולוגיה כתחום דעת העוסק בשינוי הסביבה הטבעית ומציאת 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 (International Technology Education Association (ITEA), 2007). למעשה, כיום מתייחסים להנדסה כאל תחום תכנון ועיצוב לולאתי (איטרטיבי) ומיטוב (אופטימיזציה) של חומרים וטכנולוגיות לצרכים אנושיים, אגב התייחסות להגדרת **דרישות** (קריטריונים) ולאילוצים.

תהליך התיכון ההנדסי (engineering design process) כולל שלושה רעיונות מרכזיים, והם:

1. הגדרה ותיחום של הבעיה ההנדסית שנדרש לה פתרון כולל, וביאור מפורש של הדרישות (קריטריונים להצלחה), האילוצים או ההגבלות.

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

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

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, שכלולו ושיפורו ובונים את המוצר (ראו תרשים 1 בעמוד 14).

למה להקדיש זמן להוראת תהליך התיכון ההנדסי? ראשית, היבטים אלו מתבטאים חדשות לבקרים בתקשורת העדכנית. העיסוק ב**חדשנות**, בכל תחומי הדעת, עשוי להמחיש לתלמידים את רלוונטיות התחום לחיי היום יום שלהם ולעורר את עניינם. כמו כן נמצא שעיסוק ב**תיכון הנדסי** מזמן מיקוד והוראת מושגים מדעיים (Cunningham & Carlsen, 2014) בצד פיתוח עבודת צוות ושיתופיות (collaboration) בקרב התלמידים. לבסוף, בניסיון לחפש פתרון לבעיה התלמידים מתרגלים מיומנויות רבות, כגון: בנייה וניסוח טיעונים, השוואה, ארגון ומיון מידע, מיזוג מידע, ייצוג מידע באופן חזותי ועוד.

מדובר בדף עבודה לתלמידים שניתן לשכפל אותו



הערה: בכל מקום שבו מופיע

במלואו. המשימה מופיעה במקום המתאים ברצף ההוראה.

מבנה היחידה ומטרות שלביה



טבלת תכנון ההוראה

טבלה זו המציגה הצעה לרצף הוראה, מיועדת להוראת המבוא לנושא תהליך התיכון ההנדסי והקניית בסיס ידע חיוני להמשך ההתנסות בפרויקט בתחום. סך שעות הלימוד המומלץ לכיתה י"ב הוא כ-17 שעות.

נושא	מושגים	טווח שעות מומלץ	מיומנויות	פעילויות מפתח	הפניה לחומרי למידה
בירור ידע קודם להבנה בין פעולות מדענים לבין מהנדסים	מדען הנדסה	1 שיעור	ארגון ומיון מידע ייצוג מידע באופן חזותי עריכת דיון בנייה וניסוח טיעון	מהם הקריטריונים להבחנה בין מדע להנדסה מיון פריטים בטבלה דיון בקבוצה הערה: ניתן לתת את המשימה כפעילות בית, והדיון יתבצע בכיתה (בסגנון הכיתה ההפוכה)	טבלת מיון: נאפיין פעולות מדענים/מהנדסים
הגדרת טכנולוגיה והנדסה (פעילות פתיחה לתהליך התיכון-ההנדסי)	טכנולוגיה הנדסה	1 שיעור	תצפית בסרט איסוף וארגון מידע עריכת דיון	צפייה בסרט "מדפסת תלת-ממד למוצרי זכוכית ותכנון פתרון להובלתם	סרט - https://www.youtube.com/watch?v=_Lx-2loldi6o
התנסות בתהליך התיכון ההנדסי	תהליך תיכון-הנדסי	2 שיעורים	היכרות עם שיטת העבודה בתיכון-הנדסי-ביצוע התנסות ניתוח ממצאים הסקת מסקנות עבודת צוות	תכנון אריזה לשינוע מסך זכוכית לטבלט	שינוע מסך טבלט
פעילות ביניים להבחנה בין תהליך החקר לתהליך התיכון-ההנדסי	שאלת חקר הגדרת בעיה	שיעור 1	עריכת דיון בנייה וניסוח טיעון	קריאת כתבה חילוץ מידע מהכתבה הבחנה בין הגדרת בעיה (טכנולוגיה-הנדסה) לשאלת חקר (מדע)	בבלוג של קרל פורז
זיהוי והגדרת שלבי התיכון ההנדסי	דרישות Pre-Mortem, אילוצים אב טיפוס	שיעור 1-2	איסוף וארגון מידע, עריכת דיון, ניתוח מידע, הסקת מסקנות, עבודת צוות	קריאת כתבה חילוץ מידע מהכתבה, זיהוי מרכיבי תהליך התיכון ההנדסי, ארגון שלבים לפי הסדר הנכון, שיום השלבים ואפיונם	כתבה-הדפסת גשר
התנסות מעמיקה בתהליך התיכון-ההנדסי		שיעור 10-6	איסוף וארגון מידע, עריכת דיון, ניתוח מידע, הסקת מסקנות, עבודת צוות	סיעור מוחות בקבוצות ובמליאה ביצוע פרויקט תיכון הנדסי ופתרון בעיה	(*) בחירת אחד מתוך ארבעה תרחישים וביצועו כפרויקט תיכון הנדסי

(*) בחלק זה ניתן לבחור בתרחישים נוספים מחוברת חלק ג מאת ריטל חליף בהוצאת הטכניון.

חלק א: על מדע והנדסה - שיעורים 1-7

הצעות דידקטיות להוראת הנושא



שיעור 1 (למורה) - בירור ידע מוקדם ותפיסות התלמידים באשר למאפיינים של מדענים ומהנדסים

מטרות

1. בירור ידע קודם ותפיסות התלמידים את דמות המדענים והמהנדסים
2. בירור הפעולות והתהליכים שמבצעים מדענים ו/או מהנדסים
3. העלאת המודעות לפריצת הדרך שמזמן תחום ההנדסה לפתרון בעיות אנושיות
4. יצירת עניין והנעה כדי להכיר את העיסוק בתהליך התיכון-ההנדסי.

למורה: במטרה לברר את הידע הקודם של התלמידים ואת תפיסותיהם בכל הנוגע לדמות המדענים והמהנדסים, יתבקשו התלמידים לצייר תחילה מדענים ומהנדסים ואחר כך לזהותם בתמונות ולרשום את פעולותיהם. אם נדע באיזה אופן צוירה החזות החיצונית של המדענים והמהנדסים, מגדרם, סביבת עבודתם, כלי העבודה הנלווים להם, ואם נדע אם הם צוירו בחברה תוך כדי עבודת צוות - נוכל ללמוד מזה על תפיסות התלמידים לפני הוראת היחידה. למורים יש השפעה על האופן שבו המדענים והמהנדסים נתפסים בעיני תלמידים, ופעילות זו עשויה לעזור בהתמודדות עם השקפות וסטראוטיפים שליליים. אפשר לשמור את הציורים, להתייחס אליהם ולהשוות את תפיסות התלמידים שבאות לידי ביטוי בהם לפני לימודי יחידת הלימוד ולאחריהם.

צפוי שיתפתח דיון על מה עושים מדענים ומהנדסים. למעשה, מרבית הפעולות המתוארות בטבלה מס' 1 מאפיינות הן את המדענים והן את המהנדסים. הם מתכננים ומבצעים חקירות, מנתחים ומפרשים נתונים, מפתחים ומשתמשים במודלים, טוענים טיעונים ועוד. ההבחנה ביניהם היא שבעוד שהמדענים שואלים שאלות, בונים ומבססים הסברים על תופעות בסביבתנו, הרי שהמהנדסים מגדירים בעיה (צרכים ודרישות אנושיות) ומתכננים לה פתרון.

כשמדען מפתח תרופה, נשאלת השאלה - הוא מדען או מהנדס? כשמדען מפתח אלגוריתם לקידוד מידע - הוא מהנדס? ההבדל בין מדען למהנדס מצריך בירור מעמיק והכרת מטרותיהם, תיאור פועלם, שיטות (פרוצדורות) עבודתם ובדיקת השקעתם במרבית זמנם. כל אלה ייבחנו במהלך יחידת הוראה זו.

1. א. ציירו שני ציורים. באחד מדען ובשני מהנדס. הוסיפו לכל ציור פרטים על סביבת עבודתם.

ב. הסבירו את ציורכם במילים.

ג. ציינו שמות של שני מדענים ושני מהנדסים המוכרים לכם.

2. לפניכם תמונות של מדענים ומהנדסים. האם תוכלו לזהות באיזו מהן מצולמים מדענים ובאיזו מצולמים מהנדסים? הסבירו את בחירתכם.



3. לפניכם כמה טענות או תיאורים ופעולות הקשורים למדענים, מהנדסים או לשניהם. חשבו עליהם ומיינו טענות/תיאורים אלה בטבלה מטה.

טבלה 1: מיון פעולות ותיאורים המאפיינים מדענים, מהנדסים או את שניהם

פעולות של מדענים	פעולות של מדענים וגם של מהנדסים	פעולות של מהנדסים

היגדים למיון

1. מתכננים ומבצעים חקירה וניסויים
2. מנסים להבין ולהסביר את העולם סביבנו
3. פותרים בעיות
4. מתעדים את עבודתם
5. עונים על צורכי החברה
6. מבצעים בדיקות או ניסויים לבחינת יעילות ועמידות מוצרים בתנאים שונים
7. משתמשים ביצירתיות ובחדשנות
8. עובדים בצוות
9. משתמשים במתמטיקה, מידע וטכנולוגיית מחשב
10. ממציאים או מתכננים מחדש מוצרים
11. מחשיבה חשיבות
12. מפרסמים בתקשורת את ממצאיהם
13. מתקנים מוצרים
14. מפתחים ומשתמשים במודלים
15. בונים הסברים
16. מעריכים מידע, מנתחים ומפרשים נתונים
17. טוענים טיעון מראיות
18. מגדירים בעיות
19. שואלים שאלות

ניכר שמרבית הפעולות המתוארות בטבלה מס' 1 מאפיינות הן את המדענים והן את המהנדסים. נשאלת השאלה: כשמדען מפתח תרופה, הוא מדען או מהנדס? ההבדל בין מדען למהנדס מצריך בירור מעמיק והכרת מטרותיהם, תיאור פועלם, שיטות (פרוצדורות) עבודתם ובדיקת השקעתם במרבית זמנם. כל אלה ייבחנו במהלך יחידת הוראה זו. לאור העובדה כי את תהליך החקר המדעי המאפיין את עבודת המדענים הנכם מכירים, ניכר כעת את תהליך התיכון ההנדסי שבבסיס עבודת המהנדסים.



שיעור 2 (למורה) - פעילות פתיחה לתהליך התיכון ההנדסי והגדרת מושגים בסיסיים (טכנולוגיה והנדסה, צרכים ודרישות)

מטרות

1. הנעה לתיכון ההנדסי - יצירת עניין
2. הדגמת חדשנות ופריצת דרך הנדסית-טכנולוגית הממחישה שבהנדסה משאבים (אמצעים) הופכים למוצרים או למערכות העונות על צרכים אנושיים.
3. הגדרת טכנולוגיה, הנדסה ואפיון צרכים ודרישות
4. טיפוח חשיבה יצירתית

מקום: עדיף במעבדת בית הספר המאפשרת עבודה בקבוצות.

שיקולי הדעת: הדגמת פריצת דרך הנדסית-טכנולוגית המעוררת דיון, קריאת כתבה מעיתונות יומיומית (צרכנות מידע/ הערכת אמינות מקור מידע), טיפוח חשיבה יצירתית (יציאה מתבניות חשיבה, העלאת רעיונות רבים ככל האפשר כשטף רעיונות), יכולת להתעלם מרעיונות לא פוריים, בניית טיעונים והמחשת העובדה שבהנדסה משאבים (אמצעים) הופכים למוצרים או למערכות העונות לצרכים אנושיים.

אסטרטגיית ההוראה: עבודה בשיטת Think-pair-share (תחילה חשיבה עצמית של כל תלמיד, ואחר כך דיון בזוגות ודיווח למליאת הכיתה) בעקבות הצפייה **בסרטון** המתאר הדפסת תלת מימד מזכוכית.

לפניכם כתבה שפורסמה לאחרונה בעיתון. קראו אותה וענו על שאלות המשימה שבסופה לאחר בירור. היעזרו במילון המונחים.

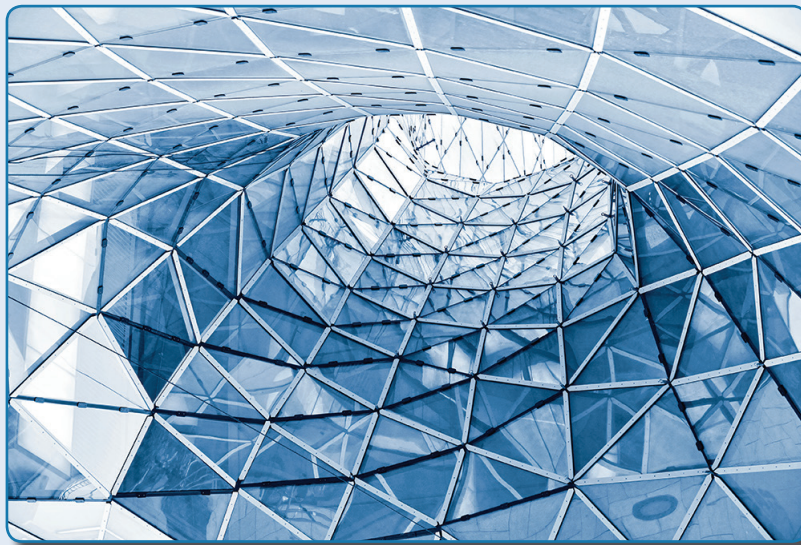
את זה עוד לא ראיתם: מדפסת תלת-ממד לזכוכית

במכון MIT (המכון הטכנולוגי של מסצ'וסטס בארה"ב, הוא מוסד אקדמי המשלב בתוכו מכון טכנולוגי ואוניברסיטה), חשפו שיטה חדשה שאותה הם מכנים G3DP המאפשרת יצירה של מבני זכוכית בתלת-ממד.

y-net פורסם: ביום 24.08.15¹

פריצת דרך חדשה בתחום הדפסות התלת-ממד: מדפסת תלת-ממד זכוכית. MIT חשפו שיטה חדשה שאותה הם מכנים G3DP, המאפשרת יצירה של מבני זכוכית בתלת-ממד, שיודפסו באופן דומה למבני פלסטיק.

השיטה של MIT פועלת בשני תאים: אחד מהם מתפקד כמחסנית כבשן ויעבוד ב-17,222 מעלות צלזיוס, ותא נוסף שיתיק את מבני הזכוכית יחד. תהליך G3DP פותח על ידי צוות הכולל קבוצה של מעבדת המדיה של MIT, מעבדת הזכוכית של MIT, מכון Wyss והמחלקה להנדסת המכונות של MIT.



אחת החוקרות המובילות בפרויקט, פרופ' נרי אוקסמן, סיפרה לאתר Mashable שפריצת הדרך הזו יכולה להוביל להתקדמות ביצירת סיבים אופטיים שמעבירה נתונים בצורה יעילה יותר. טכניקת הדפסת זכוכית D3 (מדפסת תלת-ממד) יכולה להיות בעלת השלכות משמעותיות על בניית חזיתות בניין אווירודינמי המותאם לאנרגיה סולארית. כעת מתנהל מחקר ראשוני ב-MIT על מנת לסקור את היתרונות של טכנולוגיית ההדפסה בזכוכית תלת-ממד עבור יישומים אדריכליים.

1 הכתבה באישור רותם ר. מחלקת שרות לקוחות Ynet.co.il

* **הדפסה תלת-ממדית:** היא טכנולוגיית ייצור המאפשרת לייצר דגמים תלת-ממדיים היישר מתכנון המחשב. הדפסה תלת-ממדית היא דוגמה לחדשנות ופריצת דרך הנדסית-טכנולוגית הממחישה שבהנדסה משאבים (אמצעים) הופכים למוצרים או למערכות העונות לצרכים אנושיים. בטכנולוגיה זו יוצרים דגמים תלת-ממדיים, שכבה אחרי שכבה, עד לקבלת דגם סופי, כפי שתוכנן בתכנון בעזרת מחשב. מדפסת התלת-ממד הראשונה נוצרה בשנת 1983 על ידי צ'אק האל מחברת "D Systems", יצרנית מדפסות תלת-ממד. מדפסות תלת-ממד נמצאות בשימוש בתעשייה לצורך ייצור דגמים, חלקי מתכת מורכבים, תכשיטים, אופנה ועוד. בנוסף ישנם ניסיונות לייצור מדפסות אשר ידפיסו אוכל, מבנים, איברים ביולוגיים ועוד. מדפסות תלת-ממד מוסיפות יעילות וחדשנות בתהליכי יצירת דגמים. הן עשויות גם לבטל את קו הייצור, לאפשר הדפסת המוצר בבית ואספקת פריטים בהזמנה אישית. עסקים רבים קמים בעקבות רעיון מוצלח אחד למוצר. אך הפיכת אותו הרעיון למשהו מוחשי דרשה לא מעט זמן וכסף בתקופה שקדמה לעידן מדפסות התלת-ממד. מדפסות התלת-ממד מאפשרות לעסקים להמשיך ולייצר יותר דגמים עד שהם מרוצים לגמרי מאיכות העיצוב. השינוי בתהליך מאפשר לחברות ליצור מוצרים טובים יותר במהירות גבוהה יותר. על כן למדפסות תלת-ממד פוטנציאל לשנות לגמרי את פני עולם העסקים. מנגד, ההתפתחות הטכנולוגית לעתים מעלה את השאלה מה עוד אפשר לעשות עמה? איזה עוד מוצרים חדשים ניתן לייצר או אילו בעיות וצרכים אנושיים ניתן לפתור באמצעותה? חשיבה יצירתית כזו מאפשרת פתיחות מחשבתית משוחררת מתבניות חשיבה והעלאת רעיונות רבים ככל האפשר כשטף רעיונות. הפעילות הבאה מאפשרת התנסות כזו.

מילון מונחים

בעיה טכנולוגית מוגדרת כשאלה שפתרונה מביא למענה **לצרכים** ורצונות אנושיים ו/או לביטול מצב לא רצוי. היא מתחילה במילות השאלה איך או כיצד? לדוגמה: כיצד נתכנן ונבנה...? והיא מתייחסת גם להגדרת **דרישות** ולאילווצים.

טכנולוגיה: תחום דעת העוסק בשינוי הסביבה הטבעית ומציאת פתרונות מעשיים כדי לספק רצונות וצרכים אנושיים.

הנדסה: שם כללי ליישום המדע לצורכי האנושות. מטרה זו מושגת על ידי השמה מנומקת של ידע, ניסיון ושיטות שנרכשו מהמחקר המדעי והמתמטי לתכנון וייצור של מוצרים שימושיים לטובת האנושות.

צרכים (אנושיים): כל דבר שאדם זקוק (או חש שהוא זקוק) לו עבור רווחתו הפיזית והנפשית. קיימים צרכים ההכרחיים לקיומו של האדם כמו: מזון, מים ומחסה, וצרכים נוספים אישיים, חברתיים ועוד.

דרישות: הפרמטרים המובאים בחשבון בפיתוח מערכת או מוצר. הם כוללים את כללי הבטיחות, החוקים הפיזיקליים שעלולים להגביל את רעיון הפיתוח, את המשאבים, הנורמות החברתיות והשימוש בקריטריונים לבנייה. ישנן דרישות הכרחיות לפתרון הרצוי, ואי אפשר להתפשר עליהן. לעומת זאת ישנן דרישות רצויות שאותן מדרגים לפי דרגת חשיבות, ועליהן אפשר להתפשר במהלך בחירת הפתרון המתאים.

בעקבות קריאת הכתבה והצפייה בסרטון, חשבו על השאלות הבאות וענו עליהן עצמאית תוך שימוש במושגים שלעיל. אחר כך השוו ושווחחו על תשובתכם בזוגות והיכינו לדיווח במליאה לקראת דיון כיתתי:

5. הסבירו במילים שלכם את המונחים: טכנולוגיה, הנדסה, צרכים ודרישות.

6. מהי הבעיה הטכנולוגית המוצגת בכתבה?
7. לאילו צרכים ובעיות של האדם הפתרון המוצג מתאים?
8. מהן הדרישות ההכרחיות והרצויות שלדעתכם הובאו בחשבון בפיתוח המוצר (הפתרון) המוצג בכתבה?

נקודות לדין כיתתי

9. בכתבה מצוינים פתרונות שניתן לייצר באמצעות מדפסת תלת-ממד לזכוכית. חשבו לאילו צרכים ובעיות של האדם פתרונות אלו מתאימים?
10. חשבו על צרכים ובעיות אנושיות נוספים שניתן לפתור באמצעות מוצרים שיופקו ממדפסת תלת-ממד לזכוכית.
11. חוו דעתכם בשאלה "הטכנולוגיה מתקדמת - האם זה טוב או רע לאנושות"?

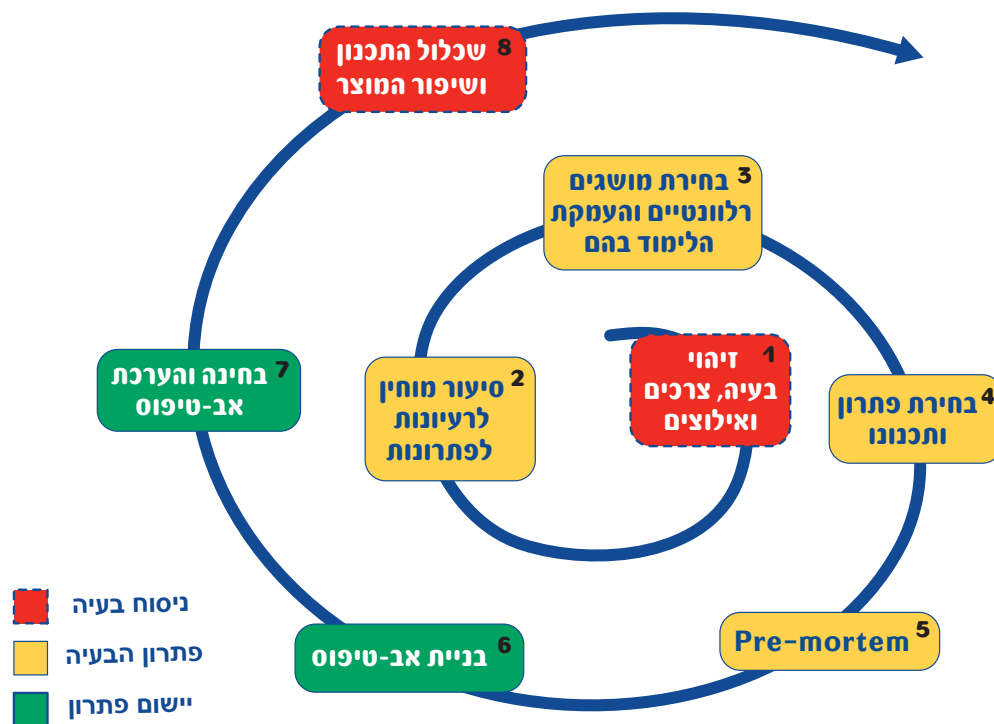


שיעור 3-4 (למורה) – התנסות ראשונית בתהליך התיכון ההנדסי

מטרות

1. הנעה ויצירת עניין לתכנון פתרון לבעיה אנושית פשוטה.
 2. ניסוח שלבי תהליך התיכון- ההנדסי.
 3. הבנה שבתהליך התיכון- ההנדסי נותנים מענה לצרכים אנושיים תוך התייחסות לשיקולים כלכליים ולהיבטים בריאותיים וסביבתיים
 4. העלאת המודעות והבנה שמהנדסים עובדים בצוות
 5. טיפוח מיומנויות: כגון: בנייה וניסוח טיעונים, השוואה, ארגון ומיון מידע, מיזוג מידע, ייצוג מידע באופן חזותי, ועוד.
- שיקולי הדעת:** התנסות צוות בתהליך תיכון הנדסי (בעיה פשוטה שניתן לסיים פתרונה במהלך שיעור אחד), ניסוח שלבי תהליך התיכון ההנדסי והבנת המשמעות של פתרון מיטבי (יעיל). במשימת שינוע מסך טבלט, שלבי התיכון ההנדסי מרומזים (Implicit). רק בשלב המטה-קוגניטיבי של משימה זו התלמידים נחשפים לחלק משלבי תהליך התיכון.
- המשימה פותחה בהשראת מאמרם של Boesdorfer & Greenhalgh (2014). במהלכה בראייה רטרוספקטיבית ירשמו התלמידים את שלבי התהליך שבצעו במשימה, וכך יתקבל תהליך התיכון ההנדסי (ללא שלב ה-pre-mortem).

תהליך תיכון הנדסי ב"מדע וטכנולוגיה לכל"



תרשים 1: תהליך התיכון ההנדסי

מבוסס על:

Bailey, R., & Szabo, Z. (2007). Assessing engineering design process knowledge. International Journal of Engineering Education, 22(3), 508.

מקום: מעבדת בית הספר

ציוד: מחשבים מחוברי אינטרנט, כדורי צמר גפן, קצף, טבליות, אריזת בוטנים, קלקר, מגבות נייר, עיתון, קרטון, עטיפת בועות, שקית בד, משקפי מגן, זכוכית נושאת FROST או מלבנים / ריבועים של זכוכית (לבקש מזגג חתיכות זכוכית בטיחות 3+3 בגודל 10X10

בטיחות: רצוי שהתלמידים יורחקו מטווח המקום שבו הם בוחנים את פתרונם למשימה (האריזה). אם אין אפשרות להרחיקם פיזית בעת הבדיקה, ראוי שהתלמידים ירכיבו משקפי מגן בעת הערכת איכות המוצר בפילתו מגובה של 2 מטרים. אם לא השתמשותם בזכוכית בטיחותית מזגג אז כדאי לשקול הכנסת כל מוצר בנפרד לשקית בד קשורה (למשל, שקית קנייה רב-פעמית) למניעת היתכנות פיזור שברי הזכוכית. הוספת שקית בד העשויה להיות חלק מפתרון הבעיה, גם מספקת ממד זהה לכל מוצר, ולכן מאפשרת השוואה בין הפתרונות, וגם מאפשרת שמירה מוקפדת מאוד על בטיחות.

רשימת חומרים נדרשים

הערכת מחיר	החומרים הנדרשים
100-200 ש"ח לגליל ברוחב 1 מטר, אורך 75 מטר	גליל ניילון בועות (ניילון פצפצים לאריזה)
60-140 ש"ח לגליל ברוחב 1 מטר, אורך 50 מטר	קרטון גלי
8-40 ש"ח (שקיות צלופן עם פס דבק או שקיות ואקום)	שקיות ניילון
4-10 ש"ח ליחידה	נייר דבק (מסקינג-טייפ, סלוטייפ ואיזולירבנד)
8 ש"ח ליחידה	צמר גפן
חומרים נוספים אפשריים	
25-60 ש"ח לגליל ברוחב 50 ס"מ	ניילון סטרץ לאריזה (ניילון נצמד)
3.5-6 ש"ח לקופסה	קרטונים לאריזה 45 X 30 X 25
4.5-7 ש"ח לקופסה	קרטונים לאריזה 60 X 40 X 40
50-100 ש"ח ל-500 יחידות נייר משי לבן, חצי גליון	נייר אריזה
200-400 ש"ח לחצי קוב	בוטני קלקר
40-80 ש"ח לשק קטן	בוטני קלקר
25-40 ש"ח	אקדח אריזות
250-400 ש"ח	מלחם שקיות



"יש לי סמארט פון אי אפני כשבועיים-שלושה, ועכשיו הוא נפל אי על הרצפה
על הפנים מקוזה של שולחן מחשב. זה בהחלט לא היה צפוי ולא הייתי מוכן
אהוציא כסף נוסף. חיפשתי באינטרנט אג ההצעה הזוהר ביוגר אהמלפ
מסכי סמארט. הגשתי למעבדה, והם אמרו שאיזהם אקראי מלאות של מסכי
סמארט, וינסו אצרי אג קבאל המלאות"



Like



Comment



Share

מסך טבלט שבור

אתה חלק מצוות של מהנדסים במפעל ליצירת מסכי טבלט זכוכית, שהוכנו במדפסת תלת-ממד או בשיטות ייצור שגרתיות. החברה שאתה עובד בה מתגאה בשליחת המוצרים שייצרה למעבדה לתיקון טבלטים ובשימוש באריזה הכוללת חומרים ידידותיים לסביבה.

האתגר: אתה וצוותך (3-5 משתתפים) צריכים לחקור ולפתח פתרון לשינוע מסכי זכוכית למעבדה לתיקון טבלטים בדרך אפקטיבית ולהשתמש בחומרים ידידותיים לסביבה.

המורה יספק לך ולצוותך מסך זכוכית אחד בלבד. המשאבים הזמינים לך עבור תכנון כוללים מחשבים מחוברים-אינטרנט, כדורי צמר גפן, קצף, טבליות, אריזת בוטנים, קלקר, מגבות נייר, עיתון, קרטון ועטיפת בועות.

אילוצים: אתם חייבים לתכנן פתרון שעולה פחות מ-3 ש"ח ליחידה לחומרי אריזה (לא כולל עלות המשלוח). את עלויות החומרים תוכלו לקבל מהמורה על פי בקשתכם. תוצר תכנונכם צריך לשמור על שלמות מסך ה"טבלט" מפילה מגובה של 2 מטרים.

צוותך מתבקש גם לספק דו"ח של שני עמודים שיכלול:

1. תיאור תהליך הפתרון שבחרתם (חומרים, עיצוב המוצר ושרטוט).
2. הסבר כיצד המוצר (האריזה) הוא ידידותי לסביבה בייצור, בשימוש ובסילוק.
3. בנוסף, הדו"ח צריך לכלול עלות משוערת ליחידת אריזת חומרים.

זמן: שעה (חצי שעה למחקר ותכנון וחצי שעה לבנייה והערכה).

לסיכום, צוותך יוערך על סקיצות התכנון והעיצוב, דו"ח מחקר ועמידת המוצר בדרישות. הערכה נוספת תינתן לעמידה במגבלות התקציב, שמירה על בטיחות, אי גרימת נזק בנפילת המוצר ועמידה בלוח זמנים.

שלב 1: הגדירו את הבעיה (כולל צרכים ואילוצים) ורשמו את כל רעיונותיכם בכל הנוגע להשלמת האתגר בהצלחה. ציינו גם את מחשבותיכם לגבי חומרים ורישומים של פתרונות. מהי תכניתכם?

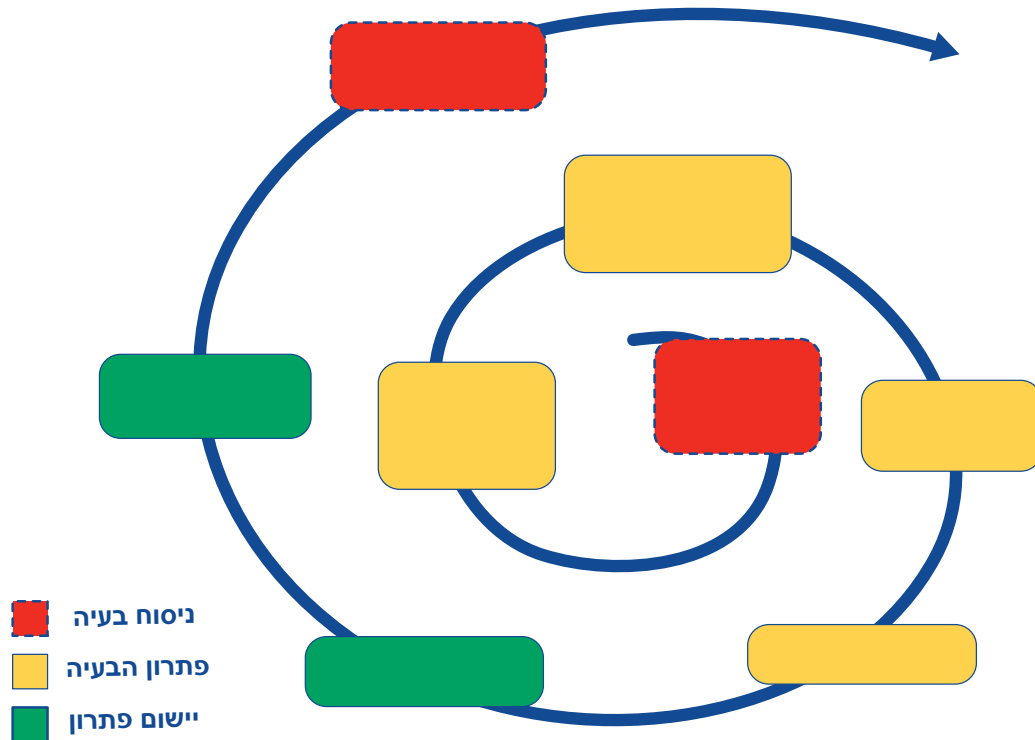
רשמו על אילו גורמים עליכם להקפיד ולשלוט וכיצד תבצעו זאת בעת שינוע מסך ה"טבלט" (הזכוכית)?

שלב 2: נתחו את הבעיה/האתגר במשימה. רשמו שאלות שאתם רוצים ללמוד ולחקור ולדעת עליהם כמו "איך לשלוט ביעילות בגורמים ספציפיים כדי להעריך את הצלחת הפתרון המוצע לבעיה?", "אילו סוגי חומרים הם הטובים ביותר לשימוש?", "מהם תכונותיהם?", "האם וכיצד חומרים אלו ידידותיים לסביבה בייצור, בשימוש ובסילוק?".

- רשמו מה למדתם (תארו את למידתיכם מחקירתכם)?
 - מהו הבסיס המדעי הנדרש לפתרון הבעיה? ציינו את המושגים, העקרונות המדעיים הקשורים להצעתכם, הסבירו אותם במילים שלכם וכתבו כיצד הם רלוונטיים לפתרון הבעיה.
 - מהן המלצותיכן לתכנון המוצר בעקבות הלמידה?
 - בעקבות למידתכם חזרו לשלב 1 ובצעו בצבע שונה שינויים ו/או תוספות לרעיונות המקוריים שלכם.
- שלב 3:** הפכו את הרישומים, הציורים, החומרים והציוד לרשימה שתצטרכו לבניית מוצר האריזה לפתרון הבעיה. תוכלו לבקש מהמורה את עלויות החומרים שבחרתם.
- שלב 4:** בנו את המוצר שתוכנן על ידכם (דגם אב-טיפוס) ובדקו את יעילותו. רשמו את הנתונים הגולמיים מבדיקתכם.
- האם הפתרון שבחרתם (חומרים, עיצוב המוצר, עלותו) הוא המיטבי לדרישות, לצרכים ולאילוצים שהוגדרו?
 - האם המוצר עשוי מחומרים הנחשבים לידידותיים לסביבה בייצורם, בשימושם ובסילוקם?
 - כתבו הצעה אחת לשיפור עיצוב המוצר שלכם. לאחר מכן חזרו לשלב ג' ובצעו שינויים או תוספות לעיצוב שלכם בצבע שונה.
- שלב 5:** בהתבסס על הבדיקות הראשוניות שלכם, בחנו מחדש ושנו את התכנון והעיצוב של פתרוןכם. שרטטו את הגרסה הסופית של תכנון העיצוב שלכם.
- שלב 6:** השוו בין המוצר שלכם בשלב 5 לבין העיצוב המקורי בשלב 1. (איך, אם בכלל, היה שיפור בתכנון ובעיצוב שלכם? מה אתם לומדים על שלבי התהליך שבו התנסיתם?)

שלב 7: סדרו את השלבים הבאים בסדר הנכון לקבלת תהליך התיכון ההנדסי ומלאו את תרשים בעמוד הבא לפי הנתונים האלה: זיהוי בעיה (צרכים ואילוצים), בניית אב-טיפוס, סיעור מוחין לרעיונות לפתרון, בחירת פתרון ותכנון אב-טיפוס, לימוד מושגים והעמקת חקירתם, שכלול התכנון ושיפור המוצר, בחינת אב-טיפוס והערכתו.

תהליך תיכון הנדסי ב"מדע וטכנולוגיה לכל"



תרשים מ2.0: תהליך התיכון ההנדסי (להשלמת שלביו)

שלב 8: ניכר שמהנדסים עובדים בצוות כדי לתת מענה לצרכים אנושיים המתייחסים גם לשיקולים כלכליים ולהיבטים בריאותיים וסביבתיים. העריכו את עבודתכם באמצעות המחווה ודונו בממצאיו. מה אתם לומדים על עבודת הצוות שלכם?

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	רוב 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 מפורטות ומסביר את האבטיפוס כפתרון מיטבי ואת הבסיס המדעי לו	הצוות מתכנן לפחות שתי סקיצות כלליות ומסביר את האבטיפוס כפתרון מיטבי ואת הבסיס המדעי לו	הצוות מתכנן סקיצה אחת אך היא אינה מפורטת או שהצוות אינו מסביר את האבטיפוס כפתרון מיטבי ואת הבסיס המדעי לו	הצוות אינו מתכנן סקיצה או שאינו מסביר את האבטיפוס כפתרון מיטבי ואת הבסיס המדעי לו
טיוב התהליך	הצוות מטייב את האבטיפוס על בסיס איסוף נתונים, בדיקות של רעיונות יצירתיים ומשפר באופן ניכר את תכנונו וביצועו	הצוות מטייב את האבטיפוס על בסיס איסוף נתונים ובדיקות ומשפר את תכנונו וביצועו	הצוות מחדד מה צריך להיות באבטיפוס אך לא עורך איסוף נתונים ובדיקות לשיפור תכנונו וביצועו	הצוות אינו משנה כראוי את האבטיפוס
הצגת המוצר הסופי	הצוות מציג מוצר סופי ויצירתי שהוא מוצלח מהמקורי (אב-טיפוס) ומסביר בבהירות איך טיוב אבטיפוס על בסיס הידע המדעי והנתונים שנאספו	הצוות מציג מוצר סופי שהוא מוצלח מהמקורי ומסביר איך טיוב האבטיפוס על בסיס הנתונים שנאספו	הצוות מציג מוצר סופי שהוא מוצלח מהמקורי ומתאר איך האבטיפוס שונה	הצוות מציג מוצר סופי



שיעור 5 (למורה) פעילות להבחנה בין תהליך החקר לתהליך התיכון ההנדסי

(הערה: ניתן לבצע פעילות זו גם בסוף היחידה בלי לפגום ברצף ההוראה)

מטרות

1. להשוות בין פרקטיקות המקובלות במדע ובהנדסה.
2. להשוות בין תהליך החקר לתהליך התיכון ההנדסי.
3. לחדד את ההבדל בין שאילת החקר (מדע) לבין הגדרת הבעיה (תיכון הנדסי).
4. להתמודד עם תפיסות התלמידים את דמות המדענים והמהנדסים.

בשיעור זה נעסוק במרכז מחקר גדול לחקר חלקיקים CERN, שבו עובדים יחדיו מדענים ומהנדסים. במהלך השיעור נתמודד עם הנכתב בבלוג איתי, שמובא כאן בלשונו ונועד לעורר דיון בכיתה לחידוד הדמיון והשוני בין עבודת המדענים והמהנדסים. בשלב זה כבר התנסו התלמידים בתהליך התיכון ההנדסי, והם מכירים מעברם את תהליך החקר. על כן צפוי דיון עשיר בהשוואה לשיעור המבוא שבירר באופן כללי את תפיסותיהם בתחום. כמו כן רב-שיח מעניין חזוי בעקבות שאלה 5 באשר לפיתוח תרופת הקופקסון.

(2012) National Academies Press (NAP) השוו בין פעולות מדענים לאלו של מהנדסים באופן הבא:

1. שאילת שאלות (למדע) והגדרת בעיות (הנדסה);
2. פיתוח ושימוש במודלים;
3. תכנון וביצוע חקירות;
4. ניתוח ופירוש נתונים;
5. שימוש במתמטיקה וחשיבה חישובית;
6. בניית הסברים (למדע) ועיצוב פתרונות (הנדסה);
7. טיעון טיעונים מראיות;
8. הערכה ותקשורת מידע.

מכאן שההשוואה בין מדענים למהנדסים היא מורכבת, ורב המשותף ביניהם. כאמור, ההבחנה ביניהם היא בזה שבעוד שהמדענים שואלים שאלות חקר, בונים ומבססים הסברים על תופעות טבעיות בסביבתנו במטרה לפתח ידע חדש, המהנדסים מגדירים בעיה (צרכים ודרישות אנושיות) ומתכננים לה פתרון. תוכלו להרחיב את ידיעותיכם, להעשיר את הדיון, לחדד את ההבדל בין שאילת החקר (מדע) לבין הגדרת הבעיה (תיכון הנדסי) ואופן ניסוחם באמצעות סרטונים כדוגמת: <https://www.youtube.com/watch?v=LJJoKxDsyoQ>.

מומלץ להשוות בין תהליך החקר לתהליך התיכון ההנדסי במהלך הדיון, להבליט דמיון ושוני ביניהם, ולהדגיש בעבודת המהנדסים גם את תהליכי החשיבה, כולל טיעון טיעונים. דוגמה לכך ניתן למצוא במאמרו של Bybee (2011).



CERN (מבוטא: סֶרְן) הוא מרכז מחקר גדול לחקר חלקיקים, הממוקם על גבול שווייץ-צרפת, ממערב לעיר ז'נבה. CERN פועל כמרכז בינלאומי שמועסקים בו מדענים מרחבי העולם, העוסקים בהפעלת הניסויים הקשורים למאצי החלקיקים הממוקמים בו. בין המדענים יש פיזיקאים נסיינים, פיזיקאים העוסקים בצדדים התאורטיים של פיזיקת החלקיקים, וגם מהנדסים, טכנאים ואנשי מנהלה. לזכות מאיץ החלקיקים CERN נזקפות מספר תגליות בתחום פיזיקת החלקיקים. מלבד התגליות המדעיות, יש ל-CERN השפעות על פיתוחים טכנולוגיים, כמו למשל המצאת ה-World Wide Web בשנת 1990, שהחישה את התפתחות האינטרנט.

להלן קטע שפורסם בבלוג של קרל פורז (Karl Putz). קראו וענו על השאלות:

אז בואו נחשוב על מישור ב-CERN המרכז הגדול בעולם לחקר חלקיקים וממוקם על גבול שווייץ-צרפת, ממערב לעיר ז'נבה, שמנסה לתקן את אחד המגנטים של מאיץ החלקיקים. הייתי קורא לו מהנדס. אני לא בטוח מה הוא תוארו, ובש"בילי זה לא משנה הרבה. הוא מנסה לגרום למשהו לקרות. מנגד בואו נסתכל על חוקר שעובד במפעל שעושה דובונים. הוא לומד את מכניקת הנוזלים שלהם? איך הם זורמים בתוך הגוף של הדוב. הוא מנסה ללמוד משהו. הייתי קורא לו מדען.

באמצעות שתי דוגמאות אלה הייתי אומר שאתה יכול להיות מדען שימושי מאוד ומהנדס בסיסי מאוד. אז אם בסיסי ויישומי כבר לא מגדיר את המדענים והמהנדסים, איך אנחנו מגדירים אותם? אני מציע את השיטה הבאה. אם אדם שואל, "למה זה קורה?" - הוא מדען. לפיכך אין זה משנה היכן הם עומדים בספקטרום. הם מחפשים כיוון ותשובות לסוגיות יסוד. אם אדם שואל, "איך אני עושה את העבודה הזאת?" - הוא מהנדס וכל מה שהוא מחפש הוא יישום מעשי. לכן החשיבה שלך היא הקובעת אם אתה **מדען או מהנדס**.... Dec 11, 2013.

1. במה עוסק הבלוג של קרל פורז (Karl Putz)? הביעו דעתכם עליו.
2. אילו שאלות שואלים המדענים ואילו המהנדסים?
3. חזרו לתרגיל טענות או תיאורים ופעולות הקשורים למדענים, למהנדסים או לשניהם. הוסיפו בצבע שונה פרטים בטבלה וסכמו במה דומה ובמה שונה לדעתכם עבודת המדענים מהמהנדסים.
4. השוו בין תהליך החקר המדעי לתהליך התיכון ההנדסי. כתבו את מחשבותיכם על השוני והדמיון ביניהם.
5. תרופת הקופקסון, המיוצרת על ידי חברת "טבע", פותחה בידי צוות חוקרים במכון ויצמן ונחשבת לאחת התרופות הטובות ביותר לטיפול במחלת הטרשת הנפוצה. האם החוקרים תפקדו לדעתכם כמדענים או כמהנדסים? נמקו.



שיעור 6-7 (למורה): זיהוי שלבי תהליך התיכון ההנדסי והגדרתם

מטרות

1. זיהוי ואיתור שלבי התיכון ההנדסי
2. סידור שלבי התיכון ההנדסי לפי רצף תהליכי
3. המשגת שלבי תהליך התיכון ההנדסי
4. תרגול שלבי תהליך התיכון בכתבה חדשותית.

הנחיות: לפני הפעילות יש לגזור את קטעי המאמר ולהכניסם למעטפה כך שסדרם ישתנה ולא יהיה ברור.

כל זוג תלמידים נדרש לשייך את קטעי המאמר שברשותם לשלב המתאים במעגל התיכון ההנדסי. זאת על ידי שאילת שאלות המתייחסות לתוכן קטעי המאמר, בחינת רעיונותיהם ומושגים ומילים מרכזיים בהם והתבוננות בתבחינים הנלווים בטבלה לכל שלב בתהליך התיכון ההנדסי. כל זוג תלמידים יציג בפני המליאה (בפוסטר או במצגת) את רצף סידור הקטעים בהתאם לשלבי התיכון ההנדסי ויבטא את שיקולי הדעת שלהם. בכיתה יתבצע דיון על שלבי התהליך ומרכיביו תוך כדי שיומם והמשגת מאפייניהם.



לפניכם סיפורו של דור. קראו אותו ובצעו את המשימה.

דור עבד במדור הטכנולוגיה בעיתון. היה לו יום עמוס ומרובה משימות ונותר לו רק לשלוח לעורך העיתון את כתבתו בנושא בניית גשרים. הוא חיפש במצלמתו את התמונות שצילם ושלף מתיקו את דפי הסיכום שלו. אלא שכל הדפים התפזרו על הרצפה. דור הביט בשעונו וחווירו פניו... עוד חמש דקות העורך יסגור את רשימת הכתבות למחר.

האם תוכלו לסייע לדור לסדר את קטעי הכתבה בסדר הנכון ולתת להם כותרת המתאימה לשלבי התיכון ההנדסי?

- עיינו בקטעי הכתבה וזהו את שלבי תהליך התיכון ההנדסי המתוארים בהם. היעזרו **במילים** המודגשות בקטעים אשר יכולות לסייע לכם בזיהוי שלבי התיכון ההנדסי. כמו כן תוכלו להיעזר בתבחינים המפורטים בטבלה מס' 3 ובמילון המונחים המצורף.
- לאחר שזיהיתם את הקטעים השונים של המאמר, סדרו את שלבי תהליך התיכון ההנדסי בטבלה בסדר הנכון.

טבלה 3: התאמה בין קטעי הכתבה לסדר תהליך התיכון ההנדסי

שלב מס'	שלבי תהליך התיכון ההנדסי	תבחינים	מספר הקטע המתאים בכתבה
1	זיהוי הבעיה, צרכים ואילוצים (תהליך של הגדרה ראשונית של תפקוד המוצר שצריך לפתח והגדרת יעדי מפרטי העיצוב: צרכים, דרישות ואילוצים)	הצגת הבעיה שנבחרה לפתרון בדרך בהירה והסיבה להתמקדות בה. זיהוי פלח השוק הרלוונטי לפתרון הבעיה הגדרת הצרכים, הדרישות והאילוצים שיובאו בחשבון בפתרון הבעיה	
2-3	סיעור מוחין לרעיונות, לפתרונות, בחירת מושגים רלוונטיים והעמקת הלימוד בהם רקע מדעי-הנדסי (ליבון מושגים)	מוצג מידע מדעי רלוונטי לפתרון הבעיה יש התייחסות לשיטות טכנולוגיות ולהיבטים חברתיים. ניתוח והערכת הרעיונות לחלופות (מידת ההתאמה לצרכים, לדרישות, לאילוצים, ולהיבטים כלכליים) בחירת הרעיון לפתרון	
4-5	בחירת פתרון ותכנונו (תהליך יצירת מתווה העונה לתפקוד המוצר והעומד במפרטים המוגדרים) הערכת pre-mortem	זיהוי כשלים אפשריים לאי הצלחת האב-טיפוס, שינוי והתאמתו לייעולו	
6	בניית (פרטי עיצוב) אב-טיפוס (תהליך בניית המוצר)	מוצג האב-טיפוס למוצר ושיטת העבודה לעיצובו (הפיזי)	
7-8	בחינת אב טיפוס והצעות לשכלול ושיפור למוצר הסופי (תהליך מיטוב האב-טיפוס למוצר הסופי)	- הערכת המוצר וההלימה בינו לתכנון לדרישות ההכרחיות, הרצויות ולאילוצים לפתרון הבעיה (ביצועים, חוזק, תקציב כלכלי וכו'). - מוצגת הצעה לייעול המוצר בהמשך ו/או להרחבת השימוש בו לפתרון בעיות נוספות	

פתיח

כשנגיע לגשר נדפיס אותו

שני רובוטים יתייצבו בעוד שנתיים על גדת תעלה בלב אמסטרדם, ולאט לאט ייצרו יש מאין את הגשר הראשון בעולם שיודפס בתלת־ממד. כתב מוסף כלכליסט ביקר בסטרט-אפ ההולנדי הקטן שמתכנן את הפרויקט הגרנדיוזי, ושמע ממנהליו איך הם מתכננים לשנות את ענף הבנייה, להרים את תעשיית ההייטק ההולנדית - וגם לייצר יותר עבודה לבני האדם.



הכתבה פורסמה על-ידי דור צח ביום 51.9.11 במגזין כלכליסט

מבוא

לא קל למצוא את המשרדים של MX3D. הם מתחבאים בבניין אפרורי במערב אמסטרדם, רחוק מהמולת התיירים והקופי שופס. אפילו את מדבקת השם על האינטרוקום מישוהו הכין ברישול, בכתב יד. מבפנים המקום נראה כמו בית ספר יסודי שזקוק לשיפוץ: שולחנות עץ, לוח כתיבה ישן, ניירות בכל מקום, מעלית מקרקשת וחדרים שמחולקים באופן שנראה אקראי למדי.

טים חירטנס, אחד ממייסדי החברה וסמנכ"ל הטכנולוגיות שלה, לבוש חולצת הוואי מבהיר: "MX3D מתכננת לעמוד בחזית אחת המהפכות הטכנולוגיות הגדולות של העשור, אולי אפילו של המאה הנוכחית, ואף העריכו שהשיטה של MX3D "עשויה להפוך בעתיד לסטנדרט בתחום הבנייה".



טים חירטנס "רעיון הגשר נולד כאלתור של הרגע האחרון" צילום: שיר קנובלר

אם שום דבר לא ישתבש בדרך, ב־2017 החברה תהיה הראשונה בהיסטוריה שמדפיסה, במדפסת, גשר להולכי רגל, שיוצב מעל אחת מהתעלות באמסטרדם. היינו יכולים להדפיס קיים לאייפון או משהו סטנדרטי כזה, אבל רצינו משהו הרבה יותר גדול. אחרי הכול אנחנו מאמסטרדם, עיר התעלות. "מרגע שנצא לדרך ועד שנסיים את ההדפסה אמורים לחלוף שלושה חודשים בלבד", אומר חירטנס.

1

"היינו קבוצה של מעצבים ומעצבים שייצרה רהיטים, ואת חלקם הדפסנו בתלת־ממד", הוא משחזר. **"לא הייתה בשוק טכנולוגיה שהתאימה לצרכים שלנו:** רובן התמקדו בפרטים קטנים שמודפסים ברמת דיוק גבוהה, בזמן שאנחנו רצינו להדפיס חפצים גדולים במהירות.



לפני שלוש שנים התחלנו לבחון את השיטה שפיתחנו, שמאפשרת להדפיס מבנים גדולים ומורכבים. לפי התכנון, שני רובוטים ענקיים שפיתחה MX3D יתמקמו זה מול זה על שתי גדות התעלה, ויתחילו בהדפסת מסגרת הגשר, שיהיה כולו עשוי פלדה. הם יתקדמו עליה אט אט, ידפיסו את החלקים האחרים וירתכו אותם זה לזה."

הדמיה של תהליך ייצור הגשר בשטח, במקרה הזה בטבע ובשיטה שבה הרובוטים עובדים זה לצד זה. "מרגע שנצא לדרך ועד שנסיים את ההדפסה אמורים לחלוף שלושה חודשים בלבד, אולי אפילו פחות"
צילום: Laarman Joris

בשוק אמנם צצו בשנים האחרונות טכנולוגיות שונות להדפסת מבנים גדולים בתלת־ממד, כולל בניינים, אך זו של MX3D נראית כאחת המבטיחות שבהן. בטכנולוגיות תלת־ממד מסורתיות האובייקט נבנה בתוך המדפסת שכבה על גבי שכבה, לאחר שעוצב במחשב. הרובוטים ההולנדיים, לעומת זאת, נעים במרחב, מה שמאפשר להם להדפיס חפצים במגוון אדיר של גדלים וצורות. **מה שחשוב הוא שהטכנולוגיה מאפשרת לנו גמישות**", אומר חירטנס. "יש שיטות הדפסת תלת־ממד שבהן אם משהו משתבש צריך לזרוק הכל לפח. אצלנו, אם נגלה למשל שהגשר תוכנן כך שהוא מעט נמוך מדי או קצר מדי, נוכל לבצע התאמות ושינויים בזמן ההדפסה".

ההתמקדות בהדפסה מהירה במקום בפרטים קטנים ומדויקים מאפשרת לחברה להדפיס חתיכות מתכת באורך עשרות סנטימטרים בתוך דקות, בעיצובים שונים. "ב־20 השנים האחרונות לא השקיעו בעיצוב ייחודי למבנים רבים, מסיבות כלכליות", אומר חירטנס. "אחרי הכל, כדי לעשות דברים שחורגים מהשגרה נדרשים הרבה משאבים. אבל כל עוד אתה מגדיר לרובוט תבנית קבועה לא אכפת לו מה יהיה העיצוב, מבחינתו אין הבדל בין להדפיס פלדה בצורת כוכבים או פלדה בצורת צינורות. זה מאפשר לנו לחשוב מחדש על עיצוב מגוון למבנים, ולהשתמש בהרבה פחות חומר ואנרגיה.

כדי שאנשים לא יחששו ללכת על גשר מודפס לא רק שנעמוד בכל כללי הבטיחות והרגולציה ונבצע את כל החישובים והבדיקות הסטנדרטיות, גם ננקוט משנה זהירות בגשר הראשון, הוא לא יהיה היעיל ביותר האפשרי. בטכנולוגיה שפיתחנו אפשר להשתמש בחומר רק במקומות הכרחיים, אבל נשתמש בפלדה רבה יותר מהדרוש כדי להיות בטוחים לחלוטין".

"הטכנולוגיה שלנו עדיין חדשה, ואנחנו עוד לא בטוחים לגמרי מה היא יודעת לעשות. הקצינו לעצמנו שנה כדי לבדוק את יכולותיה ולהחליט איך הגשר ייראה, באיזה גודל הוא יהיה והיכן בסופו של דבר הוא ימוקם. אנחנו מקווים שנוכל לבצע את ההדפסה במיקום שבו יוצב בסופו של דבר הגשר, אבל אם זה יהיה אזור עמוס מדי ניאלץ להדפיס אותו במקום אחד ולהעביר אותו למיקום המיועד. כשנשלים את תהליכי החשיבה והבדיקה האלה נוכל לצאת לדרך, כשהדפסת הגשר המוגמר אמורה להתחיל בעוד כשנה וחצי".



צילום: שיר קנובלר, MX3D for Laarman Joris and Groot de Adriaan



אנחנו חושבים על יצירת מבנים גדולים נוספים, אבל לא רק מבנים. אולי נדפיס ריהוט רחוב, כמו ספסלים או עמודי תאורה. כל מה שדורש הדפסת מתכת ולא דורש יותר מדי דיוק בפרטים יכול להתאים לנו".

כך זה אמור להיראות בלב אמסטרדם. "נעמוד בכל כללי הבטיחות וגם נשתמש בפלדה רבה יותר מהדרוש כדי להיות בטוחים לחלוטין"
צילום: Laarman Joris

סיכום

"אנחנו גילינו שככל שהטכנולוגיה מתקדמת כך אנחנו צריכים יותר אנשים. ייתכן שככל שהרובוטיקה תתפתח בני אדם יעבדו בתפקידים שונים מאלה שהם עובדים בהם היום, אבל כך או כך יהיו תמיד מטלות שהם יוכלו לעשות ורובוטים לא. "אני מבין שהרבה אנשים חוששים שהרובוטים ישתלטו על האנושות, וגם אני לא באמת מודאג מתרחיש כזה – זה משהו שצריך להתמודד איתו ולחשוב עליו. העניין הוא שאי אפשר באמת לעצור את הטכנולוגיה: הדבר היחיד שאנחנו יכולים לעשות הוא לאמץ אותה ולעשות איתה דברים טובים. לא חסרות עבודות שחורות ומסוכנות שאתה פשוט לא רוצה שאנשים יעשו. אם רובוטים יוכלו להחליף בני אדם בעבודות האלה והם יתפנו למטלות בטוחות ויצירתיות יותר.

חלק ב: התנסות בתהליך התיכון - שיעור 8-17

מטרות

1. התנסות בפתרון בעיה מורכבת אגב שימוש מפורש בשלבי תהליך התיכון ההנדסי ובמאפייניהם.
2. פתרון בעיה שלב אחר שלב (step by step) ושימוש בכל שלבי התיכון ההנדסי המפורשים (Explicit).
3. התמקדות בניתוח כשלים אפשריים (Pre-mortem) באמצעות מארגן גרפי (שלד הדג)
4. טיפוח מיומנויות: בנייה וניסוח טיעונים, השוואה, ארגון ומיון מידע, מיזוג מידע, ייצוג מידע באופן חזותי.

הנחיות

תלמידים מתבקשים לבחור בעיה אחת מבין ארבע המוצעות (ראו דף משימה לתלמיד) ולפתור אותה שלב אחר שלב (step by step) תוך כדי שימוש מפורש (Explicit) בכל שלבי התיכון ההנדסי. מומלץ להתארגן להצגת תערוכה של תוצרי הפרויקט.

דוגמה לפתרונות אפשריים לתרחיש א' - השגת מים לשתייה במצב הישרדותי (המטיילת). מים לשתייה הם חשובים ביותר כאשר אנו מתכננים טיול. בטיול המתואר בכתבה המטיילים דריכים לדאוג לזמינות מים. גם לו היו מים זמינים בסביבתם, ייתכן ואיכותם ירודה, דבר המחייב טיפול בהם לפני השתייה. מים עלולים להכיל חומרים מזהמים שונים כגון: מיקרו-אורגניזמים: חד-תאיים, חיידקים, נגיפים, כימיקלים ולכלוך. בכל מקרה שבו לא ניתן לדעת בוודאות מה איכות המים, חשוב מאוד לסנן או לטהר אותם לפני השתייה. לפניכם כמה שיטות להשגת מים במצבי הישרדות (בלי לפגום ביצירתיות של הצעות נוספות).

א. טיהור מים

בשגרה קיימות שתי שיטות הטיהור האלה:

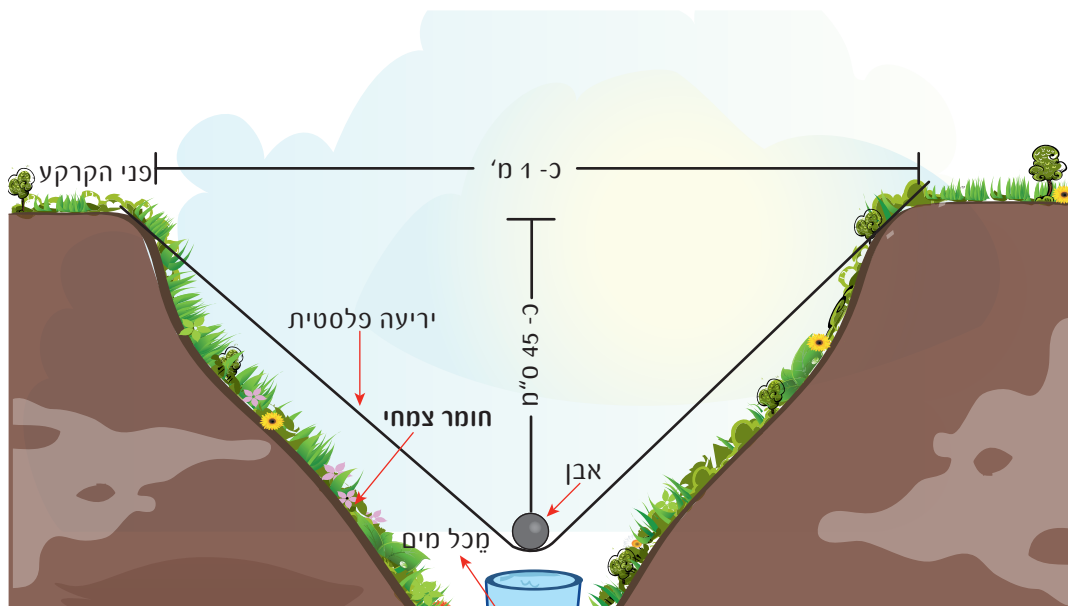
1. השיטה הפופולרית ביותר היא טיהור כימי. שיטה זו נוחה לביצוע ומאפשרת טיהור של כמות מים גדולה בעלות נמוכה. חסרונה שהיא משאירה טעם לוואי במים ואינה מסלקת לכלוך. (חלק ממוצרי הטיהור המתקדמים מכילים גם מסנן לסילוק הכלוך וגם ספיגה של טעם הלוואי לאחר הטיהור). לטיהור כימי משתמשים בעיקר ביד או כלור. כל המוצרים אשר מבצעים טיהור כימי ב"למטייל" מבוססים על יוד כיוון שיעילותו גבוהה יותר מאשר הכלור וטווח טיהורו גדול יותר.

2. שיטה נוספת לטיהור מים היא ע"י סינון מכני של המים. יעילות הסינון תלויה בקוטר הנקבוביות של הפילטר. יתרון השיטה הוא בסינון מהיר ומידי של מים לשתייה. חסרונותיה הם במחירה הגבוה ובנפח גדול יחסית של מכשיר הסינון ויעילות מוגבלת מול מיקרו-אורגניזמים.

מכאן שהתלמידים יכולים לתכנן וליצור מסננים שונים מהציד הקיים אצל מטייל ו/או לבחון אם יש לה חומר פעיל.

ב. הכנת מזקקת שמש - איסוף מים שהתקבלו מהתאיידות המים שבאדמה ו/או בצמחים.

לשם כך הניחו כלי לאיסוף מים באמצע בור שנחפר באדמה. כסו את כלי האיסוף המים בצורה רופפת בניילון ואטמו את שולי הבור באמצעות סרט דביק או אבנים. הניחו אבן קטנה במרכז הניילון הנצמד מעל הכלי לאיסוף מים. השאירו את המזקקה כך למשך כשעה או יותר.



תרשים מס. 3: תיאור מבנה מזקקת שמש

אדי מים בצד התחתון של היריעה הפלסטית מתעבים לאחר שהאוויר בתוך המזקקה רווי. הטיפות הנוצרות מתגלגלות מטה לאורך צדה הזו של היריעה ונוטפות אל מכל המים. על היריעה להיות מחומר פלסטי (שלא יספוג את המים). אדמה לחה נותנת כליטר וחצי מים ביום, אך באדמה יבשה מאוד יש צורך בצמחים (רצוי סוקולנטיים) כדי להגיע לתפוקה של ליטר עד ליטר וחצי מים ביום. מים מעופשים אפשר לזקק על-ידי שפיכתם על האדמה שמתחת ליריעה.

ג. **חימום שלגים** (אם יש) על ידי יצירת אש על ידי מיקוד שמש ושימוש בזכוכית ועוד.

שלב 1 (למורה): זיהוי הבעיה, הצורך והדרישות

תלמידים נוטים לזהות את הבעיה, לחשוב מיד על פתרונותיה ולהתעלם משלב הגדרתה (על צרכיה, דרישותיה ואילווציה). הבנת הבעיה סוללת את הדרך לפתרונה. על כן ראוי שהתלמידים יסבירו במילים שלהם את הפעילות שהם עומדים לעסוק בה. בשלב זה ראוי להקפיד על הגדרה ותיחום הבעיה ההנדסית שעבודה נדרש הפתרון, כולל דרישותיה (קריטריונים להצלחה), אילווציה והגבלותיה.

לצורך מיקוד התלמידים במשימה מומלץ להתייחס בכיתה לנקודות הבאות:

1. בקשו מהתלמידים לתאר את הפעילות ולהסביר אותה במילים שלהם.
2. שאלו את התלמידים מי עשוי ליהנות מתוצר עבודתם.
3. בדקו עם התלמידים את הכללים וההגבלות בעבודתם.

שלב 2 (למורה): סיעור מוחין לרעיונות לפתרונות

תכנון פתרון הנדסי לבעיה מתחיל ביצירת מספר פתרונות אפשריים, הערכתם ובחירת פתרון הטוב ביותר העונה לצרכים, לדרישות ואילווצים. לאחר שהתלמידים מבינים את האתגר העומד לפניהם, ניתן להתחיל בסיעור מוחין. עודדו את התלמידים להעלות רעיונות ולחשוב על פתרונות רבים ככל האפשר. סיעור המוחין מאפשר לתלמידים לחשוב באופן יצירתי ללא חשש מביקורת ועשוי לסייע להם לשתף פעולה ביניהם ולהעשיר זה את זה ברעיונות. המורה יכול לעודד סיעור מוחין של כל חברי קבוצה על ידי ניהול קבוצות קטנות. סיעור מוחין עשוי להיות פורה אם התלמידים יקפידו על העקרונות האלה:

1. רישום כל הרעיונות, ולא משנה כמה הם נראים פרוצים. ככל שהתלמידים יביעו ויבטאו יותר רעיונות, כך יהיה טוב יותר.
 2. ספונטניות ויצירתיות וזכירה שאין תשובות לא נכונות, ויש פתרונות רבים אפשריים.
 3. עבודת צוות, כיבוד כל רעיון והשתתפות בדיון של כל חברי הקבוצה.
- לפעמים תלמידים אינם יודעים כיצד להתחיל או רוצים להתקדם עם הרעיון הראשון שחשבו עליו ולדלג על סיעור המוחין של כל חברי הקבוצה.
- הנה כמה אסטרטגיות שעשויות לתרום לסיעור המוחין:
- בקשו מהתלמידים לבחון את החומרים שבהם השתמשו, מפני שלפעמים חשיבה על החומרים עשויה להוביל לרעיון.
 - הציעו להם לרשום תרשימים (סקיצות גסות) ולחלוק את רעיונותיהם זה אחרי זה.
 - ספקו גישה לאינטרנט, ספרים, תמונות. תלמידים יכולים לקבל השראה מהם או לראות מה כבר קיים בשוק.

שלב 3 (למורה): בחירת מושגים רלוונטיים והעמקת הלימוד בהם

תלמידים נוטים לחשוב מיד על פתרונות ומתעלמים מהביסוס המדעי-הנדסי בתהליך העיצוב. למהנדסים יש ידע מדעי וטכנולוגי לפתרון בעיות פרקטיות. על כן חשוב שתלמידים יחקרו, ילמדו ויבססו באופן מפורש את פתרונם לבעיה במושגים, רעיונות, חוקים מדעיים, טכנולוגיים, חברתיים וסביבתיים. כלי החשיבה בתרשים מס. 4 עשוי לסייע לתלמידים בבניית טיעוניהם באשר לפתרון הבעיה.

ביכולתכם לעודד סיעור מוחין ורישום של מושגים ועקרונות מדעיים, טכנולוגיים, חברתיים וסביבתיים הקשורים לפתרון הבעיה והמוצר הנדרש. מומלץ לנהל קבוצות קטנות שבהן יבצעו התלמידים סיעור מוחין שתוצאתו

”שמש מושגים ומשמעותם” (ראו כלי החשיבה בתרשים 4). סיעור מוחין עשוי להיות פורה אם התלמידים יקפידו על רישום כל המושגים והעקרונות המדעיים, הטכנולוגיים, החברתיים והסביבתיים הקשורים לבעיה ולפתרונה. בדיון במליאת הכיתה ייעשה בירור מושגים ומיון מרכזיותם, חשיבותם ומיקודם בכל הנוגע למושגי לְבָה (גרעין). שהתלמידים ימשיכו לחקור כיצד הם קשורים לבעיה וכיצד הם עשויים לסייע בפתרונה.

שלב 4 (למורה): בחירת פתרון ותכנונו

בשלב אופטימיזציה של הרעיון לפתרון הבעיה מתקיימים תהליכי הערכה שיטתיים, שיפור והחלפת מאפיינים חשובים פחות על חשבון מאפיינים חשובים יותר בתכנון המוצר (אב-טיפוס) המוצע.

הנחיות: לאחר שהתלמידים כתבו כל רעיון שהיה להם, חקרו ולמדו את הבסיס המדעי, הטכנולוגי, החברתי והסביבתי הקשורים לבעיה ולפתרונה. עליהם להיות כעת מציאותיים ולבחור את הפתרון הטוב ביותר, ולאחר מכן לתכנן את בנייתו.

הנכם יכולים לסייע לתלמידים לצמצם את רעיונותיהם לרעיון אחד או שניים ולהציע את פתרונם לבעיה בעקבות למידתם וחקירתם. אתם יכולים לעודד את התלמידים לחשוב על החומרים שישמשו בהם בהצעתם לפתרון ועל מסגרת הזמן העומדת לרשותם. אחר כך הנחו את התלמידים לשרטט תרשים (סקיצה) של רעיונם לפתרון הבעיה לפני בניית המוצר (אב-טיפוס).

תרשימים (סקיצות) אלו עשויים לסייע להם: למקד את רעיונותיהם, לזמן להם עיבוד וחישוב פרופורציות ומדידות, לאפשר להם להחליט על שימוש בחומרים ולוודא שהרעיונות שלהם עשויים להפוך לתכנית מציאותית.

שלב 5 (למורה): ניתוח כשלים אפשריים (Pre-mortem)

לאחר שהתלמידים כתבו את רעיונם לפתרון הבעיה ושרטטו תרשים/סקיצה (ארגון מידע חזותי), ננחה אותם לבצע ניתוח כשלים אפשריים לפני בניית האב-טיפוס. לשם כך ניעזר בתרשים 5 - עצם הדג.

שלב 6 (למורה): בניית אב-טיפוס

בשלב זה הסבירו התלמידים במילים שלהם את הפתרון לבעיה וביססו אותו בידע מדעי-טכנולוגי. על כן הם ערוכים לבנות את האב-טיפוס של מוצרם ולבדוק אותו.

אבטיפוס, או בשמו הלועזי Prototype, הוא מודל עבודה בהיקף מלא, המשמש לבדיקת רעיון עיצוב המוצר על ידי ביצוע תצפיות ובחינת ההתאמות הנדרשות ממנו בפועל.

לפיכך ספקו לתלמידים או דאגו שהם יביאו חומרים וכלים לבניית המוצר וצפו בהם ובעבודת הצוות שלהם. חשוב להדגיש לתלמידים שבניית האב-טיפוס אינה השלב האחרון בעבודתם, וכי עליהם להעריכו, ובעתיד לשכלל את תכנונו ולשפר את המוצר לפתרון המיטבי ביותר, כמקובל בתהליך התיכון ההנדסי.

שלב 7 (למורה): בחינה והערכה של אב-טיפוס

כאמור, שלב התיכון ההנדסי לא נעצר בבניית האב-טיפוס. הדרך היחידה שבה התלמידים יכולים לדעת אם המוצר שלהם עובד ועונה על תנאי הבעיה (צרכיה, דרישותיה ואילוציה) - היא באמצעות בדיקה. אם האב-טיפוס אינו עובד או הוא זקוק לשיפור ולעיצוב מחדש - הרי שיש לשכלל את תכנונו ולשפרו. עלינו המורים להבטיח שהתלמידים יבצעו את הפעולות הבאות:

1. בניית האב-טיפוס (המוצר).
 2. בדיקת האב-טיפוס (המוצר).
 3. הערכת האב-טיפוס (המוצר) וחשיבה על מה עובד ומה יכול לעבוד בו טוב יותר.
 4. לשכלל את התכנון ולבצע שיפורים נדרשים במוצר (עיצובו מחדש).
- ניתן לחזור על שלבים אלה עד שהתלמידים יהיו מרוצים מתוצאותיהם.

שלב 8 (למורה): שכלול התכנון ושיפור המוצר

הנחיות: שלב הפקת לקחים מבחינת דגם האב-טיפוס והערכתו מאפשר לתלמידים לשפר ולשכלל את מוצרם ולתכנן מחדש דברים שאינם עובדים בו לשביעות רצונם. עלינו המורים להבטיח שהתלמידים יזהו את נקודות החוזק ונקודות התורפה של מוצרם, ויתכננו ויעצבו שיפורים נדרשים בו.

(*) שלב 9 (למורה): בחירת המוצר, בנייתו והערכתו (רשות)

הנחיות: תהליך התיכון ההנדסי אינו נעצר בהערכת האב-טיפוס אלא בבניית המוצר המשוכלל והמשופר. למעשה, תכנון ועיצוב המוצר הוא לולאתי (איטרטיבי) תוך כדי ניסיון למיטוב (אופטימיזציה) של חומרים וטכנולוגיות לצרכים אנושיים והתייחסות להגדרת הדרישות (קריטריונים) והאילוצים.

על כן ניתן לחזור על שלבים 2-8 המצוינים לעיל עד שהתלמידים יהיו מרוצים מתוצאות ביצוע השיפורים, משכלול התכנון ומהעיצוב מחדש של מוצרם.

אלא ששלב זה הוא מעבר לגבולות יחידת הלימוד ודרישות הפוסטר והיריד, ועל כן הוא נחשב כרשות אם כי מומלץ לבצעו אם הזמן מאפשר זאת.

שלב 10 (למורה): שיתוף הכיתה בפתרונות לבעיה והצגתם

כאשר התלמידים מסיימים את בניית מוצריהם, ראוי לאפשר להם לשתף את עמיתיהם בביצועיהם. שלב זה בתהליך התיכון ההנדסי מדגיש מיומנויות תקשורת ושיתוף פעולה ועשוי להוות דרך למתן משוב על הפעילות ותוצריה. לסיום הפעילות מומלץ להתיר לכל קבוצה להפנות שאלות לקבוצות עמיתיהם ולחלוק עמם את חוויותיהם.

הנחיות: ארגן את הכיתה כך שתהיה לתלמידים הזדמנות לספר לעמיתיהם על ביצועיהם. סקירה זו עשויה לתת להם תחושה של יכולת, תושייה ויצירתיות. בצע את השלבים הבאים כדי לסייע לתלמידך לדווח על ביצועיהם והישגיהם:

1. אסוף את תלמידך במליאה ובקש מהם להציג את עבודתם.
2. הזכר את מטרת הפעילות ועודד את תלמידך לבדוק באיזו מידה היא הושגה בסקירת הקבוצות את עבודתם. הדגש כי ניתן ללמוד ולהפיק תועלת מביצועי הקבוצה המציגה.
3. עודד את התלמידים לדווח על תכנונם ובקש מהם להצביע על המאפיינים החביבים עליהם.

4. המלץ לתלמידך לשוחח על שימוש מפורש בשלבי תהליך התיכון ההנדסי בתכנונם ובפועלם. השתדל לתעל באופן חיובי ובונה את הנטיות התחרותיות של תלמידך.

(*) שלבים 9-10 לא מופיעים באיור הספירלה בעמ' 14.



קראו את התרחישים הבאים ובחרו אחד מהם. המשיכו במשימה - בעבודה על התרחיש בו בחרתם.

תרחיש א' של פרויקט תיכון הנדסי (רחב) - השגת מים לשתייה במצב הישרדותי.

אתם מטיילים עם חבריכם בסביבה מרוחקת מאוכלוסייה אנושית ונותרתם עם שתייה ליום אחד בלבד. אתם רואים בסביבתכם גב עם מים מעופשים מעט. האתגר שלכם הוא לדאוג למי שתייה מסביבתך.

תרחיש ב' של פרויקט תיכון הנדסי (רחב) - הובלת מים לדירה בקומה חמישית בבניין דירות

אתם עובדים בצוות מהנדסים בחברה המתמחה בהובלת מים לבתי מגורים. האתגר של צוותכם הוא להזרים ולהוביל מים לדירה בקומה חמש על מנת שדייריה יוכלו למלא דלי מים, לצחצח שיניים, להתקלח במקלחון ועוד. החומרים לפרויקט הם חומרים הזמינים לכם ומפורטים להלן:

עץ, מוטות מתכת, דבק (אפוקסי, דבק חם), גומיות.

אתם רשאים ואף מעודדים להשתמש בחומרים שאינם ברשימה. במקרה זה הנכם מתבקשים להסביר את המטרה לכך בתחילת הפרויקט.

תרחיש ג' של פרויקט תיכון הנדסי (רחב) - דיגום מים ממרכז נהר שוצף אתם עובדים בצוות מהנדסים בחברה המתמחה באיסוף דגימות מים ממקורות שונים. מים הזורמים בקצב מהיר בנהר נחשדים כמכילים חומרים מסוכנים לנשימת בני האדם והדגים. האתגר של צוותך הוא לדגום מים ממרכז נהר שוצף (מהזרם שבין שני גדותיו).

החומרים לפרויקט הם חומרים הזמינים לכם ומפורטים להלן: עץ, מוטות מתכת, דבק, (אפוקסי, דבק חם), גומיות. אתם רשאים ואף מעודדים להשתמש בחומרים שאינם ברשימה. במקרה זה הנכם מתבקשים להסביר את המטרה לכך בתחילת הפרויקט.

תרחיש ד' של פרויקט תיכון הנדסי (רחב) - עיצוב יד תותבת

אתם עובדים בצוות **מהנדסים** בחברת הנדסה ביו-רפואית, המתמחה בעיצוב וייצור תותבות. האתגר של צוותכם הוא לעצב יד תותבת לשיפור איכות חיים של קטוע יד.

התותבת המתוכננת אמורה לתת פתרון לביצוע אחת מהמשימות הבאות: להחזיק עט או עיפרון או לצחצח שיניים או לאחוז ולהרים חפץ (אובייקט) או לבטא תקשורת בשפת סימנים או לאכול ספגטי ועוד.

החומרים לפרויקט הם חומרים הזמינים לך ומפורטים להלן: עץ, לוחות פרספקס, מוטות מתכת, דבק (אפוקסי, דבק חם), גומיות, חישנים שונים.

אתם רשאים ואף מעודדים להשתמש בחומרים שאינם ברשימה. במקרה זה הנכם מתבקשים להסביר את המטרה לכך בתחילת הפרויקט.

דף עבודה לתלמיד בעקבות אחד מתרחישים (א-ד שלעיל)

שלב 1: זיהוי בעיה, צרכים ואילוצים

1. מה הבעיה? הסבירו אותה במילים שלכם.

2. מהם הצרכים האנושיים שעבורם אתם מחפשים פתרון?

3. האם אתם יכולים לדמיין איך מישהו יכול להשתמש בתוצר שתכננתם? איך זה יעזור להם?

4. חשבו והגדירו דרישות מיוחדות מהפתרון הרצוי לבעיה (למשל: שהמוצר יהיה בטיחותי, נוח לשימוש, ניד, זול, קל, אסטטי, קטן, שימושי, עמיד לאורך זמן, קל לשימוש, לא קיים בשוק, עשוי מחומרים מסוימים ועוד). מיינו את הדרישות שציינתם להכרחיות ולרצויות.

5. האם יש אילוצים (כגון: מחיר, בטיחות ועוד) שעליכם להתייחס אליהם בפתרון הבעיה?

6. איך תדעו שהצלחתם בהשגת פתרון לבעיה?

שלב 2: סיעור מוחין לרעיונות לפתרונות

1. מהן לדעתכם הדרכים להתמודדות עם הבעיה והאתגר המתוארים בתרחיש?

2. רשמו לפחות שני רעיונות ופתרונות להתמודדות עם הבעיה?

3. באילו חומרים אתם מתכננים להשתמש בפתרונכם לבעיה?

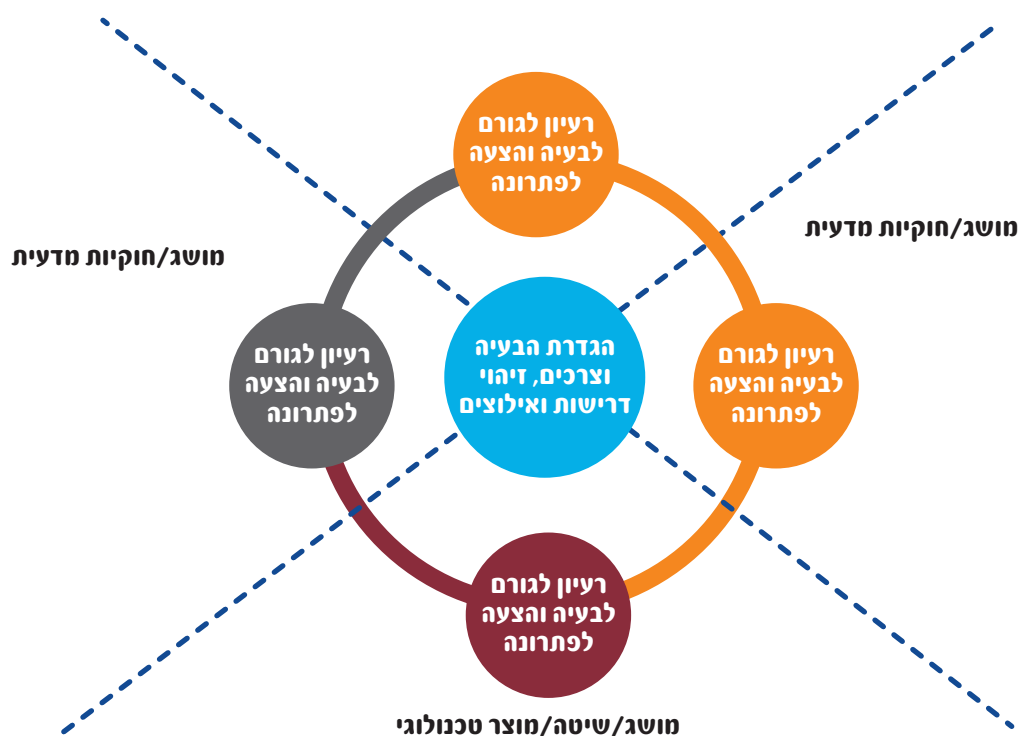
שלב 3 : בחירת מושגים רלוונטיים והעמקת הלימוד בהם

למהנדסים יש ידע מדעי וטכנולוגי לפתרון בעיות פרקטיות.

1. חשבו מה עליכם לדעת על הבעיה (האתגר במשימה) ורשמו שאלות או מושגים שברצונכם ללמוד ולהעמיק לחקור בהם במטרה להציע רעיון לפתרון.

2. ציינו מהו הבסיס המדעי הנדרש לפתרון הבעיה? הדגישו את המושגים והעקרונות המדעיים, הטכנולוגיים, החברתיים והסביבתיים הקשורים למוצר, הסבירו אותם במילים שלכם ורשמו כיצד הם רלוונטיים לפתרון הבעיה.

3. מלאו את תרשימים הבא: ציינו בו את המושגים, העקרונות והחוקים והסברם בעקבות חקירתכם ולמידותיכם.



תרשים מס. 4: כלי חשיבה לריכוז התשתית המושגית הנדרשת לביסוס פתרון הבעיה

4. סכמו מה למדתם מחקירתכם את המושגים והעקרונות המדעיים, הטכנולוגיים והחברתיים הקשורים למוצר (לאב-טיפוס)?

5. מהן המלצותיכם לתכנון המוצר (האב-טיפוס) בעקבות למידתכם. טענו טיעון (טענה ונימוק) לרעיונכם לפתרון הבעיה.

6. חזרו לשלב 2: שלב סיעור מוחין לרעיונות לפתרונות וכתבו בצבע שונה שינויים/תוספות לרעיונותיכם המקוריים בעקבות למידותיכם.

7. השוו בין הרעיונות השונים ובחרו אחד מהם איתו תמשיכו לשלב 4.

שלב 4: בחירת פתרון ותכנון

ובכן כתבתם כל רעיון שהיה לכם, חקרתם ולמדתם את הבסיס המדעי, הטכנולוגי, החברתי והסביבתי הקשורים לבעיה ולפתרונה. כעת עליכם להיות מציאותיים ולבחור את הפתרון הטוב ביותר ובעקבות כך לתכנן את בניית האב-טיפוס של מוצרכם.

בשלב זה נצמצם את רשימת רעיונותיכם, כמצוין על ידיכם בשלב 2 (סיעור מוחין לרעיונות לפתרונות), לפתרון אחד מעשי, המבוסס על למידותיכם וחקירתכם.

1. כתבו את רעיונכם לפתרון הבעיה ואת המטרות שאתם מנסים להשיג באמצעותו.

2. איך רעיונכם יראה כתרשים על נייר? רשמו תרשים (סקיצה גסה) לפתרון הבעיה.

תרשים 5: תיאור המוצר (האב-טיפוס) לפתרון הבעיה כולל הסבר מילולי של חלקיו

3. אילו חומרים נדרשים לבניית מוצר (אב-טיפוס) זה? האם יש לכם את החומרים המתאימים?

4. האם יש לכם מספיק זמן כדי לבנות מוצר (אב-טיפוס) זה? להערכתכם מהו הזמן שיידרש לבניית אב-טיפוס זה?

פרויקטים טכנולוגיים-הנדסיים נכשלים לעתים קרובות. במקרים שבהם פרויקטים השתבשו אנחנו מסתכלים אחורה ושואלים את עצמנו "מה קרה?". הפרויקט שאנו מתנסים בו הוא עיצוב מוצר. אחת סיבות לכך היא שאנשים אינם ששים לדבר על הסתייגויותיהם מהפתרון המוצע לבעיה כבר בשלב המוקדם של תכנון המוצר (האב-טיפוס).

באמצעות זיהוי סיכונים, דאגה ושיח על חולשות המוצר כבר בהתחלה ניתן לשפר מאוד את סיכויי ההצלחה של המוצר. הטכניקה לכך היא ניתוח כשלים אפשריים (Pre-mortem) ושאלה דמיונית "מדוע קרה הכשל"? טכניקה ה-Pre-mortem בסביבה עסקית מבוצעת בתחילת הפרויקט ולא בסופו, כך שהפרויקט יכול להשתפר. חברי צוות פרויקט ב-Pre-mortem שואלים "מה עלול להשתבש"? משימת חברי הצוות היא לאסוף בצורה שיטתית את כל הסיבות האפשריות לכישלון הפרויקט ולנתח אותן. כלומר, לנתח כל סיבה אפשרית לתקלה בתהליך במטרה למנוע אותה. לשם כך מכנסים צוות עובדים, שמגיעים מתפקידים שונים בחברה כדי לגוון את נקודות המבט, הידע וכלי חשיבה.

שלב ה-Pre-mortem מתחיל לאחר שחברי הצוות מתודרכים על תכנית המוצר. ראש הצוות מתחיל את התרגיל על ידי יידוע חבריו **שהפרויקט נכשל כישלון חרוץ**. אחר-כך כל אחד מהמשתתפים כותב את רעיונותיו לסיבות אפשריות לכישלון הפרויקט (המוצר). כל חברי הצוות בחדר רושמים **באופן עצמאי** כל סיבה אפשרית שהם יכולים לחשוב עליה כגורם לכישלון, החל מבעיות בחומרים, ציוד, תהליכים, שיטות, אנשים ובמיוחד דברים שבדרך כלל אינם מוזכרים כבעיות פוטנציאליות (כמו פרישה של מהנדס, שינויי מדיניות ממשלתית ועוד).

בשלב הבא ראש הצוות מבקש מכל חבריו לקרוא סיבה אחת מרשימתו. כל אחד מחברי הצוות תורם לדיון עד שכל הסיבות נרשמות. אחר כך דנים ברשימת הביקורות בטכניקה של סיעור מוחין ומציעים הצעות לחיזוק תכנית המוצר.

משימה: תרגלו וחוו את טכניקת ניתוח כשלים אפשריים (Pre-mortem). דהיינו, זהו סיכונים, שוחחו על חולשות המוצר, הבינו את הרעיונות להימנעות או לצמצום כשליו כדי לשפרו. לשם כך עברו על השלבים הבאים:

שלב 0: **דע את התכנית** - צוותך צריך להכיר היטב את תכנית המוצר (האב-טיפוס) לפני ביצוע Pre-mortem. שלב 1: **הכנה והתכנסות** - כל חברי הצוות צריכים להתכנס בסביבה נוחה לזמן של כשעה ולהצטייד בכמה גיליונות נייר.

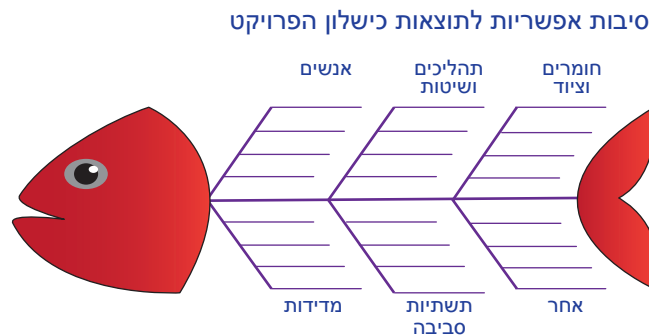
שלב 2: **הצגת המטרה:** תארו לעצמכם את הכישלון (הפיאסקו) - ראש הצוות מתחיל בטענה שהמוצר הוא כישלון! לא סתם כישלון, אלא הכול אסון מוחלט, מביך. אבל ... הוא לא יכול להבין למה. השאלה היא "מה יכול היה לגרום לזה?"

שלב 3: **רישום מחשבות לסיבות לכישלון** - במשך שלוש דקות כל חבר צוות יכתוב את הסיבות לכישלון המוצר ואת מחשבותיו בעניין זה. המטרה היא ליצור רשימה ממצה של דברים שיכולים להשתבש. כל מחשבה היא לגיטימית ומותרת. הדבר היחיד שלא אפשרי בשלב זה הוא להציע פתרונות. זה הזמן והמקום שבו האינטואיציות השונות, הניסיון, החוויות הייחודיות וההבנה (מודלים המנטליים) של חברי צוותך יכולים להתבטא ולתרום לידע המשותף שלכם. מוצע ששלב זה יתבצע באמצעות תרשים שלד הדג (תרשים 6).

שלב 4: **איחוד הרשימות** - כל אחד ישתף את הצוות בפריט אחד מרשימתו. ראש הצוות (המנחה) רושם את המצוין על לוח לבן. הסבב ממשיך, וכל אחד משתף את חברי הצוות בתורו רק בפריט אחד מרשימתו בכל פעם, עד שכולם מיצו את רשימותיהם. בסופו של שלב זה הרשימה צריכה לכלול את זיהוי כל הסיכונים, החולשות והחששות של כל חברי הצוות.

שלב 5: בקרה על פתרון הבעיה ושיפור תכנית המוצר (האב טיפוס).

כתבו שניים או שלושה פריטים המשמעותיים ביותר בעיניכם מרשימת הסיכונים, החולשות והחששות לכישלון המוצר (הפרויקט), וציינו אותם בתרשים שלד הדג שלמטה. פרטו את השפעותיהם על כישלון עתידי של המוצר. לבסוף חשבו על רעיונות להימנעות או לצמצום הבעיות שצינו על ידכם ופרטו אותם.



תרשים 6: שלד הדג לפירוט סיבות אפשריות לכישלון האב-טיפוס (הפרויקט)

שלב 6: בניית אב-טיפוס

לאחר שלב התכנון של פתרון הבעיה והסברו בהתבסס על ידע מדעי-טכנולוגי, הנכם ערוכים לבנות את המוצר המוצע לפתרון הבעיה, אלא שבניית המוצר הסופי ללא בחינתו עלולה לגרום למפח נפש ולעלויות יקרות. על כן נהוג לבנות תחילה **אב-טיפוס**.

אב-טיפוס, או בשמו הלועזי Prototype, הוא **מודל** עבודה בהיקף מלא, המשמש לבדיקת רעיון עיצוב **המוצר** על ידי ביצוע תצפיות ובחינת ההתאמות הנדרשות ממנו בפועל.

הכינו את רשימת החומרים והכלים לבניית האב-הטיפוס של מוצרכם, שמהווה מבחינתכם פתרון לבעיה. היעזרו בתרשים שציירתם בתרשים 5 בשלב 4.

שלב 7: בחינה והערכת אב-טיפוס

תהליך התיכון ההנדסי אינו נעצר בבניית האב-טיפוס. הדרך היחידה שבה אנו יכולים לדעת אם המוצר שלנו עובד ועונה על הבעיה - היא בעזרת בדיקה. אם האב-טיפוס אינו עובד או הוא זקוק לשיפור ולעיצוב מחדש, הרי שיש לשכלל את תכנונו ולשפרו.

לפניכם מספר שאלות שיסייעו לכם להעריך את תכנון האב-טיפוס (מוצרכם) ולקבוע כיצד ניתן לשפרו:

1. כיצד תבדקו ותעריכו אם מוצרכם נותן מענה לבעיה? תכנונו בפירוט את דרך בדיקתכם את האב-טיפוס והעבירו לבדיקת המורה.

2. תכנונו את בדיקת אב-טיפוס. מה תבדקו? כיצד תרשמו את התוצאות? לנוחיותכם ארגנו את המימצאים בטבלה.

הבדיקה שבוצעה	תוצאות	מסקנות

3. בצעו את בחינת האב-טיפוס והערכתו, רשמו את תוצאותיכם בטבלה שלמעלה.

4. כיצד התכנון שלכם עונה לדרישות ולאילוצים שהוגדרו לבעיה ולפתרונה?

5. האם הפתרון שבחרתם (חומרים, עיצוב המוצר, עלותו) הוא המיטבי לדרישות, לצרכים ולאילוצים שהוגדרו?

6. האם המוצר עשוי מחומרים הנחשבים לידידותיים לסביבה בייצורם, בשימושם ובסילוקם?

7. השוו את תוצאות בדיקת אב הטיפוס שלכם לבדיקות של חבריכם - מה אתם לומדים מהשוואת בדיקת האב-טיפוס שלכם לזו של התלמידים בכיתתכם?

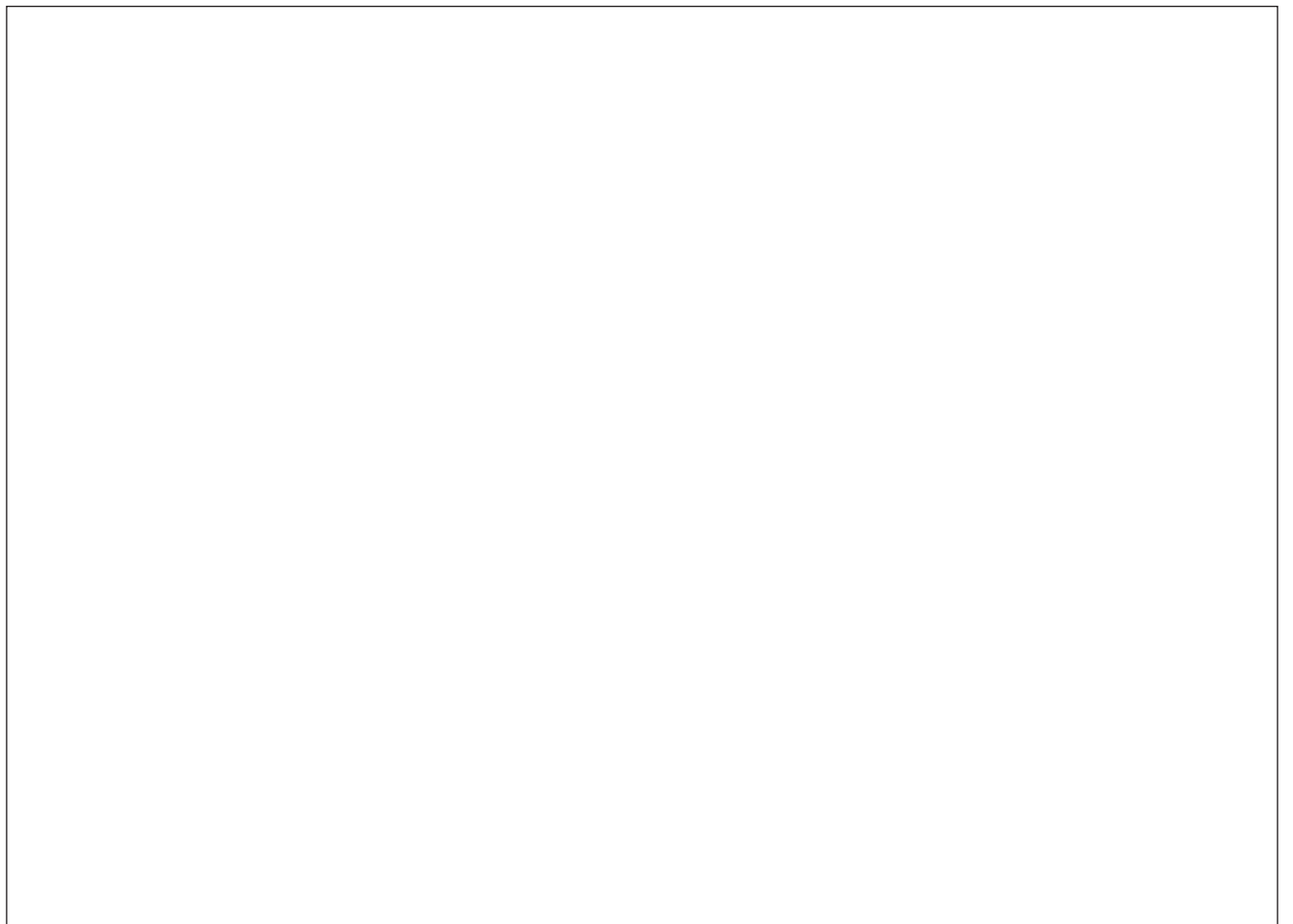
שלב 8: שכלול התכנון ושיפור המוצר

בהתבסס על בדיקותיכם לבחינה והערכת אב-טיפוס (שלב 7), זהו את נקודות החוזק ונקודות התורפה של מוצרכם. בררו מחדש את התאמת האב-טיפוס לפתרון הבעיה. שנו את התכנון (עיצוב פתרונכם) ושרטטו את הגרסה הסופית של מוצרכם.

1. זהו את נקודות החוזק של תכנון ועיצוב מוצרכם בהתייחס לבעיה אותה ניסתם לפתור? (התייחסו גם לצרכים, לדרישות ולאימוצים)

2. זהו את נקודות התורפה של תכנון ועיצוב מוצרכם בהתייחס לבעיה ולמטרה המקורית.

3. כתבו לפחות הצעה אחת לשיפור תכנון ועיצוב מוצרכם. בדף הבא שרטטו את הגרסה הסופית של מוצרכם (הדגישו בצבע שונה את השינויים והתוספות לעיצובכם).



תרשים 7: תיאור המוצר (הסופי) לפתרון הבעיה כולל הסבר מילולי של חלקיו

שלב 9: בניית המוצר והערכתו (רשות)

תהליך התיכון ההנדסי אינו נעצר בהערכת האב-טיפוס אלא בבניית המוצר המשוכלל והמשופר. למעשה, תכנון ועיצוב המוצר הוא לולאתי תוך כדי ניסיון למיטוב (אופטימיזציה) של חומרים וטכנולוגיות לצרכים אנושיים והתייחסות להגדרת הדרישות (קריטריונים) והאילוצים.

בשלב זה תבחרו ותבנו את המוצר המתאים ביותר לפתרון הבעיה, לאחר שביצעתם שיפור בתכנונו ושכללתם את עיצוב המוצר. הכינו את החומרים והכלים לבניית המוצר הסופי (היעזרו בתרשים 7 שבשלב 8). בנו את המוצר הסופי והעריכו אותו.

לפניכם מספר שאלות שיסייעו לכם להעריך את מוצרכם ולקבוע כיצד עוד ניתן לשפר אותו:

1. כיצד תבדקו ותעריכו אם מוצרכם נותן מענה לבעיה, לדרישות מפתרונה ולאילוציה? תכננו בפירוט את דרך בדיקתכם את המוצר הסופי והעבירו לבדיקת המורה.

2. כיצד התכנון (העיצוב) שלכם עומד במטרת האתגר? (התייחסו גם לדרישות והאילוצים)

3. כיצד המוצר הסופי משופר בהשוואה לפתרון האב-טיפוס?

4. כיצד המוצר הסופי הוא ידידותי יותר לסביבה בהשוואה לפתרון האב-טיפוס?

שלב 10: שיתוף הכיתה בפתרונות לבעיה והצגתם

1. מהו לדעתכם המאפיין הטוב ביותר של תכונכם? נמקו.

2. אילו צעדים ביצעתם בפרויקט תהליך התיכון ההנדסי כדי להשיג מיטוב (אופטימיזציה) של מוצרכם?

3. מה למדתם מדיווחי הקבוצות האחרות בכיתתכם?

4. השוו (חפשו קווי דמיון ושוני) בין מאפייני תכנון המוצרים בקבוצות השונות.

5. לו היה לכם יותר זמן, איך הייתם יכולים לשפר את תכונכם ולשפר את עיצוב מוצרכם?

לסיכום ההתנסות בפרויקט תיכון הנדסי (רפלקציה אישית)

נקודות להתייחסות:

- ☐ השווה בין תרשימכם והצעותיכם לפתרון הבעיה (התמקדו בהתבוננותכם בשלבים 1-8 של אחד מתרחישי הפרויקט התיכון ההנדסי. מה למדתם ממטלה זו?
- ☐ מה היה משמעותי לכם בנושא?
- ☐ מה היו הנקודות המשמעותיות בלמידתכם בתהליך התיכון ההנדסי?
- ☐ מה עשיתם במהלך הפעילות, מה השגתם בסיומה?
- ☐ כיצד התמודדתם עם הקשיים?
- ☐ איזו מטרה לשיפור אתם מציבים לעצמכם לאחר הפעילות?
- ☐ מה הייתם משנים אילו הייתם מתחילים היום ללמוד את תהליך התיכון ההנדסי?
- ☐ רפלקציה אישית על התהליך כולו:
רציתי לומר ש....
האם נהניתם/לא נהניתם? ממה?
האם בעבר התנסיתם בתהליך דומה? אם כן, איזה? מתי? מהם ההבדלים בין התהליכים?
האם תרצו לעסוק בנושאים דומים בעתיד? באיזו מסגרת?

מחווין לכרזת התיכון ההנדסי ב"מדע וטכנולוגיה לכל"			
רמות הביצוע			קריטריון
נמצא/ת בראשית הדרך	השיג/ה את המטרה בחלקה	השיג/ה את המטרה במלואה	
אין כותרת לכרזה (0 נקודות)	הכותרת כללית ואינה משקפת את נושא הכרזה, לדוגמה: "תהליך התיכון" (1 נקודות)	כותרת המשקפת את נושא הכרזה (2 נקודות)	כותרת 2 נקודות
מוצגת הבעיה שנבחרה לפתרון ללא הסבר לסיבה להתמקדות בה. כמו כן לא זוהה קהל היעד ו/או לא הוגדרו הצרכים, הדרישות והאילוצים שיילקחו בחשבון בפתרון הבעיה. (4-5 נקודות)	מוצגת הבעיה שנבחרה לפתרון בדרך בהירה והסיבה להתמקדות בה. אך לא זוהה קהל היעד ו/או לא הוגדרו הצרכים, הדרישות והאילוצים שיילקחו בחשבון בפתרון הבעיה. (6-8 נקודות)	מוצגת הבעיה שנבחרה לפתרון בדרך בהירה והסיבה להתמקדות בה. זוהה קהל היעד והוגדרו הצרכים, הדרישות והאילוצים שיילקחו בחשבון בפתרון הבעיה. (9-10 נקודות)	הגדרת הבעיה 10 נקודות
הוצג רעיון אחד בלבד, ללא סקר שוק ו/או ללא תרשים. הפתרון הוערך באופן חלקי בהתאם לקריטריונים, לא סוכמו היתרונות והחסרונות שלו ולא סומן אם מתאים. (4-5 נקודות)	הוצגו פחות מ-3 רעיונות שונים זה מזה, לאחר סיעור מוחין וסקר שוק, או הוצגו 3 פתרונות ללא סקר שוק. קיימים תרשימים מפורטים של 2 חלופות לפחות לפתרון הבעיה. הפתרונות הוערכו בהתאם לקריטריונים, אך לא סוכמו היתרונות והחסרונות של כל אחד מהם או סוכמו באופן חלקי או לא סומנו הפתרונות המתאימים. (6-8 נקודות)	הוצגו לפחות 3 רעיונות שונים זה מזה, לאחר סיעור מוחין וסקר שוק. קיימים תרשימים מפורטים של 3 חלופות לפחות לפתרון הבעיה. הפתרונות הוערכו בהתאם לקריטריונים, סוכמו היתרונות והחסרונות של כל אחד מהם וסומנו הפתרונות המתאימים. (9-10 נקודות)	הצעות לפתרון 10 נקודות

מחווין לכרזת התיכון ההנדסי ב"מדע וטכנולוגיה לכל"

רקע מדעי- הנדסי	מוצג מידע מדעי רלוונטי הבעיה ולפתרונה תוך ציון הרעיונות המדעיים מתוך תכנית הלימודים. כמו כן יש התייחסות לשיטות טכנולוגיות ולהיבטים חברתיים. הרקע מבוסס על חמישה מקורות מידע אמנים לפחות. המקורות רשומים בהתאם לכללים*.	מוצג מידע מדעי רלוונטי לאפיון הבעיה ולפתרונה אך לא צוינו הרעיונות המדעיים מתוך תכנית הלימודים. אך יש התייחסות לשיטות טכנולוגיות ו/או להיבטים חברתיים. הרקע מבוסס על 3-4 מקורות מידע אמנים ו/או המקורות אינם רשומים בהתאם לכללים*.	מוצג מידע מדעי רלוונטי לאפיון הבעיה ולפתרונה אך לא צוינו הרעיונות המדעיים מתוך תכנית הלימודים ואין התייחסות לשיטות טכנולוגיות ו/או להיבטים חברתיים. הרקע מבוסס על 2 מקורות מידע ו/או לא הוערכה מידת אמנות המקורות ו/ או המקורות אינם רשומים בהתאם לכללים*.
10 נקודות	(10-9 נקודות)	(8-6 נקודות)	(5-4 נקודות)
בחירת הפתרון המיטבי ותכנונו	הוצג הרעיון הנבחר והסבר מדעי- טכנולוגי- הנדסי לבחירתו כפתרון מיטבי. הוצג תרשים של אב הטיפוס המתוכנן ותואר מבנה המוצר ואופן פעולתו.	הוצג הפתרון הנבחר אך אין הסבר מדעי- טכנולוגי- הנדסי לבחירתו כפתרון מיטבי. הוצג תרשים של אב הטיפוס המתוכנן, אך לא תואר מבנה המוצר ו/או אופן פעולתו.	הוצג הפתרון הנבחר אך אין הסבר מדעי- טכנולוגי- הנדסי לבחירת הפתרון המיטבי. לא הוצג תרשים של אב הטיפוס המתוכנן ו/או לא תואר מבנה המוצר ו/או אופן פעולתו.
10 נקודות	(10-9 נקודות)	(8-6 נקודות)	(5-4 נקודות)
Pre- Mortem	זוהו כשלים אפשריים של האב- טיפוס והסיבות להם, והוצעו שינויים לשיפורו.	זוהו כשלים אפשריים של האב-טיפוס אך לא פורטו הסיבות להם או לא הוצעו שינויים לשיפורו.	לא זוהו כשלים אפשריים של האב-טיפוס והסיבות להם, ולא הוצעו שינויים לשיפורו.
10 נקודות	(10-9 נקודות)	(8-6 נקודות)	(5-4 נקודות)
בניית אב טיפוס למוצר	מוצג צילום של אב הטיפוס למוצר (שהולם את שלבי התכנון וזיהוי כשלים אפשריים), אב הטיפוס בנוי בפרופורציה (קנה מידה) ומחומרים בטיחותיים.	מוצג צילום של האב- טיפוס למוצר (שהולם את שלבי התכנון והזיהוי כשלים אפשריים), האבטיפוס אינו בנוי בפרופורציה (קנה מידה) ו/או מחומרים בטיחותיים.	לא מוצג צילום של האב- טיפוס למוצר.
10 נקודות	(10-9 נקודות)	(8-6 נקודות)	(5-4 נקודות)

מחווין לכרזת התיכון ההנדסי ב"מדע וטכנולוגיה לכל"

הערכת אב הטיפוס	מוצגת הערכת אב הטיפוס וההלימה בינו לתכנון באמצעות טבלה** מרכזת את הצרכים/דרישות, אילוצים ופתרונות והסבר בהיר על התאמת האב טיפוס למאפייני הבעיה. אך אין תוצאות הערכה, על פי הטבלה ו/או על פי משוב העמיתים, מוצגות בטבלה ובגרף הכוללים כותרות, זיהוי משתנים, זיהוי יחידות. ו/או לא קיים ביטוי מילולי של התוצאות.	מוצגת הערכת אב הטיפוס וההלימה בינו לתכנון באמצעות טבלה** מרכזת את הצרכים/ דרישות, אילוצים ופתרונות והסבר בהיר על התאמת האב טיפוס למאפייני הבעיה. תוצאות ההערכה, על פי הטבלה ועל פי משוב העמיתים, מוצגות בתרשים המייצג באופן מתאים את הממצאים. קיים ביטוי מילולי של התוצאות.	10 נקודות
שכלול ושיפור המוצר (תכנון מחדש) בעקבות מסקנות מהערכת האב טיפוס	מוצג אבטיפוס משופר סופי בתרשים בלבד, אך לא נלווה אליו הסבר בהיר איך שופר האבטיפוס על בסיס הידע המדעי והנתונים שנאספו והתהליך של הסקת מסקנות מהערכת האב-טיפוס או ממשוב העמיתים.	מוצג אבטיפוס משופר סופי בתרשים בלבד ומלווה בהסבר בהיר איך שופר האבטיפוס על בסיס הידע המדעי והנתונים שנאספו והתהליך של הסקת מסקנות מהערכת האב-טיפוס ומשוב העמיתים.	10 נקודות
רפלקציה	מוצגת חשיבה ביקורתית על מערך התיכון ומוצעים רעיונות לשיפור, לחשיבה נוספת. אך לא מוצגת הצעה לייעול המוצר בהמשך ו/או הרחבת השימוש בו לפתרון בעיות נוספות.	מוצגת חשיבה ביקורתית על מערך התיכון ומוצעים רעיונות לשיפור, לחשיבה נוספת. מוצגת הצעה לייעול המוצר בהמשך ו/או הרחבת השימוש בו לפתרון בעיות נוספות.	10 נקודות
אין הערכת האב טיפוס וההלימה בינו לתכנון באמצעות טבלה** מרכזת את הצרכים/דרישות, אילוצים ופתרונות, אין התייחסות למושב העמיתים ואין הסבר בהיר על התאמת האב טיפוס למאפייני הבעיה.	10 נקודות	אין מוצג אבטיפוס משופר סופי בתרשים בלבד מוצלח מהמקורי ואין הסבר בהיר איך שופר האבטיפוס על בסיס הידע המדעי והנתונים שנאספו ובתהליך של הסקת מסקנות מהערכת האב- טיפוס ומשוב העמיתים.	10 נקודות
10 נקודות	10 נקודות	10 נקודות	10 נקודות

מחון לכרזת התיכון ההנדסי ב"מדע וטכנולוגיה לכל"

שימוש באמצעים חזותיים	המידע בתהליך התיכון מוצג ומיוצג גם באמצעים חזותיים מתאימים מגוונים ואסטטיים, והוא תואם את הבעיה ו/או את הרעיונות המדעיים ותורם להמחשתם.	המידע בתהליך התיכון מוצג ומיוצג גם באמצעים חזותיים מתאימים מגוונים ואסטטיים, והוא תואם את הבעיה אך לא מקושר לרעיונות המדעיים.	המידע בתהליך התיכון מוצג ומיוצג אך לא מיוצג באמצעים חזותיים מתאימים וחסר אסטטיות, הוא תואם את הבעיה אך לא מקושר לרעיונות המדעיים.
8 נקודות	(7-8 נקודות)	(5-6 נקודות)	(3-4 נקודות)

הנחיות נוספות:

1. יש להימנע ממילים מיותרות כמו "הבעיה בנושא..."

2. **דוגמאות לכתיבת מקורות:**

ערך באנציקלופדיה

וינריב, א' (1979). הנדסה. בתוך האנציקלופדיה העברית (כרך XX, עמ' XX-XX). ירושלים: חברה להוצאת אנציקלופדיות.

מאמר מתוך כתב-עת

בורקוב, ג. (2014). שימוש בתרכובות נחושת במלחמה בזיהומים ובריפוי פצעים. קריאת ביניים, 22-23, 6-14.

כתבה בעיתון

קווה ז' (2011, יולי). לא סופרים את הסינים - המפעל הציוני ארגז כלים. The Marker, עמ' 62-63.

חומר מתוך האינטרנט

ברנר, י' (2003, 13 בדצמבר). סגנון חיים, התנהגות בריאותית ומניעת תחלואה בגיל המבוגר. בתוך דפי בריאות: מדריך לשירותי רפואה. אוחר ב-26 באוקטובר, 2015 מ- http://www.health-pages.co.il/article.php?article_id=1261

3. הצעה לטבלה המרכזת את הצרכים/דרישות, אילוצים ופתרונות.

הגדרת הבעיה והצרכים:			
תרשים הפתרון הכולל המתייחס לדרישות ולאילוצים	פתרון	פירוט הדרישות	
		דרישות	
		א.	ב.
		ג.	א.
		ב.	ג.
		אילוצים	
		א.	ב.

4. דף אישי המלווה כרזת תיכון הנדסי

מהי הסיבה לבחירת הנושא?

ציינו שני קשיים ודרכי התמודדות אתם.

מה תרומתכם לתהליך הקבוצתי?

חלקי בעבודה הקבוצתית:

כלל לא	מתחת לממוצע	כמו כולם	מעל הממוצע	שלבים בתהליך	תרומתי לקבוצה
				בחירת נושא התיכון ההנדסי	
				כתיבת רקע מדעי-הנדסי	
				הערכת האב טיפוס	
				בניית האב טיפוס	
				כתיבת התקציר	

פרטו את בחירתכם:

תרומתי לקבוצה -

התייחסותכם לעבודת הצוות (מעדיף או לא) תוך כדי מתן דוגמאות.

מהי תרומת תהליך התיכון-ההנדסי שיצרתי לחברה שבה אני חי?

5. בחרו 2 מקורות מידע שונים בהם נעזרת והערך את אמינותם.

6. תודות - למי?

מילון מונחים מבוסס על (The Standards for Technological Literacy (ITEA, 2007) **אבטיפוס (Prototype)** - מודל עבודה בהיקף מלא המשמש לבדיקת רעיון עיצוב המוצר, על ידי ביצוע תצפיות ובחינת ההתאמות הנדרשות ממנו בפועל.

אופטימיזציה - פעולה, תהליך או מתודולוגיה המשמשים לייצור **מערכת** או אובייקט עיצוב יעילים ופונקציונליים ככל האפשר בהתייחס לקריטריונים ולמגבלות מסוימים.

אילוצים - הגבלות בתהליך העיצוב. אילוצים יכולים להיות קשורים למימון, לחומרים וליכולות אנושיות.

דרישות - הפרמטרים המובאים בחשבון בפיתוח מערכת או מוצר. הם כוללים את כללי הבטיחות, החוקים הפיזיקליים שעלולים להגביל את רעיון הפיתוח, את המשאבים, הנורמות החברתיות והשימוש בקריטריונים לבנייה.

המצאה - מוצר, מערכת או תהליך חדשים שמעולם לא היו קיימים בעבר ושנוצרו בעקבות מחקר והתנסות.

הנדסה - תחום השמה מנומקת של ידע, ניסיון ושיטות שנרכשו מהמחקר המדעי והמתמטי לתכנון וייצור של מוצרים שימושיים לטובת האנושות.

חדשנות - שיפור טכנולוגיית מוצר, מערכת קיימת או שיטה לביצוע עשייה.

טכנולוגיה - תחום דעת העוסק בשינוי הסביבה הטבעית ומציאת פתרונות מעשיים כדי לספק רצונות וצרכים אנושיים.

מהנדס - אדם מיומן בעל ידע מדעי וטכנולוגי לפתרון בעיות פרקטיות.

מודל - ייצוג חזותי, מתמטי או תלת-ממדי המפרט אובייקט או מוצר. לעתים קרובות הוא קטן יותר מאשר המקור ומשמש כדי לבחון רעיונות ולבצע שינויים בעיצוב.

מוצר - אובייקט מוחשי המיוצר באמצעות עבודה אנושית או מכנית או על ידי תהליך כימי או ביולוגי.

מערכת - קבוצת מרכיבים או חלקים הקשורים או תלויים זה בזה והמתפקדים כמכלול ובאינטראקציה להשגת מטרה.

סיעור מוחין - שיטה לפתרון בעיה שיתופי, שלפיה כל חברי הקבוצה מציעים רעיונות באופן ספונטני ובדין לא מסווג.

צרכים (אנושיים) - כל דבר שאדם זקוק (או חש שהוא זקוק) לו עבור רווחתו הפיזית והנפשית. קיימים צרכים ההכרחיים לקיומו של האדם כמו: מזון, מים ומחסה וצרכים אישיים נוספים, חברתיים ועוד.

קריטריונים - הנחיות, כללים או בדיקות שניתן להעריך דבר מה באמצעותם. הקריטריונים הם ספציפיים וניתנים למדידה.

תהליך - 1. פעילות אנושית המשמשת לייצור, להמצאה, לעיצוב ולשימוש במוצרים או במערכות. 2. רצף שיטתי של פעולות המשלבות משאבים כדי להפיק תוצר.

תיכון הנדסי - אסטרטגיה של פתרון בעיה שיטתי שבמהלכה מסופקים צרכים או רצונות של האדם. הפתרון נבחר לאחר ניפוי פתרונות אפשריים רבים שפותחו לבעיה ובהתייחסות לקריטריונים ולאילוצים.

תכנון (עיצוב) - תהליך אינטראקטיבי של קבלת החלטות, שמייצר תכניות להפיכת משאבים למוצרים או למערכות העונים לצרכים, לרצונות ולפתרון בעיות אנושיות.

Pre-mortem - אסטרטגיה ניהולית שבה המנהל וצוותו מנתחים מה עלול להוביל לכישלון הפרויקט. חשיבה זו יכולה לזהות ולנתח את הגודל והסבירות של כל איום ולבצע פעולות מנע כדי להגן על הפרויקט.

- Bailey, R., & Szabo, Z. (2007). Assessing engineering design process knowledge. *International Journal of Engineering Education*, 22(3), 508.
- Boesdorfer, S., & Greenhalgh, S. (2014). Make room for engineering. *The Science Teacher*, 81(9), 51.
- Bybee, R. 2011. Scientific and engineering practices in K–12 classrooms: Understanding A Framework for K–12 Science Education. *The Science Teacher* 78 (9): 34–40.
- Cunningham, C. M., & Carlsen, W. S. (2014). Teaching engineering practices. *Journal of Science Teacher Education*, 25(22), 197-210.
- International Technology Education Association (ITEA).(2007). Standards for technological literacy. Reston, VA. International Technology Education Association. www.iteea.org/TAA/PDFs/xstnd.pdf.
- National Academies Press (NAP). (2012) A Framework for K-12 Science Education: Practices, Crosscutting Concepts, and Core Ideas. Chapter: 3 Dimension 1: Scientific and Engineering Practices. P.42. <http://www.nap.edu/read/13165/chapter/7#42>.
- National Research Council (2015). Guide to implementing the next generation science standards. Washington, DC: The National Academies Press.