

תשע"ט 2019

ערכה למורה "מדע וטכנולוגיה לכל"

בנושא

מדע והנדסה

ההבדל בין עבודת המדען ועבודת

המהנדס

כתיבה:

ד"ר מיכל נחשון

ד"ר רחל כהן

עריכה:

רונית פרץ



הפיקוח על מדע וטכנולוגיה לכל – בחינוך העיוני

מדע והנדסה

מדע והנדסה הן שיטות מקבילות ומשלימות זו את זו. המדע מעלה שאלות על העולם הטבעי ומציע תשובות בצורה של הסברים המבוססים על ראיות שנאספו בתצפיות וניסויים. ההנדסה מזהה בעיות של הצרכים האנושיים ושאיפות ומציעה פתרונות בצורה של מוצרים חדשים או תהליכים המבוססים על ידע ומחקר מדעי.

מדענים מחפשים הסברים לדפוסים שנצפו. מהנדסים לעתים קרובות מחפשים דפוסים ומנתחים אותם במטרה לתת מענה לבעיה או צורך.

האמצעים הטכנולוגיים כולם נוצרו כתשובה לצורך או לבעיה של האדם או החברה. תהליך התיכון ההנדסי עוסק ביצירה של פתרונות לבעיות טכנולוגיות באמצעות ידע בתחום המדע והמתמטיקה.

בהנדסה ובמדע כאחד, טכנולוגיות חדשות באופן שיגרתי מרחיבות את האפשרויות לשיתוף פעולה ותקשורת עם החברה.

תהליך התיכון ההנדסי

האמצעים הטכנולוגיים נוצרו כמענה לצורך או בעיה של האדם או החברה וכולם מעשה ידי אדם. תהליך התיכון ההנדסי הינו תחום מחקר, מדעי, מתמטי וטכנולוגי העוסק ביצירה של פתרונות לצורך/לבעיה טכנולוגית תוך שימוש בידע מדעי. תהליך התיכון ההנדסי לפיתוח מוצר כולל סדרת צעדים מומלצת המתחילה מזיהוי בעיה/העלאת צורך דרך איסוף מידע רלוונטי, העלאת רעיונות לפתרון המתחשבים בדרישות ובאילוצים, ועד לשלב בחירת רעיון - פתרון מיטבי ובניית המוצר מעשה ידיהם של התלמידים. חשוב להבין כי רצף הצעדים המוצג לעיל, אינו לינארי בהכרח, כל שלב מצוי בקשר עם שלבים אחרים, ולעיתים יש לחזור על אחד השלבים כמה פעמים לפני שממשיכים בתהליך. לימוד תהליך התיכון ההנדסי עשוי לטפח בקרב התלמידים חשיבה מערכתית וחשיבה ביקורתית, יכולת פתרון בעיות ויכולת עבודה בצוות. לימוד והתנסות במיומנויות אלו נעשה על בסיס לימוד אינטגרטיבי של תחומי ידע שונים.

הפיקוח על מדע וטכנולוגיה לכל – בחינוך העיוני

השוואה בין מדע והנדסה¹

השוואה בין מאפיינים של תהליכים מדעיים למאפיינים של תהליכים הנדסיים תתבצע באמצעות השוואה של הנושאים הבאים:

1. שאלות שאלות (במדע) והגדרת בעיות (בהנדסה)
2. פיתוח מודלים ושימוש בהם
3. תכנון וביצוע חקירה
4. ניתוח נתונים ומתן פרשנות
5. שימוש בחשיבה מתמטית
6. בניית הסברים (למדע) ויצירת פתרונות (להנדסה)
7. עיסוק בטיעון מבוסס ראיות
8. איתור, הערכה, והעברת מידע

הנדסה	מדע
מנסחים בעיה או צורך או קושי שצריך לפתור כמו: כיצד לעצב מערכות תחבורה חוסכות דלק? כיצד לנצל משאבים מתחדשים (כמו תאים סולריים) בתחנות להפקת חשמל?	שואלים על תופעות כמו: איך אפשר להסביר ש/ מדוע השמים כחולים? מה גורם למחלת הסרטן? מגבשים שאלות אמפיריות המתייחסות לתופעה. מפתחים תיאוריות שיכולות לספק הסבר לתשובות על השאלות.
משתמשים במודלים ובסימולציות כדי לבחון פתרונות אפשריים - להכיר נקודות חוזק ומגבלות של העיצובים והרעיונות לפתרון.	משתמשים בדגמים ובסימולציות כדי לקדם הסברים על תופעות, ליצור תחזיות "אם...אז..." כדי לבדוק הסברים היפותטיים.
משתמשים בחקירה כדי לאסוף נתונים לניתוח או לזהות משתנים רלוונטיים כדי לזהות את הדרך היעילה הנדרשת לפיתוח פתרון לבעיה.	יכולים להתבצע בשדה או במעבדה. מחייבים במקרים מסוימים זיהוי של משתנים תלויים ובלתי תלויים תוך שליטה במשתנים. משמשים לאישוש תיאוריות או לפיתוח תאוריות/הסברים חדשים.
מנתחים נתונים שנאספו בבדיקות כדי לבדוק עד כמה המוצר עומד בדרישות ופותר בעיה במסגרת האילוצים.	משתמשים במגוון ייצוגים חזותיים וסטטיסטיקות כדי לזהות תכונות ודפוסים משמעותיים.
מנתחים נתונים מתמטיים כדי לבדוק עמידות בתנאים ובדרישות.	בונים סימולציות ומנתחים סטטיסטיקות כדי לבנות הכללות.
	שימוש בחשיבה מתמטית

¹ מעובד מתוך:

Scientific and Engineering Practices in K–12 Classrooms Understanding A Framework for K–12 Science Education by Rodger W. Bybee, Dec. 2011 NSTA's journals

הפיקוח על מדע וטכנולוגיה לכל – בחינוך העיוני

בניית הסברים ויצירת פתרונות	בונים תיאוריות שיכולות לספק הסבר לתופעות בעולם.	מציעים פתרונות המבוססים על התכנות טכנולוגית, עלות, איכות סביבה, בטיחות, אסתטיקה ועוד. בחירה של פתרון אופטימלי תלויה בדרישות ובאילוצים לפתרון הבעיה/הצורך.
עיסוק בטיעון מבוסס ראיות	חשיבה וטיעון חיוניים לזיהוי ההסבר הטוב ביותר לתופעה נבדקת. בהסתמך על עדויות. חוקרים משתפים עמיתים במטרה לתת את ההסבר הטוב ביותר לתופעה נחקרת.	חשיבה וטיעון חיוניים למציאת הפתרון הטוב ביותר לבעיה. מהנדסים משתפים פעולה עם עמיתים לצורך בחירת הפתרון המבטיח, מתוך שדה של רעיונות נוספים.
איתור מידע הערכה ופרסום	מדע מתקדם כאשר מדענים משתפים מדענים אחרים בממצאיהם או לומדים על ממצאים של אחרים. הפקת מידע מדעי ממאמרים, מהרצאות, מסימפוזיונים, מהרשת מקדמת רכישת תוקף מדעי.	מהנדסים נדרשים להציג את רעיונותיהם בכתב ובע"פ, בדיונים עם מהנדסים אחרים במטרה לבחון את הרעיונות. במקביל הם נדרשים להפיק משמעות מטקסטים של עמיתים.

השוואה בין תהליכי תיכון ותהליכי חקר²

סטנדרטים של טכנולוגיה לפי ITEA	סטנדרטים של חקר לפי NSES
בחירת נושא	העלאת שאלות
זיהוי בעייה טכנולוגית והחלטה באם לענות עליה	סקירה על מה שידוע
איסוף וניתוח נתונים	
קביעה כיצד הדרישות והאילוצים ישפיעו על תהליך התיכון	ניבוי תוצאות על סמך השערות
תכנון	זיקוק ליטוש והערכה של פתרון באמצעות תיכון.
ביצוע ועיבוד תוצאות	שימוש במודלים פיזיקליים ומתמטיים
פיתוח של תוצר או מערכת	ביצוע תצפיות/ניסויים, עיבוד, ניתוח ומתן פירוש לנתונים
הסקת מסקנות	הערכת תשובות והסברים לשאלות, הצגת תוצאות של התהליך השלם

² מעובד מתוך: Fortus, D. et al (2004) Design-based science and student learning, JRST 41(10).

הפיקוח על מדע וטכנולוגיה לכל – בחינוך העיוני

מתוך: ערכה למורה - תהליך התיכון ההנדסי ב"מדע וטכנולוגיה לכל", ד"ר רחל כהן, 2016

על מדע והנדסה - שיעורים 7-1

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 שבועד 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

הפיקוח על מדע וטכנולוגיה לכל – בחינוך העיוני

אלה ייבחנו במהלך יחידת הוראה זו.



1. א. ציירו שני ציורים. 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, למהנדסים או לשניהם. חשבו עליהם ומיינו טענות/תיאורים אלה בטבלה מטה.

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

הפיקוח על מדע וטכנולוגיה לכל – בחינוך העיוני

6. מבצעים בדיקות או ניסויים לבחינת יעילות ועמידות מוצרים בתנאים שונים
7. משתמשים ביצירתיות ובחדשנות
8. עובדים בצוות
9. משתמשים במתמטיקה, מידע וטכנולוגיית מחשב וחשיבה חישובית
10. ממציאים או מתכננים מחדש מוצרים

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

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

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, נכיר כעת את תהליך התיכון ההנדסי שבבסיס עבודת המהנדסים.

הפיקוח על מדע וטכנולוגיה לכל – בחינוך העיוני



שיעור 2 (למורה) - פעילות פתיחה לתהליך התיכון ההנדסי והגדרת מושגים בסיסיים בטכנולוגיה 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.

הפיקוח על מדע וטכנולוגיה לכל – בחינוך העיוני



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.

Ynet 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.

***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 3", יצרנית מדפסות תלת-ממד. מדפסות תלת-ממד נמצאות בשימוש בתעשייה לצורך ייצור דגמים, חלקי מתכת מורכבים, תכשיטים, אופנה ועוד.

הפיקוח על מדע וטכנולוגיה לכל – בחינוך העיוני

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

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 וליצור 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** ולאימוציהם. להלן נסביר כמה מושגים בסיסיים בתחום ההנדסה והטכנולוגיה.

מילון מונחים

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

הפיקוח על מדע וטכנולוגיה לכל – בחינוך העיוני

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 ושוחחו על תשובתכם בזוגות והיכנו 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 לדיון 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"?

וטכנולוגיה לכל – בחינוך העיוני



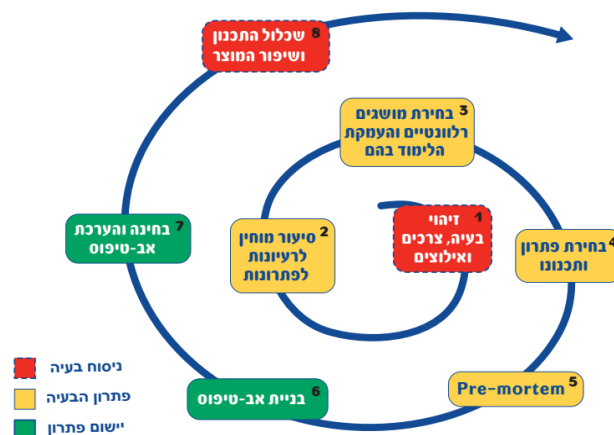
שיעור (3-4 למורה) – התנסות ראשונית בתהליך התיכון ההנדסי

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 רטרופקטיבית ירשמו התלמידים את שלבי התהליך שביצעו 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.

הפיקוח על מדע וטכנולוגיה לכל – בחינוך העיוני

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, מלבני זכוכית או זכוכית נושאת FROST.

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 בנפילתו מגובה של 2 מטרים. אם לא השתמשו 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
200-100 ש"ח לגליל ברוחב 1 מטר, אורך 75 מטר	גליל ניילון בועות (ניילון פצפצים לאריזה)
140-60 ש"ח לגליל ברוחב 1 מטר, אורך 50 מטר	קרטון גלי
40-8 ש"ח (שקיות צלופן עם פס דבק או שקיות ואקום)	שקיות ניילון
10-4 ש"ח ליחידה	נייר דבק (מסקינג-טייפ, סלוטייפ ואיזולירבנד)
8 ש"ח ליחידה	צמר גפן
----	מלבנים או ריבועים של זכוכית (לבקש מזגג חתיכות זכוכית בטיחות 3+3 בגודל 10X10)
חומרים נוספים אפשריים	
60-25 ש"ח לגליל ברוחב 50 ס"מ	ניילון סטרץ לאריזה (ניילון נצמד)
6-5.3 ש"ח לקופסה	קרטונים לאריזה 45 X 30 X 25
7-5.4 ש"ח לקופסה	קרטונים לאריזה 60 X 40 X 40
100-50 ש"ח ל-500 יחידות נייר משי לבן, חצי גליון	נייר אריזה
400-200 ש"ח לחצי קוב	בוטני קלקר
80-40 ש"ח לשק קטן	בוטני קלקר
40-25 ש"ח	אקדח אריזות
400-250 ש"	מלחם שקיות

הפיקוח על מדע וטכנולוגיה לכל – בחינוך העיוני



"יש לי טבלט שקעו לי לפני כשבועיים-שלושה, ועכשיו הוא נפל לי על הרצפה
על הפנים מקובה של שולחן מחשב. ההחלט זה לא היה צפוי ולא הייתי מוכן
להוציא כסף נוסף. חיפשתי באינטרנט את ההצעה הזוהר ביוגר אהמלפג
מסכי טבלט. הגקשתי למעבדה, והם אמרו שאיזהם אקבל תשלום של מסכי
טבלט, וינסו לזכר את קבלת התשלום"



מסך טאבלט 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 מחוברי-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" מנפילה 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.

הפיקוח על מדע וטכנולוגיה לכל – בחינוך העיוני

שלב 1: הגדירו את הבעיה (כולל צרכים ואילוצים) ורשמו את כל רעיונותיכם בכל הנוגע להשלמת האתגר בהצלחה.

צינו 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?", "מהן תכונותיהם?" "האם וכיצד חומרים אלו ידידותיים לסביבה בייצור, בשימוש ובסילוק?".

• רשמו מה למדתם (תארו את למידתכם 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 המלצותיכם 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 ולאימוץ 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.

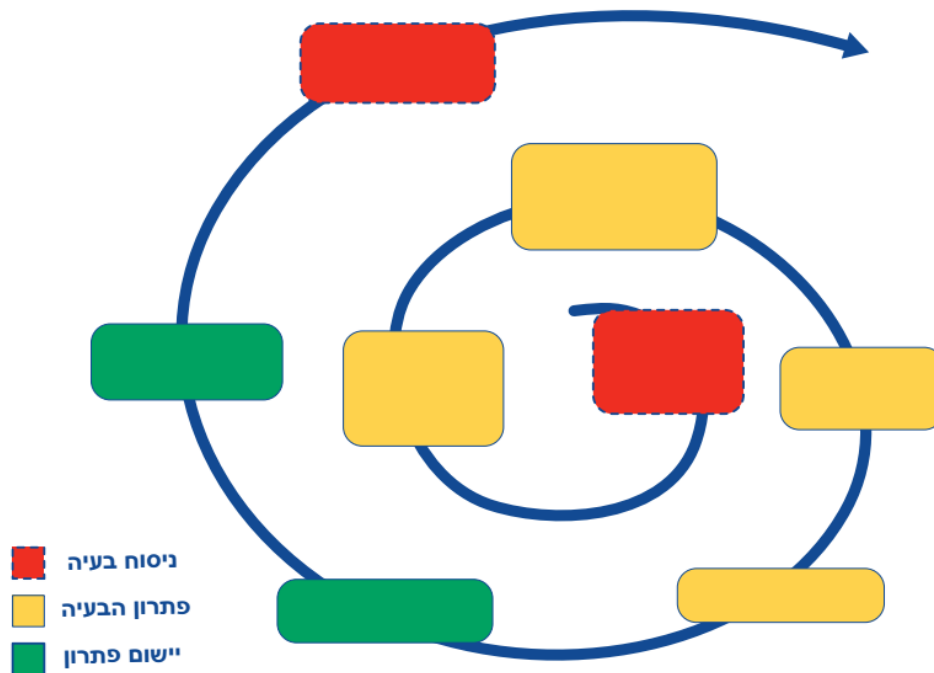
שלב 5: בהתבסס על הבדיקות הראשוניות שלכם, בחנו מחדש ושנו את התכנון והעיצוב של פתרונכם. שרטטו את הגרסה הסופית של תכנון העיצוב שלכם.

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?).

הפיקוח על מדע וטכנולוגיה לכל – בחינוך העיוני

שלב 7: סדרו את השלבים הבאים בסדר הנכון לקבלת תהליך התיכון ההנדסי ומלאו את התרשים 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 2.0: 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?

הפיקוח על מדע וטכנולוגיה לכל – בחינוך העיוני

טבלה 2: מחוון להערכת המשימה שינוע זכויות להגנת טבלט

ממדים	רמת ביצוע מיטבית	רמת ביצוע טובה	רמת ביצוע בינונית	רמת ביצוע של תחילת הדרך
סיעור מוחין לפתרונות	כל חברי הצוות תורמים רעיונות אפשריים רבים	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 מטיב את האבטיפוס על בסיס איסוף נתונים, בדיקות של רעיונות יצירתיים ומשפר באופן ניכר את תכנונו וביצועו	הצוות מטיב את האבטיפוס על בסיס איסוף נתונים ובדיקות ומשפר את תכנונו וביצועו	הצוות מחדד מה צריך להיות באבטיפוס אך 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 טויב אבטיפוס על בסיס הידע המדעי והנתונים שנאספו	הצוות מציג מוצר סופי שהוא מוצלח מהמקורי ומסביר איך טויב האבטיפוס על בסיס הנתונים שנאספו	הצוות מציג מוצר סופי שהוא מוצלח מהמקורי ומתאר איך האבטיפוס שונה	הצוות מציג מוצר סופי

המזכירות הפדגוגית – בחינוך העיוני



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 אמיתי, שמוכא 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.

National Academies Press (NAP) (2012) 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.

הפיקוח על מדע וטכנולוגיה לכל – בחינוך העיוני

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=LJJJoKxDsyoQ>

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).

הפיקוח על מדע וטכנולוגיה לכל – בחינוך העיוני



CERN (מבוטא: סֶרֶן) 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 למאיצי 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 משהו 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, ובשבילי 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.

הפיקוח על מדע וטכנולוגיה לכל – בחינוך העיוני

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.

הפיקוח על מדע וטכנולוגיה לכל – בחינוך העיוני



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 וחווור 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, שינויי והתאמתו לייעול	
6	בניית (פרטי עיצוב) אב-טיפוס (תהליך בניית המוצר)	מוצג האב-טיפוס למוצר ושיטת העבודה לעיצוב (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	

הפיקוח על מדע וטכנולוגיה לכל – בחינוך העיוני

לפניכם קטעי הכתבה¹. קראו אותם וזהו את המאפיינים של שלבי תהליך התיכון המבוטאים בהם.

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 האינטרקום 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 קמבלר

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 קייס 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

הפיקוח על מדע וטכנולוגיה לכל – בחינוך העיוני

2

"היינו קבוצה של מעצבים ומהנדסים 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.

3



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

4

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 ההכרחיים, אבל נשתמש בפלדה רבה יותר מהדרוש כדי להיות בטוחים לחלוטין."

הפיקוח על מדע וטכנולוגיה לכל – בחינוך העיוני

5

"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 במר קום 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

6



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 אם 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.

הפיקוח על מדע וטכנולוגיה לכל – בחינוך העיוני

ביבליוגרפיה

- 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.

נחשון מ., מדריך ראשי למורה, תהליך החקר והתיכון במדע וטכנולוגיה לכל. (2016)

כהן ר., התנסות בתהליך התיכון ההנדסי במדע וטכנולוגיה לכל, מודלינג. (2016)