



השכלה גבוהה

חינוך מהנדסים במאה ה-21: היבטים גלובליים ונגזרות למדינת ישראל

פרופ' ארנון בנטור
ד"ר אביגדור זוננשיין
תמר דיין

חברה

חינוך

כלכלה

מדע
וטכנולוגיה

סביבה
ואנרגיה

תיכנון
ארוך טווח

תעשייה
וחדשנות

תשתיות
פיזיות

בריאות

הון
אנושי



חינוך מהנדסים במאה ה-21: היבטים גלובליים ונגזרות למדינת ישראל

חוקרים:
פרופ' ארנון בנטור
ד"ר אביגדור זוננשיין
מידענית: תמר דיין

מרץ, 2018

אין לשכפל כל חלק מפרסום זה ללא רשות מראש ובכתב ממוסד שמואל נאמן מלבד לצורך ציטוט של קטעים קצרים במאמרי סקירה ופרסומים דומים תוך ציון מפורש של המקור.

הדעות והמסקנות המובאות בפרסום זה הן על דעת המחבר/ים ואינן משקפות בהכרח את דעת

מוסד שמואל נאמן.

תוכן עניינים

2	תוכן עניינים
3	רשימת איורים
5	רשימת טבלאות
6	תקציר מנהלים
9	1. מבוא
11	2. הרקע ההיסטורי והאתגר לעתיד
12	3. הנדסה במאה ה-21
16	4. פרופיל המהנדס במאה ה-21
19	5. "חשיבת תכן" ו-"חשיבה יזמית" כמרכיבים בחינוך מהנדסים
22	6. תכניות חינוך של מהנדסים
31	7. מתודולוגיות לחינוך מהנדסים
34	8. שינוי תרבותי
37	9. תובנות מסקרים
55	10. תובנות מתוכניות אסטרטגיות של אוניברסיטאות מובילות בעולם
57	11. מהנדסים בישראל – כמות ואיכות
62	12. סוגיות לדין
68	13. מקורות כלליים נוספים
71	נספח א' - חינוך מהנדסים במאה ה-21 בגישת CDIO
71	א. תיאור התכנית
76	ב. ניתוח תכנית CDIO בהיבטים שונים: תמצית המתבססת על מאמרים מהאתר של CDIO
84	נספח ב' - מודלים למכוני מחקר רב תחומיים עם קשר לתעשייה
84	א. מבוא
85	ב. מעבדת Media Lab ב-MIT
90	ג. מכון Broad המשותף ל-Harvard ו-MIT
93	ד. מודל למרכז מחקר הנדסי כשלוחה של הטכניון בנגב
97	נספח ג' – פרופילים של מהנדסים
100	נספח ד' - סיכום ראיונות בנושא דמות המהנדס במאה ה-21
110	נספח ה' - תמצית של סדרי עדיפויות בתוכניות אסטרטגיות של אוניברסיטאות מובילות

רשימת איורים

- איור 1: מפת דרכים להנדסה במאה ה-21.....12
- איור 2: מבנה אפשרי למכון לחדשנות.....13
- איור 3: מיפוי עקרוני של מרחב החדשנות.....14
- איור 4: דיאגרמה לתיאור מרכיבי החדשנות ההנדסית.....15
- איור 5: מודל T להכשרת מהנדסים המבוסס על שילוב של הרחבה והתעמקות.....23
- איור 6: תיאור סכמתי של מודל I להכשרת מהנדסים המבוסס על שילוב של תואר ראשון ושני כנקודת יציאה לקריירה הנדסית, עם הרחבה ואפשרות להסבה במהלך הקריירה.....26
- איור 7: חשיבות הסבה מקצועית באסטרטגיה של הון אנושי של חברות.....27
- איור 8: מטען הידע למהנדס אזרחי במאה ה-21.....28
- איור 9: מודל לאפיון מטען הידע של מהנדסים בעלי פרופילים שונים בתוכניות משולבות של תואר ראשון ושני עם אפשרות הרחבה לתואר שלישי מחקר'.....29
- איור 10: לומדי שנה ראשונה בתואר שני בישראל מכלל הלומדים בשנה הראשונה בתחום, %.....30
- איור 11: תיאור סכמתי של העקרונות של מכוני מחקר הנדסיים המוצגים ע"י האקדמיה הלאומית להנדסה בארה"ב.....35
- איור 12: האתגרים המרכזיים בגיוס מהנדסים וטכנאים בפרופילים שונים, על פי סקר באנגליה.....38
- איור 13: חשש עיקרי בגיוס מהנדסים חדשים על פי סקר באנגליה.....38
- איור 14: פערים בכישורים של מהנדסים בוגרי תואר ראשון, תארים מתקדמים ומהנדסים מנוסים על פי סקר באנגליה.....39
- איור 15: הסיבות העיקריות הגורמות לכך שחינוך הנדסי אינו נותן מענה ראוי לדרישות התעשייה של הנשאל, על פי סקר באנגליה.....40
- איור 16: חוזקות וחולשות של בוגרי הנדסת מכונות והשקלול הכולל שלהם, על פי סקר של תעשיינים שנערך ע"י ASME.....42
- איור 17: הערכת התעשייה בארה"ב לבוגרי הנדסת מכונות: % התשובות בדבר חולשות ב-14 כישורים.....43
- איור 18: הכישורים החשובים ביותר הנדרשים ביותר הנדרשים למהנדס בהתבסס על סקר של בוגרי הנדסת מכונות ב-MIT.....46
- איור 19: הכישורים בהם תדירות השימוש למהנדסים היא הגבוהה ביותר (יותר מאשר אחת לשבוע) לפי סקר של בוגרי הנדסת מכונות ב-MIT.....46
- איור 20: פילוג העיסוקים של הנשאלים בתלות בשנת סיום לימודי תואר ראשון, סקר של בוגרי הנדסת מכונות ב-MIT.....47
- איור 21: פילוג כלל העיסוקים של בוגרי תואר ראשון בשנים 1992-2013, על פי סקר של בוגרי הנדסת מכונות ב-MIT.....48
- איור 22: רכיבים החסרים להכשרה של מהנדסים במאה ה-21, מנקודת המבט של האקדמיה (מחנכים) והתעשייה, לפי סקר של מהנדסי מכונות בארה"ב.....49
- איור 23: מספר יחסי של סטודנטים להנדסה באוניברסיטאות ובמכללות: שינוי על פני זמן (נתוני למ"ס).....57
- איור 24: התפלגות סטודנטים להנדסה בין האוניברסיטאות, 2015/16, % (נתוני למ"ס).....58
- איור 25: פילוג סטודנטים להנדסה במערכת ההשכלה הגבוהה בין תחומי ההנדסה, 2015/16 (נתוני למ"ס).....59
- איור 26: תוצאות המבחן הפסיכומטרי למתקבלים ללימודי הנדסה בתחומים השונים באוניברסיטאות ובמכללות, 2015/16 (נתוני למ"ס).....60

- איור 27: הפרש בציון הפסיכומטרי בין המתקבלים ללימודים באוניברסיטאות ובמכללות בתחומי ההנדסה השונים, 2015/15 (נתוני למ"ס)..... 60
- איור 28: אחוז נבחני 5 יחידות מתמטיקה המתקבלים ללימודי הנדסה בתחומים השונים באוניברסיטאות ובמכללות, 2015/16 (נתוני למ"ס)..... 61
- איור 29: ציון פסיכומטרי ממוצע למתקבלים ללימודי הנדסה באוניברסיטאות ובמכללות על פני זמן..... 63
- איור 30: השינוי על פני זמן במספר היחסי של הסטודנטים בהנדסה באוניברסיטאות ובממוצע הפסיכומטרי של המתקבלים ללימודי הנדסה באוניברסיטאות (נתוני למ"ס)..... 64
- איור 31: החלק (%) של מהנדסים בוגרי אוניברסיטאות ומכללות שגויסו לחברות בתחום הטכנולוגיה העילית במהלך חמש השנים האחרונות..... 65
- איור 32: חלק (%) הסטודנטים הלומדים הנדסה במגזרים השונים מכלל הלומדים במערכת ההשכלה הגבוהה באותו מגזר, 2015/16..... 66
- איור 33: אחוז הנשים מסך הסטודנטים בשנה הראשונה באקדמיה לפי תחומים, נתוני למ"ס 2015/16..... 66
- איור 34: מבנה סכמתי של המעבדה..... 86
- איור 35: מבנה סכמתי של מכון Broad..... 90
- איור 36: תיאור סכמתי של דרך הפעולה של המרכז האקדמי..... 94
- איור 37: תחומי הפעולה המקצועית-מדעית בליבה (א) ובמוקדים (ב)..... 95

רשימת טבלאות

- טבלה 1: האופי של קורסי אנליזה וקורסי תכן בהכשרה של מהנדסים, מתוך כץ..... 21
- טבלה 2: כישורים ואמצעים להעצמת המוטיבציה בקורס מבוסס על לימוד מתוך פרויקט/בעיה..... 32
- טבלה 3: מאפיינים של שינוי מוצלח באוניברסיטאות בחינוך מהנדסים..... 36
- טבלה 4: המלצות לצעדים לשינויים בתוכניות הכשרה של מהנדסים..... 36
- טבלה 5: חולשות בקרב צעירים בוגרי לימודי הנדסה אשר עלו בסקר של תעשיינים בקנדה..... 41
- טבלה 6: פרוט הכישורים בסקר של בוגרי הנדסת מכונות ב-MIT..... 45

תקציר מנהלים

רקע

בקרב קובעי המדיניות במדינת ישראל ובקרב הציבור קיימת הערכה בדבר חוסר במהנדסים הנדרשים לקיים ולפתח את המדינה, בסקטור הפרטי והציבורי. הערכה זו מתבססת על מספר דוחות שהוכנו על ידי גורמים ממשלתיים^{1,2}. מחקר של מוסד שמואל נאמן שפורסם לאחרונה מגיע למסקנה שבאופן כללי אין מחסור גורף במהנדסים במדינת ישראל וההיקף של בוגרי הנדסה באוניברסיטאות ומכללות די בו כדי לענות על הצורך הכולל³.

לכאורה יש סתירה בין דוחות הממשלה ובין המחקר של מוסד נאמן. יחד עם זאת, אם מתעמקים בדוחות הממשלתיים מסתבר שאין להסיק מהם שמסתמנת מגמה ברורה של חוסר כללי במהנדסים, אך עולה הערכה שיש חוסר בסקטורים מסוימים ובמיוחד במהנדסים בעלי פרופיל איכותי. בהקשר זה עולה גם השאלה של ההבדל בין הפרופיל של מהנדסים שהוכשרו באוניברסיטאות ובמכללות, כאשר על פניו נראית העדפה של התעשייה לבוגרי האוניברסיטאות.

מתוך הדו"ח עולות סוגיות לגבי אופי ההכשרה של מהנדסים, יחסי הגומלין בין בוגרי אוניברסיטאות ומכללות ומחסור במועמדים מצטיינים. בדיון בסוגיות אלה מן הראוי לתת את הדעת לנתונים של המתקבלים ללימודים אקדמיים בתחומים השונים, באוניברסיטאות ובמכללות.

האתגר

חדשנות המונעת על ידי קידום מדעי וטכנולוגי היא מרכיב מרכזי בקידום כלכלי וחברתי של מדינה מודרנית במאה ה-21. מנוע צמיחה זה ותפקידו בחברה הוא במידה רבה פרי של מהלכים של עשרות השנים האחרונות אשר התבססו על המיזוג של מדע והנדסה ל"מדעי ההנדסה" במסגרת של אוניברסיטאות מחקר בכלל ואוניברסיטאות מחקר טכנולוגיות בפרט, כפי שבא לידי ביטוי בחינוך מהנדסים, במחקר ובקשרי אקדמיה-תעשייה. על רקע זה תפסו מהנדסים תפקידי מנהיגות מקצועיים וניהוליים במערך החדשנות הלאומית בכלל ובתעשייה בפרט. תפקיד מוביל של מהנדסים במערך החדשנות הלאומי הנו רלוונטי לא רק לתעשיית הטכנולוגיה העילית כי אם גם לתעשיות המסורתיות המשועות לחדשנות.

בשנים האחרונות נצפו מגמות שמהנדסים מתחילים לאבד את תפקידי ההובלה והמנהיגות בקרב מקבלי החלטות וגם בתעשייה, כפי שבא לידי ביטוי בפרופיל של מנהלים בתעשייה ומובילי פרויקטים הנדסיים, אשר בהם נוצרת מגמה לעדיפות לכלכנים ומשפטנים מתוך נטייה לראות במהנדסים "טכנולוגים" או "טכנאים"⁴ האמורים לסייע בתחומים מוגדרים, אך לא להוביל תהליכים.

המגמה לאיבוד המנהיגות וההובלה של המהנדסים במערך החדשנות הלאומי טומנת בחובה סכנה לעתיד מקצוע הנדסה בכלל ולאוניברסיטאות המחקר הטכנולוגיות בפרט⁴ וזאת תוצאה של איבוד המעמד שלהן בכל הקשור ליכולתן למשוך אליהן נוער מצטיין כעתודה הנדסית המחקרית של העתיד וכן גם ביכולת לגייס משאבים הנדרשים לקיום המחקר המדעי והנדסי, כאשר בקרב קובעי המדיניות יש פיחות במעמד המהנדסים.

על רקע מצב זה והסיכונים הטמונים בו לטווח הארוך, יש מקום וצורך לבחון כיצד לשלב בחינוך המהנדסים מרכיבים שיחזקו ויקנו להם כישורי מנהיגות הדרושים להובלת תהליכים ליישום של

¹ המחסור בכוח אדם מיומן בטכנולוגיה עילית, המלצות הצוות הבינמשרדי בראשות יוג'ין קנדל, 2012

² הגדלת היצע כח אדם מיומן הנדרש לתעשייה עתירת ידע, דו"ח ועדת היגוי בראשות מיכל צוק, משרד הכלכלה, 2014

³ ב.בנטל, ד.פלד, האם קיים מחסור בבעלי תארים אקדמיים במדע וטכנולוגיה, טיוטת דו"ח מוסד נאמן, ספטמבר 2016 דוח פלד-בנטל

⁴ J.D.Duderstadt, Engineering for a changing world: A roadmap to the future of engineering practice, research and education, The Millenium Project, University of Michigan, 2008

הפוטנציאל של הפיתוחים בחזית המדע לטובת החברה והכלכלה, במגוון התעשיות, עתירות הידע והמסורתיות, תוך שימור וטיפוח במקביל של הליבה של מדעי ההנדסה.

מטרת המסמך הנוכחי להוות בסיס לסיעור מוחות לצורך העמקה ולימוד הנושא של טיפוח מנהיגות מדעית-הנדסית-מקצועית, מתוך מטרה להגדיר את הצרכים בתחומים אלה, תוך אפיון ותיעוד הסוגיות המרכזיות אשר אליהן צריך להתייחס ולגביהן להציע דרכי פעולה.

◀ הנדסה במאה ה-21

במאה השנים האחרונות חלו שינויים משמעותיים בתפקיד ובפרופיל של המהנדס, וזאת על רקע ההתקדמות במדע והשינויים בחברה. ניתן לסכם שינויים אלה בקצרה במסגרת של שלושה שלבים, שהאחרון בהם מייצג את הצרכים של המאה ה-21 אשר בה מתהווה המהפכה התעשייתית הרביעית:

- עד 1950 – מיקוד בפרקטיקה, תכנון לפי תקנים, קודקסים ותהליכים מוגדרים, שימוש מוגבל במתימטיקה, חברי סגל בעלי ניסיון תעשייתי
 - 1950 – 2000 – התמזגות של הנדסה ומדע, וגיבוש "מדעי ההנדסה" כליבת החינוך ההנדסי, הבנה בסיסית של תהליכים, אנליזה על בסיס מדעי, חברי סגל שהתמחותם מחקר אקדמי
 - מ-2000 – מצד אחד ירידה לרמת מיקרו וננו עד מולקולרי להבנה בסיסית של תהליכים בתחום מדעי הטבע והחיים, כושר אנליטי ותכנון bottom up תוך שילוב כלי מחשוב מתקדמים, ומצד שני עלייה לממדים חברתיים וכלכליים רחבים, באינטגרציה של טכנולוגיות, התגברות הרב תחומיות במחקר ובמקום העבודה, החדירה של מחשוב בצורה העמוקה ביותר בכל היבטי עבודת המהנדס, וצורך בכישורים אישיים בהיבטים של עבודת צוות, תקשורת בינאישית, מנהיגות של חדשנות בתכן, בייצור ובפיתוח, כשהם מלווים בשאיפה לשיפור והתעדכנות מתמדת.
- כל התהליכים הללו מתמזגים ומעצימים אחד את השני ובכך מהווים את הכוח המניע למהפכה התעשייתית הרביעית.

על רקע זה עולה הצורך לבחון מחדש את ההכשרה של המהנדס המודרני וכנגזרת מכך את דרכי הפעולה באקדמיה בכלל ובאוניברסיטאות המחקר בפרט, אשר להן תפקיד מרכזי בהכשרת מהנדסים שיתפסו תפקידי מנהיגות ויביאו לידי מימוש את ההתקדמות המדעיות.

עבודה בתחום זה בוצעה במוסד נאמן בשנות ה-90 של המאה הקודמת, "חינוך הנדסי 2001" ולאור השינויים שחלו מאז יש מקום לפעולה מחודשת בנושא זה.

◀ סוגיות לדיון

המסמך הנוכחי נועד להיות מסמך רקע להתנעת תהליך לאומי וטכניוני לדיון בצורך לבחון מחדש את החינוך של מהנדסים. במסגרת זו יש צורך בהגדרת שאלות המחקר והיקפן, ובמיוחד הצורך באיזון שבין הרחבה לפיתוח כישורים בחדשנות, יצירתיות ויזמות הנדרשים לקידום מנהיגות הנדסית, ובין העמקה דיסציפלינרית.

לקידום הנושא הזה מוצע למקד את הסוגיות ולצאת מתוך הנחה שבחינוך למהנדסים יש גוונים השונים מחינוך של מדענים, למרות שיש הרבה מן המשותף. לכן במסמך זה איננו כורכים את הדברים ביחד כפי שנעשה לעיתים תחת הכותרת "חינוך למדע וטכנולוגיה".

רמת מיקוד נוספת המוצעת כאן היא להתייחס למשימות החינוך ההנדסי ברמת האקדמיה בלבד מבלי להיכנס לסוגיות של ההכשרה הנדרשת לצעירים ברמת החינוך היסודי והתיכוני כדי להכשירם ללימודי הנדסה באקדמיה ומשיכה שלהם לכיוון זה. ברור הוא שקשרי הגומלין הם חזקים, וחלק מהאתגרים והקשיים בחינוך ברמה האקדמית הם פועל יוצא של חוסרים בחינוך המוקדם יותר. דיון בצרכים ברמה החינוך הקדם אקדמי מתנהל באופן אינטנסיבי, במקביל ובנפרד, כפי שאנחנו עדים לו כיום בארץ, כמו למשל בסוגיה של חינוך ל-5 יחידות במתמטיקה.

ברוח זו מוצגות להלן מספר שאלות לדין שנועדו להתנעת תהליך החשיבה:

- אפיון פרופילים (אחד? כמה?) של המהנדס במאה ה-21 בהתאם להתפתחות הצרכים בתעשייה, בכלכלה, בחברה והתפתחויות המהירות בטכנולוגיה ובמדעי ההנדסה
- מבנה ואופי החינוך ההנדסי באקדמיה הנגזרים מהצרכים והתפתחויות של ההנדסה במאה ה-21:
- ✓ ידע וכישורים דרושים ומשתנים
- ✓ פיתוח הנדסה כללית (ז.א. הנמכת חומות דיסציפלינריות) והתמחות בשנות הלימוד המתקדמות או בתואר שני
- ✓ הבדלים בין חינוך מהנדסים וחינוך מדענים
- ✓ התנסות כחלק מחינוך מהנדסים: במסגרת הלימודים? כחלק מסטאז' מובנה במקום העבודה? שילוב ביניהם? תפקיד התעשייה בהכשרת מהנדסים? עידוד התנסות סטודנטים בתעשייה בזמן הלימודים?
- ✓ ההשלכות של השינוי באופי המחקר והקידום המדעי לכיוון רב תחומי והתמזגות (convergence) על החינוך ההנדסי, בכל הקשור בהובלת תהליכי חדשנות ויזמות⁵
- אוניברסיטאות ומכללות: האם יש צורך במהנדסים בעלי פרופילים שונים של כישורים (כישורים טכניים בלבד לעומת כישורי מנהיגות בנוסף לכישורים טכניים)? כישורים שונים של בוגרי אוניברסיטאות ומכללות? ("מהנדס טכני" לעומת "מהנדס מנהיג" עם רקע חזק בתחומי מדע, חברה וכלכלה?)
- הכשרת מהנדסים ללימודים על פני כל משך החיים ("ללמוד ללמוד") לצורך התעדכנות מתמדת והסבה/התאמה מקצועית בהתאם לצרכי השוק
- התאמת תכניות לימודים בזמני תגובה קצרים לשינויים בתעשייה, בטכנולוגיה ובמדעי ההנדסה
- שימור וחיזוק המעמד המנהיגותי של המהנדס
- דרכים לגיוס נוער עם פרופיל של מצינות ויכולת מנהיגות לבחירת מסלול של קריירה הנדסית, ובנוסף גיוס מקרב מגזרי חברה שאינם משתתפים כיום בלימודי הנדסה בהיקפים ניכרים, חרדים ובני מיעוטים
- דרכים לגיוס בנות ללימודי הנדסה ומסלולי קריירה תעשייתית-הנדסית
- אופי קשרי אקדמיה-תעשייה בהיבט של תרבות האוניברסיטה והנגזרות שלה בחינוך מהנדסים
- פרופיל של חברי סגל המחקר וההוראה בהנדסה, שילוב סינרגטי בין מחקר להוראה
- גיבוש ויישום מתכונות וטכנולוגיות הוראה מתקדמות והכשרת מהנדסים
- התאמות נדרשות בחינוך מהנדסים עקב שינויים באופיים ונטיותיהם של הסטודנטים והסטודנטיות

⁵ P.A.Sharp, Meeting global challenges: Discovery and innovation through convergence, Science, December 2015, 1468-1472

1. מבוא

בקרב קובעי המדיניות במדינת ישראל ובקרב הציבור קיימת הערכה בדבר חוסר במהנדסים הנדרשים לקיים ולפתח את המדינה, בסקטור הפרטי והציבורי. הערכה זו מתבססת על מספר דוחות שהוכנו על ידי גורמים ממשלתיים^{6,7}. מחקר של מוסד שמואל נאמן שפורסם לאחרונה מגיע למסקנה שבאופן כללי אין מחסור גורף במהנדסים במדינת ישראל וההיקף של בוגרי הנדסה באוניברסיטאות ובמכללות די בו כדי לענות על הצורך הכולל⁸.

לכאורה יש סתירה בין דוחות הממשלה ובין המחקר של מוסד נאמן. יחד עם זאת, אם מתעמקים בדוחות הממשלתיים מסתבר שאין להסיק מהם שמסתמנת מגמה ברורה של חוסר כללי במהנדסים, אך עולה הערכה שיש חוסר בסקטורים מסוימים, במיוחד במהנדסים בעלי פרופיל איכותי. בהקשר זה עולה גם השאלה של ההבדל בין הפרופיל של מהנדסים שהוכשרו באוניברסיטאות ובמכללות, כאשר על פניו לפי דוחות אלה נראית העדפה של התעשייה לבוגרי האוניברסיטאות.

בהקשרים אלה מובאים להלן מספר ציטוטים מהמסקנות של דו"ח הצוות המשרדי משנת 2012⁶.

- I. במגזר העסקי קיים **מחסור בכוח אדם מיומן ברמה גבוהה בעיקר בתחומי המחשוב (מדעי המחשב והנדסת מחשבים ואלקטרוניקה)**, בדגש על תפקידי מחקר ופיתוח. המחסור אינו אחיד על פני כל המקצועות, ובחלק מן המקצועות יתכן שאף מתקיים עודף היצע. יש להדגיש כי המחסור נובע בעיקר מן הצמיחה המהירה בתעשייה עתירת הידע, שאינה עולה בקנה אחד עם הקצב הלא מספק של הגידול בכוח אדם בתחומים אלה.
- II. למרות שמסתמן כי בכלל המשק הישראלי קיים מחסור יחסי בכוח אדם מיומן, הצוות לא זיהה בצורה ברורה מחסור גדול בהיקפו בכוח אדם מיומן במגזר העסקי בתחומים אחרים, לרבות מדעים מדוייקים, תחומי הנדסה נוספים, ומדעי החברה. בפרט, זיהה הצוות **עודף היצע משמעותי של כוח אדם מיומן בתחומי מדעי החיים**.
- III. נראה כי **עיקר המחסור הינו בבוגרי אוניברסיטאות מצטיינים בתחומי החומרה והתכנה בעלי ניסיון תעסוקתי**. עוד נמצא כי ישנם מקרים רבים בהם התעשייה מסתייגת מהעסקת בוגרי מכללות במקצועות הרלוונטיים.

הצוות זיהה מספר מקורות למחסור:

1. **החלשות בזרם המצטרפים החדשים לשוק העבודה במקצועות הנדרשים** הנובעת מירידה יחסית במספר הסטודנטים במקצועות הנדרשים, וזאת בין היתר כתוצאה מירידה ברמת המצוינות הטכנולוגית של תלמידי התיכון לאורך השנים, עלייה בשיעור הבוחרים ללמוד מקצועות פחות נדרשים על בסיס שיקולים שונים, וכניסה מועטה של אוכלוסיות מיוחדות, כגון נשים וחרדים, לתחומים אלו.
2. **איכות לא מיטבית של ההכשרה והתאמתה לשוק** הנובעת מאילוצים שונים של מערכת ההשכלה הגבוהה, לצד חוסר מסוים בתיאום בין החומר הנלמד במכללות לבין צרכי המשק. תופעות אלו, לצד עליית חלקן היחסי של המכללות בכלל הלומדים לתואר מביאות לכדי ירידה מסוימת בהכשרת מהנדסים.

מן הראוי לציין שצוות הדו"ח הבינמשרדי⁶ לא הגיע למסקנות חד משמעיות בנושא המחסור בתחומי ההנדסה האזרחית, שכן לצד עדויות רבות אודות מחסור לא נמצאה עלייה מקבילה בשכר והם המליצו על הצורך בבדיקה מעמיקה בתחום זה.

⁶ המחסור בכוח אדם מיומן בטכנולוגיה עילית, המלצות הצוות הבינמשרדי בראשות יוג'ין קנדל, 2012

⁷ הגדלת היצע כח אדם מיומן הנדרש לתעשייה עתירת ידע, דו"ח ועדת היגוי בראשות מיכל צוק, משרד הכלכלה, 2014

⁸ ב.בנטל, ד.פלד, האם קיים מחסור בבעלי תארים אקדמיים במדע וטכנולוגיה, טיוטת דו"ח מוסד נאמן, ספטמבר 2016 דוח פלד-בנטל

ניתן למצוא מכנה משותף בכל הדוחות הללו אשר ממנו מסתמנות המסקנות הבאות:

- אין מחסור גורף במקבלי תארים אקדמיים בתחומי מדע וטכנולוגיה
- המחסור אינו אחיד על פני כל המקצועות, ובחלק יתכן שאף מתקיים עודף היצע
- מחסור בכוח אדם מיומן ברמה גבוהה בעיקר בתחומי המחשוב בתפקידי מו"פ
- מחסור בבוגרי אוניברסיטאות מצטיינים ובעלי ניסיון בתחומי החומרה והתוכנה
- הסתייגות מסוימת מהעסקת בוגרי מכללות ורמת ההכשרה במוסדות אלה

הוויכוח הציבורי שהתנהל בעקבות הוצאת הדו"ח של מוסד נאמן⁸ עסק בסוגיה הכמותית, האם יש מחסור במהנדסים. אבל, מהנקודות שסוכמו לעיל עולה שהסוגיה המרכזית כפי שמסתמנת מהדוחות השונים היא לאו דווקא הכמות כי אם הפרופיל והאיכות של המהנדסים שמכשירה המערכת האקדמית. מעניין לציין שוויכוח דומה התקיים בארה"ב, וגם שם הסתבר שהתעמקות במצב מצביעה על כך שהבעיה המרכזית היא נושא האיכות והפרופיל של המהנדס ולא דווקא ההיבט הכמותי⁹.

- Industry executives and university presidents from most prestigious companies and universities in the US have been claiming for several years that there is a shortage of engineers graduating from US universities.
- What is often meant, but usually unsated, is that the shortage is of highly innovative U.S.-born engineering graduates who are prepared to immediately enter the work force and make innovative contributions to the level U.S. companies need

על הרקע הזה עולה הצורך לבחון את הפרופיל של המהנדס שיידרש במאה ה-21 ועל בסיס זה לנתח את התוכניות ודרכי ההכשרה של מהנדסים בעידן של המאה ה-21, תוך התייחסות לצרכים במדינת ישראל על רקע ההתפתחויות הגלובליות.

⁹ Educating 21st Century Engineers, J.Gover and P.Huray, IEEE-USA, 2007

2. הרקע ההיסטורי והאתגר לעתיד

במאה השנים האחרונות חלו שינויים משמעותיים בתפקיד ובפרופיל של המהנדס, וזאת על רקע ההתקדמות במדע והשינויים בחברה. ניתן לסכם שינויים אלה בקצרה במסגרת של שלושה שלבים, שהאחרון בהם מייצג את הצרכים של המאה ה-21:

- עד 1950 – מיקוד בפרקטיקה, תכנון לפי תקנים, קודקסים ותהליכים מוגדרים, שימוש מוגבל במתימטיקה, חברי סגל בעלי ניסיון תעשייתי
- 1950 – 2000 – התמזגות של הנדסה ומדע, וגיבוש "מדעי ההנדסה" כליבת החינוך ההנדסי, הבנה בסיסית של תהליכים, אנליזה על בסיס מדעי, חברי סגל שהתמחותם מחקר אקדמי
- מ-2000 מצד אחד ירידה לרמת מיקרו וננו עד מולקולרי להבנה בסיסית של תהליכים, כושר אנליטי ותכנון bottom up תוך שילוב כלי מחשוב מתקדמים, ומצד שני עלייה לממדים חברתיים וכלכליים רחבים, באינטגרציה של טכנולוגיות, התגברות הרב תחומיות במחקר ובמקום העבודה, החדירה של מחשוב בצורה העמוקה ביותר בכל היבטי עבודת המהנדס, וצורך בכישורים אישיים בהיבטים של עבודת צוות, תקשורת בינאישית, מנהיגות של חדשנות בתוך, בייצור ובפיתוח, כשהם מלווים בשאיפה לשיפור והתעדכנות מתמדת.

השינויים הללו להם אנחנו עדים בשנים האחרונות הם הכוח המניע למהפכה התעשייתית הרביעית אשר מאפייניה העיקריים לפי התחזית של הפורום הכלכלי העולמי הם^{10,11}:

- *Developments in previously disjointed fields such as artificial intelligence and machine learning, robotics, nanotechnology, 3D printing and genetics biotechnology are all building on and amplifying one another.*
- *Smart systems – homes, factories, farms, grids or entire cities – will help tackle problems ranging from supply chain management to climate change.*
- *Concurrent to this technological revolution are a set of broader socio-economic, geopolitical and demographic developments, each interacting in multiple directions and intensifying each other.*

מניתוח זה רואים בברור את החשיבות ההולכת ועולה של הון אנושי בעל כישורים טכנולוגיים מתקדמים, אך עם פרופיל שהוא שונה ורחב יותר מזה של המהנדס אשר המערכת האקדמית מכשירה כיום.

על רקע שינויים מפליגים אלה עולה הצורך לבחון מחדש את ההכשרה של המהנדס המודרני וכנגזרת מכך את דרכי הפעולה באקדמיה בכלל ובאוניברסיטאות המחקר בפרט, אשר להן תפקיד מרכזי בהכשרת מהנדסים שיתפסו תפקידי מנהיגות ויביאו לידי מימוש את ההתקדמויות המדעיות.

עבודה בתחום זה בוצעה במוסד נאמן בשנות ה-90 של המאה הקודמת, "חינוך הנדסי 2001"¹² ולאור השינויים שחלו מאז יש מקום לפעולה מחודשת בנושא זה.

המסמך הנוכחי נועד להיות מסמך רקע למטרת התנעת תהליך חשיבה לדיון בצורך לבחון מחדש את החינוך של מהנדסים כדי לגבש תובנות במיוחד לגבי הצורך באיזון שבין הרחבה לפיתוח כישורים בחדשנות, יצירתיות ויזמות הנדרשים לקידום מנהיגות הנדסית שהיא בסיס חשוב בקידום חברה מודרנית.

¹⁰ The future of jobs: employment, skills and workforce strategy for Fourth Industrial revolution, World Economic Forum 2016

¹¹ The fourth industrial revolution, Klaus Schwab, World Economic Forum, 2016

¹² Engineering education 2001, Z.Tadmor, Z.Kohavi, A.Libai, P.Singer and D.Kohn, Neaman Institute, Technion, 1987

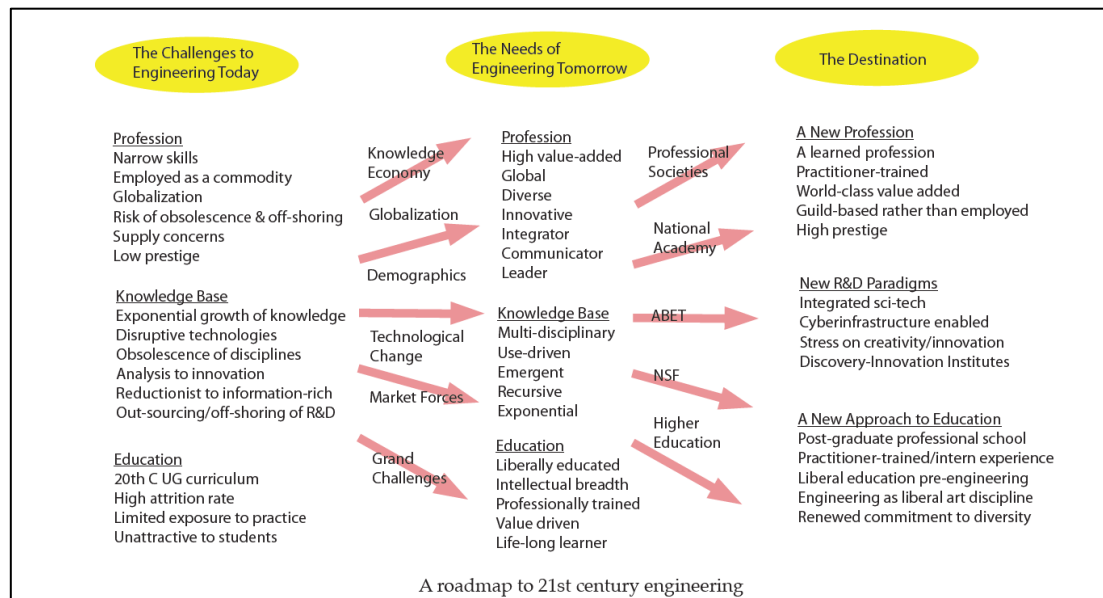
3. הנדסה במאה ה-21

לצורך ניתוח הכישורים הנדרשים ממהנדס במאה ה-21 מן הראוי לתת את הדעת ראשית כל על מהות ההנדסה במאה ה-21, כאשר חינוך מהנדסים הוא רק אחד מהנדבכים שיש לבחון.

מספר דוחות עסקו בנושא זה כאשר אחד הבולטים הוא המסמך Engineering for a changing world של W.J.Dudersrad¹³. עבודה זו כללה חקירה לעומק להגדרת האתגרים ועל בסיסם גיבוש מטרות וצעדים מעשיים. במסמך זה יש התייחסויות לחינוך, מחקר והמעמד של ההנדסה כמקצוע (profession), שיהיה בו מן העוצמה והחשיבות שהשיגו לעצמם מקצועות כדוגמת רופאים ועורכי דין, אשר במידה רבה פועלים במתכונת של גילדות, במובן החיובי של המלה.

על בסיס ניתוח רחב ועמוק הוצעה בדוח זה מפת דרכים, איור 1.

איור 1: מפת דרכים להנדסה במאה ה-21¹³



הניתוח של מצב ההנדסה והשינויים הנדרשים בעתיד הולך למספר מסקנות שהעיקריות שבהן מוצגות להלן. המסקנות הללו הן מנקודת מבט של ארה"ב אך הן ללא ספק רלוונטיות לישראל המטילה את ידה על חדשנות טכנולוגית ומתמודדת עם תחרות עולמית בתחום זה, גם עם מדינות מתפתחות אשר מכשירות כיום מהנדסים בהיקף ניכר וברמה גבוהה:

- החשיבות של חדשנות טכנולוגית (להבדיל מחדשנות בתחומים אחרים) כמנוע צמיחה בחברה המודרנית, מחייב מנהיגות בכל תחומי הפעולה של הנדסה: מחקר הנדסי לגישור על בין תגליות מדעיות ויישום, ופעילות מקצועית מתוך ראיית ההנדסה כמקצוע (profession) הפועל כמוקד ומנוע לתרגום ידע למוצרים חדשניים ותחרותיים
- תחרות עם מהנדסים מוכשרים במדינות אחרות שבהן השכר נמוך יותר ועל כן הצורך במהנדסים המסוגלים להביא ערך מוסף גדול במיוחד
- קידום המעמד של המהנדסים, הענקת יוקרה ויכולת השפעה גם כדי למשוך מועמדים מצטיינים למקצוע זה

¹³J.D.Duderstadt, Engineering for a changing world: A roadmap to the future of engineering practice, research and education, The Millennium Project, University of Michigan, 2008

- להשגת מטרות אלה יש צורך בהרחבת ההשכלה של המהנדס. מקצועות אחרים, דוגמת משפטים, רפואה, עסקים וארכיטקטורה כבר פנו מזה זמן רב לכיוון של הרחבת בסיס מדעי הרוח בחינוך לתואר ראשון. בהקשר זה הצורך הוא בהרחבה של הכישרים לכיוון של הנדסת מערכות, חדשנות, יזמות, סינתזה, ייצור ותחזוקה ופרקטיקה הנדסית גלובלית.

על בסיס ניתוח זה הוצגו מספר מטרות שיש להשיג:

- מיצוב ההנדסה כמקצוע (profession) בעל השפעה ומעמד בדומה למשפטים ורפואה, עם מערכת נרחבת של לימודים מתקדמים ותרבות שהיא יותר קרובה ל"גילדה" (במובן החיובי של המלה) מאשר למועסקים של חברות
 - הגדרה מחדש של המחקר ההנדסי תוך פיתוח פרדיגמות מחקריות חדשות המתייחסות גם לצרכים חברתיים ולא רק מתודולוגיות המאפיינות מחקר מדעי
 - לאמץ גישה מחקרית לחדשנות ושיפור מתמשך בחינוך ההנדסי תוך הכרה בצורך בהתייחסויות בעלות אופי רחב כדי לענות על מגוון של צרכים הנדסיים של החברה
- כנגזרת מכל אלה הוצעו מספר צעדים לקידום ההנדסה בכל תחומי פעילותיה:

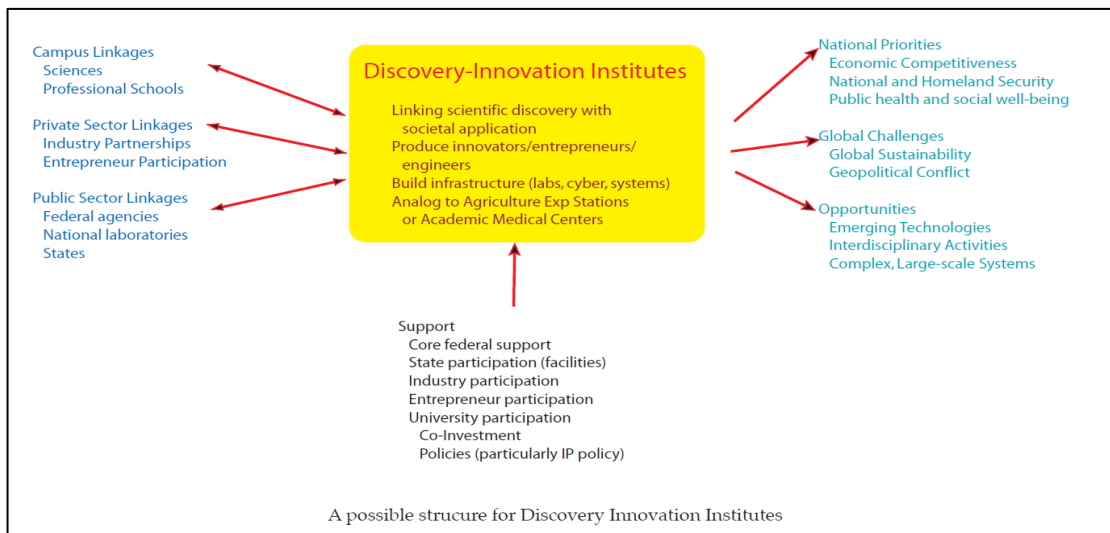
- פעילות משולבת של ארגונים הנדסיים ולאומיים, בהקשר של ארה"ב –

National Academy of Engineers, ABET, the American Association of Engineering Societies, American Society for Engineering Education

ליצירת תרבות דמוית גילדה בדומה למודל הקיים במשפטים ורפואה

- הקמת מכוני מחקר הנדסיים בעלי אופי השונה מהמוכר כיום^{14,13}, אשר יחברו תגליות מדעיות עם חדשנות טכנולוגית, למשל מודל מוצע באיור 2. מכונים אלה אשר אמורים להיות מוקמים במוסדות אקדמיים יהוו גם חלק מתשתית ההוראה להכשרת מהנדסים, בכך שיהוו פלטפורמה שתאפשר לימוד תוך כדי התנסות

איור 2: מבנה אפשרי למכון לחדשנות¹³



- גיבוש משותף עם התעשייה של תכניות ללימודים מתקדמים על בסיס מקצועי שיהיו בעלי אוריינטציה מעשית

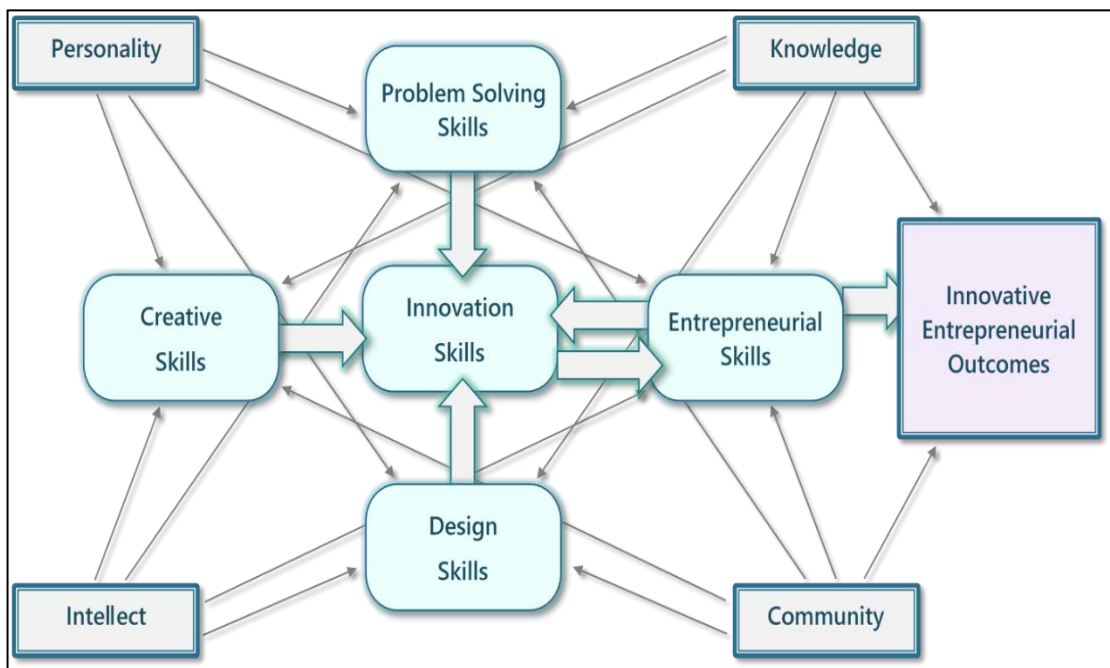
¹⁴ A new vision for center-based engineering research, Committee on a vision for the future of center-based multidisciplinary engineering research, National Academy of engineers, The National Academies Press, 2017

- גיבוש מחדש של תכניות הלימודים לתואר ראשון שיהיו מאופיינות בהשכלה רחבה יותר להכשרת הבוגרים לקריירה מתמשכת רבת שנים ולא דווקא לפרקטיקה מקצועית ספציפית

הנושא של חדשנות הנדסית זוכה ללא מעט התייחסויות במאמרים רבים ובתוכניות שונות, וההגדרה שלו והדרך להקנות אותו לסטודנטים אינן פשוטות וחד משמעיות, ראה למשל מקור¹⁵.

הגישה המתגבשת מדגישה שחדשנות הנדסית מחייבת לא רק נדבך של ידע מדעי והנדסי כי אם גם יכולות הכוללות מגוון כישורים ואישיות, אשר אינן בהכרח מולדות וניתנות גם לרכישה או לפחות לשיפור. המרכיבים של מרחב החדשנות כוללים יצירתיות, פתרון בעיות, חשיבה תכנונית, ויזמות. קשרי הגומלין ביניהם הנם רבים כפי שניתן לראות בתיאור הסכמטי שבאיור 3.

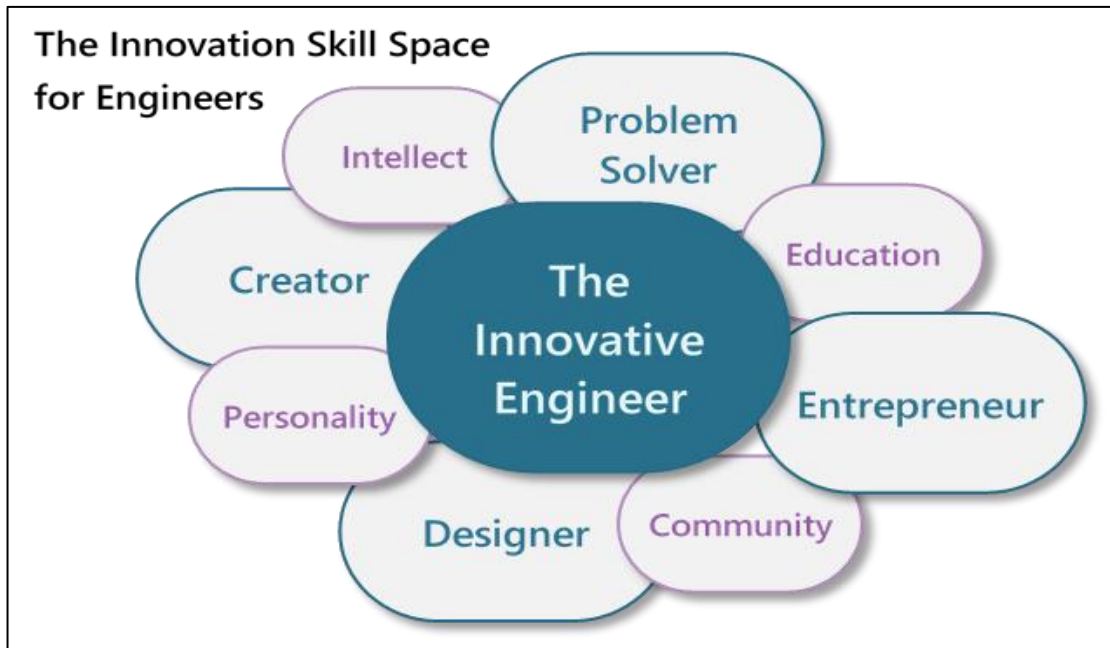
איור 3: מיפוי עקרוני של מרחב החדשנות¹⁵



התיאור באיור 3 הוא של מרחב החדשנות. קיימת אבל חפיפה רבה בין הגורמים במרחב זה והמשתמע מהם לגבי היכולות הנדרשות לחדשנות הנדסית, כפי שמוצג בצורה סכמתית באיור 4.

¹⁵ Ferguson, D. M. and Ohland, M. W. (2012). What is Engineering Innovativeness? International Journal of Engineering Education, 28(2), 253

איור 4: דיאגרמה לתיאור מרכיבי החדשנות ההנדסית¹⁵



המתווים הללו לשינויים בהנדסה הנם מרחיקי לכת ומעוררים לא מעט התנגדויות קשות¹³. חלקים בתעשייה יעדיפו מערכת המאפשרת העסקה בשכר נמוך של מהנדסים מוכשרים בתפקידים צרי אופק, אשר ניתנים להחלפה ע"י מהנדסים ממדינות אחרות. מחנכים לא מעטים יעדיפו לשמר את המצב הקיים כפי שקורה לא אחת באקדמיה. המגוון הרחב של הדיסציפלינות ההנדסיות ימשיכו להתקדם על בסיס של מטרות מוגדות וכל זאת בקולות מתבדרים ולא אחידים, המונעים יצירת תרבות של גילדה כמו ברפואה ומשפטים. הדבר מוצא ביטוי מעשי בגידול בפערי השכר, על כל המשתמע מכך בירידה באטרקטיביות של מקצוע ההנדסה.

בהצגת מתווה לשינויים יש על כן צורך להביא בחשבון את ההתנגדויות ולבחור בדרכים שיאפשרו שינוי אפקטיבי.

4. פרופיל המהנדס במאה ה-21

בחלק השני של המאה הקודמת, אחרי מלחמת העולם השנייה, ההתפתחות של ההנדסה התבססה על המיזוג שבין הנדסה ומדע: פיתוח יכולות אנליטיות המתבססות על מתימטיקה ומדעי הטבע, אשר לוותה בהתייחסות להנדסה מנקודת מבט מדעית, כפי שבא לידי ביטוי בהגדרת ההנדסה כ"מדעי ההנדסה", בפיצול שלה לדיסציפלינות רבות של התמחויות ספציפיות וגם בפרופיל חברי הסגל.

המאה ה-21 מביאה אתה שינויים במדע ובטכנולוגיה אשר להם השפעה עמוקה על ההנדסה, כאשר מלווים אותם הגברת קשרי הגומלין שבין ההנדסה ובין החברה והכלכלה, כאשר כל אלה מהווים את התשתית למהפכה התעשייתית הרביעית¹⁶.

בתחום המדע והטכנולוגיה השינויים הבולטים הם בעיקר קידום של כלים הנדסיים המתבססים על בקרת תהליכים ברמה המולקולרית, "הנדסה מולקולרית", אשר היישום שלהם חוצה על פני כל הדיסציפלינות ההנדסיות והיא מהווה בסיס למיזוג טכנולוגיות, *converging technologies*⁵, כדוגמת אלה המאפשרות אינטראקציה בין מדעי החיים וההנדסה תוך התבססות על כח מחשובי מרשים. שינוי זה מחייב גישה אשר בה נדרשים כישורים לגשר על תהליכים המתרחשים בזמן על פני טווח עצום של סדרי גודל, מהרמה המולקולרית עד לרמת המאקרו, בסדר גודל של סנטימטרים, מטרים ויותר. התהליכים הללו מחייבים הבנה יסודית של תהליכים כימיים, ביולוגיים ופיזיקליים, בשילוב עם כלי מחשב מתקדמים, הנדרשים לכימות התהליכים הללו עצמם ולמודלים המקשרים על פני הטווחים הרחבים של סדרי גודל, מהמולקולרי עד לרמת המאקרו. כל אלה הם בסיס לטכנולוגיות גנריות אשר יש לשלב אותן בכל הדיסציפלינות ההנדסיות המוכרות. מצב זה הוא כוח מניע הגורם לטשטוש הגבולות שבין הדיסציפלינות ההנדסיות השונות כפי שגם קורה בדיסציפלינות המדעיות. כל אלה באים לידי ביטוי בטכנולוגיות המבוססות על מיזוג (*converging technologies*) ולרב תחומיות (*multi-disciplinarity*), על כל המשתמע מכך לגבי הכישורים הנדרשים מהמהנדס המודרני.

בתחום קשרי הגומלין עם הכלכלה והחברה מתחולל שינוי משמעותי בתפקידו של המהנדס על רקע העובדה שטכנולוגיה היא כיום גורם מרכזי לקידום הכלכלה ואיכות החיים והסביבה. שינוי זה מחייב נדבך נוסף בכישוריו והכשרתו של המהנדס, והיטיבו להגדיר זאת בצורה תמציתית¹⁶ J.Gover and P.Huray:

"Because routine tasks can be done more cheaply offshore....US needs more engineers who can rapidly move on to next generation technologies, work well with customers and manage R&D teams...it is a gap between transactional engineers and dynamic ones. The former are good at fundamentals but have a hard time applying their knowledge to broader problems. Dynamic engineers are more capable of abstract thinking, work well in teams and can lead innovation"

נדרשים לכן מהנדסים בעלי יכולת להוביל תהליכים של חדשנות, והכישורים הנדרשים לכך הם מעבר להכשרה הבסיסית המדעית-טכנית. יכולות כאלה נדרשות לא רק בתעשיית הטכנולוגיה העלית כי גם בתעשייה המסורתית המשועת לחדשנות. בתעשייה זו, במיוחד בארץ, הפערים גדולים במיוחד, ולחדשנות שתהיה גם מנוע לפריון יש משמעות כלכלית וחברתית רצינית, לאור הגידול בפערים הכלכליים והחברתיים. על כן, הנדבך הנוסף של האתגרים למהנדס במאה ה-21 כוללים בין השאר:

- חדשנות ותחרותיות – יכולות להפוך ידע למוצרים, תהליכים ושירותים; טכנולוגיות מתקדמות מאפשרות הזדמנויות ליצירתיות ויכולות לשנות גם צורות לימוד

¹⁶ J.Gover and P.Huray , Educating 21st century engineers ,IEEE, 2007

- שיקולים חברתיים ופוליטיים שמשנים את המאזן הכלכלי המסורתי, הבאים לידי ביטוי בצורך בתכן מבוסס על שיקולים של סביבה, בריאות, ידידותיות למשתמש, Man Machine Interface, עלות מחזור חיים
- מעבר משוק המוטה לצרכים ביטחוניים-צבאיים לשוק מוטה לצרכים אישיים עם תחרות גלובלית, וכתוצאה מכך דגש על זמן לשוק, time to market, עלות, איכות, סיפוק המשתמש
- שינוי מתמיד בסביבת העבודה מחייב יכולות בין אישיות, הזדמנויות לתעסוקה גם בארגונים קטנים, תחומים לא מסורתיים
- קצב שינויים מסחרר, טכנולוגי, כלכלי, וחברתי, המצריך גמישות ותעוזה

כל אלה מחייבים מהנדס שהוא לא רק בעל יכולות טכנולוגיות ורקע מדעי, כי אם גם בעל יכולת למנהיגות, בכל הקשור לראייה רחבה של צרכים כלכליים וחברתיים וליכולת לאינטגרציה של טכנולוגיות ולהובלת תהליכים וצוותים. ניתן לתרגם את כל אלה לארבעה נדבכים הנדרשים מהמהנדס¹⁶:

1. מומחה ביישום עקרונות מדעיים ומתמטיים לפתרון בעיות
2. מומחה ליישום טכנולוגיה, בדרך כלל טכנולוגיה ספציפית לתחום הנדסי, לפתרון בעיה בעלת עניין לחברה
3. ממציא של מוצרים ושירותים לפתרון בעיות בעלות עניין לחברה
4. בעל יכולת לניהול פעילויות או אנשי עסקים לפתרון בעיות בעלות עניין לחברה

אנשי משאבי אנוש מתייחסים לעיתים למהנדסים במונחים של תחום 2 ורואים במהנדסים כטכנאים עם תואר אקדמי. ההבדל בין מהנדס וטכנאי הוא שחינוך הנדסי אמור להכשיר מהנדס לקריירה בכל ארבעת התחומים, בשעה שטכנאי מוכן בעיקר לקריירה בתחום 2.

בהקשר זה ראוי לצטט מהדו"ח לעיל¹⁶:

A degree in engineering has taught graduates a logical approach to problem solving that can be applied to problems students have not yet encountered. Because engineering technology is so dynamic, engineering schools must emphasize basic principles of engineering.

The educational goal is to produce a graduate that is able to adapt to new technology as it emerges.

מעסיקים לא מבינים נקודה זו ומדלגים על מועמדים הנדסיים משום שאין להם התמחות המתאימה למטרה הספציפית. מקצוע ההנדסה הוא לכן לעיתים הפחות מובן.

התיאורים הללו של פרופיל המהנדס עולים בקנה אחד עם התפקיד והייעוד שלו בחברה המודרנית, אשר אחד מיסודותיה החשובים הוא המדע והכוח המניע בה הוא יישום המדע לתועלת החברה והכלכלה. זו הצומת שבאחריות המהנדס המודרני, כפי שהיטיב להגדיר זאת כבר במאה ה-20 הרברט הובר, מהנדס עתיר הישגים ונשיא ארה"ב, תחת הכותרת במאמרו של, תומאס לונג –

¹⁷The Herbert Hoover Engineer, תוך ציטוט מקורות החיים של הרברט הובר¹⁸:

"The engineer is the person who brings to society the benefits derived from science; he stands between science and the achievement of good life.

It is a great profession.

There is the fascination of watching a figment of the imagination emerge through the aid of science to plan on paper.

¹⁷ Thomas A. Long, Herbert Hoover's Engineer, ASEE Annual Conference Proceedings, 1980, 217-219

¹⁸ Herbert Hoover, The Memoirs of Herbert Hoover, 5th printing, The MacMillan Company, New York 1951, Volume I, Chapter 11, The Profession of Engineering, pages 131-134

Then it moves to realization in stone, metal or energy.

Then it brings jobs and homes to man.

Then it elevates the standards of living and adds to the comforts of life.

That is engineer's high privilege."

5. "חשיבת תכן" ו-"חשיבה יזמית" כמרכיבים בחינוך מהנדסים

בפרק הקודם נפרשה היריעה על פני הצורך להרחיב את החינוך של מהנדס גם לדיסציפלינות שהן מעבר למקצועות הליבה הקלאסיים כדי לתת בידי יכולות לתכן של פתרונות שיענו על צרכים חברתיים וכלכליים. פן נוסף הנדרש כדי להביא לידי מימוש ידע זה הוא היכולת לאינטגרציה של כל אלה במסגרת של תכן וייזום של פרויקט ובכך להקנות לבוגר ההנדסה את הרקע שיאפשר לו לתפוס תפקידי מנהיגות. ברוח זו הגדירו במקור¹⁹ את התכן כהליך:

"Engineering design is a systematic, intelligent process in which designers generate, evaluate, and specify concepts for devices, systems, or processes whose form and function achieve clients' objectives and users' needs while satisfying a specified set of constraints"

בהקשר זה מן הראוי להתייחס גם לחשיבה יזמית אשר היא מרכיב בקידום מהלכי חדשנות ותכן בפרויקטים גדולים ומשמעותיים (להבדיל מיזמות במובן הצר של הקמת חברות) בהגדרתה על פי²⁰:

- *Entrepreneurial thinking – seeing the big picture of ingredients and imagining how the pieces fit together;*
- *In the world of complex problems, seeing the big picture is required but not enough;*
- *The entrepreneurial thinker must be also accomplished in one or more disciplines, a good team player, or team builder, and highly ethical because of the profound societal issues that are often involved"*

בעבר הייתה ההנחה שיכולות וכישורים הנדרשים לתכן ויזמות יירכשו על ציר הזמן לאחר סיום הלימודים, כחלק מההתנסות במקום העבודה תחת מנחה (מנטור) מתאים. הגישה כיום משתנה, גם משום שמתרבים מקומות התעסוקה שהם קטנים והאפשרות למנחים (מנטורים) שם פחות זמינה, אך גם ובעיקר מתוך ההערכה שהנושא של אינטגרציה הנדרש לתכן הוא תהליך המחייב חשיבה ייחודית, "חשיבת תכן", אשר את היסודות שלה מן הראוי לבסס כחלק מהחינוך האקדמי. חשיבה לתכן, כפי שניתן להסיק מהדיון המלווה את איורים 3 ו-4, מכילה בתוכה מרכיבים של חדשנות ויזמות, ועל כן חינוך מהנדסים ב"חשיבת תכן" יקנה או ישפר כישורים בתחום החדשנות והיזמות שהם מרכזיים כיום אצל מהנדסים האמורים לתפוס תפקידי מנהיגות מקצועיים.

באופן מסורתי, בחצי השני של המאה ה-20, חינוך מהנדסים התבסס על מודל "מדעי ההנדסה" שבו הלימוד והחינוך ההנדסי ניתן רק לאחר לימוד מעמיק של כשנתיים בתחומי מדע ומתימטיקה, המשמשים בסיס לשתי שנות לימוד נוספות בתחום "מדעי ההנדסה" או "אנליזה", אשר בהם הסטודנטים מיישמים עקרונות מדעיים לבעיות טכנולוגיות. אך גם בשלב זה של הלימודים החלק הארי של החינוך ההנדסי המסורתי הוא מנקודת מבט של "אנליזה" ופחות על "סינתזה" שהיא הבסיס לתכן. על רקע זה הבוגרים נתפסים לעתים על ידי התעשייה כבלתי מסוגלים לטפל בבעיות מעשיות.

בעיית תכן מייצגת את העובדה שיש יצרן, אשר מעוניין לשרת לקוח שעבורו המוצר אמור להיות מיוצר. חלק מתהליך התכן הוא הצבת שאלות והבנה שישנן מספר תשובות לשאלה נתונה ויש צורך להבהיר את התשובות האלטרנטיביות.

¹⁹ C.L.Dym, A.M.Agogino, O.Eris, D.D.Frey and L.J.Leifer, Engineering design thinking, teaching and learning, Journal of Engineering Education, January 2005, 103-120

²⁰ H.Thorp and B.Goldstein, Engines of Innovation: The Entrepreneurial University in the 21st Century, University of North Carolina, 2010

התכן עצמו הוא על כן תהליך קוגניטיבי מורכב המחייב שילוב של יכולות רבות של המתכנן:

- ✓ התמודדות עם חוסר בהירות באמצעות תהליך אינטראקטיבי
- ✓ לשמור מבט על התמונה הגדולה על ידי ראייה מערכתית
- ✓ טיפול באי-ודאויות
- ✓ קבלת החלטות בהתבסס על גיבוש חלופות וניתוחן
- ✓ חשיבה במסגרת וכחלק של צוות בתהליך שבאופיו הוא חברתי
- ✓ חשיבה ותקשורת במספר שפות תכנוניות

התכן ההנדסי הנו הבסיס בעשרות השנים האחרונות לפרויקטים בקנה מדה גדול, מגה פרויקטים, ובו בזמן גם פרויקטים לפיתוח מוצרים מורכבים העשויים ממספר גדול והולך של מרכיבים. כיום הדרישות בתכן הן להביא בחשבון שיקולים נרחבים נוספים כדוגמת היבטים סביבתיים וחברתיים. הצורך לטיפול שהולך ונעשה מורכב יותר הולך במספר אוניברסיטאות לקידום תכניות של הנדסת ותכן מערכות, המחייבות חשיבה מערכתית. מרכיבים חשובים במערך זה כוללים חשיבה במספר תחומים:

- דינמיקת מערכות, כדי לאתר תוצאות בלתי צפויות של אינטראקציה בין המרכיבים של מערכת סבוכה
- טיפול באי-ודאויות המחייבת תכן באמצעות מודלים שאינם בהכרח מושלמים ובפרמטרים לא מושלמים שאינם בהכרח מבוססים על מידע מלא; לצורך כך יש חשיבות לקידום של כלים סטטיסטיים וחשיבה הסתברותית בחינוך של מהנדסים
- תחשיבי אומדנים בהתבסס על אפיון מספר קטן יחסית של פקטורים שהם החשובים ביותר, גישה שהיא שונה מהמקובל כיום בחינוך מהנדסים המתבססת רק על תחשיבים מתוחכמים האמורים לתת תוצאות מדויקות ובכך ממעיטים מחשיבות אומדנים
- ניסויים לצורך קבלת מידע אמפירי אשר אותו לא ניתן להשיג על יד כלים ומודלים מדעיים בסיסיים, ובהקשר זה יש חשיבות לכלים של תכן ניסויים (experimental design)
- עבודת צוות, שהיא נדבך מרכזי בתכן, מחייבת פיתוח כלי תקשורת מתוך הבנה שמתמטיקה איננה השפה ההנדסית היחידה ועל המהנדס המתכנן לרכוש מיומנות בשפות נוספות:
- התנסחות הולמת בכתב ובע"פ
- הצגה גרפית
- מודלים מתמטיים ואנליטיים
- ערכים מספריים לתיאור פרמטרי תכן

ההטמעה של כל אלה בחינוך של מהנדסים היא אתגר לא פשוט המחייב כלים פדגוגיים השונים מאלה המקובלים בהוראה ה"קונבנציונלית", והם מבוססים במידה רבה על עקרונות של לימוד תוך כדי עשייה ומחקר. בתחום ההנדסי שיטות אלה הן בקטגוריה של לימוד מבוסס פרויקט (project based learning). הבחנה בין האופי של הקורסים המבוססים על גישה אנליטית המהווים את הבסיס ללימודים במקצועות "מדעי ההנדסה" ובין האופי הנדרש בקורסי תכן אשר אמורים להקנות "חשיבת תכן" נותחה על ידי כץ²¹ והיא מוצגת בצורה תמציתית בטבלה 1.

²¹ R.Katz, Integrated thinking in mechanical engineering education, International Journal for Engineering Education, 31 (6) 1613-1621, 2015

טבלה 1: האופי של קורסי אנליזה וקורסי תכן בהכשרה של מהנדסים, מתוך כץ²¹

מרכיב	חשיבה אנליטית בקורס אנליזה	חשיבת תכן בקורס תכן
שפה	בעיקר מתימטיקה	מרובה שפות: פיזיקה, מתימטיקה, הצגה גרפית, שפה ורבליית וכתובה
נתונים	מדויקים ומוגדרים	נתונות דרישות הלקוח. הנתונים יכולים להיות מוצגים בבהירות ובדיוק, או אומדנים או כאלה המצריכים מדידות
פתרונות	בד"כ רק פתרון אחד צפוי	מספר פתרונות אפשריים, אשר על כולם לענות לדרישות
כישורים	בעיקר אנליטיים	יכולת לסינטזה, אך יכולות אנליטיות מאפיינות מתכננים מובילים
חשיבה	מתכנסת	מתפצלת ומתכנסת
יצירתיות	מוגבלת	ללא גבול, מספר קונצפטלים של תכן אפשריים
מודלים	מושלמים	לא מושלמים
טעויות	משלמים על טעויות בפתרון	לימוד מטעות הוא מהלך מקובל
ניסוי וטעייה	בד"כ לא מקובל	מקובל וניתן לו עידוד
צורת עבודה	אישי	קבוצתי

בפועל, המענה האקדמי המקובל לצורך בחינוך לתכן מתבסס בדרך כלל על פרויקט גמר (capstone course/project (design)) וניתן לו עידוד על ידי הרשויות המסמיכות תכניות להכשרת מהנדסים, דוגמת ABET. הרחבה על כך בפרק 7.

במהלך השנים התווסף במספר אוניברסיטאות גם פרויקט הניתן בשנת הלימודים הראשונה (cornerstone project). מטבע הדברים פרויקטים של שנה ראשונה מבוססים יותר על גישה קונצפטואלית וזאת בהעדר ידע טכני. חוסר זה בידע מציב גם קושי במימוש פרויקטים כאלה. ההערכה היא אבל שפרויקטים בשלב מוקדם זה של חינוך מהנדסים, למרות המגבלות והקושי, מביאים למספר יתרונות:

- מגדילים את העניין של הסטודנט בהנדסה
- מקטינים את הנשירה מלימודי ההנדסה
- משפרים את היכולות בפרויקט הגמר

רבים טוענים שהמצב הנוכחי המתבסס על קורסי תכן כבסיס להקניית "חשיבת תכן" רחוק מלהשביע רצון, למרות השיפור שחל עם שילוב קורסי תכן אלה. על רקע זה באו מספר מהלכים מרחיקי לכת כמו תכנית CDIO אשר אליה יש התייחסות מפורטת בהמשך וכן גם הצורך לשנות ולהכניס מודלים חדשים של קורסי תכן, וזאת מתוך התחושה שהתוכן האינטלקטואלי הקשור בתכן כפי שתואר ונותח קודם לכן כאן, איננו בא לידי ביטוי והערכה מספקת:

- הידע של מערכות טכנולוגיות וכושר אנליטי אין בהם די כדי להבין את התהליך המחשבתי המוליך לסינתזה או תכן.
- עולה הצורך להתייחס לתכן במובן רחב יותר של תהליך חשיבה, "חשיבת תכן" (design thinking), המשקף תהליך מורכב אשר כולל בתוכו ייזום, הערכה, בחינת חלופות, קבלת החלטות למימוש של רעיון, דבר שלא בא ההכרח לידי ביטוי בקורסי תכן רבים ברוח המדדים שבטבלה 1.

6. תכניות חינוך של מהנדסים

הסקירה לעיל מצביעה על כך שבמאה הנוכחית יש צורך בנדבכים נוספים בכישורי המהנדס, והביטוי לכך צריך לבוא בהכשרה מעבר לנדבך של ידע יסודי ובסיסי ביסודות המתמטיים, המדעיים והטכניים:

- יכולת לאינטגרציה של טכנולוגיות ופתרון בעיות פתוחות, אשר להן הרבה פתרונות אפשריים
- כישורים בתחומים "רכים":
 - ✓ עבודה בצוות ויכולת להנהיג צוות – מנהיגות
 - ✓ יכולות לתקשורת בינאישית וכושר שכנוע
 - ✓ הבנה של כוחות שאינם טכניים – כוחות כלכליים וחברתיים המשפיעים על החלטות הנדסיות

מעבר לכך, בהכשרה הטכנית עצמה, יש צורך בהרחבת הבסיס לכיוון של "הנדסה מולקולרית" מחד, ויכולת להוביל תהליכים המתבססים על אינטגרציה של דיסציפלינות וטכנולוגיות, מהרמה המולקולרית לרמת המאקרו. כל אלה מסתכמים בצורך בשינוי תרבותי בהכשרה ההנדסית, מעבר מחינוך המבוסס על התמחויות צרות ועל היבטים מדעיים בלבד, לחינוך המטמיע:

- שילוב של אינטגרציה עם התמחויות
 - עבודת צוות במקביל לעבודה אישית
 - הבנה בהיבטים חברתיים ותהליכי חדשנות לצד מדעי ההנדסה
- במידה רבה היבטים אלה באים לידי ביטוי בדרישות העדכניות של גופי ההסמכה להכשרת מהנדסים, דוגמת ABET האמריקאי המפרט את תוצרי החינוך (outcomes) מתכניות להכשרת מהנדסים²²:

- ability to apply knowledge of mathematics, science, and engineering
- ability to design and conduct experiments, as well as to analyze and interpret data
- ability to design a system, component, or process to meet desired needs within realistic constraints such as economic, environmental, social, political, ethical, health and safety, manufacturability, and sustainability
- ability to function on multidisciplinary teams
- ability to identify, formulate, and solve engineering problems
- understanding of professional and ethical responsibility
- ability to communicate effectively
- broad education necessary to understand the impact of engineering solutions in a global, economic, environmental, and societal context
- recognition of the need for, and an ability to engage in life-long learning
- knowledge of contemporary issues
- ability to use the techniques, skills, and modern engineering tools necessary for engineering practice.

²² Criteria for accrediting engineering programs, Effective for reviews during the 2015-2016 accreditation cycle, Engineering Accreditation Committee, ABET, Baltimore, 2014

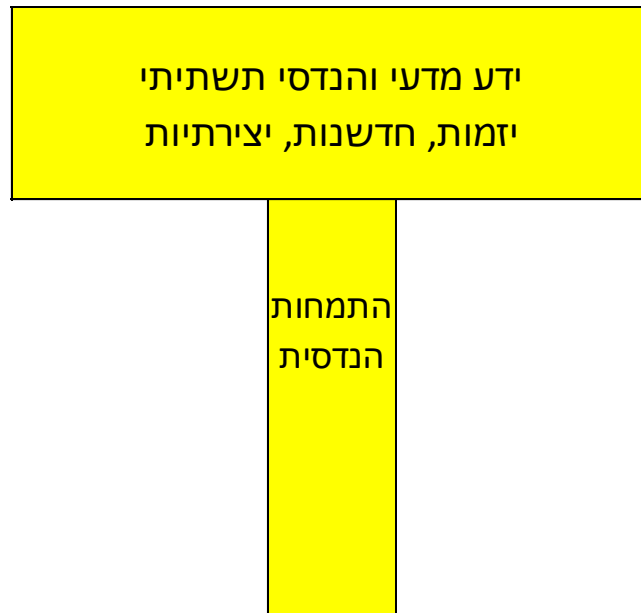
כדי להשיג את אלה צריך לבחון את צורת ההוראה והנושאים המטופלים, כולל גם שינויים תרבותיים ולהלן כמה מהם:

- לימוד אקטיבי ואינטראקטיבי המתבסס על פרויקטים ופתרון בעיות: project/problem based learning
- מיתון הגלישה להתמחויות דיסציפלינריות לשלבים מאוחרים יותר של הלימודים, או בלימודי המשך לאורך הקריירה; בהקשר זה יש מקום לשקול מעבר לתוכניות של חמש שנות לימוד, של תואר ראשון + שני, כאשר ההתמחות היא בעיקר בשני
- לבחון מחדש את פרופיל חבר הסגל ובהקשר זה לשקול הקמת מכוני מחקר הפועלים במודל שונה מאלה המקובלים בדרך כלל כיום: מכוני שהם יותר רב תחומיים עם קשר אמיץ יותר לתעשייה, אשר בהם יוכלו לפרוח ולהתקדם חברי סגל בעלי פרופילים מגוונים, ובנוסף, לשמש ככר לימודים לסטודנטים כבר בתואר ראשון ושני¹² במנגנונים של project/problem based learning

על רקע זה יש מקום לבחון שתי גישות עקרוניות לשינוי:

- I. תואר ראשון: גישה המכירה בחשיבות החינוך הטכנולוגי בתואר הראשון²³, אשר יהיה מלווה בשינוי משמעותי בתוכנית הלימודים כדי להקנות מיומנויות מעבר לאלה הניתנות כיום, וזאת במודל שניתן לתאר אותו כמודל T (איור 5)²³: בסיס רחב הכולל יצירתיות, יזמות, כושר לתקשר, יכולת עבודה בצוות, הבנה גלובלית ומחויבות ללימודי המשך במהלך הקריירה, ועמודה של התעמקות בדיסציפלינה טכנית.
- II. שילוב תואר ראשון ושני: גישה רדיקלית²³, שהמשמעות שלה לתת בתואר ראשון דגש על חשיבה כמותית, יצירתיות חדשנות ואינטגרציה של מערכות ועבודת צוות ואת עיקר ההשכלה הטכנולוגית בתואר השני

איור 5: מודל T להכשרת מהנדסים המבוסס על שילוב של הרחבה והתעמקות



מקור: עיבוד של מוסד נאמן על בסיס הפרסום של Plummer

²³ J. Plummer (2013). Educating engineers for the 21st century, Dean of Engineering, Stanford University, ppt+comments

על פניו נראה שהגישה המיוצגת על ידי מודל T היא זו שתאפשר ביתר קלות שינויים, כאשר יש בה מדה רבה של גמישות ביחס בין שני חלקי ה-T. הגמישות יכולה גם לבוא לידי ביטוי בשינויים על ציר הזמן בתהליך אבולוציוני, וכן גם באפשרות להתאמה לצרכים ולסביבה של אוניברסיטאות ספציפיות.

יש מספר דוגמאות למתווים של תכניות אשר תואמות לגישה זו, כאשר הבולטת בהן היא גישת ה-CDIO (Conceive-Design-Implement-Operate)²⁴, פרי של יוזמה שהחלה לפני למעלה מעשור שנים ב-MIT (פרטים בנספח א'). תכנית זו מיושמת כבר בעשרות אוניברסיטאות בארה"ב ובעולם ובדיסציפלינות שונות של ההנדסה. התוכנית משלבת בתוכה היבטים של רב תחומיות, חשיבה מערכתית, פתרון בעיות הנדסיות, יצירתיות, מנהיגות, תקשורת בין אישית, עבודת צוות, יזמות, חדשנות, קיימות ועוד, שהם חיוניים למהנדס בתעשייה מתקדמת.

לפי גישת CDIO צריך להכשיר את המהנדסים כך שיוכלו להתמודד עם אתגרי ההנדסה בכל מחזור החיים של המוצר והמערכת, כולל יצור, שווק, תחזוקה ושימוש.

המטרה היא לחנך סטודנטים להנדסה שיהיו בעלי הכישורים כלהלן:

- ידע והבנה מעמיקה ביסודות הטכניים של תחומי התמחותם
- מובילים ביצירה ותפעול של מוצרים חדשים, תהליכים ומערכות ברי קיימא
- הבנה של החשיבות וההשפעה האסטרטגית של מחקר והתפתחות טכנולוגית על החברה

תכנית CDIO הכוללת את האלמנטים המרכזיים הבאים:

CONCEIVE - להגות - ללמוד את צרכי וציפיות הלקוחות והשוק, לימוד והערכת הטכנולוגיות הדרושות והאפשרויות, לימוד האסטרטגיה של הארגון, בחינת הרגולציות והתקנים, תכנון קונספטואלי, טכני ועסקי

DESIGN - לתכן - תכניות, שרטוטים, חישובים, מודלים, סימולציות, אלגוריתמים הנדרשים לתיכון מוצר רובוסטי

IMPLEMENT - ליישם - הפיכת התכן למוצר, לתהליך ו/או מערכת, כולל ייצור, תכנות, בדיקות ובחינות תיקוף

OPERATE - לתפעל - את המוצר המיושם כך שיביא לערך המצופה, כולל תחזוקה, שינויים והתפתחות וטיפול במערכת בתום חייה

במסגרת ה-CDIO מפתחים גם שיטות פדגוגיות מתקדמות, הכוללות בין השאר סביבות לימוד חדשניות ושיטות הערכת סטודנטים מתקדמות.

פותח סילבוס מפורט של תכניות ה-CDIO, ולהלן תחומי הלימוד העקרוניים שבו:

1. Disciplinary Knowledge & Reasoning
 - 1.1. Knowledge of underlying sciences
 - 1.2. Core engineering fundamental knowledge
 - 1.3. Advanced engineering fundamental knowledge
2. Personal and Professional Skills
 - 2.1. Analytical reasoning and problem solving
 - 2.2. Experimentation and knowledge discovery
 - 2.3. System thinking
 - 2.4. Personal skills and attributes

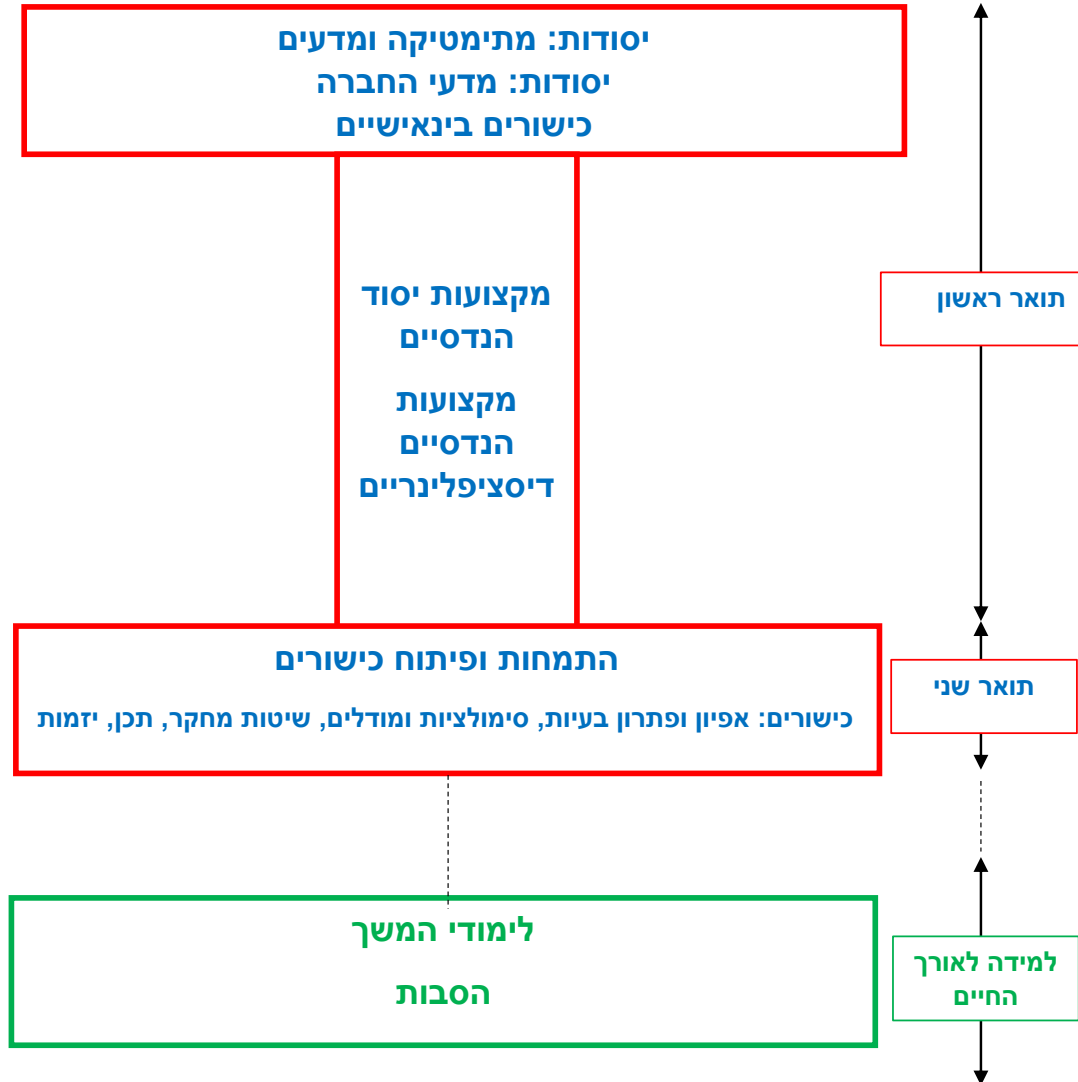
²⁴ Rethinking Engineering Education- The CDIO Approach, E.D. Crawley, J. Malmqvist, S.Ostlund, D.R. Brodeur, K. Edstrom, 2007

- 2.5. Professional skills and attributes
- 3. Interpersonal Skills
 - 3.1. Multi-disciplinary teamwork
 - 3.2. Communications
 - 3.3. Communication in foreign language
- 4. CDIO of Complex Systems
 - 4.1. External and societal context
 - 4.2. Enterprise and business context
 - 4.3. Conceiving and engineering systems
 - 4.4. Designing
 - 4.5. Implementing
 - 4.6. Operating
 - 4.7. Engineer leadership
 - 4.8. Entrepreneurship

ג'ישה משולבת תואר ראשון ושני

עקרונות לגישה משולבת של תואר ראשון שוני מתוארת באיור 6 כמודל I.

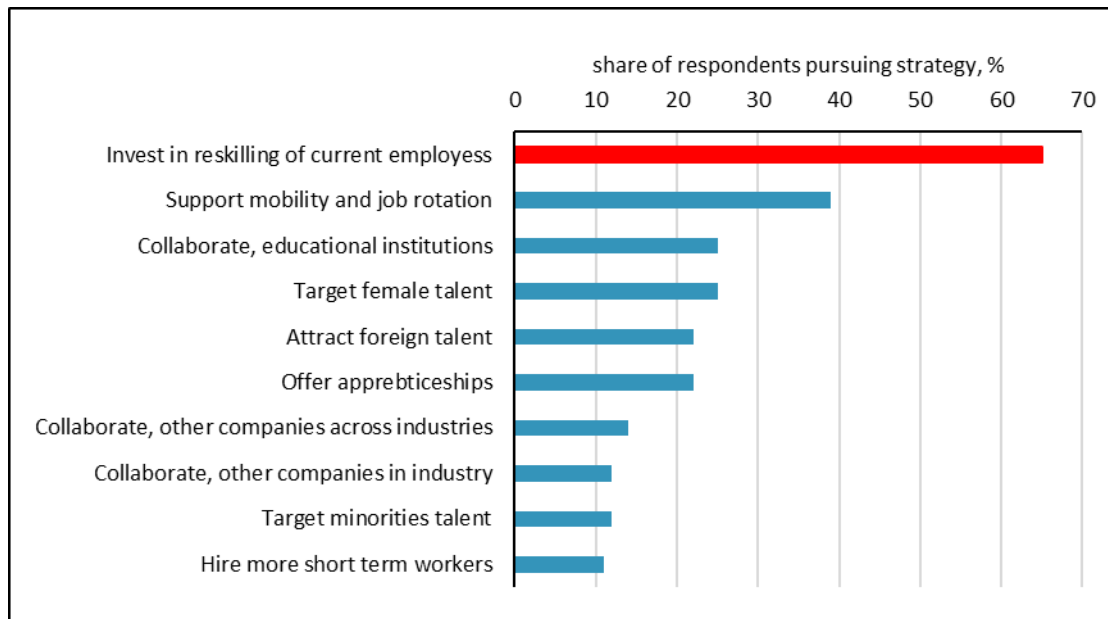
איור 6: תיאור סכמתי של מודל I להכשרת מהנדסים המבוסס על שילוב של תואר ראשון ושני כנקודת יציאה לקריירה הנדסית, עם הרחבה ואפשרות להסבה במהלך הקריירה



ההכשרה במודל כזה יכולה לתת את הרוחב הנדרש ממנהנדס מודרני וליצור גם את הבסיס שיאפשר לו ביתר קלות להתעדכן במהלך הקריירה בלימודים לאורך החיים, כולל גם הסבות מקצועיות. החשיבות של יכולת כזו מוצאת את ביטוייה בדוחות שונים הדנים בעתיד ההון האנושי. בסקר של הארגון הכלכלי הבינלאומי נמצא שהסבה (הכשרה מחדש – re-skilling) עומדת להיות האסטרטגיה החשובה ביותר של ארגונים תעשייתיים בתחום פיתוח ההון האנושי של המועסקים אצלם²⁵, איור 7:

²⁵ The future of jobs: employment, skills and workforce strategy for the Fourth Industrial Revolution, World Economic Forum 2016

איור 7: חשיבות הסבה מקצועית באסטרטגיה של הון אנושי של חברות²⁵



דוגמא למבנה של תוכנית לימודים הכוללת את העקרונות הללו הוא מתווה שהוצע על ידי האגודה האמריקאית להנדסה אזרחית²⁶, המגדיר את מטען הידע -

Body of Knowledge - של המהנדס אזרחי כמטריצה של תחומי הידע ("מקצועות יסוד כלליים", "מקצועות יסוד תוכניים", "מקצועות חברתיים") כנגד רמות השליטה בחומר, לפי שלבים שונים בהכשרת המהנדס במהלך לימודי תואר ראשון, תואר שני והתמחות (איור 8).

²⁶ Civil engineering body of knowledge for the 21 century: Preparing the civil engineer of the future, American Society of Civil Engineers, 2007

איור 8: מטען הידע למהנדס אזרחי במאה ה-21²⁶

Type of skills	Topic	Level of achievement					
		Know-ledge	Compre-hension	Application	Analysis	Synthesis	Evaluation
Foundational	Mathematics	B	B	B			
	Natural sciences	B	B	B			
	Humanities	B	B	B			
	Social sciences	B	B	B			
Technical	Materials Science	B	B	B			
	Mechanics	B	B	B	B		
	Experiments	B	B	B	B	M	
	Problem recognition and solving	B	B	B	M		
	Design	B	B	B	B	B	E
	Sustainability	B	B	B	E		
	Contemp. Issues & his. perspective	B	B	B	E		
	Risk & uncertainty	B	B	B	E		
	Project management	B	B	B	E		
	Breadth in engineering discipline	B	B	B	B		
	Technical specialization	B	M	M	M	M	E
Professional	Comm-unication	B	B	B	E		
	Public policy	B	B	E			
	Business & public administration	B	B	E			
	Globalization	B	B	B	E		
	Leadreship	B	B	B	E		
	Teamwork	B	B	B	E		
	Attitudes	B	B	E			
	Life long Learning	B	B	B	E	E	
Professional and ethical responsibility	B	B	B	B	E	E	
B	Portion of the Body of Knowledge (BOK) fulfilled in the Bachelor degree						
M	Portion of the BOK fulfilled in the Master degree or equivalent						
E	Portion of the BOK fulfilled in the pre-licensure experience						

ניתן לפתח את המודל של האגודה האמריקאית להנדסה אזרחית למודל כללי יותר המתאים להנדסות שונות עם חלופות לשלב ההתמחות בתואר השני, כמתואר במתווה שבאיור 9.

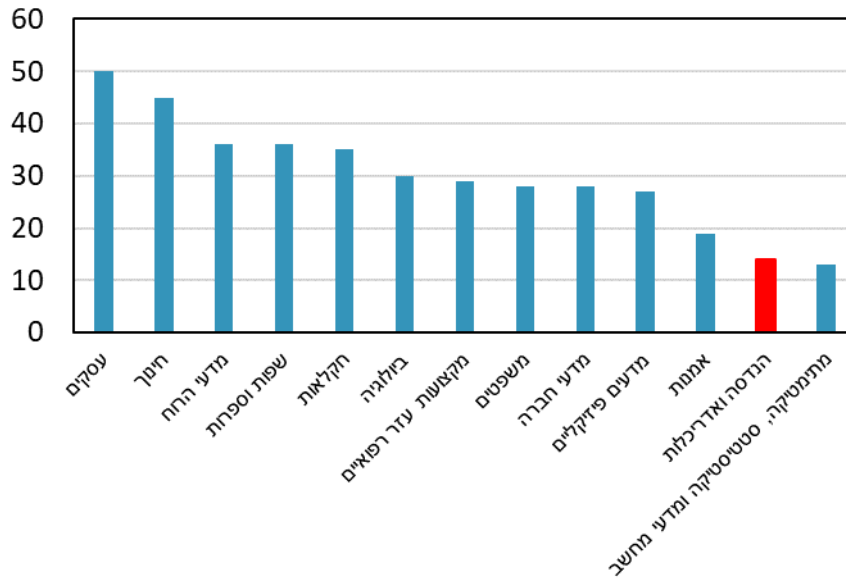
איור 9: מודל לאפיון מטען הידע של מהנדסים בעלי פרופילים שונים בתוכניות משולבות של תואר ראשון ושני עם אפשרות הרחבה לתואר שלישי מחקרי

Type of skills	Topic	Level of achievement						
		Know-ledge	Compre-hension	Application	Analysis	Synthesis	Evaluation	Creativity & critical thinkng
Found-ational	Mathematics	B	B	B				
	Natural sciences	B	B	B				
	Humanities	B	B	B				
	Social sciences	B	B	B				
Technical	Materials Science	B	B	B				
	Mechanics	B	B	B	B			
	Experiments	B	B	B	B	M		
	Problem recognition and solving	B	B	B	M			
	Design	B	B	B	B	B	E	
	Sustainability	B	B	B	E			
	Contemp. Issues & his. perspective	B	B	B	E			
	Risk & uncertainty	B	B	B	E			
	Project management	B	B	B	E			
	Breadth in engineering discipline	B	B	B	B			
Specialization	Technological	B	M	M	M	M	E	
	Engineering research	B	M	M	M	M	E	M
	Research	B	D	D	D	D	D	D
Professional	Comm-unication	B	B	B	E			
	Public policy	B	B	E				
	Business & public admi-nistration	B	B	E				
	Globalization	B	B	B	E			
	Leadreship	B	B	B	E			
	Teamwork	B	B	B	E			
	Attitudes	B	B	E				
	Life long Learning	B	B	B	E	E		
Professional and ethical responsibility	B	B	B	B	E	E		
B	Portion of the Body of Knowledge (BOK) fulfilled in the Bachelor degree							
M	Portion of the BOK fulfilled in the Master degree or equivalent							
D	Research doctorate							
E	Portion of the BOK fulfilled in the pre-licensure experience							

החלופה של תואר משולב ראשון ושני כנקודת התחלה להשקת קריירה הנדסית יכולה להעלות חשש לגבי רתיעה של מועמדים מתוכנית חמש שנים. על רקע חשש זה כדאי לתת את הדעת לכך שבמרבית התחומים המקצועיים הנטייה של הבוגרים של תואר ראשון היא להשלים גם תואר שני (איור 10), מתוך

הבנה שמהלך כזה מגדיל את סיכויי הצלחה שלהם במציאת מקום עבודה ובהתקדמות בו. דווקא בהנדסה שעור הלומדים לתואר שני נמוך בהרבה ממרבית התחומים האחרים.

איור 10: לומדי שנה ראשונה בתואר שני בישראל מכלל הלומדים בשנה הראשונה בתחום, % (נתוני למ"ס 2015/16)



7. מתודולוגיות לחינוך מהנדסים

פרק 5 עסק בעיקר בתוכניות לימוד כמענה לצורך בנדבכים נוספים מעבר להשכלה ההנדסית הקלאסית לחינוך המהנדס, כמפורט בפרק 3. מעבר לנדבכי הידע, נדרשים גם כישורים אשר מימושם מחייב גם קידום שיטות ומתודולוגיות הוראה השונות מהקורסים המסורתיים המבוססים על הרצאות ותרגולים, והדבר מתייחס במיוחד לצורך בחשיבת תכן, חדשנות ויצירתיות. סקרים שונים (למשל²⁷) הראו שהכישורים בקטגוריה זו כוללים בין השאר פיתוח גישה יצירתית לפתרון בעיות, יכולת תקשורת, כתובה ובעל פה, יכולת לפתרון בעיות, ניהול זמן, עבודת צוות, יכולת ללימוד עצמי וגישה עסקית. ניתן לסווג כישורים אלה לשלושה תחומים מרכזיים: כישורי חשיבה, כישורי עבודה וכישורים חברתיים²⁸.

במשך שנים הייתה מקובלת הגישה שהכישורים הללו הם פרי של ניסיון ואת זה יקבלו בוגרי ההנדסה כחלק מתהליך ההתנסות שלהם בשנים הראשונות לעבודתם, וזאת בתהליך של מנחים (מנטורים) שיינתן בתעשייה. יחד עם זאת, נעשו במהלך השנים מאמצים באוניברסיטאות לקדם פיתוח של כישורים אלה במסגרת מקצוע הפרויקט. היתרונות של ההוראה במסגרת פרויקט הנם ברורים, וזאת כאשר מתייחסים לפרויקט כאמצעי הוראה (project/problem based learning) ולא רק כאמצעי לרכישת ניסיון.

ההצלחה של גישה זו והאסטרטגיה למימוש שלה בכיתה אינם מובנים מאליהם. יש לכך שורה של סיבות וביניהן העדר חשיבה מסודרת לגבי המטרות החינוכיות של הפרויקט, הדרך להשגתן במסגרת הפרויקט והערכת הסטודנטים בהיבטים אלה. בתחום זה יש לא מעט קשיים אובייקטיביים^{29,30} וביניהם: העדר חומר לימודי תומך, צורך במשאבים גדולים כי מדובר בעבודה בקבוצות קטנות עם הדרכה צמודה, קושי בהשגת סגל שיכול להדריך בפרויקטים, חשש והעדר מוטיבציה של סטודנטים, בעיקר בגלל העדר מבנה ברור של הקורס ואי ודאות לגבי מנגנון ההערכה ומתן הציונים. על רקע זה נמצא שלעיתים הסטודנטים מעדיפים, כאשר יש בידם אפשרות בחירה, קורס במתכונת מסורתית, למרות שהם מודעים לכך שבקורסי פרויקט הניסיון הלימודי יכול להיות טוב יותר ויש בו מרכיב חשוב להכשרתם לקראת עבודה במקצוע²⁷.

על רקע זה יש עניין בהשוואה בין שיטות לימוד מסורתיות ואלה המושתתות על לימוד מבוסס פרויקט/בעיה, מתוך מגמה להגיע לתובנות ודרכי לימוד חדשות אשר יכולות להשיג את המטרה של פיתוח מגוון הכישורים האישיים הנדרשים ממהנדס²⁷⁻³⁰.

במסגרת זו הועלה הצורך לפתח גישה לפרויקט שיהיה "פתוח" (open ended) בצורה המאפשרת ומעודדת חשיבה מסתעפת (divergent thinking) בשונה מחשיבה מתכנסת (convergent thinking) המאפיינת יותר קורסים המבוססים רק על גישה של אנליזה²⁷. פרויקט בעל אופי כזה, אשר מציג שאלה שיש לה פתרונות רבים מעודד חשיבה יצירתית. אם הוא מתנהל בסביבה לימודית מתאימה הוא יעודד את הסטודנטים לחשוב מחוץ לקופסא ולהיות נכונים לקחת סיכונים, דבר שהוא מרכיב חשוב לקידום יצירתיות.

מעבר לתוכן של הקורס יש לתת את הדעת גם למוטיבציה של הסטודנטים הנדרשת להיות ברמה גבוה בהרבה מזו של לימוד בקורס פרונטלי רגיל. זה אתגר המחייב גם חשיבה בדבר המבנה של הקורס

²⁷ SA Male, MB Bush and ES Chapman, Perceptions of competency deficiencies in engineering graduates, Australian Journal of Engineering Education, 16(1) 55-67, 2010

²⁸ I.Talmi, O.Hazan and R.Katz, Intrinsic motivation and 21st century skills in an undergraduate engineering project: The case of the Formula Student Project, submitted for publication, 2017

²⁹ S.R.Daly, E.A.Mosyjowski and C.M.Seifert, Teaching creativity in engineering courses, Journal of Engineering Education, 103(3) 2014, 417-449

³⁰ K.Nepal, Comparative evaluation of PBL and traditional lecture-based teaching in undergraduate engineering courses: evidence from controlled learning environment, International Journal of Engineering Education 29(10) 17-22, 2013

ובנוסף לכך התייחסות ברמה אישית יותר של המרצה והמדריכים. נמצא שיש קשרי גומלין חזקים בין המוטיבציה הפנימית של הסטודנט ובין ההצלחה להקנות לו את הכישורים שעומדים בבסיס מטרת הקורס²⁸. בהקשר זה חשובה המודעות של הסטודנט לערך של קורס הפרויקט, ונמצא שסטודנטים שהבינו ערך זה בכל הקשור לקידום היכולות שלהם כהכנה לקריירה המקצועית התמידו והמשיכו גם לשלבים המתקדמים של קורס הפרויקט²⁸. ניתוח של קורס פרויקט "פורמולה" בטכניון הצביע על שלושה גורמים פסיכולוגיים המעצימים את המוטיבציה²⁸:

- **תחושת האוטונומיה** הקשורה ביכולת לבקרה עצמית ורצון עצמי. סיפוק בתחום זה מקנה תחושה של חוסר תלות בלחצים חיצוניים ופנימיים שאינם רצויים
 - **קומפטנטיות** שהיא היכולת לענות על משימות אתגריות בצורה טובה ויעילה ולקבל היזון חוזר טוב מהסביבה החברתית
 - **קישוריות** המבטאת את הביטחון לקיים קשרים אישיים מלאים עם הסביבה החברתית
- על בסיס זה נבנתה מטריצה היכולה לתת מסגרת טובה להגדרת המטרות וגיבוש דרכי הפעולה בקורס המבוסס על לימוד מתוך פרויקט/בעיה (טבלה 2)²⁸.

טבלה 2: כישורים ואמצעים להעצמת המוטיבציה בקורס מבוסס על לימוד מתוך פרויקט/בעיה²⁸

קישוריות (relatedness)	קומפטנטיות	אוטונומיה (רצון עצמי, בקרה עצמית)	
	חשיבה ביקורתית חדשנות/יצירתיות מבט הוליסטי/פתרון בעיות	קבלת החלטות לימוד עצמי מאורגן	כישורי חשיבה
	תקשורת (ורבלית וכתובה) כישורי ניהול מקצועיות מנהיגות ICT – טכנולוגיות תקשוב אתיקה		כישורי עבודה
יחסים בינאישיים שת"פ/עבודת צוות			כישורים חברתיים

בהתבסס על עקרונות אלה ניתן לחשוב גם על דרכי הוראה המשלבות באותו קורס מרכיבים של אנליזה שהם הבסיס לקורסים המסורתיים עם מרכיבים בעלי אופי פתוח יותר, המאפיינים קורסי תכן שהבסיס בהם הוא לימוד מבוסס פרויקט. גישה כזאת הוצעה על ידי כץ²¹ בקורס המשלב מתודולוגיה של הרצאות-תרגילים לחלק האנליטי ופרויקט לצורך אינטגרציה של אנליזה עם תכן.

בהקשרים אלה מן הראוי לתת גם את הדעת על שילוב של טכנולוגיות הוראה חדשות. המטרה צריכה להיות קידום סביבות למידה אשר בהן יינתן דגש על פיתוח מיומנויות במסגרת האינטראקציה שבין המרצה והסטודנט בכתה, כאשר את המרכיבים של ידע, המתקבלים היום על ידי למידה באמצעות הרצאות פרונטליות, יקבל הסטודנט באמצעות לימוד עצמי מחוץ לכתה תוך הסתמכות על מקורות מקוונים. שינוי בכיוון זה יכול לתת מענה, חלקי או מלא, לצורך להקניית כישורים, תוך ניצול העובדה שדור הסטודנטים היום גדל בתרבות דיגיטלית ועל כן יהיה פתוח יותר ללמידה עצמית באמצעים

מקוונים. מהלך כזה משתלב ויכול גם לתמוך בפיתוח למידה מבוססת פרויקטים אשר נדונה בפרוט רב יותר בפרק 5 של המסמך הנוכחי.

שינוי זה בפרדיגמת ההוראה במוסדות אקדמיים זוכה היום לתשומת לב מרובה בעולם וגם בארץ, כפי שבא למשל לידי ביטוי בסדרה של חוברות בכתב העט "הוראה באקדמיה" היוצא באמצעות האקדמיה הלאומית למדעים, אשר דנות בטכנולוגיות בנות זמננו ושילובן בהוראה³¹, יישומן בכתה ההפוכה³² וקורסי מוק (MOOCs)³³. מהלכים בכיוונים אלה יכולים לסייע בפתרון האתגרים בחינוך מהנדסים בכל הקשור בהכשרה שתקנה יכולות וידע ותיתן מקום גם לפיתוח כישורים ומיומנויות.

מן הראוי לתת את הדעת שיש לשלב מהלכים מסוג זה גם עם יצירת תנאים פיזיים מתאימים של מרחבי עבודה ולימוד המתכוננים למטרות אלה. אוניברסיטאות רבות הקימו ומפעילות מרחבי עבודה ולימוד מתקדמים. לדוגמא: אוניברסיטת Chalmers בשוודיה בנתה מעבדות מתקדמות לבניית אבי טיפוס, ה-Royal Institute of Technology בשטוקהולם בנתה מתחם מסוג זה, ו-MIT הקימה ובנתה מרחב שלם שנקרא מעבדת מערכות מורכבות, בו ניתנת תמיכה בתכן והנדסה לאורך כל מחזור חי המוצר/מערכת.

בהקמת מרחבים מסוג זה יש לתת תשומת לב לתכנון ולעיצוב כך שתתאפשר תמיכה בתהליכי העבודה והלמידה של הסטודנטים הלומדים וחווים את התכנית. פרוט של הדרישות ניתן בנספח הדין בתוכניות ההוראה של CDIO. בשלב הלימודים לבניית הקונספט של המוצר - מערכת (שלב C ב-CDIO) נדרש מרחב בו מתאפשרת אינטראקציה חופשית בין הסטודנטים ללא הפרעות. בשלבי התכן והיישום (שלבי D ו-I ב-CDIO) נדרשת סביבה בה יש מערכות מחשוב לתכן מוצרים, למודלים וסימולציות, מעבדות תכן ואינטגרציה, וכן מערכות המאפשרות בניית אבי טיפוס. בשלבי התפעול רצוי ליצור סביבה המדמה את סביבת התפעול של המוצרים - מערכות.

הניסיון מוכיח שכל מהלך כזה הנו מורכב וקשה, מחייב שינוי בפרדיגמות ההוראה ובתפקיד של המרצה ובמחויבויות של הסטודנט ולא ניתן לבצע מהלכים כאלה מתוך ראייה של אימוץ טכנולוגיה בלבד. כל זאת מעבר ליצירת תשתית פיזית ומחשובית כמתואר לעיל. יש לראות בטכנולוגיות הוראה חדשניות כאמצעי להשגת מטרות בחינוך מהנדסים ולא מטרה בפני עצמה. יש על כן צורך בהשקעה של מחשבה ומאמצים, אשר יתבססו על הגדרה והבנה של היעדים של חינוך מהנדסים. נושא זה דורש על כן התייחסות בפני עצמו, כחלק מהמכלול של הכשרת מהנדסים במאה ה-21.

³¹ "הוראה באקדמיה - טכנולוגיות בנות זמננו ושילובן בהוראה", גיליון 6, אפריל 2016
³² "הוראה באקדמיה - הוראה מבוססת טכנולוגיה ויישומה בכתה ההפוכה", גיליון 7, אפריל 2017
³³ "הוראה באקדמיה - קורסים פתוחים מקוונים מרובי משתתפים MOOCs", גיליון 4, מרץ 2014

8. שינוי תרבותי

השינויים השונים בהכשרת מהנדסים כרוכים בוודאי בשינוי תרבותי באקדמיה, מהלך שאיננו פשוט. יש להביא בחשבון את ההתנגדויות מחד, ולבחון שינויים מבניים שיוכלו לסייע, מאידך.

מחסומים לשינוי:

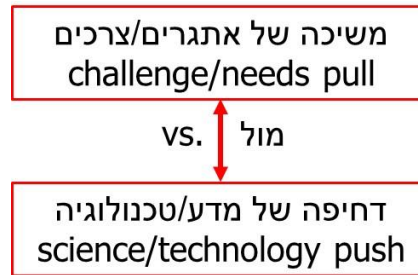
- מוסדות אקדמיים אינם משתנים במהירות
 - תרבות הממוקדת באדם האינדיבידואלי ובהתמחות, אשר מפריעה לשבירת גבולות בין דיסציפלינות
 - קידום סגל על פי קריטריונים של מצוינות מחקרית איננו מעודד השקעה בהוראה – שינוי בפרופיל הכישורים של חבר הסגל?
 - מחסומים לשיתוף פעולה עם התעשייה בגלל פערים תרבותיים ומיקום גיאוגרפי
- שינויים אפשריים במבנה פקולטות להנדסה ותוכניות הלימודים:
- לימודים משותפים של כל ההנדסות במשך שנה עד שנתיים?
 - מיזוג יחידות – הנדסה כללית?
 - קבלה משותפת לכמה דיסציפלינות הנדסיות?
 - תכניות לימודים ושילובן עם התעשייה?
 - מכוני מחקר הנדסיים?

מחקר:

- הקמת מרכזי מחקר רב תחומיים בקמפוסים, Discovery-Innovation Institutes (איור 2), לביצוע מחקר הנדסי שמקשר בין תגליות מדעיות בסיסיות ובין חדשנות טכנולוגית, לפיתוח מוצרים, תהליכים ושירותים
- בדומה למכוני מחקר חקלאיים, על מכוני המחקר ההנדסיים לתת את הדעת על סוגיות בעלות קדימות חברתית
- צורך בשילוב של מחקר, חינוך ופרקטיקה
- במקביל לקשר המוצע בין פקולטות הנדסיות נכון ליצור גם קשר עם פקולטות כדוגמת מנהל עסקים, רפואה ומשפטים, כדי לשלב בין השאר היבטים עסקיים ומשפטיים במחקר ההנדסי
- הקמת צוותים לניתוח כשלים הנדסיים

הנושא של מחקר הנדסי ופיתוח של פרדיגמות נוספות זוכה בשנים האחרונות לתשומת לב מיוחדת (ראה למשל מקורות ¹³, ¹⁴), לא רק מנקודת מבט של הצורך לקידום מחקר המוליך לחדשנות, כי אם גם כחלק מהתשתית לחינוך מהנדסים, כשהם משמשים כר לפיתוח וקידום חברי סגל בעלי פרופיל הנדסי-מחקרי בנוסף לחברי סגל בעלי פרופיל מדעי בלבד, וכן גם כפלטפורמה אשר תאפשר שילוב של סטודנטים בפרויקטים מחקריים-הנדסיים כחלק מתהליך החינוך המבוסס על לימוד תוך כדי התנסות. האקדמיה הלאומית להנדסה בארה"ב¹⁴ דנה בגיבוש של מכוני מחקר הנדסיים המתבססים על פרדיגמה שהיא שונה מזו של מכוני המחקר המקובלים כיום, לא כתחליף אלא כתוספת והשלמה. העקרונות של מכונים אלה מתוארים באיור 11 המתבסס על ההצעות שבמקור¹⁴.

איור 11: תיאור סכמתי של העקרונות של מכוני מחקר הנדסיים המוצגים ע"י האקדמיה הלאומית להנדסה בארה"ב¹⁴



דוגמאות למכוני מחקר המשלבים חלק מעקרונות אלה מוצגים בנספח ב'.

ניתוח עמוק של הדרכים להשגת שינויים בחינוך מהנדסים הוצג במחקר של האקדמיה המלכותית להנדסה בבריטניה³⁴. הוא מבוסס על ראיונות של 70 מומחים מ-15 מדינות וניתוח של שש אוניברסיטאות אשר בהן נערכו שינויים ורפורמה בחינוך. הדו"ח האנגלי מתייחס לרקע ולסביבת השינוי, תוך דגש לעובדה שבמצב כיום לאוניברסיטאות עדיפות לתוצרים מחקריים והתרחקות מחינוך לתואר ראשון, כאשר המניע הוא בחלקו השאיפה לדרוג בינלאומי גבוה. כתוצאה מכל אלה החלק של הסגל בעל ניסיון תעשייתי הוא קטן. בנוסף לכך, הסגל הצעיר מתקבל לתרבות שאיננה מעניקה תגמול להקצאת זמן ואנרגיה להוראה ולקשר עמוק עם התעשייה.

סיכום של הצעדים שאפשרו שינוי מוצלח בחינוך מהנדסים מוצג בטבלה 3.

³⁴ R.Graham, Achieving excellence in engineering education: the ingredients of successful change, The Royal Academy of Engineering, UK, 2012

טבלה 3: מאפיינים של שינוי מוצלח באוניברסיטאות בחינוך מהנדסים³⁴

מאפייני שינוי מוצלח	
<ul style="list-style-type: none"> הסכמה שהשינוי בלתי נמנע מינע לשינוי בשל קושי בשיווק תוכניות קיימות השינוי בא בהקשר של ארגון מחדש של המוסד חלק גדול מחברי הסגל בעלי ניסיון תעשייתי 	סביבת השינוי
<ul style="list-style-type: none"> מחויבות של ראש המחלקה תמיכה של ראשי המוסד חברי הסגל המעורבים משוכנעים שיקבלו הכרה למאמץ ע"י הנהלה, לא דווקא בקידום 	מנהיגות
<ul style="list-style-type: none"> החזון ברור ומוסכם גישה חינוכית חדשנית עם שאיפה למעמד ומוניטין לאומי/בינלאומי חלק גדול מחברי הסגל מעורבים בשינוי התכנים הלימודיים צוות נבחר לניהול השינוי לא מופעל לחץ על חברי סגל שאינם תומכים בשינוי וחלק מתוכנית הלימודים נשאר ללא שינוי בקורסי הדגל מתגבשות קבוצות המשתתפות בהובלת כל קורס 	תכנון ויישום השינוי
<ul style="list-style-type: none"> מעקב ובקרה לאורך זמן להערכת השינוי ניכר שיפור משמעותי באיכות הסטודנטים והמוטיבציה שלהם חברי סגל מעורבים לאורך זמן בשינוי ובשיפור שלו 	שימור השינוי

בטבלה 4 מסוכמות המלצות לצעדים לאוניברסיטאות המתכננות שינויים בתוכניות ההכשרה של מהנדסים, המתייחסות לשלבים השונים של ביצוע השינוי: הכנות, תכנון, יישום והפעלה כדי להבטיח שהשינוי הוא בר קיימא.

טבלה 4: המלצות לצעדים לשינויים בתוכניות הכשרה של מהנדסים³⁴

צעדים	
<ul style="list-style-type: none"> איסוף נתונים גיוס ראש המחלקה כצ'מפיון לשינוי התייעצות עם מנהיגות בכירה של המוסד 	הכנה
<ul style="list-style-type: none"> הסברה לחברי הסגל על הצורך בשינוי שיתוף מרבית חברי הסגל בתכנון השינויים בתוכנית הלימודים התייעצות עם בעלי עניין חיצוניים מינוי צוות מוביל ופינוי זמן עבורם להקדשת מרצם לשינוי גיבוש מנגנון מעקב והערכה 	תכנון
<ul style="list-style-type: none"> בחירת צוות ליישום הפיילוט הראשון של השינוי לא ללחוץ על חברי סגל מהססים ומתנגדים ללמד קורסים חדשים מיתון וניתוק הקשר בין חברי סגל וקורסים ספציפיים מינוי צוות ללימוד כל אחד הקורסים החדשים שימור המומנטום ע"י רב שיח מתמשך ושידור מסר שהשינוי הוא בסדר עדיפות גבוה 	יישום
<ul style="list-style-type: none"> מעקב ואיסוף נתונים שוטף שיתוף והסבר חשיבות השינוי לחברי סגל חדשים מנגנון של עדכון שוטף של תוכנית הלימודים שבו שותפים מרבית חברי הסגל רגישות לטיפול מידי ויעיל בבעיות שמתעוררות 	שימור

9. תובנות מסקרים

הדיון בפרקים הקודמים התבסס בעיקר על ניתוחים של אנשי מקצוע לגבי ההתפתחויות הצפויות בתחום ההנדסה והנגזרות לחינוך מהנדסים. כדי לקבל תחושה האם הערכות אלה נתמכות על שינויי מגמה הניכרים כבר כיום יש צורך באיסוף מידע מהשטח וניתוח שלו. מידע כזה ניתן לקבל באמצעות סקרים של בעלי עניין, הכוללים בעיקר את התעשייה (מעסיקים) את האקדמיה (מחנכים) ואת הבוגרים. מספר דיווחים על סקרים מסוג זה שנעשו בשנים האחרונות יכולים להשליך אור על המרכיבים והפערים בחינוך מהנדסים בהתבסס על נתונים מהשטח והם יהוו בסיס לגיבוש שאלונים לאיסוף נתונים דומים בישראל. מן הראוי לתת את הדעת לכך שהמגמות הכלל עולמיות במדינות מפותחות הנן דומות, אך יש בוודאי שוני ממדינה למדינה והדבר דורש הבהרה בכל הקשור לפיתוח מדינות לאומית.

הפרק הזה יתבסס על מספר קטן יחסית של סקרים שאיתרנו שהם רלוונטיים לנושא הנדון. להערכתנו ניתן ללמוד מהם לגבי המגמות העיקריות של הכישורים הנדרשים כיום והפערים הקיימים ואלה שאולי מתהווים וגדלים. הסקרים הללו מתבססים על תובנות של התעשייה, האקדמיה והבוגרים^{35,36,37,39}.

מבט מהתעשייה

נקודת המבט של התעשייה באנגליה באה לידי ביטוי בסקר של התעשייה¹ אשר בו מספר מאות של תעשיינים נדרשו להגיב על שורה של שאלות המתייחסות לציפיות של התעשייה בגיוס מהנדסים, הבעיות העומדות בגיוס, הכישורים הנדרשים והפערים בפועל וכן גם נכונות של התעשייה לתת כתף לחינוך מהנדסים. ההתייחסויות היו שונות לגבי מהנדסים עם ניסיון וותק של 5 – 10 שנים, ומהנדסים שזה עתה סיימו את לימודיהם. הקושי העיקרי שעליו הצביע הסקר היה גיוס מהנדסים בכירים עם 5-10 שנות ניסיון, כאשר 57% ו-68% מהנשאלים הצביעו עליו כבעיה הראשונה במעלה בסקרים של 2016 ו-2015, בהתאמה, איור 12. גיוס של מהנדסים לדרגים מנהליים, בוגרי הנדסה צעירים וטכנאים גם הם היוו אתגרים משמעותיים, אם כי פחות מאשר מהנדסים בכירים עם ניסיון.

³⁵ Skills and demand in industry, 2016 Survey, The Institute of Engineering and Technology, IET, London, UK, 2016

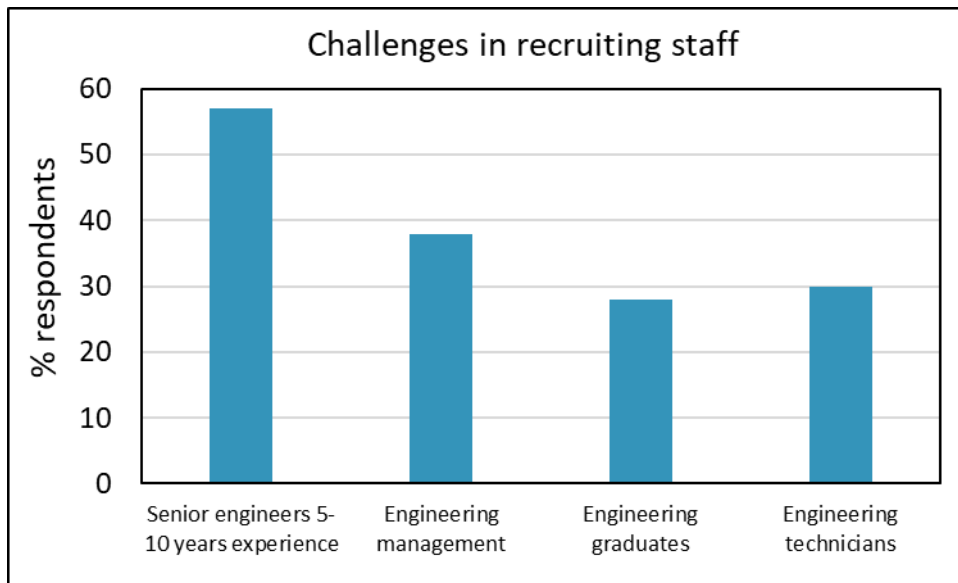
³⁶ Vision 2030: Creating the future of mechanical engineering education, American Society of Mechanical Engineering, ASME, 2011

³⁷ Study on the careers of MIT mechanical engineering undergraduate alumni, BSc Thesis, K.Wang, Supervisor: W. Seering, MIT, 2015

³⁸ A curriculum that meets the customers' needs, PPT presentation, W. Seering, MIT, 2009

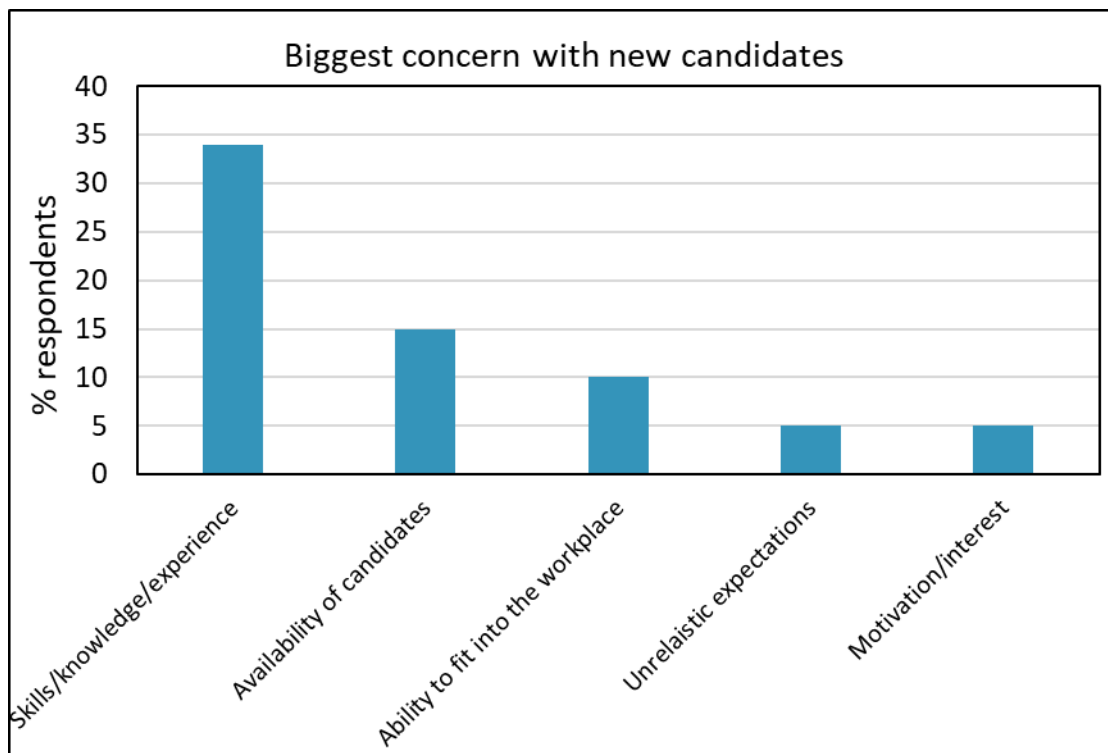
³⁹ Is engineering education delivering what industry requires, E.May and D.S.Strong, Proc. Canadian Engineering Education, August 2011, <https://ojs.library.queensu.ca/index.php/PCEEA/article/view/3849>, Date accessed: 8.8.2017. doi: <https://doi.org/10.24908/pceea.v0i0.3849>, 2011

איור 12: האתגרים המרכזיים בגיוס מהנדסים וטכנאים בפרופילים שונים, על פי סקר באנגליה³⁵



תמונת מצב זו תואמת את החשש שעלה אצל חלק ניכר מן הנשאלים לגבי הידע, הניסיון והכישורים של הדור הבא של המהנדסים (איור 13) אשר לו כמובן השלכה לגבי האופי של חינוך מהנדסים באקדמיה. החששות הבולטים הם הניסיון והזמינות של מהנדסים.

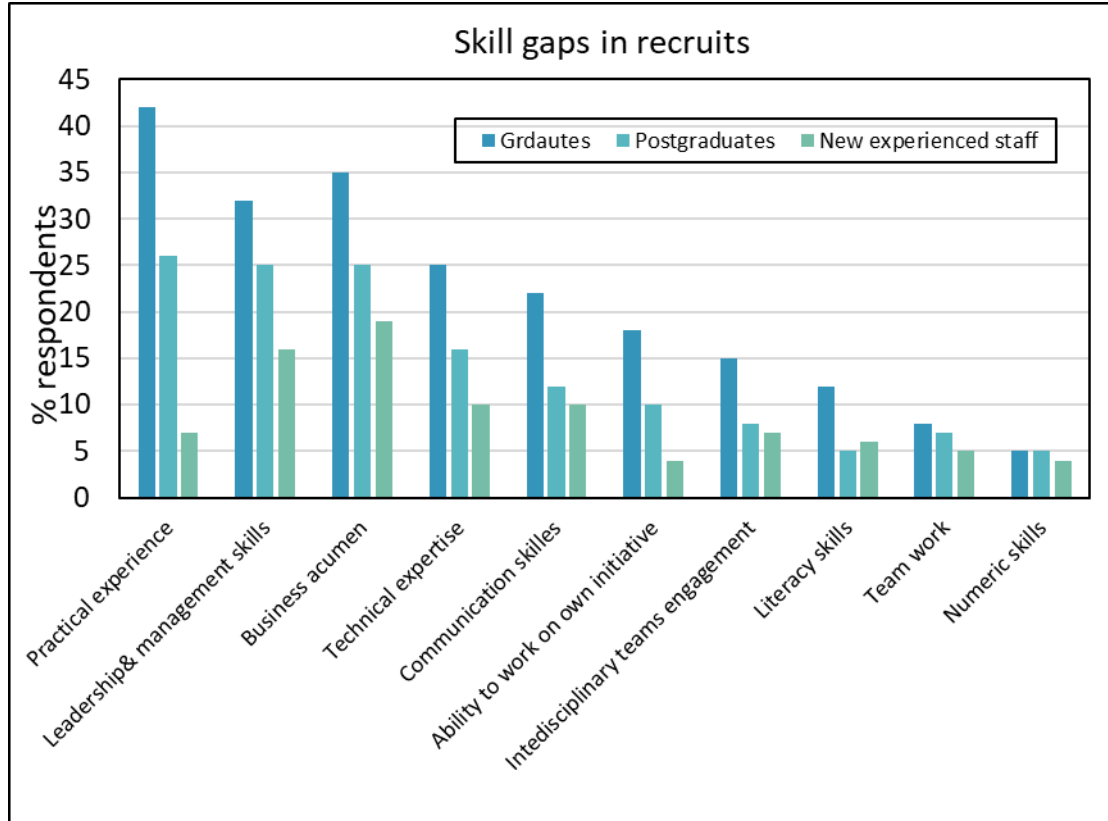
איור 13: חשש עיקרי בגיוס מהנדסים חדשים על פי סקר באנגליה³⁵



ביטוי פרטני לחששות אלה ניתן על יד מענה לשאלה בדבר הפערים בכישורים של מהנדסים מנוסים ובוגרים צעירים, איור 14. אצל בוגרים חדשים ובוגרי תואר שני יש פערים בניסיון מעשי, בכישורי

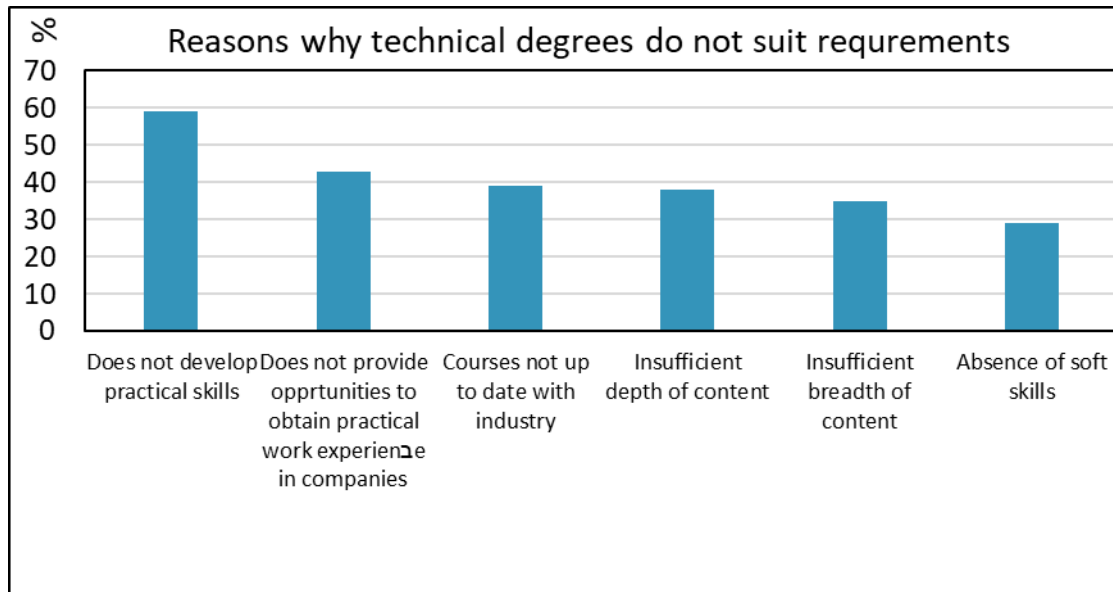
מנהיגות וניהול, ובהיבטים עסקיים. הפערים אצל מועמדים בעלי ניסיון מסוים הוא בהיבטים העסקיים וכישורי ניהול ומנהיגות.

איור 14: פערים בכישורים של מהנדסים בוגרי תואר ראשון, תארים מתקדמים ומהנדסים מנוסים על פי סקר באנגליה³⁵



פרוט נוסף המתייחס לפערים קבל ביטוי במענה לשאלה מדוע החינוך ההנדסי אינו נותן מענה ראוי לדרישות השוק (איור 15). מגוון התשובות כולל: החינוך האקדמי לא מפתח כישורים מעשיים, אין בו הזדמנויות מספקות להתנסות מעשית במקומות העבודה, הקורסים אינם מעודכנים עם התעשייה, התכנים לא מספיק מעמיקים ורחבים, מחסור בכישורים רכים.

איור 15: הסיבות העיקריות הגורמות לכך שחינוך הנדסי אינו נותן מענה ראוי לדרישות התעשייה של הנשאל, על פי סקר באנגליה³⁵



סקר שנערך בקנדה בקרב תעשיינים העלה שורה של חולשות בקרב הבוגרים הצעירים של לימודי הנדסה באוניברסיטאות, אשר הבולטים בהם מפורטים בטבלה 5.

טבלה 5: חולשות בקרב צעירים בוגרי לימודי הנדסה אשר עלו בסקר של תעשיינים בקנדה³⁹

	Weakness	Description
1	Practical skills	Lacking in hands-on experience; little to no preparation for real world problems
2	Communication skills	Lacking in oral and written communication skills; difficulties in conveying ideas orally and written
3	Business skills	Lacking in background of engineering economics, budgeting, marketing
4	Ability to work with others	New graduates have no multi or interdisciplinary experience; have difficulties working with other employees (older, non-technical, etc.)
5	Focus on theory	Schools have focuses too many resources on developing theory and academics; narrow education
6	Design process	New graduates have no experience with the design process or design methodology
7	Teaching	Professors present courses poorly and have little or no training; faculty appears to be employed mainly for research skills
8	Understanding of safety, regulatory and liability	Students have no concept of the safety, regulatory, or liability requirements one must meet in order to complete design
9	Project management	New graduates have little experience in planning a project from start to finish; few project management tools are taught
10	Ability to think critically	New graduates lack the ability to think critically; unable to critically analyze a design and its potential risks

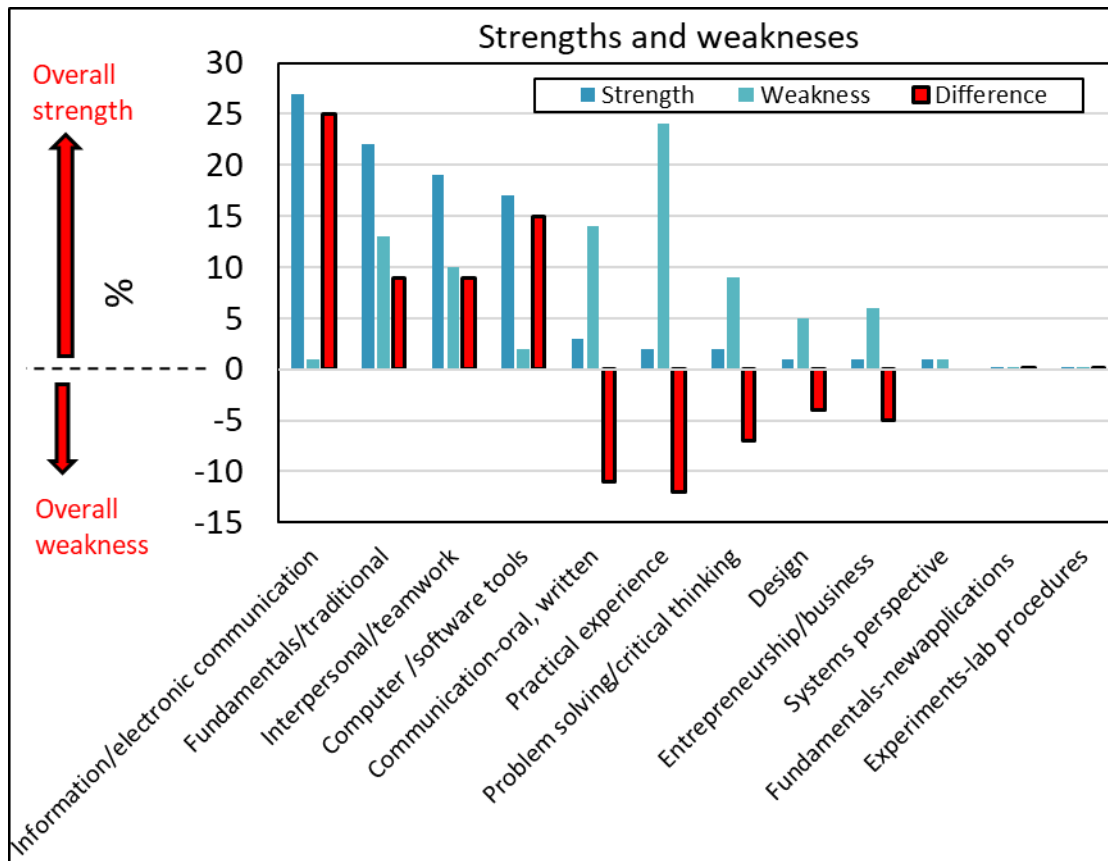
החוסרים של החינוך ההנדסי שזוהו בסקרים של התעשייה באנגליה ובקנדה דומים באופיים לתוצאות סקר בעל אופי דומה שבוצע לגבי בוגרי הנדסת מכונות על ידי האגודה האמריקאית להנדסת מכונות, ASME³⁶. בסקר התבקשו התעשיינים להתייחס לחוזקות ולחולשות בשורה של מיומנויות:

- Practical experience
- Communication (oral, written)
- Overall systems perspective
- Engineering codes and standards
- Problem solving and critical thinking
- Project management
- Design (product creation)
- Experiments (laboratory procedures)
- Business processes\leadership
- Interpersonal/teamwork

- Technical fundamentals (traditional engineering sub-disciplines)
- New engineering applications
- Computer modeling/analysis (software tools)
- Information processing (electronic communication)

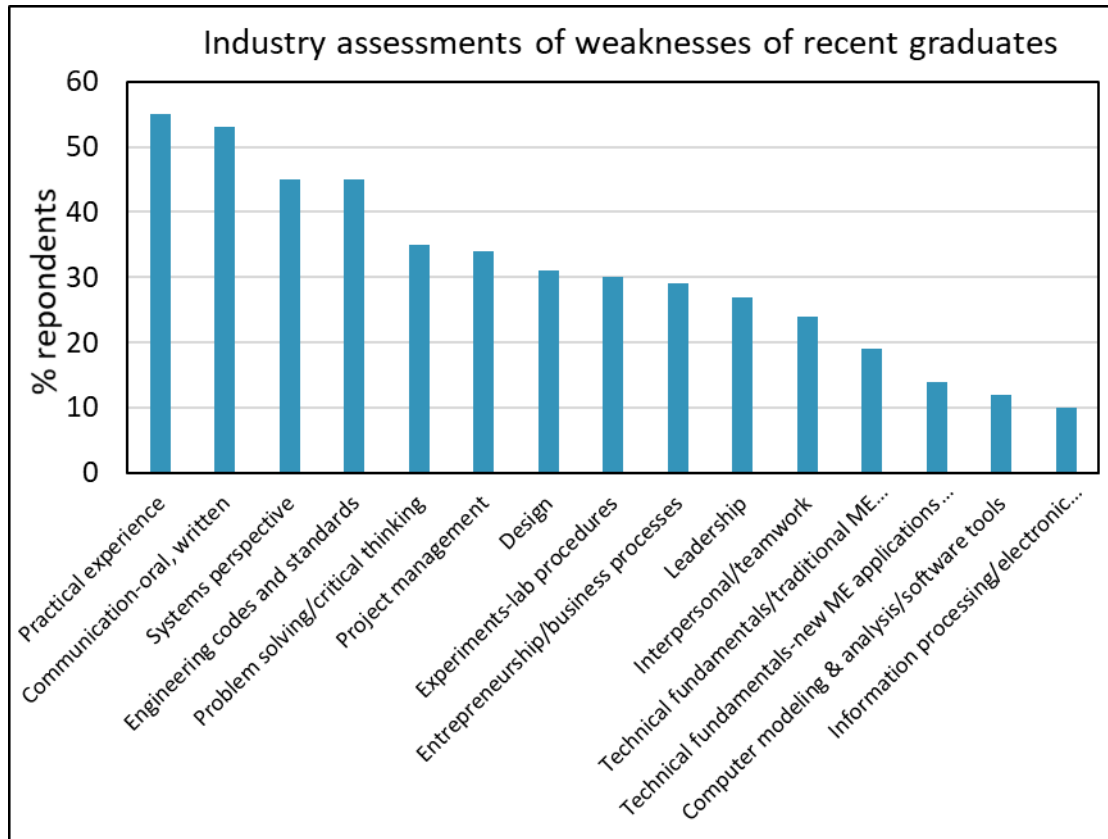
תוצאת הסקר מוצגות באיור 16. ניתן לראות שהחוזקות הם נושאי תקשורת אלקטרונית, מדעי יסוד עבודת צוות, וכלי מחשב ותוכנה. נקודות החולשה הן ניסיון מעשי, פתרון בעיות, תכן, יזמות, חשיבה עסקית, חשיבה ביקורתית, תקשורת (כתובה ובעל פה).

איור 16: חוזקות וחולשות של בוגרי הנדסת מכונות והשקלול הכולל שלהם, על פי סקר של תעשיינים³⁶ שנערך ע"י ASME



תמונת ראי משלימה של תובנות אלה באה לידי ביטוי במענה להערכה בדבר הרמה של בוגרי הנדסת מכונות בכל הקשור לאפיון חולשות ב- 14 כישורים, איור 17³⁶. חולשות משמעותיות באות לידי ביטוי בהעדר ניסיון, בכישורי תקשורת, גישה מערכתית, חשיבה ביקורתית ופתרון בעיות, ניהול ותכן.

איור 17: הערכת התעשייה בארה"ב לבוגרי הנדסת מכונות³⁶: % התשובות בדבר חולשות ב- 14 כישורים



מתוך תוצאות שאלונים אלה ניתן להסיק לגבי החוזקות והחולשות העיקריות מנקודת מבט של התעשייה:

חולשות עיקריות -

- ניסיון מעשי
- תקשורת בכתב ובדיבור
- פתרון בעיות/חשיבה ביקורתית

חוזקות עיקריות -

- עיבוד מידע ותקשורת אלקטרונית
- יסודות טכניים מסורתיים
- מידול ואנליזות ממוחשבות
- עבודת צוות

במפגש סיעור מוחות שנערך ביוזמת הנהלת הטכניון עם מספר אישים מובילים מהתעשייה הישראלית עלו מספר תובנות לגבי הכישורים והחינוך של מהנדסים בישראל⁴⁰:

חולשות וכישורים חסרים של הבוגרים:

- יצירתיות
- ראייה מערכתית
- כישורים בין-אישיים כגון: עבודת צוות, תקשורת כולל כושר הצגה ושכנוע, ניהול זמן.
- חסרה הבנה בסיסית של נושאים משיקים כגון אתיקה, נושאי רגולציה, תקציבים.

⁴⁰ סיכום מפגש בטכניון בהנחיית פרופ' אדם שוורץ, המשנה הבכיר לנשיא, ופרופ' אבינועם קולודני מהפקולטה להנדסת חשמל בטכניון, 18.7.2017

מגמות בצרכי העתיד ודרכי פעולה עתידיים:

- "טרנספורמציה דיגיטלית של העולם" – מהנדסים בכל התעשיות יפיקו תכנה וחמרה. נחוצה אוריינות דיגיטלית (החל מגיל ביה"ס).
- נחוצה הבנה מערכתית, הנדסת מערכת.
- גוברת חשיבות של data וכלים לטיפול במידע.
- צריך להכשיר ללימוד עצמי, כי לא ידוע מה נצטרך בעוד 10-15 שנים. רוב הדברים שמלמדים כיום לא יהיו רלבנטיים.
- צריך לשלב סטודנטים במחקר והתנסות בשאלות פתוחות, לפתח אומץ מקצועי ו-"בטחון לדבר שטויות", ללמוד משגיאות, לפתח יכולות אבחנה בין עיקר לטפל.
- יש מקום לרב-תחומיות ($CS+X$, $X+CS$, $major+minor$, השילוב הראוי: ידע עמוק בשני תחומים או יותר, או ידע עמוק בתחום אחד והבנת השפה של תחום אחר. לא מועיל ידע רדוד בשני תחומים).
- קצב השינוי של העולם דורש מהירות וגמישות, והאקדמיה איטית מדי ושמרנית מדי.

מיון מועמדים והערכת סטודנטים:

- קריטריון המיון הנוכחי (ציון סכום, פסיכומטרי, בגרות) אינו בקורלציה עם הישגים בגמר התואר.
- התעשיות ממיינות מועמדים על פי כישורים בין-אישיים וגם על פי ציונים מהאקדמיה. יש מקום לבחון האם שיקולים אלה צריכים לבוא לידי ביטוי במיון מועמדים לאקדמיה.
- יש צורך להתחשב בציוני בגרות ולמוסדות האקדמיים אחריות לדרבן למידה בתיכון.
- שינוי בגישה למיון יעלה חילוקי דעות בעלי היבטים אתיים וחברתיים ויש לכן להיזהר מניסויים בתחום זה.

קשרים לתעשייה:

- ציפיות לחיזוק שיתוף הפעולה.
- ציפיות (וספקות) בנוגע למחויבות אנשי אקדמיה לפעול בתחום איכות הלימודים.
- יש מקום לשיתוף פעולה עם התעשייה בפיתוח כישורים נדרשים, אבל יש דעות שונות על המנגנונים המתאימים ועל מדיניות בנוגע לעבודת סטודנטים בזמן הלימודים.

תובנות מסקר בוגרים

התובנות מסקר בוגרים מבוססות על סקרים שבוצעו לגבי בוגרי הנדסת מכונות ב-MIT^{34,35} אשר האחרון בהם התפרסם ב-2015 וכלל סיכום של סקרים קודמים של Bartra, Kelly, Kristen, אשר נעשו בפרקי זמן שונים על פני תקופה שהחלה ב-2004. המתודולוגיה והשאלונים היו דומים, כך שהתאפשר לערוך השוואה על פני זמן. הבוגרים נשאלו על הכישורים אשר נדרשו להם במהלך הקריירה, רמת המיומנות הנדרשת בכל אחד מהכישורים, תוך התייחסות לתדירות השימוש ומקור הידע.

הכישורים שנבחנו היו במספר תחומים עיקריים:

- Technical knowledge
- Engineering skills
- Work environment
- Personal skills and attributes

בכל אחד מהם ניתן פרוט משני, כפי שמוצג בטבלה 6.

טבלה 6: פרוט הכישרים בסקר של בוגרי הנדסת מכונות ב-MIT³⁷

<ol style="list-style-type: none"> 1. Technical knowledge <ul style="list-style-type: none"> • Underlying sciences • Underlying mathematics • Mechanics of solids • Mechanical behavior of materials • System Dynamics • Fluid mechanics • Thermodynamics • Heat transfer • Engineering design process • Manufacturing 2. Engineering skills <ul style="list-style-type: none"> • Engineering reasoning • Experimentation • System thinking • Idea development • Designing • Testina 	<ol style="list-style-type: none"> 3. Work environment <ul style="list-style-type: none"> • Independent thinking • Teamwork • Leadership • Communication 4. Professional skills and attributes <ul style="list-style-type: none"> • Personal skills • Professional attributes • External and societal context • Business context • Market context
--	--

רמת המיומנות בשאלונים נקבעה על פי הקטגוריות שלהלן:

1. To have experienced or been exposed to
2. To be able to participate and contribute to
3. To be able to understand and explain
4. To be skilled in the practice or implementation of
5. To be able to lead or innovate

הקטגוריות של תדירות השימוש:

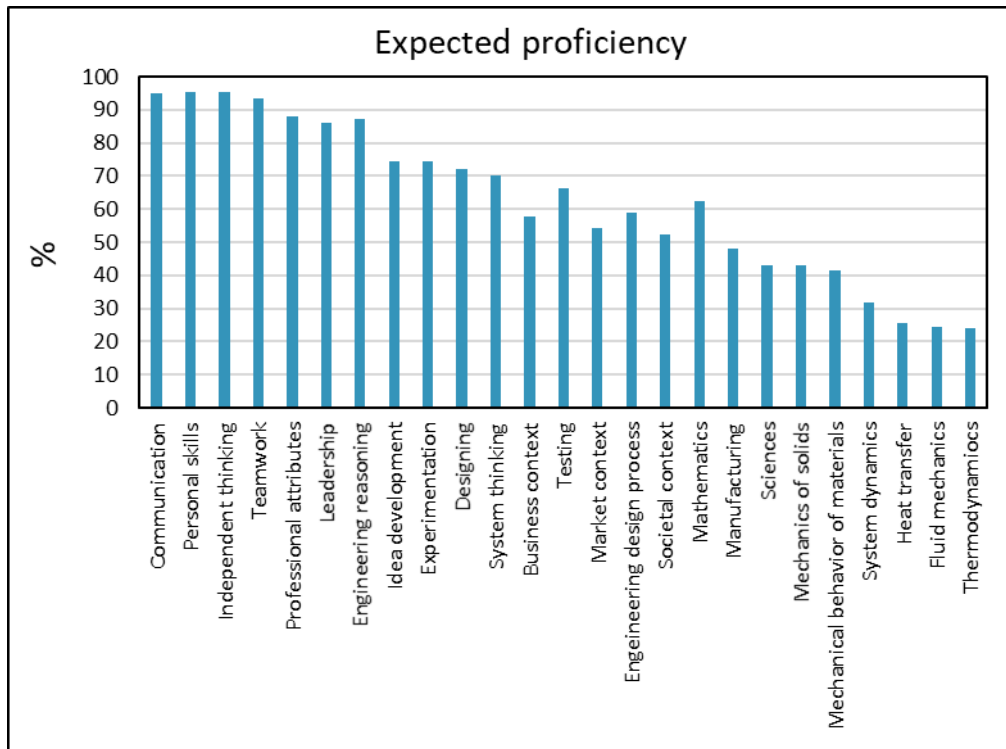
1. Never
2. Hardly ever – a few times a year
3. Occasionally – at least once a month
4. Regularly – at least weekly
5. Frequently – on most days
6. Pervasively – for almost everything I do

הסיווג של מקור הידע לפי הקטגוריות הבאות:

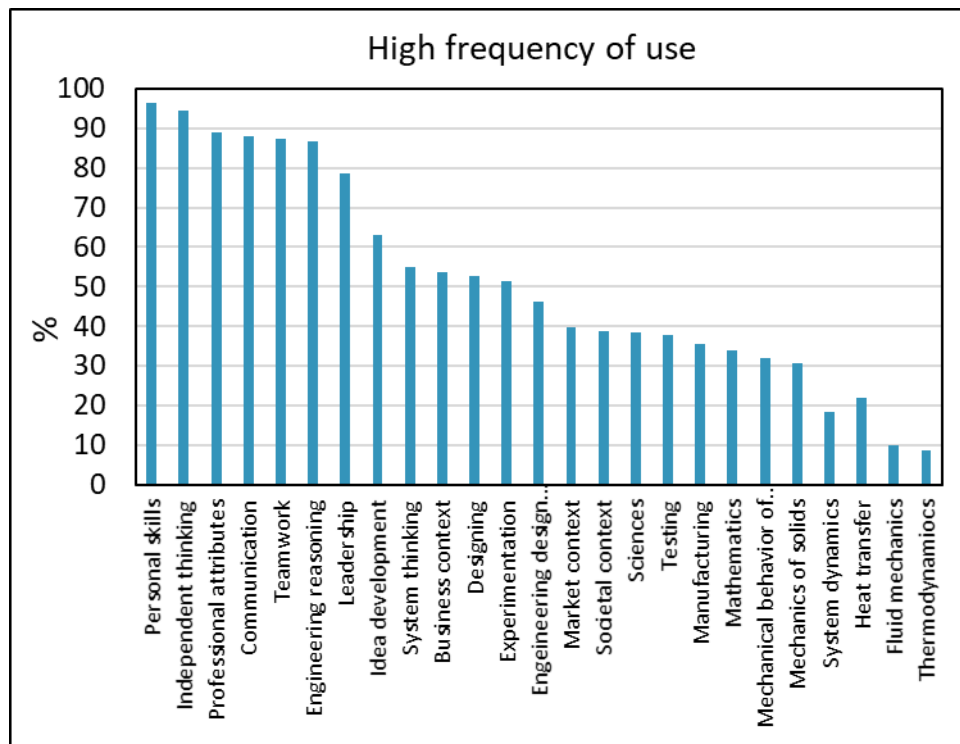
- לימודי תואר ראשון ב- MIT
- תואר מתקדם
- הכשרה במסגרת החברה
- ניסיון בעבודה
- אחר

אגרגציה של תוצאות הסקר של 2014 לגבי המיומנות הנדרשת בכל אחד מהכישרים מוצגת באיור 18 ותדירות השימוש באיור 19.

איור 18: הכישרים החשובים ביותר הנדרשים למהנדס בהתבסס על סקר של בוגרי הנדסת מכונות ב-MIT³⁷



איור 19: הכישרים בהם תדירות השימוש למהנדסים היא הגבוהה ביותר (יותר מאשר אחת לשבוע) לפי סקר של בוגרי הנדסת מכונות ב-MIT³⁷



ארבעת הנושאים המובילים מבחינת מיומנות הכישרים היו תקשורת, כישרים אישיים, חשיבה עצמאית ועבודת צוות.

השוואת תדירות השימוש ורמת המיומנות מצביעה על קשר גומלין חזק בין תדירות שימוש גבוהה ורמת מיומנות גבוהה.

מאכזב להיווכח שידע טכני הוא בתחתית של שתי רשימות אלה, אך צריך לזכור שידע כזה הוא הבסיס להנדסה וללא בסיס זה אין ערך רב לכישורים האחרים.

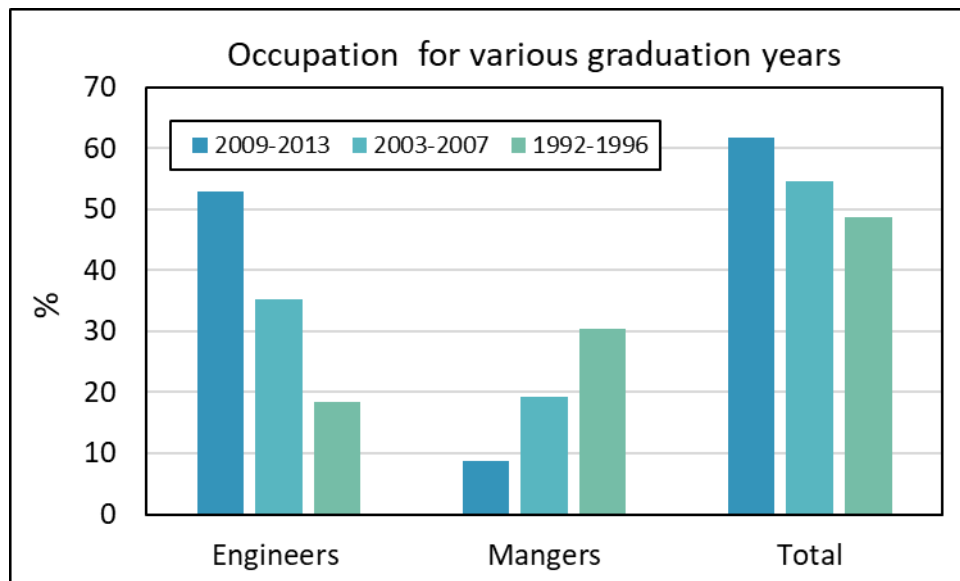
תוצאות הסקר לגבי מקור הידע והמיומנות בכישורים השונים מצביעות כצפוי שמרבית הידע הטכני והכישורים ההנדסיים נרכשו בלימודי התואר הראשון והשני (כ- 80% מהעונים).

הכישורים שבהם תדירות השימוש היא הגבוהה ביותר, ובהם - כישורים אישיים, חשיבה עצמאית, כישורים מקצועיים (professional attributes, כוללים אתיקה, יושרה, לימודים מתמשכים) תקשורת ועבודת צוות - נרכשו בעיקר בעבודה קודמת או במקום אחר וכחות בלימודים פורמליים (תואר ראשון, שני והכשרות של החברה).

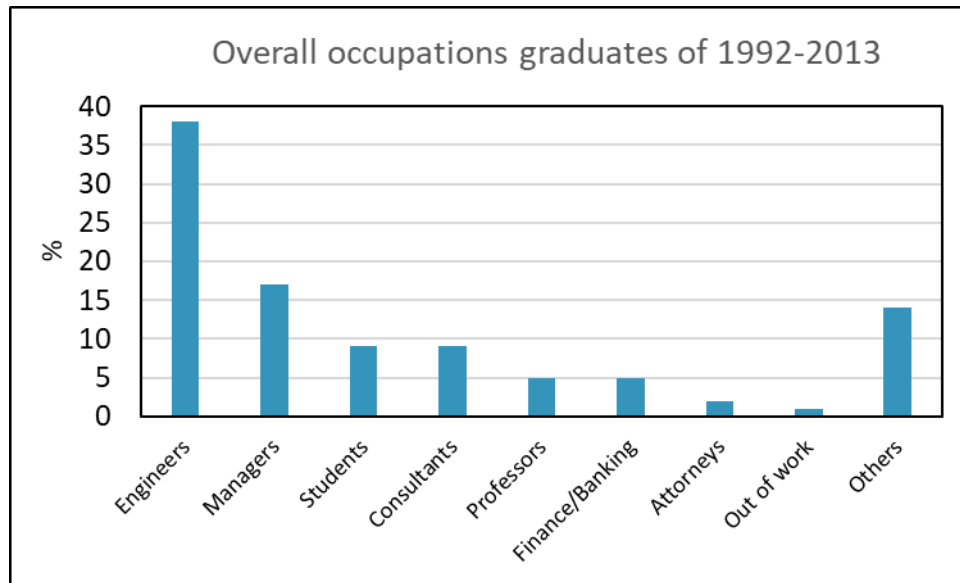
הנתונים שהוצגו עד כה מתארים ערכים ממוצעים. יש אבל להביא בחשבון שהעיסוק של בוגרי ההנדסה משתנה על ציר הזמן, ככל שהקריירה של המהנדס מתפתחת. שינוי זה נבדק על ידי הצגת מענה לשאלונים בתלות בשנת סיום הלימודים של הנשאלים.

פילוג העיסוקים העיקריים בתלות בשנת סיום הלימודים מוצג באיור 20. פילוג של כלל העיסוקים לפי חתך ממוצע על פני בוגרי השנים 1992 – 2013 מוצג באיור 21. בולטת המגמה שבשנים שבסמוך לסיום הלימודים העיסוק העיקרי הוא ההנדסה, אך ככל שמתארך הזמן החלק של העיסוק ההנדסי קטן וגדל העיסוק כמנהל.

איור 20: פילוג העיסוקים של הנשאלים בתלות בשנת סיום לימודי תואר ראשון, סקר של בוגרי הנדסת מכונות ב-MIT³⁷



איור 21: פילוג כלל העיסוקים של בוגרי תואר ראשון בשנים 1992-2013, על פי סקר של בוגרי הנדסת מכונות ב-MIT³⁷



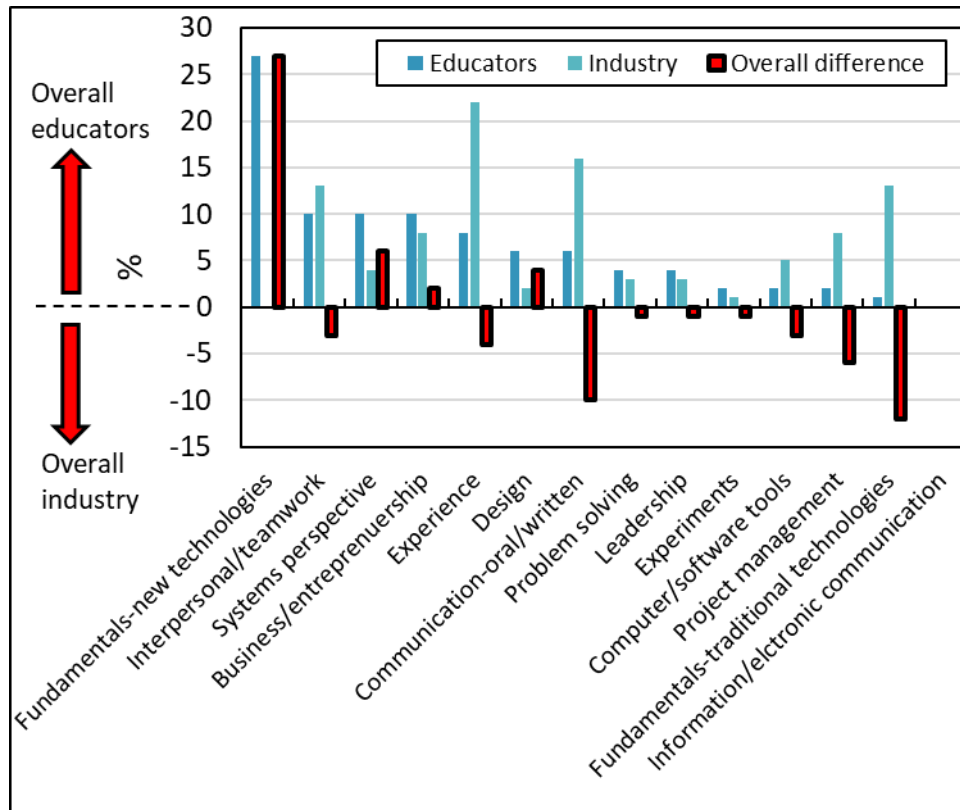
תובנות מהשוואת נקודת המבט האקדמית והתעשייתית

נקודות המבט של חולשות וחוזקות לגבי כישורים ספציפיים אינם תמיד דומים בהתייחסיות של אנשי תעשייה ואקדמיה. למשל, בסקר שנערך בקנדה³⁹ נמצא באופן אירוני, שבמספר כישורים אשר בהם הסטודנטים העריכו שהם חזקים, זוהו ע"י התעשייה כחולשות עיקריות: סטודנטים העריכו בעקבות פרויקט הגמר שבצעו שהם חזקים דיים בהעברת אינפורמציה טכנית, עבודת צוות ותקשורת כתובה ובעל פה, בשעה שאנשי התעשייה זיהו חולשות בכישורים אלה. הבהרת והגדרת פערים מסוג זה הנה חשובה כדי לגשר על פני הציפיות של בעלי העניין בחינוך מהנדסים ולאפשר לתת את הדעת על הצורך בשינויים בתוכניות הלימוד.

ניתוח פרטני של פערים מסוג זה דווח על ידי השוואת התשובות לשאלונים של אנשי תעשייה ואקדמיה במסגרת סקר של מהנדסי מכונות שבוצע ע"י האגודה האמריקאית להנדסת מכונות (ASME)³⁶. עיקר הממצאים מוצגים להלן.

במסגרת הסקר נשאלו המחנכים לרכיבים החסרים לדעתם לצורך הכשרת מהנדסים למאה ה-21 ואנשי התעשייה נשאלו לגבי הכישורים הנדרשים החסרים. תוצאות ההשוואה בין התגובה של אוכלוסיות אלה מוצגת באיור 22.

איור 22: רכיבים החסרים להכשרה של מהנדסים במאה ה-21, מנקודת המבט של האקדמיה (מחנכים) והתעשייה, לפי סקר של מהנדסי מכונות בארה"ב³⁶



יש לציין שיש הבדלים משמעותיים בין החוסרים לפי דעת המחנכים מהאקדמיה ואנשי התעשייה. אנשי האקדמיה מצבו בראש רשימת החוסרים בחינוך את הייסוס של היסודות של טכנולוגיות חדשות, גישה מערכתית ותכן, בשעה שאנשי התעשייה מצבו את הניסיון ויכולת לתקשורת (בעל פה וכתובה) ויסודות הנדסיים מסורתיים בראש המרכיבים החסרים.

בשורה של שאלות נוספות למחנכים מהאקדמיה הועלתה סוגיית דרך ההוראה. רבים מהם הצביעו על הוראה באמצעות פרויקט כמרכיב חשוב. הייתה התייחסות לרוחב לעומת העומק בפרויקט, וחלק טענו שבפרויקט יש אלמנט של ניסיון.

מתוך הסקרים הללו הציגו בדו"ח של ASME שורה של תובנות שעלו מהראיונות במקביל של אנשי אקדמיה ותעשייה³⁶.

תובנות מהתעשייה ועבור התעשייה:

- מחסור בניסיון מעשי - ראשי מחלקות הנדסת מכונות מסכימים
- חוסר בכישורים בינאישיים ותקשורת - ראשי מחלקות הנדסת מכונות לא מסכימים
- התעשייה איננה מעוניינת בקורסים מעבר לקורסים היסודיים בהנדסת מכונות אלא אם הם קשורים ישירות לאינטרס העסקי של החברה - ראשי מחלקות הנדסת מכונות סבורים לעומת זאת שיש חשיבות לקורסים של טכנולוגיות חדשות
- יכולות להגדרת ופתרון בעיות הנן חשובות למעסיק וגם לבוגר
- נראה על פניו שהתעשייה מגייסת יותר מדי מהנדסים לתפקידים שמתאימים יותר להנדסאים
- הדרישה של התעשייה למהנדסים עם ניסיון יכולה להיות הזדמנות לקידום של תכניות של טכנולוגיה הנדסית (engineering technology programs) או לתואר הנדסי עם אוריינטציה יישומית (practice based engineering degree)

- על התעשייה לשנות כיוון לגבי המועסקים שלה וההכשרה שלהם ולנצל טוב יותר את ההתלהבות של מהנדסים צעירים והיצירתיות שלהם בגיל צעיר. יצירתיות זו באה לידי ביטוי בשלבים הראשונים של הקריירה וניתן למזג אותה עם ההתלהבות

תובנות מהאקדמיה ועבור האקדמיה:

- הבוגרים שוכחים חלק ניכר מהתכנים הטכניים שלמדו וזאת כבר בסמוך לסיום לימודיהם, ולא עושים שימוש רב בתכנים אלה בתחילת הקריירה שלהם
- תכניות לימוד למהנדסים אינן אטרקטיביות בדרך כלל לבוגרי תיכון עם עניין ויכולות מחוץ למתימטיקה ומדע, והינן בעלי כוח משיכה לנשים ולמיעוטים
- חברי הסגל מלמדים בהתבסס על הניסיון האקדמי שלהם, תוך מיקוד ניכר בפרטים טכניים. במקרים רבים הם מחנכים סטודנטים לכיוון תכניות לתואר דוקטור במקום לקריירה מקצועית, זאת למרות שרוב הבוגרים ילכו לפרקטיקה הנדסית בתעשייה ולא לתארים אקדמיים גבוהים
- רוב חברי הסגל, כאשר הם נשאלים כיצד לפתח כישורי מנהיגות ותקשורת, טוענים שאלה צריכים להיות מוטמעים בקורסים טכנולוגיים קיימים (existing technical coursework)
- ראשי מחלקות להנדסת מכונות סבורים שיש צורך רב יותר בלימודים מתקדמים (לימודי מוסמכים) טכנולוגיים, ומנהלים מהתעשייה מסכימים
- ראשי המחלקות האקדמיות מעדיפים מסלול לתואר ראשון + תואר מסטר פרופסיונלי, בשעה שמנהלים מהתעשייה חלוקים ביניהם לגבי הערך של תואר מסטר
- ראשי מחלקות אקדמיים סבורים שהזמן של הסגל האקדמי, משאבים ומומחיות הם המכשולים העיקריים לפני רפורמה חינוכית. התהליך של האקרדיטציה (ABET) והדרישות בו הם המכשול הקטן יותר
- קרוב לחצי מראשי מחלקות אקדמיות ומנהלים מהתעשייה מסכימים שיש צורך להגדיל בלימודי תואר ראשון את התכנים של הנדסת מערכות
- קרוב לשליש מראשי המחלקות האקדמיות והמנהלים מהתעשייה מסכימים שיש צורך לחזק את הכישורים בתחומים של תהליכים עסקיים, ניהול פרויקטים ומנהיגות של בוגרי תואר ראשון

תובנות של בוגרים צעירים:

- נראה שיש חוסר בשביעות רצון בעבודה של בוגרי הנדסת מכונות, ומספר רב של בוגרים עוזבים את ההנדסה לקריירה בתחומים אחרים
- יש מקום לגמישות בתכנים הלימודיים, כדי לתת לסטודנטים יותר חופש בבחירת תכנית הלימודים שלהם, וזאת כדי לנצל טוב יותר את הכישרון שלהם לטובת התעשייה; דרך פעולה זו יכולה לעזור לשימור הבוגרים הצעירים בתעשייה ולתת יתרונות לבוגרים וגם למעסיקים שלהם
- סטודנטים ומהנדסים צעירים רוצים להשפיע (to make a difference) על החברה (במובן של society) לטובת המעסיק שלהם

תובנות כלליות:

- מרבית חברי הסגל מסכימים שהסיבה העיקרית לשינוי משמעותי בתוכניות הלימוד היא האתגרים הגדולים העומדים בפני העולם שלנו ושיש צורך בהגברת החדשנות וגיוון גוף הסטודנטים (נשים, מיעוטים)
- יש ספק רב אם שינוי אקדמי משמעותי יתרחש ברוב האוניברסיטאות ללא שינוי בשיטת הקידום והתמורה לחברי הסגל או שינוי בפרופיל ההתמחות שלהם
- יש צורך בתשומת לב רבה יותר בתוכניות אקדמיות לנושאים כדוגמת צמיחה בת קיימא וחדשנות, במיוחד בהקשר של פתרון לאתגרים העומדים בפני העולם שלנו.

בהקשר זה מעניין לציין את התגובות של התעשייה בדבר השאלה לנכונות שלה להיות מעורבת בהכשרת מהנדסים. סוגיה זו עלתה בשאלון באנגליה ו-97% מהמשיבים הביעו תמיכה ועניין בצורך

של התעשייה להשתלב בחינוך באוניברסיטאות, בעיקר בסיוע למציאת דרכים לרכישת ניסיון. בהקשר זה גם עלה הרצון מצד התעשייה להיות יותר פרואקטיבית בגיוס של נשים ומיעוטים.

הדו"ח של ASME מדגיש במסקנותיו שנדרש שינוי בתוכניות ההכשרה, שיגביר לא רק יכולת להמציא אלא גם יכולת ליישום של ההמצאות, או חדשנות. חדשנות מחייבת מנהיגות וזו צריכה לבוא ממהנדסים בעלי הבנה טכנית ואומץ לפתור בעיות מפתח. אין זה נכון להשאיר את אלה בידי כאלה שאינם בעלי הכשרה טכנית. על מהנדסים לקחת על עצמם תפקידי מנהיגות לא רק בפרויקטים טכנולוגיים אלא גם בחברה, להוביל בקהילה ובממשל.

◀ שאלון לאנשי תעשייה בישראל

בהסתמך על הסקר בפרק זה גובש שאלון לאנשי תעשייה ישראלים במטרה להבין טוב יותר את הצרכים בארץ ולאפיין פערים בין התעשייה והאקדמיה לצורך דיון מושכל בתוכניות לימודים למהנדסים ולצורך להתאימם לתקופה הנוכחית.

השאלון יכסה את הנושאים הבאים:

1. מהם החוזקות והחולשות של המהנדסים הצעירים שגייסת למפעל שלך בתקופה האחרונה?
2. באם גייסת מהנדסים צעירים בוגרי אוניברסיטאות וגם בוגרי מכללות, איזה הבדלים עיקריים אתה מאבחן בכישורים ובידע שלהם, אם בכלל יש הבדלים?
3. האם המהנדסים הצעירים שגייסת היו מוכנים למשימות שהטלתם עליהם במפעל? אם לא - מה בעיקר היו הפערים אצלם? איך אתם מתגברים/סוגרים פערים אלו? (חניכה? הדרכות פנימיות? הכשרות חיצוניות?)
4. האם אתה מעסיק סטודנטים להנדסה במפעל שלך? האם העסקה זו תורמת להכשרתם כמהנדסים במפעל שלך? האם זהו מסלול גיוס מקובל ומוצלח במפעל שלך?
5. האם נכון שבתה הספר להנדסה יקנו לסטודנטים "כישורים רכים", שהם כישורים בינאישיים ופרופסיונליים, כמו: מנהיגות, עבודת צוות, תקשורת בין אישית, יזמות ויצירתיות, ביטוי בכתב ובע"פ, לשאול שאלות? או שכישורים אלה אמורים להירכש במהלך הקריירה בתקופת חניכה לאחר סיום הלימודים?
6. בתי ספר להנדסה נוהגים להכשיר סטודנטים בתחום הדיסציפלינארי הספציפי של הפקולטה שלהם. האם להערכתך נכון להכשיר בנוסף את הסטודנטים בהיבטים מערכתיים ורב דיסציפלינאריים?
7. יש הטוענים שבתה הספר להנדסה מכשירים בעיקר בתחומי היסוד התיאורטיים, בתחומי האנליזות התיאורטיות ופחות בתחומי תכן ויצור מוצרים ומערכות. האם מניסיוןך והערכתך, טענה זו נכונה ומה משמעותה עבורכם במפעל?
8. האם לדעתך התעשייה יכולה להשתתף בהכשרת סטודנטים להנדסה, על ידי למשל: ביצוע עבודות מונחות ופרויקטים מונחים בתעשייה, הקניית כישורים רכים בתעשייה ועוד?, או לחלופין לקיים תכנית חניכה במפעל למועסקים חדשים?
9. האם נכון שבתה ספר להנדסה יציעו לימודי המשך ולימודים לאורך החיים של המהנדסים בתעשייה, בתחומים מתקדמים ומתפתחים? האם יש העדפה ללימודי המשך או לתואר נוסף, מסטר בעל גוון מעשי?
10. איזה שינויים היית ממליץ לבתי ספר להנדסה לבצע בתוכניות הלימודים שלהם, ובמתכונת ההכשרה שלהם? האם יש מקום לשקול לעבור לתואר חמש שנתי (תואר ראשון + שני כדרישה לכניסה למקצוע ההנדסה)?
11. המהפכה התעשייתית הרביעית כוללת בתוכה בין השאר דיגיטציה נרחבת, אנליטיקה של נתונים מרובים, big data, רובטיקה מתקדמת, הדפסות תלת ממד, אינטרנט של הדברים, אינטליגנציה מלאכותית ועוד. האם אתה מצפה שבתה ספר להנדסה יכשירו את מהנדסי העתיד בתחומים אלו?
12. ציין נושאים נוספים החיוניים לך ולמפעל שלך בהכשרת מהנדסים בבתי ספר להנדסה.
13. עדיין אחוז הנשים הלומדות בבתי ספר להנדסה נמוך יחסית לחלקן באוכלוסייה. איך לדעתך נכון לעודד ולקדם נשים ללמוד הנדסה ולעבוד בתעשייה?

14. עדיין אחוז בני המיעוטים הלומדים בבתי ספר להנדסה נמוך יחסים לחלקם באוכלוסייה. איך לדעתך נכון לעודד ולקדם מגזר זה ללמוד הנדסה ולעבוד בתעשייה?

◀ תובנות מראיונות ראשוניים עם מהנדסים מובילים בתעשייה בארץ

כשלב מקדים לסקר המקיף נערכו ראיונות עם שמונה מנהלים ומהנדסים ישראלים שלהם תפקידי מפתח בתעשייה בארץ.

התובנות מראיונות ראשוניים אלה מסוכמים להלן:

כללי

במסגרת הראיונות שקיימנו עם תעשיינים על דמות המהנדס במאה ה-21, ראינו שהנושא של חינוך מהנדסים קרוב לליבם. הם מעורבים בגיוס, קליטה וחניכה של מהנדסים במפעלים שבניהולם, מתוך ראייה שמהנדסים מצטיינים הם נכס חשוב להצלחת המפעל. חלקם גם שימשו כמהנדסים בתחילת הקריירה שלהם, ולכן חלק מההתייחסויות שלהם מבוססות על ניסיון אישי. הם רואים באקדמיה מרכיב חשוב בהכשרת המהנדסים לענות לצרכים ולציפיות של התעשייה.

רוב המרואיינים התייחסו גם לתמורות המהירות ("שינויים אקספוננציאליים") בסביבה הטכנולוגית והתעשייתית. לדעתם, האקדמיה צריכה לענות על אתגר השינויים כהזדמנות גדולה לשינוי מהותי בתכנים של הלימודים, בשיטות ההוראה ובקשרים עם התעשייה והעולם הטכנולוגי היזמי. האקדמיה נדרשת ל"חשיבה מחוץ לקופסה" כדי להישאר רלוונטית להכשרת מהנדסים במאה ה-21.

חלק גדול מהמרואיינים התייחס גם לאופיו המשתנה של הדור הצעיר - מצד אחד הוא מוכשר מאד ו"הדור אינו פוחת" אלא להיפך, משתפר בהיבטים הטכנולוגיים ("נולדו לעולם האינטרנט, פייסבוק וסמרטפון"), אבל מצד שני הוא ברמות קשב וסבלנות יותר נמוכות, ובנוסף מפתח פחות נאמנות לאורך זמן למקום העבודה. לכן צריך "לאתגר אותו ולרגש אותו כל הזמן" גם באקדמיה וגם בתעשייה. הדור הנוכחי גם רגיש לערכים כמו איכות סביבה, מעורבות בקהילה ותרומה לחברה, וכדאי להתייחס ולנצל רגישות זו.

תובנות בולטות העולות מהשאלות הספציפיות:

חוזקות וחולשות של מהנדסים צעירים:

חוזקות - חכמים, אמביציוזיים, לא מעט ידע טכנולוגי, בעלי רצון עז להצליח. מביאים נקודות מבט חדשות, פורצי מוסכמות, לא כבולים לדוגמות, מעמידים בפניך (המהנדס הוותיק) מציאות יותר פשוטה; כלומר המהנדסים הצעירים מפשטים את המציאות, הם מסתכלים על המציאות יותר באופטימיות.

חולשות - ידע הנדסי חסר ואפילו קלוש, חסרים ידע בסיסי וכלים הנדסיים לצרכי פיתוח. ידע טכני בסיסי חסר. בטחון עצמי מופרז. הם בטוחים בפתרונות שהם נותנים, ולא רואים את המוקשים. חוסר בסבלנות - רוצים להצליח מהר, לא מוכנים להתפשר על תנאי עבודה בינוניים - מעוניינים בתנאים מודרניים, צורכים ריגושים בקצב גדול.

בוגרי אוניברסיטאות לעומת בוגרי מכללות:

בהתייחסות לסוגיה זו הדעות היו חלוקות. חלק מהמרואיינים מעריכים שהמהנדסים בוגרי אוניברסיטאות הם ברמה גבוהה יותר, בעיקר עקב כך שהסטודנטים הנקלטים ("חומר הגלם") הם ברמה יותר גבוהה. חלק מהמרואיינים ציינו שבוגרי מכללות הם יותר פרקטיים ויותר HANDS ON; לא ברור אם הבדל זה נעוץ בתכניות ההכשרה או ברקע של סטודנטים. כל המרואיינים ציינו את חשיבות השילוב בין האוניברסיטאות והמכללות בהכשרת מהנדסים, בתיאום עם התעשייה, כאשר כל גורם יצטיין בהכשרות בתחומים וכיוונים משלימים.

מוכנות המהנדסים לעבודה בתעשייה:

למהנדסים הצעירים הנקלטים בעבודה יש רקע תיאורטי טוב. חסר להם רקע טכני, מעשי ופרויקטלי. לכן בהתחלה נותנים להם משימות מתאימות. הם לא יודעים את תורת ניהול הפרויקטים ולכן חונכים

אותם בעניין זה. יש להם חסר גדול בתורת הניסויים. הם לא יודעים מה זה ניסוי. לכן מלמדים אותם איך מתכננים ומקימים ניסוי. יש להם חסר גדול בכתיבת דוחות ובהצגת נושאים. לכן מתרגלים אותם בעניין זה.

העסקת סטודנטים להנדסה בזמן הלימודים:

רוב המפעלים מעסיקים סטודנטים רבים. שני הצדדים רואים בכך ערוץ הכשרה והתנסות מעולה. זהו גם ערוץ מצוין להכרות הדדית, והפך בחלק מהמפעלים לערוץ ראשי לגיוס וקליטה. צוין שחלק מהפרופסורים באקדמיה רואים בהעסקה זו הפרעה ללימודים. חשוב ליצור סינרגיה בין האקדמיה והתעשייה בנושא העסקת סטודנטים על ידי פרויקטים משותפים מונחים באופן משותף. חלק מהמרוויינים מצדדים בקיום סטאז' בתעשייה כנהוג ברפואה, עורכי דין, רואי חשבון.

הקניית כישורים רכים:

כל המרוויינים רואים חשיבות להקנות למהנדסים כישורים פרופסיונליים-רכים (מנהיגות, תקשורת בין אישית, הצגת נושא, יזמות, יצירתיות). אבל הם סקפטיים לגבי היכולת הנוכחית של האקדמיה בהכשרה זו. לכן מוצע לקיים הכשרה זו במיקור חוץ של גורמים מתמחים בכישורים רכים, ו/או ליצור סינרגיה עם התעשייה בתחומים אלו.

הכשרה רב דיסציפלינארית:

הצורך בהכשרה רב תחומית הוא קריטי במאה ה-21. כיום המושג פקולטה הוא מושג מצמצם. החומות בין הפקולטות צריכות להיות יותר נמוכות. סטודנט למכונות נכון שילמד מקצועות מאלקטרוניקה ותוכנה. ייתכן ויש מקצועות הנדסיים שנכון שכולם ילמדו יחד כדי לעודד את הרב תחומיות. זהו אחד הנושאים המחייב מהפך מחשבתי ומעשי שהאקדמיה במאה ה-21 צריכה לעשות.

הכשרה בתחומי יסוד תיאורטיים:

אכן האוניברסיטאות מתמקדות בתחומים התיאורטיים. למשל, כמעט ולא מלמדים מקצועות תכן, יצור, תחזוקה. יש גם מחסור במעבדות בתחומים המעשיים האלו. תכנית הלימודים חייבת להתעדכן במהירות, למרות השמרנות באקדמיה. הנושאים התיאורטיים יכולים להיות תחומי ליבה, אבל סביבם ובנוסף להם חובה להוסיף תחומי תכן ויצור, טכנולוגיות מתקדמות וחדשניות, ניהול פרויקטים והנדסת מערכות.

הכשרת סטודנטים בתעשייה:

הנושא הוזכר בחיוב כבר לעיל בשלב העסקת סטודנטים לתואר ראשון. התעשייה יכולה לסייע בהנחיית פרויקטים לתואר. יש תחומים בהם יש מנחים מצוינים בתעשייה ולא באקדמיה. יש גם תחומים בהם יש מעבדות מתקדמות בתעשייה וגם התמחות בתעשייה, וזה יכול להוות בסיס להנחיה לתארים. צוינה גם אפשרות הסטאז' בתעשייה.

לימוד המשך ולימודים לאורך החיים:

התכניות הקיימות בלימודי חוץ לא עונות על הצרכים והאתגרים בעולם המשתנה במהירות. לכן זו הזדמנות למהפך מחשבתי, במתכונות ובתכנים. המהנדסים צריכים להישאר מעודכנים טכנולוגית ובתהליכי עבודה חדשניים. מן הראוי שהאקדמיה תקים תכניות אטרקטיביות בתחומים ובכיוונים החדשים והמתפתחים. גם כאן נכון לקיים סינרגיה בין התעשייה לאקדמיה.

שינויים נחוצים בתכניות הלימודים:

צוינו כבר לעיל הציפיות של התעשייה ללימודים רב תחומיים, להכשרה מעבר ללימודי הליבה התיאורטיים בנושאים כמו: תכן, ייצור, תחזוקה, סביבה, להכשרה בהיבטים הרכים. יש גם ציפיות לשינויים במתכונת הלימודים שיהיו מבוססים יותר על פרויקטים. הוצגה גם הגישה שהמפתח לשינוי בתכניות לימודים להנדסה הוא בפיתוח הנדסה כללית. מוצע שיקום גוף שיפתח הנדסה כללית, ואחר כך ילמד הנדסה כללית. ההנדסה הכללית בעידן האינטרנט צריכה להשתנות. הציפיות הטכנולוגית מוכרחה לשנות את ההנדסה,

לגבי ההצעה לתכנית 5 שנתית - הדעות היו חלוקות, מהתנגדות נחרצת הנובעת מהסיכון הכלכלי למשק בדחיית הכניסה של המהנדסים לעולם העבודה, הנובעת גם משאלת הבשלות של הסטודנטים לתחומי תואר שני, ו**מתמיכה** ברעיון של הכשרה יותר נרחבת ומעמיקה של מהנדסים בתכנית 5 שנתית. גם כאן הוצע לשלב את התעשייה בניצול הארכת התכנית לסטאז' בתעשייה.

המהפכה התעשייתית הרביעית:

יש חשיבות עליונה להכשיר לתחומים ולכיוונים הכלולים במהפכה זו - דיגיטיזציה, ניתוח ועיבוד נתונים רבים (DATA BIG), רובוטיקה נבונה, הדפסות תלת-ממד, אינטרנט של הדברים. זו יכולה להוות משיכה ללימודי הנדסה לקהל מצטיין, סקרן ויזמי.

עידוד וקידום בנות ללימוד הנדסה:

צוין השיפור שחל בנושא, אבל עדיין יש פוטנציאל גדול לא מנוצל. נכון לקיים כאן תכנית מערכתית הכוללת את הבית, חברה, בתי ספר, אקדמיה ותעשייה. צריך לעשות שינוי עמדות הן אצל הבנות והן בחברה, במערכת החינוך ובתעשייה.

עידוד מיעוטים ללימוד הנדסה:

יש התקדמות במגזר הערבי, יש התחלות במגזר החרדי. בכל אחד מהמגזרים יש פוטנציאל גדול לא מנוצל. נדרשת תכנית מערכתית כדי להתגבר על החסמים ולנצל את ההזדמנויות. גם כאן צריך שילוב של החינוך בבית, שינוי עמדות חברה, שיפורים במערכת החינוך, שינוי עמדות באקדמיה ובתעשייה.

סיכום:

דמות המהנדס במאה ה-21 היא נושא קריטי לתחרותיות התעשייה בישראל וכל הכלכלה הישראלית. יש כאן אתגרים מהותיים וגם הזדמנויות גדולות. מראיונות אלו בולטות תובנות חשובות למקבלי ההחלטות והיזמים בתחומים הקשורים לחינוך, אקדמיה ותעשייה.

10. תובנות מתוכניות אסטרטגיות של אוניברסיטאות מובילות בעולם

הנושא של חינוך מהנדסים נמצא על סדר היום של מרבית האוניברסיטאות המובילות בעולם. הדבר מוצא את ביטויו במסגרת של תוכניות אסטרטגיות של אוניברסיטאות רבות, כפי שניתן לראות בנספח ה'.

מתוך תוכניות אסטרטגיות אלה ליקטנו מספר נקודות מפתח המתייחסות לראייה שלהן לגבי חינוך מהנדסים, שהן רלוונטיות לפעילות החשיבה בנושא זה בארץ. נקודות מפתח אלה מיונו לפי מספר נושאים עיקריים, המתייחסים לפרופיל של הצעירים כיום ולמאויים שלהם (new generation of students), לחזון של חינוך מהנדסים (mission and vision), גיוס מועמדים ללימודי הנדסה (recruiting of candidates), הכשרה לידע וכישורים (knowledge and skills), אסטרטגיות ושיטות חינוך (educational strategies and methods).

סקירה תמציתית זו נותנת אינדיקציה לרוח הנושבת בתחומים אלה בקהילת חינוך המהנדסים הבינלאומית.

◀ The new generation of students

- The engineers of today and tomorrow see the world, and how they can address its challenges, in a very holistic way. They are enthusiastic about increasingly interdisciplinary research that brings together engineering fields with other disciplines, and an educational curriculum that trains future students to collaborate, create, and lead (**Stanford**).

◀ Mission and Vision

- Educating the next generation of engineers is at the very core of our mission, and preparing students to take on the challenges of the 21st century compels us to think anew about both what we teach and how we teach it (**Stanford**).
- Educating future leaders who will work creatively, cooperatively, effectively, and wisely for the betterment of humankind (**MIT**).
- 21st Century Engineers - Strategic aim: Inspiring future generations of engineers, equipping them with the best integrated engineering education, and engaging them at the leading-edge of engineering thinking, so that they can change the world (**University of Cambridge**).

◀ Recruiting candidates

- Build on the good evidence we already have that summer schools and teachers' conferences encourage successful applicants from a diverse range of backgrounds, alongside exploring targeted programmes of mentoring and bridging provision (**University of Oxford**).

- We will build on our success in developing scholarship schemes (**University of Oxford**).

◀ Knowledge and skills

- The engineering core curriculum will evolve, to ensure we are providing our students with both deep disciplinary insights and the skills to communicate, design, and work in teams (**Stanford**).
- In addition to disciplinary expertise, our students must develop the ethical sense to consider the consequences of their work and tailor solutions to meet human needs. We must integrate these elements both within Stanford Engineering and through deeper and more meaningful connections to the humanities and social sciences (**Stanford**).
- Constantly evolving our unique undergraduate course to give students an education that covers all aspects of engineering, including team work and leadership (**University of Cambridge**).
- Creating new facilities for students that foster creativity and collaboration both within the curriculum and in free time (**University of Cambridge**).

◀ Educational strategies and methods

- Discover, Create, and Pursue New Models of Learning (**UCLA**):
 - Rapidly determine emerging areas of knowledge and skill and address them through educational experiences delivered on demand
 - Conceptualize the basic unit of education to include a greater variety of choices, from knowledge nuggets to micro-learning modules to stackable credentials to competency-based education, and more
 - Develop new approaches to learning that enable students to personalize their educational experiences with new advances in technology
- Undergraduate Student Opportunities in Academic Research (USOAR), matching first-year, second year, and transfer students with no previous significant experience in research with a paid research position working with a faculty supervisor (**University of Virginia**).
- Evidence-Based Teaching and Learning: Course Design Institute, an intensive, multi-day, hands-on seminar which provides instructors the opportunity to experience the iterative, dynamic, and scholarly process of learning-focused course design (**University of Virginia**).

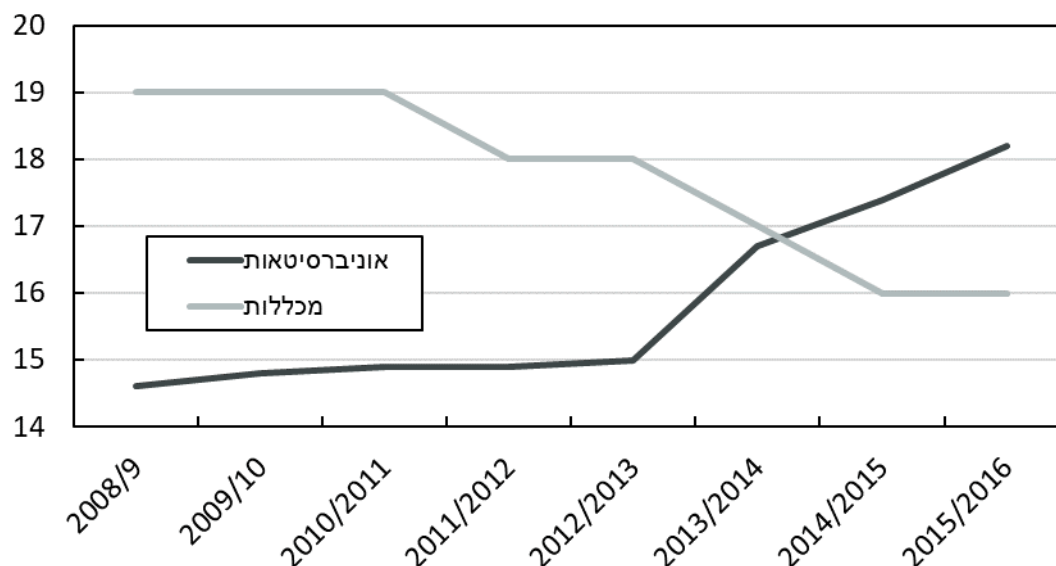
11. מהנדסים בישראל – כמות ואיכות

מתוך פרק המבוא בדו"ח עולות סוגיות לגבי אופי ההכשרה של מהנדסים, יחסי הגומלין בין בוגרי אוניברסיטאות ומכללות ומחסור במועמדים מצטיינים. בדיון בסוגיות אלה מן הראוי לתת את הדעת לנתונים של המתקבלים ללימודים אקדמיים בתחומים השונים, באוניברסיטאות ובמכללות בישראל. ניתוח כזה נערך להלן על בסיס נתונים של הלמ"ס.

תמונת מצב: היבטים כמותיים

בשנים האחרונות היה גידול במספר הסטודנטים בלימודי הנדסה בכל התארים, מ-33,861 בשנת תשס"ט (2008/9) ל-40,009 בשנת תשע"ו (2015/16), כפי שרואים בערכים היחסיים באיור 12. יחד עם זאת החלק של הסטודנטים להנדסה מכלל הסטודנטים נשאר קבוע, והוא מהווה 14.9% מכלל הסטודנטים בשנת תשע"ו (2015/16).

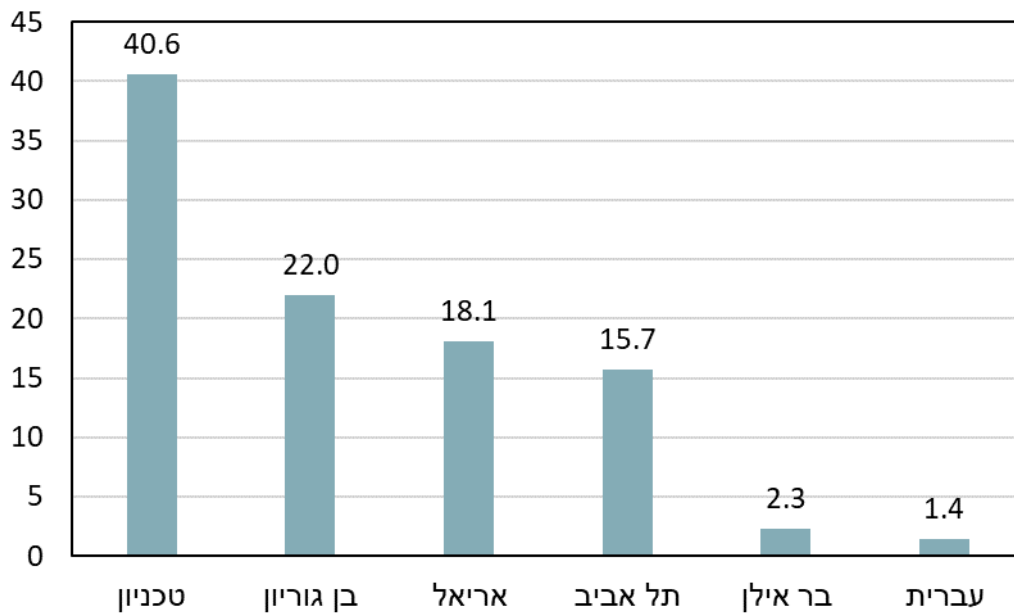
איור 23: מספר יחסי של סטודנטים להנדסה באוניברסיטאות ובמכללות: שינוי על פני זמן (נתוני למ"ס)



הפילוג בין הסטודנטים להנדסה באוניברסיטאות ובמכללות השתנה, כאשר בתקופה זו גדל מספר הסטודנטים באוניברסיטאות וקטן במכללות. הגידול באוניברסיטאות היה מ-17,648 בשנת תשס"ט ל-23,576 בשנת תשע"ו. מרבית הגידול הוא תוצאה של תוספת של 4,257 סטודנטים של אריאל, אשר עברה בשנת תשע"ד (2013/14) מקטגוריה של מכללה לאוניברסיטה. רואים זאת היטב באיור 23, בקפיצה בשנה זו באוניברסיטאות ובירידה במכללות.

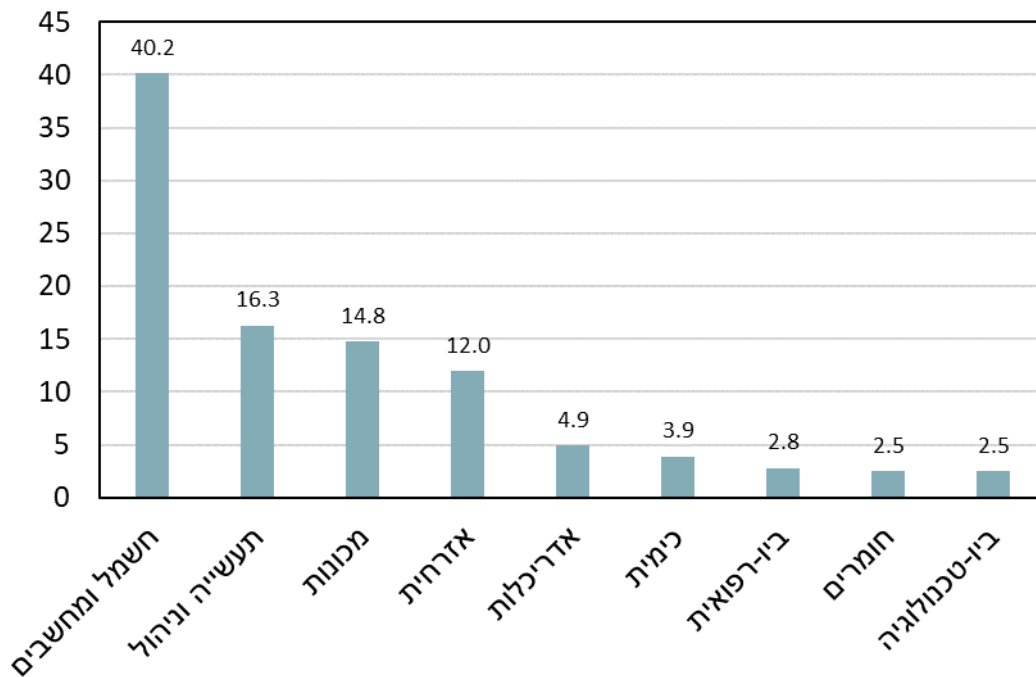
פילוג הסטודנטים להנדסה בין האוניברסיטאות מוצג באיור 24 אשר בו רואים את החלק המשמעותי של אוניברסיטת אריאל (18.1%).

איור 24: התפלגות סטודנטים להנדסה בין האוניברסיטאות, 2015/16, % (נתוני למ"ס)



באיור 25 מוצג הפילוג של הסטודנטים להנדסה בין הדיסציפלינות השונות. רואים בברור שמרבית הסטודנטים הם בתחום של חשמל ומחשבים, 40.2%. ניתן להעריך לאור זאת שיהיה קשה ואולי אף בלתי אפשרי להגדיל את מספר הלומדים בתחום זה כדי לענות על צרכי תעשיית הטכנולוגיה העילית על חשבון הדיסציפלינות האחרות. פעולה בכיוון זה, גם אם תצליח, עלולה ליצור מחסור בתחומי הנדסה אחרים. למשל, ידוע שיש כיום חוסר משמעותי במהנדסים אזרחיים, ועל כן משיכה של מועמדים מהנדסה אזרחית לחשמל ומחשבים תגביר את המחסור בתחום הנדסה אזרחית, על כל המשמע מכך לגבי האתגרים של מדינת ישראל בתחום הבינוי לדיור ולתשתיות.

איור 25: פילוג סטודנטים להנדסה במערכת ההשכלה הגבוהה בין תחומי ההנדסה, 2015/16 (נתוני למ"ס)



תמונת מצב: היבטי איכות

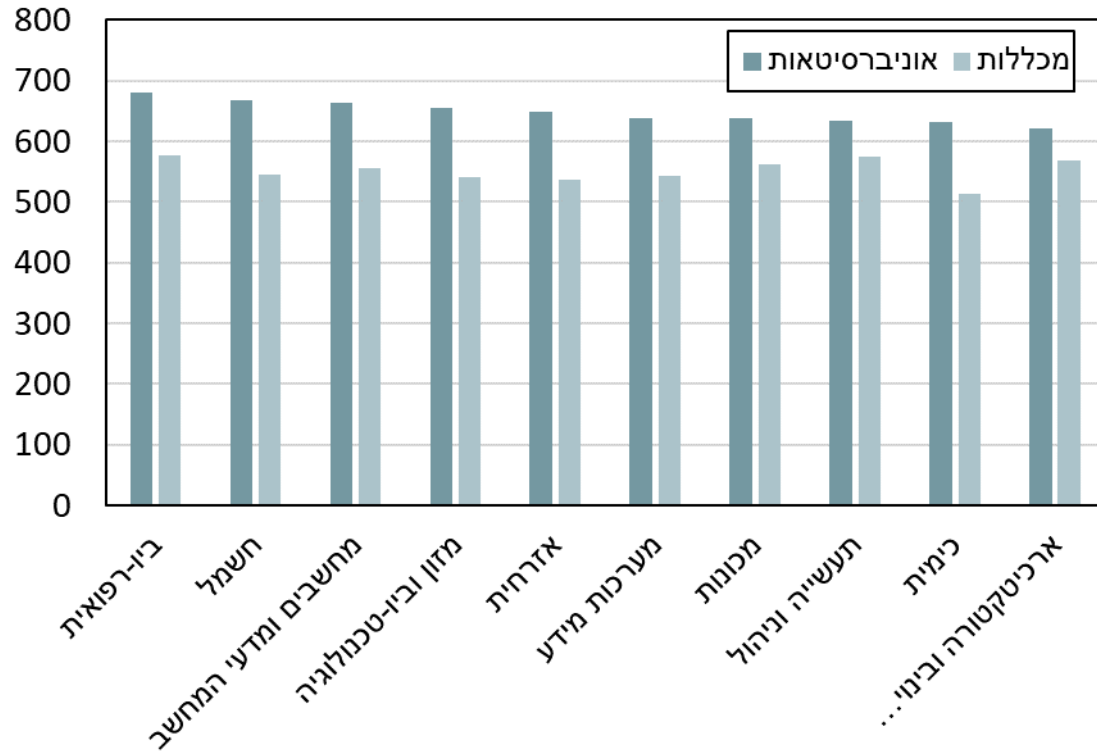
איכות ההכשרה היא פועל יוצא של שני גורמים עיקריים: האחד הוא תוכנית הלימודים ורמת חברי הסגל והשני הוא היכולות של הסטודנטים ומטען הידע אתם הם נכנסים ללימודי ההנדסה האקדמיים.

הניתוח שלהלן מתייחס רק להיבט של הסטודנטים. ההיבט של תוכנית הלימודים ורמת ההוראה מחייב חקירה בפני עצמה שלא ניתן לבסס אותה על נתונים כמותיים כדוגמת אלה המתפרסמים ע"י הלמ"ס וות"ת.

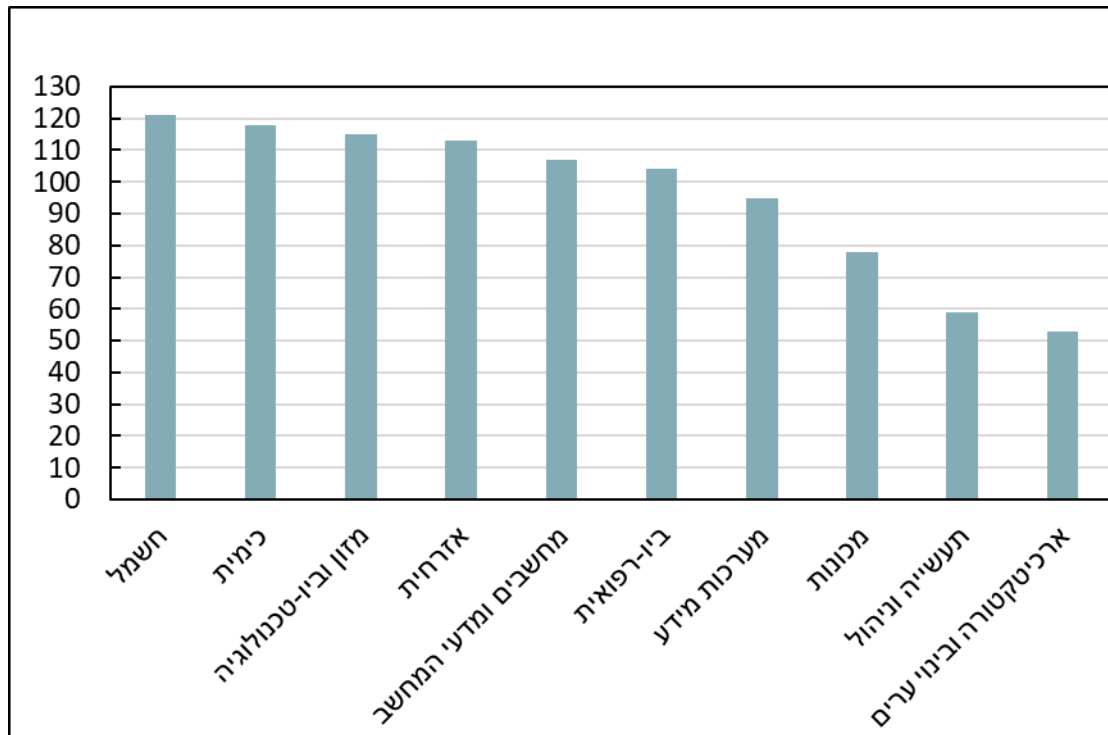
את רמת הסטודנטים ומטען הידע אתו הם מתחילים בלימודי ההנדסה ניתן לכמת באמצעות שני פרמטרים מקובלים, האחד הוא תוצאות המבחן הפסיכומטרי אשר נותן אמד ליכולות של הסטודנטים והשני הוא מטען הידע במתימטיקה, 5 יחידות או פחות, אשר יכול לשמש כמדד למטען הידע של הסטודנט המתקבל ללימודי הנדסה.

נתונים על תוצאות המבחן הפסיכומטרי של המתקבלים ללימודי ההנדסה באוניברסיטאות ובמכללות בתחומי ההנדסה השונים מוצג באיור 26, וההפרש בכל תחום בין האוניברסיטאות והמכללות מוצג באיור 27.

איור 26: תוצאות המבחן הפסיכומטרי למתקבלים ללימודי הנדסה בתחומים השונים באוניברסיטאות ובמכללות, 2015/16 (נתוני למ"ס)



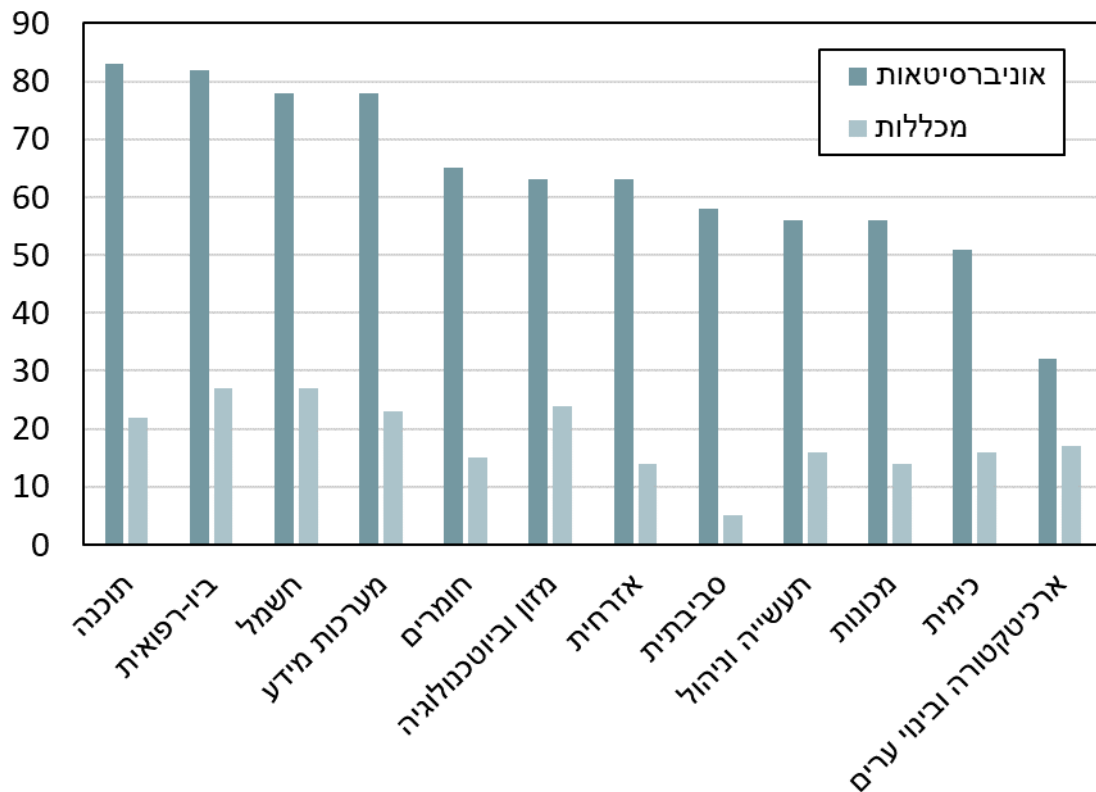
איור 27: הפרש בציון הפסיכומטרי בין המתקבלים ללימודים באוניברסיטאות ובמכללות בתחומי ההנדסה השונים, 2015/15 (נתוני למ"ס)



ניתן לראות בברור את ההבדל בכישורים שבין המתקבלים ללימודים באוניברסיטאות ובמכללות, כ- 100 נקודות הפרש במבחן הפסיכומטרי במרבית התחומים. יש אמנם חילוקי דעות עד כמה האמד של המבחן הפסיכומטרי הנו רלוונטי לאפיון היכולות, אך ניתן להעריך שהפרש של 100 נקודות הוא מאד משמעותי.

נתונים לגבי רמת הידע של המתקבלים ללימודי הנדסה ניתן לקבל באמצעות הקריטריון של המתקבלים עם 5 יחידות מתימטיקה, איור 28.

איור 28: אחוז נבחני 5 יחידות מתימטיקה המתקבלים ללימודי הנדסה בתחומים השונים באוניברסיטאות ובמכללות, 2015/16 (נתוני למ"ס)



בקריטריון זה ההבדל בין האוניברסיטאות והמכללות הנו רחב ביותר, כאשר ברוב התחומים באוניברסיטאות מתקבלים בין 60 ל- 80% מהסטודנטים עם 5 יחידות במתימטיקה בשעה שבמכללות בסביבות 20% או פחות. לא מן הנמנע שבוגר עם 4 יחידות מתימטיקה הנו בעל כישורים שאינם פחותים מזה של 5 יחידות, אך נדרש מאמץ מיוחד להשלמת פער זה. מאחר ופער כזה מאפיין את מרבית המתקבלים ללימודי הנדסה במכללות הרי השלמה זו צריכה לבוא על חשבון ההכשרה במקצועות ההנדסה.

12. סוגיות לדין

הסוגיות לדין ניתנות לסיווג לנושאים של הכשרת מהנדס שהם כלליים וגלובליים באופיים ועל כן רלוונטיים גם לישראל, ולנושאים שהם רלוונטיים במיוחד לארץ אשר נגזרים מניתוח הנתונים בפרק 9.

◀ סוגיות כלליות וגלובליות

בין הסוגיות הכלליות, נראה שהחשובות בהן הן:

- אפיון פרופיל המהנדס במאה ה-21
- מבנה ואופי החינוך ההנדסי באקדמיה הנגזרים מהצרכים של ההנדסה במאה ה-21
- שימור וחיזוק המעמד המנהיגותי של המהנדס
- אמנם מדע וטכנולוגיה התחברו לישות היברידיית אבל עדיין המשימה העיקרית של המהנדס היא סינתזה. מילת מפתח בהקשר זה היא תכן שטרם עוצב לדיסציפלינה, שעדיין נלמדת מתוך ניסיון בעבודה, וזאת כאשר מדע הוא בעיקרו אנליזה לפיצוח הטבע וגילוי חוקיו.
- דרישות קבלה (למשל נמצא שהמהנדסים היצירתיים ביותר אינם בהכרח אלה שקבלו ציונים גבוהים במהלך הלימודים, אלא אלה שהיה להם בתיכון הובי רציני)
- דרכים לגיוס נוער עם פרופיל של מצוינות ויכולת מנהיגות לבחירת מסלול של קריירה הנדסית

את הסוגיות העקרוניות הללו ניתן להציג ברמה של שאלות פרטניות יותר כדוגמת:

- הנמכת החומות הדיסציפלינריות בין תחומים בתוך הנדסה, ובין הנדסה למדעים. דוגמאות: הנדסת מכונות-אווירונאוטיקה וחלל; הנדסת חומרים-הנדסה כימית-ביוטכנולוגיה; הנדסה אזרחית וסביבתית- ארכיטקטורה ובינוי ערים
- ההשלכות של השינוי באופי המחקר והקידום המדעי לכיוון רב תחומי והתמזגות (convergence) על החינוך ההנדסי, בכל הקשור בהובלת תהליכי חדשנות ויזמות
- ההבדלים בין הכשרת מהנדסים והכשרת מדענים
- הצורך בהרחבת הרקע של מהנדסים, כמפתחי טכנולוגיות יישומיות וכיזמים, בנושאים חברתיים, כלכליים ועסקיים
- גישות לימודיות לגישור על פני צרכים בחינוך לרוחב ולעומק (למשל: לימוד תוך כדי התנסות)
- היכולת של בוגרי הנדסה וטכנולוגיה להתמודד עם נושאים חדשים ולאפיין בעיות חדשות הדורשות פתרון, להבדיל מיכולתם לפתור תרגילים ולקבל ציונים גבוהים בבחינות
- האם יש צורך במהנדסים בעלי פרופילים שונים של כישורים (כישורים טכניים בלבד לעומת כישורי מנהיגות בנוסף לכישורים טכניים)? כישורים שונים של בוגרי אוניברסיטאות ומכללות? ("מהנדס טכני" לעומת "מהנדס מנהיג" עם רקע חזק בתחומי מדע, חברה וכלכלה?); הרחבה נוספת כבסיס לדין מוצגת בנספח ג'
- הכשרת מהנדסים ללימודים על פני כל משך החיים לצורך התעדכנות והסבה מקצועית
- אופי קשרי אקדמיה-תעשייה בהיבט של תרבות האוניברסיטה והנגזרות שלה בחינוך מהנדסים
- פרופיל של חברי סגל בהנדסה

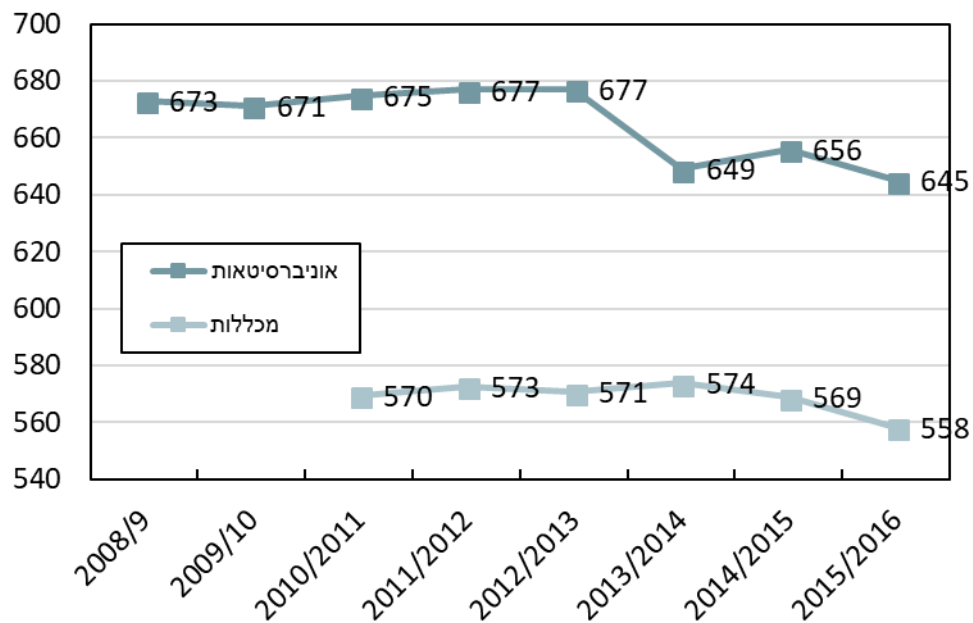
סוגיות מיוחדות לישראל

האמירות בדוחות שאליהם יש התייחסות בסעיף המבוא למסמך זה, מצביעות על כך שהמחסור במהנדסים במשק אינו בהכרח מחסור של כמות, אלא מחסור בבוגרי הנדסה בתחומים ספציפיים (מדעי מחשב עם דגש על מחקר ופיתוח) ומחסור בבוגרים בעלי איכויות מתאימות (אוניברסיטאות לעומת מכללות).

באשר לתחומים – מאיור 25 אנו למדים שמספר המהנדסים בלימודי חשמל ומחשבים גבוה לאין שעור משאר התחומים, ועל כן יהיה קשה לתגבר תחומים אלה על חשבון התחומים האחרים מבלי ליצור מחסור באחרים; הדבר בולט במיוחד לגבי הנדסה אזרחית שכבר כיום יש בה בעיית מחסור חמורה במהנדסים.

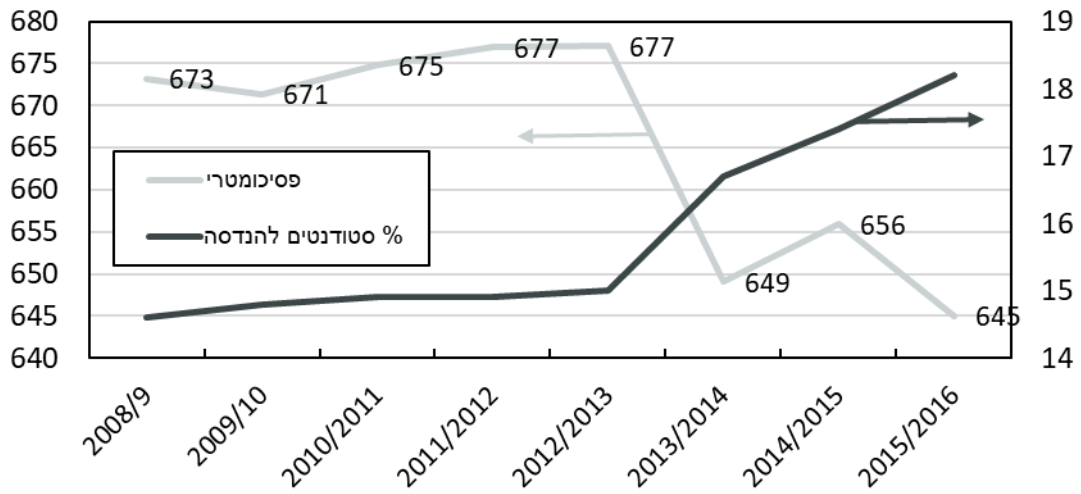
באשר לאיכות – בולט ההבדל באיכות בין המתקבלים ללימודי הנדסה באוניברסיטאות ובמכללות, הן לפי הקריטריון של המבחן הפסיכומטרי והן לפי הקריטריון של 5 יחידות במתימטיקה. אם מנתחים את קריטריון האיכות על ציר הזמן, איור 29, רואים שהרמה וההפרש נשאר קבועים על ציר הזמן, עם ירידת פתאומית ברמת הפסיכומטרי באוניברסיטאות, ב- 28 נקודות בשנת 2013/14.

איור 29: ציון פסיכומטרי ממוצע למתקבלים ללימודי הנדסה באוניברסיטאות ובמכללות על פני זמן (נתוני למ"ס)



הירידה הזו באוניברסיטאות בשנת 2013/14 ניתנת להסבר בשינוי שחל באותה שנה, עם הגדרתה של אריאל כאוניברסיטה. הצטרפותה של אריאל למניין האוניברסיטאות הייתה כרוכה בגידול במספר הסטודנטים להנדסה באוניברסיטאות ובהקטנה בו זמנית בציון במבחן הפסיכומטרי, כפי שרואים באיור 30. מרבית הגידול במספר הסטודנטים להנדסה באוניברסיטאות בשנה זו היה תוצאה של הצטרפות אריאל למניין האוניברסיטאות, כאשר הסטודנטים שלה מהווים 18.1% מכלל הסטודנטים להנדסה באוניברסיטאות (איור 24). השינוי בסטטוס של אריאל הגדיל את מספר הסטודנטים להנדסה באוניברסיטאות כשהוא מלווה בירידה ברמת המתקבלים.

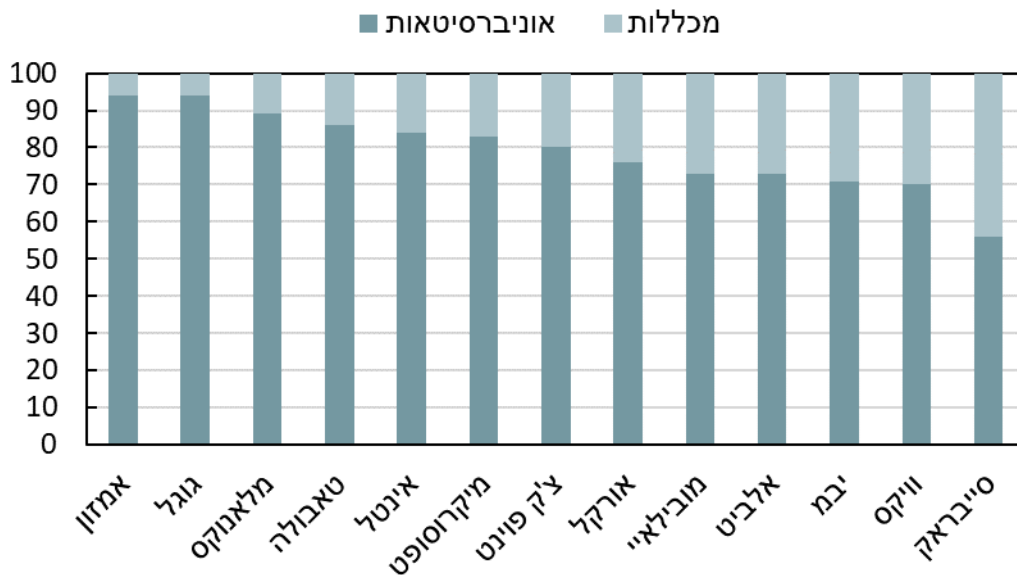
איור 30: השינוי על פני זמן במספר היחסי של הסטודנטים בהנדסה באוניברסיטאות ובמוצע הפסיכומטרי של המתקבלים ללימודי הנדסה באוניברסיטאות (נתוני למ"ס)



הניתוח לעיל מצביע על כך שכדי לענות על הצורך במחסור במהנדסים בעלי איכות גבוהה יותר יש צורך בשידוד מערכות, כאשר שינוי מעמד של מכללה לאוניברסיטה אין בו די.

בהקשר זה מן הראוי לתת את הדעת על נתונים לגבי גיוס של מהנדסים למקצועות הפיתוח בחברות ממגזר הטכנולוגיה העילית, אשר מתוכם ניתן לראות בברור את ההעדפה של בוגרי אוניברסיטאות (איור 31). זוהי אותה שכבת מהנדסים אשר בה יש מחסור לפי הדו"ח של הועדה הבינמשרדית בראשות יוג'ין קנדל⁶ "במגזר העסקי קיים מחסור בכוח אדם מיומן ברמה גבוהה בעיקר בתחומי המחשוב (מדעי המחשב והנדסת מחשבים ואלקטרוניקה), בדגש על תפקידי מחקר ופיתוח". ההעדפה של התעשייה לבוגרי אוניברסיטאות בשכבת מהנדסים זו, כפי שעולה מאיור 31 מצביע על כך שהבעיה אינה בהכרח מחסור במהנדסים אלא בעיה של מהנדסים בעלי פרופיל ורמה והם כנראה בעיקר בוגרים של האוניברסיטאות.

איור 31: החלק (%) של מהנדסים בוגרי אוניברסיטאות ומכללות שגויסו לחברות בתחום הטכנולוגיה העילית במהלך חמש השנים האחרונות (מעובד מתוך נתונים של חברת Workey, שהופיעו בפרסום בדה מרקר, 25.5.2017)



שידוד מערכות יכול לבוא לידי ביטוי בצורות שונות, על ידי פנייה לקהלים שאינם מיוצגים כראוי בלימודי הנדסה (ראה להלן) או קביעת רף כניסה גבוה יותר לכניסה ללימודי הנדסה תוך הקמה במקביל של מערך של מכינות אשר יוכלו לאפשר למועמדים בעלי כישורים מתאימים להשלים פערי ידע בעיקר בתחום שבין 4 ל-5 יחידות במתימטיקה.

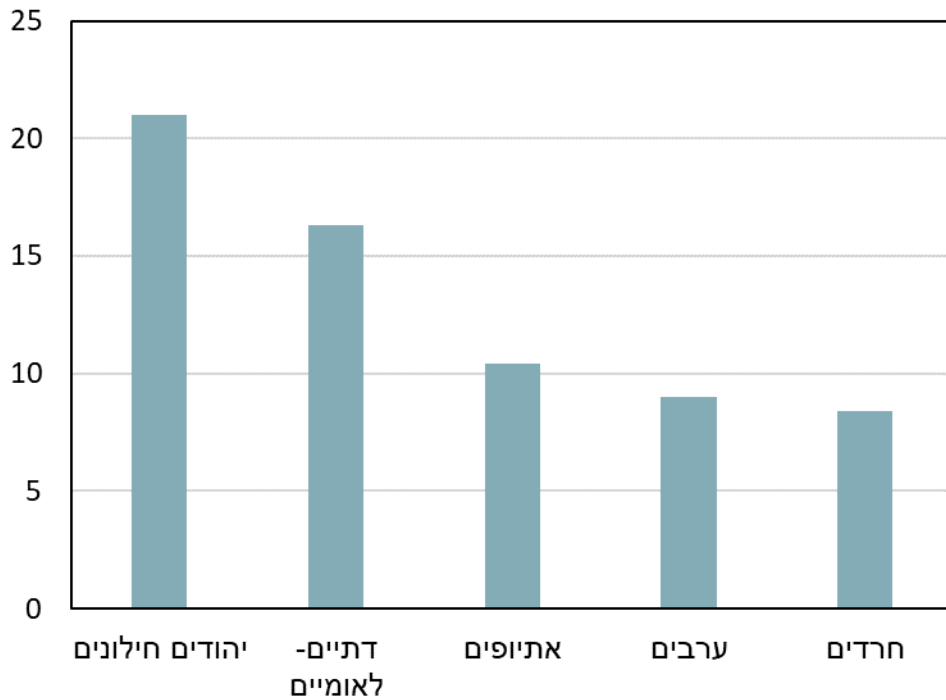
אחד האתגרים בחינוך והכשרת מהנדסים הוא משיכת צעירים מצטיינים לבחירת קריירה בתחומים אלה. הסוגיה הזו איננה ייחודית לישראל, והיא קיימת בכל המדינות המפותחות. יחד עם זאת נושא זה הרבה יותר קריטי אצלנו בגלל החשיבות של חדשנות טכנולוגית בכלכלה ובחברה הישראלית.

באשר למשיכת צעירים למקצוע הנדסה – ברמה הכללית, פרופיל של מהנדס שהציפייה ממנו היא לא רק טכנית אלא גם של הובלה ומנהיגות לחדשנות, יכולה להוות כח משיכה כדי לעמוד בתחרות עם כיווני לימוד אחרים כדוגמת משפטים וניהול.

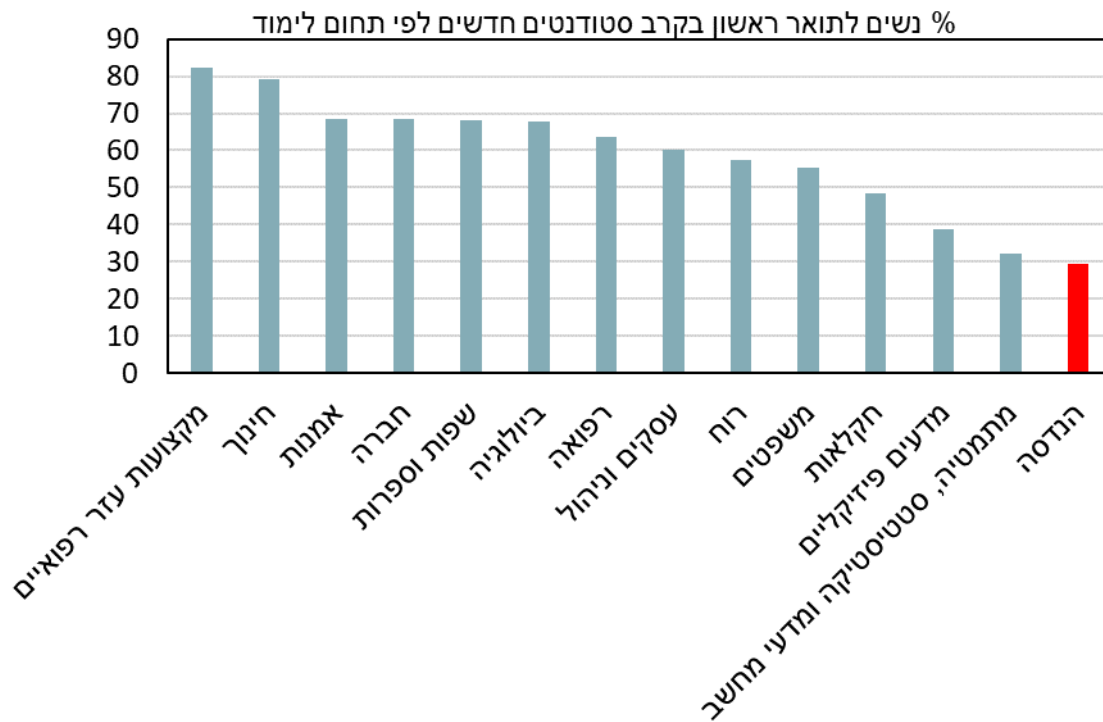
בארה"ב החוסר במהנדסים ילידי ארה"ב מתמלא בחלקו הגדול על ידי מהגרים. אצלנו פעל מנגנון כזה בעבר, עם העלייה ממדינות חבר העמים, אך היא מצתה את עצמה ומרבית המהנדסים העולים הם בגיל פרישה.

יש צורך להפנות את הזרקור לגיוס לטובת הנדסה של אוכלוסיות אשר אינן משתתפות כיום בלימודי הנדסה מתוך מטרה לשאוב מתוכן את הטובים ביותר. המקורות לכך יכולים להיות אוכלוסיות ממוגזרים אחרים (בעיקר מהמגזר הדתי-לאומי, הערבי והחרדי – איור 32) וממגדר הנשים (איור 33), כאשר בשני התחומים הללו הייצוג בלימודי הנדסה הנו נמוך מהמקובל במגזרים ומגדרים אחרים.

איור 32: חלק (%) הסטודנטים הלומדים הנדסה במגזרים השונים מכלל הלומדים במערכת ההשכלה הגבוהה באותו מגזר, 2015/16



איור 33: אחוז הנשים מסך הסטודנטים בשנה הראשונה באקדמיה לפי תחומים, נתוני למ"ס 2015/16



צעדים בכיוונים אלה מן הראוי שיתבצעו במקביל לבחינת דרכי ההכשרה של מהנדסים במערכת ההשכלה הגבוהה, לאור הצרכים של המאה ה-21. הניסיון בטכניון מצביע על הפוטנציאל בצעדים מסוג זה כפי שבא לידי ביטוי בגידול במספר הנשים בקרב הסטודנטים (כ-30% כיום, אך עדיין לא מספק)

ובחלקם של בני המעוטנים במניין הסטודנטים (כ-20%), כאשר הם פרושים בצורה די אחידה בכלל הפקולטות, בדומה לחלקם באוכלוסייה). במכלול הצעדים יש מקום חשוב לתוכניות המכינה המגשרות על פערי ידע ומאפשרות את הגדלת הנגישות לאוכלוסיות השונות ללא הורדה ברמת המתקבלים.

סוגיה נוספת שהיא רלוונטית לפרופיל המהנדס במאה ה-21, אשר דגש ניתן לה בדיון בדו"ח של מוסד נאמן⁸, הוא שהמצב של היווצרות חוסר במהנדסים בעלי פרופיל התמחות מסוים, שהוא כנראה המצב כיום בארץ, אינו צפוי להיות חריג בתעשייה המודרנית: עקב הדינמיות הטכנולוגית והסטת מרכזי הכובד של התעשייה על ציר הזמן, צפויים להיווצר מדי פעם חוסרים במהנדסים בתחומים ספציפיים; לא מן הנמנע שזה יהיה המצב הטבעי ולא דווקא החריג. לאור הקושי בחיזוי של חוסרים מסוג זה והעובדה שקריירה של מהנדס תימשך על פני עשרות שנים, מן הראוי לתת את הדעת על הרחבת הבסיס הרב תחומי של ההכשרה של מהנדס מודרני, כך שיוכל לעשות במהלך הקריירה שלו הסבה מתחום לתחום. מהלך כזה ישרת את המהנדס במישור האישי ואת הכלכלה במישור המערכתי. דוגמא לכך היא ההכרה כיום שיש במשק מספר רב של מהנדסים בגיל +45 שהיו יכולים למלא את החוסרים הנקודתיים בהינתן האפשרות ללימודי הסבה.

ASCE Body of Knowledge Committee. (2008b). Civil engineering body of knowledge for the 21st century: Preparing the civil engineer for the future, 2nd Ed., ASCE, Reston, VA

Daly, S. R., Mosyjowski, E. A., & Seifert, C. M. (2014). Teaching creativity in engineering courses. *Journal of Engineering Education*, 103(3), 417-449.

Davidson, C. I., Hendrickson, C. T., Matthews, H. S., Bridges, M. W., Allen, D. T., Murphy, C. F. ... & Austin, S. (2010). Preparing future engineers for challenges of the 21st century: Sustainable engineering. *Journal of cleaner production*, 18(7), 698-701.

Douglass, E.P. (2015). *Large-scale revolution in engineering education*, PPT presentation. The Frontiers of Engineering Education (FOEE) Symposium.

Duderstadt, J.J. (2007, December). *A roadmap to 21st century engineering*. PPT presentation, Millennium Project.

Duderstadt, J.J. (2008). *Engineering for a changing world*. Ann Arbor, MI: The Millennium Project, University of Michigan

Ferguson, D.M., & Ohland, M.W. (2012). What is engineering innovativeness? *International Journal of Engineering Education*, 28(2), 253.

Gover, J., & Huray, P. (2007, November). Educating 21st century engineers. In *Meeting the Growing Demand for Engineers and Their Educators 2010-2020 International Summit, 2007 IEEE* (Vol. 50, pp. 1-30). IEEE.

Graham, R. H. (2012). *Achieving excellence in engineering education: the ingredients of successful change*. London: Royal Academy of Engineering.

Jones, M. (2009, November). *Issues in 21st century engineering education*, PPT presentation in round table conference - Educating the European engineer for the challenges of the 21st century, Brussels, Imperial College London.

K. Wang. (2015). *Study on the careers of MIT mechanical engineering undergraduate alumni*. BSc Thesis. MIT.

Kamp, A., & Klaassen, R. (2016). Impact of global forces and empowering situations on engineering education in 2030. In *The 12th International CDIO Conference* (p. 1110).

Kastenberg, W. E., Hauser-Kastenberg, G., & Norris, D. (2006, October). An approach to undergraduate engineering education for the 21st century. In *Frontiers in Education Conference, 36th Annual* (pp. 23-28). IEEE.

Katz, R. (2015). Integrated thinking in mechanical engineering education. *International Journal of Engineering Education*, 31(6), 1613-1621.

Kelly, J.M. (2013). Engineering education in the 21st century: creativity, collaboration, invention. *International Journal of Information and Education Technology*, 3(2), 240.

- Kirkpatrick, A. T., Danielson, S., Warrington, R. O., Smith, R. N., Thole, K. A., Wepfer, W. J., & Perry, T. (2011). Vision 2030 - Creating the future of mechanical engineering education. In *118th ASEE Annual Conference and Exposition*.
- Male, S. A., Bush, M. B., & Chapman, E. S. (2010). Perceptions of competency deficiencies in engineering graduates. *Australasian Journal of Engineering Education*, 16(1), 55-68.
- May, E., & Strong, D. S. (2011). Is engineering education delivering what industry requires. *Proceedings of the Canadian Engineering Education Association*.
- Miller, R. K. (2010). "From the Ground up" Rethinking Engineering Education in the 21st Century.
- Mohd-Yusof, K., Helmi, S. A., Phang, F. A., & Mohammad, S. (2015). Future Directions in Engineering Education: Educating Engineers of the 21st Century. *ASEAN Journal of Engineering Education*, 2(1), 8-13.
- Morell, L. (2007). Engineering education, globalization and economic development: Capacity building for global prosperity. *Innovations: World Innovations in Engineering Education and Research*. Arlington: International Network for Engineering Education and Research, 25-41.
- Morell, L. (2010). Engineering education in the 21st century: Roles, opportunities and challenges. *International Journal of Technology and Engineering Education 2010*, Vol. 7 No. 2, 7(2), 1.
- Morell, L., & DeBoer, J. (2010, June). The engineering professor of 2020: The forgotten variable. In *2010 Annual Conference & Exposition* (pp. 15-1231).
- Morell, L., & Trucco, M. (2012, October). A Proven Model to Re-Engineer Engineering Education in Partnership with Industry. In *World Engineering Education Forum, Buenos Aires, Argentina*.
- National Research Council. (2014). *Convergence: facilitating transdisciplinary integration of life sciences, physical sciences, engineering, and beyond*. National Academies Press.
- Nepal, K. P. (2013). Comparative evaluation of PBL and traditional lecturebased teaching in undergraduate engineering courses: evidence from controlled learning environment. *International journal of engineering education*, 29(1), 17-22.
- Plummer, J. (2013). Educating engineers and scientists for the 21st century, PPT presentation. Stanford School of Engineering.
- Prados, J.W. (no date). Educating engineers for the 21st century: The role of engineering education and accreditation, PPT presentation. The University of Tennessee.
- Rugarcia, A., Felder, R. M., Woods, D. R., & Stice, J. E. (2000). The future of engineering education I. A vision for a new century. *Chemical Engineering Education*, 34(1), 16-25.
- Schwab, K. (2017). *The fourth industrial revolution*. Crown Business.

Seering, W. (2009, December). *A curriculum that meets the customers' needs*, PPT presentation, MIT, 2009

Sharp, P. A. (2014). Meeting global challenges: discovery and innovation through convergence. *Science*, 346(6216), 1468-1471.

Stukalina, Y. (2007). Globalisation and engineering education: preparing students for professions of the 21st century in science and technology. *Transport and Telecommunication*, 8(1), 30-39.

Tadmor, Z., Kohavi, Z., Libai, A., Singer, P. and Kohn, D. (1987). *Engineering education 2001*, Neaman Institute, Technion.

Talmi, I., Hazan, O., and Katz, R. (2017). *Intrinsic motivation and 21st century skills in an undergraduate engineering project: The case of the Formula Student Project*, Manuscript submitted for publication.

The Institute of Engineering and Technology, IET (2016). *Skills and demand in industry, 2016 Survey*. London.

The Royal Academy of Engineering. (2007). *Educating Engineers for the 21st Century*

Thorp, H., & Goldstein, B. (2010). *Engines of innovation: The entrepreneurial university in the twenty-first century*. UNC Press Books.

Zheng, P., & Callaghan, V. (2016). A cooperative approach to academic entrepreneurial initiatives. *International Journal of Innovation*, 4(1), 13.

. (גיליון 4, מרץ 2014) MOOCS הוראה באקדמיה – קורסים פתוחים מקוונים מרובי משתתפים

הוראה באקדמיה - טכנולוגיות בנות זמננו ושילובן בהוראה. (גיליון 6, אפריל 2016)

הוראה באקדמיה – הוראה מבוססת טכנולוגיה ויישומה בכתה ההפוכה. (גיליון 7, אפריל 2017)

נספח א' - חינוך מהנדסים במאה ה-21 בגישת CDIO

סיכום ותמצית: ד"ר אביגדור זוננשיין

א. תיאור התכנית

מתחילת שנת 2000 התארגנה קבוצת אוניברסיטאות מובילות העוסקות בהכשרה אקדמית של מהנדסים, בראשות ה MIT, במטרה לגבש תכנית כוללת להכשרת מהנדסים לאתגרים במאה ה-21, תוך בחינה ביקורתית של הפערים והחסרונות בתכניות הלימודים הקיימות. הפערים העיקריים שזוהו היו בחוסר הכרות עם שלבים חשובים של מחזור חיי המוצר, כמו היצור, התפעול, התחזוקה והגריטה. וכמו כן, חוסר היכולת של המהנדס לעבוד בצוות, לתקשר אפקטיבית עם בעלי עניין ולהוביל בהצלחה צוותי הנדסה במשימות עם אתגרים, סיכונים ואילוצים.

במסגרת זו גובשה תכנית CDIO הכוללת את האלמנטים המרכזיים הבאים:

CONCEIVE - להגות - ללמוד את צרכי וציפיות הלקוחות והשוק, לימוד והערכת הטכנולוגיות הדרושות והאפשרויות, לימוד האסטרטגיה של הארגון, בחינת הרגולציות והתקנים, תכנון קונספטואלי, טכני ועסקי.

DESIGN - לתכן-תכניות, שרטוטים, חישובים, מודלים, סימולציות, אלגוריתמים הנדרשים לתיכון מוצר רובוטי

IMPLEMENT - ליישם - הפיכת התכן למוצר, לתהליך ו/או מערכת, כולל ייצור, תכנות, בדיקות ובחינות תיקוף

OPERATE-לתפעל - את המוצר המיושם כך שיביא לערך המצופה, כולל תחזוקה, שינויים והתפתחות וטיפול במערכת בתום חייה

לפי גישת CDIO צריך להכשיר את המהנדסים כך שיוכלו להתמודד עם אתגרי ההנדסה בכל מחזור החיים של המוצר והמערכת. עבודתו של המהנדס נעשית ברובה בעבודת צוות מקומי ו/או בינלאומי ורב לאומי.

ליוזמה זו הצטרפו מאות אוניברסיטאות מכל העולם, שחלקן כבר מיישמות בפועל גישה זו בהכשרת מהנדסים.

הצוות היוזם את ה CDIO בראשות פרופ' Ed Crawley מ- MIT סיכמו את פרטי הגישה בספר:

Rethinking Engineering Education- The CDIO Approach (2007)

תמצית הספר ניתנת בהמשך סיכום זה.

בספר מוצגים פרטים רבים הדרושים כדי ללמוד וליישם את גישת CDIO בחינוך מהנדסים במסגרת אוניברסיטאית. יש גם עשרות מאמרים על השיטה ויישומה.

סביב גישה זו והיישומים שלה יש התארגנויות וקהילות ידע, שלחלקן ניתן להצטרף כדי ללמוד יותר טוב על הגישה ולתמוך ביישומה. קהילת ידע והתנסות זו מקיימת כנסים שנתיים בהשתתפות מאות מומחים המשתפים את האחרים בניסיונם. בהמשך מוצג סיכום של מספר מאמרים שהוצגו בכנסים אלו. זהו מדגם קטן של הנושאים והרעיונות שמועלים ומוצגים בכינוסים אלו.

האתר של קהילת הידע וההתנסות בתחום הוא עשיר מאד וגם מלמד הרבה: <http://www.cdio.org>

האתר כולל מאות מאמרים שהוצגו ופורסמו בנושא בעשור האחרון, וכן פרטים על כנסים שהתקיימו ומתוכננים להתקיים בשנה הקרובה.

בארץ רשומה מכללת סמי שמעון (SCE) כמתעניינת בגישה. ממידע אישי ידוע גם שבאוניברסיטת ת"א הייתה התעניינות ראשונית בגישה לפני מספר שנים, אבל היא דעכה לאחרונה. גם בטכניון התעניינו בגישה באמצע שנות ה-2000 ואפילו פרופ' Ed Crawley מיוזמי הגישה הוזמן על ידי מרכז גורדון להנדסת מערכות לתת סקירה על CDIO בפני פורום בכירים בטכניון.

ברני גורדון, איש העסקים, הממציא והפילנתרופ, יזם בשנות ה-90 יחד עם MIT את התכנית למנהיגות בהנדסה, Engineering Leadership, שממנה נולד המיזם CDIO. תמצית הגישה מתוארת היטב בספר:

Rethinking Engineering Education- The CDIO Approach (2007), E.D. Crawley, J. Malmqvist, S.Ostlund, D.R. Brodeur, K. Edstrom

מטרות CDIO

לחנך סטודנטים להנדסה שיהיו:

- בעלי ידע והבנה מעמיקה ביסודות הטכניים של תחומי התמחותם
- מובילים ביצירה ותפעול של מוצרים חדשים, תהליכים ומערכות בנות קיימא
- בעלי הבנה של החשיבות וההשפעה האסטרטגית של מחקר והתפתחות טכנולוגית על החברה

במסגרת זו מחנכים את הסטודנטים, המהנדסים לעתיד, לחשיבה מערכתית, לחדשנות, ליצירתיות, ליזמות, למנהיגות, לעבודת צוות, לתקשורת בין אישית, לפתרון בעיות רב תחומיות. כלומר, יש דגש בין השאר על "ההיבטים הרכים" של ההנדסה.

במסגרת ה-CDIO מקדמים גם שיטות פדגוגיות מתקדמות ושיטות הוראה ולימוד מתקדמות, הכוללות בין השאר סביבות לימוד חדשניות ושיטות הערכת סטודנטים מתקדמות.

הסילבוס של ה-CDIO

פותח סילבוס מפורט של תכניות ה-CDIO, כאן מוצגים רק תחומי הלימוד ברמה העליונה:

1. Disciplinary Knowledge & Reasoning
 - 1.1 Knowledge of underlying sciences
 - 1.2 Core engineering fundamental knowledge
 - 1.3 Advanced engineering fundamental knowledge
2. Personal and Professional Skills
 - 2.1 Analytical reasoning and problem solving
 - 2.2 Experimentation and knowledge discovery
 - 2.3 System thinking
 - 2.4 Personal skills and attributes
 - 2.5 Professional skills and attributes
3. Interpersonal Skills
 - 3.1 Multi-disciplinary teamwork
 - 3.2 Communications
 - 3.3 Communication in foreign language
4. CDIO of Complex Systems
 - 4.1 External and societal context
 - 4.2 Enterprise and business context
 - 4.3 Conceiving and engineering systems
 - 4.4 Designing
 - 4.5 Implementing
 - 4.6 Operating
 - 4.7 Engineer leadership

4.8 Entrepreneurship

לצורך פיתוח סילבוס זה קוימו סדרות מפגשים של תיאום ציפיות והעלאת צרכים עם כל הגורמים בעלי העניין בהכשרת מהנדסים, כולל התעשייה המגייסת, קולטת ומעסיקה את המהנדסים.

נציגי התעשייה הדגישו את הציפיות הבאות לתכונות המהנדס:

- הבנה טובה של היסודות המדעיים של ההנדסה (מתמטיקה, פיזיקה, מדעי החיים, טכנולוגיות מידע)
- הבנה טובה של תהליכי תכן ויצור
- רב תחומיות, מבט מערכתי
- הבנה בסיסית באיזה קונטקסט מיושמת ההנדסה - כלכלה, סביבה, היסטוריה, צרכי לקוחות וחברה
- יכולת תקשורת טובה - כתיבה, דיבור, הקשבה, גרפיקה
- הבנה מעמיקה של חשיבות עבודת צוות
- כישורים אישיים: סטנדרטיים אתיים גבוהים, יכולת חשיבה ביקורתית ויצירתית (באופן עצמאי ובאופן משותף), גמישות
- סקרנות ותשוקה ללמוד כל החיים

תכניות הלימודים

- תכניות הקורסים כוללות לימודים של כל היסודות, אבל הם נלמדים בקונטקסט הכולל של CDIO
- התכנית עשירה בפרויקטי תכן ובניה
- מתקיים שילוב לימודים של יכולות מקצועיות וכישורים בין אישיים (עבודת צוות, תקשורת..)
- שילוב של לימוד פעיל ולימוד מבוסס על התנסות (active and experimental learning)
- תכניות הלימודים נתמכות בסביבות למידה חדשניות - אולמות פתוחים, מחשוב תומך, אמצעי יצור, יכולות ניסויים
- התכניות עוברות תהליך שיפור מתמיד דרך בקרת איכות, הפקת לקחים ולימוד הדדי

תוצרי הלימודים

תוצאי הלימודים המצופים בתכניות ה CDIO גובשו באינטראקציה ענפה עם גורמים שונים ובעלי עניין בתעשייה ובגופים נוספים המעסיקים מהנדסים. ניתן לסכם ממצאי אינטראקציות אלו בכך שהמהנדס צריך למצוא פתרון הנדסי לבעיה, כאשר הפתרון הזה הוא גם כלכלי, בעל סיכוי גבוה להיות יצורי, אמין ובטוח. כמו כן, הפתרון צריך לקחת בחשבון שאלות ואילוצים סביבתיים. המהנדס צריך לדעת להציג לארגון שלו, מהו הערך המוסף של הפתרון והמוצר שהוא מציע. כדי לתכן, ליישם, לייצר ולספק את המוצר על המהנדס להיות מסוגל לעבוד עם עמיתיו, עם לקוחותיו ועם כל בעלי העניין, הן בעבודה "אחד על אחד" והן בעבודת צוות. מכאן שתוצרי הלימודים בתכניות CDIO מכסים ארבעה קטיגוריות:

1. ידע טכני והבנת מקורותיו
2. כישורים ותכונות אישיות ומקצועיות
3. כישורים בין אישיים: עבודת צוות, תקשורת
4. ידע של תהליך התכן הקונספטואלי, תכן הפרטים, היישום והתפעול של מערכות בארגון, בסביבה ובחברה

היבטים פדגוגיים

בניית תכניות CDIO וביישום תכניות אלו שולבו שיקולים פדגוגיים. תכנית ה CDIO מתבססת על גישת הלימוד ההתנסותית (experiential Learning). גישת לימוד זו מדגישה 6 מאפיינים:

- לימוד הוא תהליך מתמשך המתעדכן ומשתנה על ידי ניסיון
- לימוד מתוך התנסות, שנעשה על ידי הכנסת הלומד לסיטואציות המדגמות רעיונות אותם רוצים ללמד. מדגימים רעיונות נכונים ולפעמים מוטעים.
- התהליך של לימוד מחייב פתרון של קונפליקטים בין עמדות שונות ותפישות שונות של העולם, וכן שילוב בין היבטים מופשטים והיבטים ריאליים
- לימוד הוא תהליך הוליסטי של תפישת העולם, והוא יותר רחב מאשר מה קורה בכיתה הלימוד
- לימוד משלב מעברים בין הלומד וסביבת העולם האמיתי
- לימוד הוא תהליך של יצירת ידע

לאור זאת, הגישות הפדגוגיות המופעלות מבטיחות סביבת לימודים בעלת השפעה כפולה - לימוד הנושאים הטכניים ולימוד הכישורים האישיים הרכים הנכללים בתכנית ה CDIO.

שינויים ארגוניים ותרבותיים

יישום גישת CDIO באוניברסיטה מחייבת שינויים ארגוניים ותרבותיים מתאימים. לימודי ההנדסה המסורתיים מדגישים את ההעמקה הטכנית בכל תחום ידע במנותק מהסביבה וללא התייחסות לתחומי ידע נוספים. לימודי ההנדסה המסורתיים מדגישים את האנליזה המעמיקה, וכמעט לא מתייחסים לסינתזה. בנוסף, ההתייחסות להיבטים החברתיים והסביבתיים בלימודי ההנדסה המסורתיים היא די שולית. לכן, כדי להצליח ביישום גישת CDIO נדרשים שינויים ארגוניים ותרבותיים. רצוי שיהיו "איים של יישום" שנוצרו בעקבות יוזמות אישיות של חברי סגל. איים אלו יכולים לשמש מאיצים לשינויים ארגוניים ותרבותיים.

השינויים הארגוניים והתרבותיים מחייבים קידום תכניות רב תחומיות ורב דיסציפלינריות, קידום תכניות לימודים המשלבות פרויקטים התנסותיים ומעשיים, יצירת סקרנות אצל הסטודנטים למה דברים קורים ונוצרים, יצירת תובנות אצל הסטודנטים מהם המשמעויות החברתיות, סביבתיות, כלכליות ופוליטיות של מעשיהם.

פיתוח הסגל

סגל המורים עובר פיתוח והתאמה לתכנית CDIO, במיוחד בהיבטים הרכים, בהיבטים ההתנסותיים ובהיבטים הרב תחומיים. איש הסגל מחוזק ומועשר בהיבטי לימודים פעילים והתנסותיים. כמו כן, איש הסגל לומד כיצד להעריך את הסטודנטים בהיבטים הרכים והמוכללים של ה CDIO.

ליוצרי תכנית ה CDIO ברור שרוב אנשי הסגל הם חוקרים מצטיינים, ובעלי ניסיון בהוראה מסורתית של העברת ידע. לכן, ההשקעה בפיתוח הסגל בהיבטים שהוזכרו לעיל היא חשובה, והיא מרכיב חיוני בשינויים הארגוניים והתרבותיים שתוארו לעיל.

משיכת והנעת סטודנטים "אשר מוכנים להנדס"

תכנית CDIO באה גם להתמודד עם בעיית האטרקטיביות של לימודי ההנדסה. הסטודנטים הפוטנציאליים מתרשמים שלימודי ההנדסה מתמקדים בתיאוריות ולימוד מעמיק של מדעים מדויקים. לאורך שנות הלימוד הראשונות הסטודנטים לא מבינים למה הם צריכים לדעת את כל פרטי התיאוריות האלו. לכן, תכנית ה CDIO כוללת פרויקטים מעשיים של תכן והנדסה של מוצרים מהשנה הראשונה. באמצעות פרויקטים אלו הסטודנטים מבינים את הסיבות ללימודי התיאוריות ומיישמים תיאוריות אלו בפרויקטים. כלומר, הסטודנטים לומדים לפתור בעיות הנדסיות באמצעות כלים ותיאוריות מדעיות, במקום "לשקוע" בלימוד התיאוריות ללא הבנה של מטרתן.

הלימודים הרב תחומיים, הלימודים של מחזור החיים הכולל של המוצר/המערכת, והלימוד של ההיבטים הרחבים (סביבה, כלכלה, אתיקה, פוליטיקה...), של ההנדסה ושל המערכות הנוצרות מבטיחות לימודים מרתקים לסטודנטים הסקרניים.

כלומר, הציפיה היא שלימודי הנדסה בגישת CDIO יביאו יותר סטודנטים מוכשרים וסקרנים ללימוד הנדסה, ולהניע אותם להגיע לתעשייה כמהנדסים "אשר מוכנים להנדס".

יישום CDIO באוניברסיטה

יישום CDIO באוניברסיטה הוא משימה מערכתית רב שנתית. לשם כך פותחו במסגרת מיזם ה-CDIO 12 נהלים המכסים את כל היבטי היישום: פיתוח תכניות הלימודים, שילוב עקרונות ה-CDIO, שיטות לימוד והוראה, פיתוח הסגל ושיטות הערכה. רשימת נהלי CDIO כוללת:

1. ההקשר של אימוץ עקרונות תכנית CDIO
2. תוצרי הלימוד
3. תכנית לימודים משולבת
4. מבוא להנדסה
5. התנסויות ביישום תכן
6. מרחבי עבודה להנדסה
7. התנסויות בלימודים משולבים
8. לימוד פעיל
9. העשרה של כישורי הסגל (כישורים אישיים ובין אישיים, כישורים בתחומי בניית מוצרים, תהליכים ומערכות)
10. העשרה של כישורי ההוראה של הסגל
11. הערכה של לימודי הסטודנטים
12. הערכה של התכנית ויישומה

שותפויות והתארגנויות ליישום הרפורמה בלימודי הנדסה בגישת CDIO

כאמור לעיל, נוצרה קהילת אוניברסיטאות מיישמות CDIO שאפשר להיעזר בניסיונה ובתמיכתה ביישום הגישה, למשל:

- The IDEA League - Imperial college London ,TU Delft, RWTH Aachen ,ETH Zurich
- Center for the Advancement of Engineering Education (CAEE) - Colorado School of Mines, Howard University, Stanford University, University of Minnesota, University of Washington
- Center for the Advancement of Scholarship on Engineering Education (CASEE)

הקונסורציומים האלו מארגנים מפגשים וכנסים מקצועיים לחילופי מידע והתנסויות.

מרחבי עבודה ולימוד

בתכנית זו יש דגש על תכנון ועיצוב מרחבי העבודה והלימוד כך שיתמכו בתהליכי העבודה והלמידה של הסטודנטים הלומדים וחווים את התכנית. בשלב בניית הקונספט של המוצר- מערכת (שלב C) נדרש מרחב בו מתאפשרת אינטראקציה חופשית בין הסטודנטים ללא הפרעות. בשלבי התכן והיישום (שלבי I ו-D) נדרשת סביבה בה יש מערכות מחשוב לתכן מוצרים, למודלים וסימולציות, מעבדות תכן ואינטגרציה, וכן מערכות המאפשרות בניית אבי טיפוס, בשלבי התפעול רצוי ליצור סביבה המדמה את סביבת התפעול של המוצרים - מערכות.

מרחבי עבודה ולימוד

אוניברסיטאות רבות הקימו ומפעילות מרחבי עבודה ולימוד מתקדמים. לדוגמא: אוניברסיטת CHALMERS בנתה מעבדות מתקדמות לבניית אבי טיפוס, ה-ROYAL INSTITUTE OF

TECHNOLOGY בשטוקהולם בנתה מתחם מסוג זה, MIT הקימה ובנתה מרחב שלם שנקרא מעבדת מערכות מורכבות, בו ניתנת תמיכה בתכן והנדסה לאורך כל מחזור חיי המוצר/מערכת.

מבט כולל לעתיד

בפרק המסכם של הספר ניתנת הערכת ביניים על יישום גישת CDIO בעולם במגוון אוניברסיטאות. במועד השלמת הספר (2007) התכנית יושמה בכ- 22 אוניברסיטאות מסוגים שונים (גדולות וקטנות, ציבוריות ופרטיות, ממוקדות מחקר או ממוקדות הוראה...) ב- 12 מדינות ברוב היבשות. בשלב הראשון היישום הוא בפקולטות מסוימות כמו הנדסת מכונות, הנדסת אלקטרוניקה. אבל כבר החלו יישומים בהנדסת כימית, בהנדסת חומרים, בהנדסה ביו-רפואית ובהנדסה אזרחית.

בנוסף, מובילי התכנית מעריכים שצפויים עוד מניעים לשינויים בחינוך מהנדסים, למשל:

- פריצות דרך מדעיות וטכנולוגיות בעלות אימפקט על ההנדסה
- תהליכי גלובליזציה של חברות וסטודנטים המביאים לניידות וגמישות כוח העבודה ההנדסי
- סטאטוס הכישורים והגישות של אוכלוסיית הסטודנטים המתחילים את לימודיהם בהנדסה
- נושאים של מידת השתתפות של מגזרים המודרים באופן היסטורי מלימודי הנדסה, כמו: נשים, מיעוטים, זרים
- תכניות ויוזמות ממשלתיות רוחביות המשפיעות על חינוך מהנדסים (כמו תכניות אקרדיטציה של אוניברסיטאות ומכללות)

מובילי תכנית ה CDIO גם מתכננים פיתוחים נוספים של התכנית בכוונים חדשים כמו:

- יישום התכנית בכל הדיסציפלינות ההנדסיות
- יישום הגישה והתכנית בלימודי מוסמכים - תואר שני, תואר שלישי
- יישום הגישה בכל שטחי החינוך ולא דווקא חינוך מהנדסים

ב. ניתוח תכנית CDIO בהיבטים שונים: תמצית המתבססת על מאמרים מהאתר של CDIO

1. לקחים מערכתיים ותובנות מיישום הרפורמה של CDIO בתכנית הלימודים

Reflection on the implementation of CDIO: Key Learning for Implementing Large Scale Curriculum Innovation-

Dennis SALE and Helene LEONG, Singapore Polytechnic, Singapore

מאמר זה מסכם הלקחים העיקריים של פוליטכניק סינגפור SP, מתאימים ומותאמים לאוניברסיטה מיישום CDIO מ-2006 ועד היום. כל ההתנסות והלקחים נכללים בספר:

The Challenge of Reframing Engineering Education (Sale, 2014)

המאמר מתמקד בלקחים העיקריים בהתייחס לחדשנות רחבת היקף בתכנית הלימודים בהיבטים השונים של היישום, הכוללים בין השאר: תפירת קורסים שונים בתכנית לדרישות שונות ומשתנות, עיצוב חווית לימודים אפקטיבית ויצירתית, שיטות הערכה של סטודנטים ושל התכנית, פיתוח סגל המרצים וניהול השינוי.

במאמר מוצגות מגוון הדגמות של גישות חדשניות ומעשיות לחינוך מהנדסים, למשל: שילוב כישורי חשיבה לתוך תכניות הלימודים, שימוש במרחבי לימוד מושקעים ויצירתיים, אסטרטגיות הוראה מתקדמת, פרויקטים רב תחומיים, מערכות הערכה חדשניות ואפקטיביות.

המאמר מתבסס על מחקר והערכה שנמשכו 3 שנים בהשתתפות הסטודנטים וחברי הסגל. ממצאי המחקר מציגים טווח רחב ועשיר של תובנות כיצד נכון ליישם רפורמה רחבת היקף כמו CDIO, מזהים שאלות מפתח ואתגרים, ומציגים אבני נגף עיקריות שכדאי להימנע מהן ככל הניתן. התובנות העיקריות שמוצגות במאמר על בסיס הניסיון שהצטבר בפוליטכניק סינגפור הם:

- נדרש "לקנות את לב" הסגל האקדמי לגבי הצורך ברפורמה וכן שיתופם ביישום הרפורמה. בפוליטכניק סינגפור נאסף מידע על כך שתכנית הלימודים הקיימת לוקה בחסר הן מבחינת הסטודנטים וכן מבחינת התעשייה, והשינוי נחוץ כדי שתכנית הלימודים תהיה אטרקטיבית. כמו כן, הסגל האקדמי שותף בכל היבטי ה CDIO והוא כמובן התאים את תכניות הלימודים לפי עקרונות ה CDIO.
- הדגשת החשיבות שתוצרי הלימודים יהיו ברורים, מתאימים ומותאמים לאוניברסיטה - זיהוי הכישורים התאימים לקונטקסט של SP, הגדרת רמת המקצוענות, גיבוש יעדי למידה מדידים, התמודדות אמיתית עם אתגר שילוב כישורי חשיבה (חשיבה יצירתית, חשיבה ביקורתית, חשיבה מערכתית) בכל תכנית הלימודים
- יש להשקיע במרחבי למידה המעודדים חוויות למידה יצירתיות ומשולבות
- הערכת תכניות הלימודים בהשתתפות סטודנטים ושותפים
- ניהול תהליך יישום הרפורמה כמו ניהול תהליך שינוי
- יש לאזן בין תהליכים מלמעלה למטה של ניהול, הכוונה והובלה, לבין תהליכים מלמטה למעלה של עידוד השתתפות סטודנטים וסגל אקדמי ביישום ובמשוב שוטף

2. Waves of Reform- Analysing a History of Educational Development Concepts

Oscar Gedda, Asa Wikberg-Nilsson, Rickard Garvare- Lulea University

Kristina Edstom- KTH

במאמר זה מנותחים ניסיונות יישום CDIO באוניברסיטת LULEA. ניתנים הסברים להעדר הצלחה בניסיונות קודמים ולהצלחה של הניסיון האחרון. עיקרי הממצאים ממחקר זה:

- לפני עשור הרפורמה לפי CDIO התנגשה עם יוזמת "אוניברסיטה יצירתית" - לא הייתה באוניברסיטה אנרגיה לבצע שתי רפורמות בו זמנית
- במהלך העשור נבנתה קהילת אוניברסיטאות מיישמות CDIO שמסייעות זו לזו ביישום הרפורמה. אוניברסיטת LULEA נעזרה בניסיון של MIT ושל KTH שסייע לה לצלוח קשיים ביישום CDIO
- באוניברסיטת LULEA מחשיבים מאד את פדגוגיית ההוראה והחינוך ההנדסי - יוזמת ה CDIO נותנת מסגרת מערכתית לפיתוח וקידום פדגוגיה זו
- ניהול הרפורמה בוצע במהלך משולב שהוכיח את עצמו - מלמעלה למטה ולמטה למעלה

3. Reformulating Engineering Education at Singapore Polytechnic-S.H. Pee, Helene Leong, SP

SP מיישמת CDIO משנת 2004 וכבר מתחילת היישום היא הצטרפה לקהילת מיישמי CDIO בעולם. תכנית הלימודים שפותחה ב SP היא 3 שנתית - בשנה הראשונה מעלים את הרעיונות, בשנה השנייה מבצעים פרויקט תכן וחדשנות, ובשנה השלישית מבצעים פרויקט תכן רב דיסציפלינארי. הלקחים העיקריים מהיישום: החשיבות לשותפות בתעשייה, הצורך בסגל מורים רב תחומי, שילוב הסטודנטים בפרויקטים בהדרגה בהתאם לרמת המוכנות שלהם, צורך בתמיכה טכנית בפרויקטים על ידי סגל טכני של האוניברסיטה, הצורך בהדרכת סגל ההוראה בגישות הוראה מתאימות ללימודים מבוססי פרויקטים.

4. בנצ'מרקינג ולקחים מיישום סילבוס CDIO בארבע אוניברסיטאות מובילות

Benchmarking Engineering Curricula with the CDIO Syllabus-J. Bankel, Chalmers University of Technology, K-F Berggren, M. Engstrom, I. Wiklund, Linkoping University, E. Crawley, D. Soderholm, MIT, K.E. Gaidi, S. Ostlund, Royal Institute of Technology

עבודת מחקר זו בוצעה ב-4 אוניברסיטאות המובילות את יישום CDIO בעולם:

- Chalmers University of Technology, Sweden
- Linkoping University, Sweden
- MIT, USA
- Royal Institute of Technology, Sweden

העבודה כללה בנצ'מרקינג של ממצאי היישום של לימודי ההנדסה בתכנית CDIO – נערכה השוואה ביקורתית בין היישומים ב-4 האוניברסיטאות וכן השוואה ביקורתית ביחס ליעדי ה-CDIO. הממצאים העיקריים של עבודה זו הם:

- באופן לא צפוי המחקר הוכיח את עצמו ככלי טוב לחינוך ושיתוף הסגל האקדמי בעקרונות ומשימות ה-CDIO
- נמצאו וזוהו נתקים בין תכנית הלימודים הטכנית לבין תכני ה-CDIO. זיהוי הנתקים מאפשר טיפול בפערים אלו בהמשך
- נמצא שמוקדש זמן ללימוד ראוי להוראת ולימוד פיתוח כישורים האישיים ובין אישיים
- יש די הרבה אי יעילויות בתכנית, בהן מקדישים מספר פעמים להקדמות של נושאים שונים, ולבסוף לא מלמדים נושאים אלו
- במספר מקרים מלמדים יישום של נושא שלא נלמד לפני כן בצורה ראויה
- בכל ארבעת האוניברסיטאות נראה שניתן לקיים את תכניות הלימודים במשאבים שהוקצו

5. הערכה השוואתית בין CDIO ו PBL כמודלים לחינוך מהנדסים

PBL and CDIO: Complementary Models for Engineering Education Development

Kristina Edstrom-KTH Royal Institute of Technology

Anette Kolmos- Aalborg University

מאמר זה מציג השוואה בין שני מודלים אפשריים לרפורמה בחינוך מהנדסים- גישת CDIO וגישת PBL.

גישת ה PBL היא לימוד מבוסס בעיה או פרויקט- Problem/project based learning

גישת ה PBL נוסדה בשנות ה 70 בלימודי רפואה ואומצה יותר מאוחר באוניברסיטאות שבדיות ללימודי הנדסה (האוניברסיטה הראשונה המוזכרת בעניין זה היא Aalborg University)

שתי הגישות מציגות מטרות יותר נרחבות לחינוך סטודנטים להנדסה מעבר לאג'נדה המסורתית, במיוחד בהיבטי הכישורים הרכים - מנהיגות, תקשורת, עבודת צוות. ה- PBL הנה גישה וותיקה יותר ולכן שימשה בין השאר כבסיס להתפתחות ה- CDIO. בשתי הגישות נוצרו קהילות מקצועיות לפיתוח, קידום ויישום הגישות באוניברסיטאות.

מבחינת אסטרטגיית השינוי, נראה שבגישת PBL יש אתגר גדול יותר, כיוון שלימודים מבוססי בעיות הם שונים בתכלית מלימודים מבוססי דיסציפלינה.

השוני העיקרי בין שתי הגישות של PBL מקיימת חשיבה מחדש על תהליך הלמידה, ואילו גישת ה-CDIO מקיימת חשיבה מחדש על תנאי הלמידה.

נראה שניתן ללמוד ולהחכים באופן הדדי משתי הגישות. לכן המסקנה העיקרית שהן שתי גישות משלימות ומחזקות אחת את השנייה.

6. התייחסויות למטרות המחקר של חינוך הנדסי בראיית ה CDIO

Aims of Engineering Education Research (EER) - The Role of the CDIO Initiative

Kristina Edstrom-KTH Royal Institute of Technology

מיזם ה-CDIO שם לו כמטרה פיתוח תכנית לחינוך מהנדסים. לכן המחקר בתחומי חינוך מהנדסים (EER) קיבל עדיפות נמוכה. בשנים האחרונות יש התעניינות גם במחקר בתחום זה. בתחילת שנות ה-2000 המחקר על חינוך מהנדסים התקיים בצורה מפוזרת בכמה מחלקות. משנת 2003 המחקר בתחום מבוצע במחלקות להנדסה, כולל ייזום תכניות לדוקטורט בתחום וכולל מענקים של ה-NSF למחקרים בתחום. המחקרים בתחום באירופה החלו יותר מאוחר ולבסוף הצטרפו למגמות בארה"ב.

המחקר בתחום מתלבט בין שני כיוונים: חיפוש האמת על חינוך מהנדסים, או איתור מתודולוגיות לשיפור חינוך מהנדסים. אלו כמובן שני כוונים לא בלתי תלויים זה בזה, אבל הראשון מחפש את האמת המדעית והשני מחפש תובנות מעשיות יישומיות. החוקרים בתחום מכוונים קודם כל למחקר בסיסי ואחר כך למחקר יישומי, כיוון שהדיסציפלינה של מחקר בתחום חינוך מהנדסים היא בהתהוות. לכן קודם כל היא צריכה לקבל לגיטימציה מעולם המחקר ולאחר מכן מעולם בעלי העניין המעשיים.

7. הערכה ובחינה של יישום CDIO בפקולטות לא הנדסיות

CDIO as a Cross-Discipline Academic Model

Jordan Martin- Sheridan College, Canada

Dave Wackerlin- - Sheridan College, Canada

בעבודה זו בחנו ישימות CDIO בתוכניות לא הנדסיות והשוו את היישום לתוכנית להנדסת מכונות. כל התוכניות הללו הינן ברמת תואר ראשון, למשל: מערכות ביטחון מידע בפקולטה למדעים וטכנולוגיה, קידום בריאות בפקולטה למדעי הבריאות, לימודי ארכיטקטורה בפקולטה למדעים וטכנולוגיה, לימודי מנהל עסקי.

ממצאי עבודה זו נראה שניתן למפות את רוב נושאי הלימוד במחלקות לא ההנדסיות לתוך מודל ה-CDIO. אבל מיפוי וכיסוי זה לא מבטיח את הצלחת יישום CDIO בפקולטות אלו.

8. יישום CDIO בפקולטות לא-הנדסיות

Application of CDIO in Non-Engineering Programs-Motives, Implementation and Experience

J. Malmqvist- Chalmers University of Technology, Sweden

Helene Leong-Wee Kwee Huay- Singapore Polytechnic

Juha Kontio- Turku University, Finland

Trinh Doan Thi Minh- Vietnam National University

המאמר מתאר בפרוטרוט יישום CDIO בתוכניות לא הנדסיות, כמו: אמנות, מדע, עיבוד מזון, עסקים, מדעי הספרייה. מוצגים תיאורי מקרה מפורטים המאפשרים ללמוד מהלקחים ומהתובנות כדי ליישם בתוכניות לא הנדסיות. בכל האוניברסיטאות המוצגות כאן היה יישום קודם של CDIO בפקולטות הנדסיות, וכמובן זאת תשתית מסייעת.

התועלות העיקריות מיישום ה CDIO בתכניות הלא הנדסיות היו: חיזוק הקשר לקונטקסט המקצועי, חיזוק הפיתוח של התכניות ושיפור הבטחת האיכות. האתגרים של היישום של CDIO בתכניות לא הנדסיות דומים לאלו בתכניות הנדסיות כמו: הכשרת מורי הפקולטות ללמד כישורים מעבר לדיסציפלינה המקצועית, חשיבה, תכן, תקשורת ועבודת צוות.

9. שילוב הוראה ומחקר בסביבת CDIO

Teaching-Research Nexus in Engineering Education

M. Magnell, J. Soderlind, L. Geschwind- KTH Royal Institute of Technology, Sweden

מאמר זה מציג את שאלת השילוב בין הוראה ומחקר מבחינת המרצים-חוקרים והסטודנטים. הממצאים העיקריים הם:

- נכון לשלב ממצאי מחקרים בתכנים של הקורסים
- שילוב ממצאי מחקרים בקורסים לאו דווקא מגביל את הקשר בין החומר הנלמד והפרקטיקה בתעשייה
- נכון לשלב סטודנטים במחקרים דרך הפרויקטים, דרך עבודות המסטר, דרך לימוד אירועי מקרה וגם דרך השיחות והדיונים בכיתת הלימוד
- רצוי להנחות את המרצים כיצד לשלב הוראה ומחקר

10. שיפור איכות בעזרת קהילת CDIO

Enhancing Quality together with CDIO Community

Juha Kontio, Turku University, Finland

במאמר זה ניתן תיאור של תהליכי הערכה המבוצעים במסגרת קהילת האוניברסיטאות המיישמות CDIO. הערכות אלו כוללות: הערכה עצמית, הערכה הדדית, ובקורת חברים.

לשם כך נוצרו מספר פרויקטים של הערכה לשם שיפור איכות. הפרויקטים מתקיימים במספר אזורים כמו: סקנדינביה, הים הבלטי, אירופה.

הנוהל הרלוונטי של ה CDIO הוא נוהל 12 – הערכת התכנית.

כיוון שבתהליכי ההערכה משתתפים נציגים מכל האוניברסיטאות, יש כאן תהליך למידה הדדי בעל ערך מוסף גדול לכל משתתפיו. יש עדויות שהאוניברסיטאות מאמצות רעיונות אחת מהשנייה. זו עוצמה משמעותית של קהילת ה CDIO.

11. התאמת CDIO להנדסה אזרחית

Adapting CDIO to Civil Engineering: Investigate –Plan-Design-Construct-Operate-Maintain

M. Nilsson, Catrin Edelbro-Lulea University of Technology

Kristina Edstrom- KTH Royal Institute of Technology

במאמר זה מוצג יישום תוך כדי התאמה של תכנית ה CDIO לפקולטה להנדסה אזרחית. בנוסף, מודגש ומודגם שקיימת האפשרות להתאים את ה CDIO להנדסות שונות, על ידי התאמת השפה והטרמינולוגיה המתאימה, וכן התאמת התכנים. במקרה של הנדסה אזרחית וסביבת הבנייה על תהליך החינוך ההנדסי להתייחס לשלבים: חקירה-תכנון-עיצוב-בניה-תפעול –תחזוקה. בנוסף התהליך צריך להתייחס בנוסף למוצרים, תהליכים ומערכות, וגם ל"סביבות".

כפעילות המשך מתוכנן להרחיב את התכנית להנדסה אזרחית גם לניתוח בר קיימא.

הלקח העיקרי של מישמי התאמה זו, שיש לקיים התאמות של תכנית ה- CDIO לפקולטות השונות, ולא לדבוק באחידות, כדי שההתאמה תתרום לאיכות החינוך הנדסי.

12. מחקר על התפישות של בעלי העניין השונים על התכנים של תכניות הלימודים

Mirka Kans, Department of Forestry and Wood Technology,
Linnaeus University, Sweden

עבודה זו חקרה את תפישות העולם של סטודנטים מועמדים, סטודנטים לומדים, בוגרים ונציגי מעסיקים בתעשייה על מה נכון שייכלל בתכניות הלימודים לתואר ראשון בפקולטה ללימודי היער וטכנולוגיות עץ. בתחילת העבודה נעשה ניסיון למפות את כל בעלי העניין לגבי נושאי הלימוד בפקולטות הנדסיות לתואר ראשון. במפה זו נכללו סוגי הסטודנטים השונים - הפוטנציאליים, המועמדים, הלומדים והבוגרים - הם והארגונים המייצגים אותם. נכללו גורמי תעשייה שונים- המעסיקים, ארגוני תעשייה ואיגודים מקצועיים. כמו כן, נכללו גורמי חינוך שונים מקצועיים וממשלתיים, וכמובן מורים, מרצים וארגונים.

הסקר עצמו התמקד בבחינת התפישות של הסטודנטים השונים ונציגי המעסיקים.

לבעלי העניין האלו הוצג הסילבוס של לימודי ה- CDIO כפי שנלמד בפקולטה.

ממצאי הסקר אנחנו לומדים מהם הנושאים החשובים ביותר בעיני בעלי העניין שנסקרו:

- מדעי החומרים שנעשה בהם שימוש בתעשיית היער והעץ
- ידע בסיסי במקצועות הנדסה-מתמטיקה, פיזיקה, טכנולוגיה
- הכרות עם שרשרת הערך בתעשייה זו - בהיבטי יצור, שווק, חברה וכלכלה
- חשיבה אנליטית, יכולת לפתור בעיות הנדסיות וטכנולוגיות
- מנהיגות, אתיקה, יזמות, תקשורת בין אישית ועבודת צוות

ממצאי סקר זה שימשו את האוניברסיטה בעדכון וחיידוד תכניות הלימודים, כמו למשל חיזוק לימודי המנהיגות, האתיקה והחשיבה היזמית.

13. אימוץ CDIO לשילוב הנדסה ועסקים

Wong Weng Yew, Safura Anwar, Shanker Maniam, School of Electronic Engineering,
Singapore Polytechnic

בעבודה זו נסקרה תכנית לימודים משולבת של לימודי הנדסה ועסקים בתחומי האלקטרוניקה בגישת ה- CDIO. במסגרת תכנית זו הסטודנטים בשנה ראשונה מבצעים בעבודת צוות סקר שוק לגבי הציפיות והדרישות ממוצרי אלקטרוניקה, ועל בסיס זה הם מכינים תכנית שיווקית. בשנה השנייה, צוות הסטודנטים מתכננים ומהנדסים את המוצר ובשנה השלישית הם מתכננים ומיישמים תכנית שיווק ומכירות. תכנית הלימודים נבנתה ומיושמת לפי עקרונות ונהלי ה- CDIO. בעבודה זו נמצא ששביעות הרצון של הסטודנטים והמרצים על השילוב של הנדסה ועסקים היא גבוהה, ומתקבל בוגר שיכול לשלב היבטים הנדסיים-טכנולוגיים עם היבטים שיווקיים-עסקיים.

14. שילוב בין חדשנות פדגוגית וגישת CDIO

Integrating Innovation Pedagogy and Towards Better Engineering Education the CDIO -

Penttila Taru, Kontio Juha- Turku University, Finland

במאמר זה ניתן תיאור מפורט של שילוב היבטי חדשנות בפדגוגיה לבין עקרונות ה- CDIO כדי לבנות תכנית חינוך מהנדסים טובה יותר. במסגרת זו מצוינים היבטי חדשנות בפדגוגיה, כמו: הפיכת בעיות לאתגרים, לימוד בצוותים רב תחומיים, יצירת סינרגיה בין התלמידים, עידוד שיתוף ברעיונות, הפיכת

רעיון למוצר, תכניות לימודים גמישות בהתאם לצרכים והיכולות, עידוד יזמות, עידוד קבלת החלטות, עידוד למידה פעילה.

מבחינת CDIO החדשנות בפדגוגיה תורמת למירב המרכיבים, למשל: עבודת צוות רב תחומי, תקשורת בין אישית, מנהיגות וקבלת החלטות, יוזמה לתכנון ויצירת מערכות ומוצרים חדשים העונים לצרכי האנושות, הבנה מעמיקה לתפקיד האסטרטגי והערך המיוחד שיש למהנדסים ולחוקרים.

במאמר מוצג תיאור מפורט של שילוב עקרונות החדשנות הפדגוגית בנהלי ה CDIO כבסיס ליישום החדשנות הפדגוגית.

15. ההשפעה של העבודה בתעשייה תוך כדי הלימודים

On the Effect of Employment during the Last Year of Studies to Timely Graduation and Deep Learning

Petri Sainio, Seppo Virtanen- University of Turku, Finland

סטודנטים להנדסה בפינלנד נוהגים לעבוד בתעשייה בזמן לימודיהם. זה נכון במיוחד לגבי סטודנטים מצטיינים שהתעשייה מעוניינת בהעסקתם המוקדמת, כחלק מתהליכי הגיוס של מהנדסים צעירים מצטיינים. זו סיטואציה אטרקטיבית גם לסטודנטים מבחינה כלכלית, מבחינת צבירת ניסיון ומבחינת איתור מקומות עבודה בסיום הלימודים. נמצא שהעבודה בזמן הלימודים מעכבת את מועד השלמת התואר והצטרפות מסודרת ומליאה לכוח העבודה ההנדסי בתעשייה. יחד עם זאת סטודנטים רוכשים בעבודתם המקבילה בתעשייה מיומנויות מעשיות של מהנדס, כמו: יכולת לפתור בעיות הנדסיות, יכולת עבודה בצוות.

להערכת עורכי המחקר, הכישרים שאותם רוכשים הסטודנטים בעבודה בתעשייה, הם היו יכולים לרכוש בפרויקטים הרב תחומיים הכלולים בתכנית ה CDIO.

16. התייחסות ללימודים ב"כיתה הפוכה"

Student Perspectives on Flipped Classrooms in Engineering Education

Mikael Cronhjort, Maria Weurlander- Department of Learning, KTH Royal Institute of Technology

כיתה הפוכה היא כיתה בה הסטודנטים מקבלים את חומר הלימוד לפני השיעורים בצורת טקסטים, סרטים, ועבודות הכנה לקראת הלימודים בכיתה בה דנים בחומר הלימוד באמצעות שיחות, שאלונים מונחים ועבודות משלימות.

במאמר זה מוצגים ממצאים של משוב תלמידים על האפקטיביות של כיתה הפוכה. נראה שרוב המשובים הם חיוביים לגבי גישת לימוד זו, אבל נדרשות הרבה התאמות של השיעורים לחומר הנלמד וגם לתלמידים הלומדים. למשל תלמידים עם דיסלקציה ציינו שהשיטה הזאת פחות טובה עבורם. בנוסף, נראה שבנושאים הקשים להבנה יש אתגר ביישום גישה זו. עיקרי היתרונות בלימודים בשיטה זו היא לימודים עצמיים בקצב האישי, ועידוד חשיבה ביקורתית משותפת בכיתה.

הנושא של כיתה הפוכה מועלה בכנסים של CDIO כיוון שבחלק מבתי הספר להנדסה עודדו את המעבר לכיתות הפוכות בלימוד הנדסה במסגרת רפורמת ה CDIO.

17. לימודי הנדסה ב 2030

Impact of Global Forces and Empowering Situations on Engineering Education in 2030

Aldert Kamp, Renate Klaassen, Delft University of Technology, the Netherlands

מאמר זה מסכם ממצאי קבוצת חשיבה שהתקיימה באוניברסיטת דלפט על לימודי ההנדסה הצפויים ב - 2030. השינויים הדרושים בכישרים של מוסמי תואר שני להנדסה מתוארים בטבלה הבאה:

פרופיל נוכחי של בוגרי תואר שני	שינויים דרושים
חשיבה חד-תחומית	חשיבה רב תחומית ובין תחומית
צמצום והפרדה	אינטגרציה והכללה
חשיבה מכנסת	חשיבה מבדרת ויצירתית
עצמאות	שותפות
בסיס טכני-מדעי	בסיס חברתי-כלכלי
וודאות בהבנה	יכולת הכלה של עמימות, אי וודאויות וכישלון
מומחה חדגוני	יכולת להיות מועסק, למידה לאורך החיים
פתרון בעיות הגיוניות	פתרון בעיות סבוכות ומורכבות

טבלה זו מציגה את האתגרים הגדולים לחינוך ההנדסי בשנים הקרובות.

במסגרת קבוצת חשיבה זו גובשו 3 רעיונות מרכזיים:

1. מומלץ לכוון את החינוך של המהנדסים למספר פרופילים שונים של מהנדסים-מומחה, מתכלל של מערכות, חדשן, מהנדס קונטקסטואלי.
2. יצירת מתחמים רב תחומיים בהם מתקיימים לימודים ומחקרים רב תחומיים ובין תחומיים
3. גיבוש שפות הנדסה משותפות החיוניות לתקשורת ולעבודה רב תחומית ובין תחומית. בשפות נכללים: מתמטיקה, תכנות, ניתוח נתונים ומידע, תקשורת אקדמית, אתיקה הנדסית, עבודת צוות משותף ורב תחומי.

התכניות של אוניברסיטת דלפט היא ליצור במסגרת רפורמת ה CDIO את תכניות הלימוד ושיטות כדי להתאים את חינוך המהנדסים לסביבה של 2030 לפי הרעיונות שהוצגו לעיל.

נספח ב' - מודלים למכוני מחקר רב תחומיים עם קשר לתעשייה

א. מבוא

אוניברסיטאות המחקר בעולם נמצאות היום במצב של מעבר כתוצאה ממכלול שלם של גורמים ובהם: אופי המחקר הנדרש לקידום ידע ולפריצות דרך לחדשנות; ההשקעות הגדולות הנדרשות במערכת אוניברסיטאות המחקר וכתוצאה מכך דרישה הולכת וגוברת לפיתוח מקורות תקציביים מעבר למימון הציבורי; המחויבות הגוברת לחברה שתבוא לידי ביטוי בקידום כלכלי וחברתי של הקהילה; גלובליזציה; טכנולוגיות של הוראה, לימוד והפצת ידע החורגות מהמסורת של הוראה פרונטלית בכתה. אלה הם רק חלק מהשינויים והאתגרים של אוניברסיטאות המחקר במאה ה-21.

הגורמים הללו והשינויים הכרוכים בהם דינמיים, ועל כן אוניברסיטאות המחקר נמצאות בעיצומו של חיפוש דרך. הדבר בא לידי ביטוי בחשיבה לפיתוח מודלים חדשים לאוניברסיטאות ויישום שלהם⁴¹. כל אלה צריכים להיעשות בזירות, תוך שמירה על איזון, כך ששיתופי פעולה ועבודה בקבוצות גדולות לא יפגעו וידכאו את רוח הסקרנות של חבר הסגל האינדיבידואלי. ההערכה הרווחת היא שאוניברסיטאות מחקר אשר ישכילו לפתח וליישם בהצלחה מודלים חדשים, שיענו לאתגרים של המאה ה-21 ימקמו את עצמן בחזית העשייה המדעית בעולם.

המאפיינים הנדרשים ממודלים חדשים אלה רבים. בין הבולטים שבהם, ניתן למנות קידום בינתחומי (או במילים בוטות יותר שבירת המבנה הדיסציפלינרי – anti-disciplinary), פעילות במסגרת קבוצות מחקר גדולות וקשר אינטימי עם צרכנים כדי שהידע החדש יהיה רלוונטי ובר מימוש (במונחים ה"קונבנציונליים" קשר עם התעשייה). ממד נוסף הוא ההכרה שאוניברסיטת מחקר צריכה להיות חלק ממערכת סינרגטית (eco-system), במישור האזורי והלאומי ואף אולי הבינלאומי. היבט זה בא לידי ביטוי בצורך ליצור קשרי גומלין מורכבים עם שחקנים שונים ובהם אוניברסיטאות ומוסדות מחקר אחרים (בארץ ומחוצה לה), תעשייה מבוססת, תעשיות הזנק, ועם קובעי מדיניות. על אוניברסיטאות להיות בעלות יכולת למשוך חברי סגל וסטודנטים מעולים. לכל אלה יש גם ביטוי תקציבי בולט, שכן מימון מחקרים מצריך אינטראקציות מורכבות (כדוגמת אלה הנדרשות והמוכרות היטב בתכניות המו"פ של האיחוד האירופי ובתכניות של המדען הראשי של משרד הכלכלה).

השינויים במודל הפעולה של אוניברסיטאות אינם פשוטים. לא מדובר רק בשינויים מבניים וארגוניים, כי אם בעיקר בשינויים תרבותיים. אלה מטבע הדברים אינם פשוטים. הניסיון לקידום מחקר בינתחומי על ידי הקמתם של מרכזי מחקר בינתחומיים מעיד על כך. בסופו של דבר חבר הסגל או המשתלם קשורים בעבותות לפקולטה או למחלקת האם. אלא שהניסיונות השונים באוניברסיטאות מובילות בעולם מראה שרבות מההצלחות או פריצות הדרך נעשו באמצעות התארגנויות בעלות מבנה עצמאי, קשור לאוניברסיטה, אך מחוץ למסגרות הרגילות שלה. דוגמאות לכך הן ה-Media Lab ב-MIT^{43,42} ו-SRI International שהתחילה כמכון מחקר עצמאי באוניברסיטת סטנפורד (Stanford Research Institute). דוגמאות נוספות מבוססות על הקמת מרכזים שיוסדו באמצעות שיתוף פעולה בין מספר אוניברסיטאות. כך הוא ה-Broad Institute המשותף ל-MIT ול-Harvard⁴⁴ (ראו להלן) והמהלך להקמת Global Convergence Center במשולש האוניברסיטאות בצפון קרוליינה.

על השינויים התרבותיים הנדרשים והמתאפשרים בהתארגנויות חדשות אלה, שהן עצמאיות אך בו בזמן קשורות לאוניברסיטאות, ניתן ללמוד מהניסיון של ה-Media Lab ב-MIT (ראו להלן), ששם

⁴¹ Mohrman, K., Ma, W., & Baker, D. (2008). The research university in transition: The emerging global model. Higher education policy, 21(1), 5-27

⁴² Hassan, R. (2003). The MIT Media Lab: techno dream factory or alienation as a way of life?. Media, culture & society, 25(1), 87-106

⁴³ Khaled, T. (2014). Case Studies for the Research Triangle Foundation's Global Convergence Center

⁴⁴ Broad Institute ([website](#))

הוחדרה הרוח שנוסחה במונחים של "Demo or Die", בשונה מ-"Publish or Perish" המקובלת באקדמיה המסורתית. ב-Broad Institute הפילוסופיה מבוססת על ההבנה ש:

"we need new kind of research institutions, with a deeply collaborative structure across disciplines and organizations, and having the capacity to tackle ambitious challenges"

בהקשר זה ראוי להדגיש את ההצלחות הרבות של ה-Media Lab. בזמן, יש לקחת בחשבון את הצורך לאיזון מתאים בין הגישה של Demo or Die (הדוחפת להצלחות מהירות) לבין מחקר מעמיק שיש לו משמעויות לטווח ארוך, כמקובל בגישה האקדמית המסורתית. נושא זה עלה בדיונים שונים, שניתחו את ההצלחות של ה-Media Lab.

הקווים העיקריים המאפיינים התארגנויות מחקרים חדשות אשר בהן יש את האיזונים בין היעדים האקדמיים המסורתיים ובין הצורך בקשר עם התעשייה והסקטור הפרטי כוללים:

- התארגנות מחקרית אשר יש לה מחד קשר לאוניברסיטה מובילה ומאידך מאפשרת גיבוס תרבות שאיננה דיסציפלינרית של השתייכות למחלקה או פקולטה
- התארגנות שמאפשרת לצד המחקר גם קיום של תכניות לימוד לתארים גבוהים אשר תוכל להוות תשתית להכשרת דור צעיר של מהנדסים ומדענים שיוכלו להשתלב באקדמיה ובתעשייה ולהוביל שינוי תרבותי במחקר הנדרש למאה ה-21
- התארגנות שיוצרת תשתית לקשר טוב עם התעשייה והקהילה מבלי שהדבר יבוא על חשבון הרמה האקדמית והחופש לעסוק במחקר תשתיתי ולהפיץ באופן חופשי את תוצאותיו
- התארגנות שמאפשרת לשלב בתוכה לא רק אנשי אקדמיה מדיסציפלינות שונות אלא גם מומחים מארגונים מחוץ לאקדמיה
- התארגנות שיש בה גמישות לשנות תחומי מיקוד מחקרי
- התארגנות המאפשרת שילוב של מספר אוניברסיטאות מובילות.

שתי דוגמאות של התארגנויות אשר עונות לקריטריונים הללו הן מעבדת ה-Media Lab של MIT ומכון BROAD המשותף ל-MIT ו-HARVARD. בפרקים שלהלן מוצגות דרכי ההתארגנות והפעולה של גופים אלה, שעל בסיסם ניתן לגבש רעיונות למכוני מחקר חדשים אשר משרתים בו זמנית את האקדמיה והתעשייה ומחזקים את פעילויות היזמות והחדשנות באוניברסיטה. בנוסף מוצג מודל למרכז מחקר שפותח במוסד נאמן בהתבסס על עקרונות אלה במסגרת של הצעה להקמת שלוח של הטכניון בדרום הארץ.

ב. מעבדת Media Lab ב-MIT

מבוא

מעבדת Media Lab ב-MIT מבוססת על פעילות רב תחומית בנושאים מגוונים בטווח רחב מאד שבין גישות דיגיטליות להפרעות ניירולוגיות, כדוגמת:

software agents; machine understanding; how children learn; human and machine vision; audition; speech interfaces; wearable computers; new approaches to spatial imaging, nanomedicine, and nanoscale sensing.

תיאור סכמתי של המעבדה אשר נגזר מהמקורות המתארים את פעילות המעבדה (רשימת מקורות בסוף הסעיף) מוצג באיור 34.

איור 34: מבנה סכמתי של המעבדה



* a joint effort between the MIT Media Lab and the MIT Comparative Media Studies/Writing program.

** a joint project of CSAIL and the Media Lab

*** The Communications Futures Program (CFP) is a research collaboration that studies the future of the telecommunications industry. It operates as a partnership between university and industry, drawing on knowledge and experience that spans multiple disciplines at MIT and a cross section of industry partners.

מבנה ודרך פעולה

את המחקר מובילים כ-40 חוקרים בכירים במעמד של חברי סגל, סגל מחקר בכיר ועמיתים אורחים (visiting scholars). במסגרת המעבדות מתקיימות גם תכניות לתואר גבוה של MIT וכן גם מינויים אקדמיים משותפים.

קבוצות מחקר: כל חבר סגל ומדען בכיר מוביל קבוצת מחקר המורכבת מסטודנטים ללימודים מתקדמים, חוקרים ולעתים גם סטודנטים בלימודים לתואר ראשון.

תאגיד מחקר (קונסורציום): התאגדות של חברות תעשייתיות עם חברי סגל וחוקרים של המעבדה שלהם עניין להתמקד בסדר יום משותף. במסגרת הקונסורציום מוקמת בדרך ועדה מייעצת בתחומים בהם נציגי התעשייה והאקדמיה נפגשים כדי לדון בסדר העדיפות של מחקרים.

קבוצות עבודה: המנגנון של קבוצות עבודה מאפשר השתתפות של מומחים מהתעשייה במחקר לצדם של חברי הסגל האקדמי. קבוצות עבודה מוקמות כאשר נושאים חדשים עולים על הפרק והן מסיימות את פעולתן ומתפרקות כאשר הנושא בא על פתרונו או הופך פחות רלוונטי.

הקבוצות מופעלות תחת יושבי ראש משותפים, מהאקדמיה ומהתעשייה. טווח הפעילויות נקבע על ידי העניין של המשתתפים והן מהוות פורום להצגת עבודות מחקר, גיבוש תובנות משותפות והכנת ניירות עמדה.

לכל קבוצה דרך פעולה משלה, עם פגישות סדורות במהלך השנה ב-MIT.

מרכזים ותכניות משותפות: התאגדויות לשיתוף פעולה עם יחידות שונות ב-MIT בתחומים ממוקדים ובעלי עניין משותף, כדוגמת City Science, Civic Media, Mobile Learning, Communication Future Program.

שיטת הממשל וקשר עם האוניברסיטאות

המעבדה כפופה באופן ישיר לאוניברסיטה כפי שרואים במינוי של ראש המעבדה מעורב הפרובוסט (ראש המערכת האקדמית של האוניברסיטה הפועל במקביל ומתחת לנשיא) של MIT.

הניהול הפנימי של המעבדה הוא באופיו מאד גמיש ולא היררכי ויש בו היבט תרבותי מיוחד, בלתי רגיל; סיכום טוב לכך ניתן בהערה⁴⁵. תרבות זו של חופש פעולה ותנועה בין קבוצות, היעדר תלות ספציפית של חוקר במקור מימון מחייבת מנהל מעבדה בעל כישורים ורוח מיוחדת. התיאור למטה מתייחס למייסד המעבדה פרופ' גרופונטה⁴⁶ והרוח המיוחדת שהוא הכניס בה. מאז היו מנהלי מעבדה נוספים וניתן לראות שהפרופיל של כל אחד מהם הוא ייחודי, כדי לאפשר פעולה ברוח מיוחדת זו.

⁴⁵"Media Lab faculty pursue their research interests with a great degree of freedom. Lab researchers do not depend on individual grants for support: when a corporate sponsor donates money, it is shared equally among the Media Lab's faculty members."

"First, there is the matter of the Media Lab's leadership. As anyone even remotely familiar with the Media Lab knows, Nicholas Negroponte has been an absolutely indispensable part of the institution's rise. What is less well-known is how his hands-off managerial style (really an organizational "anti-structure") has contributed to the lab's work. Negroponte made it clear that his role was simply to find excellent, inquisitive researchers and provide them with the materials to do their work."

"Second, Negroponte's laissez-faire style has been supported by the lab's explicit commitment to interdisciplinarity."

Source: Hassan, R. (2003). The MIT Media Lab: techno dream factory or alienation as a way of life?. Media, culture & society, 25(1), 87-106

⁴⁶"Negroponte and the lab's founders did not simply set up a general interdisciplinary space and leave it wide-open. Instead, they encouraged the formation of a large number of research groups with varying interests, which would feed off each other and synergistically move forward... In addition, several professors cited the flow of students between research groups as one of the most important stimulants for their own work as well".

מנגנונים לשילוב התעשייה והקהילה

חברות במעבדה: מקנה גישה לתעשייה/חברה עסקית לנעשה במעבדה. דמי החברות הם \$200,000 לשנה לתקופה של לפחות 3 שנים. מעמד זה מקנה לחברה זכות לחשיפה לכל הקניין הרוחני של המעבדה ושימוש בו ללא צורך ברישיון ותשלום תמלוגים.

חברת בתאגיד מחקר (קונסורציום): חברה עסקית/תעשייתית הרוצה לתמוך במעבדה ולהשתתף במחקר הנעשה בה קונה השתתפות באחד או יותר מתאגידי המחקר (Consortium Research - Sponsor). מעמד זה מאפשר לחברה לשלוח חוקר למעבדה שם הוא יתארח באחת מקבוצות המחקר. דמי החברות למעמד זה הם \$400,000 לשנה. מעמד זה מקנה לחברה זכות לחשיפה לכל הקניין הרוחני של המעבדה ושימוש בו ללא צורך ברישיון ותשלום תמלוגים.

עמית מנהל (Director's Fellow): מינוי המיועד לאישים בעלי מעמד מנהיגותי בסקטור ממנו הם באים, אשר יש עניין לשלב אותם בפעילות המעבדה. מינויים מסוג זה משמשים כאמצעי לפתיחת המעבדה לעולם הרחב, לתועלת העמיתים עצמם וסגל המעבדה. הצפי הוא שלעמיתים תהיה מחויבות הכרתית (passion) לשיתוף עם המעבדה.

עמית משתלם (Graduate Fellow): תמיכה של התעשייה בחוקר ראשי ומשתלם העוסקים בנושא ספציפי המעניין את התעשייה. ניתן לכנות את משרת העמית בשם החברה התומכת. מנגנון זה נועד לקדם קשר בין תעשייה שהיא חברה במעבדה ובין המעבדה וכל זאת לאופטימיזציה של פיתוח ידע ממוקד.

עמית מנהל (Director's Fellows): אישים בעלי מעמד מיוחד (מנהיגים בתחומם) שבאמצעות מינוי זה משולבים במחקר לצדם של חברי הסגל והסטודנטים. במסגרת זו המעבדה משלבת בפעילותה אישים ממגוון רחב של סקטורים ואזורים.

מבנה ההון האנושי

- 40 מדענים בכירים (חברי סגל, סגל בכיר ועמיתים אורחים) מובילים את קבוצות המחקר
- מעל 100 חוקרים ומדענים אורחים משתתפים בפעילות של קבוצות המחקר
- מעל 80 סגל תומך במחקר, בתשתיות ובאדמיניסטרציה

הפצת ידע וקניין רוחני

כל העבודות הנמצאות בשלבי התקדמות זמינות לחברים (כולל התעשייה החברה במעבדה) באמצעות אתר אינטרנט.

דוחות סופיים מתפרסמים במסגרות שמחוץ למכון, בהסכמה שבין המחברים והתומכים במחקר.

לתעשייה/גורם עסקי בעל חברות במעבדה זכות לקבל מידע על המחקרים הנעשים בה ולהשתמש בקניין הרוחני של המעבדה ללא צורך ברישיון או בתשלום של תמלוגים. הקניין הרוחני איננו אקסקלוסיבי לחברה המשתמשת בו והוא נשאר בבעלות MIT.

לתעשייה/גורם עסקי ללא חברות במעבדה חל איסור להשתמש בקניין הרוחני לפחות במשך שנתיים לאחר שהקניין הרוחני החדש הובא לידיעת MIT והחברים במעבדה.

ההכנסות מהקניין הרוחני ב-MIT הן נומינליות מתוך ראייה שהמטרה העיקרית של הארגון היא הבוגרים שלו והרעיונות החדשים, ולא קניין רוחני.

היקפי פעילות ותקציב

- תקציב שנתי של 45 מיליון \$.
- תמיכה של 80 חברות עסקיות המהווה חלק ניכר מהתקציב השנתי. משמעות הדבר שהתמיכה המתקבלת לתקציב בנויה על תמיכה כוללת ולא מוטה לגבי פרויקטים מסוימים.
- 25 קבוצות מחקר ו-350 פרויקטים,

- כ-150 סטודנטים בלימודים מתקדמים, כ-200 סטודנטים בלימודי תואר ראשון נחשפים לפעילות במעבדה

מקורות

1. <http://www.media.mit.edu/about/about-the-lab>
2. <http://www.media.mit.edu/research/groups-projects>
3. <http://www.ft.com/cms/s/2/49b501e0-b1e8-11e2-9315-00144feabdc0.html#axzz3CdF9b1dz>
4. <http://media.mit.edu/admissions/research-groups>
5. <http://www.media.mit.edu/research/consortia>
6. <http://www.antipope.org/charlie/blog-static/rants/inside-the-mit-media-lab.html>
7. <http://www.media.mit.edu/research/centers-joint-programs>
8. <http://www.media.mit.edu/research/special>
9. <http://www.media.mit.edu/research/groups-projects>
10. <http://www.media.mit.edu/people/faculty>
11. <http://www.media.mit.edu/people/visiting>
12. <http://www.media.mit.edu/people/staff>
13. <http://www.media.mit.edu/people/advisory>
14. <http://www.media.mit.edu/people/directors-fellows>
15. <http://blog.media.mit.edu/2013/01/please-welcome-our-new-directors-fellows.html>
16. <http://www.media.mit.edu/sponsorship/funding-levels/fellows>
17. <http://www.media.mit.edu/sponsorship/getting-value/ip>
18. http://www.media.mit.edu/files/unique_0.pdf
19. <http://ttt.media.mit.edu/sponsorship/sponsorship.html>
20. <http://cfp.mit.edu/about/membership.shtml>
21. <http://blogprimehubtech21.wordpress.com/2013/08/21/mit-media-lab/>
22. <http://www.media.mit.edu/sponsorship/funding-levels>
23. <http://www.media.mit.edu/sponsorship/getting-value>
24. http://www.media.mit.edu/files/unique_0.pdf
25. <http://www.media.mit.edu/research/demos-downloads>
26. <http://www.media.mit.edu/sponsorship/sponsor-list>
27. <http://newsoffice.mit.edu/2013/media-lab-e14-fund-1023>
28. <http://newsoffice.mit.edu/2014/media-lab-bring-more-digital-tools-newsrooms-12-million-grant>
29. http://en.wikipedia.org/wiki/MIT_Media_Lab#Funding_model
30. <http://mentalfloss.com/article/25417/boston-tech-party-wonders-mit-media-lab>
31. http://www.media.mit.edu/files/unique_0.pdf
32. <http://www.wired.com/2012/06/resiliency-risk-and-a-good-compass-how-to-survive-the-coming-chaos/>
33. <http://www.inktalks.com/discover/287/joichi-ito-mit-media-lab-from-a-container-to-a-network>
34. [Rahm, D., Kirkland, J. & Bozeman, Barry \(2000\). University-Industry R&D Collaboration in the United States, the United Kingdom, and Japan. New York: Springer](http://www.springer.com/9781402008221)
35. <http://thegoodproject.org/wp-content/uploads/2012/09/GoodWork13.pdf>
36. <http://www.media.mit.edu/new-director/bio>

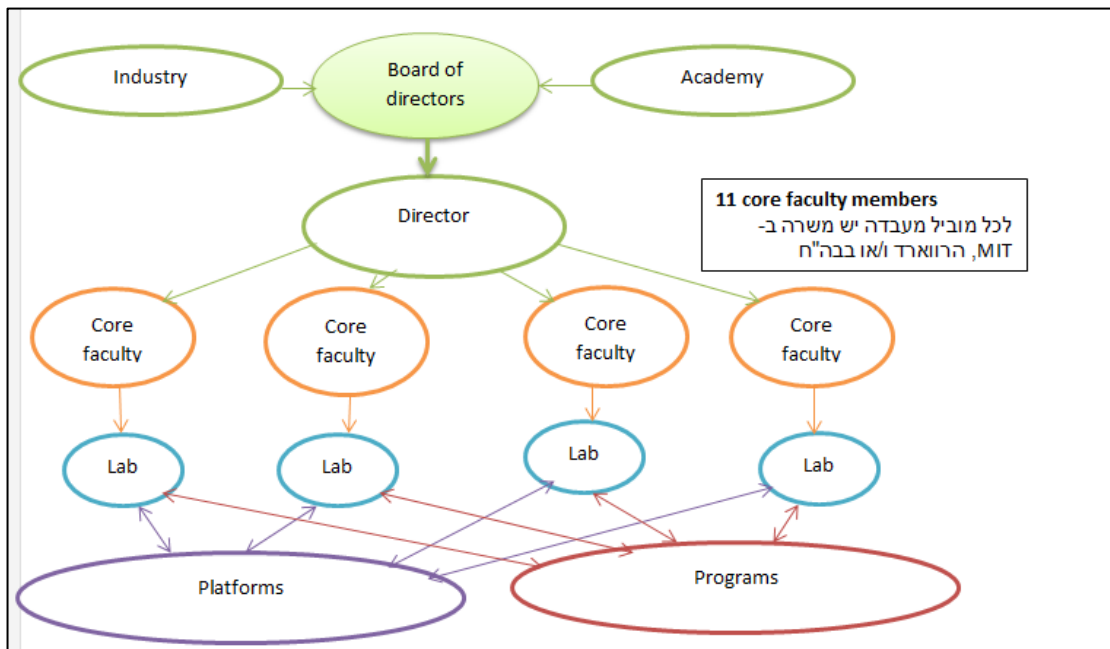
ג. מכון Broad המשותף ל-Harvard ו-MIT

מבוא

מכון Broad מפגיש קבוצה מגוונת של אנשים מכל רחבי המוסדות השותפים למכון כדי לעסוק במחקר פורץ דרך בתחומי הביו-רפואה. המכון הנו רב תחומי באופיו והוא מבוסס על חברת של שתי אוניברסיטאות, MIT ו-Harvard ו-5 בתי חולים אוניברסיטאיים. הסגל שלו הנו מגוון, סטודנטים לתואר ראשון וסטודנטים לתארים מתקדמים, בטר דוקטורנטים (postdoctoral fellows), מדענים, סגל אקדמי ואנשי מקצוע מנהליים. המכון כולל שלושה סוגים של יחידות ארגוניות: מעבדות ליבה שהן חלק מהמכון, תכניות מחקר ופלטפורמות.

תיאור סכמתי של המבנה של המכון אשר נגזר מהמקורות המתארים את פעילות המעבדה (רשימת מקורות בסוף פרק זה) מוצג באיור 35.

איור 35: מבנה סכמתי של מכון Broad



מבנה ודרך פעולה

מעבדות ליבה: המחקר מתבצע במעבדות אשר כל אחת מונהגת על ידי חבר סגל מ-MIT, או Harvard או אחד מבתי החולים האוניברסיטאיים הקשורים למוסדות אלה. המעבדות דומות לאלה שבאוניברסיטאות, אך מאחר ואינן קשורות למחלקה באוניברסיטה, הן בסמיכות פיזית למעבדות מדיסציפלינות אחרות ובכך נוצר מרכיב התורם לתרבות רב-תחומית. המשתלמים במעבדות מעורבים ביותר מאשר תכנית אחת ומקבלים ערך מוסף מחשיפה זו וממערבות נספות בפלטפורמות.

תכניות מחקר: תכניות המחקר ב-Broad מאגדות ביחד חוקרים מהאקדמיה ומהתעשייה אשר להם סדר יום משותף לפיתוח גישות חדשות וטכנולוגיות פורצות דרך, בעיקר בתחומים של גנומיקה וביולוגיה התא, כדי לקדם בין השאר ידע ותהליכים לטיפול במחלות.

פלטפורמות: פלטפורמות פועלות לצד תכניות המחקר כדי להרחיב את מטרות התכניות על ידי יצירת מסגרת המאפשרת לשלב מומחיות מתחומי המחקר, טכנולוגיה, אינפורמציה וניהול, ליצירת יכולות טכנולוגיות חדשניות לטובת המחקרים והפרייקטים המבוצעים ב-Broad. מדובר על כן בצוותים של מדענים המתמקדים בגילוי, פיתוח, אופטימיזציה של כלים טכנולוגיים קריטיים הנדרשים לאנליזה של

כמות אדירה של מידע הקשור בגנומיקה המתקבל במחקרים ב-Broad. מדענים המשתתפים בפעילות של פלטפורמה הם בעלי יכולות לביצוע פרויקטים שאינם ניתנים לקידום במסגרת מעבדת מחקר אחת. הפלטפורמות כוללות בין השאר:

- Genomics Platform
- Imaging Platform
- Metabolite Profiling Platform
- Proteomics Platform
- Genomic Perturbation Platform
- Therapeutics Platform
- Broad Technology Laboratories
- Therapeutics Projects Group

שיטת הממשל וקשר עם האוניברסיטאות

המכון הוא ארגון עצמאי תחת השם של Broad Institute והקמתו התאפשרה על ידי קרן צמיתה של משפחת Broad. הוא מתנהל במשותף עם MIT ו-Harvard, וכן גם בתי החולים הקשורים.

בוועד המנהל של המכון חברים הנשיאים של MIT ו-Harvard, נציג של משפחת Broad וכן גם נציגים בולטים הבאים מהאקדמיה והתעשייה ומניינם הכולל הוא 15.

את המכון מנהל נשיא ולידו צוות של 4 בעלי תפקידים מרכזיים, סגן מנהל אקדמי, מדען ראשי, סגן נשיא וסגן מנהל אדמיניסטרטיבי, וגזבר האחראי גם על התפעול.

ליד הגופים המנהלים פועלת ועדה מייעצת של 7 אישים בולטים מתחום האקדמיה. הם ממונים ע"י הוועד המנהל, נפגשים פעם בשנה לסקירת ההתקדמות המדעית במהלך השנה האחרונה ולצורך ייעוץ לכיוונים מדעיים עתידיים לדירקטור ולוועד המנהל

מנגנונים לשילוב התעשייה

המשרד לשיתוף פעולה אסטרטגי של המכון הנו הגורם המנהלי הפועל לגיבוש שיתופי פעולה הנעים בין מחקר רחב היקף לשת"פ לפיתוח תרופות. משרד זה יכול לעזור לחוקרים לאיתור מקורות מימון בתוך ומחוץ למכון.

חברות עסקיות רבות מוכנות למחקר שתוצאותיו יהיו נחלת הציבור כאשר מדובר במחקר ראשוני שאיננו אמור לתת באופן מידי תוצאות הניתנות למסחר. שת"פ עם חברות עסקיות בא בחשבון כאשר אין הן מציבות מגבלות על הפצת הידע שבו לציבור.

מבנה ההון האנושי

ההון האנושי עליו מתבסס המכון הנו מגוון: מדענים מדיסציפלינות שונות ומארגונים שונים, בשלבים שונים של הקריירה שלהם.

הסגל המחקרי של המכון מורכב משלוש קבוצות:

חברי ליבה: כל חבר ליבה עומד בראש מעבדה המורכבת מסטודנטים, פוסט-דוקטורנטים וסגל מחקרי. עליו לקיים את המחויבות להוראה ואדמיניסטרציה של מוסד האם שלו.

חברים נלווים (Associate Members): לכל חבר נלווה מינוי במחלקת אם באוניברסיטה השותפה, אך יש לו מעורבות עמוקה בעבודה מדעית ובתרבות של המכון. חבר נלווה מפעיל את מעבדת המחקר העיקרית שלו במוסד האם, אך הוא יכול לקבל שטח נוסף במכון Broad, כולל תמיכה במחקר.

הצפי מחבר נלווה שישתתף בפעילות במכון במספר אופנים, ובהם לקחת חלק בפגישות של תכניות מדעיות והובלה או הובלה-משותפת של פרויקטים שיש לו בהם עניין. יכול להיות לו מינוי של חוקר ראשי במכון, בנוסף למינוי דומה באוניברסיטת האם שלו.

סגל מדעי בכיר: מעורבים באופן עמוק במחקרים, וכוללים בהם חוקרים בעלי תואר דוקטור, ביולוגים חישוביים, מהנדסי תוכנה, וסגל טכני בכיר אחר.

קניין רוחני

הקניין הרוחני הוא בבעלות ארגון האם של החוקר. המשרד לרישוי טכנולוגיות של MIT משמש כסוכן המסחור העיקרי לקניין הרוחני, אלא אם נקבעו סידורים אחרים.

תקציב

המכון הוקם בשנת 2004 ובמהלך השנים נבנתה קרן צמיתה של מעל למיליארד \$. היקפי הפעילות השנתית הם כ-200 מיליון \$, כאשר כ-55% מתוכם הם מקרנות פדרליות.

היקף פעילות וסגל

- 11 חברי סגל המובילים כל אחד מעבדת ליבה
- 195 חברים נלווים
- 8 פלטפורמות

מקורות

1. <https://www.broadinstitute.org/what-broad/our-approach/our-approach>
2. http://en.wikipedia.org/wiki/Broad_Institute
3. <http://www.broadinstitute.org/scientific-community/science/core-faculty-labs>
4. <http://www.broadinstitute.org/scientific-community/science/programs/programs>
5. <http://www.broadinstitute.org/scientific-community/science/platforms/platforms>
6. http://www.broadinstitute.org/files/news/media-kit/2012_broad_institute_ar.pdf
7. http://en.wikipedia.org/wiki/Broad_Institute#Organizational_structure
8. https://www.broadinstitute.org/files/news/media-kit/2012_broad_institute_ar.pdf
9. <http://www.broadinstitute.org/what-broad/collaboration/partner-institutions-and-community>
10. <https://www.broadinstitute.org/news/5293>
11. <http://www.broadinstitute.org/scientific-community/science/core-faculty-labs>
12. <http://www.broadinstitute.org/history-leadership/founders/associate-members>
13. <https://www.broadinstitute.org/what-broad/administration/academic-affairs/associate-members>
14. <https://www.broadinstitute.org/careers/university-relations>
15. <https://www.broadinstitute.org/osap>
16. <http://www.broadinstitute.org/what-broad/who-broad/senior-scientific-staff>
17. <http://web.mit.edu/tlo/www/community/broad.html>
18. http://en.wikipedia.org/wiki/Broad_Institute#Funding
19. <http://www.broadinstitute.org/diversity>
20. [Broad Institute: Bringing Genomics to Real-World Medicine, Chemistry & Biology, Volume 12, Issue 7, July 2005](#)
21. [The Broad Institute—Six Years Later, Chemistry & Biology, Volume 17, Issue 4, April 2010](#)

ד. מודל למרכז מחקר הנדסי כשלוחה של הטכניון בנגב

רקע

במסגרת של פרויקט לגיבוש הצעה להקמה של שלוחה טכניונית בדרום הארץ, לבקשת המחלקה להתיישבות של הסוכנות היהודית, גובש מודל למרכז מחקר שהוא שונה ממבנה רגיל של פקולטה או מחלקה באוניברסיטה, וזאת מתוך מגמה לאפשר פעילות מחקרית בינתחומית וקשר עם התעשייה⁴⁷.

המודל שפותח עבור השלוחה הטכניונית בדרום התבסס על ההנחה שהוא יהיה תחת החסות של שתי אוניברסיטאות, הטכניון ובן גוריון, אך בקמפוס נפרד, רחוק מבאר שבע (בדרום או במזרח הנגב) עם מבנה וחזון ייחודי.

מיזם משותף זה יהיה כר פעולה, בו שתי האוניברסיטאות יוכלו לבחון ולפתח ביחד מודל חדשני של מכון מחקר, ראשון מסוגו בישראל. המרכז האקדמי החדש יכשיר חוקרים ומשתלמים לתארים גבוהים. התרבות בו תהיה שונה מהמקובל היום באוניברסיטאות, ועם קשר עמוק לתעשייה. מהלך זה, אשר ניתן להגדירו כהתנסות משותפת יכול להתוות כיווני דרך חדשים למחקר במאה ה-21. הוא יאפשר לשמור על רמת מצוינות אקדמית מחד, והקמת מסגרת מחקרית שיכולה לאפשר פריצות דרך וחדשנות מאידך. המיקום של המרכז בקמפוס נפרד, אך כחלק ממארג שבו פארק טכנולוגי, מיזם חינוכי ומגורי סגל וסטודנטים, יכול להקנות נופך מיוחד להתנסות של שתי האוניברסיטאות: שילוב של מרכז מחקר במערכת סינרגטית (אקו-סיסטם), ממנה ניתן ללמוד ולפתח מודלים של פעולה. דרך זו, קשה או אולי אף בלתי ניתנת לביצוע בתוך קמפוסים קיימים ובמבנה ניהולי רגיל.

עקרונות מבנה המרכז

בליבת המרכז תוקמנה קבוצות של חוקרים ממדעי מחשב והנדסת מערכות. מסביבן יוקמו מוקדי פעילות מדיסציפלינות אחרות, אשר בינן ובין מדעי המחשב והנדסת מערכות ייוסדו פעילויות בינתחומיות. בחירת הקבוצות הללו תתבסס על בחינת הערך המוסף שהמחקר הרב תחומי יכול להקנות. דוגמאות לערך מוסף עשוי לחול בתחומיהן של תעשיות החלל והתעשייה הכימית, אשר אינטראקציה בינן ובין יכולות של מדעי המחשב והנדסת מערכות יכולה להביא לקפיצת מדרגה.

המרכז יתבסס על סגל אקדמי ברמה הגבוהה ביותר, שיעמוד בקריטריונים הנדרשים לגיוס של חברי סגל בטכניון ובאוניברסיטת בן גוריון. חברי הסגל החדשים ייהנו ממינוי ראשי או מינוי משני (נספח) בטכניון או באוניברסיטת בן גוריון. במעמד שיוגדר עבורם יתאפשר להם להנחות או להשתתף בהנחה של משתלמים לתארים מתקדמים.

מחקר ממומן

גיוס תקציבי מחקר ממקורות ממשלתיים (ובהם תקציבים המיועדים לפיתוח אזורי באמצעות הרשות לחדשנות, משרד המדע והמשרד לפיתוח הנגב והגליל), ממקורות של מערכת הביטחון (כמפא"ת), המעוניין לפתח מוקדי מחקר באזורי הנגב הסמוכים לבסיסי הצבא ולשלב אנשי צבא במחקר), מהתעשייה המתקדמת (במיוחד תעשיות שיוקמו באזור ואשר לתעשייה בכלל יש ענין בקידומן) ומקרנות תחרותיות.

חדשנות

המרכז האקדמי יהיה בעל מבנה ודרך פעולה ייחודית, לא רק בהיבט של תחומי הפעילות המדעית, אלא גם במודל ההפעלה שלו, שיהיה שונה ממרכז מחקר רגיל. מדובר במבנה ייחודי שיאפשר קשר הדוק יותר עם התעשייה והקהילה לקידום חדשנות. העקרונות להפעלת המרכז מבוססים על התארגנויות חדישות באוניברסיטאות מובילות בעולם, שהקימו מרכזים ומכונים בעלי מבנים ייחודיים.

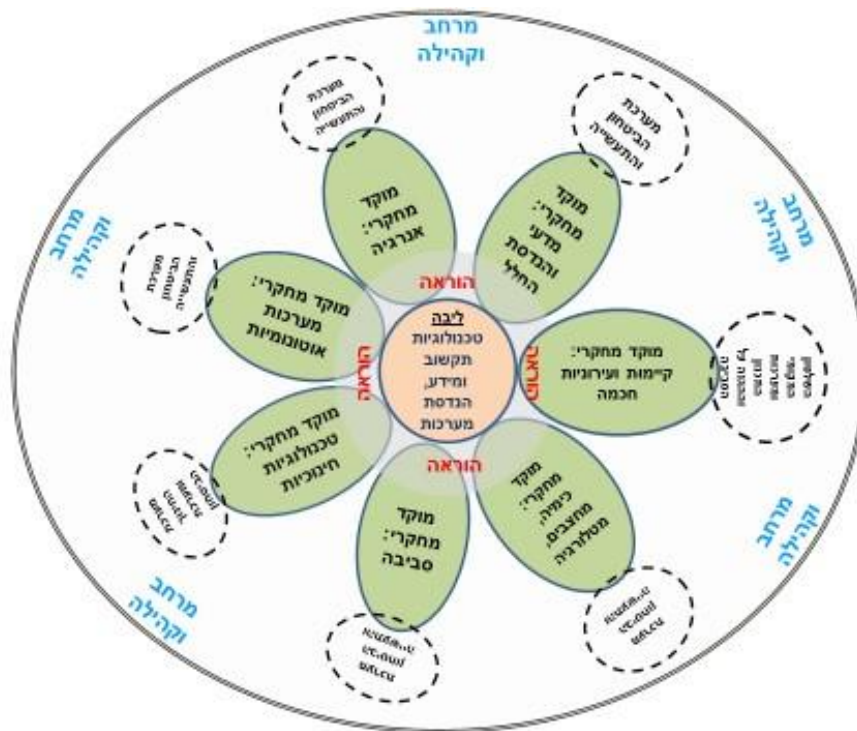
⁴⁷ הקמת מרכז אקדמי של הטכניון ברמת נגב: היתכנות והשפעות אזוריות, א.בנטור, ד.גץ, א.ישראל, ד.צ'מנסקי, ע.רנד, ת.דיין, דו"ח לחטיבה להתיישבות בהסתדרות הציונית העולמית, מוסד שמואל נאמן, הטכניון, מכון טכנולוגי לישראל, דצמבר 2014

אלו אפשרו להן להחדיר תרבות מחקרית חדשה וקשרי גומלין עם התעשייה והקהילה, כפי שנדרש לאור אתגרי המאה ה-21 (ראה למשל פרקים קודמים בנספח זה למכון BROAD ולמעבדת MEDIA LAB). עקרונות מסוג זה היו בבסיסו של המכון שהקים הטכניון בשיתוף עם אוניברסיטת קורנל בניו-יורק, מכון טכניון-קורנל לחדשנות (Technion-Cornell Innovation Institute).

המודל המוצע מעמיד במרכז עשייתו המדעית את המחקר הטכנולוגי בתחומי טכנולוגיות מחשוב ומידע (ICT) והנדסת מערכות. תחומי הליבה המחקרית ישמשו כבסיס אשר ממנו תיגזר עשייה מדעית בינתחומיות, שתזין מוקדים (Hubs) נושאים (בשונה מדיסציפלינריים), כמתואר באיור 36. תחומי המחקר המוקדניים ישמשו מצע רעיוני ומעשי במסגרתו ירקמו שיתופי פעולה מרחביים עם התעשייה, הצבא והקהילה. בדרך זו, המודל המוצע יעלה בקנה אחד עם המטרות הלאומיות לפיתוח הנגב והפריפריה.

תחומי הפעילות המתוארים להלן מהווים דוגמה לדרך הפעולה ואינם בהכרח הכיוונים המבטיחים ביותר. כיוונים אלו יגובשו בדיונים מעמיקים שייעשו עם אנשי אקדמיה ותעשייה.

איור 36: תיאור סכמתי של דרך הפעולה של המרכז האקדמי



פרוט נוסף של תחומי המחקר בנושאי הליבה והמוקדים מוצג באיור 37 בהתבסס על סקרים ודיונים, שנערכו עם אנשי מקצוע מתחומי האקדמיה, החינוך, המערכת הביטחונית והתעשייה האזרחית.

איור 37: תחומי הפעולה המקצועית-מדעית בליבה (א) ובמוקדים (ב)

(א) תחומי ליבה

<p>הנדסת מערכות</p> <ul style="list-style-type: none"> • אמינות • ניהול סיכונים • חקר ביצועים • אופטימיזציה • סימולציה • ניהול פרויקטים 	<p>תקשוב ומידע</p> <ul style="list-style-type: none"> • רובטיקה • בינה מלאכותית • סנסורים • עיבוד תמונה • גרפיקה ממוחשבת • מערכות הפעלה וחישוב מקבילי • מערכות ניתוב ומיתוג (רשתות מחשב) • מערכות אחסון
--	--

(ב) מוקדים

<p>מערכות אוטונומיות</p> <ul style="list-style-type: none"> • כלי טיס ולוויינים בלתי מאוישים • כלי רכב יבשתיים בלתי מאוישים • מערכות ימיות ותת-ימיות בלתי מאוישות • מערכות עקיבה וניתור בלתי מאוישות 	<p>חלל</p> <ul style="list-style-type: none"> • מערכות בננו- ומיקרו-לוויינים • מחשבים ומעבדים לחלל • תקשורת לוויינים, תחנות קרקע וניטור • ניווט, אלגוריתמים של בקרה, GPS • דימות באינפרה-אדום
<p>כימיה ומחצבים</p> <ul style="list-style-type: none"> • כימיית ומוצרי ברום • תהליכי ייצור • כרייה 	<p>אנרגיה</p> <ul style="list-style-type: none"> • דלקים ידודתיים לסביבה • אנרגיה סולרית וחקר השמש • סוללות • אנרגיה גרעינית
<p>טכנולוגיות חינוכיות</p> <ul style="list-style-type: none"> • הוראה משולבת טכנולוגיה ותקשורת • למידה משולבת טכנולוגיה ותקשורת • הערכת למידה באמצעים טכנולוגיים • מיפוי ידע וחיפוש רב ממדי של פריטי מדע 	<p>סביבה בהיבט תעשייתי</p> <ul style="list-style-type: none"> • תהליכים • ניטור
	<p>קיימות עירונית</p> <ul style="list-style-type: none"> • רשתות תחבורה • רשתות אנרגיה

חינוך והוראה

הנחייה לתארים גבוהים: החוקרים במרכז ייהנו ממעמד של חברי סגל טכניון/בן גוריון (מלא או נספח עם זכויות הוראה והנחייה) ויוכלו להנחות משתלמים לתואר מגיסטר או דוקטור, תוך התבססות על התשתיות המחקריות שבמרכז ושילוב המשתלמים במחקר הממומן.

השתתפות בקורסים הנדרשים לתואר תהיה מושתתת על מספר חלופות ושילוב ביניהן: "יום בשבוע" בטכניון, הוראה מרחוק, קורסים שיינתנו על ידי סגל המרכז ובהם ישתתפו גם סטודנטים מקמפוס הטכניון בחיפה, במנגנון של הוראה סינכרונית מרחוק. הסטודנטים שישתתפו בלימודים יהיו סטודנטים לכל דבר ועניין בהשתייכות לאוניברסיטאות האם (טכניון/בן גוריון). דהיינו תנאי הקבלה, הבחינות ואישורי מנחים והתואר יהיו חלק מן המנגנונים האוניברסיטאיים הרגילים.

תכניות חינוך והעשרה לבני נוער באזור: תשתיות המחקר וההוראה במרכז, הן אלה האנושיות והן אלה הפיזיות, יוכלו לסייע בכינונם של מפעלי חינוך והעשרה המיועדים לבני נוער המתגוררים באזור. היוזמים יוכלו להיות משרד החינוך ו/או מחלקת החינוך של הרשות המקומית. יתרה מכך, הקמתה של בית ספר תיכון/פנימייה הסמוכה לקמפוס המרכז תגביר את הסינרגיה בינו לבין הסביבה. הקמה של מיזם חינוכי כזה יוכל אף לסייע במשיכתו של כוח הוראה מן המעלה הראשונה (ברמה של בעלי תואר מסטר ודוקטור), שיועסק גם באופן חלקי במחקר הנעשה במרכז האקדמי.

נספח ג' – פרופילים של מהנדסים

במסגרת קבוצות חשיבה וסיעור מוחות לגיבוש "חינוך מהנדסים – 2030" אשר התקיימו באוניברסיטת דלפט בהולנד, גובשו רעיונות לפרופילים שונים של מהנדסים. תיאור של פרופילים אלה מוצג להלן כציטוט ממאמר של קלאמפ וקלאסן מאוניברסיטת דלפט⁴⁸.

The Think Tank ideation about future worlds yielded four profiles: the Specialist, the System Integrator, the Front-end Innovator and the Contextual Engineer. They partly overlap the professional engineering career tracks that are implicitly identified in Figure 3.6 of the CDIO Syllabus (Crawly, Malmqvist, 2007). A complete description is available in the Appendix or digitally available from http://issuu.com/danielleceulemans2/docs/future_proof_profiles_digital.

These types of engineers tend to play a different role in projects and work environments, as they start with a different heuristic question:

Specialist: How can we advance and optimize technology for innovations and better performance using scientific knowledge?

System Integrator: How can we bring together disciplines, products or subsystems into a functioning whole that meets the needs of the customer?

Front-end Innovator: How can we advance and apply knowledge and use technology to develop new products for the benefit of people?

Contextual Engineer: How can we exploit diversity-in-thought to advance and apply knowledge and use technology in different realms to develop products and processes for the benefit of people in different cultures and context?

Each profile cannot realize a technological solution without the other and is needed to realize integrated solutions for complex problems.

SPECIALIST - R&D for innovation in science and industry

The role of the Specialist is advancing knowledge in fundamental science, design or engineering research fields or R&D. In industries specialists support innovation and the development of complex systems, products or services with their state-of-the-art expertise.

When embarking on an academic career, most scientific staff members develop into disciplinary specialists. In the industrial environment, specialists collaborate with nonspecialists with many different disciplinary backgrounds. They need a more holistic engineering mind-set to understand the impact of the interfacing levels and innovate at the fringes of their specialism. Also for a specialist, engineering is not only about mastering a fixed and known body of deep knowledge, but is about the integration of that knowledge into system and product development. The future viable profile for the specialist is therefore oriented towards a specialist with a broader orientation, a T-shaped specialist in a certain branch of engineering. The prime idea is that specialists are educated within the disciplinary department or faculty, while a broadening of their skills can be trained and practiced in multidisciplinary

⁴⁸ Kamp, A., & Klaassen, R. (2016). Impact of global forces and empowering situations on engineering education in 2030. In The 12th International CDIO Conference (p. 1110).

projects such as the Big Data or Scarcity-of-Resources type of Hubs at interfaculty level that will be discussed later.

SYSTEM INTEGRATOR – Connector

System Integrators are system oriented. They have a helicopter view of a wide scope of technological fields and work from the system level back to components. They collaborate in a team of T-shaped specialists, engineers and managers and are therefore socially skilled and aware of ethical aspects in engineering. To design systems or processes that can perform as components of large-scale complex enterprises, future System Integrators must have learnt to look beyond the technical system, and consider the characteristic of the enterprise in which the system will operate and the context in which the system is developed.

System Integrators will transform from the architect who guides engineering projects for clients from concept toward strategic goals, to a leader who is capable of balancing his technological skills with the demands of restricted budgets, regulatory frameworks, collaboration complexity, public safety impact and public understanding. The major idea is that T-shaped System Integrators are educated within the disciplinary department or faculty, and that their disciplinary broadening and development of interdisciplinary and interpersonal skills will take place in multidisciplinary projects that will be produced in interfaculty Hubs.

FRONT-END INNOVATOR

Front-end Innovators are entrepreneurial design engineers with a broad education in engineering and socio-economic factors. They are customer oriented and focus on trends in engineering and the world. They have learnt to work in horizontal flat organizations and work in small teams of T-shaped Specialists, System Integrators, design engineers, business managers, customers and end-users. They are capable solving complex adaptive problems and feel comfortable to follow agile methodologies with cross-functional team work, rapid iterations, rapid prototyping, continuous user involvement.

Students who enroll in this profile are independent participants with an entrepreneurial attitude. They have a good understanding of the engineering context and an awareness of the user and client environment. They have good social and empathetic listening skills to talk with a wide variety of people, including specialists and customers or end-users. They have to be creative enough to translate market needs to technological innovation. Their education emphasizes the engineering domain, and addresses the interdisciplinary context that will be available in the interfaculty Hubs. The innovation and business component may be inserted into the Hubs by involving students in humanities or social sciences.

CONTEXTUAL ENGINEER

The National Academy of Engineering (NAE) envisions the workplace of the near future as one of dynamic technological change that requires engineers to understand complex societal, cultural, global, and professional contexts. Multinational companies and their development teams make use of the diversity in cultures and socio-economic environments for the benefit of technological innovation, product design and engineering business. Teams of different cultures, with different perceptions of ethical responsibility and risk, collaborate for customer-centered innovations.

By 2030 multinationals from emerging countries might own enterprises with a Western origin, and vice versa. The investors, president and leaders import their beliefs, norms and values and habits into the enterprise culture and expect their employees not only to respect but also behave accordingly and exploit the differences in cultures and socio-economic environments for the benefit of technological innovation, product design and business. Strong intercultural communication and collaboration skills and attitudes will be necessary to be successful in these enterprises. Employees have to be open-minded to learn how to operate in such different realms, not only technical but also cultural. This is where the Contextual Engineer profile comes in. These engineers require much more contextual knowledge to work effectively with other cultures and get things done and influence strategic decisions.

Contextual Engineers are technically adept and understand the contextual constraints and consequences from discipline, policy, judicial and ethical perspective. They are a leader in realizing technological innovations in political contexts. They have a helicopter view, are open minded, work in interdisciplinary settings, are agile and patient but are always focused on results. They understand how differences in disciplinary backgrounds, cultures and socioeconomic environments can be an enrichment.

נספח ד' - סיכום ראיונות בנושא דמות המהנדס במאה ה-21

סיכום ותמצית: ד"ר אביגדור זוננשיין

ראיון עם מ.א. על דמות המהנדס במאה ה-21 (26.9.17)

המרוויין היה נשיא חברת טכנולוגית רב-לאומית גדולה, כיום יו"ר אחת האוניברסיטאות

בתחילת הריאיון מ.א. קורא תיגר האם מה שאנחנו מחפשים עבור התעשייה והסטרטאפים הם מהנדסים, או אנחנו מחפשים אנשים בעלי יכולות מגוונות כולל הנדסיות, לאו דווקא עם תואר מהנדס.

הכישורים של הדור הצעיר כיום אינם פחות טובים מהדור הוותיק. הדור הצעיר שונה מהדור הוותיק בערכים, בחשיבות העבודה, בתרבות העבודה, באתיקה ובנאמנות למקום העבודה. בעבר אם מישהו החליף הרבה מקומות עבודה, שאלו אותו מה קורה אתו. בעתיד צפוי שאם מישהו נשאר באתו מקום עבודה זמן רב, ישאלו אותו מה לא בסדר אתו. כיוון שלאחר כמה שנים במקום עבודה אחד הוא ימצא את עצמו.

לכן האתגר הוא להכין מהנדס הרבה יותר וורסטילי. חלק מהנושאים הנלמדים היום יהיו לא רלוונטיים בעתיד. לעומת זאת הוא יצטרך להתמודד עם נושאים ואתגרים שלא נלמדים היום, וייתכן ואני לא יודע להגדיר אותם היום.

העולם משתנה אקספוננציאלית, הסביבה משתנה במהירות וזה משוקף לכל תחומי החיים, כולל שוק העבודה.

הדרישות מהמהנדס במאה ה-21 תהיינה ברובן שונות מאלו מהמהנדס במאה ה-20. נקודת המוצא צריכה להיות שאנחנו לא עושים כיום מספיק בהכשרת מהנדסים. צריך ללמד בצורה לגמרי שונה. צריך ללמד בעיקר כיצד ללמוד.

בוגרי מכללות הם פחות טובים בדרך כלל מבוגרי אוניברסיטאות, לא בגלל המכללות, אלא בגלל קריטריוני הקבלה. אם היינו מחליפים את "חומר הגלם" התוצאה כנראה הייתה שונה.

ביום הראשון בוגרי הנדסה לא מוכנים לעבודה. אבל לאחר חניכה לא ארוכה בתעשייה הם יודעים לעשות את העבודה.

העסקת סטודנטים היא כלי מעולה. באינטל עובדים כ-20% סטודנטים מסך העובדים בהנדסה. הם כוח עבודה לא יקר, ויודע לעשות עבודות/משימות להן 2 שנות לימוד בטכניון מספיקות. בדרך כלל יש מהם הרבה תפוקה. בדרך זו גם מכשירים אותם לעבודה בתעשייה. בדרך זו יש חשיפה למצטיינים. הסטודנטים גם מכירים את מקום העבודה. הכרות הדדית. למי שטוב ומצטיין אפשר להציע כבר מקום עבודה בשנה השלישית. במקרה כזה המפעל מקבל אותו לעבודה כבר עם מספר שנות וותק. כמובן, שלסטודנט זהו מקור הכנסה טוב בזמן הלימודים, מקור לרכישת מיומנויות, מאפשר להכיר את התעשייה ומקום העבודה הספציפי. צריך לשחרר את הסטודנטים מהעבודה בזמן הבחינות. בקיצור זהו מצב WIN WIN. זהו מסלול גיוס מצוין של מצטיינים.

כישורים רכים - צריך להקנות במינון מתאים. בעיקר הבעה בכתב ובע"פ. עבודת צוות ילמד דרך התנסות.

רב דיסציפלינריות - קודם כל התמחות בתחום הדיסציפלינארי. כמובן הנושא הרב תחומי הוא חשוב מאין כמוהו אבל לא על חשבון הידע התחומי. כנראה נכון ללמד כל מהנדס גם נושאים משלימים. מהנדס תוכנה ללמד גם על חומרה, ולהיפך. ישנם מקצועות רב תחומיים כמו ביו-אינפורמטיקה, ביו-רפואה ואז הלימודים צריכים להיות מערכתיים.

נושאי יצור נכון שהתעשייה ומקומות העבודה ילמדו תחומים אלו.

התעשייה יכולה להשתתף בחניכה. אפשר לעשות פרויקטים קצרים בתעשייה. מי יממן? צריך להיות ברור איך עושים זאת אפקטיבית.

לימודי המשך - חשובים ובגדול. כיוון שכנראה נדרשות קריירה שנייה ושלישית, נדרשים קורסים כדי לשמור על המהנדסים מעודכנים למה שקורה בטכנולוגיה ובמדע.

לדעתי בגיל 40 נכון להגיע ללימודי המשך. אין לי דעה בעד ונגד לימודי המשך או לימודי תואר. אני כנראה בעד לימודי המשך.

תואר 5 שנתי - לא ולא. לא צריך לעכב כניסה לעולם העבודה. יש לזה משמעות כלכלית עצומה לכלכלה ולאנשים עצמם. מי שרוצה להתמקצע יחזור ללימודי תארים גבוהים.

שינויים בתכנית הלימודים - צריך לגבש מחדש מה דרוש ומה לא דרוש בעקבות השינויים בסביבה. צריך שינוי גדול בשיטות ההכשרה והלימוד - יותר MOOC ופחות הוראה פרונטאלית. כדאי לאתגר את השיטה הקיימת. לעשות תרגיל נחיתה מכוכב אחר ולהתחיל הכל מ- SCRACH. רעיון נוסף, לקדם מרצים לא רק על יכולות מחקריות אלא גם על יכולות הקניית ידע וגידול דור העתיד.

מהפיכה תעשייתית רביעית - בהחלט! נושא חובה דטה אנליטיקס. לימוד כלים בתחומי בינה מלאכותית, למידת מכונה, למידה עמוקה. לימוד השימוש בכלים כאלו לכולם. פיתוח כלים רק כהתמחות.

דגש על ללמוד איך ללמוד. כלים ללמוד לבד. לימוד כלים לעיבוד מידע ונתונים. ללמוד איך להתבטא בע"פ (DEBATE) ובכתב.

עידוד בנות - אין נטיות ויכולות שונות לבנות ובנים. זו טעות נוראית של החינוך בבתיים ובבתי הספר. צריך לעשות קמפיין הסברה לאומי שיובל על ידי משרד החינוך. ללמד את הבנות בדרכים שהן אוהבות ללמוד.

מיעוטים - השינוי כבר קורה. גם כאן צריך להשקיע בחינוך בחברה הערבית ובמשפחות. כמובן, צריך גם לפתוח יותר מקומות תעסוקה בתעשייה.

ראיון עם א.ב.מ. על דמות המהנדס במאה ה-21 (7.9.17)

המרואיין הוא מנהל פרויקטים ומהנדס מערכות בתעשייה טכנולוגית

חוזקות וחולשות של מהנדסים צעירים: חוזקות - מביאים נקודות מבט חדשות, פורצי מוסכמות, לא כבולים לדוגמות, מעמידים בפניך (המהנדס הוותיק) מציאות יותר פשוטה, כלומר המהנדסים הצעירים מפשטים את המציאות, הם מסתכלים על המציאות יותר אופטימית. הוותיקים כנראה מסבכים את המציאות והפתרונות עקב המשקל העבר העודף שהם סוחבים עליהם. חולשות - ידע הנדסי חסר ואפילו קלוש, חסרים ידע בסיסי וכלים הנדסיים לצרכי פיתוח. ידע טכני בסיסי חסר. בטחון עצמי מופרז. הם בטוחים בפתרונות שהם נותנים, ורואים את המוקשים.

בוגרי אוניברסיטאות לעומת בוגרי מכללות: בוגרי מכללות הם יותר HANDS ON. קלטתי כמה מהנדסים מבראודה, HIT ותלתן. הם עם ידע אקדמי אבל מסוגלים לעשות עבודות ביום הראשון. רוב בוגרי הטכניון אינם מוכנים לעבודה ביום הראשון. בוגרי HIT הם בעלי ידע מדהים בתחומי עיצוב ופלטטיקה. בוגרי טכניון לא יודעים לתכנן תבנית לפלטטיקה. מניסיוני רק בוגרי ב"ג מוכנים לעבודה ביום הראשון יותר מבוגרי טכניון.

הכשרת מהנדסים צעירים: פערים עיקריים הם בתכנון העבודה ותכן מוצרים. הפתרונות האפשריים: חממה, OJT, חונכים, הדרכות פנימיות. נכון ללמד גם את כלי הארגון, נהלי הארגון ועוד.

העסקת סטודנטים: עסקה משתלמת לשני הצדדים. תורמת להכשרתם כמהנדס. תורמת להם ללימודים כי הם מבינים יותר טוב את היישומים של מה שהם לומדים. תרומה להבנתם מה זה מהנדס ומה תפקידיו. מנווטת אותם לתחומים שהם יותר אוהבים ונמשכים, ומנווטת אותם לתחומי ההתמחות

המועדפים עליהם בעקבות התנסות בעולם האמתי. זהו גם מסלול מצוין לגיוס, המצטיינים נקלטים. לא כולם נשארים להרבה שנים.

כישורים רכים: שאלה רחבה. ללמד כישורים רכים אבל לא על חשבון התחומים הטכניים. למפעלים ולחברות נחוצים מהנדסים עם כישורים רכים, אבל נראה שהפתרון הוא לא בהכשרה אלא בתכונות האישיות הבסיסיות איתם בא המהנדס הצעיר.

לימודים דיסציפלינריים או רב דיסציפלינריים: נראה למשל שהתואר של מהנדס מכונות פשט את הרגל. ההכשרה היא בתחומים כמו ביוטכנולוגיה, בקרה. ושם הלימודים הם יותר רוחביים. כלומר ההכשרה היא בתחום ספציפי יותר ובו ההכשרה היא רוחבית.

הכשרה בתיאוריות ופחות בתחומי תכן ויצור: ההיגד הזה הוא נכון. אבל הלימוד התיאורטי הוא הבסיס ללמידה. אין ברירה. לא מלמדים את הקשר בין התיאוריות למציאות ולמשמעותן בחיים האמתיים. למדתי שיטות אנליטיות בהנדסת מכונות, אבל לא לימדו אותנו איך זה ישים בפועל בתכן מערכות ומוצרים.

תפקיד התעשייה בהכשרה: התעשייה צריכה להשתתף בהכשרה, זה מנוף יותר גדול ומשמעותי לחברות קטנות. העסקת סטודנטים בחברות קטנות ובינוניות יכולה להיות עם ערך מוסף לשני הצדדים.

בתי הספר להנדסה מציעים לימודי המשך, אבל לרוב המהנדסים אין זמן ללמוד. לכן מסלולי תואר שני פורמליים עם התחייבות המפעל הם עדיפים. נראה לי שקורסי קורסורה ללימוד עצמי הם יותר מושכים וכדאי יותר לנצלם.

תכנית לימודים ישירה 5 שנתית לתואר שני: הרעיון בסדר. אבל חייבים לגוון את התחומים כדי שהמהנדס יצא רב גווני ולא חג גווני. צריך להוסיף גוון בעולמות תוכן שונים, להכשיר בנושא הגנת סייבר, להכשיר בתחומי תקשורת, בתחומי ניתוח דטה ועוד.

הכשרה בתחומי יצור מתקדם: בהחלט כן. המהנדסים צריכים להכיר את העולם המתקדם והמגוון. הייתי מוסיף להכשרות גם היבטי הנדסת אנוש שכל כך חסרות בתכן מוצרים ומערכות. המהנדסים צריכים להכיר את מחזור החיים של המוצרים והמערכות בתקופה המודרנית.

נושאים נוספים חיוניים למהנדסים: ניהול פרויקטים, היבטי כלכלה וכספים, הערכת עלויות.

בנות: אני מעריך שהסיטואציה היום היא תוצאה של נטיות לב בקרב ציבור הבנות. אלו שיש להן נטיית לב להנדסה גם יכולות להצליח בהנדסה.

מיעוטים: אני מעריך שזה עניין תרבותי שמתחיל מהבית ומגיל 0. כאשר במשפחות יש תרבות תומכת בלימודי הנדסה, אז יש יותר הצלחות. למוסדות האקדמיים אין תרומה לעניין זה.

ראיון עם ר.ק. על דמות המהנדס במאה ה-21 (4.9.17)

המראיון יזם, הקים וניהל מספר חברות טכנולוגיות מתקדמות

בכל החברות שהקמתי או הייתי בצוות ההנהלה נהגתי לקיים ראיונות לעומק למועמדים לתפקידי הנדסה בחברות. בראיונות אלו ניסיתי לאתר תכונות אישיות של מנהיגות במקביל ליכולות ההנדסיות הספציפיות. ניסיתי למצוא מבין המועמדים את אלו שיוכלו לתפוש תפקידי מנהיגות ומובילות. ניסיתי לבחון גם את היכולת של המועמדים לפתור בעיות על ידי ניתוח לעומק. חיפשנו מועמדים עם בגרות אישית, ועם חשיבה בגדול. בדיעבד, הרבה מהמהנדסים שעזרתי בקליטתם הגיעו לתפקידי הובלה ואף להיות מנכ"לים. ניסיון גם לסנן מועמדים על פי קורות החיים, אבל כיום המועמדים נעזרים במומחים לכתובת קורות החיים, ואז זה פחות אובייקטיבי.

בסך הכל ההכשרה המקצועית שהטכניון נותן היא טובה. הפערים הם בצדדים המשלימים את המקצוענות ההנדסית, כמו: ניהול פרויקטים ותכניות לפי יעדים ולו"ז, בניית תקציב ועבודה לפיו, מהות

הפטנט ואיך מגישים אותו, החזר על השקעה ROI, יכולת הצגת נושא באמצעות פרזנטציה דורשת שיפור ניכר (כמו ה SHOW & TELL בארה"ב), יכולת מיקוד ברעיון אותו רוצים להעביר.

בתשובה לשאלה על ההבדלים של ההכשרה במכללות: חלק מהסטודנטים הולכים למכללות כי הם לא רוצים להתאמץ ומחפשים יותר חברותא בלימודים. חלק מהמכללות התקדמו יפה, כמו בראודה ואפקה. בצדדים היישומיים הם אפילו יותר טובים מהטכניון, לדעת ר.ק. צריכים גם בתי ספר להנדסה כמו הטכניון וגם מכללות טובות כמו בראודה ואפקה. נכון היה למצוא דרכים לשילוב כוחות בין האוניברסיטאות והמכללות.

יש לנו תחרות גדולה מהעולם גם בהיבטי חברות וגם בהיבטי כוח אדם. אנחנו יכולים להיות יותר חזקים בראיית התמונה הגדולה והכוללת. לשם כך נדרשות יכולות מערכתיות ויכולות רכות של חשיבה מערכתית.

ר.ק. העלה את הצורך בפיתוח חברות גדולות כמו טבע, פלסן, רפאל ועוד. לדעתו המענה לצורך זה קשור גם ליכולות המובילות של המהנדסים בפיתוח מוצרים ומערכות חדשות ופורצות דרך.

בתשובה לשאלה על קליטת והכשרת סטודנטים בזמן הלימודים: תהליך מבורך שהוא עודד אותם בחברות שלו. מאתרים סטודנטים מצטיינים בזמן הלימודים, מכשירים אותם בעבודה, מכירים אותם והם מכירים את תהליכי העבודה בחברה, ואז קולטים אותם לעבודה. תהליך מצוין ונכון לעודד אותם. התעשייה בהחלט יכולה להיות שותפה להכשרת הסטודנטים להנדסה. ר.ק. ציין שגם עודד חילופי סטודנטים עם חברות בחו"ל כחלק מההכשרה לעולם הגדול והגלובלי.

חשוב לכלול בתכניות הלימודים נושאים חדשניים כמו ננוטכנולוגיה, אופטיקה, רובוטיקה, אינטרנט של הדברים ועוד. אבל ר.ק. הדגיש את הצורך לחשוף לתחומים חדשניים אלו דווקא את תלמידי ותלמידות התיכון. לחשוף אותם בפגישות עם מובילים מהתעשייה והאקדמיה, המסגרות בית-ספריות ובכנסים. המטרה היא לגרות את התלמידים המצטיינים ללכת ללמוד הנדסה. ר.ק. ציין התנסות מצוינת עם דר' רון בלונדר ממכון וייצמן לחשיפת תלמידים לנושאים מדעיים מתקדמים.

חשוב שבתי הספר להנדסה יכשירו מהנדסים שיכולים לפתח מערכות. מהנדסים למכונות בלבד או אלקטרוניקה בלבד לא מספיק. צריך לתת יכולות מגוונות לפי סוג התעשייה. למשל עבור מפעל כמו KLA צריך ידע משולב באופטיקה, מכניקה, אלקטרוניקה, פיזיקה ויצור מתקדם. לפי גישה זו, בשנים א' ו' ב' נכון ללמד מקצועות יסוד, ובשנים ג' ו' ד' ללמד יכולות הנדסיות מגוונות תוך הסתכלות על צרכי תעשיות ספציפיות.

יש חשיבות גדולה מאד לפרויקט גמר בתעשייה ועם שותף תעשייתי. בפרויקט זה צריך לשלב גם היבטי עלויות, מעבר מפיתוח ליצור, ייצוריות.

הרעיון להגדיל את משך הלימודים ל-5 שנים כדי לאפשר לימודי תואר ראשון ושני במסלול משולב הוא מצוין. אחר כך הסטודנטים נקלעים לאילוצי גידול משפחה, ילדים וכיו"ב ואינם מתפנים ללימודי תואר שני שהם חיוניים לפיתוח יכולות מקצועיות מתקדמות.

בנושא עידוד בנות ללימודי הנדסה, צריך להתחיל בבתי הספר לחשוף את הבנות לאתגרי התעשייה וההנדסה. רפי הציג למאות תלמידות את נפלאות התעשייה וההנדסה. לדעתו הן יותר חדות מהבנים. לדעתו כאשר הן מבינות מה זו תעשייה והנדסה הן מתלהבות ובחרות ללמוד את זה.

בנושא עידוד מיעוטים. דעתו של ר.ק. נחרצת שנכון לסייע רק מי שתורם את חלקו למדינה-צבא, שירות לאומי ועוד. חלקם של המהנדסים מהמיעוטים הם מוכשרים והם צריכים לפלס את דרכם בתעשייה ובעולם העבודה.

סיכום של המראיין:

- חסיד ההכונה מהתיכון. לסקרן את התלמידים והתלמידות בתיכון.
- מסלול משולב ראשון שני-חשוב וחיוני
- שילוב תכנים לאו דווקא על פי פקולטות ספציפיות אלא על פי צרכים תעשייתיים. כדאי לעשות ניתוח תכנים תעשייתיים.

- חינוי לשלב נושאים חדשניים כמו ננוטכנולוגיה, עיבוד מתקדם .
- שדרוג תעשייה מסורתית תקרה דרך מהנדסים מצטיינים שיתגייסו למשימה.
- מהנדסים צריכים לחשוב בגדול, מערכתית, לשלב תחומים, אבל גם להיות טובים בפרטים.

ראיון עם דר' ד.ב. על דמות המהנדס במאה ה-21 (7.9.17)

המרוויין הוא בעל ומנהל חברה וותיקה לייעוץ הנדסי

קלטתי מהנדסים צעירים יותר מפעם אחת מהטכניון, מאוניברסיטת בן גוריון, מאוניברסיטת בר אילן (בתחומי לוגיסטיקה) וממכללות. יש לציין שבוגרי לוגיסטיקה מבר אילן יכולים להשתלב כמהנדסים בתחומי תחזוקה ולוגיסטיקה. בתחילת הדרך אין להם יכולות לעשות עבודה הנדסית עצמאית, אני עבדתי איתם בצמוד והנחיתי אותם, ואחרי כחצי שנה אפשר היה לסמוך עליהם. תנאי קדם הוא ראש פתוח. מדובר על בוגרי תואר ראשון. בוגרי תואר שני קלטתי רק מהנדסים וותיקים.

בקליטה בחנתי בעיקר ציונים והתרשמות בראיון אישי. חיפשתי ראש פתוח. לא שלחתי למבחנים.

מניסיוני, המהנדסים הצעירים מבן גוריון הם יותר פתוחים. הם גם יותר טובים בתקשורת בין אישית.

נושא המכללות: יש הבדלים גדולים בין המכללות. אסור להכליל. מכללות חזקות כמו בראודה, בינתחומי ואפקה מוציאות מהנדסים טובים. סטודנטים מבראודה העושים סטאז' בתעשייה מתגלים כטובים מאד, גם ביחס לסטודנטים מהטכניון, בעיקר בגלל היכולות היישומיות.

לכישורים הרכים יש חשיבות מכרעת. במיוחד היכן שצריך לעבוד עם אחרים, עם לקוחות, עם חברות ובמסגרת פרויקטים משותפים. מהנדס תעשייה וניהול חייב כישורים רכים. יש חשיבות גדולה שהמהנדסים יהיו עם אמפתיה לאחרים וללקוחות.

רב דיסציפלינריות: רוב העבודות ההנדסיות הן רב תחומיות, לכן חשובה ההכשרה הרב תחומית. כיום כל מהנדס חשוב שידע על נושאי סביבה, מחשוב, מערכות מידע ותקשורת. נכון שההכשרה בנושאים אלו תהיה על ידי לימוד עצמי. צריך להכין את המהנדסים ללימוד עצמי. ברוב הנושאים הרב תחומיים חשובה בעיקר ההבנה והשפה.

הכשרת סטודנטים בעבודה: היו לו ניסיונות מוצלחים וגם לא מוצלחים. בניסיונות המוצלחים הסטודנטים למדו היבטים מעשיים, תרמו בפועל לעבודה, וחלקם אף נקלט בחברה עם סיום עבודתם. זה דורש הרבה השקעה והנחיה, אבל כאשר ההתנסות חיובית - זה משתלם לשני הצדדים. בניסיונות הלא מוצלחים ההשקעה הייתה לריק לשני הצדדים.

לימודי המשך: מעדיף לימודי תואר שני באקדמיה. לא בעד לימודי קורסים הנדסיים בלימודי חוץ. זה לא מספיק רציני, והדרישות לא מספיק גבוהות. זו חלטורה. השתלמויות בתחומי הניהול אפשריות בלימוד חוץ.

מסלול 5 שנתי: מבורך מאד. יש למיין היטב את המועמדים למסלול זה. לחזקים ולמתאימים אין חיסרון לא להם ולא למוסד האקדמי. אי שבירת הרצף היא מבורכת. יש לד.ב. דוגמאות מוצלחות במשפחה של לומדים ישירות לתואר שני.

בנות להנדסה: הסגנית שלי היא מהנדסת. בנות יכולות ללמוד הכל ולעבוד בהכל. כיום יש יותר סטודנטיות להנדסה, וגם יותר עובדות מהנדסות. זהו תהליך מבורך.

מיעוטים: התייחס בעיקר לערבים. מלמד בכיתות במכללה למנהל יש לפחות 50% מיעוטים. יש פערים גדולים ברקע שמהם הם באים. צריך לחזק אצלם את נושאי יצירתיות ויזמות. רוצה לראות אצלם יותר יציאה מהמסגרת. המוסדות נכון שייקחו את זה בחשבון ושקיעו בהכשרה של יציאה מהקופסה. אנחנו צריכים מהנדסים פתוחים, יצירתיים, חדשניים ויזמים. זה במיוחד נכון לסטודנטים מהמיעוטים כנראה עקב הרקע החסר שלהם.

יצור מתקדם: חשוב שכל המהנדסים יחשפו לתחומי יצור מתקדם- אינטרנט של הדברים, ננוטכנולוגיה, תלת-ממד, דטה אנליטיקס. נושא חשוב לעתיד ההנדסה והמהנדסים.

ראיון עם ר.ג. על דמות המהנדס במאה ה-21 (7.9.17)

המראיון ניהל והוביל מספר חברות טכנולוגיות מתקדמות

בתחילת הראיון ר.ג. מפנה את תשומה הלב למאמר ומצגת מינואר 2013 של פרופ' ג'ים פלמר ראש בית הספר להנדסה. הערה: אנחנו השתמשנו במאמר זה בעבודתנו.

תפישת העולם של הצעירים כיום היא לא נאמנות למקום העבודה אלא נאמנות לאני של עצמם. לכן הם מדלגים בין מקומות העבודה, כאשר הם במרכז. כיום הצעירים הם יותר דעתניים, יש להם השקפות משלהם, והם חלוקים על דעתם של מנוסים מהם. אנחנו "עשינו מה שאמרו לנו לעשות".

בדור הנוכחי, יש באופן טבעי מיומנויות בתחום המחשוב שמשרתות גם המהנדסים הצעירים וגם את הכשרתם כמהנדסים. אפשר להתבסס על זה ולנצל זאת.

רמת המהנדס מותנית במורים שלו ולא דווקא במוסד המלמד. חשוב אצל מי עשית פרויקטים ומי הנחה אותך.

רוב הסטודנטים עובדים יומיים בשבוע בתעשייה, ויש להם מזה התנסות מעשית וזה חלק מהכשרתם הלא פורמאלית. הטכניון לא מעודד את זה. יש פרופסורים שחושבים שזה אסון. הסטודנטים צריכים להשקיע בלימודים ולא לעבוד בזמן הלימודים. ר.ג. חושב אחרת.

גם התעשייה רואה בעבודת סטודנטים הכשרה מעשית של המהנדס העתידי. למשל באינטל עובדים כ- 700 סטודנטים, חלקם המצטיינים יקלטו באינטל עם הכשרה מעשית. אם טוב להם הם יישארו.

מיומנויות רכות: יש מיומנויות רכות החשובות לכולם, כמו עבודת צוות. כישורי מנהיגות נכון שיהיו רק לחלק מהמהנדסים. כישורי יצירתיות חשובים למהנדסים בפיתוח, ופחות חשובים למהנדסים ביצור.

הכשרה רב דיסציפלינרית: יש להבדיל בין מומחיות להבנה כללית. המומחיות צריכה להיות בדיסציפלינה שלך, ביתר נכון שתהיה לך ההבנה והשפה. הצוותים צריכים להיות רב דיסציפלינריים. יש תחומים רב דיסציפלינאריים כמו ביו-רפואה - אז ההכשרה צריכה להיות רב דיסציפלינארית.

כיום עקב הקישוריות הגבוהה, המחשוב והתקשורת, מערכות מידע גדולות BIG DATA ועוד צריכים הבנה רב דיסציפלינרית.

היום חשוב גם תכנון הממשק למשתמש. לכן המהנדס צריך לדבר יותר עם הלקוחות והמשתמשים. בצידוד רפואי לדבר עם רופאים ואחיות כדי שהצידוד המפותח יתאים לשימוש ולסביבת השימוש והתפעול. חינוך המהנדס למרכזיות המשתמש הוא חיוני.

ההבדל העקרוני בין אוניברסיטאות למכללות הם בתנאי הקבלה. בהגדרה מי שמתקבל לטכניון יש ציונים יותר טובים. הטכניון אינו מתפשר על לימודי התיאוריה ומקצועות היסוד. במכללות הלימודים יותר פרגמטיים ומעשיים. המכללות חלקן להכשרה למקצועות מעשיים כמו תכנתים/מהנדסי תוכנה.

לימוד המשך: רצוי לגבש עם התעשייה את הצרכים. נכון גם להציע הכשרות רכות יותר: הכשרת מנהלים, שווק, אסטרטגיה.

לימודים 5 שנתיים לתואר שני: תלוי במקצוע - לא נחוץ בחשמל ומדעי המחשב. כן חשוב בביוטכנולוגיה וארכיטקטורה. תלוי כמה שנים צריך ללמוד כדי להיות אפקטיבי ואטרקטיבי בעולם העבודה. מזכיר את הדוגמא של פסיכולוגיה בה נדרש תואר שני בשוק העבודה.

בנות: רואים שיפור מהותי בהיקף, שליש מהסטודנטים הן סטודנטיות כל מי שמוכשרת מתקבלת ומצליחה. עדיין יש רתיעה של חלק מציבור הבנות ממקצוע המהנדס. לכן יש ארגונים כמו " המובילות לטכניון" בראשות אסיה לויטה שמעודדות בנות להנדסה. לצערנו, בקרב הסגל האקדמי אין מספיק נשים.

מיעוטים: כיום יש 24% סטודנטים ערבים. שינוי מהותי לכ- 2000 סטודנטים ערבים. פחות במרצים (חוסאם חאייק-חריג). יש מגבלות ביטחוניות בשוק העבודה. הניסיון של אינטל בהעסקת ערבים הוא מצוין. מצוין את שמו של ג'וני סרוג'י שהגיעה לעמדה בכירה באינטל העולמית.

מבחינת חרדים המצב הוא לא טוב. עשרות בודדות. יש חרדיות בתחומי התוכנה. מעטים הולכים לקריירה הנדסית.

נושאי יצור מתקדם וכל הכרוך המהפכה התעשייתית הרביעית - נכון שכל הסטודנטים יחשפו לזה. למשל במחשבים יש שימוש רב במעבד ארדואינו לטכנולוגיות של אינטרנט של הדברים. לומדים את זה ועושים פרויקטים.

לסיכום: הדור לא הולך ופוחת. הצעירים מאד מוכשרים. הם נולדו עם הסמרטפון ביד. חלקם נוטים להצטרף למיזמים חברתיים.

ראיון עם צ.ג על דמות המהנדס במאה ה-21 (25.10.17)

המרוויח הוא ראש חטיבת פיתוח מערכות מורכבות.

חזקות של מהנדסים צעירים: חכמים, אמביציוזיים, לא מעט ידע טכנולוגי, בעלי רצון עז להצליח.

חולשות של מהנדסים צעירים: אין סבלנות, רוצים להצליח מהר, לא מוכנים להתפשר על תנאי עבודה בינוניים- מעוניינים בתנאים מודרניים, צורכים ריגושים בקצב גדול. "כיוון שדירה עולה 2 מיליון שקל - לא תקנה אותם בשטויות".

בוגרי מכללות לעומת בוגרי אוניברסיטאות: המצטיינים של המכללות אפשר להשוות "לבסדר" של האוניברסיטאות. רמת ההוראה והמעבדות באוניברסיטאות יותר טובה מאשר במכללות. מהטכניון מגיעים אנשים חושבים. מהמכללות מגיעים "מהנדסים מינוס" או "טכנאים פלוס". לא מרגיש שהמכללות מכשירות יותר טוב לפרקטיות. כנראה הפרקטיות מגיעה מהבית ולא מהלימודים.

המהנדסים הצעירים כאשר נקלטים יש להם רקע תיאורטי טוב (משוואות לגרנג'יות, אלמנטים סופיים). חסר להם רקע טכני ופרויקטלי. לכן בהתחלה נותנים להם משימות מתאימות. הם לא יודעים את תורת ניהול הפרויקטים ולכן חונכים אותם בעניין זה. יש להם חסר גדול בתורת הניסויים. הם לא יודעים מה זה ניסוי. לכן מלמדים אותם איך מתכננים ומקימים ניסוי. יש להם חסר גדול בכתיבת דוחות. לכן מתרגלים אותם בעניין זה.

מעסיקים בחטיבה כ- 70 סטודנטים להנדסה. זו הכשרה מצוינת, והכרות הדדית מעולה. זהו ערוץ גיוס וקליטה עיקרי ומוצלח.

בנושא כישורים רכים - בהחלט צריכים הכשרה בנושא, אבל מציע שהאוניברסיטאות יעשו את זה במיקור חוץ, כי פרופסורי המחקר לא מבינים בנושא וגם לא יכולים ללמד ולהעניק כישורים רכים.

כיום המושג פקולטה הוא מושג מצמצם. החומות בין הפקולטות צריכות להיות יותר נמוכות. סטודנט למכונות נכון שילמד מקצועות מאלקטרוניקה ותוכנה. ייתכן ויש מקצועות הנדסיים שנכון שכולם ילמדו יחד כדי לעודד את הרב תחומיות.

אכן האוניברסיטאות מתמקדות בתחומים התיאורטיים. למשל, כמעט ולא מלמדים מקצועות תכן, יצור, תחזוקה. יש גם מחסור במעבדות בתחומים המעשיים האלו. אולי נכון להשתמש במעבדות תכן ויצור במיקור חוץ, כמו שהקימו את המרכזים הטכנולוגיים עבור בתי ספר טכנולוגיים.

התעשייה יכולה לסייע בהנחיית פרויקטים לתואר. יש תחומים בהם יש מנחים מצוינים בתעשייה ולא באקדמיה. יש גם תחומים בהם יש מעבדות מתקדמות בתעשייה וגם התמחות בתעשייה. וזה יכול להוות בסיס להנחיה לתארים.

לא מכיר היום תכניות לימודי המשך טובים למהנדסים תכלס. יש פוטנציאל גדול לא מיושם ולא ממומש לתחומי לימודים בהמשך החיים המקצועיים. למשל: הנדסה בעידן הדפסות תלת-ממד.

שאלה 10- הייתי מוסיף סטאז'. לפחות סמסטר 9 לביצוע פרויקטים מעשיים בתעשייה.

תחומי המהפכה התעשייתית הרביעית הם חשובים ונחוצים הן עקב התכנים החיוניים לתעשייה, וגם אלו תחומים שיכולים למשוך סטודנטים מצטיינים. קצב ההתפתחויות הטכנולוגיות הוא עצום, והאוניברסיטאות חייבות להשתנות בקצב מהיר, כדי להתאים עצמן למציאות בתעשייה ובשוק העבודה.

תכנית הלימודים חייבת להתעדכן במהירות, למרות השמרנות באקדמיה. הנושאים התיאורטיים יכולים להיות תחומי ליבה, אבל סביבם ובנוסף להם חובה להוסיף תחומי תכן ויצור, טכנולוגיות מתקדמות וחדשניות, ניהול פרויקטים והנדסת מערכות.

בנושא הבנות בלימוד ההנדסה: הוא מאד מודע לנושא ומשקיע אישית בנושא (כולל בבית). לדעתו צריך להשקיע בנושא לאורך כל הדרך. בתיכון: שינוי תדמית, טיפול בבורות של החברה, שיווק וחשיפת ההנדסה והתעשייה לבנות. בצבא נכון לתת לבנות הזדמנות שווה לרכוש רקע מבצעי וטכני. בהכונה ללימודים אקדמיים טיפול בתדמית, שיווק וחשיפה. בעבודה לתת אפשרויות לגדל ילדים - משרת אם, פעוטונים, גנים. בהמשך צריך להגיע ל- 50-50 בנות בנים בהנדסה. זהו מהלך ארוך אבל שווה את המאמץ.

ראיון עם ע.ר. על דמות המהנדס במאה ה-21 (22.10.17)

המרוויאין ניהל יחידות טכנולוגיות, יזם מיזמים מערכתיים וחוקר מערכות.

הנושא נוגע לו מאד הן במה שעסק בצבא והן בתחומי הטכנולוגיה באזרחות. גם המודל שהוא מפתח לפילוסופיה של ההנדסה, מכון לפיתוח מודלים להכשרת מהנדסים וטכנאים.

בצה"ל הכין תכניות הכשרה לקצינים מהנדסים. כל אלו שהגיעו כבוגרי טכניון או אוניברסיטאות היו צריכים הכשרה נוספת לעבודה כמהנדסים, כולל הכשרה הנדסית במקצועות הספציפיים לעבודתם, כמו: נווט, קשר, מערכות אוויוניות, אמינות ותחזוקתיות. גם אישית הוא התנסה בהכשרה מקצועית בתחומי התוכן הספציפיים.

לגבי ההתמקדות בתחומים תיאורטיים (שאלה 7) - זה המצב לאשורו, וזה הפריע לו מאד אישית ועם אנשיו. תעודת המהנדס מהאקדמיה מעידה על ידע תיאורטי, וכל יתר הידע המעשי נרכש בתעשייה או בצבא. כך גם בהנדסת מערכות.

התעשייה משתתפת בפועל הכשרה של המהנדסים (שאלה 8). היה עדיף למסד סינרגיה זו על ידי סטאז' למהנדסים. ללמוד ממקצועות כמו רפואה, עורכות דין, ראיית חשבון. נכון "לגייס" את התעשייה לסייע לאקדמיה בהכשרת מהנדסים.

כמהנדס נדרש כל הזמן ללמוד טכנולוגיות חדשות, ולכן נחוצה למידת המשך (שאלה 9) המיוחד בהיבטים טכנולוגיים חדשניים ומעודכנים.

יש טעם לתואר חמש שנתי (שאלה 10), רק אם הוא מוקדש לסטאז' מעשי. בחלק מהתחומים נכון להגיע ללימודי תואר שני, רק לאחר התנסות של כמה שנים בתעשייה. דוגמא טובה בעניין זה זהו התואר השני בהנדסת מערכות.

ערן עוקב אחר תכניות לימודים באנגליה (ישלח סילבוסים לדוגמא). בחלק מהתכניות מלמדים שנתיים הנדסה כללית, ואחר כך שנתיים הנדסה ספציפית. ממליץ לעשות דבר דומה בישראל, או לשלב בין לימודי הנדסה כללית והנדסה ספציפית.

לימודים בתחומי התוכן של המהפכה התעשייתית הרביעית (שאלה 11) חיוניים וזה כנראה יקרה במילא. כמו התכנית למדעי הנתונים BIG DATA בתעשייה וניהול. לדעתו במהפכה זו גם משתנה ההנדסה הכללית. ההנדסה הכללית בעידן האינטרנט צריכה להשתנות. הצפיפות הטכנולוגית מוכרחה לשנות את ההנדסה, את הפילוסופיה ההנדסית והטכנולוגית. צריך לעבור להנדסה של רשתות, נחילים, צברים, משפחות מוצרים...

כישורים רכים צריך ללמד. אי אפשר בלי כישורים רכים. הידע קיים וצריך להעניק אותו באקדמיה או בתעשייה.

בנושא המכללות - אין לערן דעה סדורה. מניסיונו עם מכללת אפקה (השתתפות בימי סטודנטים, הצגת פרויקטים) נראה שהמהנדסים היוצאים מהמכללות הם יותר מעשיים, ויותר מוכשרים בהנדסה כללית. מיעוטים - יש קבוצה גדולה של סטודנטים בהנדסת תחבורה. פרופ' ג'ק חדד ממוצא ערבי ארגן לאחרונה כנס בינלאומי למודלים בתחבורה. רבים ממשתתפי הכנס היו ערבים כמרצים ומשתתפים. אם ירבו מקומות עבודה ראויים למהנדסים ממוצא ערבי, יהיו יותר סטודנטים בני מיעוטים. לסיכום: המפתח לשינוי בתכניות לימודים להנדסה הוא בפיתוח הנדסה כללית. מציע שיקום גוף שיפתח הנדסה כללית, ואחר כך ילמד הנדסה כללית.

ראיון עם א.ש (מנהל מפעל) על דמות המהנדס במאה ה-21 (25.10.17)

א.ש מנהל מפעל יצור למערכות טכנולוגיות מורכבות

חוזקות של מהנדסים צעירים: הרמה של הצעירים היא טובה ומשתפרת כל הזמן, רמת השכלה טובה, אינטליגנציה טובה, יכולת יפה לאינטגרציה. כמובן שצריך לאתר את המועמדים המתאימים לתפקידים והעיסוקים הנדרשים. בסך הכל יש כלים טובים להתאמת המועמדים לתפקידים הספציפיים המוצעים. חולשות של מהנדסים צעירים: הם פחות מחוברים לעשייה בשטח, הם יותר סטריליים. רובם לא עבדו בשטח מקצועי-טכני-תעשייתי. רכישת ניסיון והתמקצעות אינה ערך מוביל. מחפשים הזדמנויות להתקדם ניהולית. זהו נזק גדול להתקדמות המקצועית. "אני סירבתי לקידום ניהולי כדי להתמקצע". בוגרי מכללות פחות מוכשרים מקצועית, יש להם קושי ללמוד חומר חדש, הם פחות גמישים ופחות יזמים - סטרטאפיסטים. הם יותר טובים ביישום.

המהנדסים החדשים מוכנים למשימות המוטלות עליהם אם נותנים להם תמיכה וחניכה מובנית. העסקת סטודנטים היא דבר מוצלח. אין לי מספיק סטודנטים כי הם לא נמשכים לעבוד במפעלי יצור. לכן באים רק סטודנטים לתעשייה וניהול, MBA, אבטחת איכות. בהחלט זהו מסלול גיוס וקליטה אפקטיבי.

הכישורים הרכים הם חשובים מאד, אבל נראה שזה יכול להיקלט אצל הסטודנטים רק לאחר התנסות בעבודה, אחרת הם לא מבינים על מה מדובר בנושאים כמו מנהיגות, עבודת צוות, תקשורת בין אישית. הלימודים צריכים להיות רב דיסציפלינאריים. הטכניון ממש לא שם. בנוסף, בלימודים הדיסציפלינאריים מתמקדים בפרטים במקום ללמד גם את "התמונה הגדולה".

כאשר מלמדים תיאוריה, צריך ללמד אותה בהיבטים פרקטיים. כלומר איך מיישמים אותה בפועל, איך מבינים את הרגישויות והמגבלות של התיאוריה.

הנחיית סטודנטים באקדמיה על ידי אנשי תעשייה בזמן חלקי היא עם אפקטיביות מוגבלת. אם רוצים להיות רציניים צריך להשקיע בזה זמן מלא, כמו מיני שבתון (כמה חודשים) של איש תעשייה באקדמיה. תואר שני הוא תואר מתמחה ומצמצם. לתעשייה דווקא דרוש תואר מרחיב ומערכת. בתעשייה צריכים אנשים לעבודה מערכתית. אנשים שיודעים לעשות אינטגרציה מערכתית ורב תחומית, שיודעים לגבש ארכיטקטורה מערכתית. אם התואר השני ירחיב בעניין המערכתי והרב תחומי-זה בעל ערך לתעשייה. כאשר הגעתי ל-8200 מהאקדמיה החיבור למעשיות היה אפסי. לא היה לי מושג בזווית, ציפויים, מבנים. נדרשו הרבה השלמות פרקטיות. גם בנושאי ברגים ההכרות המעשית עם פרטים מעשיים הייתה מוגבלת.

תחומי המהפכה התעשייתית הרביעית - חובה ללמד באקדמיה, כי זה העתיד מבחינת יישום מוצרים ומערכות. לכן המהנדסים הצעירים חשוב שיכירו את הטכנולוגיות המתקדמות, וידעו כיצד לשלב אותן במוצרים ומערכות, וכיצד לייצר ולתחזק מערכות מתקדמות.

נושאים חיוניים שנכון להוסיף בתכניות הלימודים באקדמיה צוינו לעיל. בנוסף, חשוב לצייד את הסטודנטים בהבנה בכלכלה, בחשבונאות, בהיבטים עסקיים. זה חשוב מאד עבורם כמהנדסים. בנושא מהנדסות בנות - אין סיבה שלא תהייה חלוקה 50-50. אבל זה צריך להיות מטופל מערכתית לאורך כל הדרך מהילדות, מהחינוך בבית דרך החינוך בבית הספר והתרבות בחברה. לגבי המיעוטים, חשוב לעודד הכשרות להי טק ולתעשייה בקהילה הערבית דוגמת עמותת מונא.

נספח ה' - תמצית של סדרי עדיפויות בתוכניות אסטרטגיות של אוניברסיטאות מובילות

◀ Stanford university

In early 2015, Stanford Engineering formed a committee and asked them two strategic questions: In what areas can the School of Engineering make significant world-changing impact, and how should the school be configured to address the major opportunities and challenges of the future?

The committee emerged with a vision for the future of the school across three critical areas: Research, Education and Culture.

- About [SoE-Future](#) – Vision

It is clear that the younger generation of engineers thinks very differently about the future of engineering. So our young and mid-career faculty members were vital to defining where the school's priorities should be, both in support of research and of education.

These are questions a small group of faculty, staff, and students set out to answer early in 2015. As part of the "SoE-Future" process, they sought input from hundreds of people within and outside the school and asked how we build on our solid foundation to ensure future success. The level of enthusiasm and engagement of those involved was extraordinary, and the recommendations the committee generated based on that feedback has exceeded all expectations.

The engineers of today and tomorrow see the world, and how they can address its challenges, in a very holistic way. They are enthusiastic about increasingly interdisciplinary research that brings together engineering fields with other disciplines, and an educational curriculum that trains future students to collaborate, create, and lead.

Ultimately, the future is defined by those who will live in it. Our outstanding faculty, staff, and students will determine where we go from here across three areas that are critical to the success of the school: research, education, and culture

- [Research](#)

Solving future challenges begins with research.

- bring together Stanford and visiting scholars from academia, industry, and government; graduate students and postdoctoral researchers — and engage scholars across campus and more broadly to focus on a dynamic series of challenging problems that have engineering solutions at their core.
- In addition to being the most efficient and effective way to provide our researchers with the cutting-edge tools they need, sharing research space, resources, and ideas sparks interactions that advance knowledge and lead to new discoveries. We are committed to world-class shared

facilities and equipment that encourage students and researchers in engineering to work and study with others across academic disciplines.

- In addition to being the most efficient and effective way to provide our researchers with the cutting-edge tools they need, sharing research space, resources, and ideas sparks interactions that advance knowledge and lead to new discoveries. We are committed to world-class shared facilities and equipment that encourage students and researchers in engineering to work and study with others across academic disciplines.

- Education

Educating the next generation of engineers is at the very core of our mission, and preparing students to take on the challenges of the 21st century compels us to think anew about both what we teach and how we teach it.

- The engineering core curriculum will evolve, to ensure we are providing our students with both deep disciplinary insights and the skills to communicate, design, and work in teams .
- In addition to disciplinary expertise, our students must develop the ethical sense to consider the consequences of their work and tailor solutions to meet human needs. We must integrate these elements both within Stanford Engineering and through deeper and more meaningful connections to the humanities and social sciences.
- preparing our students for a future of impact will mean teaching them to discern rather than dictate what is needed, and tailor solutions to the diverse local preferences of our global village. Students will gain the fundamentally important understanding of the context, constraints, and implications of engineering problems and solutions. As a great engineering school housed within a world-class liberal arts institution, we have the opportunity to define the humanist engineer.

White paper: How do we educate in the future?

- Culture

Stanford Engineering prizes problem solving, creativity, entrepreneurship and adaptation to change.

- The engineering core curriculum will evolve, to ensure we are providing our students with both deep disciplinary insights and the skills to communicate, design, and work in teams .
- In addition to disciplinary expertise, our students must develop the ethical sense to consider the consequences of their work and tailor solutions to meet human needs. We must integrate these elements both

within Stanford Engineering and through deeper and more meaningful connections to the humanities and social sciences.

<https://engineering.stanford.edu/about/soe-future>

◀ Massachusetts Institute of Technology – MIT

A GLOBAL STRATEGY FOR MIT, May 2017

This plan addresses three important questions for MIT over the coming decade:

- How can our international activities best contribute to advancing the frontiers of knowledge in science, technology, and other areas of scholarship?
- How can they help bring forefront knowledge to bear on solving the world's most challenging problems?
- How can they contribute to educating future leaders who will work creatively, cooperatively, effectively, and wisely for the betterment of humankind?

◀ University of Cambridge

21st Century Engineers - Strategic aim: Inspiring future generations of engineers, equipping them with the best integrated engineering education, and engaging them at the leading-edge of engineering thinking, so that they can change the world.

- Challenge

The world is subject to ever-changing challenges and opportunities. Whether we look at energy, climate change, ageing population, economic re-growth or a myriad of other big issues, we see engineers and new engineered solutions playing a pivotal role. We also see that the pragmatic yet principled engineering approach is incredibly valuable throughout government and business, as it enables practical and considered action in the face of uncertainties and unknowns. The challenge is to be extremely adaptable in meeting this demand with the best engineers and engineered solutions without any compromise to the quality of teaching and long-term research.

- Ambition

The Department's greatest and most agile outputs are its graduates and postdoctoral researchers. The primary ambition of the Department is to attract outstanding students and researchers, equip them with the best engineering education, give them experience of solving problems at the leading-edge of the field, and support them in changing the world. We want our alumni to make a difference not just by knowing how to deliver a sound engineered solution, but by reframing problems, questioning established practice and making new breakthroughs.

- Activities

The main thrusts of this mission are:

- raising awareness, interest and understanding of engineering careers more widely among school children, parents and teachers through the Department's award-winning outreach activity and its news stories

- constantly evolving our unique undergraduate course to give students an education that covers all aspects of engineering, including team work and leadership
- creating new facilities for students that foster creativity and collaboration both within the curriculum and in free time
- offering ever more PhD and Masters opportunities for postgraduate study to the best students in the World with training for translating their vital specialist skills into practice
- winning more postdoctoral fellowships for the early career development of the most talented graduating PhD students linking to college junior research fellowships
- achieving recognition and success as a leader in improving the gender balance at all levels from student through to academic and research staff
- develop the Language Unit's courses and networks, so that an increasing proportion of our students can work outside their home language and culture in their professional engineering career
- strengthen the network for our alumni through development of the Cambridge University Engineering Society (with support from the Cambridge University Engineers Association)

<http://www.eng.cam.ac.uk/about-us/strategy/21st-century-engineers>

◀ University of California, Los Angeles (UCLA)

- [Master of Science Online Program \(HSSEAS-MSOL\) at UCLA](#)

In this program you can earn a Master of Science in Engineering degree with the same program of study as in our departmental programs, with the same courses, same instructors, and same grading standards as on campus. You can also participate in one or several of our certificate programs by completing certain course sequences. These represent specialized areas of study offered by departments, or broader school wide areas of study such as systems engineering. The MS Engineering degree also offers the flexibility to build your own program of study to best suit your professional needs. All of the HSSEAS-MSOL courses are available in three formats for viewing on a computer, a tablet, or a smart phone.

<https://echo360.org/media/9e28ac14-3ced-4b42-9788-dd678e0de4ab/public>

<http://www.msol.ucla.edu/wp-content/uploads/msol/msonline-stats.pdf>

- [UCLA strategic plan, 2015](#)

This five-year strategic plan is a guiding set of priorities and actions through June 30, 2019. Adopting these strategic priorities and supportive actions throughout the organization will position UCLA Extension to eventually compete on a global scale. Our progress in implementing this plan will be evaluated on a quarterly and annual

basis. A formal review of this strategic plan will be conducted in the third year, and should be completed on or before July 1, 2017. These four strategic priorities will remain relatively intact over the five-year planning horizon. This is a strategic response to a constantly changing educational environment.

IV. Reimagine Learning

PRIORITY IV:

Discover, Create, and Pursue New Models of Learning

- ACTION 11: Rapidly determine emerging areas of knowledge and skill and address them through educational experiences delivered on demand
- ACTION 12: (Re) conceptualize the basic unit of education to include a greater variety of choices, from knowledge nuggets to micro-learning modules to stackable credentials to competency-based education, and more
- ACTION 13: Develop new approaches to learning that enable students to personalize their educational experiences with new advances in technology

<https://strategy.uclaextension.edu/>

◀ University of Virginia

<http://planning.virginia.edu/current-strategic-plan>

Pillar III: Provide Educational Experiences that Deliver New Levels of Student Engagement

- Strategy 6: High-Impact Educational Experiences

65% increase in student participation with Undergraduate Student Opportunities in Academic Research (USOAR), matching first-year, second year, and transfer students with no previous significant experience in research with a paid research position working with a faculty supervisor.

- Strategy 7: Global Experiences

Grew the Global Studies Major with 122 student majors in its second year. 44% of students are double-majoring in a complementary field.

Increased Student Participation in Education Abroad

- Strategy 8: Evidence-Based Teaching and Learning
 - Grew enrollment in the Course Design Institute, an intensive, multi-day, hands-on seminar which provides instructors the opportunity to experience the iterative, dynamic, and scholarly process of learning-focused course design.
 - 379 instructors have completed the Course Design Institute

- Innovation in Pedagogy Summit
- Increased attendance at the Innovation in Pedagogy Summit, which presents proven techniques and practices surrounding teaching and learning in higher education. The Summit is UVA focused, but also includes participants from universities, community colleges, and K-12 systems from across the Commonwealth.

◀ Imperial College

Strategy 2015–2020

- Excellence
- Foundations
 - Only by bringing together expertise from different disciplines can we solve today's global challenges.
 - All research and education must be underpinned by a deep understanding of the fundamentals.
 - By learning alongside researchers who are experts in their fields our students gain the practical, entrepreneurial and intellectual skills to tackle societal problems.
- People
 - Providing a broad range of activities, services and support for our students beyond their studies helps them to develop wider talents and to be successful.
 - We will build a supportive, inclusive and highly motivated staff community across all disciplines, functions and activities. This will help us to attract and retain the talented and diverse staff we need to achieve our mission.
 - We will build strong relationships with our alumni and friends. This lifelong exchange of ideas and support benefits all of us.
- Partners
 - We will strengthen collaboration with business, academia, and non-profit, healthcare and government institutions across the globe. Collaboration with external partners is positively correlated with academic excellence; many of our most productive academics are also actively involved with external organisations.
- Enablers

- We will provide professional support, consistent processes and appropriate technology for all of our staff and students... Excellent research and education must be underpinned by a professional team focused on ensuring that our academics and students have the time, support and resources they need to deliver their very best.
- As the frontiers of knowledge cannot be predicted, agility and flexibility are integral attributes for success. This means that Imperial must take risks: academic risk through starting new areas of research, before we know whether funding or acclaim will follow; and financial risk, in order to achieve the returns we need to fund our mission.

Progressing the Strategy

◀ University of Oxford

Strategic plan 2013-18

https://www.ox.ac.uk/sites/files/oxford/field/field_document/Strategic%20Plan%202013-18.pdf

- Priorities
 - Global reach.
 - Networking, communication, and interdisciplinarity. To build on Oxford's multiple disciplinary strengths and enable collaborations in new and developing areas.
- Research
 - To maintain originality, significance and rigour in research within a framework of the highest standards of infrastructure, training, and integrity.
 - To empower the creative autonomy of individuals to address fundamental questions of real significance and applied questions with potential to change the world.
 - To maintain and develop resources, and invest in subject areas of long-term worth.
- Education
 - To ensure that our undergraduate and graduate admissions processes **identify students with outstanding academic potential** and the ability to benefit from an Oxford course whatever their background.
 - We will build on the good evidence we already have that summer schools and teachers' conferences encourage successful applicants from a diverse range of backgrounds, alongside exploring targeted programmes of mentoring and bridging provision.
 - We will build on our success in developing scholarship schemes such as the Moritz-Heyman undergraduate scholarship programme, the Mica and Ahmet Ertegun graduate scholarships in the Humanities, and the Clarendon Fund graduate scholarships, to generate further schemes at undergraduate and postgraduate level.
 - We will keep under review our undergraduate and graduate admissions processes to ensure equality of treatment for all applicants and the effectiveness and consistency of good practice.
 - To ensure that the best Oxford experience is the typical experience, for all undergraduate and postgraduate students, and that Oxford fully equips graduates for the best of the diverse range of opportunities for study and employment available to them.
 - To ensure that the unique richness of the collegiate University's academic environment is both retained and refreshed.

◀ University of Southern California

The 2018 USC Strategic Plan – Answering the Call

- Leading Through Values

Our mission – to serve our students, our patients, and our communities – must be judged not just on impact but on integrity, and not just on endpoints but on ethics. In the coming years, we will engage in university wide discussions of our current values and those new values we need to embrace. We will identify ways to communicate our core values to our constituencies. We will prioritize ethical behavior as we recruit and retain university leaders. We will seek ways to identify and reward those faculty, staff, and students who exhibit and promote our core values. And we will seek ways to promote those values throughout our curricula. For USC to be a leading voice in the 21st century, we must be known not just for what we do, but how we do it.

- Leading Through People

To strengthen our unique mission and lead in this changing landscape, we must mirror the world in how we teach and mentor, conduct research, develop the professions, practice the arts, learn, and serve others. In order to lead, we must continue to invest heavily in intellectual capital – to recruit and retain it, to build and diversify it, and to nurture and empower it.

- Cultivating the Entrepreneurial Spirit - universities must do more than simply recruit innovative people and help commercialize their ideas. To lead in this area is to fashion and support a culture of creativity, engagement, impact, and entrepreneurship (CEIE) across our campuses
- Embracing the Inclusive Spirit - Creating a community of diverse viewpoints – economic, cultural, intellectual – in order to build a generation of innovators, leaders, visionaries, and creators remains one of the highest priorities of USC.
- Fostering the Convergent Spirit - Over the next several years, we will invest in faculty whose work brings together divergent fields to solve intractable problems. We will invest in research in which the methodologies of one discipline are deployed in the context of one or more other disciplines to understand and attack from multiple directions the challenges of our time. We will create training programs for graduate and professional students, for postdoctoral fellows, and for junior faculty so that they become more fluent in multidisciplinary work. We will leverage USC's immense strength in the arts, digital media, information technologies, and computer science to develop new learning and teaching paradigms. We will put into place policies and reward systems that encourage team research, creative team endeavors, and team teaching. We will create more opportunities for students to engage in group-based projects, we will create new ways students can show proficiency across disciplines, and we will make them adept at harnessing the wealth of information that currently exists across all domains of inquiry. We will change the conversation so that students

speaking less about their major and more about what great problems of the 21st century they hope to solve.

- Leading Through Impact

We can only be the most impactful 21st century university by being both a great global institution and a great local friend and neighbor.

- Solving - we will partner with governmental and non-governmental organizations, community partners, philanthropic and private foundations, and all interested parties to address some of the most crucial issues of our time: homelessness, immigration, global pandemics, security, and sustainability, to name just a few. We will invest in interdisciplinary and interschool research centers and institutes that address wicked problems using evidence-based, convergent approaches. We will recruit faculty, postdoctoral fellows, clinical fellows and residents, volunteers, and graduate and professional students whose current and future talents will impact these areas.
- Seizing - we will forge more and deeper partnerships with the creative industries of Los Angeles, such as in the media industries, Silicon Beach, and the Arts District, by creating joint research programs and internship opportunities for students.
- Supporting - USC will set a goal that every member of the Trojan Family contributes to making some small part of the world better
- Synthesizing - We will expand our efforts to translate research quickly from bench to bedside to serve people across the globe

- Leading Through Transformation

we must apply the same combination of creativity and commitment embodied by our students, scholars, artists, and athletes. As we invent the future, we must simultaneously reinvent ourselves.

- Reimagining a University Education
- Reimagining Access and Opportunity
- Reimagining Value
- Reimagining the Undergraduate Experience.

- Conclusion

USC is transforming itself into tomorrow's research university – today. Our mission is urgent, our energy boundless, our vision sweeping, and our Trojan spirit indefatigable. The 21st century calls us to action, to lead now and long into the future. The University of Southern California is answering that call.

השכלה גבוהה



מוסד שמואל נאמן
למחקר מדיניות לאומית

טל. 04-8292329 | פקס. 04-8231889
הטכניון – מכון טכנולוגי לישראל
קרית הטכניון, חיפה 3200003
www.neaman.org.il