

איגוד תעשיות האלקטרוניקה

**מוסד שמואל נאמן
למחקר מתקדם במדע ובטכנולוגיה**

אלקטרוניקה 2000

**התפתחויות בחינוך ההנדסי הגבוה
בתחום האלקטרוניקה**

פרופ' שלמה וקס

יוני 1992

התפתחויות בחינוך ההנדסי הגבוה

בתחום האלקטרוניקה

פרופ' שלמה וקס

מסמך זה מהווה חלק מהמחקר על אלקטרוניקה 2000 הנערך
על ידי מוסד ש. נאמן בשיתוף איגוד תעשיות האלקטרוניקה

תוכן העניינים

1	תקציר	
2	1.	מבוא
2	2	התפתחות החינוך ההנדסי הגבוה (חשמל/אלקטרוניקה) בעולם
2	2.1	קוים כלליים בהתפתחות החינוך בהנדסת חשמל
3	2.2	החינוך בהנדסת חשמל בארה"ב
	2.3	המבנה הכללי של תוכנית לימודים בהנדסת חשמל בארה"ב -
6		צפי למאה ה-21
7	2.4	התפתחות תוכניות הלימוד בהנדסת חשמל - דוגמא אירופאית
11	2.5	ההשפעה של איחוד אירופה על החינוך ההנדסי הגבוה
13	3	התפתחות החינוך ההנדסי הגבוה (חשמל/אלקטרוניקה) בארץ
	3.1	התפתחות החינוך בהנדסת חשמל בטכניון ובמוסדות אוניברסיטאיים
13		אחרים בארץ
	3.2	השוואת תכנית לימודי הסמכה בהנדסת חשמל בטכניון בשנות הששים
14		ובתחילת שנות התשעים
18	3.3	הנדסת מחשבים והנדסת חשמל
	3.4	השוואת תכנית לימודי מוסמכים בהנדסת חשמל בטכניון בשנות הששים
20		ובתחילת שנות התשעים
	3.5	השוואה של תוכנית הלימוד למהנדסי אלקטרוניקה באוניברסיטאות
22		בארץ בתחילת שנות התשעים
	4.	השוואה של תוכנית לימודים למהנדסי אלקטרוניקה בארץ לתוכנית הלימודים
26		במוסד יוקרתי בארה"ב
26	4.1	תוכנית לימודי הנדסת חשמל (הסמכה) ב-MIT (1987/88)
29	4.2	תכנית לימודי הנדסת מחשבים (הסמכה) ב-MIT
30	5	אפשרויות להכנת תוכנית לימודי הסמכה בהנדסת חשמל
30	5.1	כללי
	5.2	מתודולוגיה לקביעה/עדכון תכנים בחינוך הנדסי גבוה -
30		גורמים בקביעת תכנים בחינוך הנדסי
34	5.3	מגמות בחינוך מהנדסי אלקטרוניקה בארץ

(תוכן העניינים - המשך)

42	מקורות
44	נספח א - תכנית המחקר המקורית של פרויקט אלקטרוניקה 2000
45	נספח ב - מקצועות בחירה בלימודי הסמכה בהנדסת חשמל בטכניון (1991/92)
	נספח ג - תכנית לימודי הסמכה במסלול להנדסת מחשבים במסגרת הפקולטה
46	להנדסת חשמל בטכניון (1991/92)
	נספח ד - מקצועות בחירה בלימודי הסמכה בהנדסת חשמל (1991/92):
47	I - אוניברסיטת תל-אביב
48	II - אוניברסיטת בן גוריון בנגב

הבעת תודה

לדייר זאב בונן, מנכ"ל רפא"ל לשעבר ומרכז פרויקט אלקטרוניקה 2000, לפרופ' משה סידי - מרכז לימודי הסמכה בפקולטה להנדסת חשמל ולפרופ' אריה פרויר - מרכז לימודי מוסמכים בפקולטה להנדסת חשמל. לאינג' דוד כהן, מרכז הפרויקטים במוסד נאמן על סיועו בביצוע העבודה.

תקציר

סקירה זו על התפתחויות בחינוך הגבוה בתחום הנדסת האלקטרוניקה והמחשבים בעולם ובארץ, כולל השלכות לעדכון תוכניות הלימודים, מהווה אחד מארבעה שלבים של פרויקט "אלקטרוניקה 2000", המיועדים ליצור תשתית מעודכנת לתעשיית האלקטרוניקה בישראל.

נערך חקר בהתפתחות החינוך ההנדסי הגבוה (תוך התמקדות בדיסציפלינה של הנדסת חשמל/אלקטרוניקה ומחשבים) בארה"ב, באירופה ובארץ, תוך התחקות אחר מגמות השינויים וגורמיהם בתכנים וההקשרים להתפתחות המדעית-טכנולוגית שהעולם המודרני עובר בעשורים האחרונים. בהתאם לכך בוצעו השוואות בין תוכניות לימוד הנדסת אלקטרוניקה בארץ ובח"ל בעבר ובהווה. בוצע גם ניתוח החשפעה של איחוד אירופה על החינוך ההנדסי הגבוה בארצות הקהילה האירופאית.

תשומת לב מיוחדת ניתנה להרכב הכללי של תוכניות הלימודים (לתואר ראשון ולתואר שני) למשקלי מקצועות המתמטיקה, מדעי הטבע, מדעי ההנדסה (תיאורטי/בסיסי), מקצועות יישומיים, מעבדות/פרויקטים, מקצועות הומניסטיים ומקצועות כלליים (כמו אנגלית, כלכלה, תקשורת בין אישית וכו') בארצות השונות ובארץ. הופעת המחשבים מהווה ללא ספק אחד הגורמים לשינויים דומיננטיים הן בתכנים המקצועיים בתחומי האלקטרוניקה השונים (עד כדי היווצרות תחום הנדסת המחשבים בו מוענק תואר B.Sc.) והן בדרכי החשיבה המקצועית והפדגוגית.

במסמך זה מוצעת גם מתודולוגיה המסייעת בשלב קבלת ההחלטות אם לכלול נושא בתוכנית הלימודים - זאת עפ"י מטרות התוכנית ומאפייני הנושא.

לבסוף מוגש ניתוח של מגמות אפשריות בהרכבת תוכנית לימודים מעודכנת למהנדסי אלקטרוניקה בישראל, תואר ראשון ותואר שני.

1. מבוא

פרויקט אלקטרוניקה 2000 המתבצע במוסד ש. נאמן בטכניון עבור איגוד תעשיות האלקטרוניקה, מכיל ארבעה שלבים המיועדים ליצור תשתית מעודכנת לתעשייה האלקטרונית בישראל לשם קידום כושר התחרות בשוקי העולם.

בשלב הראשון של המחקר, אשר טופל ע"י ד"ר אורי שמעוני, התבצע מיפוי התעשייה האלקטרוניקה ומגמותיה בעולם ובארץ (שמעוני, 1991). השלב השני מתייחס לאיתור טכנולוגיות מפתח מועדפות - מיון וניתוח ראשוני התבצע על ידי ד"ר זאב בונן ומר אמנון פרנקל. שלב נוסף, המטפל בסקר החינוך ההנדסי הגבוה בעולם ובארץ ובדרכים לקביעת תכנים בפיתוח משאבי אנוש בתחום האלקטרוניקה הוטל על פרופי שלמה וקס. להלן נפרט שלב זה.

2. התפתחות החינוך ההנדסי הגבוה (חשמל/אלקטרוניקה) בעולם

2.1 קווים כלליים בהתפתחות החינוך בהנדסת אלקטרוניקה

בסקירה שלפנינו על התפתחות החינוך ההנדסי בתחומי האלקטרוניקה, נסתמך על מגוון מקורות מידע כמו מאמרים ותכניות לימוד בפקולטות להנדסת חשמל מהעולם ומהארץ.

תחילתו של מקצוע הנדסת החשמל בסוף המאה ה-19 ומאז הוא לבש מספר צורות טכניות-תכניות: אלקטרוטכניקה, רדיוטכניקה, אלקטרוניקה. יש המכנים את המצב הנוכחי כתקופת המחשבים המוביל לעידן עיבוד המידע בשנות ה-2000.

השינויים המתחוללים בזמננו במקצוע הנדסת חשמל אינם רק תכניים כבעבר, אלא מהותיים גם בכל הקשור לדרכי החשיבה, אם זה במימדיות המיחשובית, בדינמיות, בזיקה למדעים כולל מדעי המחשב, או

בתפיסת המקצוע כחלק ממכלול אינטרדיסציפלינרי, ובהתחשב בשיקולים כלכליים בשוק תחרותי. מעל לכל יש לקחת בחשבון את גורם האינטראקציה, ולעתים אף האקוילנטיות, שבין חומרה לתוכנה.

2.2 החינוך בהנדסת חשמל בארה"ב

הדיסציפלינה של הנדסת חשמל הכוללת, במקרים רבים, גם הנדסת מחשבים, היא הגדולה מבין הדיסציפלינות ההנדסיות בארה"ב. בתחום זה קיימות כ-230 תכניות המאושרות על ידי רשות ההסמכה להנדסה ולטכנולוגיה ABET - Accreditation Board for Engineering and Technology (Harris, 1987a) עם כ-18,000 מקבלי תואר ראשון כל שנה ברחבי ארה"ב (בשנות השמונים). על פי דיווחו של פרופי הריס, הדיסציפלינה של הנדסת חשמל ומחשבים היא הכוח המניע את כלל השינויים הטכנולוגיים המשפיעים על החינוך למדעים ולהנדסה. הדיווח מתבסס על מחקר מקיף שכותרתו "לימודי הסמכה במדעים, מתמטיקה והנדסה" בארה"ב, בשיתוף האוניברסיטאות הגדולות, IEEE, תעשיות האלקטרוניקה ובתמיכת ה- NSF (National Science Foundation). המטרה היתה לחקור את המבנה של לימודי ההסמכה בהנדסת חשמל ומחשבים. על פי מחקר זה המבנה של תוכנית לימודי הסמכה בהנדסת חשמל מורכב מהמרכיבים העיקריים הבאים:

- I. כלים (Tools): מתמטיקה, מדעי המחשב.
- II. חומרים (Raw Materials): כולל תופעות טבעיות ומלאכותיות הקשורות בהם.
- III. מיומנויות הנדסיות (Engineering Skills): אצילה, סינתזה, הערכה.
- IV. מקצוענות: (Professionalism).

התוצאה הסופית של המחקר מתבטאת בשמונה שאלות מפתח (עפ"י סדר החשיבות) וסדרת יוזמות ספציפיות האמורות להוות תשובה לכל שאלה.

1. אבטחת כשירותם של בוגרי ההנדסה לעבודה בסביבה גלובלית (הקניית חינוך כללי ומקיף דיו, כולל לימודי שפה, כלכלה, מיומנויות תקשורת, אתיקה, ספרות, הסטוריה, אמנות וכדומה וכן פיתוח מוטיבציה להתחדשות מקצועית וכללית מתמדת בעתיד).

2. יצירת מבנה לקידום חידושים ורב-גווניות הנתונים לביקורת של עמיתים (אספקת תמריצים

לעידוד חדשנות, מיסוד סדנאות ופורומים יוקרתיים לחילופי רעיונות חדשניים).

3. תימרוץ יצירתיות לאבטחת תחרותיות (פתרון בעיות פתוחות וחדשות, פרויקטים אינטרדיסציפלינריים, מידול מתמטי-פיסיקלי משולב, קורסים בלימוד עצמי עתירי נושאים חדשניים, חשיבה יוצרת במדע התיכון (Design Science) עפ"י האסכולה בדו"ח מוסד נאמן (1986)).

4. ניצול מושכל של השפעת כוח המיחשוב בלימוד התכנים ההנדסיים. (זיהוי שטחי ההשפעה של המחשב בלימוד תכנים, פיתוח מדע התיכון כדיסציפלינה).

5. שילוב מערכות אספקה חדשות (Delivery Systems) בתוכנית הלימודים (פיתוח וקידום חוראה באמצעים טכנולוגיים מתקדמים (Technology Assisted Instruction - TAI), במיוחד במחשב.

6. אבטחת איזון בין תכנים בסיסיים ותכני התמחות. (הגדרת תכני יסוד, זיהוי התמחויות וקביעת איזון ביניהם, ייזום פרויקטים לפיתוח לומדה במקצועות בסיס ליצירת תשתית להחדרת טכנולוגיות חדשות לתוכנית הלימודים).

7. יצירת תנאים ללימודי המשך מתמידיים לאנשי הסגל והעברת המסר לסטודנטים (הדגשת מטלות שיש בהם מרכיבים של "ללמד איך ללמוד", פרויקטים, מדע התיכון, לימוד "משותף" של איש הסגל והסטודנט שלו של נושאים חדשים, עידוד לימודי מוסמכים, תמרוץ אנשי הסגל ללמידה לא רק באמצעות מחקר אלא גם במסגרת תכנון קוריקולרי של נושאים חדשים).

8. בדיקת האופטימום של משך לימודי ההנדסה לתואר ראשון (להמשיך עם 4 שנים או לשנות?).

במחקר הנדון היתה גם התייחסות לשאלות ויוזמות בתחום של הממשק האישי של הסטודנט עם המציאות ההנדסית (Practicum Issues and Initiatives) - בכיתה, במעבדה, ובמפעל. בהקשר זה מומלץ להדגיש בתכנית הלימודים היבטים כלליים וממשקיים כמו תקשורת בינאישית, עבודה בצוות, עירנות להשפעות הטכנולוגיה על החברה, עקרונות ניהול פרויקטים, חישובי עלויות ויוזמות טכנולוגית. מן הראוי להתמקד על

התנסויות תיכון תוך הסתמכות על שיטות אנליטיות ואקספרימנטליות ובכך לגשר בין המודל האידיאלי לבין המוצר המוגמר האמור לענות גם על דרישות שיווקיות ארגומיות, אקולוגיות וכדומה.

קיים הכרח לשלב תחנות עבודה ממוחשבות בהתנסויות המעבדתיות. התעלמות מאמצעי זה, אשר תפוצתו בתעשייה הולכת וגדלה, עלולה לגרום לאימפוטנציה מקצועית של בוגרי מערכת ההכשרה לתואר הנדסי ראשון, עם כל הנזק הכרוך בכך. אין המדובר כאן בעוד טכניקה של עבודה, אלא בתפיסות חדשות, דרכי חשיבה חדשות וכן דפוסי עבודה חדשים. דברים אלו אמורים במיוחד כשמדובר על ישראל. בהקשר זה מן הראוי לערב בצורה רצינית את התעשייה, אם זה בהעברה של שיטות עבודה וטכנולוגיות חדשות למערכת ההכשרה ההנדסית ו/או בתמיכה בהצטיידות (עדיין תחנות העבודה הממוחשבות + הפריפריה, יקרות יחסית). אין התעשייה יכולה להרשות לעצמה לעמוד מן הצד ולצפות שהמערכת הממסדית בישראל תכין עבורה את כוח העבודה המעודכן, לו היא זקוקה. מצב כזה יכול לשרור זמנית כשהתעשייה בחיתוליה. נראה שתעשיית האלקטרוניקה בישראל הגיעה למצב בגרות כזה שהסיוע שלה בהכשרת כוח עבודה מדעי והנדסי הוא כורח המציאות. על כן יש לברך על היוזמה שיצאה מאיגוד תעשיות האלקטרוניקה בישראל לביצוע פרויקט זה במסגרת מוסד ש. נאמן בטכניון.

באותו ענין על הכנסת תחנות עבודה למערכת ההכשרה, יש לזכור שההתנסות המעבדתית אינה יכולה להתקיים על טהרת הסימולציות הממוחשבות, בחינת Gedankenexperiment בלבד. חייב להיות שילוב מסוים של חומרה בפעילויות המעבדתיות (ובמיוחד בפרויקטים) של הסטודנט, וזה כמובן מייקר את מערך ההכשרה.

כללית, הצטיידות דידיקטית נאותה דרושה בלימודי ההנדסה. דוגמאות לכך: **הכיתה הוירטואלית** - מעניקה סביבה לימודית תומכת (מערכת אודיו-ויזואלית ממוחשבת הנתמכת במאגר נתונים בתחום המקצועי והדידקטי, כולל תחנת עבודה, אמצעים לביצוע **סיוור אלקטרוני מקצועי** המאפשר בוננות (insight), מהכיתה ובזמן אמיתי, בתהליכים הטכנולוגיים המתבצעים במפעל; **הטקסט "החכם"** שהוא קומבינציה של ספר טקסט עם כוח מיחשובי, המאפשר למחשב להוות מעין מעבדה רב תכליתית של הקורס, תוך מתן אפשרות של תיאום בין סגנון הלמידה של הסטודנט ואסטרטגיות ההוראה העומדות לרשותו.

2.3 המבנה הכללי של תוכנית לימודים בהנדסת חשמל בארה"ב - צפי למאה ה-21

במסגרת הדיונים על "דמות" החינוך ההנדסי (הנדסת חשמל) במאה ה-21 הוצע מבנה קוריקולום של IEEE (Harris, 1987b) המבוסס על הדרישות של ABET ותוצאות סדנת ה-NSF שנסקרו בקצרה לעיל. ההצעה מבוססת על 4 שנות לימודי הסמכה בהנדסת חשמל לקראת תואר B.Sc. בהיקף כולל של 136 נקודות זכות (כלומר 17 נקודות סמסטריאליות). לשם השוואה, בפקולטה להנדסת חשמל בטכניון נדרש הסטודנט ל-155 נקודות לשם קבלת התואר "מוסמך למדעים (B.Sc.) בהנדסת חשמל". ניתן לתאר את המבנה הכללי הנ"ל של תוכנית הלימודים להנדסת חשמל באמצעות ששה מאפיינים עיקריים:

1. לימודי מקצועות הומניים למדעי החברה בכל הסמסטרים, בהיקף כולל של 26 נקודות (19.1% מכלל הנקודות; בטכניון מהווה הבחירה החופשית 6.5% מסך הנקודות בלימודי התואר).
 2. קורסים בתחום מדעי המחשב: חובה בשנה הראשונה.
 3. מתמטיקה ומדעים יסודיים יילמדו במשך 3 השנים הראשונות בהיקף כולל של 38 נקודות (28%) - בטכניון הסטודנט מחויב לקחת 44.5 נקודות (29.3%) בתחומים אלה.
 4. מדעי ההנדסה יילמדו בהיקף של 54 נקודות (קרוב ל-40% מסך הנקודות).
 5. מקצועות הבחירה יינתנו בשנת הלימודים הרביעית.
 6. מעבדות או פרויקטים יילקחו בכל אחד מהסמסטרים הנושאים יקיפו סך של 18 נקודות (13.2%).
- המציעים ממליצים לשלב התנסות בתעשייה בתוכנית לימודי ההנדסה.

בדוח ועדת NSF - Committee on the Education and Utilization of the Engineer (1985) בנושא ההנדסה בכלל ובחינוך ההנדסי בפרט, מובא ניתוח מפורט של תפקיד ההנדסה כעמוד התווך של כלכלת ארה"ב, הסטטוס של ההנדסה והחינוך ההנדסי, האיכות והניצול של המשאבים ההנדסיים (כח אדם), השימור והשיפור של משאבים אלה והמלצות להשבחת החינוך ההנדסי כמסד לעתידה הטכנו-כלכלי של

ארה"ב. נציין כאן שתיים מן ההמלצות של ועדה זו: (1) לשקול אפשרות לדחית קורסי התמחות הנדסיים ללמודי מוסמכים ו-(2) להגביר המאמצים להגדלת חלקן של נשים בלמודי הנדסה.

יוזמה נוספת בכיוון של רפורמה בקוריקולום הנדסי בארה"ב יצאה מה-National Science Foundation NSF ב-1990. מחקר 5 שנתי זה הכולל 8 אוניברסיטאות מכונה בשם Synthesis Coalition, ומטרתו היא לבצע "אינטגרציה אופקית" במימד האינטרדיסציפלינרי של מקצועות ההנדסה, וכן "אינטגרציה אנכית" ע"י התייחסות לחינוך הטרום אוניברסיטאי, ללמודי ההסמכה (ההנדסה) וללמודי מוסמכים (המימד של רמות הלימוד). הרלבנטיות של פרויקט זה לעניננו היא בעיקר בסדרת ה-case studies שמתבצעים במסגרתו בהכנסת אמצעי הוראה ממוחשבים תוך ניצול מערכות תקשוב מודרניות, כולל מאגרי נתונים. הגישה העקרונית שלהם, המתבטאת בהדגשת החלק היישומי (ולא התאורטי) של ההנדסה נוגדת חלק מהמסקנות שהומלצו לעיל בפרויקט של ה-Committee on the Education and Utilization of the Engineer. על כל פנים, פרטים על פעילויות הפרויקט Synthesis coalition ניתן לקבל באוניברסיטת קורנל (ראה כתובת בביבליוגרפיה).

באוניברסיטת קרנגי-מלון הוחל ב-1990 בתכנון תכנית לימודים חדשה בהנדסת חשמל ומחשבים תוך שימת דגש על מה ניתן לותר בתכנית הלימודים הקיימת. הבעיה של הוצאת נושאים מתכנית הלימודים היא לעתים קרובות קריטית ביותר. הועדה שטיפלה בפרויקט זה חלקה את הקורסים בתכנית הלימודים לשלוש קטגוריות: (1) תחומים הכרחיים, (2) תחומים אותם יש לאזכר בצורה מוגבלת בלמודי הסמכה ו-(3) תחומים עליהם ניתן לותר כליל או להשאיר מינימום נושאים מתוכם כבחירה. פרטים על תכנית חדשה זו ניתן למצוא בדיווח של Ruterbar (1991).

2.4 התפתחות תוכניות הלימוד בהנדסת חשמל - דוגמא אירופאית

סקירה כללית על ההתפתחות של החינוך הנדסי במשך 25 שנה בבריטניה (שנים 1963-1988), כפי שחיא משתקפת בתוכניות הלימודים בדיסציפלינה זו במחלקה להנדסת חשמל באוניברסיטת מנצ'סטר באנגליה במסגרת הפקולטה לטכנולוגיה (Hartley, 1988), מגלה את מהלכי המעבר מתוכניות לימודים קלסיות לתוכניות המודרניות יותר בשלהי שנות השמונים, כאשר המחשב מהווה אחד הגורמים המכריעים בהכנסת השינויים התכניים והקונצפטואליים.

המקצועות הקלטיים שנכללו בסילבוס של 1963/64 כללו אלמנטים של מכונות זרם ישר (D.C.) ומכונות זרם חילופין (A.C.) שנאים ומיכשור מדידה. בתיאוריה של מעגלים חשמליים נדונו תיאורמות הרשת הקלאסיות תוך שימוש במספרים מרוכבים בניתוח מעגלי A.C. הסילבוס של שדות אלקטרומגנטיים לא השתנה בהרבה במשך 25 השנה. לעומת זאת, כללה המתמטיקה דאו נושאים רבים שירדו עם הזמן למסגרות הלימוד התיכוניות. בראיה רטרוספקטיבית ניתן להבחין בנוכחות מאסיבית יחסית של נושאים מתחום הנדסת מכונות (כמו חוזק חומרים, תורת המכונות, תרמודינמיקה, שרטוט) בתוך הסילבוס של הנדסת חשמל. נושאי מחשבים התחילו אז להופיע בצורה צנועה בשנה השלישית ללמודי התואר, בהקשר של מערכות ספרתיות והתקני זכרון. תכנון מחשבים ניתן אז בהיקף מצומצם לסטודנטי מחקר ואנשי סגל. עם השנים התמעטו הקורסים מתחום המכונות בתכנית הלימודים של הנדסת חשמל והתרבו הקורסים מתחום המחשבים, עד כדי הוצרות תת דיסציפלינה של "הנדסת מחשבים" בתוך או ליד פקולטות להנדסת חשמל, תוך זיקה לנושאים מתחום החומרה בהקשרים רלבנטיים לתוכנה. התקני זכרון של דלגלים (Flip-Flop) בהקשרים של צוברים ביחידת עיבוד מרכזי (CPU Register) מחד, ואמצעי אחסון מידע מכניים או אלקטרו-מכניים כמו סרט נייר, סרט מגנטי, תוף או מערך גרעיני פריט (Ferrite-core) מאידך, הוחלפו עם הזמן עם אמצעי זכרון בעלי קיבולת גדולה ונפח קטן בהרבה סדרי גודל משמעותיים (אם זה התקני CCD בשנים קודמות או CD-ROM בשנים האחרונות).

הופעת המיקרופרוססור בשנות ה-70 המוקדמות והתעצמותה של תעשיית המוליכים למחצה גרמו לחוזלה ולגידול בכוח המיחשוב והשפיעו דרסטית על הרכב סל התכנים בפקולטות להנדסת חשמל ומחשבים. יתר על כן, מספר גדל והולך של סטודנטים מגיעים לאוניברסיטאות עם אורניות מחשבים (computer literacy) וידע בתיכנות שנרכשו במסגרות הטרם-אקדמיות. ברוב תוכניות הלימודים בהנדסה הופיעו שפות תכנות במגוון הרכבים, החל משפת עילית כמו Pascal, PL1, Fortran או שפת C למשל, וכלה בשפת מכונה ספיציפית וכן אסמבלר. האילוץ להתמקד במערכות משולבות מיקרופרוססור, שחדר מהתעשייה למסגרות ההכשרה, הכתיב העדפה של תכנים המשולבים במיומנויות וידע במחשבים על פני תכנים נפרדים מתחום מדעי המחשב, כמו תכנות לשמו. הראיה המערכתית דחפה לפיתוח גישות ושיטות פעילויות מקצועיות המשלבות הנדסת חומרה והנדסת תוכנה, במקום להתייחס אליהן בנפרד.

השילוב של לימודי הנדסת חשמל עם לימודי נושאים מתחומים אחרים כמו ניהול או מדעי החברה, אינו

חדש. למשל, כבר ב-1963/64 הורצו קורסים משולבים מהסוג הזה במחלקה להנדסת חשמל באוניברסיטת מנצ'סטר באנגליה. אפשרות בחירה כזו ניתנה לסטודנטים בצד אופציות אחרות כמו שילוב קורסים בבקרה אוטומטית והנדסת מערכות או שרשרת של הנדסת תקשורת. על כל פנים בסיום שנות ה-80 ותחילת שנות ה-90 היתה התעוררות מחודשת באנגליה להרחבת תחומי המקצועות הכלולים בסילבוס של הנדסת חשמל לעבר ניהול טכנולוגי, מדעי החברה, שפות וכמובן הנדסת מחשבים. נטיה זו התגברה לאור התוכניות לאיחוד אירופה.

אין מנוס מלהזכיר את ההתהוות של לימודי מוסמכים לתוארים גבוהים - זאת בגלל ההקשר ללימודי הסמכה בהנדסת חשמל (כברוב הדיסציפלינות האוניברסיטאיות). עד שנות הששים הוענק התואר מגיסטר לעבודות מחקר בלבד, ברחבי בריטניה. המחלקה להנדסת חשמל באוניברסיטת מנצ'סטר היתה מהראשונות באנגליה שאימצו את הגישה האמריקאית (ב-1963/64) לשלב גם קורסים בלימודי המסטר לצד עבודת התיזה. בדרך כלל תוכנית הלימודים היתה משולבת וכללה קורסים ממספר דיסציפלינות, חשמל, מכונות והנדסה כימית. דוגמאות של קורסים שניתנו: אלקטרוניקת מוליכים למחצה, הנדסת UHF ומיקרוגלים במערכות כוח חשמליות, או אלקטרוניקה ספרתית ובהמשך הורחב גם להנדסת מיקרופרוססורים. לימודי תואר שלישי בהנדסת חשמל התפתחו בהמשך. על רקע העלאת רמת הלימודים האוניברסיטאיים והרחבת היקף הנושאים בהנדסת חשמל ומחשבים (וגם בדיסציפלינות הנדסיות אחרות) הופיעו בבריטניה (ובארצות אחרות) מסגרות נוספות להכשרת כוח עבודה הנדסי בעל זיקה חזקה לטיפול בבעיות טכנולוגיות פרקטיות המתעוררות בתעשייה. אלה הם הפוליטכניקומים (בארה"ב תחום זה כונה בשם Engineering Technology). בהקשר זה הוקמה באנגליה רשות הסמכה מרכזית Council for National Academic Awards (CNAR). בסוף שנות ה-60 היו כבר כ-30 פוליטכניקומים כאלה ברחבי בריטניה.

בתחילת שנות ה-60 הקימה ממשלת אנגליה ועדה בראשות פיניסטון (Sir Monty Finniston) לבדיקת צורכי התעשייה הבריטית בכוח אדם הנדסי-טכני לאור ההתפתחויות הכלכליות הצפויות. הנושא של תיפקוד הוועדה היה Engineering the Future בדו"ח של הוועדה (Finniston, 1985) התבסס על מידע מ-78 אוניברסיטאות ומכללות, שהעניקו אז כ-13,000 תוארי הנדסה שונים בשנה, כלל כ-80 המלצות בנושא הכשרת כוח אדם הנדסי לתעשייה הבריטית. במסקנות העיקריות של הדו"ח הומלץ להגדיל חלקה של החוראה באמצעות מחשב, להקנות מיומנויות קוגניטיביות כבסיס לפתרון בעיות, לשתף התעשייה בקביעת

תכני הלימוד, להדגיש פיתוח חשיבה יוצרת בקורסי תכנון ולהקנות ידע ומיומנויות בתחומים של יחסי אנוש, כלכלה, ניהול ומבנה המשק; לטפח השתלבות בעבודה בתעשייה תוך כדי הלימודים האקדמיים, בשיטת ה"סנדוויץ". שילוב זה מקובל במדינות מתועשות אחרות, (גרמניה, ארה"ב) ומן הראוי לשקול יצירת אפשרויות כאלה בישראל, גם אם בעבר כשהתעשייה האלקטרונית היתה בשלבי ביסוס, התגלו קשיים בנדון.

נראה שדו"ח פיניסטון רלבנטי במיוחד ללימודים בפוליטכניקום. על כל פנים יש להתפתחויות אלה השלכה מסוימת גם על החינוך ההנדסי הגבוה, באוניברסיטאות היוקרתיות. פיתוח כח אדם טכני, המתמחה ברמה מקצוענית גבוהה בעיקר בבעיות היישומיות בתעשייה, במסגרת הפוליטכניקום עשוי לפנות מקום בחינוך ההנדסי האוניברסיטאי להעמקת יתר בנושאי מחקר הנדסי ומאפשר טיפוח מוגבר של כח אדם מדעי ומחקרי שנהיה לרובד מוביל הכרחי בקידום התעשייה האלקטרונית, טכנולוגיות חדשות ומוצרים חדשים, תוך התחשבות בצרכים וברווחת החברה והפרט, באילוצי האקולוגיה וכו'.

באשר למגמות לעתיד של החינוך ההנדסי בשטח האלקטרוניקה בבריטניה, מציין Hartley (1988) שבמחצית השנייה של שנות השמונים ניכרת בעליל הנטיה לכיוון המיחשוב. שטח התיב"ם זוכה לתיגבור מתמיד בתוכניות הלימודים של הפקולטות להנדסת חשמל. פעילויות התיב"ם באות לידי ביטוי בשני מישורים:

א. בתכנון ספציפי, למשל בטכנולוגית המעגלים המשולבים. כאן התיב"ם הוא חלק אינטגרלי של התכנון שלא ניתן לבצעו ללא סיוע המחשב.

ב. בתכנון כוללני, המצריך כוח מיחשובי ומסוף גרפי על מנת לבצע פעילויות תכנון רב גווניות בספקטרום רחב של הנדסת החשמל כמו תקשורת, מעגלים תקביליים וספרתיים, מכונות חשמל ומערכות בקרה. הכוח המיחשובי במקרה זה מאפשר נגישות נוחה לשליפת מידע רלבנטי ממקורות שונים ובעיקר מונע מהסטודנט חישובים פרטניים מייגעים העלולים להפריע לו לראות את הייעור" (כשהוא שקוע בסבך הענפים של "עץ בודד").

ניתן לשלב מידול ואמולציה בפעילויות תכנון באמצעות מערכת תיב"מ. אם המערכת ידיוותית במדה

מספקת, יכול הסטודנט ללמוד לעבוד באמצעותה עם מגוון אמצעי תכנון תוך מספר שעות, אם זה שרטוט (או ייצוג אחר) של המערכת המתוכננת, תכנון המעגל המודפס ואף הרצה סימולטיבית של המערך המתוכנן וקבלת משוב על טיב פעולתה. הוא יכול לנתח את תגובת המערכת להפרעות מסוגים שונים ובסופו של דבר להתקרב לאופטימום של בצועים. באשר להצטברות הידע והמומחיות, מקרב אותנו המחשב למצב בו ניתן יהיה להבנות מנסיונם של אחרים, כאשר הידע והמומחיות הקודמים אגורים במערכת ידע מקיף (Knowledge Based System - KBS) העומדת לרשות הסטודנט, ובאמצעות תכניות מומחה לקדם רעיונות וטכנולוגיות חדשים. סילבוס מודרני חייב לאפשר שימוש ותרגול באמצעים כאלה.

מן הראוי לציין שניצול כלים כמו תיב"מ ו-KBS בתוכנית לימודי ההנדסה משחרר זמן סטודנט אותו ניתן להקדיש להרחבת בסיס הלימודים שלו, ולקדם שילוב מקצועות כמו ניהול, כלכלה ויחסי אנוש בתוכנית הלימודים.

2.5 ההשפעה של איחוד אירופה על החינוך ההנדסי הגבוה

לקראת 1987 החליטה הועדה האירופאית בבריסל, ה-Commission of European Communities, להקים את COMETT-Community Action Programme for Education and Training for Technology.

המטרה היתה לקדם את החינוך ההנדסי והטכנולוגי הכלל אירופאי ולהתאימו לצרכים ארוכי הטווח של התעשייה המודרנית (Kosinsky, 1989).

- בין המשימות הראשוניות של גוף זה אנו מוצאים:
- יצירת מסגרת מובנית של שיתוף פעולה בין התעשייה ומוסדות המכשירים כוח אדם הנדסי בתוך כל מדינה חברה בקהיליה האירופאית וביניהן.
 - צמצום הנטייה להכשרת מהנדס בעל התמחות יתר בתחום צר. אי לכך לקדם את החינוך ההנדסי בעל הבסיס הרחב על מנת להעלות כושר ניידות והסתגלות בשוק עבודה דינמי.
 - פיתוח תכניות לימודים אינטרדיסציפלינריות משולבות התנסות בתעשייה, לקידום העירנות למציאות התעשייתית והכלכלית. דגש מיוחד הושם על הכשרת אנשים בעלי כושר ניהול חברתי הנובע משינויים טכנולוגיים.

כבר בשנתיים הראשונות לקיומו (1987/88) הפעיל ארגון גג זה (COMETT) למעלה מ-2000 פרויקטים משולבים, אוניברסיטה/תעשייה (University - Enterprise Training Partnerships -UETPs) למימוש המשימות הנ"ל. פעילות זו של השבחת החינוך ההנדסי קיבלה תנופה נוספת עם התמוטטות המשטרים הקומוניסטיים והתרחבה גם למדינות מרכז ומזרח אירופאיות ואמורה לקדם את הטיב ואת תהליך היוניפיקציה של הפרופסיונאליזם ההנדסי, בדרך לגיבוש ארצות הברית של אירופה. תוך מספר שנים הקיפו הפעילויות למעלה מאלף אוניברסיטאות ומוסדות להשכלה גבוהה ואלפי מפעלים (TEMPUS) (Vademecum 1991, ndv News, 1991).

אין ספק שמדינת ישראל צריכה להיות לפחות מודעת (רצוי שתהיה שותפה במידת האפשר) להתפתחויות אלה שיש להן השלכה, בין השאר, גם על פיתוח החינוך ההנדסי, על היקף התכנים אליהם יש להתייחס על הדגשיו השונים, על הסטנדרטים החדשים של כוח העבודה ההנדסי והאתגרים הכלכליים והמדעיים שהוא מעמיד בפני מקבלי ההחלטות האמונים על הנושא.

3. התפתחות החינוך ההנדסי הגבוה (חשמל/אלקטרוניקה) בארץ

3.1 התפתחות החינוך בהנדסת חשמל בטכניון ובמוסדות אוניברסיטאיים אחרים בארץ

צמיחתו של החינוך ההנדסי בישראל החלה רשמית עוד בטרם קום המדינה עם פתיחת שעריו של "הטכניון העברי בחיפה" ב-1925, מה שנהיה ברבות הימים "הטכניון - מכון טכנולוגי לישראל", שהוא אוניברסיטה טכנית גדולה ובעלת מוניטין ברחבי העולם. עד שנות ה-60 היה הטכניון המוסד הגבוה היחיד בישראל שהכשיר מהנדסים, כולל מהנדסי אלקטרוניקה. אוניברסיטת בן גוריון בנגב החלה להריץ לימודי הסמכה בהנדסה ב-1966, ואוניברסיטת תל-אביב ב-1970 (Sekey, Langholz, 1975). טבלה 1 מראה סך הכל מספרי סטודנטים בפקולטות להנדסת חשמל בארץ בשנים 1973/74, 1981/82 ו-1990/91 בשלושת המוסדות הנ"ל.

טבלה 1 - סך הכל מספרי סטודנטים ואנשי סגל בפקולטות להנדסת חשמל בארץ *

1990/1	1981/2	1973/4	
2,033	1,817	1,687	סטודנטים לתואר ראשון
534	316	501	סטודנטים לתואר שני

* מקור הנתונים: הלשכה המרכזית לסטטיסטיקה - שאלונים אישיים תשל"ד; קבצי המוסדות תשנ"ב, תשנ"א.

על פי מפקד האוכלוסין בישראל בקיץ 1983 (הלמ"ס, 1984) המספר הכולל של מהנדסים (וארכיטקטים) היה 28,185 שהוו כ-2% מכלל המועסקים במשק, מהם 5,855 היו מהנדסי חשמל/אלקטרוניקה (כ-21% מכלל המהנדסים).

תנאי הקבלה של סטודנט ללמודי הנדסה מתבססים על ציוני הבגרות, הבחינה הפסיכומטרית הכלל אוניברסיטאית ובחינת מיון במתמטיקה (בטכניון) - בעבר היו גם בחינות מיון בפיסיקה. קיימת התחרות חריפה לעתים בין המועמדים ללמודי הנדסת חשמל - לרוב מספר הפונים גדול משמעותית ממספר המקומות הפנויים.

הדרישות האקדמיות לקבלת תואר B.Sc. בהנדסת חשמל בארץ מתבטאות בעמידה בהצלחה במבחנים סמסטריליים בעיקר וכן בהשגים לימודיים במהלך הלימודים העיוניים והמעבדתיים כולל פרויקטים שרק לעתים רחוקות מתבצעים בתעשייה. הסטודנט נדרש לצבור 155-165 נקודות זכות סמסטריליות, כאשר קורס סמסטרילי של שעת הרצאה שבועית מקנה כנקודות זכות אחת (לעתים יותר, עפ"י קושי הקורס ועומס הלמודים בקורס). שעת תרגיל או מעבדה מקנים מחצית הנקודה.

בטכניון קיימת פעילות בלמודי מוסמכים בהנדסת חשמל מאז 1952. עם התמסדות ההכשרה של מהנדסי אלקטרוניקה באוניברסיטאות בן-גוריון ות"א הופעלו גם במוסדות אלו תוכניות בלימודי מוסמכים. הדרישות בלימודי תואר שני (M.Sc.) כוללות 20-30 נקודות זכות סמסטריליות (קורסים ברמת מוסמכים) וכן תיזה המבוססת בדרך כלל על מחקר באחד מתחומי הנדסת החשמל. תואר שלישי מצריך 8-15 נקודות זכות סמסטריליות פלוס עבודת דוקטורט המבוססת על מחקר מקורי. לימודים לתואר מגיסטר ודוקטור מוצעים לבוגרי תואר ראשון מצטיינים. המוסדות הגבוהים לחינוך הנדסי בארץ מציעים גם מבחר קורסי עדכון והשתלמות למהנדסים שלא לשם קבלת תואר גבוה אחר. זאת במסגרת לימודי המשך.

3.2 חשוואת תוכנית לימודי הסמכה בהנדסת חשמל בטכניון בשנות הששים ובתחילת שנות התשעים

על מנת לעמוד על מגמות ההתפתחות של החינוך הגבוה בהנדסת חשמל בארץ, נבצע השוואה בין תוכנית לימודי ההסמכה (והמוסמכים) בטכניון בשנים האקדמיות 1967/8 ו-1991/2. היות ובשנות הששים שיטת הצבירה עוד לא היתה נהוגה בטכניון, נבצע את ההשוואה על בסיס שעות מגע (הרצאה, תרגיל, מעבדה) סמסטרליות. שעת מגע היא שעה אחת שבועית בה הסטודנט נוכח בלמודים בטכניון, במשך סמסטר הנמשך 14 שבועות.

בטבלה 2 מובאים צבירי מקצועות החובה בשתי התקופות (בשנה אקדמית 1967/68 ובשנה 1991/92) עם מספר שעות המגע הרלבנטיות בלימודי הסמכה בהנדסת חשמל. ההבדלים העיקריים בין שתי התוכניות הם:

1. סה"כ מספר שעות מגע סמסטריליות בקורסי חובה של לימודי הסמכה בהנדסת חשמל בטכניון בשנה האקדמית 1991/92 הוא 122 שעות, שהם כ-70% ממספר השעות (175) בשנת הלימודים 1967/8. ירידה משמעותית ביותר היא במספר שעות המעבדה (מ-61 ל-26 שעות סמסטריליות).

2. מקצועות ש"ינעלמו" מלימודי החובה הם:

- כימיה
- שרטוט טכני
- חומרים
- מכניקה טכנית
- מדידות חשמל
- בקרה
- קווי תמסורת ומערכות מפולגות
- מכונות חשמל
- תכונות חשמליות של חומרים
- מערכות לינאריות ורשתות.

3. מקצועות חדשים בלימודי החובה הם:

- תרמודינמיקה ופיסיקה סטטיסטית
- התקני מוליכות למחצה
- אותות ומערכות
- המרת אנרגיה
- מעגלי מיתוג
- מערכות ספרתיות
- פרויקטים

טבלה 2 - השוואת תכנית לימודי הסמכה בהנדסת חשמל בטכניון בשנים 1967/68 ו-1991/92
(שעות מגע סמסטריאליות)

1991/92			1967/68			הצביר
ש' מעבדה	ש' תרגיל	ש' הרצאה	ש' מעבדה	ש' תרגיל	ש' הרצאה	
-	11	22	-	9	18	מתמטיקה (סה"כ)
4	4	13	15	6	18	מדעים - סה"כ
4	3	10	9	4	14	- פיסיקה
-	1	3	-	-	-	- תרמודי ופיסיקה
-	-	-	6	2	4	- כימיה
הנדסה כללי						
-	-	-	3	-	1	- שרטוט טכני
-	-	-	2	-	2	- חומרים
-	-	-	2	-	3	- מכניקה טכנית
הנדסת חשמל/בסיס						
-	1	3	6	2	7	- הנדסת חשמל
-	-	-	2	2	4	- תכונות חשמליות של חומרים
-	1	3	-	2	2	- שדות
-	1	3	-	2	3	- מערכות ליני ורשתות
-	2	4	-	-	-	- התקני מוליכים למחצה
-	1	3	5	3	9	- מעגלים אלקטרוניים
-	-	-	2	-	2	- מדידות חשמל
-	-	-	-	1	2	- (מערכות) בקרה
-	-	-	-	1	2	- קווי תמסורת ומערכות מפולגות
-	1	3	-	-	-	- אותות ומערכות
-	1	4	-	-	-	- המרת אנרגיה
-	1	3	-	-	-	- מעגלי מיתוג
-	-	-	-	1	3	- מכונות חשמל 1
2	2	2	1	1	2	מחשבים - תכנות
-	1	2	-	-	-	- מערכות ספרתיות
מעבדות ייחודיות/פרויקטים						
-	-	-	4	-	-	- מכונות חשמל
11	-	15	-	-	-	- מעבדה (בהנדסת חשמל)
9	-	-	-	-	-	- פרויקטים
מקצועות שונים:						
-	-	4	-	4	2	- אנגלית טכנית
-	4	-	4	-	-	- חינוך גופני
26	30	66	61	34	80	סה"כ שעות מגע במקצועות חובה

טבלה 2 - השוואת תכנית לימודי הסמכה בהנדסת חשמל בטכניון בשנים 1967/68 ו-1991/92
(שעות מגע סמסטריאליות)

1991/92			1967/68			הצביר
שי מעבדה	שי תרגיל	שי הרצאה	שי מעבדה	שי תרגיל	שי הרצאה	
-	11	22	-	9	18	מתמטיקה (סה"כ)
4	4	13	15	6	18	מדעים - סה"כ
4	3	10	9	4	14	- פיסיקה
-	1	3	-	-	-	- תרמודי ופיסיקה
-	-	-	6	2	4	- כימיה
						הנדסה כללי
-	-	-	3	-	1	- שרטוט טכני
-	-	-	2	-	2	- חומרים
-	-	-	2	-	3	- מכניקה טכנית
						הנדסת חשמל/בסיס
-	1	3	6	2	7	- הנדסת חשמל
-	-	-	2	2	4	- תכונות חשמליות של חומרים
-	1	3	-	2	2	- שדות
-	1	3	-	2	3	- מערכות ליני ורשתות
-	2	4	-	-	-	- התקני מוליכים למחצה
-	1	3	5	3	9	- מעגלים אלקטרוניים
-	-	-	2	-	2	- מדידות חשמל
-	-	-	-	1	2	- (מערכות) בקרה
-	-	-	-	1	2	- קווי תמסורת ומערכות מפולגות
-	1	3	-	-	-	- אותות ומערכות
-	1	4	-	-	-	- חמרת אנרגיה
-	1	3	-	-	-	- מעגלי מיתוג
-	-	-	-	1	3	- מכונות חשמל 1
2	2	2	1	1	2	מחשבים - תכנות
-	1	2	-	-	-	- מערכות ספרתיות
						מעבדות ייחודיות/פרויקטים
-	-	-	4	-	-	- מכונות חשמל
11	-	15	-	-	-	- מעבדה (בהנדסת חשמל)
9	-	-	-	-	-	- פרויקטים
						מקצועות שונים:
-	-	4	-	4	2	- אנגלית טכנית
-	4	-	4	-	-	- חינוך גופני
26	30	66	61	34	80	סה"כ שעות מגע במקצועות חובה

4. לימוד מקצועות המתמטיקה והמחשבים גדל בהיקפו. לימוד התכנות התרחב (במקום מבוא לתכנות בסוף שנות הששים נלמד מבוא למחשב - פסקל בתחילת שנות ה-90), וכן התווסף המקצוע מערכות ספרתיות.

מן הראוי לציין שאת מקומם של המקצועות ההומניסטיים בהיקף כולל של 16 שעות מגע בשנות הששים, תפסו מקצועות הבחירה החופשית (קורסים טכניים או כלליים בשטח כלשהו הנראה לסטודנט, כולל תזמורת, מקהלה, חוג דרמטי, חינוך גופני, ספורט וכו') בהיקף של כ-10 שעות מגע, בתוכנית הלימודים של 1991/92.

על מנת לקבל תמונת מצב כוללת של ההבדלים בין תוכנית לימודי הסמכה בהנדסת חשמל בטכניון בסוף שנות הששים ובתחילת שנות התשעים, נתייחס כעת למקצועות הבחירה הפקולטית, המוצעות לסטודנט בשתי התקופות.

מסתבר מהשוואת שתי תוכניות הלימוד הנ"ל, שההבדלים ביניהן במקצועות הבחירה אף עולים על ההבדלים במקצועות החובה, הן במהות הקורסים המוצעים לסטודנט והן בהיקפם.

בתוכנית הלימודים של שנת 1967/8 אנו מוצאים כ-25 מקצועות (מהם הסטודנט צריך לבחור 8): מערכות הספק ייצור ואספקה (1,2), הנע חשמלי (1,2), אותות ומערכות, מקלטים, סינתיזה של רשתות, תעשית מוצרי חשמל, מערכות כוח וחום, שימוש במחשבים, הנדסת מיתוג בקומוניקציה, פרקים בפיסיקת מצב מוצק, אלקטרוניקה פיסיקלית, רכיבים ומעגלים אלקטרוניים, מערכות תעשיתיות אלקטרוניות ובקרה, עקרונות קומוניקציה דיגיטלית, משדרים ואנטנות טלוויזיה, מיקרוגלים, רשתות אקטיביות, וכן מקצוע מאושר מלימודי הסמכה או מוסמכים בטכניון.

הקורא שם לב, לבטח, שמספר מקצועות בחירה מרשימה זו (כמו התקני מוליכים למחצה או אותות ומערכות) הוכנסו כמקצועות חובה בתוכנית הלימודים של 1991/92.

אם ניקח ממוצע של 3 שעות מגע סמסטרליות כנדרשות ללימוד קורס בחירה, הרי שעפ"י התכנית של 1967/68 הסטודנט היה צריך להשקיע סך של 24 שעות סמסטרליות במקצועות בחירה, הווה אומר, סך הכל

מספר שעות המגע בלימודי הסמכה בהנדסת חשמל בסוף שנות ה-60 היה כ-200, כלומר ממוצע של 25 שעות לימוד רשמיות (הרצאה, תרגול או מעבדה) בשבוע, בין כותלי המוסד האוניברסיטאי.

בתוכנית לימודי הסמכה של הנדסת חשמל בטכניון בשנה האקדמית 1991/92, מוצע לסטודנט מבחר של למעלה מ-50 מקצועות מהם הוא צריך לבחור 42 נקודות (3.5 שעות מגע סמסטריליות בממוצע לקורס), כלומר כ-12 קורסים (בחירה פקולטית). רוב מקצועות הבחירה האלה מחולקים לפי נושאים ל-11 קבוצות התמחות: עיבוד אות ורשתות אנלוגיים, בקרה, תורת התקשורת, טכניקות תקשורת, מיקרואלקטרוניקה ואלקטרוניקת מצב מוצק, גלים ואלקטרואופטיקה, מחשבים, מערכות הספק והתקנים אלקטרומגנטיים, אותות ומערכות ביולוגיים והתקנים ומערכות אלקטרואופטיים. הסטודנט נדרש להשלים לפחות 3 קבוצות התמחות. רשימה מפורטת של מקצועות הבחירה הפקולטית (כולל מקצועות שניתנים בדרך כלל, אך לא בשנה האקדמית 1991/92), קבוצות ההתמחות ושרשרות הקורסים המחייבים ניתנת בנספח ב' (הטכניון 1991/92).

אם נחשיב 42 נקודות הבחירה הפקולטית, כ-45 שעות מגע סמסטריליות הרי שסה"כ מספר שעות המגע בלימודי הסמכה בהנדסת חשמל בתחילת שנות ה-90 בטכניון, הוא כ-167, כלומר 83.5% מכמות השעות בשנות הששים. ההפחתה במספר שעות המגע השבועיות (מ-25 ב-1968, ל-20.8 ב-1992) אמורה לאפשר לתלמיד יותר לימוד אוטונומי שהוא בעל ערך חינוכי רב לכשעצמו, בהכשרת המהנדס להתעדכנות עצמאית בעתיד, בתחום הדינמי של הנדסת אלקטרוניקה.

3.3 הנדסת מחשבים והנדסת חשמל

לתחום המחשבים השפעה מכרעת על החינוך ההנדסי הגבוה בשטח האלקטרוניקה, הן במישור התכני-מקצועי (לטכנולוגיות ולציוד האלקטרוניים המודרניים מרכיב מיחשובי הולך ומתעצם) והן במישור הדידקטי. נחזור להשוואה של תוכנית לימודי הנדסת חשמל בימינו בטכניון וזו שהיתה נהוגה בשנות הששים. מסתבר שמקצועות המחשבים לא רק התרחבו בלימודי החובה והבחירה (יש שתי קבוצות התמחות בתחום המחשבים, קבוצה 7 ו-8, כפי שניתן לראות בנספח ב') אלא שבמסגרת הפקולטה להנדסת חשמל חוקם מסלול של הנדסת מחשבים המהווה מסגרת להכשרת בוגרים בשטח תכנון ובנית מערכות מבוססי מחשב - תוכנה וחומרה. המסגרת הלימודית משותפת לפקולטה להנדסת חשמל ולפקולטה למדעי המחשב.

למסיים מסלול זה בהצלחה מוענק תואר של "מוסמך למדעים (B.Sc.) בהנדסת מחשבים". תוכנית לימודי ההסמכה במסלול הנדסת מחשבים בטכניון לשנה האקדמית 1991/92 מובאת במלואה (קורסי חובה וקורסי בחירה) בנספח ג' (הטכניון, 1991/92).

- לסיכום ההשוואה בין תוכנית לימודי ההסמכה בהנדסת חשמל בטכניון בשנות הששים ובתחילת שנות התשעים ניתן להצביע על המגמות הכלליות הבאות:
- הפחתה בניסויי מעבדה והופעת קורסים מיוחדים לפרויקטים.
 - הגברת לימודי המתמטיקה (הורדת לימודי הכימיה).
 - הורדת מקצועות מדיסציפלינות הנדסיות קלסיות "שכנות" (מכניקה טכנית, שרטוט טכני, חומרים).
 - הגברה משמעותית של לימוד מקצועות המחשבים (כולל פתיחת מסלול נפרד ל"הנדסת מחשבים").
 - הפחתה של כ-17% בכמות שעות המגע של הסטודנט בלימודי ההסמכה בהנדסת חשמל (עם הכוונה להגברת פעילויות הלימוד העצמי של הסטודנט).
 - הפחתה בלימודים של מקצועות הומניסטיים.

בדו"ח של כח משימה המשותף של ACM/IEEE-CS (1991) לגיבוש תכניות לימודי מחשב מוגש מערך מאוחד של המלצות מטעם שתי האגודות (ה-ACM ואגודת המחשב של IEEE) להכנת קוריקולום במגוון רחב של הקשרים אקדמיים המקיפים את המדעים, ההנדסה ומדעי החברה. המסר העיקרי של הדו"ח (שתמציתו התפרסמה בעברית ב"מעשה חושב", מרס 1992) הוא בהדגשת חשיבותם של היסודות הבאים בתכניות לימודי ההסמכה במחשבים:

1. תשעה נושאים עיקריים, מהם יש לגזור את "הדרישות המשותפות" בלימודי מחשבים במסגרות הנ"ל: אלגוריתמים ומבני נתונים, ארכיטקטורה, בינה מלאכותית ורובוטיקה, מסדי נתונים ואיחזור מידע, תקשורת אדם-מחשב, חישוב מספרים וסמלים, מערכות הפעלה, שפות תכנות וכן מתודולוגיות והנדסת תוכנה.
2. שלושה תהליכים: תיאוריה הפשטה ועיצוב (theory, abstraction, design).
3. רעיונות חוזרים - מערך תפיסות החוזרות ומופיעות בכל היבטי תחום המחשבים, המיצגות רעיונות

ועקרונות מרכזיים המשמרים את תוקפם גם כאשר ה"טכניקות" משתנות.

4. ההקשר החברתי והמקצועי.

5. מתמטיקה ומדעים.

6. התנסות מעבדתית משולבת.

בדו"ח הנ"ל ממומלץ שמסלול כלשהו של לימודי הסמכה במחשבים צריך לכלול כל אחד מהיסודות הנ"ל, אם כי בהדגשים שונים בהתחשב בדיסציפלינה, ביעדי התוכנית, באוכלוסית הסטודנטים וחסגל וכן באילוצים הנובעים מהמציאות בשטח.

על מנת להשלים את תמונת ההשוואה של החינוך ההנדסי בטכניון בתחום החשמל/אלקטרוניקה בימינו לזה שהיה נהוג במחצית השניה של שנות הששים נייחד את הסעיף הבא להשוואת תוכניות הלימודים בטכניון ללימודי מוסמכים בהנדסת חשמל.

3.4 השוואת תוכנית לימודי מוסמכים בהנדסת חשמל בטכניון בשנות הששים ובתחילת שנות התשעים

בטבלה 3 מוצגים שטחי ההשתלמות (לימוד ומחקר) בלימודי מוסמכים בפקולטה להנדסת חשמל בשנה האקדמית 1967/68 ובשנה 1991/92. בשנות הששים היו 7 שטחי השתלמות, בעוד שבתחילת שנות התשעים יש 13 שטחים.

שני שטחי השתלמות שניתנו בשנות הששים כלל אינם מופיעים בתוכנית של תחילת שנות ה-90, וחם: אלקטרוניקה פיסיקלית ואלקטרודינמיקה ומיקרוגלים. עיון בהרכב הקורסים של שטחים אלה מצביע על כך שחלק נכבד מהם "ירד" ללימודי הסמכה (כמו הפיסיקה של מוליכים למחצה והתקני מוליכים למחצה), חלקם הושמטו (כמו שימוש הנדסי של הולכה בגזים) ונתפסו על ידי נושאים יותר אקטואליים ורלבנטיים בעוד שאחרים עברו רענון ושינוי בהדגשים במרכיבי התכנים הפנימיים שלהם.

טבלה 3 - שטחי השתלמות בלימודי מוסמכים בפקולטה להנדסת חשמל בטכניון
בשנים האקדמיות 1967/68 ו-1991/92

1991/92	1967/68
--	- אלקטרוניקה פיסיקלית
--	- אלקטרודינמיקה ומיקרוגלים
- המרת אנרגיה ובקרת הספק	- המרת אנרגיה
- רשתות, מעגלים וגרפים	- רשתות וגרפים
- אלקטרוניקה רפואית וראייה ממוחשבת	- מעגלים אלקטרוניים, מיכשור ואלקטרוניקה רפואית
- מחשבים ורשתות מחשבים	- מחשבים וטכניקות ספרתיות
- תורת המערכות ובקרה אוטומטית	- מערכות בקרה
- תקשורת ותורת האינפורמציה	- קומוניקציה ואינפורמציה
- תכנון בעזרת מחשב והנדסת תוכנה	
- אלקטרואופטיקה (אופטואלקטרוניקה)	
- תופעות גלים ושות	
- מיקרואלקטרוניקה ומעגלים משולבים רבי היקף (VLSI)	
- רשתות תקשורת נתונים	
- עיבוד אותות דיבור ותמונות	
- מערכות ביולוגיות	

כפי שרואים בטבלה 3, ההבדלים העיקריים בין שטחי ההשתלמות בשתי התקופות מתבטא בכך שחלו הרחבה ועדכון משמעותיים בתכנים. זאת בהיבטים הבאים:

1. תחום המחשבים מופיע בתכנים החדשים הן בצורה ישירה (כמו: מחשבים ורשתות מחשבים, תיבימ והנדסת תוכנה) והן בהקשר לנושאים אחרים (כמו ראייה ממוחשבת).

2. התחזקות תחום התקשורת (רשתות תקשורת נתונים, עיבוד אותות דיבור ותמונות).
3. הופעת המיקרואלקטרוניקה והתרחבותה (VLSI).
4. הופעת האופטואלקטרוניקה.
5. הופעת המערכות הביולוגיות.

השינויים התכניים הגדולים בשטחי ההשתלמות בין שתי התקופות מצביעים באופן דרמטי על הדינמיות הגדולה המאפיינת את חדיסציפלינה של הנדסת חשמל ובמיוחד את התחומים של הנדסת האלקטרוניקה והמחשבים.

מן הראוי לשים לב לתחליך של התמיינות נושאי מחקר בתחום האלקטרוניקה והתמסדות חלק מנושאים אלה בתוכניות הלימודים מלמעלה למטה, כלומר בתחילה מסוננים נושאי המחקר בעלי הפוטנציאל היישומי לתוכניות לימודי המוסמכים, ואלה מהם המבטיחים דומיננטיות ופוטנציה תעשייתיים בהיקף מספיק חודרים לאחר מכן לתוכניות של לימודי ההסמכה. ייתכן שניתן ללמוד מתהליך זה בקבלת החלטות בעת קביעת הרכב התכנים של לימודי ההנדסה בתחום האלקטרוניקה, אך דבר זה טעון מחקר יסודי, שלמיטב ידיעתי טרם בוצע.

3.5 השוואה של תוכניות הלימוד למנהדסי אלקטרוניקה באוניברסיטאות בארץ בתחילת שנות התשעים

אנו נתיחס לקורסים בלימודי הסמכה בפקולטות להנדסת חשמל בשלוש מוסדות אוניברסיטאיים בארץ: הטכניון, אוניברסיטת תל אביב ואוניברסיטת בן גוריון בנגב. כאמור, הטכניון הוא המוסד הותיק והמוביל בארץ בשטח של החינוך ההנדסי. יתר על כן, הוא סייע בהקמת הפקולטות להנדסה באוניברסיטאות האחרות, במיוחד באוניברסיטת בן-גוריון.

נציין את הקורסים הניתנים לסטודנטים להנדסת חשמל (הסמכה) על פי הצבירים (clusters) הבאים:

1. מתמטיקה
2. פיסיקה

- 2.א. כימיה
3. הנדסה - תיאורטי/בסיסי (חובה)
4. מחשבים
5. הנדסה - בסיסי + יישומי (בחירה פקולטית)
6. התנסות - מעבדות ופרויקטים
7. הומניסטיקה וכללי (בחירה חופשית)
8. מקצועות שונים (אנגלית, ח' גופני, כלכלה, כתיבה מדעית וכו').

בטבלה 4 מוצגים הצבירים השונים של המקצועות בקורסי הסמכה בפקולטות להנדסת חשמל בישראל, בתחילת שנות התשעים. כאמור, הרצאה שבועית במשך סמסטר אחד מקנה נקודת זכות (נ.ז.) אחת, שעת תרגיל (או מעבדה): מחצית הנקודה.

בכל השוואה בין תוכניות הלימוד בשלושת המוסדות, על פי טבלה 4, יש להתחשב בגורמים נוספים כמו העמקה בתכנים המוצגים, רמת הסטודנטים המתקבלים, רמת הסגל האקדמי, טיב ורמה של הציוד המעבדתי, הקשר עם התעשייה וכו'.

עקרונית תוכניות הלימודים בשלושת המוסדות דומות. יחד עם זאת ניתן להבחין (בהתייחס לטבלה 4) בהבדלים במשקל היחסי שכל מוסד מקנה לצבירים השונים של המקצועות:

- מספר נקודות הזכות הנדרשות להשלמת תואר B.Sc. בהנדסת חשמל באוניברסיטת בן-גוריון (209) גדולה משמעותית מאשר בטכניון (155) ובאוניברסיטת תל אביב (154). ייתכן שעומס הלימוד העצמי המוטל על סטודנט באוניברסיטת בן גוריון קטן יותר מאשר במוסדות האחרים (דבר זה לא נבדק במסגרת פרויקט זה).

- משקל המקצועות החומניסטיים והכלליים (חובה) גדול משמעותית באוניברסיטת בן גוריון (38.0 נ.ז.) מאשר בטכניון (10 נ.ז.) ובאוניברסיטת תל אביב (4 נ.ז.).

טבלה 4 - משקל (נקודות זכות - נ.ז.) של צבירי קורסים בלימודי הסמכה בפקולטות
להנדסת חשמל בישראל (1991/92)

אוניברסיטת בן-גוריון		אוניברסיטת תל אביב		הטכניון		צביר מקצועות
(%)	נ.ז.	(%)	נ.ז.	(%)	נ.ז.	
(18.2)	38.0	(14.9)	23.0	(17.7)	27.5	1. מתמטיקה
(5.7)	12.0	(12.3)	19.0	(11.0)	17.0	2. פיסיקה (כולל מעבדה)
(2.1)	4.5	-	-	-	-	2א. כימיה
(4.6)	9.5	(5.2)	8.0	(4.5)	7.0	3. מחשבים
(28.5)	59.5	(31.2)	48.0	(19.7)	30.5	4. הנדסה-תיאורטי/בסיסי (חובה)
(10.0)	21.0	(21.4)	33.0	(27.1)	42.0	5. הנדסה-יישומי/בסיסי (בחירה פקולטית)
(9.6)	20.0	(8.5)	13.0	(10.3)	16.0	6. התנסות - מעבדות ופרויקטים
(18.2)	38.0	(2.6)	4.0	(6.5)	10.0	7. חומגיסיטיקה וכללי (בחירה חופשית)
(3.1)	6.5	(3.9)	*6.0	(3.2)	5.0	8. מקצועות שונים (אנגלית, ח' גופני כלכלה, כתיבה מדעית)
(100.0)	209.0	(100.0)	**154.0	(100.0)	155.0	סה"כ

* קורסים לכלכלה

** מתשנ"ב נדרשים 152 נקודות לסיום התואר

- אחוז מקצועות הבחירה הפקולטית (מקצועות הנדסה יישומיים לרוב) בטכניון הוא הגבוה ביותר (27.1%) בהשוואה למה שמוצע לסטודנט באוניברסיטת תל אביב (21.4%) ובעיקר באוניברסיטת בן גוריון (10%).
 - משקל מקצועות הפסיקה באוניברסיטת בן גוריון נמוך יחסית (5.7%) לעומת זה הניתן באוניברסיטת תל אביב (12.3%) ובטכניון (11%).
 - רק באוניברסיטת בן גוריון נדרש לימוד הכימיה (4.5 נ.ז.).
 - אפשרויות מעטות של התנסות בעבודה על פרויקטים ניתן לסטודנט באוניברסיטת תל אביב (4 נ.ז. חובה). באוניברסיטת בן גוריון העבודה על פרויקט הנדסי נמשכת שני סמסטרים (12 שעות שבועיות) והיא מקנה 6 נ.ז.. בטכניון ניתנת אפשרות לקחת מספר פרויקטים מצומצמים (פרויקט אי - 3.5 נ.ז., פרויקט בי - 4.0 נ.ז. ופרויקט מיוחד - 4.0 נ.ז.) או פרויקט (מקיף) בתעשייה (11.5 נ.ז.).
 - בטכניון בלבד קיים מסלול מיוחד (לתואר B.Sc.) בהנדסת מחשבים.
- בנספח ד' מובאות רשימות מקצועות בחירה (1991/92) בלימודי הסמכה בהנדסת חשמל בשני המוסדות:
- I - אוניברסיטת תל אביב, II - אוניברסיטת בן גוריון בנגב.

4. השוואה של תוכנית לימודים למהנדסי אלקטרוניקה בארץ לתוכנית הלימודים

במוסד יוקרתי בארה"ב

כבסיס להשוואה בחרנו את המחלקה להנדסת חשמל ומדעי מחשב במכון הטכנולוגי של מסצ'וסטס (MIT) הנחשב למוסד אוניברסיטאי מוביל בתחומי המדע והטכנולוגיה בעולם, הן בשטח המחקר והן בשטח החינוך ההנדסיים. תחילה נציג בקצרה את תוכנית לימודי ההנדסה (הסמכה בעיקר) ב-MIT ולאחר מכן נערך את ההשוואה.

4.1 תוכנית לימודי הנדסת חשמל (הסמכה) ב-MIT (1987/88)

תוכנית לימודי ההסמכה לתואר מוסמך למדעים בהנדסת חשמל (4 שנים) ב-MIT (Massachusetts Institute of Technology) מתבססת על יסודות מוצקים של מדעי המתמטיקה והפיסיקה, כולל העמקה בעקרונות התאורטיים של התכונות המגנטיות והחשמליות של חומרים מחד והתיחסות מקיפה לבעיות יישומיות ריאליות כולל מערכות מעשה ידי-אדם ומערכות טבעיות-ביולוגיות. נושאי בחירה, מעבדות - פרויקטים ועבודת תיזה (מחקר) משלימות את התוכנית על ידי טכניקות ניתוח ספציפיות, תיכון (design) והתנסויות במגוון שטחים מקצועיים. בצמוד לכך קיימת גם תוכנית B.Sc. בהנדסת מחשבים. קיימות גם ורסיות של כל אחת מהתכניות, המשלבות לימודים עם התנסות בתעשייה, למעוניינים. על כל פנים, קיימת גמישות בתוכניות, כך שבנוסף למסגרות רוטיניות יש גם אפשרויות התאמה לתנאים/נטיות על בסיס אינדיבידואלי. התוכניות אמורות להכשיר את הסטודנטים לתעסוקה בתעשייה, במחקר או באקדמיה. התוכניות מאושרות על ידי Accreditation Board for Engineering and Technology (ABET). באמצעות שילוב מתאים של מקצועות בחירה (מעבר לקורסי החובה) יכול הסטודנט לחשמל לרכוש בסיס מוצק לקריירה באחד מענפי הנדסת החשמל בתעשייה, או להכין עצמו ללימודי מוסמכים לקראת קריירה אקדמית או מחקרית בהנדסה או בתחום אחר בהקשר הנדסי כמו פיסיקה, מתמטיקה, ניהול או מקצוע אחר ממדעי החברה.

טבלה 5 - מקצועות לימודי הסמכה בהנדסת חשמל ב-MIT (במחצית השניה של שנות ה-80)

משקל יחסי (%)	מקצועות
	דרישות מוסדיות כלליות
16.4	- מדעים
19.7	- מקצועות הומניים, אמנות ומדעי החברה (HSS)
3.3	- התנסות מעבדתית
	דרישות מחלקתיות
32.8	- מקצועות חובה
	- מבנה ופירוש של תכניות מחשב
	- מעגלים ואלקטרוניקה
	- אותות ומערכות
	- מבנים הישוביים
	- התקנים ומעגלים אלקטרוניים
	- שדות אלקטרומגנטיים ואנרגיה
	- אלקטרודינמיקה
	- משוואות דיפרנציאליות
	- תיזה
13.1	בחירה מוגבלת
	1. אחד משלושת הנושאים
	- תרמודינמיקה
	- תרמודינמיקה כימית
	- מבוא לפיסיקה קוונטית
	2. נושא אחד בקבוצה בשתיים מתוך שלוש הקבוצות:
	א. פיסיקה סטטיסטית
	- מכניקה סטטיסטית ותרמודינמיקה
	ב. תיאורית ההסתברות
	- ניתוח מערכות הסתברותיות
	- הסתברות
	- משתנים הסתברותיים ואקראיים
	ג. מתמטיקה מתקדמת
	- משתנים מרוכבים עם יישומים
	- מבוא למערכות אלגבראיות
	- אלגברה לינארית
	3. התנסות מעבדתית (מעבר לדרישות המוסדיות)
14.7	בחירה חופשית
100.0	סה"כ

בטבלה 5 מופיעה רשימה של מקצועות בלימודי הסמכה בהנדסת חשמל שנדרשו מסטודנטים שהחלו לימודיהם ב-MIT לפני ספטמבר 1986.

למרות שעקרונית תוכניות לימודי ההסמכה בהנדסת חשמל בארץ נראות דומות לזו של MIT (בשתייהן קיים גרעין של קורסי חובה במדעים, מתמטיקה, הנדסה תיאורטית-בסיסית, התנסויות מעבדתיות ומקצועות יישומיים בעיקר לבחירה) קיימים הבדלים משמעותיים בהרכב התכנים. נתיחס להבדלים בין תוכנית הלימודים של הטכניון לבין זו של MIT.

- ב-MIT מוצע מגוון גדול יותר של מקצועות ותחומים לימודיים. למשל, תוכניות ספציפיות ושילוב עבודה בתעשייה עם לימודים אוניברסיטאיים (Internship Programs), אופציה ללימודי הנדסת ביו-חשמל (Bioelectrical Engineering) והיקף גדול יותר של אפשרויות בחירה חופשית של קורסים (14.7% מסה"כ הנקודות הנחוצות לתואר ב-MIT לעומת 6.5% בטכניון, כפי שניתן לראות בטבלאות 5 ו-4 בהתאמה).

- ב-MIT מוטל על הסטודנט לבצע מחקר (תיזה) כבר בלימודי הסמכה. העבודה צריכה להיות עצמאית והאחריות לייזומה, תכנונה, ביצועה והצגתה (דו"ח + בחינה בעל פה) מוטל בעיקר על כתפי הסטודנט. פרויקט מחקרי זה מהווה כ-3.3% מסה"כ הנקודות הנחוצות לקבלת תואר ראשון בהנדסת חשמל, זאת בנוסף לביצוע פרויקטים במסגרת התנסות מעבדתית.

- נראה שהאינטרדיסציפלינריות מהווה גורם חשוב יותר ב-MIT. המוסד מצהיר מפורשות על הכוונה להקנות לסטודנטים אפשרויות של לימודי המשך וקריירה מחקרית בתחומים כמו פיסיקה, מתמטיקה, ניהול ועוד. מה שמעניין ביותר הוא, שיחד עם זאת התוכניות שלהם מאפשרות גם התמחות בתחומים תעשייתיים שונים בהנדסת חשמל. מתקבל הרושם שהם מתיחסים בהדגשה רבה לקריירות של מחקר במסגרת עבודה בתעשייה (ולאו דוקא מחקר במסגרות אקדמיות אוניברסיטאיות).

השאלה היא אם מדינה קטנה כישראל יכולה לעמוד בהוצאות הכרוכות בהפעלת תוכנית לימודים כה מקיפה ומגוונת המיושמת ב-MIT. זהו נושא לדיון במסגרת הפרויקט "אלקטרוניקה 2000".

4.2 תוכנית לימודי הנדסת מחשבים (הסמכה) ב-MIT

MIT מציעה תוכנית גם בהנדסת מחשבים לתואר ראשון. בטבלה 6 מוצגים מקצועות הלימוד בהנדסת מחשבים, במחצית השניה של שנות ה-80.

טבלה 6 - מקצועות לימודי הסמכה בהנדסת מחשבים ב-MIT (במחצית השניה של שנות ה-80)

משקל יחסי (%)	מקצועות
	זרישות מוסדיות כלליות
16.7	- מדעים
20.0	- מקצועות חומניים, אמנות ומדעי החברה (HSS)
3.3	- התנסות מעבדתית
	זרישות מהלקתיות
36.6	מקצועות חובה
	- מבנה ופירוש של תכניות מחשב
	- מעגלים ואלקטרוניקה
	- אותות ומערכות
	- מבנים חישוביים
	- אינטליגנציה מלאכותית
	- אוטומציה, מיחשוביות ומורכבות
	- מעבדה בהנדסת תוכנה
	- מבוא למערכות אלגבראיות
	- אלגברה לינארית
	- תיזה
6.7	בחירה מוגבלת
	1. אחד משני הנושאים
	- הנדסת מערכות מחשב
	- הנדסת שפות מחשב
	2. אחד מחמישה הנושאים:
	- פרדיגמות של פתרון בעיות
	- ניתוח מערכות הסתברותיות
	- מבוא לאלגוריתמים
	- ראית מכונה
	- מניפולציות עם רובוטים
16.7	בחירה חופשית
100.0	סה"כ

סה"כ נקודות הזכות שסטודנט ב-MIT מחוייב לקבלת תואר B.Sc. בהנדסת מחשבים קרוב (98.4%) למספר הנקודות הדרוש לתואר B.Sc. בהנדסת חשמל. השוואה של תוכנית הלימודים לתואר ראשון בהנדסת מחשבים ב-MIT (טבלה 6) לזו של הטכניון (נספח ג') מראה שבזו האחרונה קיימים יותר מקצועות מתחום הנדסת החשמל (כגון, מקצועות ההתמחות המוצעים לסטודנט בטכניון בתחומי התקשורת, מעגלים אלקטרוניים משולבים ובקרה). הבדלים נוספים בין שתי תכניות הלימוד לתואר ראשון בהנדסת מחשבים בטכניון וב-MIT יכול הקורא המעונין לראות על ידי עיון בנספח ג' ובטבלה 6.

5. אפשרויות להכנת תוכנית לימודי הסמכה בהנדסת חשמל

5.1 כללי

- עפ"י תוכנית הפרויקט "אלקטרוניקה 2000" (ראה נספח א') טופלו תחילה שלושה נושאים:
- (1) מיפוי תעשיות האלקטרוניקה בעולם ובישראל - מגמות כלכליות וכוונים עתידיים;
 - (2) התפתחויות בחינוך ההנדסי הגבוה בתחום האלקטרוניקה;
 - (3) איתור תחומים ונושאים (טכנולוגיות) בעלי ענין.

השלב הבא, עפ"י התוכנית הנ"ל הוא "הגדרה ראשונית של צורת ההתארגנות, שיטת העבודה לביצוע התכנית "אלקטרוניקה 2000".

לקראת שלב זה מן הראוי לבחון אופציות "ביצוע" של הכנת תכנית הלימודים. בהקשר לכך ניתן לבחור מתוך מספר אפשרויות, כמו למשל הקמת צוות או צוותי דלפי, או להתבסס גם על נושאי מחקר (בתעשייה או לתואר דוקטור) בעלי פוטנציאל יישומי. על כל פנים, מוצעת בזאת אחת האפשרויות להמשך ביצוע הפרויקט "אלקטרוניקה 2000".

5.2 מתודולוגיה לקביעה/עדכון תכנים בחינוך הנדסי גבוה - גורמים בקביעת תכנים

הכללת נושאים עקרים בתוכנית לימודי הנדסה או עדכונה, כרוכה לא רק בבזבוז משאבים מצד המערכת המכשירה והלומדים בה, אלא גם בגרימת נזק עתידי, לעתים בלתי הפיך, למערכות המעסיקות את הבוגרים, לעובדיהן ולכלל החברה.

נרשום להלן, בצורה מובנית, גורמים עיקריים בהם יש להתחשב בעת קביעת התכנים. ההחלטה לגבי המשקל של כל גורם ו/או צירופי גורמים, יכולה להיקבע במספר דרכים, למשל על ידי סקר וניתוח קיימים (בעולם ובארץ), סקר ספרות ומחקרים רלבנטיים ו/או באמצעות בניה והרצת שאלון (המתייחס לגורמים השונים) וניתוח התגובות של משיביהם, הנוגעים בדבר. הרקע התאורטי של המתודולוגיה לקביעת התכנים, וכן תוצאות של יישומה בשטח מובא במקור [Waks, 1992].

על מנת לאפשר התייחסות לכל גורם ולמגוון הצירופים ביניהם, נמיון אותם בצורה המובנית הבאה, המכונה "משפט מיפוי". כפי שניתן לראות באיור 1, מורכב משפט זה מחמש שטחות (א-ה) שכל אחת ממיינת גורם אחר.

הגורם המוצג בשטחה א' הוא "המאפיין" של הנושא אותו שוקלים לכלול בתכנית הלימודים. הנושא יכול להתאפיין ע"י מרכיב "אפקטיבי-הומני" המתקשר ליחסי אנוש, לתקשורת ושפה, הרגלים (אחריות אישית, עבודה בצוות, עמידה בלוח זמנים וכו'). הנושא יכול להיות בעל אופי "תיאורטי-מדעי" שהוא חשוב בטיפול מדענים ואנשי מחקר או בעל אופי "תשתיתי-הנדסי" המתמקד יותר במדעי היסוד של ההנדסה ובכך לשמש בסיס ללימוד נושאים אחרים. רוב הנושאים במתמטיקה, בפיסיקה, בכימיה ובמדעי המחשב וההנדסה משתייכים לאחד משני אלמנטים אלו (מספר 2 ו-3) של שטחה א'. נושא המאופיין בעיקר על ידי מרכיב יישומי-טכנולוגי יכול להיות ספציפי לשימוש מסוים וניתן בדרך כלל למימוש מהיר. למשל, טכניקות תקשורת, בקרה אלקטרונית או טכניקה ספציפית ליצור מעגלים משולבים. קיים סיכון שנושאים יישומיים מסויימים הם "סופיים" - אינם יכולים לשמש כתשתית לנושאים חדשים. לעתים קרובות הם ניתנים ללימוד באופן פרטני במקום העבודה, כך שאין הכרח ללומדם דוקא במסגרת "הפורמלית" של המערכת המכשירה.

קיימים גם נושאים ייחודיים (בעלי אופי יישומי בדרך כלל) הניתנים להכלל בתכנית הלימודים במידה והרשויות המוסמכות מחליטות לפתח תחומי הנדסה ייחודיים כמו למשל מערכות מכ"ם או מיכשור רפואי בתחום הטומוגרפיה.

שטחה בי מתיחסת להיבט לגביו הנושא הנדון הוא בר-לימוד, כלומר באיזו מידה קיים סיכוי שבוגר ההנדסה יוכל ללמוד את הנושא בכוחות עצמו, עם או בלי סיוע מוסדי. מידה זו של למידות הנושא נקבעת על ידי מגוון של גורמים כמו זמינות חומרי למידה רלבנטיים, משך הזמן הנדרש ללימוד הנושא, היקף הידע הקודם הנדרש, רמת הקושי בלימוד הנושא או מידת האוטו־דיקטיות הדרושה ללימוד הנושא.

האלמנטים בשטחה ג' מתיחסים למועד המשוער שבו עשוי הנושא הלימודי להתממש בשטח: בטווח הקצר או הארוך.

בשטחה ד' מוצגים גורמים (כוחות מניעים) המביאים להכללת הנושא בתכנית הלימודים, כפי שהם נגזרים ממגמות בהתפתחות בתחומים שונים של חיי האדם, אם זה הכלכלה, החברה, האקולוגיה או צרכים בטחוניים (צבאיים).

השטחה האחרונה ("משאבים") מתיחסת למשאבים אותם צריך להשקיע (המימסד/או הלומד) על מנת לגרום ללימוד של הנושא. כאן מדובר לא רק על ציוד וכוחות הוראה אלא גם על זמנו של הלומד.

לפיכך, אחד ההיגדים עפ"י משפט המיפוי באיור 1, מתקבל על ידי צירוף אלמנט מס. 3 משטחה א' ואלמנט מס. 1 מכל אחת משאר השטחות, הוא:

מידת החיוניות שבה יש לכלול, בתוכנית לימודי הנדסה, נושא המאופיין בעיקר ע"י מרכיב "תשתיתי-הנדסי" (א3) ובר-למידה (לאחר החסמכה) מבחינת "זמינות" (ב1) וכן בעל פוטנציאל מימוש "מיידיו" (ג1), כפי שבא לידי ביטוי במגמות ההתפתחות ובגורמים מניעים בתחומי "הכלכלה" (ד1) וכרוך בהשקעת משאבים "מימסדיים" (ה1) היא (←) "גבוהה מאד" או "נמוכה מאד" - תלוי בהחלטת המשיב.

אם נרצה להתייחס לנושא יישומי-טכנולוגי (א4) בעל אותם מאפיינים נותרים (כלומר ב', ג', ד', וה') נקבל היגד בהתאם. מספר האפשרויות הוא רב. מתכנן תוכנית הלימודים יבחר את אותם ההיגדים הרלבנטיים ביותר למטרות תכנית החכשרה.

צורת ההצגה הנ"ל של הגורמים היא מובנית אך לא סגורה: ניתן להוסיף שטחות וכן אלמנטים בכל שטחה (או לחילופין להשתמש באלמנט "אחר" לציון תכונה כלשהי שלא נכללה מלכתחילה בשטחה).

המטרה העיקרית של צורת ההצגה הנ"ל היא לתודד את אפשרויות ההבחנה בין הגורמים השונים לפיהם נקבע אם לכלול נושא בעל מאפיינים נתונים בתכנית הלימודים, אם לאו.

5.3 מגמות בחינוך מהנדסי אלקטרוניקה בארץ

מן הראוי שבסיום סקירת ההתפתחות של חינוך מהנדסי אלקטרוניקה בעולם ובארץ תינתן תשומת לב למגמות של התפתחות זו בארץ, תוך התחשבות בשני הנושאים האחרים שכבר טופלו בשלבים הקודמים של המחקר, דהיינו "תעשית האלקטרוניקה בעולם ובישראל - מגמות כלכליות וכיוונים עתידיים" (ד"ר א. שמעוני), ו"איתור תחומים ונושאים בעלי עניין" (ד"ר ז. בוגן וא. פרנקל).

למעשה הדו"ח של מוסד נאמן, Engineering Education 2001 שתמציתו התפרסמה בירחון האגודה האמריקאית לחינוך הנדסי - ASEE (Tadmor et al., 1987) מטפל בסוגיה זו של כוונים רצויים של התפתחות החינוך ההנדסי לקראת המאה הבאה. נראה שההתפתחויות במדעים ובטכנולוגיה בשנים האחרונות, לרבות בשטחי תעשית האלקטרוניקה, מחזקות היבטים רבים מההמלצות הכלולות בדו"ח זה (Engineering Education 2001).

לאור האמור לעיל ובהתבסס על חומר הרקע שנצטבר בשלושת השלבים הראשונים של פרויקט "אלקטרוניקה 2000" (ראה נספח א') נצביע על הכיוונים העיקריים במגמות ההתפתחות של חינוך מהנדסי אלקטרוניקה בארץ.

- הדגש והרחבה של מקצועות התשתית המדעיים/הנדסיים:

- * מתמטיקה (כגון, שיטות נומריות, סטטיסטיקות לא-לינאריות, אפרוקסימציה, אופטימיזציה ושימוש בחבילות תוכנה באלגברה סימבולית וקלקולוס).
- * מדעי הטבע, במיוחד פיסיקה (כגון, מכניקה קוונטית, מצב מוצק, תרמודינמיקה ופיסיקה סטטיסטית, אלקטרואופטיקה).

* הנדסת אלקטרוניקה - מקצועות בסיס (כגון, שדות אלקטרומגנטיים, אותות ומערכות, התקני מוליכים למחצה).

ההרחבה הנ"ל של מקצועות התשתית יכולה להתבצע על חשבון צמצום הלימוד של סטרוקטורות של מערכות אלקטרוניות (להתרכז בעיקר על הבסיס הפונקציונלי במקום על המבנה, למשל, להתמקד ב"הגברה" ולא ב"מגברים" ביסודות ה"אפנון" ולא ב"מאפננים"). מבחינת הסטרוקטורה ניתן להסתפק בדוגמא מודרנית המייצגת טכנולוגיה חדשנית.

- השתלטות הגורם המיחשובי:

להופעת המחשב יש השפעה מכרעת על האופי של תחום האלקטרוניקה. זאת בשני מישורים:

א. **המישור התכני** - טכנולוגית המחשבים (חומרה) היא בעיקרה טכנולוגיה אלקטרונית, כך שתכני הלימוד בהנדסת אלקטרוניקה כוללים נושאים רבים מתחום המחשבים (למשל מיקרופרוססורים למיניהם).

ב. **המישור האופרטיבי** - המחשב ככלי ניתוח, תכנון ובקרה (תב"מ אלקטרוניקה).

מהפכת האינפורמציה והשתכללות שיטות האינטראקציה מחשב-אדם האיצו את חדירתו של המחשב ככלי עבודה בתחומים רבים מאוד בתעשייה, בשרותים ובאקדמיה (כגון מערכות מומחה, אינטליגנציה מלאכותית, גרפיקה, תיכון, ייצור, ניהול ותקשורת - תקשוב).

יש להניח שעם הזמן אחוז הסטודנטים בהנדסת אלקטרוניקה, המביאים אתם אוריינות מחשבים מלימודים והתנסויות טרום אקדמיות, ילך ויגדל ואז ניתן יהיה להקדיש את הזמן של לימוד שפת תכנות כמו פסקל (כמקצוע חובה), לנושאים מיחשוביים מתקדמים יותר כמו מערכות הפעלה, ארגון ופענוח מבני תוכנה ו/או שפת תכנות מתקדמת יותר (C למשל).

על כל פנים נושאי מיחשוב בשני המישורים הנ"ל חייבים להכליל בתוכנית הלימודים.

יעול ההעמקה וההרחבה של מקצועות לימוד, הן במדעים (כולל מתמטיקה) והן בהנדסה, יכול להתאפשר תוך ניצול הכוח המיחשובי. זאת על ידי חסכון בהשקעת זמן לימוד של חישובים מיגיעים ו/או בהרכבת מעגלי ניסויים במעבדה (שחלקם יוחלף על ידי סימולציות).

- הדגשת עבודה בפרויקטים

- הגורם האינטרדיסציפלינרי של עבודת המהנדס בא לידי ביטוי בצורה המוחשית ביותר בעבודה על פרויקט, במיוחד במסגרת פרויקט קבוצתי. לפרויקט יש בדרך כלל מאפיין "הדדיות" במספר מישורים:
- א. במישור הדיסציפלינרי - אם זה בין דיסציפלינות הנדסיות (כמו חשמל ומכונות), בין הנדסה ומדעים, בין שיקולים הנדסיים ושיקולים סוציולוגיים (למשל, שקולי אקולוגיה).
 - ב. במישור יחסי אנוש - עבודה בצוות.
 - ג. במישור שלבי הפעילות ההנדסית: תיכון, ייצור, הערכה (ומעבר לכך, כמו שיקולי שוק, תמחיר, אבטחת איכות ותחזוקה).
 - ד. במישור הארגוני - ניחולי.

עבודת פרויקט, תוך שיתוף פעולה עם התעשייה מהווה גורם ראשון במעלה לגישור בין האקדמיה לתעשייה לתועלת כל המעורבים בכך, בראש וראשונה הסטודנט עצמו. פעולה זו עשויה לקצר את זמן השתלבות הבוגר בתעשייה ולהעשיר את גוף הידע ההנדסי הן באקדמיה והן בתעשייה.

תעשיית האלקטרוניקה הישראלית כבר בשלה לשיתוף פעולה מחייב עם האקדמיה בחינוכו של המהנדס. זאת לא רק במסגרת עבודות בפרויקטים אלא גם במישורים נוספים כמו ועדות תוכניות לימודים משותפות, נספחים ומנחי פרויקטים מהתעשייה באוניברסיטאות ומעורבות אנשי הסגל האקדמי בפעילות בתעשייה. מן הראוי שיוקצו לשיתוף פעולה כזה המשאבים הנאותים.

עבודה בפרויקטים יכולה גם לשמש מנוף לביסוס פעילויות התיכון ההנדסי כישות דיסציפלינרית מוגדרת ומוכרת בתוכניות לימודי הנדסה. אמצעי המיחשוב המודרניים יכולים לשמש זרז בכיוון זה. חלק מהזמן הנחוץ לעבודה בפרויקט יבוא על חשבון זמן ביצוע ניסויי מעבדה מוכתבים וחלק אחר מזמנו האישי של הסטודנט (זאת בתנאי שהפרויקט יהווה אתגר בר-השגה לסטודנט).

- הארגון של המקצועות הלא טכניים/מדעיים:

- א. סל מובנה (בחירה מוגבלת) של מקצועות הומניסטיים מתחומים של מדעי החברה, הפילוסופיה, האתיקה, בעיות ממשק חברה-טכנולוגיה (כגון אקולוגיה, היבטים אתיים ומוסריים של הנדסה גנטית).
- ב. מקצועות תקשורת - תיעוד ממוחשב, תקשורת בין-אישית (מילולית ובכתב) בעברית ובאנגלית כולל חילופי מידע בדואר אלקטרוני ומיומנויות לאיתור ושלילת אינפורמציה ממאגרי מידע ממוחשבים. אנגלית כשפה.
- ג. מקצועות רלבנטיים להנדסה: מושגי יסוד בכלכלה, בשיווק וב-TQM על מנת לאפשר שפה משותפת עם אנשי מקצוע מחדסיציפלינה האחרת ו/או השתלבות בצוותי פרויקטים.

מפאת חשיבותם של מקצועות לא-טכניים אלה בעבודתו של מהנדס האלקטרוניקה, מוצע בזאת לכלול אותם במסגרת מקצועות החובה.

- קידום הלימוד העצמי

קידום כושר הלימוד העצמי של הסטודנט להנדסת אלקטרוניקה עשוי להוות גורם מפתח להתקדמות ולעתים אף להשרדות מקצועית בעתיד. הקניית כושר זה צריכה להיות שזורה לאורך כל תכנית הלימודים. דבר זה יכול להתבצע באמצעות יצירת תנאים שיאפשרו לסטודנט ללמד חלק משמעותי מהתכנים (המדעיים וההנדסיים) בכוחות עצמו תוך ניצול אמצעי התיקשוב הקבילים כבר כיום ואיפשוך נגישות יעילה למאגרי מידע. כמות לומדות המחשב במגוון נושאים המדעיים וההנדסיים הולכת וגדלה - יש לנצל את הקיים ולפתח חומרי למידה באמצעות המולטימדיה המתפתחת בתחום זה. יש לכלול במודע, בין המשימות המוטלות על הסטודנט, לימוד עצמי של נושאים חדשים, טכנולוגיות חדשות (מתוך ירחונים מקצועיים) ולהרצות אודותם בפני עמיתיהם, כולל חלוקת תקציר רלבנטי בכתה. מובן מאליו שבעבודה בפרויקט יש הזדמנויות (ולעתים כורח) ללמד נושאים ממשקיים באופן אישי. מוצע להוריד את מספר שעות המגע הפרונטליות (הרצאות של הסטודנט בכ-20%-15 מהמקובל בטכניון כיום), לרכז יותר את עבודת המרצה להכוונת הסטודנטים ללימוד עצמי. יש בימינו ערוצים נוספים, לזה של ההרצאה, להעברה יעילה של מידע מדעי והנדסי.

- עידוד לימודים אינטרדיסציפלינריים:

מטרה זו ניתן לקדם על ידי:

- * איפשר לימודים לתואר בשתי דיסציפלינות, למשל הנדסת חשמל והנדסת מכונות (בדומה למסלול הנדסת מחשבים בפקולטה לחשמל בטכניון) או הנדסת חשמל ופיסיקה.
- * הקמת צוותי פרויקטים ממספר דיסציפלינות.
- * חיוב הסטודנט לבחור מספר קבוצות התמחות - כנהוג בטכניון, בו מחוייב הסטודנט לבחור בשלוש קבוצות התמחות (ראה נספח ב').
- * הקפדה על הכללת נציגים ממגוון מקצועות ודיסציפלינות בועדת ההוראה של קורסי ההנדסה השונים.
- * הוספת קבוצות התמחות אינטרדיסציפלינריות בבחירה הפקולטית, בהקשרים דיסציפלינריים שונים למשל להנדסת מכונות (מכטרוניקה, רובטיקה) או לביוטכנולוגיה.

- הרכב יחסי של גופי הידע בהכשרת מהנדס האלקטרוניקה

בדו"ח מוסד נאמן שהוזכר לעיל (Tadmor et al. 1987) מוצעת החלוקה היחסית הבאה (באחוזים) של נקודות הזכות בלימודי תואר ראשון בהנדסה (הטור הימני - 1987, בטבלה 7).

טבלה 7 - חלוקה יחסית של נקודות זכות בלימודי הסמכה בהנדסת אלקטרוניקה

1992	1987	
30%	30-35%	א. מתמטיקה ומדעי הטבע
35%	35-40%	ב. מדעי ההנדסה
15%	15-20%	ג. תיכון (Design) וטכנולוגיות מחשבים
20%	10%	ד. מקצועות הומניים, מדעי החברה, תקשורת ואנגלית

לאור הניתוח של ההדגשים השונים בתוכנית הלימודים של מהנדס האלקטרוניקה בסעיפים הקודמים של פרק זה, מוצע בזאת לאמץ את החלוקה היחסית הנ"ל עם שינויים קלים (הגדלת החלק היחסי של סעיף ד') כמפורט בטור השמאלי של טבלה 7.

הפירוט של המקצועות השונים ייקבעו ע"י ועדות ההוראה תוך התחשבות בגורמים הכלליים והמקומיים. מומלץ להשתמש בגישה שיטתית, בקביעה הסופית, אם לכלול נושא מסוים בתוכנית הלימודים (למשל במתודולוגיה המוצעת בתחילת הפרק (ראה "משפט מיפוי להכללת נושא בתוכנית לימודים בחנדסה", המוצג באיור 1).

- לימודי הנדסת אלקטרוניקה מעבר לתואר ראשון

לימודי הסמכה מיועדים להקנות למהנדס האלקטרוניקה תשתית ידע במדעים, בהנדסה ובמקצועות פריפריאליים עליה הוא אמור לבסס את המשך לימודיו במטרה להישרד ולהתקדם כבר סמכא בעבודתו המקצועית. היות וחלק ארי של גופי הידע באלקטרוניקה נמצא בתהליך תמידי של שינויים והתחדשות, המהנדס חייב ללמוד ולהתעדכן כל הזמן. ערוצי ההתעדכנות העיקריים הם:

א. **התעדכנות תוך כדי עבודה** והשלמת נושאים רלבנטיים (תיאורטיים בעיקר) באמצעות יוזמות עצמאיות של לימוד אוטונומי (כולל גם השתתפות בכנסים מקצועיים, מדי פעם). ערוץ זה מתאים לטיפוס האוטודידקט, שהוא די נדיר, ומן הראוי לספק תמריצים ועידוד (ע"י המעביד בעיקר) להולכים בו. יחסית זו דרך לא יקרה להתעדכנות ומבוצעת לרוב בעיקר על חשבון המהנדס האינדיווידואלי. קיימת כאן סכנה של ספציאליזציה יתר על פי צרכים עכשוויים בעבודה.

רצוי לעודד טיפוס כזה של מהנדס לנצל חומרי למידה (עצמית) מרחוק, דוגמת יחידות לימוד של האוניברסיטה הפתוחה ו/או חבילות לומדה המופצות לאחרונה בשוק. זאת בנוסף לחומרי הלמידה המופצים על ידי יצרני החומרה והתוכנה למיניהם.

ב. **לימודי המשך שלא לתואר גבוה**: זאת במסגרת קורסים המאורגנים במפעל או באוניברסיטה (טכניון), בלי המחויבויות הכרוכות בלימודי מוסמכים רשמיים. ערוץ זה הוא די גמיש ובכל זאת מהווה מסגרת המסייעת ללומד להתעדכן בפרקי זמן קצובים ולמנוע, במידה מסוימת, התבדרות או התמוססות ההתעדכנות. גם כאן ניתן להשתמש (בנוסף) באמצעי הלימוד שהוזכרו בסעיף הקודם.

ג. השתלמות במסגרת לימודי תואר שני

לימודי מוסמכים לקראת תואר שני בהנדסת חשמל מתבצעים במסגרת מוגדרת של זמן וברמה גבוהה המצריכה השקעת מאמצים ומחויבות מצדו של המשתלם. תוכניות הלימוד של לימודי מוסמכים (הקורסים, ובעיקר עבודת התיזה) מיועדות לחביא את המשתלם לחזית הידע בתחומים מסויימים באלקטרוניקה על הקשריהם הממשקיים, אם זה בהנדסת מחשבים או שטח אחר. בעוד שבלימודי הסמכה מקבל הסטודנט בסיס לרוחב הדיסציפלינות ההנדסיות יכול המשתלם בלימודי מוסמכים להתמחות ולהתעמק בתחום מסוים. בתעשית ה-High-Tech באלקטרוניקה, קיימת דרישה למהנדסים חוקרים בעלי תואר שני לפחות.

יש אוניברסיטאות טכניות המקיימות רצף לימודי הנדסת אלקטרוניקה לתואר ראשון ולתואר שני, הנמשך סך הכל 5 שנים (למשל אוניברסיטת קורנל בארה"ב). אפשרות זו נשקלת גם במוסדות לתוך הנדסי גבוה במקומות אחרים בעולם. המתנגדים לגישה זו טוענים שלאחר הענקת הבסיס הרחב בלימודי הסמכה, צריך לאפשר לבוגר התנסות ו"טעימה" במספר תחומי מקצוע בשדה כך שבחירתו להתמחות בשטח מסוים תהיה יותר תקפה ואמינה. במקרה כזה רכישת מיומנויות הניהול הבסיסיות (שנדרחה מלימודי הסמכה ללימודי מוסמכים) תהיה גם יותר משמעותית. טעון זה נראה הגיוני ומתאים במיוחד לחלק גדול של מהנדסי אלקטרוניקה הנקלטים בתעשייה. נראה שתוכנית הרצף הנ"ל עשויה עם זאת לחתאים למהנדסי מחקר ובמיוחד לאלה מביניהם המתעתדים לעסוק במסגרות מחקר באקדמיה.

על כל פנים, מן הראוי שתהיה גמישות בחירה בלימודים לתואר שני בהנדסת אלקטרוניקה יחד עם המסגרת שהיא אדמיניסטרטיבית בעיקרה (ואמנם מצב זה קיים ברוב המקרים). הבחירה מתרכזת בעיקר סביב החיבור של עבודת המגיסטר, כאשר גם קורסי הלימוד נבחרים על ידי המשתלם בהתאם לנושא החיבור. למשל, בפקולטה להנדסת חשמל בטכניון (בתשנ"ב) יכול המשתלם בעל תואר ראשון בהנדסת חשמל או בהנדסת מחשבים ללמוד לקראת תואר "מגיסטר למדעים בהנדסת חשמל" על ידי צבירת 19 נקודות זכות בקורסי מוסמכים וביצוע עבודת מחקר או פרויקט הנדסי. מטבע הדברים, הפרויקט ההנדסי יכול להיות קשור לנושאים בהם הוא מועסק בתעשייה, בשטח ספציפי מסוים. עבודת המחקר (תיזה) היא בעלת אופי תאורטי יותר. המשתלם יכול גם להגיע לתואר מגיסטר (בעל אופי כללי יותר) לאחר צבירת 27 נקודות והגשת עבודת גמר. יש חרואים באופציה של ביצוע פרויקט הנדסי במסגרת לימודי המגיסטר, מנוף להידוק

הקשר בין התעשייה והאקדמיה, במיוחד באותם פרויקטים בהם מעורבות התעשייה היא משמעותית.

בדרך כלל קיימות בארץ תכניות לימודי מוסמכים גם לסטודנטים שאינם בוגרי הנדסת חשמל או מחשבים, כמו למשל לימודים לקראת "מגיסטר למדעים טכניים" או "מגיסטר למדעים". תוכניות אלו מחייבות את המשתלם לחשלים סדרה של קורסים על פי הנתונים הספציפיים של רקע המשתלם ותוכנית לימודי המגיסטר.

למותר לציין שללמודי תואר גבוה מתקבלים סטודנטים בעלי השגים נאותים (למשל ממוצע ציונים של 82 לפחות), בלימודי תואר ראשון. לימודים לתואר שלישי בהנדסת חשמל (דוקטור למדעים) מיועדים בארץ (כבחור"ל) למספר מצומצם של חוקרים שהצטיינו בשטח התמחותם.

לסיכום, לאור סיום שלושת השלבים הראשונים של תכנית המחקר (נספח א') פתוחה הדרך לעבור לשלב הרביעי, כלומר לתכנון שיטת העבודה, התקציב ושלבי ההתארגנות לביצוע בתכנית "אלקטרוניקה 2000".

- ACM/IEEE-CS Joint Curriculum Task Force (Feb. 1991). *Computing Curricula, 1991*. (Order Number: 201910).
- Committee on the Education and Utilization of the Engineer (1985). *Engineering Education and Practice in the United States - Foundations of Our Techno-Economic Future*, Commission on Engineering and Technical Systems, National Research Council, National Academy Press, Washington D.C.
- E C TEMPUS (1990/91), *TEMPUS VADEMECUM*, Commission of the European Communities, Task Force Human Resources, Education, Training and Youth, EC TEMPUS Office, Brussels 45, Rue de Treves, B-1040, Brussels.
- Finniston, Sir Monty (1985). Engineering the Future, *Int. J. Appl. Engng. Ed.* Vol. 1. No. 1. pp.3-9.
- Harris, James G. (1987a). Report for the National Science Foundation Workshop on Undergraduate Education in Electrical Engineering, *Proceedings Frontiers in Education (FIE) 17th Annual Conference*, Lawrence P. Grayson, Joseph M. Biedenbach (eds.), IEEE, ASEE, pp. 569-581.
- Harris, James, G. (1987b). A 21st Century IEEE Curriculum Structure, *Proceedings Frontiers in Education (FIE) 17th Annual Conference*, Lawrence P. Grayson, Joseph M. Biedenbach (eds.), IEEE, ASEE, pp. 82-89.
- Hartley, M.G. (1988). Trends in Electrical Engineering Education - a 25-year Retrospective, *Int. J. Elect. Engng. Ed.* Vol. 25, pp. 209-217.
- Kosinsky, V. de, (1989). COMETT - Community Action Programme for Education and Training for Technology in the European Community, *Proceedings, World Conference on Engineering Education for Advancing Technology*, University of Sydney, The Institution of Engineers, Australia, Vol. 2, pp. 551-555.
- Nord Deutscher Verbund (1991). *ndv News*, BAP-Bremer Ausbildungspartneschaft, Bibliothekstr. (MZH), D-2800, Bremen 33, Deutschland.
- Ruterbar, R.A. et al. (1991). *A New ECE Curriculum for Carnegie Mellon*. Electrical and Computer Engineering Department, Carnegie Mellon University, Pittsburgh, PA 15213.
- Synthesis Coalition, *Synergy*, (Newsletter), 445 Engineering and Theory Center, Cornell University, Ithaca, N.Y. 14853.(Fax: 607-254-8888).

Tadmor, Z., Kohavi, Z., Libai, A. Singer, P., Kohn D. (Nov. 1987). Engineering Education 2001, *Engineering Education*, pp. 106-124.

Waks, S. (1992). Curriculum Design - from an art towards a science, TEMPUS Publication (in print).

הטכניון, קטלוג למודי הסמכה - תשנ"ב, 1991/92.

הלשכה המרכזית לסטטיסטיקה (הלמ"ס), פרסומי מפקד האוכלוסין וחדיוור 1983, קטלוג פרסומי הלמ"ס,

1984.

ACM/IEEE - תכניות לימודי מחשב 1991, מעשה חישוב, מרס 1992.

נספח א: תכנית המחקר המקורית של פרויקט "אלקטרוניקה 2000"

מטרת תכנית המחקר היא להכין את הרקע מבחינת הנתונים הכלכליים, מבחינת ההתפתחויות הטכנולוגיות ומבחינת סקירת החינוך הטכנולוגי הגבוה, לקראת הצעת פרויקט "אלקטרוניקה 2000".

המחקר יעסוק בארבעה נושאים שיטופלו בהתאם ללוח הזמנים הבא:

1. מיפוי וריכוז נתונים בסיסיים לגבי תעשית האלקטרוניקה בארץ ובעולם, נושא שהוחל בו בראשית חודש אפריל 1991.
2. תחינוך הגבוה בארץ ובעולם להכשרת כוח אדם מקצועי בתחום האלקטרוניקה והמחשבים. נושא זה יטופל במשך כששה חודשים החל מתחילת חודש אוקטובר 1991.
3. בחירת מספר טכנולוגיות מפתח לבחינה מדוקדקת. לצורך זה יוקמו צוותי חשיבה משותפים לתעשייה, האקדמיה והממשלה. נושא זה מתחיל למעשה בראשית חודש יולי 1991, ויימשך כששה חודשים.
4. הגדרה ראשונית של ההתארגנות, שיטת העבודה והתקציב לביצוע התכנית "אלקטרוניקה 2000". שלב זה שיסיים את תכנית המחקר יתחיל בינואר 1992 ויסתיים שלושה חודשים לאחר מכן.

נספח ב: מקצועות בחירה בלימודי הסמכה בהנדסת חשמל בטכניון (1991/92)

הי-הרצאה, תי-תרניל, מי-מעבדה, נקי-נקודות, סמסי-סמסטר

הי	תי	מי	נקי	סמסי	
2	1	—	3.0	א+ב	גלים ומערכות מפולגות 044148
—	—	4	4.0	א+ב	פרויקט מיוחד 044170
—	—	—	11.5	א+ב	פרויקט בתעשייה 044171
—	—	—	4.0	א+ב	נושאים מתקדמים בהנדסת חשמל 1 044180
2	1	—	3.0	א	אנליזה של רשתות ומעגלים 044181
—	—	—	4.0	א+ב	נושאים מתקדמים בהנדסת חשמל 2 044182
2	1	—	3.0	א	סינטזה של רשתות מסיביות 046184
2	1	—	3.0	—	תכן מסננים פסיביים 046186
2	1	—	3.0	א	תכן מעגלים אנלוגיים 046187
2	1	—	3.0	ב	תכן מסננים אקטיביים 046189
3	1	—	4.0	א+ב	מערכות בקרה 1 044191
2	1	—	3.0	א+ב	מערכות בקרה 2 044192
—	—	2	2	א+ב	מעבדה לבקרה לינארית 044193
2	1	—	3.0	ב	בקרה לא לינארית 046196
2	1	—	3.0	א	שיטות חישוביות באופטימיזציה 046197
2	1	—	3.0	א+ב	מבוא לעיבוד ספרתי של אותות 044198
2	1	—	3.0	א+ב	אותות אקראיים 044202
2	1	—	3.0	א	תקשורת אנלוגית 046204
2	1	—	3.0	א+ב	מבוא לתקשורת ספרתית 046206
2	1	—	3.0	—	מבוא לתורת הצפינה 046207
2	2	—	3.5	א	מערכות המעלה 046209
3	—	—	3.0	ב	הנדסת מיתוג בתקשורת 044211
3	—	—	3.0	א+ב	טכניקות קליטה ושידור 044214
2	1	—	3.0	ב	מיקרוגלים 046216
3	—	—	3.0	א	פיסיקה של מוליכים למחצה 046224
2	1	2	4.0	א+ב	התקנים אלקטרוניים 1 (MOS) 044231
2	1	—	3.0	—	התקנים אלקטרוניים 2 (כיטלריים) 046234
2	1	—	3.0	ב	התקני מיקרוגל אקטיביים 046236
2	1	—	3.0	א	מעגלים משולבים — מבוא ל-VLSI 046237
1	—	4	3.5	א	מעבדת תהליכים במיקרואלקטרוניקה 044238
2	1	—	3.0	א	מכניקה קוונטית 046241
2	1	—	3.0	ב	תופעות גלים 046244
2	1	—	3.0	א	מערכות אלקטרואופטיות 046249
2	1	—	3.0	א	אנטנות וקרינה 046256
2	1	—	3.0	א+ב	תכן לוגי 044262
3	1	—	3.5	א+ב	ארגון ומעטח של מבני תכנה 046263
—	—	2	4.0	א+ב	מערכות תכנה 044264
—	—	4	3.0	—	פרויקט במערכות תכנה 044265
2	1	—	3.0	ב	שיטות הידור (קומפילציה) 046266
2	1	—	3.0	א+ב	מבנה מחשבים ספרתיים 046267
3	1	—	4.0	—	מבני אינטרמציה 044268
2	1	—	3.0	—	תורת המיתוג המתקדמת 046276
3	—	—	3.0	א	התקנים אלקטרומגנטיים 044281
3	—	—	3.0	—	מתקני מתח גבוה ונמוך 046282
3	—	—	3.0	ב	מכונות חשמל 046283
2	1	—	3.0	א	מערכות הספק 1 044284
2	1	—	3.0	ב	מערכות הספק 2 046286
2	1	—	3.0	א	הנע חשמלי 044287
3	—	—	3.0	א	מכשור אלקטרוני 044294
3	—	—	3.0	ב	אלקטרוניקת הספק 044299
2	1	—	3.0	—	מודלים חישוביים 046302
3	—	—	3.0	—	שימושי המצב המוצק באלקטרוניקה 046307
2	1	—	3.0	א+ב	מבוא לאותות ומערכות ביולוגיים 046326
2	1	—	3.0	—	סיבוכיות של חישובים אלגבריים 046330

ה'	ת'	מ'	נק'	סמס'	
2	1	-	3.0	-	046331 בקרת מערכות מיזולוגיות
2	1	-	3.0	א	046332 מערכות ראייה ושמיעה
2	1	-	3.0	א	046334 רשתות תקשורת נתונים
2	1	-	3.0	א+ב	044339 אלקטרואופטיקה
2	1	-	3.0	ב	044340 תכן רכיבים ומערכות אופטיים
2	1	-	3.0	-	044345 עיבודים גרמיים במחשב
-	-	4	3.0	א	044347 מעבדה בעיבודים גרמיים
2	-	-	2.0	-	046753 מערכות מיתוג אמינות
2	1	-	3.0	א	046773 התקני מוליכים למחצה
2	1	-	3.0	א	אלקטרואופטיים לגילוי
2	1	-	3.0	א+ב	044800 מיקרומחשבים
2	1	-	3.0	א	046851 לייזרים של מוליכים למחצה והתקנים
2	1	-	3.0	א	מוטוניים משולבים

קבוצות התמחות

רוב מקצועות הבחירה הפקולטיים מויינו לפי נושאים ל-11 קבוצות התמחות. כל סטודנט חייב להשלים לנחות שלוש קבוצות שונות כאחד התנאים לקבלת התואר מוסמך בהנדסת חשמל. נדרשים 3 מקצועות להשלמת כל קבוצה. 3 הקבוצות נדרשות להיות זרות, כלומר לכלול 9 מקצועות שונים. השלמת קבוצה פרושה: לימוד המקצוע או המקצועות המוגדרים כמחייבים בתוכה ועוד מקצועות אחרים (מתוך רשימת המקצועות שבקבוצה) עד להשלמת 3 מקצועות.

- עבוד אות ורשתות אנלוגיים
046187 תכן מעגלים אנלוגיים
044294 מכשור אלקטרוני
044181 אנליזה של רשתות ומעגלים
046189 תכן מסננים אקטיביים
046184 סינטזה של רשתות פסיביות
046186 תכן מסננים פסיביים
046237 מעגלים משולבים - מבוא ל-VLSI

המקצועות המחייבים: אחד מבין 046187, 044294 ואחד מבין 044181, 046189.

2. בקרה

- 044191 מערכות בקרה 1
- 044192 מערכות בקרה 2
- 044193 מעבדה לבקרה ליטארית
- 046196 בקרה לא ליטארית
- 046197 שיטות חישוביות באופטימיזציה
- 044198 מבוא לעיבוד ספרתי של אותות
- 044202 אותות אקראיים
- 086755 בקרה אוטומטית של כלי טיס
- 086759 מערכות נוט והנחיה

המקצועות המחייבים הם: 044191, 044192.

3. תורת התקשורת

- 044202 אותות אקראיים
- 046204 תקשורת אנלוגית
- 046206 מבוא לתקשורת ספרתית
- 046207 מבוא לתורת הצמינה
- 046216 מיקרוגלים
- 044148 גלים ומערכות ממלגות
- 046256 אנטנות וקרינה
- 046334 או - 236335 רשתות תקשורת נתונים

המקצועות המחייבים הם: 044202 ואחד משני המקצועות הבאים: 046204 או 046206.

4. טכניקת תקשורת

- 044148 גלים ומערכות ממלגות

- 046286 מערכות הסמך 2
 - 044287 הנע חשמלי
 - 044299 אלקטרוניקת הסמך
- המקצועות המחייבים הם: 044284 או 044281.

- 10. אותות ומערכות ביולוגיים
- 046326 מבוא לאותות ומערכות ביולוגיים
- 046331 בקרת מערכות ביולוגיות
- 046332 מערכות ראיה ושמיעה
- 336302 תורת הזרימה במערכת מחזור הדם
- 044148 גלים ומערכות מפלגות
- 044198 מבוא לעיבוד ספרתי של אותות
- 044294 מיכשור אלקטרוני
- 134010* ביולוגיה למהנדסים 1

המקצועות המחייבים הם: 046326 ואחד משלושת המקצועות הבאים: 046331, 046332, 336302.

* לסטודנטים המעוניינים ללמוד קורס זה, מומלץ לקחתו כקורס ראשון וקבוצת ההתמחות.

- 11. התקנים ומערכות אלקטרואופטיים
- 044339 אלקטרואופטיקה
- 044148 גלים ומערכות מפלגות
- 114210 אופטיקה
- 046244 תופעות גלים
- 046241 מכניקה קוונטית
- 046249 מערכות אלקטרואופטיות
- 044340 תכנ רכיבים ומערכות אופטיים
- 046773 התקני מוליכים למחצה אלקטרואופטיים לגילוי
- 046851 לייזרים של מוליכים למחצה והתקנים מטוניים משולבים

המקצועות המחייבים הם: 044339 ואחד מבין: 114210, 044148.

- 04 אותות אקראיים
- 04 טכניקות קליטה ושידור
- 04 תכנ מעגלים אנלוגיים
- 04 מבוא לעיבוד ספרתי של אותות
- 04 הנדסת מיתוג בתקשורת
- 04 מיקרוגלים
- 04 אנטנות וקרינה
- 04 או - 236335 רשתות תקשורת נתונים

צועות המחייבים הם: 044148 ואחד משני המקצועות הבאים: 044214 או 044214.

- ייקרואלקטרוניקה ואלקטרוניקת מצב מתק
 - 04 התקנים אלקטרוניים 1 (MOS)
 - 04 מעגלים משולבים - מבוא ל-VLSI
 - 04 מכניקה קוונטית
 - 04 מעבדת תהליכים במיקרואלקטרוניקה
 - 04 מיסיקה של מוליכים למחצה
 - 04 התקנים אלקטרוניים 2 (ביומלריים)
 - 04 התקני מיקרוגל אקטיביים
 - 04 שמושי מצב מוצק באלקטרוניקה
 - 04 התקני מוליכים למחצה אלקטרואופטיים לגילוי
 - 04 לייזרים של מוליכים למחצה והתקנים מטוניים משולבים
- הצועות המחייבים הם שניים מבין: 044231, 046237, 046241.

- גלים ואלקטרואופטיקה
- 04 גלים ומערכות מפלגות
- 04 תופעות גלים
- 04 מיקרוגלים
- 04 התקני מיקרוגל אקטיביים
- 04 מכניקה קוונטית
- 04 אנטנות וקרינה
- 04 אלקטרואופטיקה
- 04 תכנ רכיבים ומערכות אופטיים
- 04 לייזרים של מוליכים למחצה והתקנים מטוניים משולבים

הקצועות המחייבים הם: 044148, 046244.

7. מחשבים

- 0462 ארגון ומענה מבני תכנה
- 0442 תכנ לוגי
- 0462 מערכות המעלה
- 0442 מערכות תכנה
- 0461 שיטות חישוביות באופטימיזציה
- 0442 מרויקט במערכות תכנה
- 0462 שיטות הידור
- 0462 מבנה מחשבים ספרתיים
- 0442 מבני אינפארמציה
- 0462 או - 236276 תורת המיתוג המתקדמת
- 0463 או - 236335 רשתות תקשורת נתונים
- 0443 עיבודים גרמיים במחשב
- 0443 מיקרומחשבים
- 2341 אנליזה נומרית 1
- 2342 אלגוריתמים בתורת הגרמים
- 2363 מערכות קבצים ותקשורת

בוצה זו תחשב כקבוצה אחת או כשתי קבוצות. המקצועות המחייבים הם: 0442 או 046263 ואחד משני המקצועות הבאים: 046209, 044264 או 234118.

בוצה בודדת תמנה 4 מקצועות; קבוצה כפולה תמנה 7 מקצועות.

- מערכות הסמך והתקנים אלקטרומגנטיים
- 04423 מערכות הסמך 1
- 04422 התקנים אלקטרומגנטיים
- 04622 מתקני מתח גבוה ונמוך
- 04621 מכוונות חשמל

נספח ג': לימודי הסמכה במסלול להנדסת מחשבים (במסגרת הפקולטה

חשמל) בטכניון (1991/92)*

I. מקצועות חובה

ה'-הוצאה, ת'-תרגיל, מ'-מעבדה, נק'-נקודות

ה'	ת'	מ'	נק'	סמסטר 1
4	2	—	5.0	104010 חדו"א 1מ'
4	2	—	5.0	104016 אלגברה 1 מורחב
				או —
4	1	—	5.0	104167 אלגברה לינארית א'
3	1	—	3.5	114071 פיסיקה 1מ'
2	2	2	4.0	234111** מבוא למדעי המחשב
4	—	—	3.0	324012 אנגלית טכנית
—	2	—	1.0	394901 חינוך גופני
17	9	2	21.5	

* סטודנטים של מדעי המחשב יקחו "אלגברה לינארית א'" (104167).
 ** סטודנט שלקח "מבוא למחשב - פסקלי" (234110) לא יחוייב לקחת את המקצוע "מבוא למדעי המחשב".
 לתכנית זו מומלץ להוסיף, אם אפשרי, מתמטיקה דיסקרטית (במקום בסמסטר 3).

ה'	ת'	מ'	נק'	סמסטר 2
2	1	—	3.0	044145 או - 234145 מערכות ספרתיות
2	1	—	2.5	104133 או - 104134 אלגברה לינארית ח'
4	2	—	5.0	104011 חדו"א 2מ'
2	1	—	2.5	104131 משוואות דיפ. רגילות ח'
4	1	—	4.5	114072 פיסיקה 2מ'
2	2	—	4.0	234118 ארגון ותכנות המחשב
—	—	2	1.0	114032** מעבדה פיסיקלית 1ח'
—	2	—	1.0	394901 חינוך גופני
16	10	2	23.5	

* סטודנט שלמד "אלגברה לינארית א'" (104167) חייב לקחת "אלגברה מודרנית ח'" (104134).
 ** סטודנט שלקח "מעבדה פיסיקלית 1" (114032) יהיה פטור מ"מעבדה פיסיקלית 1ח'".

ה'	ת'	מ'	נק'	סמסטר 3
3	1	—	4.0	044105 הנדסת חשמל מ'
2	1	—	2.5	104214 טורי מוריה והתמרות אינטגרליות
2	1	—	2.5	104215 מונקציות מרוכבות
2	1	—	2.5	104216 משוואות דיפ. חלקיות
—	—	2	1.0	114033 מעבדה פיסיקלית זח'
3	1	—	3.5	114073 פיסיקה זח'
2	1	—	3.0	234144 מתמטיקה דיסקרטית
14	6	2	19.0	

ליספח 2: 2

• סטודנט שלקח "מעבדה פיסיקלית 2" (114082) יהיה פטור מ"מעבדה פיסיקלית זח'".

ה'	ת'	מ'	נק'	סמסטר 4
4	2	—	5.0	044126 התקני מוליכים למחצה
3	1	—	4.0	044130 אותות ומערכות
2	1	—	2.5	104024 מבוא להסתברות
3	2	—	4.0	094440 מבוא להסתברות מ' או —
3	1	—	4.0	234218 מבני נתונים 1
2	1	—	3.0	234246 אלגוריתמים בתורת הגרפים

ה'	ת'	מ'	נק'	סמסטר 5
14/	5/	—	18.5/	
15	6	—	20.0	
3	1	—	4.0	044142 מעגלים אלקטרוניים לינאריים
3	1	—	4.0	044147 מעגלי מיתוג אלקטרוניים
2	1	—	3.0	044262 תכנ' לוגי
2	—	2	3.5	234119 או - 046209 מערכות הפעלה

ה'	ת'	מ'	נק'	סמסטר 6
—	—	4	3.0	044151 מעבדה להנדסת חשמל זח'
2	1	—	3.0	046267 מבנה מחשבים ספרתיים

ה'	ת'	מ'	נק'	סמסטר 7
2	1	4	6.0	
2	1	—	3.0	236364 מבנה מערכות הפעלה
—	—	4	3.5	044168 פרויקט א' או —
—	—	4	3.0	044265 פרויקט במערכות תכנה או —
—	—	4	3.0	234301 מעבדה בעיבוד נתונים ה' או —
—	—	4	3.0	234302 מעבדה בקומפילציה ה' או —
—	—	4	3.0	234326 או - 044347 מעבדה בעיבודים גרפיים או —
2	1	—	3.0	236364 מבנה מערכות הפעלה או —
—	—	4	3.0	236502 מעבדה באינטליגנציה מלאכותית מ' או —
—	—	4	3.0	236503 מעבדה בתכנות מתקדם

6.0/ 4 1 2
6.5

• את "פרויקט א'" ניתן לקחת כבר בסמסטר 6, במקביל ל"מעבדה להנדסת חשמל זח'".

ה'	ת'	מ'	נק'	סמסטר 8
—	—	4	4.0	044169 פרויקט ב'
—	—	4	3.0	234303 מעבדה במערכות הפעלה ה' או —
—	—	4	3.0	236366 מעבדה במערכות הפעלה מ'

7.0 8 — —
• סטודנט שלקח את "פרויקט א'" בסמסטר 6, יוכל לקחת את "פרויקט ב'" בסמסטר 7.

מקצועות בחירה

מקצועות בחירה מומלצים מויינו ל-8 קבוצות התמחות. כל סטודנט חייב להשלים לפחות שתי קבוצות שונות. השלמת קבוצה פרושה לימוד המקצועות המחייבים בקבוצה ומקצועות נוספים מתוך הרשימה עד להשלמת שלושה מקצועות לפחות. שתי קבוצות תיחשבה כשונות אם הן כוללות לפחות 6 מקצועות שונים. יתר מקצועות הבחירה ניתנים לבחירה מאוסף כל המקצועות הניתנים ע"י הפקולטה להנדסת חשמל והפקולטה למדעי המחשב ומקצועות נוספים באישור היועץ.

רשימת הקבוצות

1. נושאים תיאורטיים במדעי המחשב
 - 234292 לוגיקה למדעי המחשב 1
 - 236310 תורת השמות המורמליות
 - 236313 תורת הסיבוכיות
 - 236343 תורת החישוביות
 - או -
 - 046302 מודלים חישוביים
 - 236353 אוטומטים ושפות פורמליות
 - 236506 קריפטולוגיה מודרנית
 - 236515 נושאים מתקדמים בתורת הצפינה
 - 236701 הוכחת נכונות של תכניות
 - 236711 תורת המשמעות של שפות תכנות

המקצועות המחייבים: 236353 ואחד מבין 236343 או 046302.

2. מבנה מחשבים

- 044800 מיקרומחשבים
- 046237 מעגלים משולבים - מכוא ל-VLSI
- 046276 או - 236276 תורת המיתוג המתקדמת
- 046334 או - 236335 רשתות תקשורת נתונים
- 236354 תכנון מעגלי VLSI
- 046753 או - 236753 מערכות מיתוג אמיתות
- 048845 או - 236845 אלגוריתמים מבזורים ברשתות מחשבים 1
- 048850 מערכות אריתמטיות במחשבים
- 236507 מודלים מתמטיים של מערכות מקבילות
- 236509 נושאים מתקדמים במבנה מחשבים
- 236702 מיקרו-תכנות

3. תכנות מתקדם

- 046263 ארגון ופענוח מבני תכנה
- 044347 או - 234326 מעבדה כעיבודים גרפיים
- 234220 שיטות תכנות אינטראקטיביות
- 236319 שפות תכנות
- 234325 או - 044345 עיבודים גרפיים במחשב
- 236343 תורת החישוביות
- או -
- 046302 מודלים חישוביים
- 236353 אוטומטים ושפות פורמליות
- 236360 תורת הקומפילציה
- או -
- 046266 שיטות הידור (קומפילציה)
- 234302 מעבדה בקומפילציה ה'
- 236501 מכוא לאינטליגנציה מלאכותית
- 236702 מיקרו-תכנות
- 236716 גיאומטריה חישובית במערכות תיב"ם
- 236717 הנדסת תכנה בעדה (ADA)

המקצועות המחייבים: 236353 ואחד מבין 236360 או 046266.

4. תורת התקשורת

- 044198 מכוא לעיבוד ספרתי של אותות
- 044202 אותות אקראיים
- 044211 הנדסת מיתוג בתקשורת

- 046204 תקשורת אנלוגית
- 046206 מכוא לתקשורת ספרתית
- 046207 או - 236309 מכוא לתורת הצפינה
- 046334 או - 236335 רשתות תקשורת נתונים
- 236334 רשתות תקשורת למחשבים
- 048733 תורת האינפורמציה
- 236506 קריפטולוגיה מודרנית
- 048845 או - 236845 אלגוריתמים מבזורים ברשתות מחשבים 1

המקצועות המחייבים: 044202 ואחד מבין 046206 או 046204.

5. תכנות מדעי

- 234107 אנליזה נומרית 1
- 236301 תכנות דינמי
- 236320 אנליזה נומרית 2
- 236330 מכוא לאופטימיזציה
- או -
- 046197 שיטות חישוביות כאופטימיזציה
- 236336 מתרון נומרי של משוואות די.פ. חלקיות

המקצועות המחייבים: 234107 ואחד מבין 236330 או 046179.

6. מעגלים אלקטרוניים משולבים

- 044141 שדות אלקטרומגנטיים
- 044148 גלים ומערכות מולנות
- 044231 התקנים אלקטרוניים 1
- 044800 מיקרומחשבים
- 046187 תכן מעגלים אנלוגיים
- 046234 התקנים אלקטרוניים 2
- 046236 התקני מיקרוגל אקטיביים
- 046237 מעגלים משולבים - מכוא ל-VLSI
- 046773 התקני מוליכים למחצה אלקטרואופטיים לגילוי

המקצועות המחייבים: 044231 ו-046237.

במסגרת קבוצת התמחות זאת יוכלו סטודנטים מצטיינים לבצע פרויקט במעגלים משולבים כמעבדה למיקרו-אלקטרוניקה (מקצוע קדם א' צמוד לפרויקט הוא 046237).

7. עיבוד נתונים

- 094113 ניהול הייצור
- 094591 מכוא לכלכלה
- 094821 חשבוטאות פיננסית וניהולית
- 236322 מערכות קבצים
- 234301 מעבדה כעיבוד נתונים ה'
- 236363 מערכות מסד נתונים

המקצוע המחייב: 236322.

8. בקרה

- 044191 מערכות בקרה 1
- 044192 מערכות בקרה 2
- 044202 אותות אקראיים
- 046196 בקרה לא ליטארית
- 046197 שיטות חישוביות כאופטימיזציה
- או -
- 236330 מכוא לאופטימיזציה
- 044198 מכוא לעיבוד ספרתי של אותות

המקצוע המחייב: 044191.

נספח ד' I. מקצועות בחירה בלמודי הסמכה בהנדסת חשמל (1991/92) באוניברסיטת

תל-אביב*

מספר הקורס	שם הקורס	נ.ז.	דרישות קדם	שעות מגע ש ת מ	ניתן בסמס'
טכניקות תקשורת					
0512.4651	מערכות תקשורת (חובה)	3	אותות אקראיים ורעש	3 1	6
0512.4614	מעגלי תקשורת	3	מעגלים אלקטרי אנלוגיים	3 1	6
0512.4656	העברת ספרי של אותות	3	מבוא לעיבוד ספרתי של אותות.	3 1	7
0512.4657	מערי מיתוג בתקשורת	3	מערכות מיתוג	3 1	8
0512.4750	מעבדה מתקדמת לתקשורת	2	מערכות תקשורת	- - 3	8
בקרה					
0512.4644	מבוא לבקרה לינארית מודרנית	3	מבוא לתורת הבקרה	3 1	7
0512.4647	מבוא לבקרה ספרתית (חובה במסלול)	3	מבוא לבקרה לינארית מודרנית	3 1	7
0512.4645	מערי בקרה ותקשורת לא לינאריות	3	מבוא לתורת הבקרה	3 1	8
0512.4646	מערי משוב שימושיות	3	מבוא לתורת הבקרה	3 1	8
0512.4740	מעבדה מתקדמת לבקרה	2	מבוא לבקרה לינארית מודרנית מעבדה בבקרה	- - 3	8
התקנים אלקטרוניים					
0512.3620	התקני מצב מוצק (חובה במסלול)	3	מיקרואלקטרוני	3 1	8/6
0512.4623	מבוא לליזרים	3	תמסורת גלים אלקטרי פיסיקלית	3 1	7
0512.4665	אינטגרציה בקנה מידה נרחב (VLSI)	2	מיקרואלקטרוניקה מבוא למחשבים ספרתיים	3 - -	7
0512.4723	שפופרות אלקטרוניות למיקרוגלים	3	תמסורת גלים	3 1	8
0512.4724	התקני מצב מוצק למיקרוגלים	3	תמסורת גלים	3 1	7
0512.4727	מיקרו אלקטרוניקה בשכבות דקות	3	מבוא לאלקטרוניקה פיסיקלית	3 1	8
0512.4726	מעבדה מתקדמת להתקנים	2	מיקרו-אלקטרי	- - 3	7

ניתן בסמטי	שעות מעג ש ת מ	דרישות קדם	נ.ז.	שם הקורס	מספר הקורס
תמרת אנרגיה					
				מערי ליטאריות	0512.4679
8/6	- 1 3	מבוא לאלקטרוניקה	3	הספק (חובה במסלול)	
8/6	- 1 3	תמרת אנרגיה	3	אלקטי של מעגלי	
8/6	- 1 3	הספק: תמרת אנרגי	3	הניג חשמלי	0512.3673
				(חובה במסלול)	
				משרות משוג	0512.4646
				שימושויות	
8	- 1 3	מבוא לתורת הנקרה	3	רובוטיקה תעשיות	0571.4142
8	- 2 2	תמסורת גלים	2	אלקטרוידנימיקה של	0512.4680
7	1 3	תמרת אנרגיה	3	תנוד בתנועה	
				מעבדת מתקדמת	0512.4762
8	- 3 -		2	בתמרת אנרגיה	

ניתן בסמטי	שעות מעג ש ת מ	דרישות קדם	נ.ז.	שם הקורס	מספר הקורס
6	- 1 3	תמסורת גלים	3	תמסורת גלים	0512.4620
8/6	- 1 3	מיקרואלקטרוניקה	3	מיקרואלקטרוניקה	0512.3620
7	- 1 3	אלקי פסיקולית	3	תמסורת גלים	0512.4623
8	- 1 3	תמסורת גלים	3	תמסורת גלים	0512.4630
				מבוא לאופטיקה	0512.4725
				מודרנית	
7	- 1 3	מבוא לאופטיקה	3	מבוא לאופטיקה	0512.4727
8	- 1 3	מבוא לאופטיקה	3	מבוא לאופטיקה	0512.4721
8	- 2 -	מודרנית ואלקטי	2	מבוא לאופטיקה	

בנוסף לעיל, על התלמיד להשתתף בקורסי בחירה ובמעבדות מתקדמות עד למסכת הנקודות הדרושה לקבלת התואר.
 התלמידים המסיימים את לימודיהם היינים להשלים מכסה של 154 נ.ז. (מתלמידים שהחלו לימודיהם בתשי"ב נדרש להשלים מכסה של 152 נ.ז.)

זרינה וגלים					
6	- 1 3	תמסורת גלים	3	מבוא למיקרוגולים	0512.3626
7	- 1 3	מבוא למיקרוגולים	3	(חובה במסלול)	0512.4626
7	- 1 3	מבוא למיקרוגולים	3	אנטנות וקרינה	0512.4627
8	- 1 3	תמסורת גלים	3	רכיבי מיקרוגולים	0512.4630
				תופעות ופזור	
				גלים (חובה במסלול)	
8	- 1 3	תמסורת גלים	3	שפופרות אלקטרוניות	0512.4723
7	- 1 3	מיקרואלקטרוניקה	3	למיקרוגולים	0512.4724
8	- 3 -	תמסורת גלים	3	חקיני מעב מוצק	
				למיקרוגולים	0512.4722
				מעבדת מתקדמת	
				למיקרוגולים	

מערכות חספ					
6	- 1 3	תמסורת גלים	3	בעיות טכנו-כלכליות	0512.3674
7	- 1 3	תמרת אנרגיה	3	של מערכות חספ**	0512.4674
7	- 1 3	בעיות טכנו-כלכליות	3	תפעול מערכות חספ	0512.4675
8	- 1 3	של מעי חספ	3	בתנאים א-נורמליים**	
				תכנון ותפעול אופטי	0511.5678
				של מערכות חספ**	
7	3	תמרת אנרגיה	3	רכיבים במערכות	
				חלוקה	0511.5734
				מבוא לחסתברות	
				וסטטיסטיקה	
7	- 3	תמרת אנרגיה	3	מערכות חספ	

נספח ד' (המשך): II. מקצועות בחירה בלמודי הסמכה בהנדסת חשמל (1991/92)

באוניברסיטת בן גוריון רשימת מקצועות בחירה - לימודי הסמכה - שנים ג' - ד'

מס' מקצוע	שם המקצוע	שעות הרצאה	שעות תרגיל מעבדה	שעות סה"כ שעות	משקל	מקצוע צמוד	מקצוע קדם רחב שמיטה*	מספיק
20112041	מבנה אינפורמציה	4	-	1	5	4.5		
20112051	אוטומטים ושפות פורמליות	4	-	-	4	4	20117021	
20112061	עקרונות קומפילציה	4	-	1	5	4.5	20112051+20112041	
20112081	תכנון אלגוריתמים	4	-	-	4	4	20112041	
20112121	תורת האלגוריתמים	4	-	-	4	4		
20112181	אנטליגנציה מלאכותית	4	-	-	4	4	20110201+20112041	
20112211	מערכות טרמחה	3	-	-	3	3	20112181	
36113121	מכשור אלקטרוני	3	-	-	3	3.0	36113071	
36113141	התקנים אלקטרומגנטיים	3	-	-	3	3.0	36113011	
36113151	עקרונות תורת המדידה	3	-	-	3	3.0	36112021	
36113171	מבוא לשיטות חישוביות 1	3	-	-	3	3.0	36112021	
36113181	תורת רשתות לא ליניאריות ופרמטריות	3	-	-	3	3.0	36112011	
36113241	המרת אנרגיה 2	3	-	-	3	3.0	36113031	
36113261	מבוא לאלקטרוניקה תעשייתית	3	-	-	3	3.0	36111021+36112011	
36113281	מבוא לשיטות חישוביות 2	3	-	-	3	3.0	36113171	
36113551	הנדסת אמינות	3	-	-	3	3.0	20110131	
36113581	מבוא לבקרה	3	-	-	3	3.0		
36113641	מדידות ורכיבים מגנטיים בהנדסת חשמל	3	-	-	3	3.0	36113011+36112011	
36114051	מיקרו-גלים	3	-	-	3	3.0	36113011	
36114081	מדלים בתכנון מערכות	3	-	-	3	3.0	36113541	
36114091	מבוא להנדסה אלקטרואופטית	3	-	-	3	3.0	36113081 36113321	
36114151	מערכות הספק 1	3	-	-	3	3.0	36113241 36113011	
36114161	מערכות הספק 2	3	-	-	3	3.0	36114151	
36114181	מערכות הפעלה	3	-	-	3	3.0	36114231	
36114191	מבנה מחשבים ספרתיים	3	-	-	3	3.0	+36113201 3613353	
36114211	מיתוג מתקדם	3	-	-	3	3.0	36113131	
36114231	תכנות מערכות	3	-	-	3	3.0	36113201 3613353	
36114251	מערכות מכ"ם	3	-	-	3	3.0	36113061	
36114261	ייצור מעגלים משולבים	3	-	-	3	3.0	36114271	
36114271	טכנולוגיה של מליכים למחצה	3	-	-	3	3.0	36112041	
36114281	הנדסת אינפרא-אדום	3	-	-	3	3.0	6113081 36113221	
36114291	מערכות ניהוג תיזוט	3	-	-	3	3.0		
36114491	התפשטות גלים	3	-	-	3	3.0	36113011	
36114501	תקשורת אגלוגית	3	-	-	3	3.0	36113221	
36114551	מיקרוורסטורים הקפיים	3	-	-	3	3.0	36114191	
36114561	ממירי DC/DC ממתגים	2	-	2	4	3.0	36113581+36113541	

* מתוך קטלוג למודי הסמכה, 1991/92 שנתון לשנת הלימודים תשנ"ב 1991/90, אוניברסיטת בן גוריון בנגב.

רשימת מעבדות - לימודי הסמכה - שנה ד'

מס' מקצוע	שם המקצוע	שעות הרצאה	שעות תרגיל מעבדה	שעות סה"כ	מקצוע מקצוע קדם	מקצוע מקצוע קדם	מספיקה שמיטה*
סמסטר א' - ב'							
36114373	מעבדה לאלקטרוניקה תעשייתית -	-	4	4	2.0	36113261	
36114513	מעבדה לבקרה	-	4	4	2.0	36113581	
36114623	מעבדה לתקשורת	-	4	4	2.0	36113221	
36114693	מעבדה למיקרו-מחשבים	-	4	4	2.0	36113353+36114191	
מתקדמת							
36114883	מעבדה לעיבוד אותות ותמונות	-	4	4	2.0	36113321	
36114893	מעבדה להנדסת קרינה	-	4	4	2.0	36114281+36114091	
36114903	מעבדת מכשור התקנים ומעגלים	-	4	4	2.0	36113043	

* מספיקה שמיטה מתווספת רק למקרה שהסטודנט השתתף בשיעורים נכון ונכשל.

רשימת מסצעות בחירה - לימודי הסמכה - שנים ג' - ד' (המשך)

מס' מקצוע	שם המקצוע	שעות הרצאה	שעות תרגיל מעבדה	שעות סה"כ	מקצוע מקצוע קדם	מקצוע מקצוע קדם	מספיקה שמיטה*
36114571	דימוי מערכות	3	-	3	3.0		
36114581	הנע חשמלי	3	-	3	3.0	36113031	
36114591	אנטנות	3	-	3	3.0	36113011	
36114611	תקשורת ספרתית	3	-	3	3.0	36113221 36113061	
36114641	אלקטרוניקה ביו-רפואית	3	-	3	3.0	36113071	
36114651	אותות ביו-אלקטריים	3	-	3	3.0	36113061+36113321	
36114661	תורת הרשתות הליניאריות	3	-	3	3.0	36113321	
36114671	תכנון רשתות	3	-	3	3.0	36113321	
36114681	מבוא לחתקני חספק גבוה	3	-	3	3.0	36113011	
36114701	תקשורת אופטית	3	-	3	3.0	36113221+36114281	
36114721	סינון ספרתי	3	-	3	3.0	36113321	
36114731	בקרה ליניארית	3	-	3	3.0	36113581	
36114741	בקרה לא ליניארית	3	-	3	3.0	36113321	
36114751	מבוא לעבוד ספרתי של תמנות	3	-	3	3.0	36114781	
36114771	רכיבי ומעגלי מיקרוגל חדישים	3	-	3	3.0	36113081	
36114781	עבוד ספרתי של אותות	3	-	3	3.0	36113321	
36114801	טכנולוגיות של מתח גבוה ובידוד	3	-	3	3.0	20312391	
36114831	ניתוח מעגלים ומערכות בעזרת מחשב	3	-	3	3.0	36113071	
36114841	פיתוח מערכות מיקרו-מחשבים	3	-	3	4.0	36113353+36114191	
36114851	תכנון ויישום מעגלי VLSI	3	-	3	3.0	36113021	
36114871	שנאים, עקרונות, תכנון ושימוש	3	-	3	3.0	36113031+36112011	
36114881	בקרת מערכות בדידות ליניאריות	3	-	3	3.0	36113581	

* מתוך קטלוג למודי הסמכה, 1991/92 שנתון לשנת הלימודים תשנ"ב 1991/90, אוניברסיטת בן גוריון בנגב.