

הצהרה בענייני הוראה

פרופ"ח אבינעם קולודני

ההוראה שלי נמשכת ברציפות כ-35 שנים, מתוכן כעשרים שנות פעילות במו"פ תעשייתי, אשר בהן שימשתי כמורה נלווה בטכניון. גם במסגרת התעשייה, בחברת אינטל, התעניינתי בפיתוח אנשים ולא רק בפיתוח טכנולוגיה: בתקופה מסוימת ניהלתי את מחלקת ההדרכה של החברה בישראל, שזכתה אז בציון לשבח בתחרות הפרס הלאומי לאיכות בהדרכה. בשנת 2000 חזרתי להיות חבר סגל בהיקף מלא בטכניון, מתוך הכרה שחינוך מהנדסים הוא המשימה החשובה ביותר שיש לי עניין להשקיע בה מאמץ.

מטרות

הכשרת הסטודנטים בטכניון נתפסת בעיני כהליך של פיתוח כח אדם איכותי ומנהיגות טכנולוגית, לטובת המדינה ולמען החברה. בכל שלבי דרכי המקצועית נוכחתי לראות מקרוב ובאופן אישי כיצד שילובים של השכלה, חדשנות, תושיה ויוזמה הפכו את הארץ למדינת היי-טק, וכיצד החינוך הטכנולוגי שימש מנוף להצלחה ברמה אישית, ארגונית, לאומית ועולמית. המטרה הכללית של ההוראה שלי היא להעביר את התפיסה הזאת לסטודנטים, ולדרבן אותם לסקרנות, להבנה עמוקה, לחשיבה ביקורתית ויצירתית.

מטרות אלה אינן קלות להשגה אצל הדור הנוכחי של הסטודנטים, היות ומדובר בדור צעיר שנולד וגדל דוקא בסביבה עתירת טכנולוגיה. דברים רבים, אשר נראו כחידושים מופלאים ומסקרנים בעיני דור ההורים שלהם, נתפסים בעיניהם כשגרתיים וצפויים, ואינם מסעירים אותם כלל. בקורסים רבים בטכניון, ובודאי במערכת החינוך היסודי והתיכון, יש נטייה להעמיס עליהם ידע בצורה של תוצאות סופיות, על מנת "להספיק לכסות את כל חומר הלימוד". אין די זמן לחשוף אותם לדרך המפותלת שבה הושגו התוצאות הללו, לקשיים שעמדו בפני החוקרים והמפתחים, לספקות ולהשערות שהיו להם, וכן גם למגבלות של טכנולוגיות קודמות. להוראה מסוג זה יש סיכוי לדכא כל נטייה לסקרנות, יצירתיות והתלהבות מטכנולוגיה, במיוחד אם הקורס כולל תירגול שהוא בעצם אימון בהפעלת שיטות בדוקות, ותרגילים ובחינות שיש בהם תמיד תשובה נכונה אחת ויחידה. כדי להשיג את המטרה נחוצות שיטות הוראה שיציגו לסטודנטים אתגר אינטלקטואלי וייצרו מוטיבציה חיובית. אפרט להלן את השיטות שלי בהקשר למטרות ספציפיות של שני קורסים שאני מלמד.

פרשיות לימודים ודוגמאות:

יסודות התקני מוליכים למחצה

אני מלמד את הקורס כבר כעשרים שנה, פעם אחת בלבד בשנה על מנת למנוע שחיקה. הובלתי בו שינויים רבים בתכנים ובשיטות במהלך הזמן, וזכיתי לשיתוף פעולה נפלא של מרצים עמיתים ודורות רבים של אסיסטנטים, שבלעדי האכפתיות שלהם הדברים לא היו אפשריים. זהו קורס חובה בקבוצות גדולות (למעלה מ-100 סטודנטים), אחד הקורסים הפקולטיים הראשונים שהסטודנטים פוגשים, ומהווה חשיפה ראשונה לתחום האלקטרוניקה. מכאן נגזרות המטרות הספציפיות שלי בהוראת הקורס: שהסטודנטים יבינו את הפיסיקה של חמרים מוליכים למחצה ויכירו דרכים לבנות מהם התקנים אלקטרוניים שימושיים, שיפתחו יכולות חשיבה הנדסית (הגדרת בעיה הנדסית, שימוש במודלים, קירובים והזנחות), ויתרגלו לחשוב על יישומים אפשריים של כל תופעה. בשנת 2010 הוגדל הקורס בנקודה אחת ונוספו לסילבוס שלו גם יסודות הפיסיקה הסטטיסטית. בהרצאות אני מרבה בשאלות אל הסטודנטים ומפתח שיחה. לאורך כל הקורס אני מציג את ההיסטוריה של התחום ואת הרלבנטיות של כל נושא לאירועים ויישומים (דוגמאות: פיתוח גלאי רדאר ממל"מ לצרכי מלח"ע השנייה, המצאת הטרנזיסטור בשנה שבה קמה מדינת ישראל, ההשפעות הכלכליות של מעגלים משולבים על העולם, טרנזיסטור MOS והמהפכה הדיגיטלית שהוא איפשר, המעבר לצילום דיגיטלי, תאים סולריים, תאורת LED).

גירסה של הקורס בהוראה עם לוח וגיר צולמה ב-1998 והיא מאד פופולרית עד היום. בהמשך מצאתי דרך לשלב גרפים, תמונות, סימולציות, ואנימציות עם כתיבה ידנית של פיתוחים מתמטיים ושרבוטים חפשיים, על ידי שימוש במצגת עם מסך מגע ועט אלקטרוני. רוב השקופיות מכילות כותרות ותמונות בלבד, ורוב שטחן ריק ומשמש לכתיבה בזמן ההרצאה. הסטודנטים מצטיידים בתדפיס של השקופיות האלה ורושמים עליהם בזמן ההרצאה. אני מאמין ששימוש בשקופיות מלאות המכילות את כל החומר ואת כל הביטויים המתמטיים נוטל את העוקץ מההרצאה, הופך את הסטודנטים לפסיביים וגורם להם להתנתק, ורק נותן להם אשלייה ש"כל החומר בידיהם".

בשנת 2002 הכנסתי לשימוש בקורס את מערכת "מתנט", שפותחה אז בפקולטה למתמטיקה בטכניון, כפלטפורמה לתרגילי ביית ושיעורי הכנה בקורס מל"מ. שיעורי ההכנה נותנים לסטודנטים הגדרות, חומר רקע ומבוא מוטיבציוני לקראת ההרצאות. המערכת מחייבת אותם (תמורת בונוס קטן בציון) לשמור על משמעת לימודים ולבצע את ההכנה לפני ההרצאה בכל שבוע. תרגילי הביית הם חובה על בסיס שבועי, ניתנים לכל סטודנט באופן אישי (כדי לצמצם העתקות) ובלוח זמנים מחייב שהמערכת מאפשרת לקיים אותן. המערכת מספקת משוב מיידי לסטודנטים על הצלחתם בתרגילים, ואינה מאפשרת להם לצבור פיגור בהגשתם.

בנוסף לתרגילים אלה יש בקורס תרגילי תכנות בשפת MATLAB אשר תכליתם העיקרית היא פיתוח מיומנויות תכנות וחישוב בשיטות נומריות לטובת קורסי המשך, והם עוזרים לתת לסטודנטים תחושה כמותית ותובנות על מל"מ. על פי רוב התרגילים האלה מצומצמים בהיקפם, אך לעתים ניתן תרגיל כזה בהיקף מורחב (תרגיל "רטוב" על בעיית תכן) במקום בוחן באמצע הסמסטר. תרגילים אלה עוברים בדיקה ידנית.

הקורס כולל גם שעורי תרגול עם אסיסטנטים (פתרון מובנה של בעיות על פי שלבים) וסדנאות לכל המעוניין (מפגש חפשי עם מתרגל). ציון הקורס מבוסס בדרך כלל על בוחן אמצע ובחינה סופית. את השאלות מחברים כל חברי צוות הקורס, ואני מקפיד להימנע ממיחזור של שאלות. בכל מועד נוצרות שאלות חדשות, ותמיד יש ביניהן שאלות שמחייבות את הסטודנטים לנתח מצבים, להפעיל כושר שיפוט ולחשוב באופן ביקורתי. השאלות החדשות משמשות בסמסטרים הבאים כדי לרענן את תרגילי הביית. כעקרון, קורס שאין בו התחדשות מתמדת של תכנים, ובמיוחד תרגילים, נידון להתנוון ולהתדלדל. מצאתי על ידי ניסוי וטעייה שהמבנה המוצלח ביותר של בחינה הוא שילוב של שאלות אמריקאיות ושאלות פתוחות. מבנה כזה מחייב את הסטודנטים להתכונן היטב, והוא מפיך בדרך כלל ציונים מהימנים.

אתר הקורס מתפתח בהתמדה, והוא מכיל בנוסף לחומרי ההרצאות והתרגולים גם מאגר גדול של בחינות מהעבר, ואוסף בעיות נבחרות עם רמזים והדרכה לפתרון. לא אחת שמעתי מבוגרי הפקולטה כי זה הקורס הזכור להם כטוב ביותר שהיה להם בטכניון. אין לי ספק כי הדבר נובע משילוב של מטרות חשובות, שיטות מתאימות, וצוות קורס שמעריך את חשיבותו ולכן משקיע בו מאמצים בהתאם.

תכן בעזרת מחשב של מערכות VLSI

"CAD of VLSI systems" הוא מקצוע בחירה משותף ללימודי מוסמכים ולקבוצות התמחות במסגרת תואר ראשון. פיתחתי אותו בשנת 1999 כקורס מבוא לתחום עבור סטודנטים בעלי אוריינטציה מחקרית, וגם כסקירה שימושית עבור סטודנטים שמתכוונים להשתלב בתעשייה כמפתחי כלים לתכן אוטומטי או כמשתמשים מתוחכמים. מטרות הקורס הן שהסטודנטים יוכלו להציג ולהסביר מודל פורמלי של תהליך תכן הנדסי, לתאר באמצעותו את האתגרים הכרוכים בהתמודדות עם מורכבות של מערכות ספרתיות גדולות, להבין את המשמעות והחשיבות של הגדרת מתודולוגיה הנדסית לפרויקט תכן, ולשלב אצלם בין מיומנויות של "אנשי חמרה" ו"אנשי תכנה".

זהו אולי הקורס היחיד בפקולטה שבו נערכים דיונים בשאלות כגון "מה זה תכן?", "מה זו מתודולוגיה?", "מה הקשיים המרכזיים של צוות פיתוח הנדסי?". בהרצאות אני נוהג לספר כיצד התפתחו השיטות והכלים בתעשייה, בדרך של אבולוציה,

כסדרה של פתרונות לבעיות השעה. כמו כן נערכים דיונים על המצב כיום, תוך ניצול הפרספקטיבה שמביאים איתם סטודנטים עובדים מן התעשייה. הקורס מאפשר לבחור בין תרגילים מתוך מבחר אפשרויות, עם חשיבות מיוחדת לתרגילי תכנות אשר בהם נדרשים הסטודנטים ליישם ולאפיין דוגמת-צעצוע של כלי תכן (כגון סימולציה לוגית, וריפיקציה של השהיות, מיקום תאים). כמו כן ניתן בסיום הקורס תרגיל "paper review", אשר בו הם נדרשים לקרוא מאמר שפורסם לאחרונה בכנס מקצועי, ולכתוב עליו חוות דעת ביקורתית (כביכול דו"ח בשובם מהכנס, לחבריהם לעבודה או לצוות המחקר שלהם). הקורס כולל גם בחינה סופית, אשר מכילה תמיד שאלה קונספטואלית פתוחה הקשורה לתחומי מחקר עכשוויים, הדורשת מחשבה יצירתית ואין לה תשובה ברורה. (לדוגמה: כיצד אפשר להתחשב בשיקולים של חסכון בהספק כאשר מתכננים מיקום של בלוקים על גבי שבב?).

הוראה בלימודי מוסמכים

בקורסים וסמינרים לתארים גבוהים, בתחומי המחקר של רשתות תקשורת על גבי שבבים ואופטימיזציה של אינטרקונקט, הדגש שלי הוא על פיתוח אישי של הסטודנטים כחוקרים עצמאיים. המטרות העיקריות הן לשפר את יכולתם לשאול שאלות, להציע רעיונות (כולל רעיונות סרק), לבדוק ולשפוט רעיונות שלהם ושל אחרים, ולהציג סוגיות, מחשבות ותוצאות באופן ברור בכתב ובעל פה. השיטה העיקרית היא שיחה ואינטראקציה. עבור סטודנטים רבים מדובר בסגנון למידה שונה לחלוטין מכפי שהורגלו בלימודיהם עד התואר הראשון, שבהם התרגלו "לשתוק ולספוג ידע". שינוי אופן הלמידה של הסטודנטים הוא האתגר המרכזי בחינוך לתארים גבוהים.

פעילויות פקולטיות בתחום ההוראה

אני משמש כמרכז ועדת לימודי הסמכה של הפקולטה החל משנת 2006. זהו תפקיד אשר דורש הרבה מרץ וסבלנות, אך אין לי ספק שיש לו השפעה גדולה לאורך זמן. במסגרת הועדה בוצעו הערכות מצב ורענון של תחומי לימוד רחבים (מחשבים, מקצועות פיסיקליים, הכשרה מתמטית להנדסת חשמל), נעשו שינויים משמעותיים בדרישות לתואר, נפתחה תכנית מיחדת למצטיינים בדגש מחקרי, ועוד. כמו כן אני מנהל בפקולטה את המרכז לחקר מעגלים מתקדמים, שהוקם בשיתוף חברות מתעשיית המוליכים למחצה בארץ, ומטרתו לפתח את הידע בתחום זה בטכניון ובתעשייה. אחת הפעילויות המוצלחות של המרכז היא הבאת קורסים מרוכזים הניתנים על ידי מומחים מחו"ל ומהארץ, אשר מתקיימים בטכניון, ומשתתפים בהם מהנדסים מן התעשייה, סטודנטים מהפקולטה וגם חברי סגל.