



הנושא: מתמטיקה – המסנן הקריטי רב – שיח

הוכן ע"י: נסים ברדה, עודד טירה, אדיר כהן, יאיר קארו, מנחם שטיינר, דרור שליט ודני רופ.

תקציר: רב השיח עוסק בשני היבטים מרכזיים: תרומת החינוך המתמטי להתפתחותם המקצועית של המשתתפים ברב – השיח וחיבתו של חינוך מתמטי הולם לעתידה של החברה, הכלכלה והביטחון במדינת ישראל.

מילות מפתח: רב שיח, פאנל, דיון, חינוך מתמטי, יישומי מתמטיקה, שימושים, כלכלה, סטטיסטיקה, חברה, שירים, דת, בטחון.

החומר פורסם במסגרת: עלייה 37, תשס"ז 2007, עמודים 60-69.

החומר מכיל בנוסף לעמוד הפתיחה: 10 עמודים.

מתמטיקה – המסנן הקריטי*

רב-שיח

מנחה: דני רופ: חזאי מזג אוויר.

משתתפים:

עודד טירה: תעשיין. נשיא חברת פיניציה אמריקה-ישראל. לפני כן הייתי נשיא התעשיינים. בעבר מפקד חיל התותחנים בצה"ל, חתן פרס התעשייה לשנת 1994.

מנחם שטיינר: פרופ' למתמטיקה, רקטור בית הספר הגבוה לטכנולוגיה בירושלים.
אדיר כהן: אדיר כהן. עוסק בחינוך. פילוסופיה של החינוך. ובשנים האחרונות בעיקר בתרפיה באמצעות אומנויות.
דרור שליט: סמנכ"ל בכיר בבורסה לניירות ערך, בתחומי מחקר וסליקה ומלמד כמרצה מן החוץ באוניברסיטת ת"א. בוגר הטכניון בהנדסת תעשייה וניהול.

יאיר קארו: מתמטיקאי. בשנים האחרונות מנהל את המכללה האקדמית לחינוך – אורנים. בשמונה השנים האחרונות עוסק גם בניסיון להביא ציבור גדול להתייחסות שפוייה למקצוע המתמטיקה.

תא"ל ניסים ברדה: ראש חטיבת תכנון ומנהל כוח אדם באגף משאבי אנוש בצה"ל. אחראי על התכנון והמיצוי של כוח אדם, משלב הנוער בוגר התיכונים דרך הגיוס שלו לצה"ל והמיצוי שלו בצה"ל. אחראי למיון האישייתי והתעסוקתי לאורך השירות הסדיר ובמילואים.

להלן מובא מהלך הפאנל.

דני רופ: צהריים טובים. אני מאוד נרגש להיות פה מול ציבור כה גדול של מורים למתמטיקה. האנשים שאיתי הם: עודד טירה, נשיא פיניציה ישראל, פרופ' אדיר כהן, פרופ' מנחם שטיינר, דרור שליט, פרופ' יאיר קארו ותא"ל ניסים ברדה. הם יפרשו בפניכם את פועלם ואת דעותיהם ביחס לחינוך המתמטי. כש[פרופ'] נצה [מובשוביץ-הדר] פנתה אלי, היא ביקשה שאשתתף בפאנל ואני חשבתי שזו מתיחה של יגאל שילון. "...מדברת פרופ' נצה הדר, אני מתמטיקאית (כבר התחילה רע). ואני רוצה שתשתתף בפאנל בנושא מתמטיקה". עניתי: "למה אני?". תשמע, אתה חזאי מזג אוויר, המתמטיקה הוא נושא מרכזי בלימוד חיזוי מזג אוויר ומטאורולוגיה. גיאופיזיקה, פיזיקה, פיזיקת עננים. החיזוי עצמו נעשה ע"י מחשבי על, ואני רוצה שתספר. "אמרתי: "איך הגעת אלי? אני, שעד היום יש לילות, למרות שיש לי בגרות במתמטיקה, בהם אני מתעורר בבעתה, מכוסה זיעה קרה, כי נשארה לי בחינת בגרות אחת לסיים, במתמטיקה. איך אעמוד מול כל-כך הרבה מורים ומורות למתמטיקה?" וכלל שדיברנו היא הבינה שאני לא רק מתאים להשתתף בפאנל, אלא כדאי שאני אנהא אותו, כי אני בדיוק הדוגמא לאדם שפועל ממתמטיקה. בשיחה בת שתיים שניהלנו בבית קפה היא גילתה, בכל משפט שלישי: "אתה רואה? אתה מבין במתמטיקה!" אמרתי לה, שקריירה של איש טלוויזיה איננה יציבה, יש בה נקודות שאי ונקודות שפל וצריך לדעת לשרוד את הירידות אל נקודות השפל ואותן ואסור 'להשתגע' כשאתה בשיא. "הנה", היא אמרה, "מתמטיקה", היא כלל לא הקשיבה למה שאני אומר – "עכשיו אתה עושה מתמטיקה". התרגשתי מאד לפני כעשר דקות, כשפגשתי פה, ולא דמיינתי שאפגוש, את המורה הפרטי שלי למתמטיקה – אברהם בן-צבי. ... הייתי בן 16 והיום אני בן 41. ראיתי אותו ומייד אמרתי לו "אני בסדר עשיתי את השיעורים, אל תדאג הכל בסדר". כבר מהדברים האלה אתם רואים, שאני דוגמא קלאסית ליחס של הציבור, רובו לא כולו, אל המתמטיקה. אתם מכירים את הכותרות יום לפני בחינת הבגרות במתמטיקה, משום מה כל העיתונאים מתנפלים וכותבים: "אימת התלמידים – מחר!". אחר-כך כותבים על הרמה הנמוכה של המורים למתמטיקה – "הם אשמים, בגללם יש פחות הצלחות". גם התקשורת אשמה. כיון שאנחנו, אנשי התקשורת, פוחדים מהמקצוע אנחנו משפיעים על העצמת השנאה למתמטיקה והפחד ממנה. והרי כל-כך פופולארי לטעון שמתמטיקה היא מקצוע נורא ומיותר.

עודד טירה: אני בוגר תיכון עירוני א בת"א. המורה שלי למתמטיקה, שהשאיר עלי את חותמו, היה פרופ' סטרץ. הוא היה רוסי, שבא עם מגפים וחולצה רוסית. סרגל ביד. והיה פשוט מכה אותנו. זהו זיכרון בהחלט טראומטי. לימים כדי להרוויח את הכסף כדי ללמוד בטכניון הלכתי ולימדתי מתמטיקה בשיעורים פרטיים.

לאחר מכן, מובן שהמתמטיקה עזרה לי להתקבל לטכניון ולקבל תואר. בצבא כסמג"ד עשיתי טבלאות היסעים. כשאתה עושה טבלאות היסעים ואתה יודע מתמטיקה זה עוזר מאוד. אני מבטיח לכם. זה עוזר גם אח"כ בתעשייה ובתכנון כזה או אחר, למשל [תכנון] לוגיסטי. זה נותן לך הרגשת בטחון שאתה יודע את הכלים. היום, וזה אולי החלק החשוב, אני, בעסק שלי במפעל פיניציה-ישראל-אמריקה, שמייצא כ-90% מהתוצרת שלו, עוסק בארבעה פנים של המתמטיקה. האחד – תכנון מערכות ייצור, השני – הפעלת המערכות האלה, השלישי – אנליזה של התוצאות והרביעי – שיווק. בכל אחד מהתחומים האלה יש מתמטיקה.

נתחיל בשיווק. יש לנו, למשל, מערכת תוכנה שמחשבת את הרווחיות של כל תת מוצר אצל כל לקוח, ברגע נתון, מכל המפעלים המפוזרים בעולם. זאת אומרת המערכת מאפשרת לראות מאיזה מפעל בעולם כדאי לייצא ללקוח מסוים מוצר מסוים, כך שהרווחיות לקונצרן תהיה מקסימאלית. בתכנון מערכות, למשל, אנחנו עוסקים היום במערכות לייזר לזיהוי

* מהלך הדברים כפי שהתנהל בסימפוזיון: החינוך המתמטי בישראל – לאן? שנערך לציון מלאת 20 שנה ל"קשר חם" בחוה"מ סוכות, תשס"ז.

פגמים. אלה מערכות תוכנה, הנעזרות במטריצות ואלגוריתמים מורכבים. כמו כן בתכנון בתלת-מימד משתמשים במטריצות מאוד מתוחכמות. בתכנון מערכות בתחום הראייה המלאכותית יש אלגוריתמים מפותחים שעוזרים לנו בתכנון.

בכל מה שהתייחסתי אליו עכשיו יש מתמטיקה. בשלב הפעלת המערכת שתוכננה והוקמה. המפעיל, הזוטר יחסית, שנמצא בסביבה מתמטית ומבין קצת במתמטיקה יהיה מפעיל הרבה יותר טוב. במיוחד כשהוא צריך להפעיל מערכות CNC, להכניס שרטוטים ותכנים מתמטיים למערכת שבסופו של דבר צריכה לייצר מוצר שמוגדר על-ידי מאפיינים מתמטיים. לבסוף אנליזה של התוצאות, אחד מנושאי המתמטיקה. אחד הדברים שמחזקים את בוגרי המתמטיקה בחיים זו היכולת שלנו לעשות אנליזה, להיות אנליטי. זה גם הופך אותנו למנהלים יותר טובים. אנליזה של תוצאות נעשית בכלי excel פשוטים ע"י מנהלי צוותים, ראשי צוותים, מפעילי ציוד מתוחכם וזו היום הרמה הנמוכה ביותר במפעל שלנו.

מנחם שטיינר: כפרופ' למתמטיקה לא יהיה קשה לנחש באיזו מידה החינוך המתמטי השפיע על ההתפתחות המקצועית שלי. נולדתי ב-1947 ברומניה הקומוניסטית בן להורים ניצולי שואה. הודות לאמא שלי, שתחייה, התחלתי את הרומן שלי עם מתמטיקה בגיל 17. בגיל 12 השתתפתי וזכיתי באולימפיאדה לנוער למתמטיקה ברומניה. בגיל 17 היגרתי עם משפחתי למלבורן אוסטרליה. שם סיימתי את שנת הבגרות שלי, לימודי לתואר ראשון ולאחר מכן את לימודי לדוקטורט במתמטיקה שימושית ב-Monash University. מאז אני מתעסק בחינוך ובהוראת מתמטיקה למהנדסים בהשכלה הגבוהה ובמחקר יישומי רב תחומי (מדגיש יישומי), לדוגמא: אסטרופיזיקה, משפטים, זרימת החום בנוזלים, התפשטות כתמי נפט באוקיינוס, תכנון מגננים ועוד ...

בנוסף, התעסקתי גם במחקרים יותר קטנים, כגון, שיטת מילוי בירה בחביות. באוסטרליה אין צורך לצבא גדול, אז יש יותר זמן לשתות בירה.

לכבודך, דני, דוקטורנט שלי בעבר ד"ר דפוז'נג, עובד היום בקנדה בחיזוי מזג האוויר.

באוסטרליה בין היתר, ייסדתי את ארגון המתמטיקאים להנדסה

(EMG – Engineering Mathematics Group of Australia) וניהנתי כיו"ר הארגון במשך שש שנים. הארגון האוסטרלי להנדסה (IEAust - The Institution of Engineers, Australia) העניק לי את הפרס על תרומתי לשימוש מתמטיקה בהנדסה באוסטרליה.

בשנת 1999, נבחרתי כאחד משלושה עמיתים של ארגון אירופאי לחינוך המהנדסים

(SEFI - Societe Europeenne pour la Formation des Ingenieurs).

כמו כן אני מכהן בוועדות שיפוט של כתבי עת בינלאומיים, לדוגמא, עיתון אירופי לחינוך המהנדסים – European (EJEE Journal of Engineering Education).

בשנת 2001 הוזמנתי כמומחה חוץ, כפרופ' למתמטיקה לבית הספר הגבוה לטכנולוגיה בירושלים. השילוב הייחודי של לימוד אקדמי ברמה גבוהה עם לימודי יהדות משך אותי ארצה וברוך השם, עלינו עם משפחתי בפברואר 2002. כרגע, אני מכהן כרקטור בית הספר הגבוה לטכנולוגיה בירושלים. משתדל לתרום לארצנו הקדושה בצורות שונות. לדוגמא, אני בוועדה מקצועית ארצית למתמטיקה שימושית, מטעם המועצה להשכלה גבוהה, יחד עם פרופ' נדב לירון, ממוסד נאמן, שדרך אגב פגשתי אותו לראשונה, נדמה לי בשנת 1988, כשהייתי פה בשבתון בארץ, בצריפים המפורסמים של צ'רצ'יל בטכניון.

אדיר כהן: שתי הערות: ראשית, אני שייך ללומדי המתמטיקה שפרופ' משלר אמר עליהם שהם מפגרים ב-3,000 שנה אחרי ההישגים המתמטיים. אני חושב שזה יתרון עצום משום שהמתמטיקה נוצרה לפני 3,000 שנה ויותר. ועל השער של האקדמיה של אפלטון היה כתוב, שמי שאיננו יודע מתמטיקה, שלא יעז לדרוך במקום. ומאריסטו ואחרי כן עד דקארט ועד ראסל ועד ווטעד ... – הפילוסופיה כולה בנויה על המתמטיקה. מבחינה אישית, אני הייתי קשור למתמטיקה בעצם מגיל צעיר בהדרכתו של אבי שהיה מתמטיקאי בעצמו. אבל בין השאר, ואולי הדבר הראשון שעורר בי קושי ביחס למתמטיקה היה השאלות. ... כשאני שמעתי שלאבא היו שלושה ילדים, בן אחד ושתי בנות והוא קיבל ארגז תפוחים, לבת הראשונה הוא נתן כך תפוחים, לבן הוא נתן פי שלושה, לבת השניה הוא נתן שניים. אני כעסתי, למה כבר כן מפלים את הבנות. כלומר הטכסט... כששתי מכוניות יצאו וכו'... כל מה שהדאיג אותי היה מתי תהייה התנגשות נוראה. והיתה בעיה עם הברכות, שאחד ממלא והשני מרוקן, ולמה לסגור ברז אחד. כלומר, היו הרבה מאוד בעיות בהקשר הזה.

אבל... במקום לדבר על... אני רוצה להדגים בשני שירים קצרצרים. האחד של יהודה עמיחי, כולו מתמטיקה וזה ההקשר שלי:

שיר אהבה

ראי אנחנו שנים מספרים
עומדים יחדיו מתחברים או מתחסרים
כי סוף סוף הסימן משתנה מזמן לזמן
היה קשה כל כך עד שהגענו לעמוד יחדיו
וגם ידענו כפלים של אושר גם שברים כאשר יקרה למספרים
גם עתה, תחתיו העולם קו שבר
אל תראי הביטי איך מעבר לאותו הקו,
פרח לנו עכשיו המכנה המשותף.

והרי לכם מתמטיקה בעיצומה. ואם תרצו לקראת קינוח אולי בסוף, אני אביא לכם סיפור מודרני, כמעט סיפור אירוטי בעזרת אינטגרלים. אבל לשיר השני בוודאי לא תמחאו כפיים. והוא שיר של נתן זך. שאתם בוודאי מכירים ובכל זאת תראו מה בעצם אומר המשורר שבאיזשהו מקום, כאן בבי"ס תיכון בחיפה, קרה לו מה שקרה.

מתה אשתו של המורה למתמטיקה שלי
אבוי לאשתו של המורה למתמטיקה שלי
אבוי למורה למתמטיקה שלי, עצמו
מתה אשתו של המורה שלי למתמטיקה
אבוי לאשתו של המורה שלי למתמטיקה
אבוי למורה שלי למתמטיקה, עצמו
מתה אשתו של המורה שלי למתמטיקה
אבוי לאשתו של המורה שלי למתמטיקה
אבוי למורה שלי למתמטיקה, עצמו

ואם תרצו, אח"כ אולי נוכל להסתכל, השיר כולו מתמטיקה. הכמויות של המשקל, הריטמים, המבנים וכו' וכו'.

דני רופ: הוא לא אהב את המורה למתמטיקה.

אדיר כהן: לא.

אני מגיע כעת אולי לתחנה האחרונה של המתמטיקה, כבר רמזתי על הקשר בין ספרות לאומנות. סיפרתי לכם שאני עוסק ביבוליותרפיות. ההיבט של התרפיות במתמטיקה הוא בעל חשיבות מהמדרגה הראשונה. ישנו ספר מצוין שיצא לאחרונה, שנקרא: "המוסיקה של המספרים הראשוניים". ובין השאר מביא קטע מתוך אוליבר סאקס – אחד המטפלים המרתקים. הספר הידוע שלו: "האיש שחשב את אשתו לכובע", עוסק בתרפיה בעזרת המספרים הראשוניים. הוא מתאר בו שני תאומים, המדברים בשפה זרה לחלוטין. הם כל הזמן פולטים שורה של מספרים ראשוניים והם לכאורה סגורים הרמטית. והמטפל צריך לחשוב, איך אני מגיע אליהם. והוא בין השאר, מכניס מספר ראשוני חדש. והם נכנסים לבהלה. כי הוא בעצם נכנס לתהליך החשיבה שלהם, בתוך דקה אחת הם מבינים את העניין, תוך שימוש בנוסחת פרמה וכדומה. לא ניכנס כרגע לעניין עצמו. אבל בואו נזכור שהתרפיה היא אחד הדברים.

דור שליט: אולי אני אתחיל מהזיכרון המתמטי הראשון שלי. אני זוכר שהייתי בקייטנה בכיתה ה' והיו לי חוברות לחופש. וכל הילדים התחבטו בשאלה: פועל חופר בריכה בעשרה ימים. אחר חופר בעשרים ימים. בכמה ימים יחפרו את הבריכה שניהם ביחד? ואז בא ילד ואמר: שלושים יום. ואז אמרתי לו: איך זה יכול להיות? הרי אחד חופר ב-10 ימים. אז הוא אמר לי: במתמטיקה אין היגיון. מאז, אני מנסה למצוא את ההיגיון במתמטיקה. אבל אם נהייה יותר רציניים, ואדלג על העבר, טכניון, אני בוגר הנדסת תעשייה וניהול. היום אני עוסק בכלכלה, יותר במימון. דרך אגב אתמול שמחתי כשזכרתי כלכלן בפרס נובל לכלכלה. ... אז שמעתי את פרופ' משלר אומר: לומדים ריבית בשנה שלמה בכיתה ה', וכולם צוחקים, ובצדק, לא צריך שנה שלמה. אני מקווה שכשלמדו ריבית, למדו גם ריבית דה-ריבית, שזה מושג חשוב בכלכלה. אולי תרגיל פשוט, אם משקיעים 100,000 ₪ לארבעים שנה בריבית של 10%, כמה מקבלים אחרי 40 שנה? הבנק משלם, 500,000 ₪. אבל אם זה ריבית דה-ריבית? משהו מוכן להגיד את המספר? 4 וחצי מיליון. תבדקו אותי.

דני רופ: דורר אני רוצה להחזיר אותך אחורה טיפה עוד יותר. בתיכון, איך היית במתמטיקה?

שליט: הייתי טוב מאוד נאמר מינוס.

דני רופ: זאת אומרת כבר אז עשית 5 יח"ל. היה לך כישרון במתמטיקה. זאת אומרת, לא היית צריך להשקיע בזה המון זמן. שיעורים פרטיים וכו'...

דורר שליט: לא, שיעורים פרטיים.

דני רופ: זאת אומרת שהיה לך כישרון למתמטיקה.

דורר שליט: היה כישרון.

דני רופ: והשתמשת בזה עד היום?

דורר שליט: אני משתמש בזה. נכון שאינני רואה את השימוש בחיי היומיום של הרבה דברים שלמדתי, אבל אני רואה אותו בדברים אחרים. אולי אני אזכיר דבר שהבורסה עושה בימים אלה. הבורסה, המוסד שאני עובד בו. אנחנו מנסים להקנות לקהל דברים שימושיים בכלכלה, אבל עוד פעם, כלכלה זה מתמטיקה. תלמיד גומר תיכון, הוא יודע הרבה דברים, כדי שידע גם מה זו תכנית חסכון, מהי קרן פנסיה, לדוגמא, סיפרתי לדני שהייתי בארה"ב, התגוררתי אצל אחי, ראיתי את בת אחי, ילדה בכיתה ו' מעיין בגיליונות הבורסה. שאלתי: מה את עושה עם שערי הבורסה? והיא ענתה: אנחנו לומדים אחוזים באמצעות שערי הבורסה. אני חושב שבדרך הזו כדאי ללמוד גם מתמטיקה וגם לומדים דברים שימושיים לחיים.

יאיר קארו: אני בא מהמתמטיקה המקצועית ודני שאל אותי איך עבר עלי התיכון. התיכון עבר עלי בקלות כי המתמטיקה לא היוותה בכלל גורם קושי עבורי. למדתי בתיכון בעמק יזרעאל. בתיכון עניינו אותי דברים אחרים ולא דווקא מתמטיקה.

אתם יודעים, בני 15 עד 18... הרגע שבו החלטתי ללכת למתמטיקה, הוא די משונה. הייתי בסוף שירותי הצבאי, והתעסקתי קצת להנאתי בתורת המספרים ופתרתי משהו קטן. פניתי לאיש יוצא דופן, פרופסור חיים חנני מהטכניון, שלימים גם אירח אותי בביתו. פרופ' חנני הזמין אותי למשרדו בטכניון ושאל אותי: חייל צעיר תסביר לי מה עשית?

הסברתי קצת ושוחחנו קצת. וכך בעוד אני יושב אצלו במשרד נכנס למשרד "תותח גדול" שכולם שמעו את שמו, פול ארדש. פול ארדש דיבר באנגלית במבטא הונגרי כבד שאל: מה הילד עושה כאן.

אז חנני אמר לי: תסביר בבקשה לארדש, (לא היה לי מושג מי הוא), ושוחחנו קצת, וארדש אמר לי: אתה תלך ללמוד מתמטיקה. וזה היה הרגע בו החלטתי ללכת ללמוד מתמטיקה.

ואגב את הפתרון שנתתי לחנני פיתחתי אחר כך והוא הפך למאמר הראשון שלי, אותו פרסמתי עוד בהיותי סטודנט לתואר ראשון. הקשר עם חנני נשמר עוד כמה שנים אחרי הפגישה הזו.

אחרי התיכון הגיעה הקריירה מקצועית של מתמטיקאי. לא התעניינתי בחינוך מההתחלה. החיים של מתמטיקאי מקצועי, בצורה שאני חוויתי אותם, זה מרתון, התעדכנות ומחקר בלתי פוסקים עם רגעים גדולים מאד של התעלות ורגעים של תסכול, כשרעיון נכשל. פרסום בקצב של שישה עד שמונה מאמרים בשנה. מטחנה של ממש. ובתוך המטחנה הזו לא סבלתי, אבל לקחתי בחשבון שזה לא מותר זמן לעסוק ברצינות בדברים אחרים. הרגע שבו היה הזעזוע הראשון, הוא רצח רבין. אחרי רצח רבין זו היתה הפעם הראשונה ששאלתי את עצמי, מה כל העסק הזה בכלל. איך זה עבר ואיפה אני הייתי. אחותו [של יצחק רבין – דליה רבין] פנתה אלי אח"כ ואמרה, שאולי הגיע הזמן שנחשוב ונעסוק קצת בחינוך. הפעם השניה שקשורה יותר למתמטיקה, קשורה גם בדברים אישיים וגם בדברים לאומיים. אתם זוכרים שהתגלה ה"סוד" הנורא, שמדינת ישראל כשלה במבחני ה"פיזה" של 1999. עשו מזה אסון לאומי. השפה הייתה של טראומות וחרדות. כאן השתכנעתי שהדברים יוצאים מפרופורציה וחלק מהפתרון להוראת המתמטיקה נמצא בתחומי הפסיכולוגיה. כאן פסיכולוגים למדינה שנמצאת כל הזמן בטרומה, שהי גישה טראומתית לא מאפשרת התייחסות רגועה לטיפול בבעיה. הכל: up and down. אין רגע לעצור ולהגיד O.K. יש בעיה בלימודי המתמטיקה, בואו נטפל בה לא באופן טראומתי.

בהיבט האישי. תראו, כל אדם, גם אם הוא בעצמו טוב מאוד במתמטיקה, אז אחד מבניו, מילדיו נפל עליו הצד השני, ובתי ואחד מבני – לא מהם יצמח הגאוס הבא...

דני רופ: זה לא גנטי.

יאיר קארו: לא. היא נערה נהדרת ובעיני היא יכולה להיות מגישה 10 בערוץ 10. אבל מתמטיקה לא שם המשחק שלה. אתם צריכים לראות מקרוב את הסבל שהמערכת מייצרת, את הסטיגמות, למי "שלא שפר עליו גורלו", ולמען האמת, בסוף כיתה ט צריך לשחרר אותו מההתמודדות המייגעת עם מכשולות המתמטיקה. אח"כ אני פוגש סטודנטים שבאים עם רקע טראומתי מתמטי והם אנשים מצויינים. הם לא מתמטיקאים, הם מצויינים בלשון, בספרות, במדעי הרוח. ואז אני שואל את עצמי, איפה אנחנו בכל העסק הזה? כך עיצבתי את דעתי, שצריך להחזיר את השפיות למתמטיקה. ועל זה נדבר בהמשך.

ניסים ברדה: יליד 1957. סיימתי את התיכון בשנת 1976. למדתי אלקטרוניקה במגמת מסמ"ר, שם למדנו כמובן מתמטיקה בכמויות. הייתי תלמיד סביר. לא נזקקתי למורים פרטיים כמו שאר התלמידים הטובים. אבל לא מעבר לזה. הגעתי לצבא, ולא עלאה אתכם במסלול. אני משרת בצה"ל משנת 1976. בתפקיד הנוכחי כיום, אני אחראי על תכנון כוח אדם של כל הצבא. ולמעשה כשאני מסתכל רגע, אז המתמטיקה מלווה אותי בעשייה היומ-יומית, החל משלב התכנון – תכנון כ"א מתבסס על פרמטרים, סטטיסטיקות וחזיונים – הכל מתמטיקה. לא הכל אני עושה לבד, יש לי מתמטיקאים מצויינים אבל אני צריך לדעת ולהבין אותם. דבר חשוב נוסף, אופייני למדינת ישראל, הוא שהצבא הוא צבא העם ואנו מגייסים את כל הנוער הניתן לגיוס וממנו בונים את הצבא. אנחנו מקבלים את רשימת מספרי הזהות של הנוער שנמצא בכיתות י"א. וממנו אנו חוזים שנתיים קדימה, אילו חיילים יהיו לנו? מה תהיה אינוכתם? כיצד יתפלגו נתוני הקב"אות שלהם? מה תהיה ההתפלגות של הדירוג הפסיכוטכני? אילו פרופילים רפואיים יהיו להם ומה יהיה אחוז הנשר באותה עת מההכשרה? והכל מתמטיקה. דרך סטטיסטיקה: רגרסיה, ערך משולש...

דני רופ: באופן אישי, לימודי המתמטיקה שלך עזרו לך בתפקידך השונים בצה"ל?

ניסים ברדה: התייסיטי לקורס טיס, ושם היה חשוב מאוד נושא המתמטיקה, לפחות אז. הודחתי, לא בגלל המתמטיקה, אלא כי לא הצלחתי בטיסה. אבל בקורס הידע המתמטי עזר לי מאוד. ... מי שלא למד מתמטיקה בתיכון התקשה מאוד מאוד ומי שלמד מתמטיקה – רק התקשה. כמובן גם באוניברסיטה [הידע המתמטי שלי עזר לי]. אני בוגר תואר שני בכלכלה ומינהל עסקים ותואר שני בבטחון לאומי. אז כמובן שבתואר של כלכלה ומנהל עסקים המתמטיקה עזרה לי. ועם הידע שרכשתי בלימודי אני חיי היום בחיי הצבא, מבין את האנשים שעוסקים בתכנון.

דני רופ: נעבור כעת לנקודה הרגישה והכואבת. עד כמה חשוב שהחינוך המתמטי יהיה גורם מרכזי במערכת ההכשרה? עד כמה מתמטיקה חשובה להמשך הדרך? ואולי זה לא חשוב?

עודד טירה: אני אתחיל בשני ציטוטים. אחד של פרופ' רוס מאוני' ת"א, שאמר ש"למתמטיקאים יש התותחים אבל לא המטרות". לתעשייה יש המטרות אבל לא התותחים. (במקרה האישי שלי זה לא בדיוק נכון). וכשאנשי התעשייה מחברים את התותחים למטרות, המתמטיקה מתחברת למציאות. לימודי מתמטיקה מובילים לחשיבה מדוייקת, יכולת הפשטה ויצירתיות בפתרון בעיות, תכונות שזקוקים להן בחיי היום-יום על מנת להצליח. אגב, כפי רמזתי לכם קודם, תיכף אראה סרט קצר של דקה וחצי, על ההווה המתמטית בפניציה. בסרט אציג בעיקר את התחום של הדרג המייצר והמשווק. לא אציג את התחום שדרור רמז עליו, כלומר איך מפעל, כמונו, שמייצא 90% מהתוצרת, ביורו, בדולר, בשקל ובזאר, מייצר

מעטפת של הגנה מחשיפה. זו מטריצה שאתה מסדר לעצמך בה את כל המשפיעים ויוצר לעצמך אופטימיזציה של הגנות במטבעות. (מוקדן הסרט "מתמטיקה בפניציה").

הסבר לסרט: זוהי מערכת הורדת זכויות מהקו. כאשר הזכויות באה "און דה פליי" ומערכת ראייה מלאכותית אומרת לרובוט היכן להתייבב, ללוות את הזכויות ולקחת אותה מהקו. ... זה הרובוט, שהוא ברזל בסך הכל, אבל התוכנה שמפעילה אותו היא מאוד מתוחכמת וחשובה. מערכת שניה היא מערכת זיהוי פגמים על-ידי קרן לייזר. זו קרן הלייזר, הנה התותח שיוורה. וכאן מערכת סימון שתלך למקומות שבהם נמצא הפגם ותשאיר בהם סימון. כשיש סימון, מערכת הראיה המלאכותית מכוונת את הזכויות ללכת לשבר – להתמחזר. פה זו מערכת ליצירת זכויות מיגונית, נגד אבנים ואפילו נגד ירי. אוטומטית. תראו מערכות רובוטיקה מתוחכמות. אין יד אדם בעסק הזה, רק רובוטיקה. רובוטיקה ותאים רובוטיים, זוהי תוכנה מאוד מתוחכמת. זו מערכת ששמה "ספייסרים" - [מפרידה] בין הזכויות. הרובוט שם ספייסרים בין הזכויות. מחליף את הידיים האנושיות. לא צריך פה אנשים, צריך תוכנה. אומר שני משפטים לסיום. אנחנו בתעשייה הישראלית המתחרים בתעשיות בעולם, חייבים, כל העת, להיות במרוץ מטורף, לייצר יתרונות יחסיים ולהתייעל. זאת כדי לעמוד בהצלחה בתחרות של השוק העולמי. אנחנו עושים את זה בשרדנו ויצירת יתרון יחסי בשרשרת הערך של המוצר, החל מהפיתוח דרך הייצור, השיווק, הלוגיסטיקה ואפילו שירות המוצר בבית הלקוח. בכל חוליה כזו ישנה מתמטיקה. אם זה בתוכנה ואם באלגוריתמים ובמטריצות.

דני רופ: אני מחזיר אותך לשאלה המקורית. אני יודע שאתה לא בא מתחום החינוך המתמטי אבל מה צריך לעשות, לדעתך, כדי שהמתמטיקה מהתיכון והלאה תהייה פחות מפחידה? שהיא תהייה פחות מרתיעה? איך אפשר להנחיל לתלמידים את התפיסה, שכדאי להם ללמוד מתמטיקה כי הם יכולים להיות יצואנים מצליחים, אנשי אקדמיה טובים, אנשי צבא וכו'...

עודד טירה: אני אתן לך דוגמא. באירגון בוגרי הטכניון אנחנו מפעילים פרויקט שנקרא "שלוש חמש". זה פרויקט, שבו בוגרי טכניון, שחברים בארגון ובמועדון המאה, מגיעים לאזורי פריפריה, לוקחים תלמידים, שהיכולת המוכחת שלהם היא 3 יח"ל במתמטיקה ועל-ידי שיעורים פרטיים והכוונה אישית, מביאים אותם ל-5 יח"ל במתמטיקה. על-ידי כך מגדילים את פוטנציאל התלמידים שיגיעו להשכלה גבוהה ולרמה אקדמית טכנולוגית. זאת כדי לחזק את היתרון היחסי של ישראל בעולם. בישראל מייצרים כ-8,000 מהנדסים בשנה. בסין מייצרים מאות אלפי מהנדסים בשנה. ובסופו של דבר, גם אם נניח שהסינים פחות חכמים מאיתנו, מה שלא הוכח בשום מקום, אז המסה הזו הופכת ליתרון אותו אנו הולכים ומאבדים. בהתאחדות התעשייתנים אנו מפעילים את הפרויקט "חשוב תעשייה". אנחנו מגיעים בכל שנה לבתי-ספר ופוגשים 35,000 – 40,000 תלמידים ומראים להם את ההווה התעשייתית, על-ידי סיורים במפעלים. בכך מחזקים את הקשר בין התעשייה המייצאת לבין התלמידים. בכך אנו מעלים את המודעות של התלמידים ביחס לתעשייה ומקווים כי מצליחים גם למשוך אותם אליה ולטפח אצלם 'אהבה' לתעשייה.

מנחם שטיינר: היבט אישי – השילוב שלי בין מתמטיקה לדת

בכל התרבויות השונות, היה תמיד מקום מרכזי ומכובד למתמטיקה. החשיבה המתמטית לפתרון בעיות, היא שיטה מרכזית. גם בתלמוד וגם אצל חכמינו ז"ל. על-פי הקבלה, מתמטיקה היא שפת חכמת ה' ואם אני יכול לצטט מילים של הרב יהודה אשכנזי זצ"ל, על הפסוק בפרשת נח: "ויהי כל הארץ שפה אחת ודברים אחדים".

המושג שפה אחת מכיל כפילות, שכן הקדוש ברוך הוא ברא גם את השמים ואת הארץ, גם את הרוח וגם את החומר. השפה האחת בתחום הקדושה, השפה העוסקת ברוח, היא השפה העברית של לשון הקודש. השפה האחת של הבורא בתחום החומר, גם היא בשפת הבורא, לשון יחידו של עולם, היא שפת המתמטיקה.

בית הספר הגבוה לטכנולוגיה בירושלים (בג"ט), הוא מוסד המשלב תורה ומדע, וזה כפי שצינתי משך אותי לעלות ארצה. בג"ט רואה כחלק בלתי נפרד את התורה-היהדות והמדע. לימוד התלמוד דורש חשיבה מתמטית עמוקה. לימודי התלמוד מחדדים את הראש המתמטי של הסטודנט. ולכן, לימודי ההנדסה ולימוד התלמוד משלימים ומפתחים זה את זה.

ידוע על הגאון מוילנא, האבן עזרא, הרמב"ם ועוד רבים, שהיו מבריקים בתחום המדע והמתמטיקה. ישנן אינסוף דוגמאות של חישובים מסובכים בתלמוד ובכתבי חז"ל. לדוגמא, חז"ל גילו את חישובי שטחים, לפני שגילו את החשבון האינפיניטסימלי. דווקא בקשר לחג הסוכות, ישנו דיון גיאומטרי מעמיק בתלמוד בקשר לסוכה עגולה.

היבט ציבורי – באיזו מידה חשוב שהחינוך המתמטי יהיה גורם מרכזי במערכת ההכשרה של הדור הצעיר למען עתידה הכלכלי והחברתי של המדינה?

בעידן המודרני יש קשר הדוק בין אנשי מתמטיקה ובין אנשי טכנולוגיה.

- מתמטיקה מספקת את המתודולוגיה והמסגרת לחשיבה מסודרת עבור ההתפתחות הטכנולוגית.
- מתמטיקה היא השפה להבעת רעיונות והדרך להבהרת תוצאות, והכרחית עבור יוזמות חדשות.

בסימפוזיום דומה באוסטרליה בשנת 1992, פרופ' מרי גילן יו"ר ארגון המהנדסים של אוסטרליה, אמר ואני מצטט: "החוזק האינטלקטואלי של התעשייה, מבוסס על צוות שידוע ליישם חשיבה מתמטית באתגרי היום-יום. ללא התייחסות להתפתחויות במתמטיקה, המהנדס של מחר יאלץ לצפות מהצד (spectator) בהתפתחויות הטכנולוגיות".

הנכס הכי גדול של מדינת ישראל זה המוח היהודי. אז אין לי שום ספק שהחינוך המתמטי, נחוץ לדור הצעיר, כדי שארץ ישראל תישאר ותתפתח כמדינה חכמה ומתקדמת.

אולי שמתם לב, שהנושא של הכינוס היום הוא החינוך במתמטיקה ולא לימוד מתמטיקה. אני רק רוצה להדגיש שבעיני,

החינוך המתמטי צריך להיות הגורם ל:

- פיתוח קוגניטיבי של התלמידים;
- פיתוח של עמדה נכונה ופיתוח הרגלים שכליים טובים, כדי להתמודד עם ולטפל בבעיות מכל סוג;
- פיתוח החשיבה המתמטית לפתרון בעיות;
- ואולי הכי חשוב, פיתוח האהבה למתמטיקה אצל התלמיד.

בעיניי, מי שמגדיר את זה הכי טוב זה פרופ' Polya בסימפוזיון בשנת 1969:

"This is the general aim of mathematics teaching -- to develop in each student as much as possible the good mental habits of tackling any kind of problem.

You should develop the whole personality of the student and mathematics teaching should especially develop thinking.

My point of view is that the most important part of thinking that is developed in mathematics is the right attitude in tackling problems, in treating problems.

We have problems in everyday life. We have problems in science. We have problems in politics. We have problems everywhere. The right attitude to thinking is maybe slightly different from one domain to another, but we have only one head, and therefore it is natural that finally there should be just one method to tackling all kinds of problems. My personal opinion is that the main point in mathematics teaching is to develop the tactics of problem solving."

(Polya, 1969 speaking on The Goals of Mathematical Education)

דני רופ: פרופ' כהן, עד כמה החינוך המתמטי הוא חשוב או לא? האם צריך לשנות אותו? ואיך?

אדיר כהן: הרשו לי להאחז במשפט אחד שהיה בסרט הקצר, שבו מר טירה אמר, לא צריך אנשים.

עודד טירה: אל תעשה לי את זה, בחייך זה לא הוגן, אתה ממנף דבר שלא ראוי להיות ממונף.

אדיר כהן: ואני רוצה לומר שאני רוצה את האנשים. לגבי המתמטיקה, נעיר כמה הערות. קודם כל אני חושב, שאחת הטעויות הרציניות שלנו, והיא גם סיבה לכישלון של הוראת המתמטיקה, שאנחנו מייחדים אותה, משייכים אותה לקבוצה נפרדת – עומדת בפני עצמה, במהלך הסימפוזיון דברו קודמיי לרוב על ההיבט היישומי של המתמטיקה, אולם אם נבחן את ההיסטוריה, הרי שבעלם העתיק, המתמטיקה היא ביסודה חשיבה ופילוסופיה. תראו, כבר גליליי אמר שבעצם, אם תרשו לי לצטט אותו: "בעולם הטבע נכתבה הפילוסופיה באותיות מתמטיות". ואני אומר הפילוסופיה נכתבה באותיות מתמטיות. ואם נלך אל איינשטיין ואל דרך ההתייחסות שלו למתמטיקה, למרות שיש לעבודתו תוצרים מעשיים בלי סוף, הרי שהוא עסק בהיבט החשיבתי. והרשו לי שוב לחזור לפילוסוף חשוב בשם ליאון ברונסריק שאמר: "היחס למתמטיקה טבוע בשורש ההכרה של הרוח, כשם שהוא טבוע בשורשם של מדעי הטבע, והמקור אחד הוא: פעילות החופשית והפורייה של החשיבה, הבוקעת ועולה מהזמן שבו הביאה המתמטיקה לאדם את הבחינה הממשית שלנו". וכאן בעצם נכנסים לאותם היבטים המקיפים את כל התחומים, לא רק את ההיבט החישובי להפקת מוצר זה או אחר, אלא את ההיבט הנון-קונפורמיסטי. את ההיבט החוקר, את ההיבט שאינו מקבל מבלי, בעצם, להתמודד איתם במימדים החשיבתיים. אותו ניסיון שהוא בעצם משותף לכולנו, ולכן, בעצם, המתמטיקה היא לא ליחיד סגולה ולא נמדוד אותה רק בהיבטים גנטיים, בסולמות של מיונים.

דני רופ: בוא נהייה פרקטיים. מה אמורים המורים לעשות בביתה"ס?

אדיר כהן: זאת באמת הגישה, אם היינו רואים, שלמעשה המתמטיקה מקיפה את העולם כולו, רק על זה הייתי מדבר לפחות שעתיים, מההיבטים של ספרות ושל אומנות, על פרספקטיבה, היטלי אור והשתברות קרניים.

דני רופ: מה אתה מציע למורים ולמורות לעשות פה ובביתה"ס ולאנשים שאחראים עליהם כדי לשנות את כל הגישה הזו למתמטיקה?

אדיר כהן: בהרצאות הקודמות שמענו כיצד אנחנו נכנסים לסאגה של בחינות, ושל 'מיציבים' למיניהם. אני לא יודע אם המילה 'מיציב' באה ממצבה או לא, זו מצבה למקצוע. אני הייתי רוצה שהמתמטיקה תהייה הרפתקה. שהמתמטיקה תהייה עיסוק ביופי. לנו אל הפילוסוף הרדיקלי ברנרד ראסל, שהיה מגדולי המתמטיקאים, הוא מדבר על היופי הצרוף של המתמטיקה ושל החשיבה. כאן, צריך להתחיל! כי אין בעצם אדם שבאיזשהו מקום הדבר אינו נוגע לחייו.

דני רופ: עד כמה חשוב לימוד המתמטיקה מול המקצועות האחרים בבית הספר?

אדיר כהן: ראה, קודם כל בוא לא נעמיד דברים אלה מול אלה. אני בהחלט מאמין שיש זכות לכל המקצועות. אבל, למעשה, בהיות המתמטיקה אם המקצועות, המכנה המשותף של הרוח והמדע גם יחד, מקומה הוא מקום חשוב ומרכזי. זאת בתנאי, שבעצם, נראה איך הדברים נמצאים בתוך העולם שלנו, בתוך ההווה שלנו, בתוך התהליך של ההתמודדות בחשיבה.

דני רופ: דרוור שליט בבקשה.

דרור שליט: בדברים הקצרים שלי אני רוצה להראות, שהמתמטיקה היא מרכיב מהותי בתחום ההתמחות שלי – מימון. אציג מספר דוגמאות ובכללן דוגמה אחת, שאולי תוכל לשפר את תיק ההשקעות שלכם. אגב, כלכלה ומתמטיקה – לא במקרה לא מעט מחנתי פרס נובל בכלכלה, הם מתמטיקאים ופיזיקאים.

ולתורת המימון – אם אתחיל מיסודות המימון, הרי הנושא היסודי הינו 'ערך הזמן של הכסף', ובמילים יותר פשוטות, הריבית. המלכה האמיתית של התחום היא לא רק הריבית, אלא הריבית דריבית, שהיא מושג מתמטי טהור. דוגמה פשוטה: השקעה של 100 אלף ₪ ל-40 שנה בריבית של 10% נותנת 500 אלף ₪. אותה השקעה, כאשר מתייחסים גם לריבית שנותנת הריבית, ואנו מגיעים לסכום הצנוע של כ-4.5 מיליון ₪.

נושא מתקדם יותר הוא נושא הנגזרים – אני מתאר לי שרבים אינם יודעים זאת – רב המסחר היום בתחום ניירות הערך והמט"ח מתקיים לא בכנס עצמו, אלא בנגזרים, שהם מכשירים פיננסיים, אשר ערכם נגזר מהערך של ניירות הערך האחרים, דוגמת אופציות-חוזים עתידיים. הנגזרים משמשים לניהול הסיכונים הטמונים בהשקעה בנייר הערך המקורי. שני מספרים להמחשה: שוק הנגזרים העולמי מוערך ב-300 טריליון דולר – יותר משווי כל הנדל"ן בארצות הברית. המחזור היומי בנגזרים בארץ הינו כ-25 מיליארד ₪, שהם פי 25 מהמחזור במניות. ושוב – נגזרים הם מתמטיקה טהורה.

נושא אחרון – מדדי ניירות ערך. מדד הוא כמובן מושג מתמטי, שנועד לאפיין את מגמות השוק. אולם, למעשה, המדד לא רק משקף את השוק, אלא הוא גם הגורם המניע אותו. מסקנה – לא צריך להתעסק בכלכלה, אלא במתמטיקה של המדד. מה הרעיון? הרעיון אומר, שמי שבוחר תיקי השקעות לא יכול להכות את המדד לאורך הזמן. אם כך מדוע להתאמץ, או לשלם למי שמתאמץ על מנת שיבחר את המניות הטובות? מספיק להשקיע בדיוק במדד על-ידי החישוב המתמטי הנכון. ביסוד הרעיון שאמרת, ובהנחה שהוא נכון, קמו בעשר השנים האחרונות מכשירי ההשקעה הידועים בעולם כ-ETF ובישראל כתעודות סל – אלה המתחרים העיקריים לקרנות הנאמנות. שוב, כמה דוגמאות ומספרים, תחילה מחו"ל: נייר הערך הסחיר בעולם הינו ETF בעל השם המקורי QQQQ. נכס הבסיס של נייר הערך הזה הינו מדד הנסד"ק. המחזור היומי ב-QQQQ הינו כשני מיליארד דולר – פי עשרה מהמחזור היומי בבורסה בתל-אביב. ובארץ: לפני 3 שנים הייתה בארץ תעודת סל אחת, היום יש יותר משמונים. היקף הנכסים שהן מנהלות, תמורת דמי ניהול קטנים יחסית לדמי הניהול בקרנות, הינו כ-12 מיליארד ₪, שהם כ-10% מההיקף הנכסים המנוהלים בקרנות. המחזור היומי הינו כ-200 מיליון ₪, שהם כ-20% מהמחזור בבורסה – וזה לדעתי אינו הסוף.

לסיום מספר משפטים על חינוך, בורסה ומתמטיקה. הבורסה מתחילה בימים אלו במהלך של חינוך הנוער להבנה כלכלית. אנו חושבים, שכדאי, שכל בוגר תיכון ידע, נוסף לכל הדברים החשובים אותם הוא לומד, גם מה זה פק"ם, קרן פנסיה, מניה, קרן נאמנות ואיגרת חוב. הייתי לפני מספר שנים במסגרת משלחת של רשות ניירות ערך בארצות הברית והתגוררתי אצל אחי, שהיה אז בשליחות. בת אחי, שהייתה אז בכיתה ו' התעסקה עם גיליונות הבורסה. כששאלתי אותה מה היא לומדת, הסבירה לי שהיא לומדת אחוזים, וזאת באמצעות ניתוח השינויים בשערי המניות. אני חושב שזו דוגמה לדרך מעולה הן ללמוד מתמטיקה והן ללמוד את כישורי החיים האמיתיים.

דני רופ: פרופ' קארו בבקשה.

יאיר קארו: תראו בלחץ זמן צריך להגיד דברים נוקבים. המתמטיקה היא חשובה. הרי אתם לא מתארים לעצמכם, שאשים את נפשי בכפי בפני אולם כזה ואומר ההיפך. היא חשובה כתחום ידע, שהחל עוד בתקופה היוונית קלאסית והפך ליצירת ענק. היא חשובה בנגזרותיה לטכנולוגיה, היא חשובה כגורם שנותן את המודלים המתמטיים של חלק מענפי המדע. אבל כשלווקחים את ההשפעה שלה והנוכחות שלה במערכת האקדמית, היא מכסה ורלבנטית כתחום ידע ישיר או עקיף לכ-30% ממה שנלמד היום במערכות האקדמיות. 70%, שזה מדעי החברה בחלקם ומדעי הרוח ברובם, ובאומנויות ועוד – שם מתמטיקה (אני לא מתייחס להיבטים הקוריוזים שלה אלא להיבטים המהותיים) היא לא כל-כך חשובה. האנשים האלה רוצים לחיות. מדינה, שבנויה רק על טכנולוגיה, היא ספרטה. אנחנו לא רוצים להיות ספרטה. ואסור לנו לגדל את עצמנו כספרטה. ישראל כספרטה יש בה טכנולוגיה מצד אחד, האמצע נעלם, והצד השני שלו זה כוכב נולד, ונולד לרקוד. אז אולי אנחנו נולדנו לרקוד עם טכנולוגיה. אבל זוהי טעות לאומית שאנחנו לא מצליחים להיחלץ ממנה: אסור לטפח רק את הטכנולוגיה ולהזניח את הרוח והשורשים – זה מרשם בדוק לכישלון. ישנם 25% מבני הנוער שימצאו דרכם למדעים ולטכנולוגיה וזאת המשימה שלנו, כל מי שעוסק בעולם המתמטי, יש לתת לו את היכולות המתמטיות הטובות ביותר על מנת שיתפתח לאותם כיוונים של יכולתו הטבעית. ישנה אוכלוסיה באמצע וישנה אותה אוכלוסיה, שאני קורא להם משה דיין, כי לא רואים אותם היות ומביטים עליהם בעין העיוור, אפילו אצל ליאורה (לינצ'בסקי) הם היו בצבע כהה (בשקפים). 56% נכשלים, שאנחנו מותירים אותם מאחור. אלה הפוטנציאל האחר, הפוטנציאל האבוד. אנחנו כותשים אותם במתמטיקה לגריסים ופתייתים. במקום שנאמר מה אנחנו רוצים ולא מה המדינה רוצה. המדינה לא רוצה כלום. המדינה היא תוצאה של רצונות והכרעות פוליטיות. אנחנו צריכים להגיד מה צריך כל אזרח לקבל בבית הספר. לא מה האוניברסיטה רוצה ככלי מיון – את מי זה בכלל מעניין. ובכלל זה בתוך האמירה הכללית על מטרות מערכת החינוך ובתי הספר יש לקבוע איזה היקף ידע מתמטי אנחנו דורשים. לא לחיות במתכונת החוזרת על עצמה שבה מודיעים ש-46% עברו את הבגרות ואז יש סיבה למסיבה במשרד החינוך. היעד שמדינת ישראל צריכה לשאוף אליו הוא 95%, 95%! איך אנחנו בכלל יכולים לשבת פה ולסבול את זה ש-56% מהתוצרים של המערכת שאנחנו שותפים לה נכשלו. 56 זה כמעט נכשל בציון ונכשל בפועל. 56% שנכשלו – אנחנו כשלו.

אני מחזק את פרופ' דן עמיר. שלוש שנים עובד עליו 'להבקיע את קרטגו'. להפסיק לפחד מהאמירה 'תהייה רמה יותר נמוכה'. ה-56% השקופים הללו מחכים שנקבע להם את אותו הסף, שאם הם יעברו אותו במתמטיקה ובאנגלית ובעברית יגיעו לבסיס הסביר של דרישות וכלים, שצריך להציב בפני כל בוגר מערכת החינוך. אתם יודעים שמצבה של העברית קשה יותר ממצבה של המתמטיקה – רק לא מרגישים בזה, אולי. אצל רוב אזרחי ישראל (ואני לא מדבר על האוכלוסייה

הערבית, לא התייחסו אליה, גם לא אל המצב הנורא שלה במתמטיקה) אצל דוברי העברית, כשפת אם, אצל רוב אזרחי ישראל היהודים, העברית היא שפה זרה שנייה. נסו פעם לדבר איתם – איזו דלות. ולכן אני מחזק את דן עמיר ואת הצוות הזה שקיבל את קביעתו, מלפני יותר משש שנים, שמוכרח להיות רמת יעד לאומית. תמיד אומרים עבר במתמטיקה זה שלוש יח"ל ואז אנשים לא מבינים, מה זה 2 יח"ל? 2 יח"ל זה לא נחשב? אכן כן 2 יח"ל פירוש לא זכאי לבגרות. אנחנו מוכרחים רענון השקפות בכל עניין הבגרות ומטרתן. להציב יעד אמיתי ולא 44%, יעד אזרחי, יעד מחייב ולא רק במתמטיקה, גם באנגלית ובעברית ובמגזר הערבי – ערבית; להציב יעד, שאני קורא לו כישורי חיים, ואני לא רוצה למדוד אותו ביחידות. עליו תהיה חובת בחינה, עליו לא מתווכחים ולא מקבלים תוצאה של 44% אלא 95%. ישנם 5% שהגורל לא מאפשר להם להגיע.

דני רופ: מתמטיקה זה כישורי חיים? זה חלק מכישורי חיים?

יאיר קארו: פעולות הבסיס של המתמטיקה אלה כישורי חיים ברורים!!! אומר לך פה עודד טירה דברים ברורים, אומר לך דרור שליט דברים ברורים. והם מדברים כבר על כישורים מתקדמים יותר. אבל רוב המתמטיקה עד גמר כיתה ט אפשר ברענון מסוים לראותה ככישורי חיים. בלעדיה האוטונומיה שלך להבין, לקרוא ולתפקד לבד פוחתת.

דני רופ: ניסים ברדה בבקשה.

ניסים ברדה:

צה"ל שואף להימצא בקדמת הטכנולוגיה על מנת ליצור יתרון איכותי לכיסוי על הפער הכמותי. לשם פיתוח, תחזוקה ושימוש באמצעי לחימה מתקדמים הצבא מעדיף, כמובן, להשתמש בכוח האדם הפנימי שלו ולא להיות תלוי בגורמים חיצוניים, על כן הוא מגייס ומכשיר כוח אדם למטרות אלו. כוח אדם זה מועיל לא רק למערכת הביטחון, אלא גם מפתח עתודה ניהולית בתחום הטכנולוגיה במדינת ישראל, כיוון שהחיילים של היום הם אלו שיתרמו ויפתחו את המשק בעתיד. לצורך כך צה"ל נדרש לכוח אדם איכותי ובעל כישורים מתמטיים בין השאר.

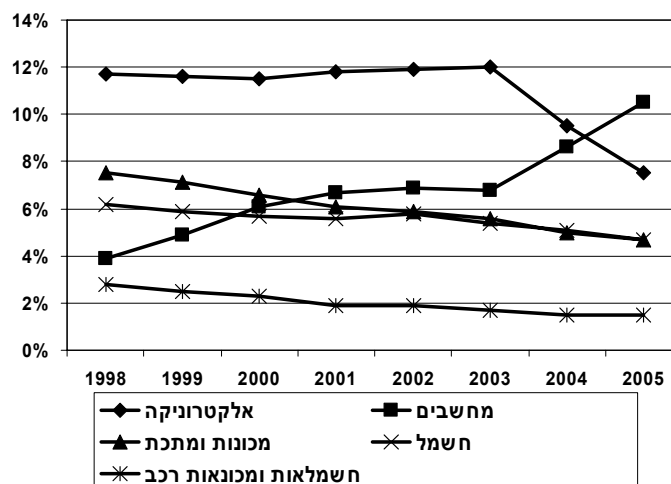
תחומים בהם צה"ל נדרש לנוער בעל כישורים מתמטיים

כתוצאה מריבוי השימוש באמצעים טכנולוגיים, צה"ל נדרש לחיילים בעלי כישורים מתמטיים בתחומים רבים. מובן שצה"ל כגוף, המכשיר את כוח האדם שלו בעצמו, מעביר הכשרות בתחום זה (החל בקורסים צבאיים, המפתחים, בצורה זו או אחרת, את הכישורים המתמטיים ועד הכנה לבחינת בגרות במתמטיקה למי שלא עברו אותה בתיכון). באופן כללי לצה"ל נדרש נוער בעל כישורים מתמטיים בשלושה מסלולים: אקדמי, טכנולוגי וצבאי.

חיילים במסלול הלימודים האקדמיים הם בעיקר אלה אשר לומדים במסגרת העתודה האקדמית. בהמשך המאמר יוצגו נתונים המתייחסים למסלול העתודה האקדמית במגמות הנדסה ומדעים המדויקים וכן מסלול "תלפיות" הכולל הכשרה אקדמית.

לימודים טכנולוגיים נערכים במסגרת מסלול העתודה הטכנולוגית ובעיקר בתחום האלקטרוניקה. בצה"ל תחום זה הינו הנדרש ביותר, לכן ישנה עדיפות לשיבוץ במקצוע זה על פני מקצועות דומים אחרים. להלן מובאים נתונים המצביעים על ירידה דרמטית בשיעור הלומדים במגמות טכנולוגיות קלאסיות, ממנה ברור הצורך של צה"ל לפתח מסלולים אטרקטיביים לבוגרי תיכון עיוני (כלומר שאינו בעל השכלה טכנית) להכשרה ושירות במקצועות במערך הטכני.

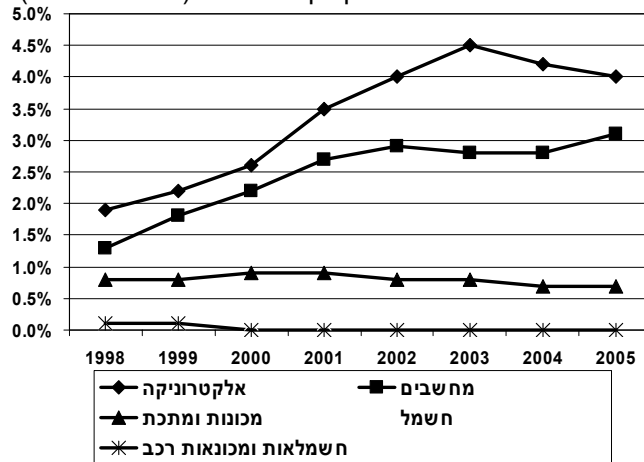
תרשים 1: אחוז הגברים הלומדים בנתיב הטכנולוגי מתוך סך הלומדים* (מגמות נבחרות)



(*) תלמידי כיתות י עד י"ב, יהודים במוסדות ממלכתיים או ממלכתיים דתיים (ללא חרדים)¹.

¹ מקור הנתונים: למ"ס, 2005.

תמונה דומה מתגלה כאשר בוחנים את התנהגות הנשים, כפי שניתן לראות בתרשים הבא:
תרשים 2: אחוז הנשים הלומדות בנתיב הטכנולוגי מתוך סך הלומדות* (מגמות נבחרות)



(*) תלמידות כיתות י' עד י"ב, יהודים במוסדות ממלכתיים או ממלכתיים דתיים (ללא חרדים).²

באופן כללי ניתן לראות שבמדינת ישראל ישנה ירידה בביקוש ללימודי Low-Tech (מכונות, מתכת, חשמל וכו' לעיל) ועליה בביקוש ל-High-Tech. בפועל אין ירידה דומה בצרכים למקצועות אלו בצה"ל או במדינה בכלל, על כן הבעיה היא בעיה צבאית ולאומית כאחד.

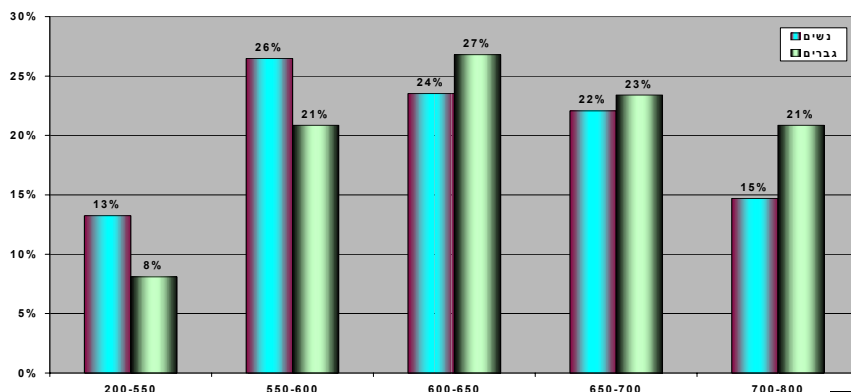
במספר **מקצועות צבאיים** נוספים צה"ל נדרש לנוער בעל כישורים מתמטיים – בוגר מגמה ריאלי פסיקלית, או כזה שהצלחתו בהתמודדות עם בעיות בעלות אופי מתמטי מוכוונת באופן אחר. מדובר בתפקידי תכנון כוח אדם, תכנות (בהכשרה צבאית), מאמני טיסה, חונכי מתמטיקה ופסיקה וכן במספר מקצועות מודיעין.

נשים במקצועות מתמטיים-מדעיים-טכנולוגיים בצה"ל

במסגרת מערכת השיבוץ אותה מפעיל צה"ל למקצועות צבאיים, נאספים נתונים ומחושבים מהם מדדים שונים ליכולות של המיועדים לשירות. מדדים אלו מאפשרים להחליט איזו הכשרה להעניק או איזה מקצוע מתאים למתגייס. בין השאר, מדדים אלו מתארים את **היכולות הקוגניטיביות** בתחום הכמותי. בצה"ל יודעים לומר, שערכו של המדד קשור גם להכשרתו המתמטית הבית-ספרית של המיועד לשירות, אך אינו מקביל לציון במקצוע המתמטיקה. המדד מספק ניבוי טוב לאפשרות ההצלחה במילוי תפקידים צה"ליים, אשר הדרישות בהם אינן חופפות לדרישות של מערכת החינוך. ראוי לציין כי הישגי הנשים, במבחן הקובע את ערכו של המדד, נמוכים מעט מהישיגי הגברים. המשך המאמר דן בהבדלים אלה בין גברים לנשים ומתאר את הפעולות שצה"ל נוקט לצורך צמצום הפער.

מועמדים **הנרשמים למסלול העתודה האקדמית** מהווים מדגם מייצג של הנרשמים ללימודים אקדמיים בכלל. הלומדים במסלול זה במגמות ההנדסה והמדעים המדויקים הם חלק מהעתודה הניהולית בתחום הטכנולוגיה במדינת ישראל.

ניתוח נתוני המבחנים, אותם עוברים המועמדים ללימודים בעתודה האקדמית מראה, כי שיעור הנשים המתקבלות ללימודים במגמות ההנדסה והמדעים המדויקים הוא 16% בלבד, לעומת 26% המתקבלות ללימודים בכלל. כמו כן מתגלה קשר ישר בין קבלה למגמות אלו לבין ציון הבחינה הפסיכומטרית: ציוני הבחינה נמוכים יותר בקרב הנשים. בתרשים ניתן לראות כי 39% מהנשים הן בעלות ציון פסיכומטרי נמוך מ-600, לעומת 29% בלבד בקרב הגברים.

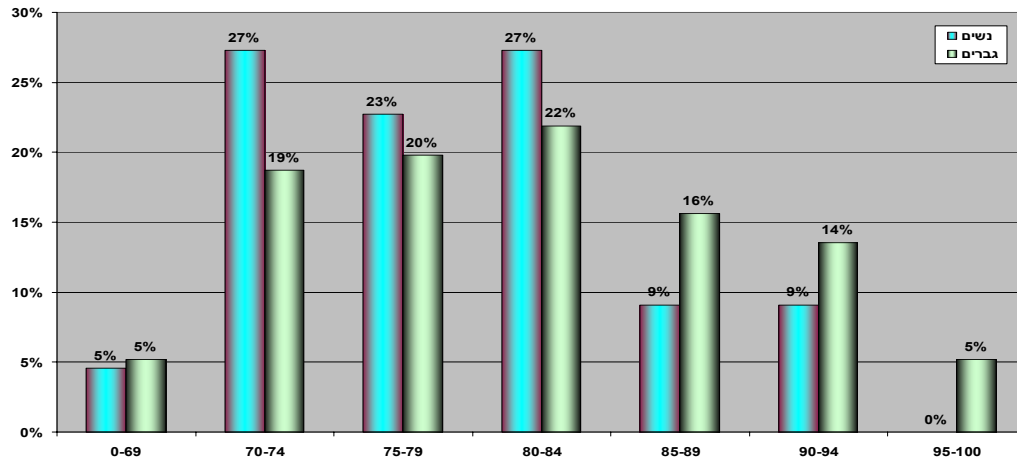


תרשים 3: ציוני הפסיכומטרי של הנרשמים למסלול העתודה בחלוקה למגדר

² מקור הנתונים: למ"ס, 2005.

גם כאשר אנו בוחנים את ההישגים של המסיימים ללמוד מתמטיקה (תואר ראשון), אנו רואים כי ממוצע הציונים נמוך יותר בקרב הנשים: 55% מהנשים מסיימות בציון נמוך מ-80, לעומת 44% בלבד בקרב הגברים.

תרשים 4: הציונים בתואר הראשון של הלומדים מתמטיקה בעתודה האקדמית



יש לציין כי בחינת הנתונים של כלל הלומדים באקדמיה מצביעה על כך שישנם מקצועות בעלי רב יחסי משמעותי של גברים, כמו: מתמטיקה, סטטיסטיקה ומדעי המחשב (67% גברים), מדעים פיסיקליים (61.8% יותר גברים) והנדסה ואדריכלות (72.7% יותר גברים). לעומת זאת יש גם מקצועות בעלי רב יחסי של נשים: מדעי הרוח (68.5% יותר נשים), מדעי החברה (65.9% יותר נשים), מקצועות עזר רפואיים (79.8%), ומדעים ביולוגיים (61.4% יותר נשים).³

עובדה מעניינת נוספת, העולה ממחקרים ותואמת את הממצאים הנאספים בצה"ל היא, שהישגי נשים במדעים ומתמטיקה גבוהים יותר, כאשר הן לומדות בכיתות נפרדות.⁴ תופעה דומה מתגלה גם בצה"ל: לפני איחוד ההכשרה לקצונה לגברים ונשים, שיעור הנשים המצליחות בקורס היה גבוה יותר, כלומר בעת האיחוד שיעור הנשים המצליחות בקורס ירד ובה בעת חלה עליה בשיעור הגברים המצליחים בקורס. לדעתנו, באגף משאבי אנוש בצה"ל, ניתן להסביר את התופעה בעזרת גורם התחרותיות – גברים מתמודדים ולומדים בהצלחה גם בסביבה פחות תחרותית; הנשים מצליחות יותר בסביבה חד-מגדרית, כאשר לא מתבצעת השוואה לגברים, לא על ידן ולא על-ידי החברה; השוואה כזו יכולה לגרום לירידה בביטחון העצמי שלהן, בעיקר בתחומים הנחשבים גבריים (מקצועות שהם בעלי רוב גברי).

סיכום

המגמות שאנו רואים בצה"ל הינן לרב תמונת ראי של המגמות בחברה הישראלית בכלל. צה"ל מנסה לפעול למען שיפור איכות כוח האדם שלו ממניעים פנימיים, אך כל שיפור כזה מהווה גם תרומה למשק. מן הראוי שגם מערכת החינוך תיתן יד לפיתוח ולטיפול כוח האדם הטכנולוגי בכלל והנשים בפרט.

דני רופ: אני מודה מאוד למשתתפי הפנאל.

התחזית לימים הקרובים – ארבעה ימים בהם תהייה התחממות, מעין שרב – לפי המודלים המתמטיים. תודה שהייתם פה ונקווה להרבה תלמידים טובים במתמטיקה בלי פחדים ובלי מחסומים.

³ מקור הנתונים: אחוז הלומדים באוניברסיטאות לפי סוג תואר וחוג לימודים בשנת 2003-2004 (מקור: למ"ס 2005).

⁴ למשל במחקרה של זמירה מברך, המדענית הראשית לשעבר.