

מדינה אחת, מחשב אחד

בניית מחשב הוויצק במכון ויצמן באמצע שנות ה-1950, ההחלטה ותוצאותיה

תקציר

עבודה זו מספרת את סיפורו של המחשב הראשון שנבנה במזרח התיכון, במכון ויצמן למדע ברחובות, בן הדור הראשון של המחשבים האלקטרוניים הדיגיטליים - מחשב הוויצק. העבודה מחולקת לשני חלקים. הראשון מספר את סיפור ההחלטה, הבנייה והשימוש במחשב, תוך הדגשת המהלכים שהביאו להתנעת הפרויקט ולהשלמתו. הדגשתי את הטקטיקות בהן נקט חיים לייב פקריס, יוזם הפרויקט, כדי להביא להגשמתו, ותיארתי את הסביבה המיוחדת בה הוא התנהל. החלק השני של העבודה מעריך את הפרויקט מנקודות מבט שונות, מודד את מידת הצלחתו על פי קריטריונים שונים ומנסה להסביר הצלחה זו בעזרת השוואתו לפרויקטים דומים בעולם. לבסוף, מוערכת תרומתו של הפרויקט להתפתחות טכנולוגיית המחשוב במדינת ישראל.

פיתוח המחשב האלקטרוני הדיגיטלי, שהחל בשנות ה-1930 וה-1940, קיבל תנופה רבה בעיקר בארה"ב ובאנגליה במלחמת העולם השנייה ובשנים שלאחריה. בארה"ב פותחו מחשבים במספר מרכזים, ביניהם בית ספר מור להנדסת אלקטרוניקה של אוניברסיטת פרינסטון, שם פותחו המחשבים ENIAC ו-EDVAC, והמכון למחקר מתקדם בפרינסטון בו פותח המחשב ששימש כמודל לוויצק. מחשב המכון למחקר מתקדם, שפותח בניהולו של ג'ון פון נוימן, היה אחד המחשבים הראשונים בעלי "ארכיטקטורת פון נוימן", מחשב אלקטרוני דיגיטלי עם תכנית מאוחסנת בזיכרון, והיווה מודל לרבים מבין מחשבי הדור הראשון.

בשלהי מלחמת העולם השנייה, לרגל יום הולדתו ה-70 של חיים ויצמן, החליטו מוקיריו בארה"ב להרחיב את מכון זיו ברחובות, שהוקם כעשור קודם לכן ביוזמתו של ויצמן, לכדי מכון מחקר מקיף. מכון מחקר זה, לימים מכון ויצמן למדע, תוכנן לכלול חמש מחלקות: מחלקה למתמטיקה שימושית, מחלקה לאופטיקה, מחלקה לביופיזיקה, מחלקה לחקר איזוטופים ומחלקה לחקר פולימרים כבדים. אנשי מדע גויסו כדי לעזור בתכנון ולהוות את הצוות המדעי המוביל. ביניהם היה פקריס שגויס כראש המחלקה

למתמטיקה שימושית. פקריס יליד ליטא, השלים את לימודי הדוקטורט שלו בארה"ב באוניברסיטת MIT. התנסותו הראשונה בשימוש במחשב אלקטרוני התרחשה בזמן מלחמת העולם השנייה, עת ביצע מחקרים עבור הצבא האמריקאי באוניברסיטת קולומביה שבניו יורק. הוא התרשם עמוקות מכוחו של המחשב, ומיד לאחר שצורף לצוות ההקמה של מכון ויצמן, גמלה בליבו ההחלטה לבנות מחשב אלקטרוני ברחובות.

עוד לפני שהגיע לרחובות ולפני הקמת מכון ויצמן, בעודו לוקח חלק בתכנון המכון החדש, פעל פקריס כדי לאפשר ולהבטיח בניית מחשב במחלקה למתמטיקה שימושית. הפעולות בהן נקט נועדו מצד אחד להביא להחלטה על בניית מחשב ולהפכו לפרויקט הכרחי, ומצד שני להפוך את הפרויקט לאפשרי באמצעות גיוס המשאבים הכספיים, הידע וכוח האדם המתאים. בתקופת עבודתו במכון למחקר מתקדם, כחבר בפרויקט בניהולו של פון נוימן לחקירת השימוש במחשב בתחום המטאורולוגיה, יצר פקריס קשרים אישיים עם מדען נודע זה ואירגן ועדה מייעצת למחלקה למתמטיקה שימושית במכון ויצמן. חברי הוועדה היו מדענים בעלי שם במכון למחקר מתקדם בפרינסטון: פון נוימן, איינשטיין, אופנהיימר, קרמרס ופיס. ועדה זו החליטה שיש מקום לבנות מחשב ברחובות. במקביל ניסה פקריס לקבל התחייבות לפרויקט המחשב מצד הנהלת מכון ויצמן העתידי, כדי להפכו למחויב המציאות. להשגת מטרה זו דאג פקריס, בין השאר, להתייחס לפרויקט כאילו הוא ודאי ומובן מאליו. כך למשל, בדיוני התכנון עם ארכיטקט המכון, טען למען הקצאת מקום למחשב. כן עשה כמיטב יכולתו כדי לאתר מדענים בעלי ניסיון בפרויקטים דומים בארה"ב ולהביאם לרחובות, ופעל כדי להבטיח כי להקמת המחלקה למתמטיקה יוקצה תקציב השווה לתקציבי שאר המחלקות, תקציב אותו תכנן לשמור לפרויקט המחשב.

עקב מלחמת העצמאות של ישראל נדחתה חנוכתו של מכון ויצמן, כמו גם הגעתו של פקריס לישראל שהגיע לרחובות בסוף שנת 1948. מכון ויצמן נחנך בסוף שנת 1949 עם ויצמן כנשיא, ארנסט דוד ברגמן כמנהל מדעי ומאיר ויסגל כיושב ראש הוועד המנהל. ההחלטה העקרונית לבנות מחשב התקבלה עוד לפני חנוכתו של מכון ויצמן וכביכול הוקצה תקציב התחלתי, אך עדיין לא נורתה יריית הפתיחה לפרויקט.

משך כשנתיים, בעודו ממתין לשעת הכושר כדי להתחיל את בניית המחשב, פעל פקריס בנחישות להכנת התשתית הדרושה לכך. יחד עם זאת, העדיף לדחות את הפרויקט כל זמן שלא היה בטוח בהצלחתו. המכשולים שעמדו בדרכו, להם היה מודע היטב, היו אי השלמתו של המחשב במכון למחקר מתקדם, חוסר ידע באלקטרוניקה דיגיטלית ובבניית מחשבים במדינת ישראל, אי זמינותו של איש מפתח לניהול הפרויקט - שכן פקריס עצמו לא הבין בבניית מחשבים ולפיכך לא יכול היה לנהל את הפרויקט בעצמו, היעדר מימון ומחסור בציוד וברכיבים אלקטרוניים במדינת ישראל באותן שנים.

פקריס רצה להבטיח תמיכה מלאה בפרויקט כשזה יעלה לדיון בוועדה המדעית, לכן המשיך לפעול להפיכתו למחויב המציאות והציג אותו שוב ושוב כפתרון לבעיות חישוב שהועלו על ידי מדעני מכון ויצמן. כל אותו זמן הוא המשיך להתעדכן במצב הטכנולוגיה ובעיקר במצב המחשב ההולך ונבנה במכון

למחקר מתקדם. הוא אף אירגן לפריי, פסיקאי איש חיל המדע ומבחירי אנשי האלקטרוניקה בישראל, שהות במכון למחקר מתקדם כחלק מצוות המחשב שם, במטרה לרכוש ניסיון וידע בבניית מחשבים וכדי לקבל מידע מעודכן ומיד ראשונה על מצב המחשב שם. פריי גם סייע ברכישה ואיסוף של הרכיבים הדרושים לבניית מחשב. ברחובות שקד פקריס על גיוס תומכים לפרויקט בקרב מדעני המכון ומנהליו, ביניהם אהרון קצ'לסקי-קציר, ישראל דוסטרובסקי ווייסגל.

רק בתחילת שנת 1952 הועלה נושא בניית המחשב לדיון בישיבה של הוועדה המדעית של מכון ויצמן והוחלט פה אחד לממש את הפרויקט. עם זאת שורייך תקציב חלקי בלבד, פחות מ 10% מהתקציב הנדרש, בתקווה שיכסה את ההוצאה הדרושה לשנתו הראשונה של הפרויקט. החלטת הוועדה המדעית הייתה שלב הכרחי אך לא מספיק להבטחת ביצוע הפרויקט ופקריס, בעזרת פריי ווייסגל, המשיך במהלכו לדחיקת הפרויקט: חיפוש ומציאת מנהל לפרויקט, בחירת מודל המחשב, איסוף רכיבים אלקטרוניים על ידי פנייה ליצרני רכיבים וציוד אלקטרוני יהודים בארה"ב, הכנת מעבדה לביצוע הפרויקט, השגת מימון ממקורות חיצוניים וממענקי מחקר והעברת תקציבים בתוך מכון ויצמן עצמו לטובת המחשב.

בהמלצתו של פריי גוייס ג'ראלד אסטריין, שהיה מהנדס צעיר ושותף לבניית המחשב במכון למחקר מתקדם, כמנהל הפרויקט. בסוף 1953 הגיע אסטריין לארץ עם אשתו תלמה אסטריין, שאף היא הצטרפה לצוות המחשב. בעזרת פריי גויסו אנשי הצוות הראשונים: צבי ריזל, מהנדס בעל ניסיון במערכות רדאר ובניהול, אביעזרי פרנקל, מהנדס צעיר בוגר הטכניון ומיכה קדם, טכנאי. כן הוקמה מחלקה לאלקטרוניקה, שם צפוי היה המחשב להיבנות, הודות לתרומתו של בנימין אברמס.

תכנון המחשב החל ב- 1954. המחלקה למתמטיקה שימושית קבלה את כל השרטוטים של מחשב המכון למחקר מתקדם, אך הוחלט על מספר שיפורים שדרשו שינויים בתכנון. החשוב שבהם היה הגדלת מרחב הכתובות של המחשב מ- 1024 מילים ל- 4096 מילים. שינוי זה דרש את תכנונה מחדש של יחידת הבקרה המרכזית, שכן הגדלת אורך כתובת הזיכרון הצריכה שינוי בקידוד הפקודות. אסטריין, במחשבה תחילה, לא ניסה טכנולוגיות חדישות, מלבד בתחום הזיכרון שהיה נקודת תורפה של המחשבים הראשונים ואיים לעצור את התקדמותם. כפתרון ביניים הוחלט לבנות תוף מגנטי, שיוחלף בזיכרון של טבעות מגנטיות ברגע שרכיב זה יהיה זמין לקנייה. זיכרון הטבעות המגנטיות עמד אז בחזית הטכנולוגיה והוא אשר הביא לפתרון בעיית הזיכרון הקריטית של מחשבי הדור הראשון. כדי להבטיח את אמינות התוצר הסופי ניבנה המחשב תוך שמירה על אילוצי תכנון אותם הכיר אסטריין מפרויקט המחשב במכון למחקר מתקדם. המחשב ברחובות הושלם לקראת סוף שנת 1955 ושמו נבחר להיות ויצק: - WEIZAC Weizmann Automatic Computer, (השימוש בסיומת AC היה מקובל עבור המחשבים הראשונים).

כשנה לאחר מכן זכה הוויצק להיות המחשב הרביעי בעולם בו הותקנה מערכת זיכרון מסחרית של טבעות מגנטיות וכתוצאה מכך, הפך להיות אחד המחשבים המהירים בתקופתו. כל שנות עבודתו תוחזק הוויצק

על ידי ריזולוציות, שהצליחו להביא להפעלתו בצורה יעילה שבעה ימים בשבוע, עשרים וארבע שעות ביממה. במשך השנים מומשו בו שיפורים רבים, כמו התקנה של כונני סרטים מגנטיים או התקנה של מדפסת שאפשרה הדפסה מבלי לגזול מזמן המחשב עצמו.

עוד בתקופת בניית הוויצק החל פקריס לעבוד על עיבוד בעיות פיסיקליות כך שתתאמנה לפתרון על ידי מחשב אלקטרוני. כמו כן החל בגיוסם של אנשי תוכנה. הבכיר שבהם היה פנחס פיליפ רבינוביץ, אשר רכש ניסיון בשימוש במחשב ב- NBS (National Bureau of Standards) בארה"ב, ומונה למתכנת הראשי של הוויצק. כלי פיתוח תוכנה לא היו בנמצא ולכן רוב התכניות נכתבו בשפת מכונה, תוך שימוש ברוטינות מתמטיות ובמערכת אינטרפרטר שפותחה מאוחר יותר במחלקה למתמטיקה שימושית. מערכת זו הקלה על כתיבת התכניות וסייעה בקריאה לרוטינות ובניהול אריתמטיקה של נקודה צפה.

פקריס ואנשי המחלקה למתמטיקה שימושית עשו שימוש רב בוויצק למחקריהם. אך לא נגרע חלקם של מדענים ממחלקות אחרות של מכון ויצמן וממוסדות מחקר אחרים בארץ, כמו הטכניון והאוניברסיטה העברית. גם מוסדות ממשלתיים כמו הלשכה המרכזית לסטטיסטיקה וכוחות הביטחון נהנו מכוחו של הוויצק. כן ניתנו קורסים בתכנות ובעקרונות המחשב למשתמשים רבים מחוץ למכון. בין המשתמשים החיצוניים של הוויצק בולטים אנשי הלשכה המרכזית לסטטיסטיקה, שביצעו עליו סקר לדוגמה, ממנו למדו את יתרונות המחשב ואת הדרך לשימוש בו. מוסד חשוב נוסף שהשתמש בוויצק הוא צה"ל, שנעזר בו לביצוע עבודות מודיעין ומחקרים שונים בתחום אמצעי לחימה. צוות הוויצק אף סייע, בתחילת שנות ה-1960, בייעוץ ובהעברת ידע בתהליך רכישת המחשב הראשון על ידי צה"ל, קליטתו והטמעת השימוש בו.

הוויצק היה הראשון בסדרה של מחשבים שנבנו במחלקה למתמטיקה שימושית. כבר כשנתיים לאחר שהופעל החלו פקריס וריזול לחשוב על המחשב שיחליפו. בסוף 1963 כובה הוויצק ואז נתרם למחלקה למתמטיקה שימושית מחשב CDC - 1604, כמחשב "ביניים", עד לסיום בנייתו של מחשב חדש, מחשב גולם א'. זה האחרון נכנס לשימוש בשנת 1965 ומיד נבנה לו תאום - מחשב זהה, שעלותו הייתה נמוכה בהרבה עקב ירידת מחירי הרכיבים. במקביל החל גם תכנונו של מחשב נוסף, גולם ב'. אלא שפרויקט זה נתקל בקשיים רבים, השלמתו נדחתה והוא הגיע לכדי הפעלה מלאה רק בשנת 1974. אז כבר היה במכון ויצמן מרכז חישוב שבמרכזו עמד מחשב IBM, והוחלט שלא לבנות מחשבים נוספים במכון.

החלק השני של מחקר זה בוחן את מידת הצלחת הפרויקט ואת היקף השפעתו בטווח הקרוב והרחוק יותר. נבחן גודל ההישג הטכני שבבניית הוויצק מנקודות מבט שונות ועל פי שיטות שונות. בשלב ראשון השווייתי את תהליך הבנייה ואת תכונות המחשב למספר מחשבים אחרים מאותה תקופה, העתקי המחשב של המכון למחקר מתקדם. בחנתי גם את אפקטיביות הפרויקט על ידי בדיקת מידת השימוש במחשב. ביצעתי הערכות, הן אבסולוטיות תוך התעלמות מתנאי הסביבה, והן בהשוואה למדינות אחרות, מפותחות ומתפתחות. השוואת הוויצק עם מחשבים אחרים בני דורו העלתה כי אין הוא נופל מהם בביצועיו, באמינותו ובכמות העבודה היעילה שהופקה ממנו. נתון זה מפתיע לנוכח העובדה שבשנות ה-1950 לא

הייתה קיימת בישראל תעשיית אלקטרוניקה ואף המחקר והחינוך בתחום היו דלים ביותר. גם בהשוואה למדינות "דומות" לישראל הצעירה של שנות ה-1950, כמו הודו, אירלנד וטייוון בולט ההישג שבבניית הוויצק. בשלוש מדינות אלו, אירלנד, וטייוון שפיתוחן הכלכלי בשנות ה-1950 היה דומה לזה של ישראל והודו שקיבלה עצמאות יחד עם ישראל לאחר שנים של שלטון בריטי, לא היה בנמצא מחשב באותן שנים, לא כל שכן מחשב בסדר הגודל של הוויצק. קל וחומר שלא נבנה שם מחשב כזה.

את ההסבר להצלחת הפרויקט מספקת במידת מה בחינתו כפרויקט טכנולוגי של ארגון, על פי קריטריונים שמעלה ויליאם אספריי (Aspray William) במאמרו *The Institute for Advanced Study Computer: A Case Study in the Application of Concepts from the History of Technology*. ניתוח על פי הקווים שמתווה אספריי, תוך השוואה עם פרויקט המחשב של המכון למחקר מתקדם, מעלה כי המשימה הארגונית של מכון ויצמן תאמה במידה רבה לפרויקט של בניית מחשב, בעוד אשר המשימה הארגונית של המכון למחקר מתקדם הייתה זרה לפרויקט המחשב שם. למעשה, משקלו האישי של פון נוימן היה הגורם העיקרי לאימוץ פרויקט טכנולוגי במכון בו טופח מדע תיאורטי, בעוד אשר עיסוק בטכנולוגיה ומדע יישומי התקבלו במכון ויצמן כהכרח וכחובה שכן נועדו לסייע לבניית הבית הלאומי בארץ ישראל. פרמטרים כמו ההלימה בין הפרויקט למשימות הארגון, הגדרה ברורה ובת השגה של מטרות הפרויקט, המחויבות המלאה של הארגון כמו גם רוח הצוות, הם שהובילו להצלחת פרויקט הוויצק כנגד כל הסיכויים.

תרומתו של הוויצק להתפתחות המדע בישראל נמדדת במחקר זה על פי קריטריונים כמותיים ואיכותיים. כמות המאמרים שכותביהם נעזרו בוויצק הייתה גדולה ביותר בהשוואה למחשבים אחרים, ורבים מהם זכו לציטוטים מרובים. בכך תרם הוויצק להאדרת שמו של מכון ויצמן כמרכז מחקר ברמה בינלאומית. מחקרים בתחומים כמו תורת הקוונטים, חקר חומרים מגנטיים, גאופיזיקה, ספקטרוסקופיה בעזרת קרני X, תהודה מגנטית גרעינית ובדיקת מעגלים דיגיטליים נעזרו בוויצק לביצוע החישובים הדרושים. בעקבות זאת זכתה המחלקה למתמטיקה שימושית לשבחים על הישגיה בניצול המחשב, כפי שמעידים אזכורים של הוויצק ופניות של אנשי מדע.

המחקר מצביע על תרומת הוויצק לתהליך ההפצה והאימוץ של טכנולוגית המחשוב בישראל, ומראה כי מחשב זה היה אחראי לשלבים הראשונים בתהליך הפצת טכנולוגיה זו בישראל. הצגתי תוצאות ישירות ובכללם הכשרה וחינוך, פעולות של אינדיבידואלים בישראל כמו גם דוגמאות של השפעות עקיפות לטווח רחוק יותר. פרויקט הוויצק היווה צינור להעברת ידע בתחום המחשוב למדינת ישראל, הן בזכות קורסים שהועברו על ידי אנשי המחלקה למתמטיקה שימושית, והן באמצעות אנשי מדע ומהנדסים מחו"ל שבאו לעבוד על בניית מחשבים במחלקה למתמטיקה שימושית. מדעני מחשב ישראלים ידועי שם, עשו את ראשית דרכם בתחום במכון ויצמן. ביניהם אמיר פנואלי, זוכה פרס טיורינג וחתן פרס ישראל, אשר עבד על הוויצק כסטודנט בטכניון. פנואלי, יחד עם חגי ועידו לחובר, שאף הם עבדו על מחשבי המחלקה למתמטיקה שימושית בשנות ה-1960, היו שותפים באחת מחברות התוכנה הראשונות בישראל, חברת

מיני מערכות, אשר סיפקה לאחת מחברות ההזנק הראשונות בישראל, סאיטקס, את התוכנה למוצריה. דוגמה נוספת הוא מפעל חדשני בתחום אחזור המידע, פרויקט השו"ת, החל את דרכו במחלקה למתמטיקה שימושית על ידי אחד מבוני הוויצק, פרנקל. המחקר אף מראה כי הימצאותו בישראל של מחשב העומד בחזית הטכנולוגיה העולמית הביא לגאווה לאומית, שבאה לידי ביטוי במאמרים בעיתונות ובדרכים אחרות. באותן שנים, שנות קליטת עליה והתמודדות עם סביבה עוינת, לא בוצעו פרויקטים רבים של טכנולוגיה עלית בישראל.

לסיום, המחקר בודק האם הייתה לוויצק תרומה משמעותית לאימוץ טכנולוגיית המחשוב בישראל, באקדמיה, בצבא ובארגונים אחרים. ניתוח על פי התיאוריה של רוג'רס (Everett M Rogers), המתוארת בספרו Diffusion of Innovations, מראה כי הייתה לפרויקט הוויצק תרומה חיובית ניכרת. הוויצק סיפק לאקדמיה, לצה"ל ולמוסדות אחרים במדינת ישראל פלטפורמה עליה החל תהליך אימוץ הטכנולוגיה החדשה. הוא אפשר את היחשפות הקהילה לקיומו של החידוש, את העמקת הידע והבנה טובה של הטכנולוגיה כמו גם את ההתנסות המוצלחת בחידוש. לעובדה שפעל במדינת ישראל מחשב זמין ואמין בו ניתן היה להתנסות, הייתה חשיבות מכרעת בשלבים הראשונים של תהליך אימוץ החידוש. כמו כן, החשיפה שקיבל הוויצק בפרסומים מדעיים, בעיתונות ובכינוסים, הגבירה את הביטחון בחידוש, והאיצה את תהליך אימוצו על ידי הקהילה של אותם ימים במדינת ישראל.

לא ניתן לבדוק אמנם אם, ללא בניית הוויצק, היו התקדמות טכנולוגיית המחשבים במדינת ישראל כמו גם התפתחות המחקר המדעי בה, שונות בתכלית השינוי. מאידך הראיתי שלקיומו של מחשב בעל יכולות גבוהות בשלב מוקדם זה של התפתחות המחשבים בעולם, הייתה השפעה רבה על התקדמות הקהילה המקומית בתחום המחשוב. בנייתו והפעלתו של מחשב במכון ויצמן בעשור הראשון של התפתחות המחשבים האלקטרוניים בעולם, הם שהכינו את הרקע והכשירו את התנאים לכניסתה המוקדמת של ישראל לעידן המחשבים. הוויצק הביא להכרה ביכולתו של המחשב, להבנה של דרך פעולתו ולניסיון בעבודה עליו. ההכרה ביכולתה של ישראל לקיים פעילות סביב המחשב ולנצלו בצורה מרבית, נתנה לגיטימציה להשקעה כספית גדולה במחשוב בשנות ה-1960. הוויצק הביא להפצת הידע בישראל באמצעות קורסים שניתנו על ידי הצוות או דרך לימוד ישיר מעבודה על המחשב, ובספקו פלטפורמה להתנסות. מאוחר יותר, עם בניית מחשבי הגולם ופתיחת תכנית לימוד ישיר מעבודה על המחשב, ובספקו פלטפורמה והופץ ידע בנושאי חומרה, כמו תכנון בעזרת טרנזיסטורים ותכנון מחשבים, כמו גם ידע תיאורטי בתחום התוכנה. הוויצק אפשר שימוש מוקדם בטכנולוגיה, ובכך תרם להטמעתה בקהילות המדע והמשל בישראל. השימוש הופץ במיְלִיָה האקדמי, בצבא, ובמוסדות הממשלה, ומשם התפשט בכל המדינה.

הוויצק היה אות הזינוק לתהליך אימוץ טכנולוגיית המחשבים בישראל.