



סדנא בנושא

**תהליך החדשנות הטכנולוגית:
האם לישראל יש יתרון יחסי במוצרים עתירי מדע?**

סיכום ממצאי מחקר משותף

הסמינר התקיים בטכניון בתאריך 15.4.1993

שלמה מיטל**

אמנון פרנקל**

הריולף גרוף*

**Fraunhofer-Institute for Systems and Innovation Research,
D-7500 Karlsruhe GERMANY** *

מוסד שמואל נאמן למחקר מתקדם במדע ובטכנולוגיה, קרית הטכניון, חיפה 32000 **

סדנא בנושא

תהליך החדשנות הטכנולוגית: האם לישראל יש יתרון יחסי במוצרים עתירי מדע?

סיכום ממצאי מחקר משותף

הסמינר התקיים בטכניון בתאריך 15.4.1993

שלמה מיטל**

אמנון פרנקל**

הריולף גרופ*

Fraunhofer-Institute for Systems and Innovation Research,
D-7500 Karlsruhe GERMANY *

מוסד שמואל נאמן למחקר מתקדם במדע ובטכנולוגיה, קרית הטכניון, חיפה 32000 **

הקשר שבין מצוינות מדעית וטכנולוגית לבין יצוא מוצרים עתירי-ידע: ישראל בהשוואה לאירופה

פרופ' שלמה מי-טל
הטכניון

המשפט המסכם בהרצאתו של דר' גרופ, היה חשוב מאוד. הוא אמר שכאשר ניתן לזהות מדד טכנומטרי גבוה המעיד על איכותו הגבוהה של מוצר, ניתן לצפות בוודאות רבה לתוצאות כלכליות טובות שיתבטאו ביצוא, במכירות, בפדיון, בפלח שוק וכדומה. כעת אני רוצה להציג בפניכם, בקצרה, ממצאים מתוך מחקר שביצענו ואשר ממצאיו מטילים ספק במסקנה אשר הובעה, בהקשר של ישראל.

טענתי היא שיש לנו בארץ מצוינות טכנולוגית ומדעית. הצרה היא שמצוינות זו מובילה ליצוא של ידע ולא ליצוא של מוצרים ושרותים. על פי מימצאי המחקר שלנו, אנחנו בישראל, לא ממצים את היכולת הטכנולוגית הגבוהה, יכולת שעלתה בעקבות קליטת הון אנושי עצום מעולי ברית המועצות, וביחד נעלה כמה תהיות לגבי השאלה, מה ניתן או אפשר לעשות? ראשית אתאר בפניכם את המדדים בהם השתמשנו במחקר ואת מימצאיו, ולאחר מכן נדון בפתרונות אפשריים.

כפי שידוע לרובכם, שביל המדע אינו ישר, אלא מתפתל. במחקר שלנו, לא התכווננו לבדוק נושא זה, אך מאחר שדר' גרופ הציג בפניכם את המערכת המשולבת של אינדיקטורים המכמתים את תהליך החדשנות, ומאחר והיו בידו נתונים כמעט לכל שלב ושלב של התהליך, חשבנו שיהיה זה מעניין לבחון את מצבה של ישראל בכל אחד מן השלבים. כלומר, לאבחן מהו מצבה של ישראל על בסיס מדדים אלה בהקשר של: מדע ומחקר בסיסי וישומי, המוצרים, החדשנות ולבסוף היצוא. בדיקה זו כאמור התאפשרה לאור קיומו של מידע כמותי אודות המדדים שנקבעו לכל אחד מן השלבים, עבור מדינות אירופה וגם ישראל.

הרעיון פשוט, ותכליתו היה לאפיין את תהליך החדשנות כתהליך דו-שלבי. בשלב ראשון מושקעים משאבים בתקציבי מחקר ופיתוח, הכוללים משאבי זמן, כוח אדם וכסף על מנת לייצר ידע. בשלב השני מושקע הידע על מנת להפכו למוצרים עתירי ידע לשם יצוא. הרעיון היה לבחון בשלב הראשון את מידת היעילות של הפקת הידע ומצוינות מדעית, כתוצאה מהשקעת משאבים במחקר ופיתוח. אם נניח ש-X מייצג את המדד באמצעותו אנו מודדים את כמות המשאבים המושקעים במחקר ופיתוח, ו-Y מייצג את התפוקות הטכנולוגיות והמדעיות המושגות, הרי שאנו בוחנים את יעילות הפונקציה המובילה מתשומות המו"פ X, לתפוקות מדעיות Y:

$$Y = F(X)$$

בשלב השני, בחנו את מידת היעילות שבהפיכת המצוינות המדעית שהושגה בשלב א', למוצרים עתירי ידע לצורך יצוא. התשומה היא כעת - Y, כלומר מה שהיה תפוקה בשלב הקודם הופך להיות תשומה בשלב השני והתפוקה Z הוא יכולת היצוא.

$$Z = F(Y)$$

כך באמצעות הפשטת המודל הרב שלבי (שהוצג על ידי ד"ר גרופ בהרצאה הראשונה), למודל דו-שלבי, בדקנו באיזו מידה ישראל יעילה בהפקת ידע על בסיס השקעת משאבים, ובאיזו מידה אנחנו יעילים בתרגום הידע ליצוא. יכולת התאמת הנתונים עבור X , Y ו- Z , מאפשרת לבחון את רמת היעילות המושגת בשלב I ובשלב II במדגם של מדינות. ניתוח שכזה, מאפשר על כן להפריד בין מדינות המציגות יכולת ביצוע מרשימה של יצוא, לעומת כאלה בעלות יכולת נחותה ליצוא בין שלב I לשלב II, וכפועל יוצא מניתוח זה, לעצב מדיניות לעידוד היצוא אשר תטפל בשורש הבעיה.

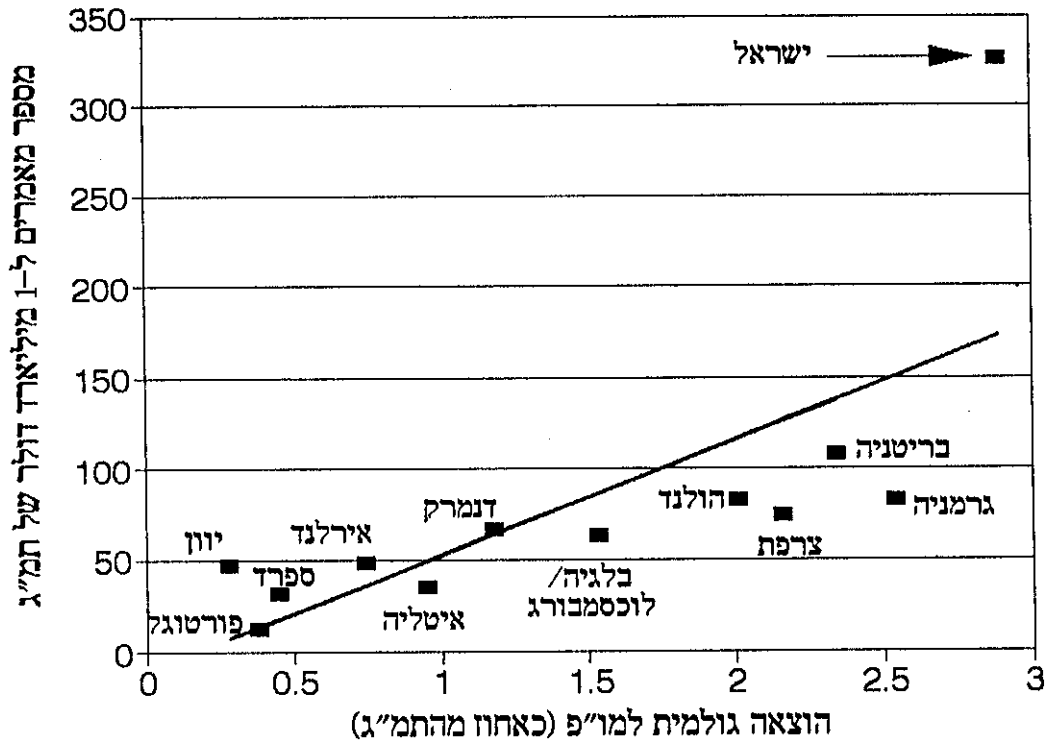
המסקנה שהגענו אליה, שבשלב ראשון אין לישראל מתחרות בין מדינות הקהילה האירופאית שנכללו במחקר. אף אחת מהן אף לא מתקרבת לישראל מבחינת הפקת ידע, אם מדובר בכמות הפירסומים המדעיים, או מספר ציטוטים של הפירסומים, או אפילו בשלב רישום פטנטים. אולם, בשלב השני, היעילות שלנו נמוכה מאוד. מסקנה זו מחדדת את הקביעה של נושא ההרצאה הזאת שאנחנו מייצרים את הידע, אך לא מייצאים מוצרים על סמך ידע הזה.

כיצד בדקנו זאת. אם נחזור למודל השלבים שהוצג על ידי ד"ר גרופ, נראה כי שלבי תהליך החדשנות כוללים את השלבים הבאים: מחקר, מימוש המחקר בצורה טכנולוגית, פיתוח אב-טיפוס, עריכת חדשנות, פיתוח מוצר בשוק על סמך האב טיפוס, יצור, הפצת המוצרים ויצוא. כל שלב מוגדר על ידי אינדיקטור המאפשר מדידתו. בשלב המחקר מודדים את היקף המחקר על ידי מספר הפירסומים המדעיים המופקים על ידי החוקרים בכל מדינה, ומספר הציטוטים למאמרים אלה כאינדיקציה לרמתם המדעית. בהמשך מודדים את מספר הפטנטים הרשומים. איכות המוצרים נבדקת באמצעות השימוש בממד טכנומטרי (יוצג בהרצאה הבאה). השלב הבא הוא שלב היצוא ולשם כך פיתחנו מדד המצביע על יכולת היצוא. מן הראוי לציין כי לישראל הישג אדיר בתחום היצוא. היצוא התעשייתי בארץ הוא בהיקף של כ-12 מיליארד דולר לשנה. בהתחשב בסביבה העוינת בה מצוייה ישראל והקשיים האחרים שיש לנו, ניתן לראות בכך הישג גדול מאוד. חצי מהיצור הזה הוא יצוא עתיר ידע. לפיכך, כיצד ניתן לטעון שאנחנו לא יעילים בתחום זה? תשובה לכך תינתן בהמשך ההרצאה. נחזור כעת לממצאי הבדיקה שנעשתה באמצעות מודל של רגרסיה, לבחון אמפירית את הקשר שבין X ו- Y , וכן להשוות את היכולת האינדודיאולית של המדינות ביחס לקו מגמת הרגרסיה.

תוצאות השלב הראשון מוצגות באיור מס' 1. ציר ה- X מייצג את המשתנה הבלתי תלוי במודל הרגרסיה שהוא ההוצאה הגולמית על מחקר ופיתוח, אשר נמדדה כאחוז מהתוצר המקומי הגולמי בישראל וב-12 מדינות הקהילה האירופאית. ציר ה- Y מבטא את המשתנה התלוי במודל - מספר מאמרים שהתפרסמו בכתבי עת הנדסיים ומדעיים, כולל מדעי הטבע. נתון זה נלקח מתוך בסיס הנתונים של ISI בפילדלפיה, הבונה מסד נתונים ממוחשב מתוך סריקת העיתונות המקצועית בעולם, ומיון המאמרים שנכתבו ופורסמו על ידי חוקרים מהמדינות השונות. ברור שיש כאן הפשטה וישנם משאבים נוספים הקשורים ליצוא ידע, כמו גם תפוקות נוספות מחוץ למאמרים. יחד עם זאת, אלה בהחלט משמשים כאינדיקציות.

התוצאות המתקבלות הן שלמרות שחלק גדול מהמחקר ופיתוח בישראל הוא צבאי - יותר מ-50% וחלק ניכר מממצאים הקשורים במו"פ זה הינם חסויים, דהינו לא באים לידי ביטוי בפירסומים מדעיים, עדיין ישראל מצוייה הרבה מעל לקו הרגרסיה, לאורכו ניתן לראות את מדינות אירופה. כלומר, לו היינו מפרסמים בקצב האירופאי, היינו מצויים בהמשך הקו. היקף הפירסומים בפועל הוא בסדר גודל של פי שניים מעל לתפוקה האירופאית.

איור מס' 1: מספר מאמרים במדעים המדויקים וההנדסה כפונקציה של הוצאות על מחקר ופיתוח בישראל ו-12 מדינות אירופאיות, בשנים 1985-1981



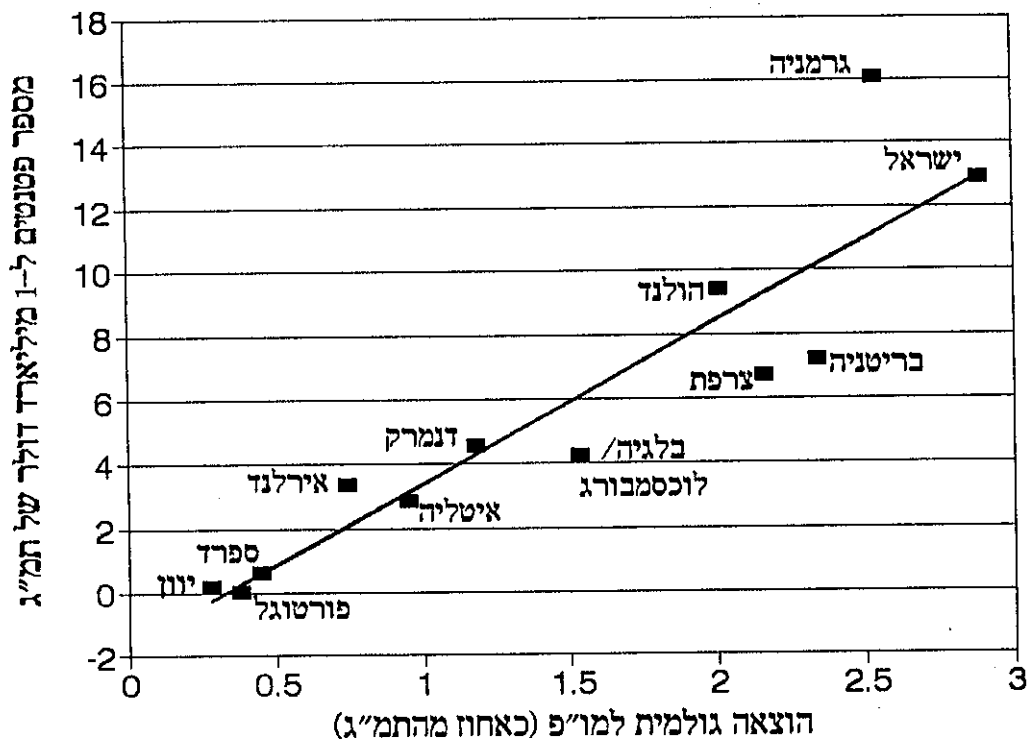
יפן לא נכללה בבדיקה שביצענו, אך ממה שידוע לנו ניתן לציין כי יפן מצוייה נמוך מקו הרגרסיה, מאחר והיא איננה מצטיינת במדע בסיסי. יפן מצטיינת בלימוד הטכנולוגיה הקיימת ובישום מהיר מאוד בפיתוח מוצרים. לגבי השאלה האם המצוינות המדעית של ישראל אינה תוצאה של הכרח וחוסר ברירה? לי אין ספק שיש בכך אמת. מידע אישי שצברתי עקב ישיבתי בועדות מכינות בהם דנים בקידום אקדמי, מתברר כי היום יש דוקטורנטים שעוד לפני קבלת התואר כבר צברו ארבעה, חמישה פרסומים טובים. ישראל היא מדינה תחרותית. מכל מקום אין אני מנסה כעת להסביר מדוע אנו מצויים גבוה מעל קו הרגרסיה, אלא רק מציינ זאת כעובדה.

בישראל כמות הפרסומים היא מאוד גבוהה. נכון שיש להתייחס לכך בזהירות משום שיתכן שמספר מאמרים מתפרסמים על אותו נושא מבלי שהם מחדשים? עובדה זו נכונה, ויתכן שחלק מהמאמרים חסרי ערך. אילו הייתי מראה את תוצאות הרגרסיה המתקבלת כאשר המשתנה התלוי הוא מספר הציטוטים, מה שמעיד טוב יותר על הרמה של מצוינות מדעית, כי אז הינו רואים שגם במקרה זה ישראל מצוייה במצב דומה. במקרה זה מדובר לא על סתם מאמרים, אלא על מאמרים שמוצטטים בספרות שאנשים מוצאים בהם שימוש במדע.

נמשיך למטה בשלבי תהליך החדשנות שהוצג על ידי ד"ר גרופ, לשלב של פטנטים ונציג את הממצאים המתקבלים באיור מס' 2 הנראה בשקף הבא. ציר ה-X שוב מייצג את המשתנה הבלתי תלוי במודל הרגרסיה, שהוא ההוצאה הגולמית על מחקר ופיתוח כאחוז מהתוצר המקומי הגולמי. ציר ה-Y מבטא כעת מספר פטנטים מנורמל בגודל התמ"ג. ישנן מספר דרכים למדוד את היקף ההפטנטים. אנו השתמשנו במספר הפטנטים שנרשמו במשרד הפטנטים האמריקאי על ידי המדינות שנבדקו במחקר.

אלה מהווים אינדיקציה של הנכונות להשקיע במדינה זרה ברישום פטנט. תוצאת הבדיקה מראה כי ישראל מצוייה כעת ממש על קו הרגרסיה, לא מעליו ולא מתחתיו. כלומר, מצבנו דומה לזה המאפיין את ארצות הקהיליה האירופאית. כמובן שהפיתוח הצבאי שהוא גדול בארץ, לא בא לידי ביטוי בנתונים אלה ולכן ניתן לומר שמצבינו טוב יותר ממה שמתקף כאן.

איור מס' 2: מספר פטנטים רשומים (1884-1986) כפונקציה של ההוצאות על מחקר ופיתוח בישראל ו-12 מדינות אירופאיות, בשנים 1985-1981



הועלתה השערה כי קיימת הטייה מסויימת בממצאים הנובעת כתוצאה מן העובדה שלמדען הישראלי בפועל, אין ברירה אלא לרשום פטנט על המצאתו בארה"ב, בה בשעה שמדענים בארצות אחרות רואים את מדינתם כמכובדת דייה לרשום את הפטנטים שלהם בה. להערכתי דווקא הנושא של ארצות הברית מחזק את הטיעון שהוצג. במוסד נאמן בוצע מחקר על מידת שתוף הפעולה בין חוקרים ישראלים וחוקרים מחו"ל (בעיקר מארה"ב) בכתיבת פרסומים מדעיים. מתוצאותיו מתברר כי ישנם פירסומים רבים של ישראלים אשר לא משוייכים לישראל ולכן לא נכללו בתוצאות המיפוי שהראתי באיור מס' 2. הסיבה לכך נובעת מן העובדה שהמאמרים פורסמו על ידם בעת שהותם של החוקרים הישראלים בחו"ל, תחת כתובת זרה, ולכן לא שוייכו לישראל. הרבה מהמחקרים שלנו נעשים בחו"ל במימון אמריקאי ולכן יש לכך משמעות. אגב, המחקר הראה כי איכות הפרסומים הללו (על פי מדד של מספר הציטוטים), גבוהה יותר מאשר של המחקרים המקומיים שנעשו רק בישראל. הבאתם של אלה בחשבון היה מחזק את הטיעון שלי, שישראל מגלה מצוינות ויעילות רבה בייצור ידע על סמך המשאבים הדלים שקיימים, אולי בין היתר משום שמשמשים גם במשאבים של אחרים.

איור מס' 3 מצביע על מה שמכונה ה"שלב השני" של תהליך החדשנות. באיור זה ציר ה-X מייצג את מספר הפטנטים מנורמל בגודל התמ"ג, וציר ה-Y את מה שאנחנו מכנים מדד ה-RCA. זהו מדד שפיתחנו על מנת למדוד את כושרה של המדינה ליצא מוצרים עתירי ידע, מוצרי הי-טק או להחליף יבוא של מוצרי הי-טק בייצור מקומי, פעולה הדומה ליצוא. ביטוי של המדד הוא כדלקמן:

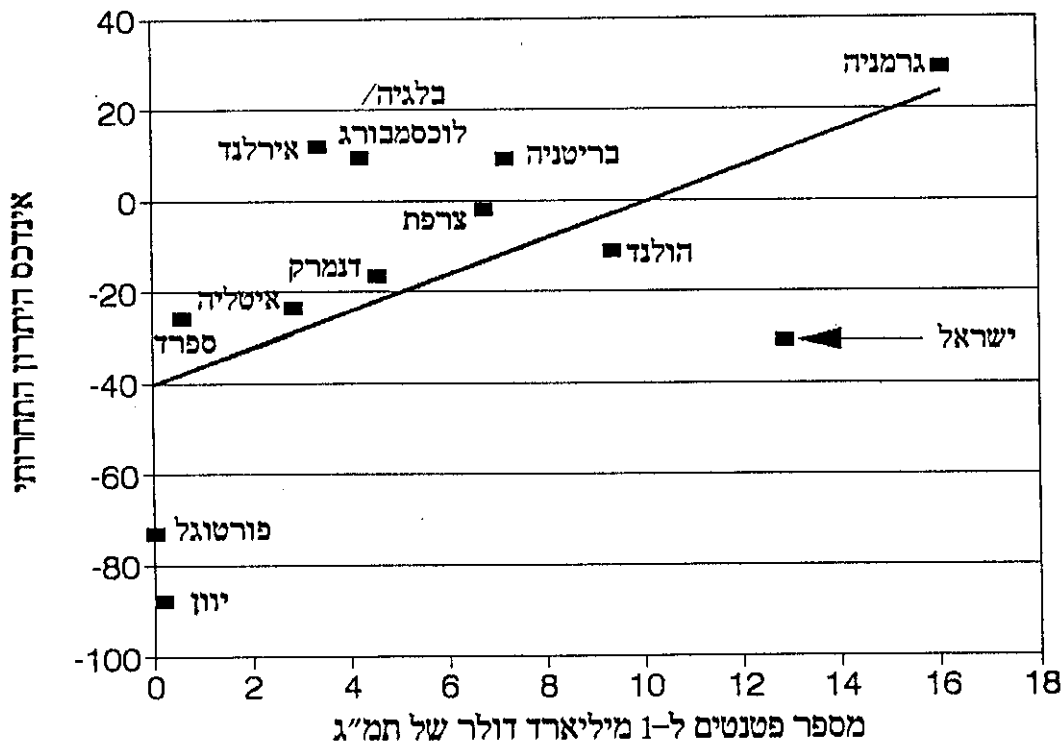
$$RCA = 100 \left\{ \frac{(ES^2 - 1)}{(ES + 1)} \right\}, -100 < RCA < +100$$

$$ES = \frac{EX/IM}{EXTOT/IMTOT}$$

כאשר חלוקת היצוא

EX הוא סך כל היצוא של מוצרי LE על ידי המדינה, IM הוא סך כל היבוא במוצרי LE למדינה, EXTOT הוא סך כל היצוא הכולל של מוצרים על ידי המדינה ו-IMTOT הוא סך כל היבוא הכולל של מוצרים למדינה.

איור מס' 3: אינדקס היתרון התחרותי (1988) כפונקציה של מספר פטנטים רשומים בישראל ו-12 מדינות אירופאיות, בשנים (1984-1986)

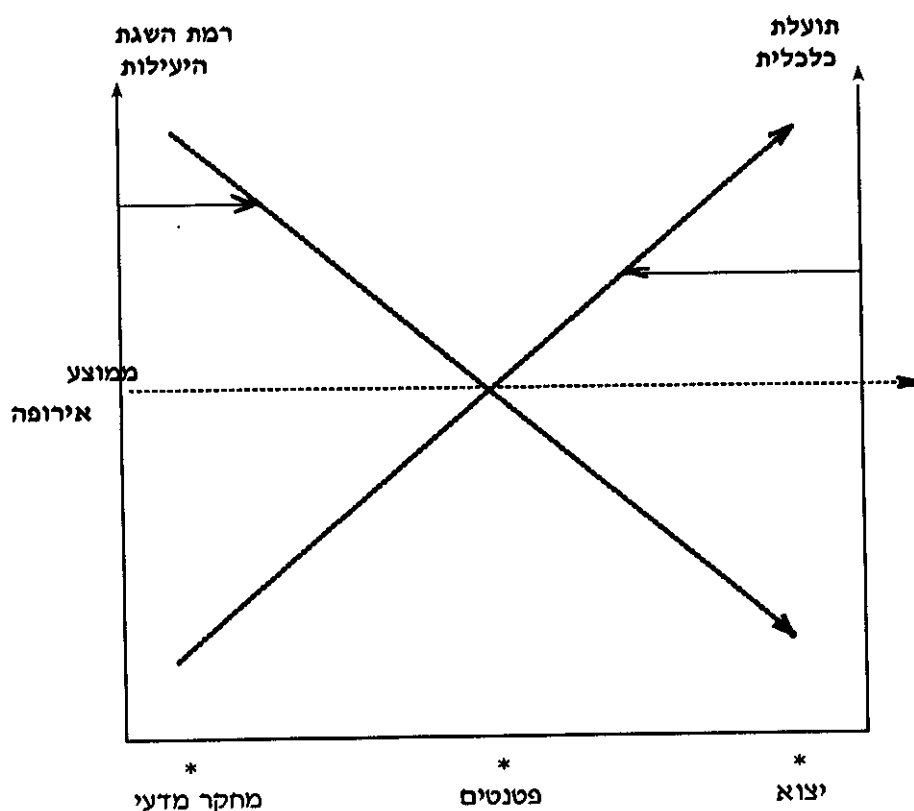


אינדקס ה-RCA נבנה על ידי גרופ כאשר ההגדרה של מוצרי הי-טק לצורך השימוש במדד, היה כל מוצר שהוצאות על המו"פ שלו היו מעל 3.5% מהיקף המכירות. בארץ זה כולל לדוגמה את ענף אלקטרוניקה ועוד מספר ענפים. תוצאות ניתוח הרגרסיה מראים כי קו המגמה מאפין את ארצות אירופה, בעוד שישראל מצויה מתחת לקו, בסדר גודל הייתי אומר של כ-30%. כלומר, לו ישראל היתה ממוקמת ביבשת אירופה והיו לה תנאי פתיחה טובים יותר, הינו מיצאים על אותו בסיס ידע

ב-30% יותר ממה שאנו מצליחים היום. פירוש הדבר, ביטול הצורך בסיוע האמריקאי בכלל, או הרבה מאוד תוצאות טובות אחרות. מן הראוי לציין כי תוצאה זו נשארת תקיפה גם אם נחליף את המדד של היתרון היחסי (RCA) במדד אחוז יצוא מוצרי הי-טק מכלל היצוא התעשייתי. כאמור היקף יצוא ההי-טק בארץ מהווה כמחצית מכלל היצוא התעשייתי, לאור הבסיס המדעי המוצק שלנו, זה יכול היה להיות גבוה יותר.

סיכום הממצאים הללו מוצג באיור מס' 4. ציר ה-X מייצג את שלבי תהליך החדשנות - ממדע ומחקר בסיסי, למחקר ישומי, פטנטים, פיתוח מוצר וכו'. ככל שנתקדם לאורך ציר שלבי תהליך החדשנות, נמצא את ישראל יורדת בציר ה-Y המצביע על מידת המצוינות בתהליך. הבעייה של ישראל היא שהערך הכלכלי של השלב הולך וגדל. ממחקר ופיתוח שום מדינה בעולם לא מתפרנסת, כך שמבחינת הערך הכלכלי, ההצטיינות במחקר מדעי מניבה ערך כלכלי יחסי נמוך לעומת הערך הכלכלי של יצוא מבחינת תפוקה, הכנסה ותעסוקה, שהוא גבוה. לכן, יש קשר הפוך בין ההצטיינות שלנו לבין הפירות הכלכליים שנוכל להפיק משלב החדשנות.

איור מס' 4: רמת היעילות המושגת בשלבי החדשנות והתועלת הכלכלית המופקת מכל שלב בישראל לעומת מדינות אירופה



הערה: התרשים סכמטי בלבד.

אני רואה בממצאים אלה בעיה גדולה במיוחד לאור המבול המבורך של הון אנוש שקיבלנו מבריה"מ. ראוי לציין כי מספר המהנדסים שסיימו את לימודיהם בטכניון מאז 1925 קטן יותר מאשר מספר המהנדסים שקלטנו מרוסיה בשלוש השנים האחרונות. הגיעו לארץ בגל העלייה הגדול מאה שלושים אלף מהנדסים. אמנם ישנה אי בהירות בהגדרת התואר מהנדס בין המגיעים משם, יחד עם זאת המספר העצום שהגיע, מדבר בעד עצמו.

לסיכום, האם קיימת בעיה אמיתית? ומה עושים? לדעתי ישנה בעייה אמיתית הבאה לידי ביטוי באופן בולט בכך שחלק מחברות ההי-טק הגדולות בעולם, הקימו מרכזי מחקר ופיתוח בארץ, לדוגמה: נשיונל סמיקונדקטורס, מוטורולה, אינטל, אי-בי-אם, דיגיטל. חלקן מייצרות גם בישראל אך רוב רובו של היצור הוא במקום אחר כמו סינגפור. ידוע שבישראל לא זול ליצר. השכר שלנו בתעשייה הוא כ-8.5 דולר לשעת עבודה. במזרח הרחוק הוא כ-4 דולר לשעה. אין זה אותר שעה, מפני שיקר ליצר בישראל. הבעייה של ישראל טמונה בעובדה שבאסיה התפוקה לעובד דומה מאוד לתפוקה לעובד בישראל כאשר השכר שלנו כפול. השכר בגרמניה בתעשייה הוא פי שניים ויותר מאשר השכר אצלנו, אבל הפער בערך מוסף לעובד אף הוא גדול מפי שניים. כלומר יש לנו מצוינות טכנולוגית ומדעית, פוטנציאל גדול וצורך גדול מאוד למצות את הפוטנציאל אשר כעת אינו ממוצה. השאלה מדוע זה קורה וכיצד ניתן להפוך את היתרון שיש לנו בשלב אי של תהליך החדשנות, למימוש ביצוא בתפוקה בשלב ב' ? אני מעמיד את השאלה לדיון.

שום השיטה הטכנומטרית למדידת איכות טכנולוגית (Benchmarking) השוואת מוצרים עתירי ידע: ערכות דיאגנוסטיות וסנסורים תעשייתיים בישראל בהשוואה לאירופה וארה"ב.

אמנון פרנקל
מוסד שמואל נאמן

אנסה יחסית בקצרה לתאר מימצאים שהושגו באופן אמפירי במחקר המשותף שלנו יחד עם הקבוצה הגרמנית מ-ISI שבקרלסרוה. בשנת 1990, כאשר התחלנו את המחקר הגדרנו מספר סוגים של תעשיות היכולות להצביע על כיוון לגבי אפשרות ההשוואה בין ישראל למדינות אחרות, תוך שום מודל הטכנוסטריקה אשר פותח על ידי הגרמנים ויושם שם על מוצרים דומים בשנים 1986-1989.

שתי התעשיות אשר התמקדנו בהן במסגרת המחקר שלנו, המהווה מחקר השוואתי של ישראל ביחס למדינות אחרות, בעיקר גרמניה אך גם ארצות הברית, יפן ומדינות נוספות באירופה, הן תעשיית הסנסורים ותעשיית הדיאגנוסטיקה הרפואית. ענפי תעשייה אלה לא נבחרו באקראי אלא כתוצאה מהיותן אחת או שתיים מתוך קרוב לשש או שבע סוגי תעשיות אחרות שנבדקו על ידי הקבוצה הגרמנית בשנים 1986-1989. שיתוף הפעולה איפשר שימוש בנתונים קיימים שנאספו על ידי הגרמנים אודות חברות יצרניות בעולם. מן הראוי לציין כי הקושי הגדול ביותר ביישום מודל הטכנוסטריקה ואשר ד"ר גרופ דיבר עליו במקצת בהרצאתו בפנינו, הוא שלב איסוף הנתונים. זהו השלב בו נדרש החוקר להשיג את הנתונים מכל החברות. בדרך כלל נתונים אלה לא מצויים על המדף, והשגתם כרוכה בביצוע ראיונות אישיים עם מנהלי החברות ואנשי הפיתוח והשיווק שלהם. תהליך שכזה הוא יקר ומשתרע על פני תקופת זמן ממושכת.

שתי התעשיות שבחנו באמצעות המודל, ואשר את ממצאי הבדיקה אציג בפניכם, שונות עד מאוד במאפייניהן. שתיהן תעשיות קטנות יחסית במדינת ישראל ושתיהן מאופיינות בעתירות ידע גבוהה הבאה לידי ביטוי במאפיינים שונים של עתירות ידע. להלן אציג מספר מאפיינים של שתי תעשיות אלה בהשוואה ביניהן ובהשוואה לכלל התעשייה בארץ.

באיור מס' 1 מוצגת התפלגות המפעלים בשתי התעשיות על פי מועד הקמתם. הממצאים מורים כי תעשיית הדיאגנוסטיקה היא תעשייה צעירה מאוד, אשר התפתחה בארץ בעיקר החל משנות ה-80. לעומתה תעשיית הסנסורים בישראל היא תעשייה ותיקה ומרבית המפעלים המשתייכם לה, הוקמו בשנות ה-60 וה-70.

באיור מס' 2 מוצגות התעשיות על פי הרכב כוח האדם המועסק בהם, בהתפלגות לקבוצות על פי המיומנות המקצועית. הממצאים מצביעים על העתירות הגבוהה של ההון האנושי המועסק בתעשיית הדיאגנוסטיקה, בהשוואה לשאר קבוצות התעשייה שבתרשים. שיעור המדענים והמהנדסים מהווה למעלה מ-40% מהמועסקים בתעשייה זו, לעומת פחות מ-20% בתעשיית הסנסורים. בתעשיית הסנסורים הוא אף נמוך מהממוצע לכלל התעשיות עתירות הידע בישראל. בקבוצת ההנדסאים והטכנאים, הפערים קטנים יותר. בקבוצת העובדים ברמת המיומנות הנמוכה (עובדים מקצועיים), בולט השיעור הגבוה של המועסקים בתעשיית הסנסורים, הדומה לזה של כלל התעשייה בארץ.

בהשוואה לכך השיעורים נמוכים בהרבה מהנתונים המקבילים בתעשיית הדיאגנוסטיקה ובממוצע של תעשיות היי-טק בארץ.

איור מס' 1: התפלגות המפעלים לפי מועד הקמתם



איור מס' 2: הרכב כוח האדם בתעשיות לפי רמת המיומנות המקצועית



לבסוף, אציג אינדיקטורים על העתירות המדעית של תעשיות אלה. הנתונים מראים כי תעשיית הדיאגנוסטיקה הרפואית בולטת בכל שלושת המדדים. בתעשיית הסנסורים ההוצאה על מו"פ מכלל הוצאות המפעל אף היא גבוהה, ודומה לזו המאפיינת את ממוצע תעשיות עתירות הידע בישראל. תעשיית הסנסורים בולטת בהשוואה לתעשיות עתירות הידע, באחוז יצוא גבוה של מוצריה (60% לעומת 40%).

מהנתונים שהוצגו עולה כי תעשיית הדיאגנוסטיקה מצוייה בקצהו העליון של מדרג התעשיות עתירות הידע, כפי שמשקף בשיעור המועסקים במו"פ, וההוצאה על מו"פ. יחד עם זאת, סביר להניח כי לעובדה שתעשייה זו התפתחה רק בשנים האחרונות, ומרבית המפעלים מצויים בשלבי התפתחות ראשוניים, יש השפעה על היקף העיסוק במו"פ. עם התפתחותה של התעשייה ומעבר לשלבי יצור סטנדרטים יותר, צפוי שהיקף זה יקטן.

איור מס' 3: מדדי מו"פ ויצוא בתעשיות

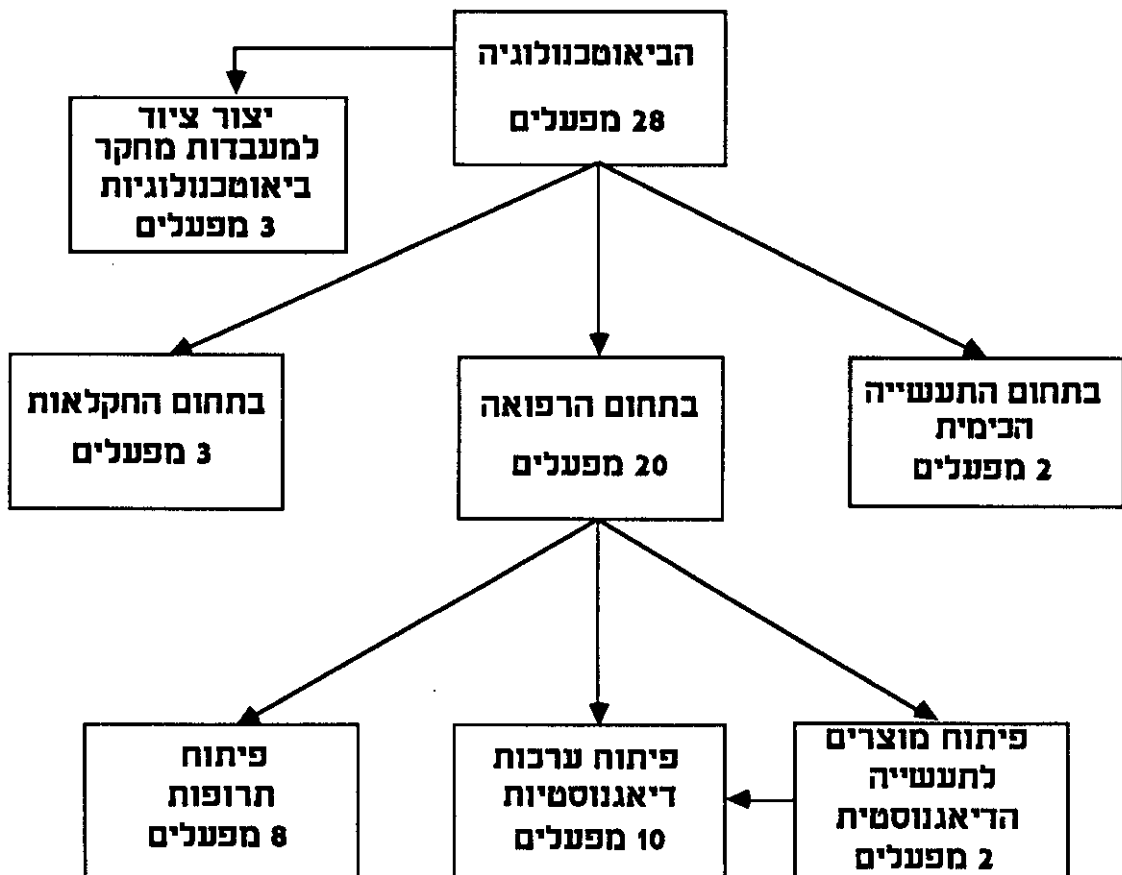


נעבור עתה לסקור את הממצאים מבדיקת הרמה הטכנולוגית של שתי התעשיות תוך השוואה ברמת המדינה באמצעות מודל הטכנומטריקה. המטרה להדגים באמצעות חקרי הארוע אשר בדקנו, את אופן היישום של המודל ואפשרויות השימוש בו. לכן אציג בפניכם מספר בודד של דוגמאות מהיישום אשר ביצענו.

תעשיית הדיאגנוסטיקה הרפואית

ענף הדיאגנוסטיקה הרפואית הוא תת ענף של ענף הביוטכנולוגיה. כאמור זו תעשייה צעירה בישראל ומספר המפעלים בארץ העוסקים בתחום קטן למדי. באיור מס' 4 המוצג לפניכם, מובאת התפלגות המפעלים הביוטכנולוגיים בארץ בחלוקה לתחומי משנה של עיסוק. ניתן לראות כי מתוך כ-30 מפעלים ביוטכנולוגיים, 12 מפעלים עוסקים בדיאגנוסטיקה רפואית, מהם 10 עוסקים בדיאגנוסטיקה רפואית, אך רק ב-8 היה פיתוח של ידע מקומי ולכן נכללו רק אלה בסקר המפעלים שביצענו.

איור מס' 4: התפלגות המפעלים הביוטכנולוגיים בישראל לפי תחומי עיסוק



סקר המפעלים שביצענו העלה מספר יתרונות מול חסרונות של תעשייה זו בארץ כפי שניתן לראות ברשימה שלהלן:

יתרונות

חסרונות

- * קיומה של קהיליה מדעית גדולה בתחום מדעי החיים
- * רמת הידע הישראלי בתחום האימונולוגיה בין הטובים בעולם
- * רמה גבוהה של שיתוף פעולה בזמן אמת בין החברות ומוסדות המחקר
- * יכולת קבלת החלטות מהירה
- * העדר הון סיכון בהרחבת הפיתוח, הייצור, והשיווק.
- * השוק בישראל קטן והתחרות גדולה
- * קושי בחדירה לשווקים ותחרות בשיטות אבחון זולות
- * פיגור בשיווק גורר התיישנות הידע במהירות
- * שיווק על ידי מפיצים בחברות הקטנות חסרות ההון
- * ריחוק משווקים ואספקה של רכיבים טכנולוגיים
- * ריחוק המקשה על חשיפה לטכנולוגיות חדשות

במחקר נבחנה הרמה הטכנולוגית של כל אחת מן המדינות שנכללו תוך השוואה יחסית באמצעות מודל הטכנומטריקה. השיטה הופעה לגבי שתי טכנולוגיות ידועות של פיתוח ערכות לאבחון מחלות והן: ערכות המבוססות על נוגדנים מונוקלונליים (חד שבטיים) ופיתוח ערכות על בסיס של גלאי DNA. אסביר בקצרה כל אחת מן השיטות.

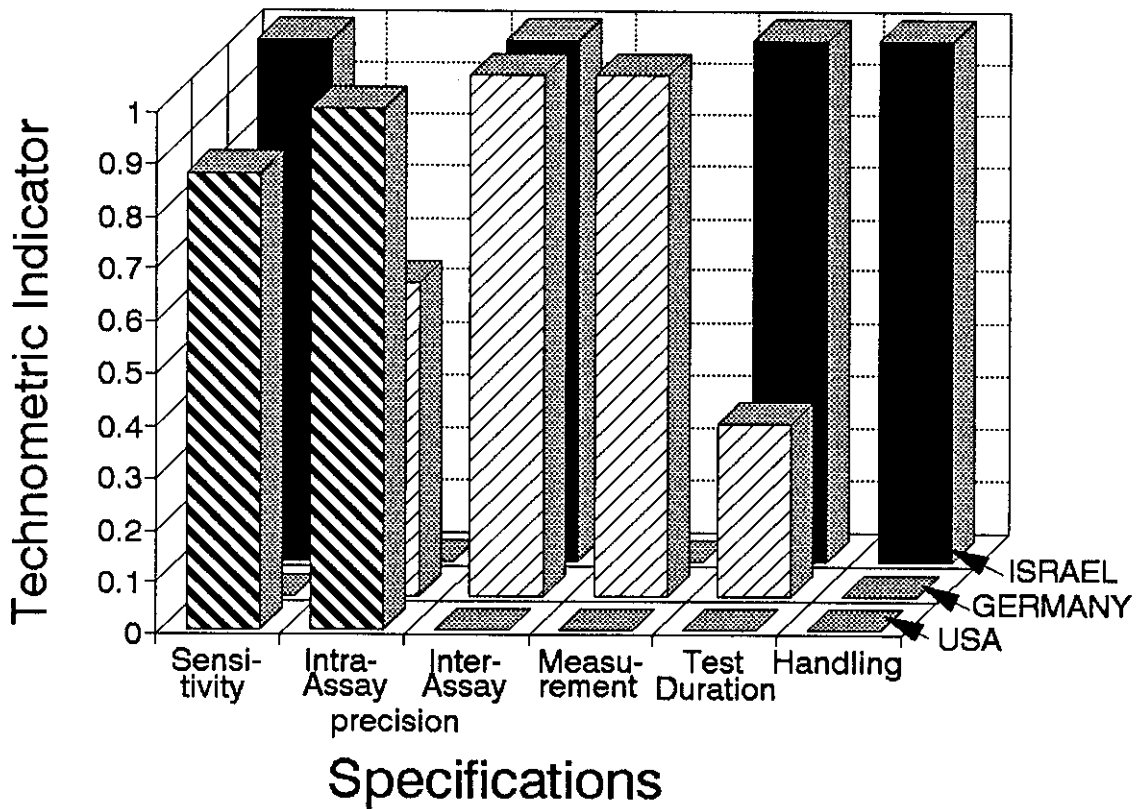
השיטה הראשונה של שימוש בנוגדנים חד שבטיים, היא ותיקה יותר ומבוססת על עיקרון פעולתה של מערכת החיסון של הגוף. מערכת זו אחראית על פיתוח וייצור נוגדנים המותאמים ספציפית להילחם בפולשנים (אנטיגנים) החודרים לגוף וגורמים למחלות. ערכות האבחון מבוססות על זיהוי רמת הנוגדנים הספציפיים הקיימת בגוף, באמצעות בדיקת נוזלי הגוף ואשר ממצא חיובי בהקשר זה, מהווה אינדיקציה לקיומה של המחלה. השיטה מופעלת שנים רבות והפיתוחים השונים שנעשו בה קשורים לשימוש בטכניקות סימון משובחות ויעילות, מהירות ביצוע האבחון, רמת האוטומציה שבביצוע הבדיקה, או פשטות הביצוע ויכולת הפשטה עד כדי מתן אפשרות של שימוש בערכות בקליניקות פרטיות של רופאים ועוד.

השיטה השנייה היא חדשנית יותר והשימוש בה בעולם מצומצם עדיין. היא מבוססת על התאמה חד ערכית הקיימת בין קטע של DNA המסומן באופן רדיואקטיבי או אנזימטי לבין DNA של בקטריות, או וירוסים, או רצפי DNA פגומים. השיטה מאפשרת שימוש בבחוני DNA (DNA Probe) לגילוי קיומם של אנטיגנים פולשנים. שלב הגילוי עשוי להיות מוקדם מיכולת הגילוי באמצעות הטכנולוגיה המבוססת על נוגדנים, יחד עם זאת השיטה מסובכת יותר, דורשת מיומנות טכנולוגית גבוהה יותר ומצוייה עדיין חלקית בשלבי פיתוח. בסקר שביצענו התברר כי שלב הפיתוח של ערכות המבוססות על טכנולוגית ה-DNA, עדיין לא מאפשר מיפוי של צלליות המוצרים באמצעות מודל הטכנומטריקה. לכן צלליות שכאלה מופו אך ורק לגבי ערכות האבחון אשר מבוססות על טכנולוגית הנוגדנים החד שבטיים.

בסקר המפעלים שערכנו בארץ זהו כ-50 ערכות לאבחון מחלות שונות אלה הצטרפו לבסיס הנתונים אשר נאסף במקביל על ידי הקבוצה מגרמניה ואשר הכיל נתונים אודות כ-150 ערכות. בסופו של התהליך ניתן היה להשוות רק חלק קטן מן הערכות, כאשר ההשוואה כללה את ישראל, גרמניה, ארה"ב ויפן. הערכות אשר באמצעותן ניתן היה להשוות את הרמה הטכנולוגית של המדינות שנבדקו, נחלקו לשתי קבוצות: הראשונה, ערכות המשמשות לאבחון מחלות הקשורות לפעילות הורמונלית של בלוטת התריס והורמוני מין; והשנייה, ערכות המשמשות לאבחון החיסון של מחלות זיהומיות. להלן אדגים תוצאות משתי קבוצות אלה.

איור מס' 5 מראה מיפוי השואתי של צללית מוצר של ערכה לאבחון FT-3 (Trijodthyronin חופשי) הקשורה בפעילות של בלוטת התריס. על ציר ה-X מוצבות 6 תכונות המאפיינות את הפרופיל הטכנולוגי של ערכת האבחון. ציר ה-Y מראה את הציון שנקבע על פי המדד הטכנומטרי לכל אחת מתכונות אלה בכל אחת משלוש המדינות שנבדקו - גרמניה, ישראל וארה"ב (ציר Z).

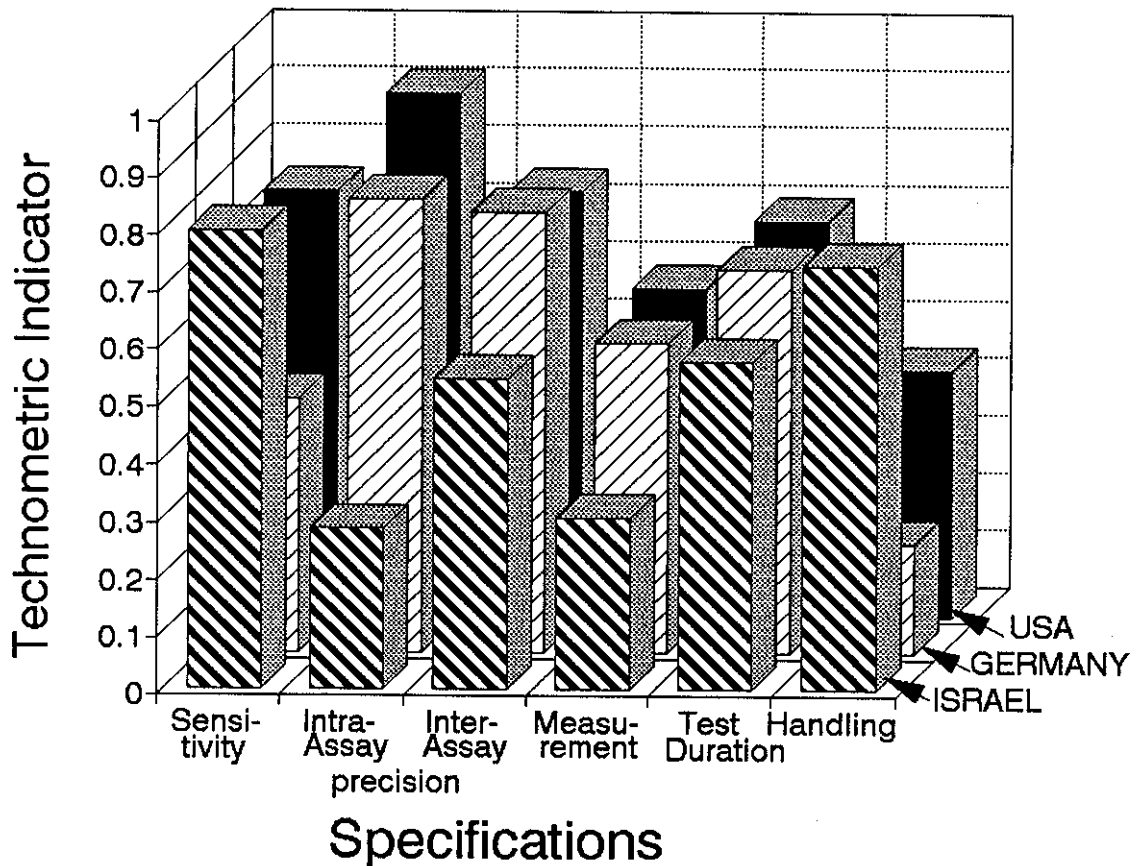
איור מס' 5: פרופיל טכנומטרי של ערכה לאבחון פעילות הורמונלית של בלוטת התריס (FT-3), לפי תכונות המוצר, בישראל, גרמניה וארה"ב



מיפוי צללית המוצר בהשוואת הרמה בין המדינות, מראה כי ישראל מובילה ברמה הטכנולוגית הכללית. הערכים המושגים בישראל בהקשר לערכה מסוג זה, מצטיינים במיוחד ביחס לתכונות בודדות כמו רגישות (Sensitivity) דיוק בין מבדקי (Inter-Assay Precision) משך המבדק (Test Duration) ושלבי הביצוע (Handling). שתי התכונות האחרונות מעידות על יעילות מערכות המבדק בישראל המהווה אינדיקציה לרמת אוטומציה גבוהה יחסית למתחרות. הצד הטכנולוגי החזק של גרמניה מתבטא אף הוא בדיוק הבין מבדקי (Inter-Assay Precision) ובטווח המדידה (Measurement Range). הפיגור נובע מרמה טכנולוגית נמוכה במיוחד בתכונות של טווח מדידה, משך המבדק ושלבי הביצוע, כפי שאלה באים לידי ביטוי בפרמטרים הטכנומטריים. ככל הנראה דרגת האוטומציה של המבדקים הללו בארה"ב נמוכה באופן יחסי. לעומת זאת עושים שם שימוש בנוגדנים מאיכות מעולה כפי שהדבר מתבטא בתוצאות הגבוהות של רגישות המבדק ושל הדיוק הפנים מבדקי.

כפי שהוצג בהרצאה הראשונה, אחת ממעלותיו של המודל הטכנומטרי, היא האפשרות לחשב ציון מיצרפי עבור המוצר הנבדק, כציון ממוצע או משוקלל על פי הרכב כל התכונות גם יחד. דוגמה לכך ניתן לראות באיור מס' 6, המדגים את הפרופיל המצרפי של קבוצת הערכות ההורמונליות שכלל 6 סוגי ערכות שונות בכל אחת משלושת המדינות¹.

איור מס' 6: פרופיל טכנומטרי מיצרפי של 6 ערכות לאבחון פעילות הורמונלית לפי תכונות המוצר, בישראל, גרמניה וארה"ב



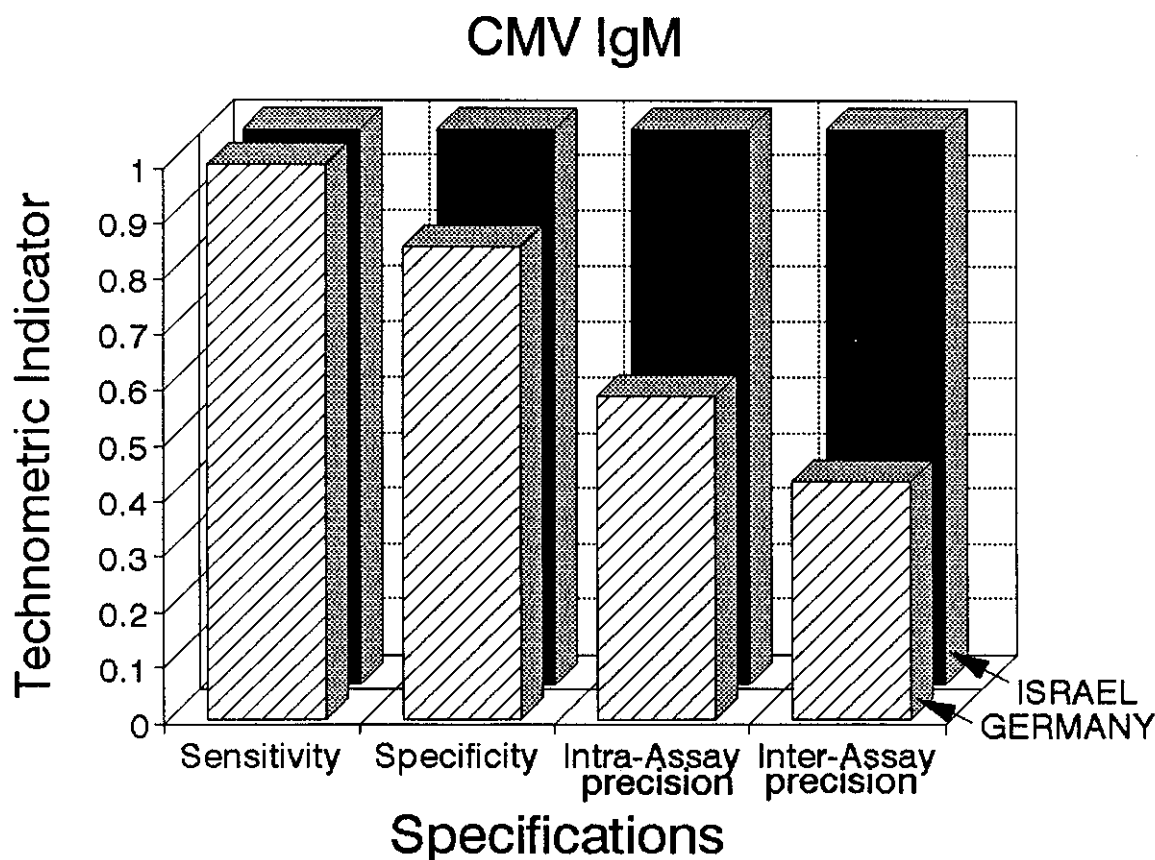
הממצאים העולים מניתוח מיצרפי זה מעידים על כך שארה"ב מובילה בראש (עם ציון טכנומטרי של 0.72) ואילו גרמניה וישראל מצויות מאחוריה (עם ציון כולל של 0.58-0.55 בהתאמה). חולשתה של גרמניה ביחס למתחרותיה, מצוייה בתחום הרגישות והמניפולציה הטעונים שיפור. ההישגים הטכנולוגיים של ארה"ב בתחום הרגישות והדיוק, מעידים על שימוש בנוגדנים מאיכות טובה. גם הרמה אשר הושגה בתחום טווח המדידה ומשך המבדק, מעידים על אוטומציה גבוהה ויכולת תחרותית גבוהה של המבדקים האמריקאים בשוק.

1. הערכות הכלולות בחישוב המיצרפי הן: T-3, T-4, TSH, FT-3, FT-4 ו-PROLACTIN.

הפרופיל המיצרפי של המבדקים הישראלים, אינו מאוזן. הושגו ערכי שיא בשתי תכונות: רמת הרגישות ומספר שלבי הבדיקה. לעומת זאת בשאר התכונות, התוצאות נמוכות יחסית בהשוואה למתחרות ויש מקום לשיפורים. נראה כי תשומת לב צריכה להינתן לשיפור הדיוק של המבדקים, תחום בו הושגו הישגים נמוכים במיוחד בהשוואה למתחרות. תחום זה יש לו חשיבות רבה בעיני המעבדות בבואן לשקול בין האפשרויות המוצעות בשוק.

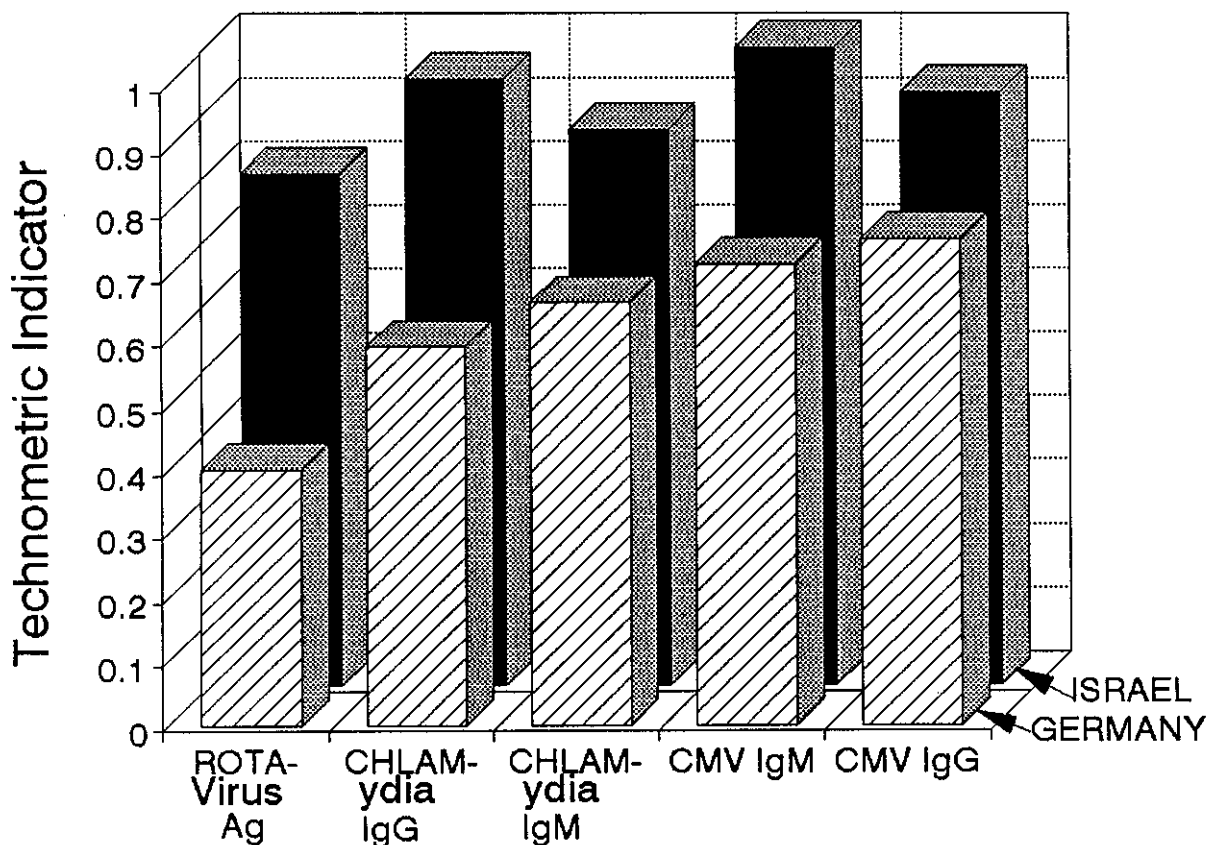
נעבור עתה להדגים את השימוש במודל הטכנומטריקה לגבי ערכות לאבחון מחלות זיהומיות. כאן בחרנו להדגים את הפרופיל ההשוואתי בין ישראל לגרמניה על גבי ערכות לאבחון מחלת ה-CMV (Cytomegalovirus). בפרופיל המוצג באיור מס' 7 שלפניכם (אשר בדק את הערכות המאבחנות נוגדנים מקבוצת IgG) בולטת הרמה היחסית הגבוהה של המבדקים הישראליים ביחס למבדקים מגרמניה. בכל הפרמטרים הנבדקים הושגו בישראל ערכי שיא, לעומת זאת בגרמניה הושג ערך מקביל רק בפרמטר של מידת הרגישות (Sensitivity). חולשתה של גרמניה נובעת בעיקר מרמה טכנולוגית נמוכה בפרמטר של מידת דיוק הפנים והבין מבדקי (Intra & Inter-Assay Precision).

איור מס' 7: פרופיל טכנומטרי של ערכות לאבחון מחלת CMV לפי תכונות המוצר, בישראל, גרמניה וארה"ב



חישוב פרופיל מיצרפי באמצעות מודל הטכנוסטריקה לגבי קבוצת ערכות האבחון של המחלות הזיהומיות נעשה בשתי רמות. הראשונה מודגמת באיור מס' 8, המראה את הציון המצרפי של ישראל וגרמניה, בנפרד לגבי כל אחד משש סוגי הערכות של המחלות הזיהומיות שנבחנו.

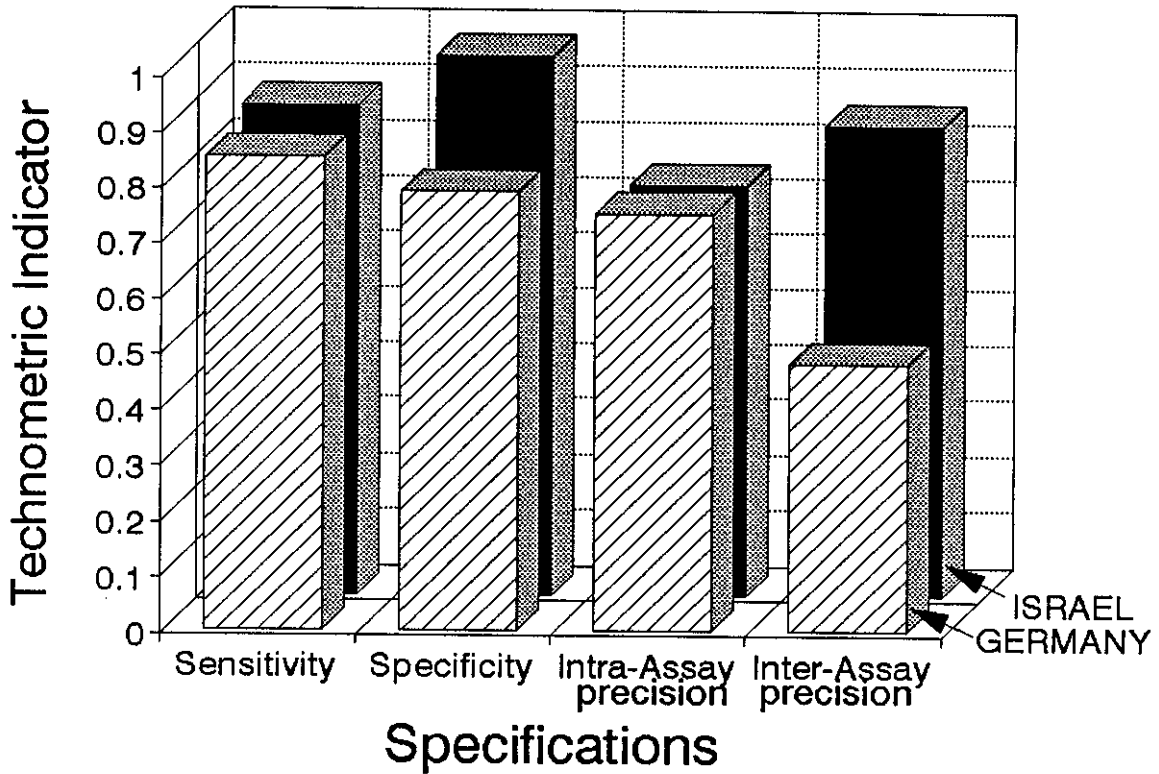
איור מס' 8: פרופיל טכנוסטרי מיצרפי השוואתי של 6 ערכות לאבחון מחלות זיהומיות, ישראל מול גרמניה



מן הפרופיל המוצג באיור, ניתן לראות כי ישראל מובילה בציון המיצרפי הטכנולוגי בכל אחת משש סוגי הערכות לאבחון המחלות הזיהומיות שנבדקו. סוג אחר של חישוב מיצרפי באמצעות המודל הטכנוסטרי הוא חישוב הציון המיצרפי המתקבל בכל אחת מן התכונות המאפיינות את המבדקים, בחתך לרוחב. תוצאות אלה מוצגות באיור מס' 9.

הפרופיל המוצג מראה כי הרמה הטכנולוגית המיצרפית של המבדקים המיוצרים בישראל גבוהה מהמקבילה לה בגרמניה. הציון הטכנוסטרי המחושב של האינדיקטור הכולל שהושג בישראל, הוא 0.87 ואילו בגרמניה 0.75. חולשתה של גרמניה מתבטאת בעיקר במדד הספציפיות ובמידת הדיוק

איור מס' 9: פרופיל טכנומטרי מיצרפי של 6 ערכות לאבחון מחלות זיהומיות לפי תכונות המוצר, בישראל וגרמניה



הבין מבדקי, בהם לישראל יתרון טכנולוגי בולט. בשני המדדים האחרים: מידת הרגישות ומידת הדיוק הפנים מבדקי, ההישגים הטכנולוגים בשתי המדינות דומים. יתרונה של ישראל הבא לידי ביטוי ברמת הרגישות והספציפיות של הערכות המיוצרות בארץ, מצביע על שימוש בנוגדנים מאיכות טובה במיוחד.

מן הראוי לציין כי ההישג הישראלי בולט במיוחד לאור העובדה שמרבית הערכות בתחום המחלות הזיהומיות אשר פותחו בישראל, החלו להופיע בשוק רק מאז 1988. נתון זה מצביע על כושר למידה מהיר של התעשייה הדיאגנוסטית בישראל.

תעשיית הסנסורים

בהשוואה לתעשיית הדיאגנוסטיקה, תעשיית הסנסורים איננה ענף מוגדר חד משמעי. זו תעשייה המשתייכת לקטגוריות שונות של ענפי תעשייה רבים, ולכן קשה מאוד היה לזהות בשלב הראשון של המחקר מי הם המפעלים במדינת ישראל שעוסקים ביצור סנסורים. תעשייה זו לא נמצאה מוגדרת

כענף או תת ענף בקטלוג כלשהו, או פורמט של איגוד התעשיינים וכיו"ב.

הסנסורים הוא שם כולל למגוון רחב מאוד של מוצרים אשר בא לידי שימוש במרבית תהליכי הייצור בתעשייה ובחלק מהמוצרים המוגמרים. לכן, ישנן חלוקות רבות של מוצרים אלה לקבוצות המשוייכות לתעשיות שונות. כך לדוגמה, הביו-סנסורים משוייכים בדרך כלל לתעשיית הביו-טכנולוגיה, סנסורים אופטיים בדרך ימצאו תחת ההגדרה של תעשיית האופטיקה ו/או האלקטרוניקה, סנסורים המודדים לחץ, כוח, תאוצה, טמפרטורה וכיו"ב ימצאו תחת תעשיית המכונות וכיו"ב.

עם תחילתו של המחקר ב-1990, זיהינו בישראל כ-46 מפעלים העוסקים ביצור עצמי של סנסורים תעשייתיים. באלה כלולים רק מפעלים שמייצרים סנסורים בידע ישראלי, כלומר לא כללנו מפעלים שרכשו את הטכנולוגיה מבחוץ, וכל תרומתם מתמצת בעטיפה של המוצר ושיווקו. בסקר בו איתרנו את המפעלים ואשר ארך מספר חודשים, ניתן היה לחלק את המפעלים לשלוש קבוצות:

א. מפעלים שמייצרים את אלמנט החישה כמוצר לשיווק, או כאלה הכוללים בייצור את השיטה הסנסורית כולה - 27 מפעלים.

ב. מפעלים שרוכשים את האלמנט הסנסורי בחו"ל אולם משפרים אותו טכנולוגית על בסיס ידע מקומי - 13 מפעלים.

ג. מפעלים שבהם הסנסור הוא חלק מתוך מערך יצור של מוצר כולל גדול יותר. הסנסור מהווה מרכיב במערכת מתוחכמת המיוצרת במפעל, ואינו מוצר המשווק בנפרד - 6 מפעלים.

הסנסורים מהווה קבוצת מוצרים מגוונת מאוד ומתחלקת לסוגים רבים. ניתן לחלקם על פי מסלות המדידה שלהם וכן לפי העיקרון הפיסיקלי שבו הם פועלים. אנו הגבלנו את תחום הבדיקה לחלק מסך כל סוגי הסנסורים הקיימים בשוק וחלק ממסלות המדידה, כאשר האילוץ הקובע היה מסד הנתונים אשר עמד לרשותנו. סוגי הסנסורים ומסלות המדידה אשר נכללו במחקר מוצגים ברשימה להלן:

מסלת המדידה העיקרון הפיסיקלי

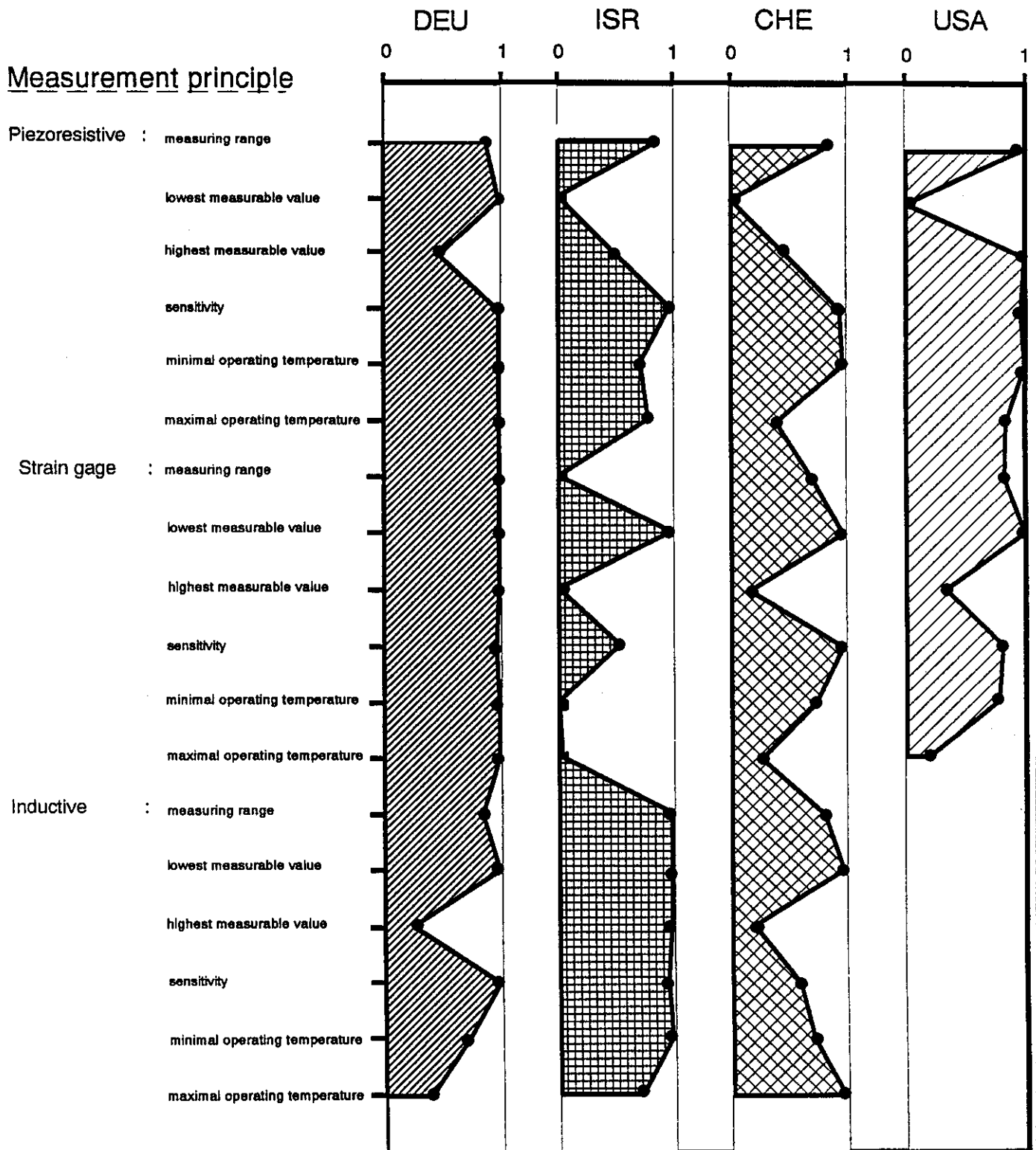
מדי לחץ	- פיאזו התנגדותי (Piezo-resistive)
	- רצועות מדידה (Strain gage)
	- השראתי (Inductive)
מדי טמפרטורה	- טרמו חשמלי (Termo-electric)
	- התנגדותי (Resistive)
	- אינפרה אדום (Infra-red)
מדי תאוצה	- פיאזו-חשמלי (Piezo-electric)
	- השראתי (Inductive)
מדי כוח	- רצועות מדידה (Strain gage)
	- השראתי (Inductive)
מדי לחות יחסית	- קיבולי (Capacity)
	- התנגדותי (Resistive)

מסד הנתונים אשר לגביו הופעל מודל הטכנומטריקה, נבנה באמצעות איסוף נתונים בתערוכה בינלאומית לסנסורים אשר התקיימה במאי 1991 בנירנברג שבגרמניה. זו תערוכה הנחשבת לגדולה מסוגה בעולם בתחום הסנסורים ומתקיימת אחת לשנתיים. בתערוכה הציגו כ-400 חברות מארצות שונות את מוצריהן. מתוכם פנינו ל-268 חברות אשר מייצרות סנסורים ממטלות המדידה אשר הוחלט לבחון במחקר. כ-150 חברות נענו לפנייתנו והעבירו אלינו קטלוגים מפורטים בהם נתונים על התכונות הספציפיות של הסנסורים. לאלה צורפו הנתונים אותם אספנו בסקר השדה של מפעלי הסנסורים בישראל. על בסיס הקטלוגים נקבעה הרמה הטכנולוגית המירבית של כל אחת מהחברות. בהתאם להשתייכות של החברות למדינות השונות, מיפנו פרופילים שונים אשר איפשרו להראות את הרמה הטכנולוגית של כל אחת מהמדינות הנבדקות, בחלוקה לסנסורים על פי מטלת המדידה והעיקרון הפיזיקלי של טכנולוגיית המדידה. להלן אראה מספר דוגמאות לפרופילים שנבנו, על מנת להדגים את השימוש במודל הטכנומטרי וסוג המסקנות שניתן להסיק מן התוצאות המתקבלות. המיפוי הגרפי נעשה בצורה שונה מזו אשר הראתי לגבי המוצרים הדיאגנוסטיים.

באיור מס' 10 מוצגות תוצאות המיפוי של סנסורים המודדים לחץ. באיור שלהלן, מופו שלוש קבוצות של סנסורים המופעלים בכל קבוצה על בסיס עיקרון מדידה שונה: סנסורי לחץ אשר מופעלים על פי עיקרון הפיאזו-התנגדותי (Piezo-resistive); סנסורי לחץ הפועלים על פי עיקרון של רצועות מדידה (Strain gage); והקבוצה השלישית היא של סנסורי לחץ הפועלים על פי עיקרון השראתי (Inductive). בכל אחת מן הקבוצות מופה פרופיל תכונות הסנסורים אשר הורכב מ-6 תכונות מאפיינות. כמובן שקיימות תכונות נוספות, אולם המטרה היתה להשוות את הרמה הטכנולוגית של מוצר זה על בסיס מיפוי תכונות בהן ניתן להשיג מידע ממרבית החברות במדינות השונות. כמו כן תכונות אלה המוצגות באיור, היו גם התכונות אשר אותרו על ידי מומחים כרלבנטיות ביותר לתחום הנחקר. המיפוי באיור מס' 10 מצביע על הערך של K^* הוא המדד הטכנומטרי של כל אחת מהמדינות לגבי כל אחת מתכונות המוצר. ההשוואה באיור היא בין 4 מדינות: גרמניה, ישראל, שוויץ וארה"ב. (במחקר נבחנו מדינות נוספות שלא מוצגות באיור שלפניכם). לגבי ארה"ב לא נמצאו חברות אשר יצרו סנסורי לחץ המשתמשים בעיקרון ההשראתי.

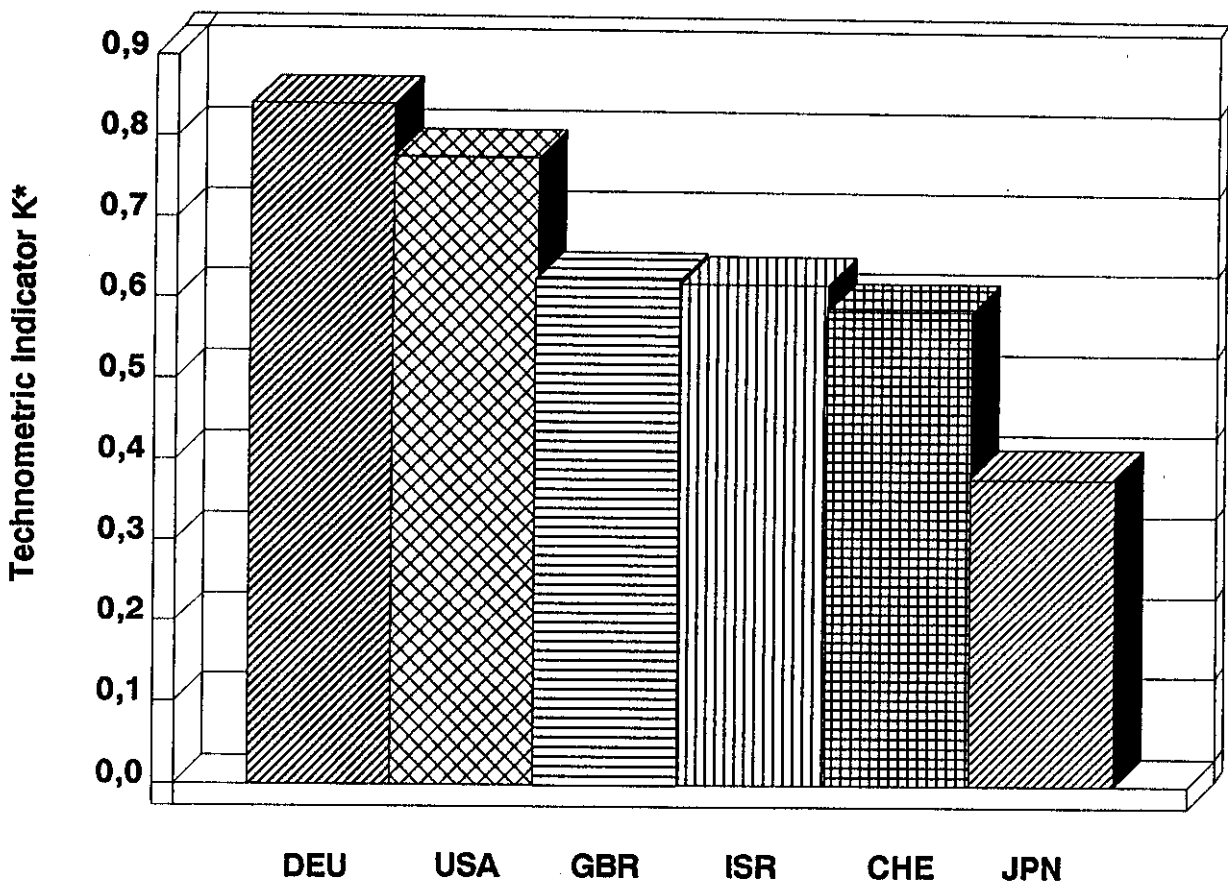
הפרופיל הטכנומטרי מצביע על יתרונה הבולט של גרמניה במיוחד בקבוצת הסנסורים הפועלים על בסיס של רצועות מדידה. רמת הטכנולוגייה של ארה"ב בקבוצת סנסורי הלחץ אף היא גבוהה, ונקודות התורפה שלה הן בקבוצת הסנסורים הפועלים על בסיס רצועות מדידה (בערכי המכסימום של טווח המדידה וערכי המכסימום של טמפרטורה ההפעלה). ישראל מצטיינת במיוחד בטכנולוגיה של סנסורי לחץ הפועלים על בסיס השראתי בהשוואה למתחרותיה, ובמידה מסויימת, אם כי פחותה, גם בסנסורים הפיאזו התנגדותיים. מיפוי הפרופיל הטכנומטרי מאפשר לנו אם כן לזהות את היתרונות היחסיים ואת נקודות התורפה של כל אחת מהמדינות הנבדקות על פי הרמה הטכנולוגית של המוצר הנבדק.

איור מס' 10: פרופיל טכנומטרי של סנסורים למדידת לחץ, לפי תכונות המוצר בחלוקה לקבוצות של עיקרון הפעולה הפיסיקלי בישראל, גרמניה ארה"ב ושווייץ



המודל הטכנומטרי מאפשר גם לקבץ את כל התכונות הפיסיקאליות לאינדקס מיצרפי אחד זאת באמצעות האינדקס המטרי [0,1] עליו הוא מבוסס. באיור מס' 11 מוצגות תוצאות המדד המיצרפי שהושג בכל אחת מהמדינות המשוות במחקר לגבי סנסורי הלחץ. התוצאות מראות כי גרמניה מובילה בראש (עם ציון כולל טכנומטרי של 0.84), לאחריה ארה"ב (0.78) ובריטניה במקום השלישי (עם ציון מיצרפי של 0.63). ישראל ניצבת במקום הרביעי (0.62) לפני שוויץ ויפן (0.59 ו-0.38 בהתאמה).

איור מס' 11: פרופיל טכנומטרי מיצרפי השוואתי של סנסוריים למדידת לחץ בהשוואה בין ישראל, גרמניה ארה"ב, שוויץ, בריטניה, ויפן



המסקנה החשובה העולה מניתוח הנתונים הכולל של תעשיית הסנסורים במחקר שחלק קטן ממנו הוצג בפניכם, היא שמבחינה טכנולוגית במרחק לא גדול משלושת המעצמות התעשייתיות הגדולות: ארה"ב, גרמניה ויפן, מצויות לא רק מדינות מתועשות בינוניות כמו בריטניה, צרפת, איטליה ושוויץ, אלא גם מדינות קטנות כגון ישראל, אשר הוכיחה את יכולתה ליסד תעשיית סנסורים מתחרה לפחות בחלק מפלחי שוק הסנסורים. במקרים מסויימים אף השיגה יתרון טכנולוגי בולט על פני שאר המדינות.



WORKSHOP ON:

TECHNOLOGY INNOVATION PROCESS:

DOES ISRAEL HAVE COMPETITIVE ADVANTAGE IN KNOWLEDGE-BASED PRODUCTS?

Summary of joint research findings

Seminar, held at the Technion , April 15, 1993

Hariolf Grupp*

Amnon Frenkel**

Shlomo Maital**

* Fraunhofer-Institute for Systems and Innovation Research, D-7500 Karlsruhe
GERMANY

** The S. Neaman Institute for Advanced Studies in Science and Technology, Technion-
Israel Institute of Technology, Haifa 32000 ISRAEL

WORKSHOP ON:

TECHNOLOGY INNOVATION PROCESS:

DOES ISRAEL HAVE COMPETITIVE ADVANTAGE IN KNOWLEDGE-BASED PRODUCTS?

Summary of joint research findings

Seminar, held at the Technion , April 15, 1993

Hariolf Grupp*

Amnon Frenkel**

Shlomo Maital**

* Fraunhofer-Institute for Systems and Innovation Research, D-7500 Karlsruhe
GERMANY

** The S. Neaman Institute for Advanced Studies in Science and Technology, Technion-
Israel Institute of Technology, Haifa 32000 ISRAEL

Introduction

Professor Daniel Weihs:

This study -- a technometric study of comparative advantage in selected high-technology industries in Israel-- was funded by the German-Israel Foundation. Its director, Dr. Amnon Barak, will attend this symposium.

This project is a good example of the kind of research that the GIF can and should support. It resulted in a fruitful, direct contact between two working groups and hopefully, as far as I understand from the researchers, may ultimately generate as many as ten published papers.

Professor Shlomo Maital:

Our lecturer today is Dr. Hariolf L. Grupp. His topic is: *From Basic Research to Knowledge Based Exports: An Integrated System of Quantitative Indicators for the Technological Innovation Process.*

Dr. Grupp is not a stranger to Israel. He was a student trainee here as a Physics student from Germany. He came here to work with Professor Zeev Levi at the Hebrew University in 1971. Dr. Grupp got his Ph.D. in Solid State Physics from Heidelberg University, served for two years as an assistant professor in Heidelberg, and then for four years was a senior researcher at the Bundestag, the Parliament of West Germany, in the office of Technology Assessment.

In 1985 he joined Fraunhofer-Institute for Systems Analysis in Karlsruhe. Fraunhofer, as you know, is a chain of independent Research and Development institutes or laboratories. Dr. Grupp's branch, in Karlsruhe, does evaluative research and Dr. Grupp is head of the technological change group. He is also the vice-chairman of the scientific council of all 49 Fraunhofer labs.

Dr. Grupp tells me that as vice-chairman of this scientific council, he has learned a great deal about the process of technological change and ongoing trends in this area. We are very

pleased to have Dr. Grupp as the guest of the S. Neaman Institute for Advanced Studies in Science & Technology.

**From Basic Research to Knowledge-Based Exports:
An Integrated System of Quantitative Indicators for the
Technological Innovation Process**

Dr. Hariolf Grupp

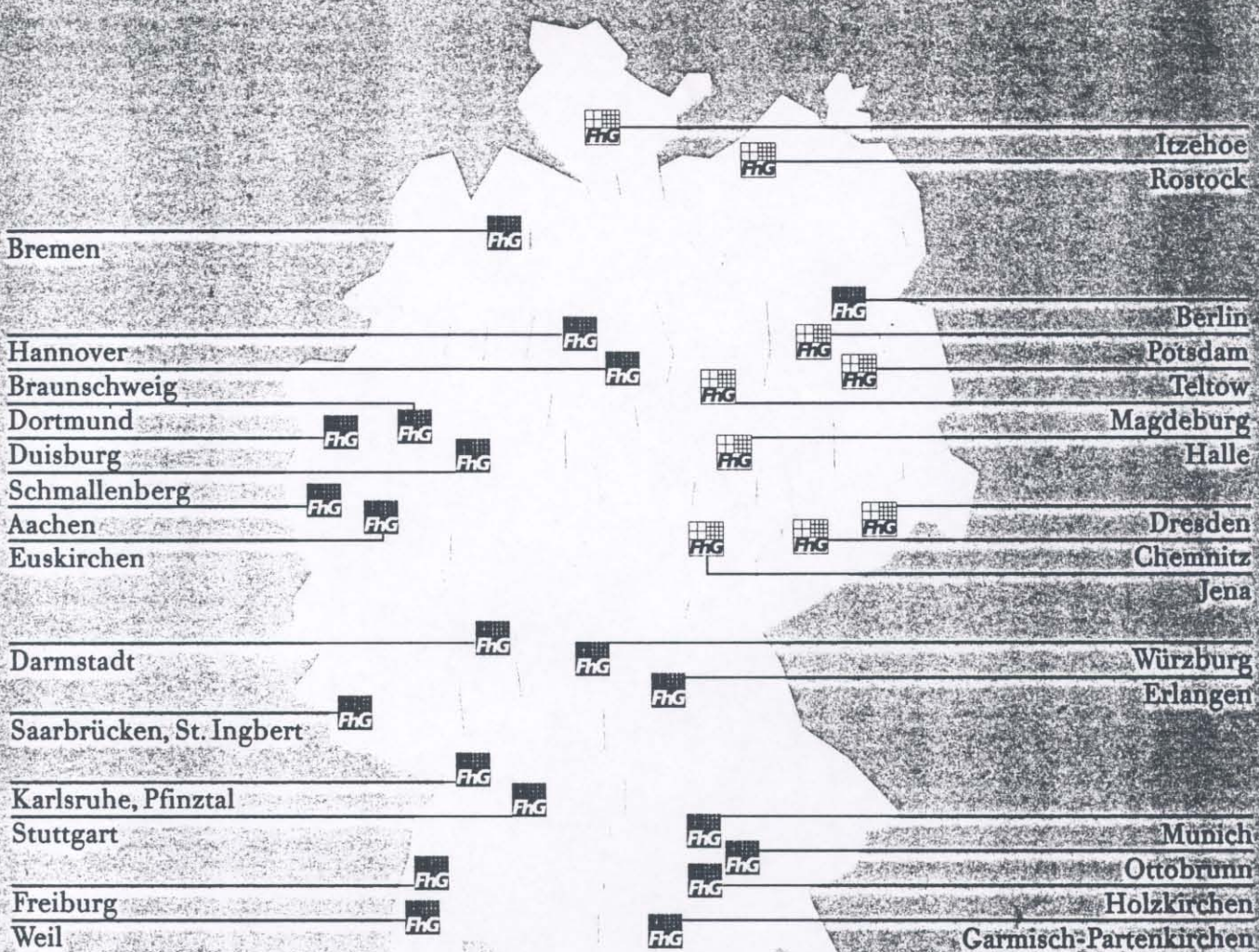
Thank you very much, ladies and gentlemen, for this very warm welcome. It is really my pleasure to speak today at the Technion after several years of joint work and I would like to thank cordially the Neaman Institute, in particular the director, Professor Weihs, for the invitation to speak here today. I also say this on behalf of my colleague, Knut Koschatzky, who participated in this project but was unfortunately unable to attend the workshop this week.


In this symposium, we will devote the next few hours to discussing the results of our joint research with Shlomo Maital and Amnon Frenkel of the Technion. As has already been indicated by Prof. Weihs, the original proposal submitted to the German-Israeli Foundation was drafted by myself and by Prof. Zehev Tadmor, who was then Director of the S. Neaman Institute, and although he is absent and very busy, I would like to thank him as well for stimulating this research. It was a great help that in both countries, Israel and Germany, there was keen interest from the very beginning of this project. But in order to bring it to fruition, one has to have people actively working in each country. I would like to thank all those who were involved in the preparation and in the research itself.

Now I would like provide a introduction describing our methodology. In order to convince you about the usefulness of technometrics, I would like to give you an example -- an historic case. In fact it is not very "historic" -- it related to the year 1987 -- and for this example I can show you what the economic impact of innovation was, from 1987 until now.

Before I start I would like to give you my "coordinates". This is a map of the unified Germany, together with the old borders. You can see that Fraunhofer is a research organization for applied research, private, and non-profit, which is decentralized.

Locations of Fraunhofer-Gesellschaft



 existing facilities

 to be set up

Its headquarters are in Munich and there are branches in many cities all around the Germany, dedicated to special fields of applied science and engineering. In the past two years, we have taken over several institutes from the former Academy of Sciences of the German Democratic Republic. My own institute is close to the border with France.

We are very much oriented towards European projects; the share of our collaboration with non-German partners is increasing, and already amounts to about 30% of our work, with only 70% focused solely on Germany. The cooperation with an Israeli institution is always something special and therefore I very much enjoyed and appreciated this cooperation from the very beginning.

The baseline of our work comes from economics, from innovation research, therefore I would like to start with a very short evolutionary perspective on innovation, how it comes about in theoretical models, then I would like to speak about bench-marking, and as Shlomo informed me that this does not translate well into Hebrew, I can also assure you that it does not translate into the German, so it is "bench-marking", in German, Hebrew and in English. My third topic will be an introduction to the so-called "technometrics" approach, and fourth, a case study on photovoltaics which was done earlier in 1987, and not in the framework of this cooperative research. Fifth, I will give you an historic evaluation of the utility of technometrics as a tool for policy and evaluation, and then I conclude with our general recommendations for innovation strategy.

What we do, principally, is to try to understand the often invisible mechanisms for creation or acquisition of technological knowledge to bring about innovations. While this is very much a central concern to economists, it is not a central concern to administrators and managers, nor to many scientists and engineers -- they consider others as responsible for innovation and the marketing of innovations. Therefore this is a non-typical research field lying somewhere inbetween several disciplines. Now, we all know that core disciplines develop faster than side-disciplines and this applies here, to our project as well. It is always very difficult to say to which faculty or part of the sciences it belongs to.

In very general terms -- and here everybody agrees -- *technological innovation is problem solving*. It is nothing special -- you have a problem and you have to solve it. Companies do the innovation. Of course there are other institutions to support it, but without companies,

without the intention to achieve revenues or sales or turnover, innovation will not occur, simply for its own sake.

This is different from other fields of research, which are done for reasons of curiosity or for medical care, or for defence, to have a safer world. Innovation is done for company revenues. Without companies, it is impossible.

So companies pursue innovative activities -- but we know relatively little of what goes on inside companies. Because of competition and rivalry between companies, researchers often cannot learn very much of what is going on inside of companies. So we are dealing with processes which are not as easy to study as processes in the public realm. The private world is private and therefore the right to keep important information confidential is widely accepted.

Statistics collected and published by governments are generally anonymous, in that they do not permit attribution to individual firms. They are aggregated by branches of the industry but not by single companies; whenever fewer than three companies fill one element of the statistics, then the data are not published, so that one cannot attribute them to one company. So we are dealing with a special research problem -- difficulties in data access.

Companies pursuing innovative activities are strongly selective. They do not try to do everything, in all fields. Some innovations come from new companies. But mainly, they come from the really effective companies with good productivity -- input to output relation - - that accumulate knowledge, already have products and revenues and they try to improve them, introduce new ones and so on. So innovation occurs in cumulative steps.

How does one define "innovation?" I will stick to the definition of the OECD, the 24-member Organization for Economic Cooperation and Development, which says innovation is a certain type of research and development activity which results in a product that is introduced on the market. We have invention, we have discovery in research, this is very important. But only if an invention is introduced on the market, we do speak of innovation.

What comes before that are innovative activities, but innovation essentially requires that a product is introduced on markets for the first time. For some companies, their innovation

is really imitation, because their product already existed, they put green instead of blue color on it, and that is fine, but it is not innovation in our terms.

I know that business people say that innovation is what is new to us, to my company, I don't care what is going on in American and Japan, when it is new for us it is innovation. We have to live with these different uses of the word, but the OECD says innovation is R & D processes which lead to the first introduction of new products, services, and processes, in international markets.

What we have to study is not just the appearance of innovation on the market, but how the production of new products occurs. The question that is most interesting to researchers is, how do innovations come about? How do companies manage to get the relevant knowledge, and is it from internal or external sources, or maybe from university sources, in order to bring about an innovation. The problem is well known. But analytic instruments to study it are not so widespread.

I would like to read a sentence from a publication of 1962. There an American economist wrote: "The production of knowledge is an economic activity." In 1962 people said, that is not right. The production of knowledge is indeed an economic activity, an industry if you like, but economists have largely neglected to analyze the production of knowledge. In mainstream economics, capital and labor are most important and what you cannot explain with labor and capital, you may explain, as a residual, as the influence of technology. As a result, economists never put the question of technology at the center of their interest.

After that introduction, I begin my presentation by describing what we wanted to accomplish in this project --to illuminate this process of knowledge generation and its conversion into innovative products. And above all we wanted to *measure* this process. That is our starting point. We are modeling, in a very simple and quantitative way, the innovative process.

There is theory and model development, mostly in universities. This is very important, but not every theory and not every model leads to an innovative product. Some of them are of such a nature that they can be realized in technological artifacts and prototypes. Some cannot. This is neither good nor bad, just a matter of fact.

Some of the technically realized effects are suitable for industrial development but not everything which is possible is suitable for industrial development. For instance, it may be too expensive, too dangerous, and so on. Among those items susceptible of industrial development, some are realized on the market -- this is innovation in the strict sense, and other companies then try to imitate, it which is a very difficult task. But a follower should not be regarded as an innovator.

Utilization is a very important part of innovation. some problems are created by utilization. To cite one example -- waste disposal. Sometimes only when you think of how to get rid of products, do you ask new questions for research, such as recycling, how can you recycle cans and so on. Utilization as a source for innovative activities is very important and is of growing importance.

What is written in scientific papers is mostly oriented towards more basic work. A company planning to introduce a new product will not disclose it in a scientific paper. There are of course patent applications, sometimes basic ones, but often more applied knowledge is protected as intellectual property through secrecy. Certainly imitation is impossible to protect by patents because when something is already known, any further patent application will be rejected by the patent offices. At the end of the process, there is diffusion of knowledge.

In studying innovation, we found that a key, vital piece of information is missing, between data on scientific papers, citations and patents, and economic statistics from statistical offices on exports and output -- information which throws some light on the direct outcome of innovation. Therefore we started in the mid-'80s to develop the technometrics method in order to get some information directly on the outcome of the innovation process before it wends its way through the economic system and finds expression in the marketplace.

The data on inputs in innovation are far better known than data on outputs-- statistics on persons, on money, on technical consultants, on expenses for know-how fees, royalties and so on, on investment. All these are input figures. They are good but not good enough, because in statistics they are anonymous, you cannot attribute them to a specific company, so therefore these input data are important but do not tell you what is the *result* of

innovation but only what resources were invested in it.

This is not intended to mean that innovation works like a pipe-line, outputs flowing from inputs. That is not the intention. The intention is to say, if we want to create understanding about what is going on, we need certain tools for observation, for monitoring, and the tools should throw light on selective parts of the whole process. Technometrics is such a tool.

The Case of Photovoltaic Cells:

Let us take the case of photovoltaic cells -- cells that convert solar energy into electricity -- in order to explain technometrics.

First of all, we have to outline what types of innovations occurred in the last 10 years. Here I must say that there are many technological solutions and only a few of them are realized. These are called dominant configurations, or some say, trajectories. In photovoltaics there is a lot of laboratory work going on, and many ideas and discoveries and inventions. But in the market-place only three principal types of products have appeared as of now. They are, first, cells based on mono-crystalline silicon, very durable but quite expensive to produce. It is a wasteful product. You have to cut a lot of silicone and this is wasteful and expensive.

The second of the three principal solutions to the problem is poly-crystalline modules, with high durability, somewhat cheaper, somewhat less wasteful. Then, third, there are the amorphous silicone modules. There are a lot of other materials -- thin films for instance -- but they are not successful in mass applications, they are less durable, and the material degrades after some years of use. These are the three principle technological solutions to the problem of how to generate electricity from solar energy.

The case of photovoltaics (solar cells)

*Distorted markets while governments intervene by subsidies.
Societal interest since oil price adjustments 1973.*

Three remaining technological trajectories:

Mono-crystalline modules (space).

Poly-crystal modules (high durability).

Amorphous modules (thin films; mass applications).

Eight important features (measuring units):

Peak power (W)

Power variety (W)

Voltage (standard conditions; V)

Voltage stability (U_{oc} I_{sc}/P)

Area-specific power (cm cm/W)

Weight-specific power (kg/W)

Life time (warranty time; a)

Production technology (DM/W)

Table I: World's Photovoltaic module production by dominant design configuration (in percent)

	Monocrystal	Polycrystal	Amorphous	Others
1983	50.2	14.3	14.3	21.2
1988	37.2	22.4	39.5	0.9
1989	42.5	25.5	31.1	0.9
1990	35.3	32.9	31.6	0.2
1991	35.6	37.8	24.9	1.7
1992	37.1	34.9	25.6	2.4
Breakdown 1990:	100	100	100	100
USA	43.9	35.3	14.3	100
Europe	18.9	38.6	8.2	0
Japan	15.2	22.9	73.5	0
Other than triad	22.0	3.2	4.0	0

There are many more feasible solutions to the problem, but on the market we have just these three basic ones. Table 1 shows world production of photovoltaic cells, according to the three principle types. First came the monocrystalline silicone. That was the early market. The polycrystalline modules came later. The amorphous materials for mass application of consumer products, pocket calculators and in watches and so on, came even later, had a very strong increase, but now the problem is diminishing consumer markets, there are fewer products sold, so this type of photovoltaic cell its going down in terms of its share. And what is very interesting, the companies in the principal countries have different strengths. All companies in the world can draw from on the same science and technology , but although they can, there is obviously something like a national system or tendency --in the United States, the most important share of photovoltaic cells is the mono-crystalline type now, Europeans are in the poly-crystalline field and the Japanese did most of the production in the amorphous technology.

This is somewhat astonishing -- the distribution of principal solutions of companies in different parts of the world is very different. So the selection processes of the companies, what to market, apparently function very differently. Among many technologically feasible solutions, only a very few come to the market.

These data refer to production, not to exports. For exports there are no precise export figures because of original equipment manufacturing. Some of the photovoltaic cells produced are then exported as part of other equipment, so there are no good data. But in principal we have no indication that the export shares depart from the production figures. The Japanese export their photovoltaic products as part of their pocket calculators and watches and the customs officials say: that is a watch, that is not a solar cell, and then you have lost the track of it . By the way, this is measured in mega-watts, not in dollars or yen because it is hard to know how to convert yen into dollars at an appropriate rate of exchange . So the unit for the percentage is megawatts of electricity to be produced.

Technometrics involves collecting detailed data on the principal specifications of those three types of solar cells. By consulting export experts in various countries, we were told that the most important specifications are: Peak Power, Power variety, Voltage, Voltage stability, Area-specific power, Weight-specific power, Lifetime, and Production technology. All can be measured quantitatively, in physical units.

There are more specifications than that but those are the relatively few specifications which matter for the customer. That is power, small for a watch, large for a central electricity producing station; the variety, how can you tune it or not; voltage conditions, you have different conditions for a watch than for a satellite; stability and so on. Then there are questions of weight and size when you want to mount the equipment.

So these are the most important specifications of these types of cells and the problem remains to collect data on the photovoltaic products. This is a time consuming task but not so difficult. The next problem is, how to compare the data. In economics we are used to quantities like dollars or labor hours but here we have watts, voltage, something like voltage under normal conditions, power, cm^2 , kg and so on and you can not compare them one to another. Fraction mathematics does not allow us to calculate any index from properties which are measured in different units.

Here the technometrics model comes in, this is not a metrics in a mathematical sense, but it is an n-tuple for the mathematicians. So one has to have a recipe in order to transform the original technical data into a metrics, in terms of mathematics, that we can calculate and compare. These are the details of the special technometrics used here which converts original data and physical units into zero-one intervals of data. In effect, without formula, the following happens. We have here, physical or technological specifications for many products, a distribution and a mean value. Some are above the mean, some are below. We cannot compare them as the units are difference. The technometrics converts them into a type of index, without units, normalized on a scale of zero to one.

TECHNOMETRIC MEASUREMENT CONCEPT

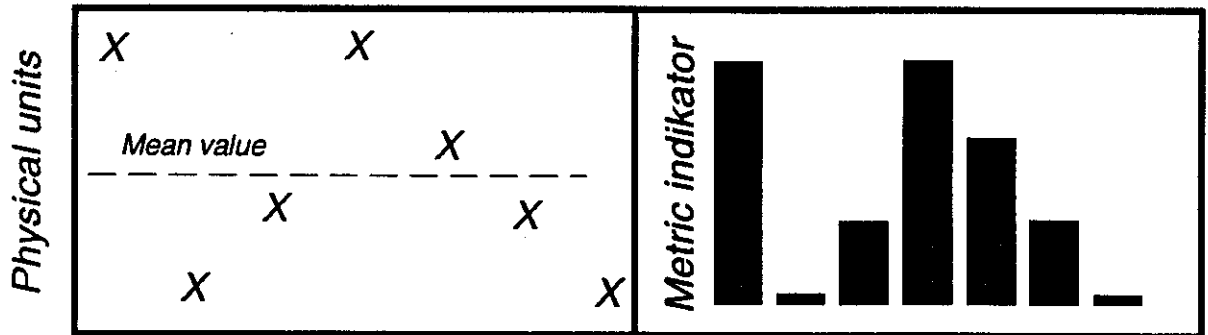
(Or: tacit judgements by indicator measurement)

Evolutionary principle: Derive norms for goodness from existing variety.
 Avoid introduction of externally given norms (as for self-regulated systems).
 Little variety (i.e., small variance in technical specifications) means
 stronger distinction in metric values.

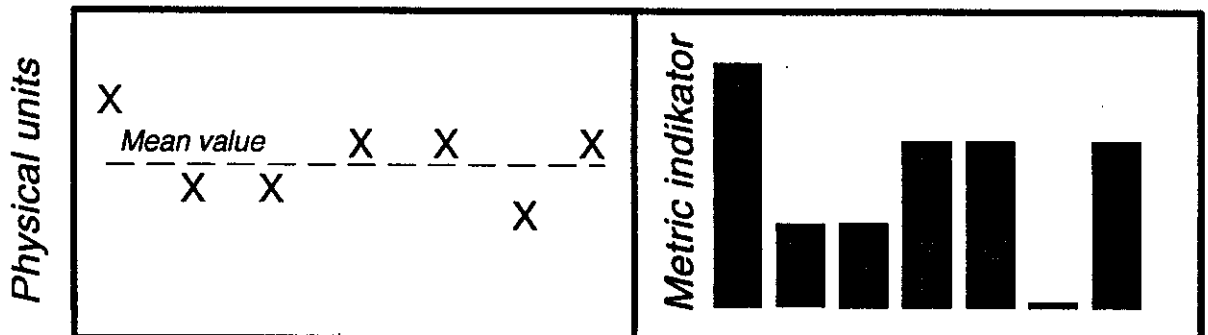
EXAMPLES

Standard case:

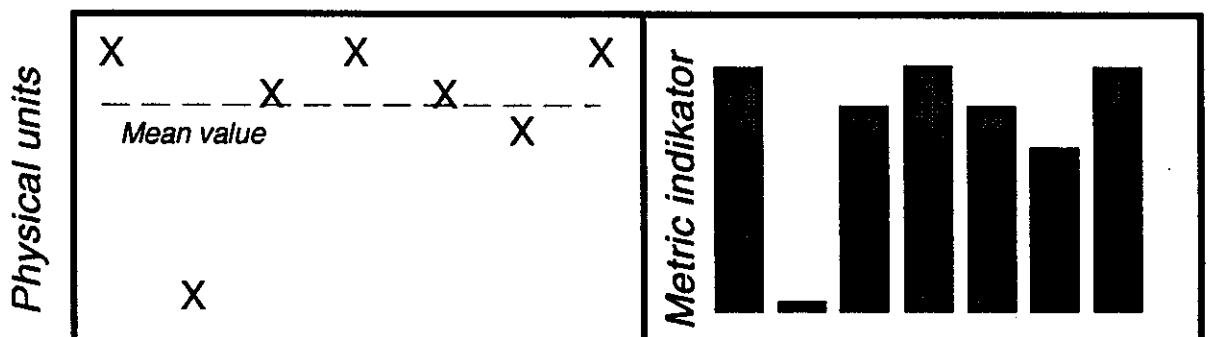
Specifications for characteristic (j):



Little variety (small variance):



"All are equal but one":



k = 1 2 3 4 5 6 7 k = 1 2 3 4 5 6 7

Seven innovations compared

Question: As I understand it, you must have a variety of products in order to compare them.

Dr. Grupp: Yes.

Question: So these are all actually imitations ?

Dr. Grupp: If there is only one product developed, we cannot use the technometric index. We need several products that can be compared.

Question: So a product has to be in the market for several years.

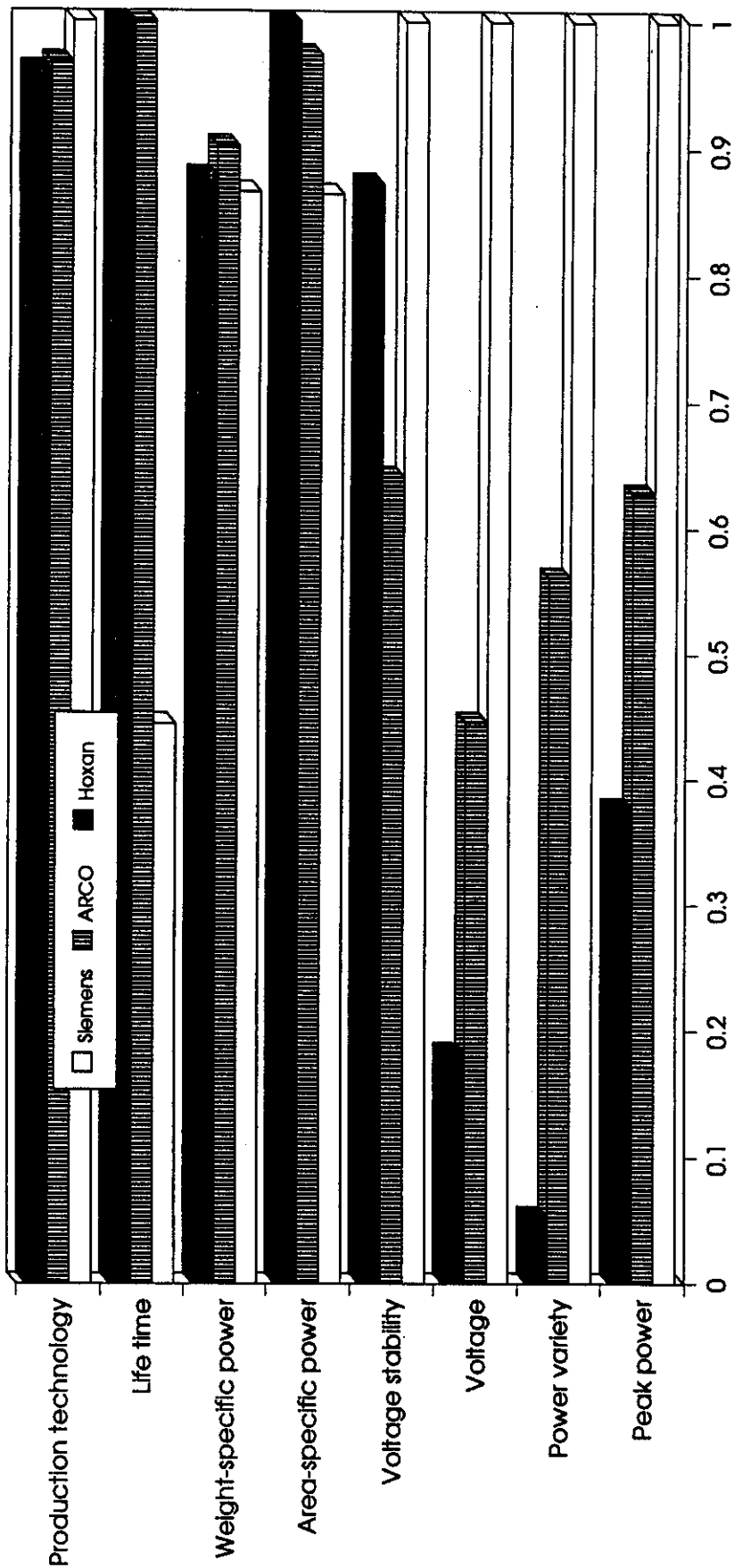
Dr. Grupp: In principal yes, but think of substitution. There already exists, for several years, an older product, and it performs all the customer wants to a sufficient degree. Then an innovation occurs. You can compare one innovation in all its aspects to the older, substituted technology. Therefore you can always measure one innovation in comparison to an earlier product used before for the same purpose.

The question, for any given technology, is whether the experts for this technology can define you a set of basic specifications which are sufficiently detailed to really define the new technology.

Question: If there is no existing product how can we check if the new product fits the new demand, when it is simply not in the same frame of reference?

Dr. Grupp: Yes. That is a basic consideration. Can we define such a set of specifications in order to compare the new product vs. the old one or is it impossible. If it is impossible, then I must say yes, the method fails.

This was an explanation with artificial data. Now let us take a a real case. We compared for the year 1987 photovoltaic solar cells based on mono-crystalline technology for three leading companies. Hoxan Company from Japan, Arco Solar from the United States and Siemens from Germany and what you see here in Figure 4 is this technometric index.



So the value "1" is world level specifications, and "0" is the lowest marketed specification -- this might have good reasons, it might be cheaper and so on. It is not bad, but just lower in sophistication and probably in price.

What we can learn from this technometric profile? First of all, the Siemens product is strong and is leading only in some specifications -- that is power, voltage, voltage stability and the variance, can you tune it. Here it is most sophisticated. The rival products are less sophisticated here, in these specifications, but on the other side, in electricity rate, life-time and so on, this Siemens product is less sophisticated and the others are leading. These are the facts. Now we have to explain them.

The explanation goes in the following direction. Siemens aimed its products at central grid electricity production because it was done by an affiliate of the company active in nuclear power and they wanted to offer, aside from nuclear products, also renewable products, so they aimed at central grid applications -- so here you have to have voltage stability and so on, while other specifications were not so important.

The other companies aimed at mobile stations for isolated houses and so on, where the stability and voltage factors are not so important, but failure, rate of output and life-time, if the site is remote, matter a lot. So because they aimed at different applications, their products were designed from the same technology with different emphasis.

The interesting question then shifts to markets -- *which are the more interesting and significant markets, which are the growing markets?* If the mobile electricity generator markets are more important than the other ones, how can a company with Siemens' specifications compete there?

The market information is available to everybody. But what we would like to fill in is information on the quality of the product and on this there is little objective, quantitative information. Our method addresses exactly this point. Later, I will come back and explain how this race between different types of photovoltaic cells was ultimately decided.

Question: These properties or specifications -- are they the result of innovation or not? I mean, you have a basic innovation of the multi-cell. Now these properties that you are

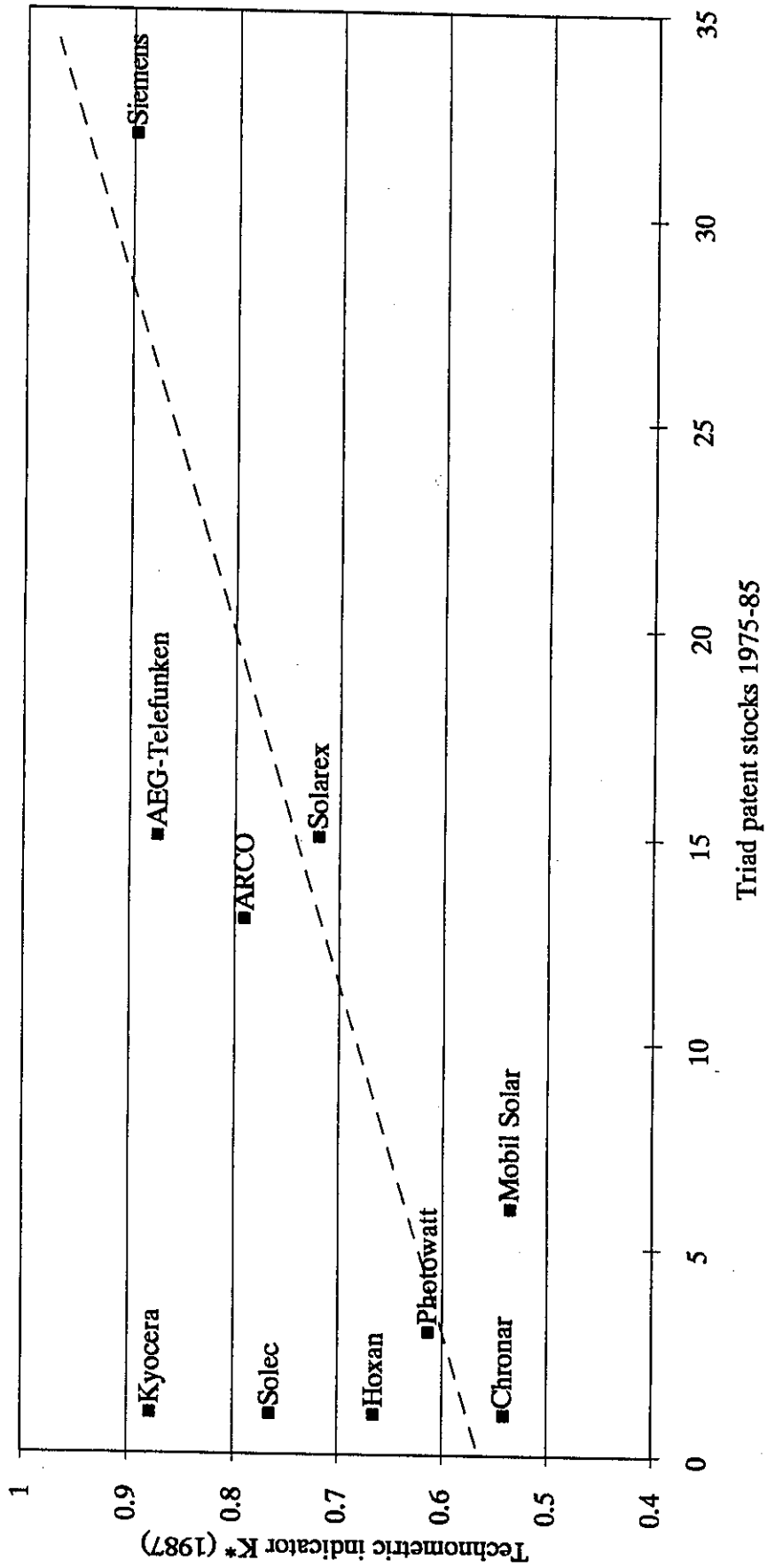
talking about, can you define them in terms of some innovation within the area? Because then your distribution would make sense.

Dr. Grupp: Yes I can. First of all, you have the information that the products which were on the market in 1987 were introduced less than two years earlier, later than 1985, not at the beginning of the 1980s. Not all of those products are introduced in 1987, but all were introduced between 1985 and 1987.

We now come to the next piece of information which is information about inventions, via patents of those three companies. Patents are theoretical intellectual property, so when we look at the U.S. market, compared with the European market, you get different figures. That is normal -- that is, scientific publication is always world wide, you publish once, and it is forever.

Patents have to be duplicated because the legal validity is just for one market. So US and European rankings are different. But what is interesting, the companies listed here, that is the top five in each case, are different from the innovators. Now I take out my red pen and cross out some. First of all the leading US corporation, RCA -- a lot of inventions, a lot of work done, but the result does not appear on the market. Why? RCA as a company did not go for marketing its products, but its photovoltaic activities were taken over by Solarex; so acquired, the technology was marketed by this company.

Next, energy conversion devices. This company was strongly engaged in amorphous technology but the firm performed contract research for others, not for its own marketing: contract research for IBM, Arco Solar, which is not in here, but it was on the market, and even the Japanese Sharp Company, so own products were never marketed, the company did contract research for others.



Next is Exxon. Exxon intended to supplement its oil business by a solar business but then gave up and sold its technology inventory in its laboratories to Solarex, here, so Exxon is also gone. The US Government did not go for commercial products but was active in researching and developing the technologies. And I can go through the list for the Japanese and German companies. This is a chemical company for basic materials, not for solar products, they have a lot of technology but don't manufacture solar cells; this an affiliated company of Hertz, the same -- silicone substrate but no final products. Finally, AEG was taken over by NVB.

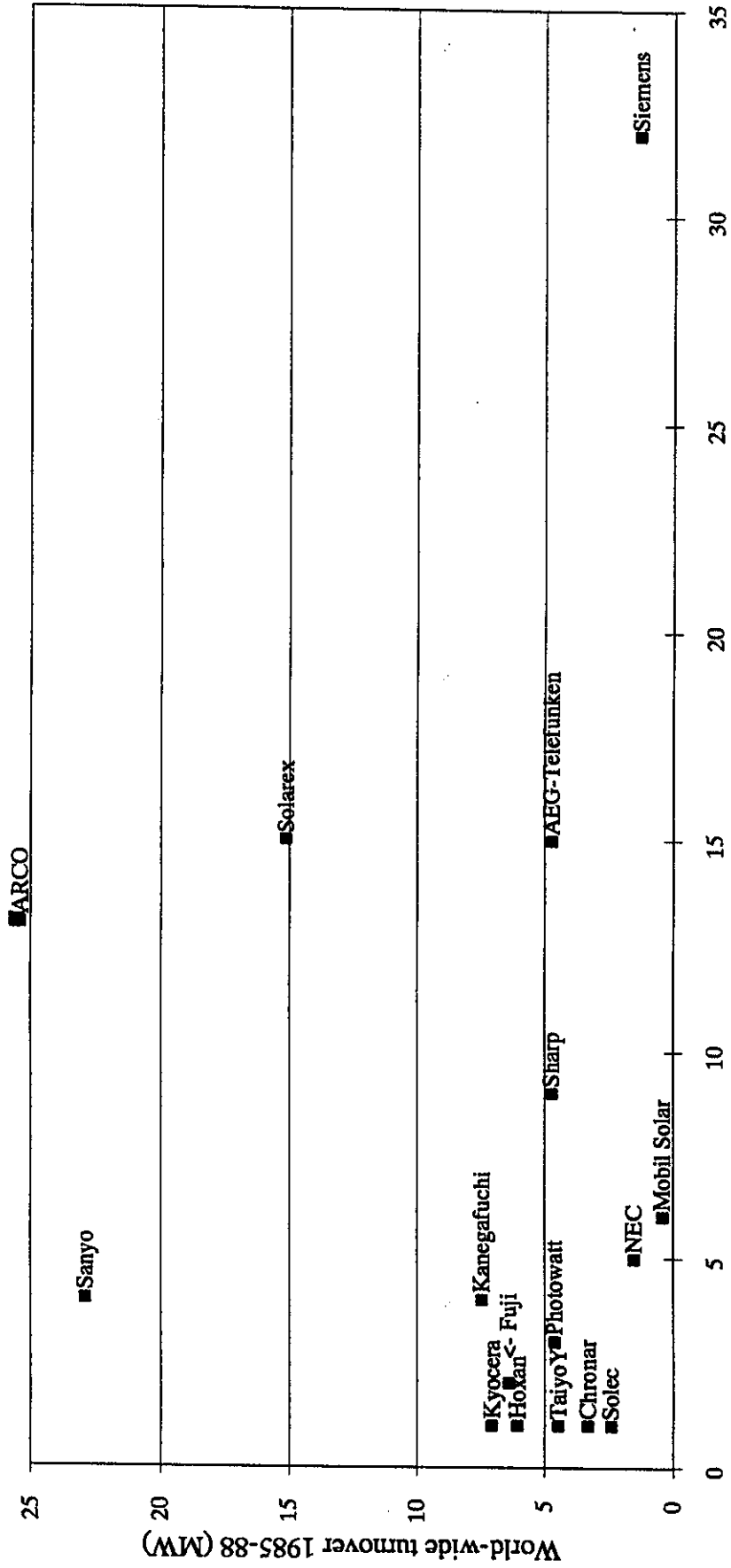
So the inventors of the technology and the company holding the trademark of the product are different. There always has to be a conversion of this type, a transfer from the one who holds the technology and generated the technology, to the one who markets it, this is innovation, not imitation, and by which means technology becomes effective in the markets.

Therefore, the information on products through technometrics and the information on inventions and scientific activities, which universities are active, are all important information, but they are not the same, they are complementary. Each piece of information contains a different part of the picture.

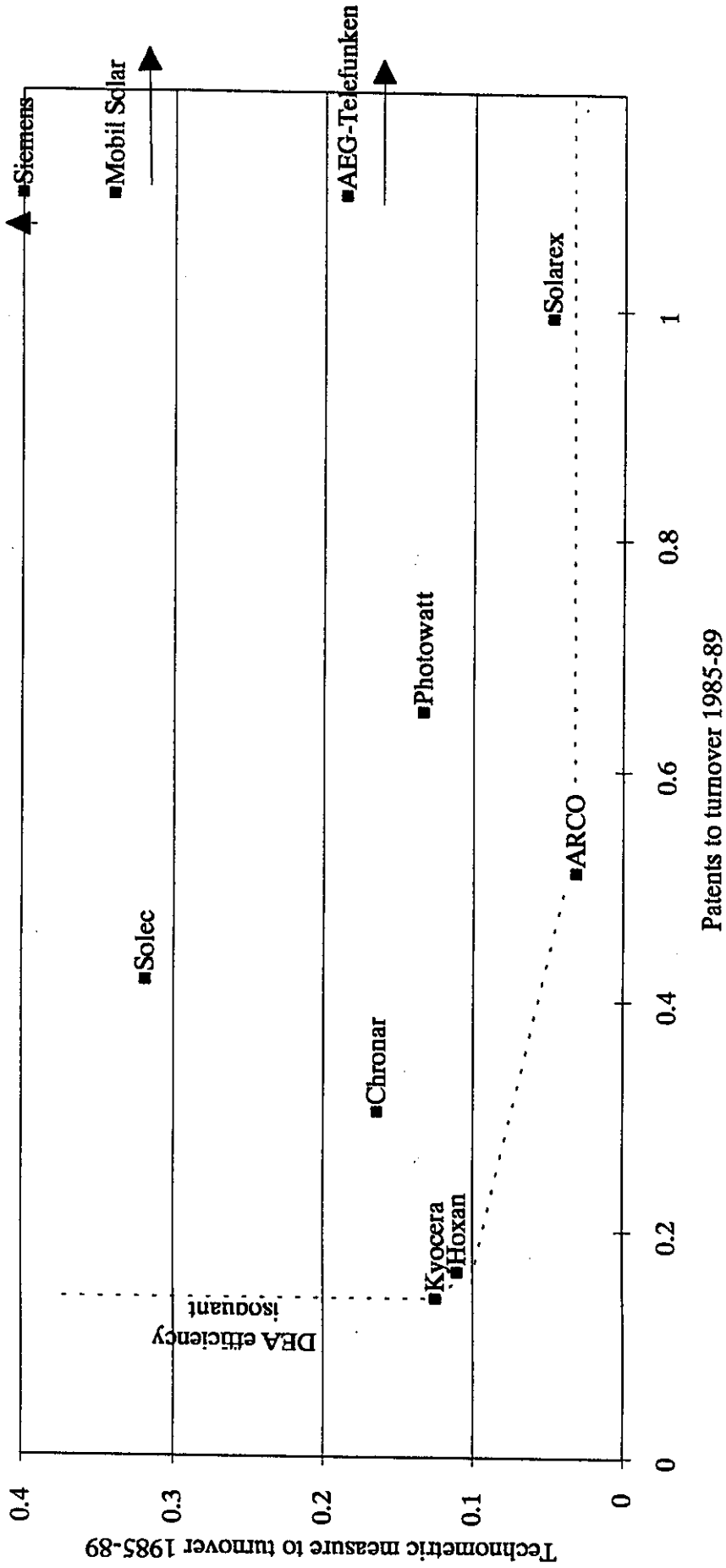
Now I come to the conclusion -- What happened to all of those companies? I will first show you a correlation which failed.

Here on the ordinate turnover the world wide turnover, 1985-1988, by those same three companies and here on the abscissa are their patents. The patents are in all of the trial countries. You see that this is the "Milky Way". There is nothing like a clear correlation, because some companies have patents but no products and others have products but patents from another side. So you get nothing like a simple correlation.

We expect however, that the technometrics data do give a real correlation, because there you have good products, good specifications, you should have pay-off from the markets. And indeed this was true for most of the companies. Here again is the turnover in '85, plotted against the technometric indicator value. The higher the index, the more sophisticated the product. For most of the companies there is a correlation between more sophisticated products and larger market shares. But then there are some cases which fall apart. This applies to AEG, Siemens, and Kyocera.



Triad patent stocks 1975-85



Siemens was a company with excellent technology for central grid application, but unfortunately this market did not expand. Nobody wanted to have it. There were so many nuclear and coal plants in Germany and nobody wanted solar plants; lack of space was also played a part.

AEG-Telefunken company, now part of an aerospace company, was dedicating its product towards space application. That is the original space-solar company, even for the US satellites in their early phases, and it was successful there. But as compared to the terrestrial applications of photovoltaics this was just a dead end market. The number of satellites did not increase to the same amount as the number of pocket calculators. So that is good technology but the market did not increase to such a size.

Kyocera, a Japanese company, has excellent technology but not like other Japanese companies, not for the consumer markets, but for street lamps, which is also good technology, but also this part of the market did not expand to such an extent as the consumer market. So most of the Japanese were in the amorphous silicone technology, but in consumer products, while this company was different. They went for mono-crystalline products, for street lamps and so on, and safety calls and highways and so on, and this is a good business, but it is not as powerful, in terms of the past 5-6 years, as the others.

Question: Were your weights for the technometric indicators equal?

Dr. Grupp: Yes the weighting can be constant or specifications can be wighted differently according to priorities. We used equal weights.

Question: Equal weights, even for different products?

Dr. Grupp: Yes. Because I want to show that precisely this point matters. If you go for one market then another part of technology is more important than for another market. But for most of the companies it does not matter. For most of them which are not so specifically tuned to a market need, it is right that more sophisticated technology correlates positively with a larger share of the market, however you weight the specifications.

Question: How will this analysis change if you put in non-technological specifications, such as price, or kind of supply, availability, things like that. That might be a big influence.

Dr. Grupp: Lets say for those three companies, I speak now based on statistics, the variance is explained only by the technometrics specifications to such a large extent that there is little room for other explanations. You put in a dummy variable for the rest of non-technological factors and it is very small. Most of the problems companies had are explained by the technological factors.

Photovoltaics is perhaps a special market because of the government programs and the government interference in those markets; delivery times are not so important as in a very competitive market. But in this case I think technological factors and market size here are sufficient for the explanation, then there might be some third order effects also. You will hear of other examples today where the result is different.

So I would like to conclude from this analysis of an historic case: I tend to show that traditional information on markets combined with relatively new information on the sophistication level of products -- technometrics -- can provide some new pieces of information to explain phenomena which are difficult to explain otherwise.

Some people we talked with stated their opinions in a very general way. But when they are forced to provide data, quantitative information, things become clearer for both sides -- the expert talking about things and the researcher trying to understand things. Of course I will not deny that one can do a very intelligent study on what is going on in an industry, market or product, without any data. But it is much more difficult.

How can you assure that you mean the same thing, when you speak the same words. Whether the meaning of what you are saying is the same. So the compulsion to quantify makes information which may be acquired otherwise, more reliable, or at least it can be checked by others. When you speak to a company in terms of technometric or patent data, you can understand that company much better than if you use only words and elicit only opinions.

I do not want to say this is the solution to every problem, but this type of approach, based on data, looking for qualitative explanations, of course, makes understanding of innovation a bit easier or a bit more reliable. Some of this work is done for government, some is done for companies. For companies the advantage is that they can take action more precisely -- knowing precisely where a competitor is better in technology is good.

For a company it is important to have general information, of course, but "harder" quantitative information is easier to transfer into action, into operational measures. I do not want to say this is a method which beats everything else - that is not true. But we think that the quality of assessment in terms of more objectivity is more improved if you try to supplement your qualitative findings -- which are always important -- by quantitative type of data.

This was just the introduction to our method, and the data were not part of our cooperative study. I wanted to start with an historic case that was easy to understand, and that served to explain the technometric methodology that was used in our joint research on Israeli products.