



תעשייה וחדשנות

יצור מתקדם (ADVANCED MANUFACTURING)

ד"ר אביגדור זוננשיין
ד"ר גלעד פורטונה



תשתיות
פיזיות

בריאות

הון
אנושי

השכלה
גבוהה

חברה

חינוך

כלכלה

מדע
וטכנולוגיה

סביבה
ואנרגיה

תכנון
ארוך טווח

ספטמבר
2016

אודות מוסד שמואל נאמן

מוסד שמואל נאמן הוקם בטכניון בשנת 1978 ביוזמת מר שמואל (סם) נאמן והוא פועל להטמעת חזונו לקידומה המדעי-טכנולוגי, כלכלי וחברתי של מדינת ישראל.

מוסד שמואל נאמן הוא מכון מחקר המתמקד בהתווית מדיניות לאומית בנושאי מדע וטכנולוגיה, תעשייה, חינוך והשכלה גבוהה, תשתיות פיסיות, סביבה ואנרגיה ובנושאים נוספים בעלי חשיבות לחוסנה הלאומי של ישראל בהם המוסד תורם תרומה ייחודית. במוסד מבוצעים מחקרי מדיניות וסקירות, שמסקנותיהם והמלצותיהם משמשים את מקבלי החלטות במשק על רבדיו השונים. מחקרי המדיניות נעשים בידי צוותים נבחרים מהאקדמיה, מהטכניון ומוסדות אחרים ומהתעשייה. לצוותים נבחרים האנשים המתאימים, בעלי כישורים והישגים מוכרים במקצועם. במקרים רבים העבודה נעשית תוך שיתוף פעולה עם משרדים ממשלתיים ובמקרים אחרים היוזמה באה ממוסד שמואל נאמן וללא שיתוף ישיר של משרד ממשלתי. בנושאי התוויית מדיניות לאומית שעניינה מדע, טכנולוגיה והשכלה גבוהה נחשב מוסד שמואל נאמן כמוסד למחקרי מדיניות המוביל בישראל.

עד כה ביצע מוסד שמואל נאמן מאות מחקרי מדיניות וסקירות המשמשים מקבלי החלטות ואנשי מקצוע במשק ובממשל. סקירת הפרויקטים השונים שבוצעו במוסד מוצגת באתר האינטרנט של המוסד. בנוסף מסייע מוסד שמואל נאמן בפרויקטים לאומיים דוגמת המאגדים של משרד התמ"ס - מגנ"ט בתחומים: ננוטכנולוגיות, תקשורת, אופטיקה, רפואה, כימיה, אנרגיה, איכות סביבה ופרויקטים אחרים בעלי חשיבות חברתית לאומית. מוסד שמואל נאמן מארגן גם ימי עיון מקיפים בתחומי העניין אותם הוא מוביל.

יו"ר מוסד שמואל נאמן הוא פרופ' זאב תדמור וכמנכ"ל מכהן פרופ' עמרי רנד.



כתובת המוסד: מוסד שמואל נאמן, קרית הטכניון, חיפה 32000

טלפון: 04-8292329, פקס: 04-8231889

כתובת דוא"ל: info@neaman.org.il

כתובת אתר האינטרנט: www.neaman.org.il



יצור מתקדם

(ADVANCED MANUFACTURING)

הזדמנות גדולה לתעשייה הישראלית



ד"ר אביגדור זוננשיין
ד"ר גלעד פורטונה

ספטמבר, 2016

הטכניון – מכון טכנולוגי לישראל

קרית הטכניון, חיפה 32000 טל. 04-8292329 פקס. 04-8231889
info@neaman.org.il

אין לשכפל כל חלק מפרסום זה ללא רשות מראש ובכתב ממוסד שמואל נאמן מלבד לצורך
ציטוט של קטעים קצרים במאמרי סקירה ופרסומים דומים תוך ציון מפורש של המקור.
הדעות והמסקנות המובאות בפרסום זה הן על דעת המחבר/ים ואינן משקפות בהכרח את
דעת מוסד שמואל נאמן.

תוכן עניינים

1	מבוא
3	סיכום ממצאים ותובנות
6	המלצות לפיתוח ויישום יצור מתקדם וחכם בישראל
13	נספחים

רשימת תרשימים

עמוד	תרשים
7	תרשים 1 – יצור מתקדם כהתפתחות מערכתית רב-מימדית
11	תרשים 2 – מבנה מוצע לתכנית
14	תרשים 1.1 - יצור מתקדם כקונספט על מפעלי (Enterprise)
17	תרשים 1.2 - יצור מתקדם כקונספט מערכתי רב מימדי
19	תרשים 2.1- מבנה של מחקר PIE ומצב הממשק חדשנות-יצור
24	תרשים 2.2 - ההשפעה של המחקר בתחומי טכנולוגיות יצור על יצור מתקדם
25	תרשים 2.3 - הגדרה של יצור מתקדם, כהרחבה של יצור מסורתי
31	תרשים 6.1 - היקף יצוא תעשייתי לפי עצמה טכנולוגית בשנים 2002-2009
34	תרשים 7.1 - כדור טיטניום מודפס בהדפסת תלת-מימד
35	תרשים 7.2 - תהליך הדפסת תלת-מימד
35	תרשים 7.3 - מתקן תמיכה לאנטנה מודפס בתלת-מימד
38	תרשים 7.4 - מפת דרכים לפיתוח ויישום טכנולוגיות יצור בהוספה
42	תרשים 7.5 - חומרים מודפסים בתלת-מימד שצורתם משתנה עם הזמן
47	תרשים 10.1 - מפת דרכים לתקינה בתחומי AM
48	תרשים 10.2 - מבנה התקינה בתחום ה AM
59	תרשים 13-1: 9 טכנולוגיות עיקריות המהוות את עמודי התווך של המהפכה התעשייתית
60	תרשים 13-2: סך היקף הפעילות התעשייתית בגרמניה
61	תרשים 13-3: המהפכה ה- 4.0 צפויה להגדיל את היקף המועסקים ביצור בגרמניה
76	תרשים 16-1: חלוקת החברות לפי 7 הקטגוריות
77	תרשים 16-2: פילוג מועד הקמת החברות
79	תרשים 16-3: שלבי הבשלות של החברות בתחום
79	תרשים 16-4: פילוג היקף העובדים של החברות בתחום

רשימת נספחים

עמוד	נספח
13	נספח 1 - EMERGING GLOBAL TRENDS IN ADVANCED MANUFACTURING
17	נספח 2 - Trends in Advanced Manufacturing Technology Innovations
25	נספח 3 - מכון פראונהופר (FRAUNHOFER) למחקר יישומי כמודל למכון מחקר ליצור מתקדם
27	נספח 4 - תכניות הכשרה אקדמית בהנדסה של יצור-דוגמאות
28	נספח 5 - הצעת תכנית "אקדמיה מחזקת תעשייה" (אמ"ת) במסגרת המדע"ר
30	נספח 6 - קידום ושדרוג התעשייה המסורתית בעזרת ננוטכנולוגיה
33	נספח 7 - הדפסה תלת-מימדית - סקירה
43	נספח 8 - בריטניה משקיעה במו"פ בתחום הדפסה תלת-ממדית כדי לחזק את תחום התעופה והחלל
45	נספח 9 - הדפסת מכלולים אלקטרוניים בתלת-ממד
46	נספח 10 - מפת דרכים לתקינה בתחומי "יצור בהוספה" - SASAM Standardization Roadmap
49	נספח 11 - המפעל החכם שיודע בדיוק כמה עולה לייצר כל פחית בירה
54	נספח 12 - מנוע הצמיחה המהירה של התעשייה המסורתית // "תעשייה בלי ננו-טכנולוגיה תיעלם בתוך 20 שנה"
58	נספח 13 - הערכת האימפקט של המהפכה התעשייתית הרביעית INDUSTRY 4.0 על התעשייה הגרמנית.
63	נספח 14 - סקירת תכניות לאומיות נבחרות בתחומי היצור המתקדם
71	נספח 15 - יוזמת יצור מתקדם ב-MIT
74	נספח 16 - דוח מיפוי של חברות בישראל העוסקות בטכנולוגיות של יצור מתקדם ADVANCED MANUFACTURING
81	נספח 17 - סיכום מפגש שולחן עגול בנושא יצור מתקדם שהתקיים במוסד נאמן ב-17.4.16

רוב התעשייה הישראלית משתמשת בשיטות יצור קונבנציונאליות בהן הופכים חומרי גלם ורכיבים למערכות. בחלק מהתעשייה יש יישום של שיטות אוטומציה המגדילות את היעילות והפריון. לצערנו, רוב התעשייה הישראלית סובלת מפריון נמוך שמביא לחוסר יכולת להתמודד בשווקי היצוא הן מבחינת תחרותיות מחירי המוצרים והן מבחינת זמני תגובה לדרישות השוק. הפריון הנמוך וחסר ההתמודדות בשווקי היצוא, מביא למשכורות נמוכות לעובדים בתעשייה ובעיקר בתעשייה המסורתית, ולפעמים לסגירת מפעלים לא תחרותיים ולא רווחיים או להעקת המפעלים לחו"ל.

בעיות דומות ניצבות בפני רוב מדינות המערב- רוב התעשייה עוברת למזרח הרחוק או למזרח אירופה. בסיס היצור במערב הולך ונשחק.

כדי לענות על אתגרים אלו מגבשות ומיישמות מספר מדינות במערב מדיניות לאומית לקידום יצור מתקדם, כמו: ארה"ב, בריטניה, גרמניה, צרפת ומספר מדינות במזרח כמו: סין, קוריאה.

יצור מתקדם הוא יישום טכנולוגיות מתקדמות ביצור מוצרים ומערכות, כאשר שואפים ל"שבור את המוסכמות" של יצור ליניארי ההופך חומרי גלם למוצרים ומערכות. יצור מתקדם מצטיין במספר מאפיינים חשובים:

- שיטות היצור המתקדם מאפשרות יצור מוצרים ומערכות מתקדמות שלא ניתן לייצר בשיטות יצור רגילות. כלומר, נוצר כאן יתרון כפול-מוצר מתקדם וחדשני המיוצר במתכונת מתקדמת.
- ניתן להגיע לרמות פריון ואיכות יותר גבוהות מאשר ביצור קונבנציונאלי, במיוחד ביצור במנות קטנות.
- יש אפשרות לשינויים תכופים (CHANGEABILITY) במוצרים עקב דרישות משתנות בשוק (כולל תפירה של מוצרים אישיים...)
- תכנון המוצר ותכנון היצור מבוצעים באופן הדוק ומשולב תוך שימוש במודלים ממוחשבים וסימולציות להוכחה ואופטימיזציה של ביצועי המוצר ויצורו.
- תכן המוצר והיצור מחייב ידע מעמיק = יש צורך בעובדי ידע. קיימת חשיבות למוקדי ידע טכנולוגיים כמו אקדמיה ומרכזי מחקר.

קיים מגוון גדול של טכנולוגיות מתקדמות ותהליכים חדשניים הנכללים תחת הכותרת-יצור מתקדם, כמו: יצור בהוספה (ADDITIVE MANUFACTURING), הדפסות תלת-מימד, יישום ננו-טכנולוגיות ביצור ובמוצרים, אוטומציה מתקדמת תוך שימוש רב בסנסורים וניתוח של BIG DATA לאופטימיזציה ויעול של תהליכים ושימוש במשאבים.

במסמך, ננסה לסכם את המגמות בעולם ובארץ בתחום זה, על פי דוחות ומסמכים שפורסמו בנושא. כמו כן, נציג המלצות ראשוניות כיצד ליישם את שיטות היצור המתקדם בתעשייה הישראלית.

בנספחים מצורפים ממצאים, תובנות והמלצות של דוחות, מסמכים וספרים שפורסמו בתחום זה בשנים האחרונות.

סיכום ממצאים ותובנות

יש הבנה והסכמה ברוב המדינות בעולם על החשיבות להתקדם למהפכה התעשייתית הבאה (המכונה בכמה מקומות INDUSTRY 4.0 – ראה נספח 13). היא כוללת שינוי מהותי במתכונת היצור ומרכיביה העיקריים מכונים היום יצור מתקדם. במקום היצור הליניארי המתבצע בשלבים וההופך חומרי גלם ורכיבים קנויים למוצר, ביצור המתקדם נשאף לכמה שינויים מהותיים ומגמות מהותיות, כמו:

- במקום שימוש בחומרי גלם קיימים- סינתזה של חומרים חדשים המותאמים למוצר הסופי ולשיטות יצור מתקדמות
- במקום יצור בסדרות גדולות-יצור אוטומטי בסדרות של "אחד", עם הגמישות שכל מוצר שונה מרעהו.
- במקום הצעת ומכירת המוצר הפיזי בלבד- להציע חבילת פתרונות אינטגרליים לשוק הכוללות חומרה, תוכנה ושירותים. חבילה זו כוללת גם סנסורים ונדרשת לאיכות ואמינות גבוהים יותר.
- שימוש חוזר של חומרים והחזרתם לתהליך היצור, מעבר להיקף המחזור כיום שמתבצע משיקולים סביבתיים.

מהפיכה זו באה לענות על מספר אתגרים:

- הצטמצמות מדאיגה של בסיס היצור במדינות המתבססות על עובדי ידע. רוב היצור עובר למדינות בהן היצור מתבסס על עובדים בשכר נמוך.
- ללא הקשר הבלתי אמצעי בין קבוצות הפיתוח וההנדסה של המוצרים החדשים עם מוקדי היצור, ניתק המסלול החיוני של חדשנות ושיפור מוצרים ושירותים בזמן אמת מול צרכי השוק. כמו כן, יש קושי בפיתוח העסקי של הדורות השונים של המוצרים והוורסיות השונות לשוקים השונים.
- בתעשייה המסורתית נוצר פער פריון גדול לעומת תעשיית העילית, הגורם לירידה ברמת ההשתכרות בתעשייה המסורתית ולחוסר משיכה של צעירים לתעשייה זו.
- השוק הגלובאלי דורש שינויים והתאמות אישיות במוצרים בקצב גובר והולך.
- המגמות של תעשייה ברת קיימא מחייבת שימוש יותר מושכל בחומרים וחיסכון גדול במשאבי אנרגיה

בד בבד עם הגידול באתגרים הניצבים בפני התעשייה, מבשילות טכנולוגיות פורצות דרך כמו אלו המוצגות בנספחים. בדוח המחקר המוצג בנספח 2 מאופיינות 7 טכנולוגיות יצור מתקדמות עיקריות:

1. הנדסת ננו של חומרים ומשטחים - כולל סינתזה ובנייה של חומרים פונקציונאליים ומולטיפונקציונאליים ברמת הננו ורמת המיקרו. מקור החומרים יכול להיות טבעי וגם מלאכותי.
2. יצור בהוספה ויצור מדויק - כולל שימוש בטכנולוגיות חדשניות כמו הדפסה תלת-מימד, בהן תהליך היצור הוא הוספת משטחים ליצירת המוצר מאבקת חומר.
3. רובטיקה ואוטומציה מותאמת - כולל שימוש אינטליגנטי של רובוטים ואוטומציה ביצור. טכנולוגיות אלו מחליפות עבודת יצור מחזורית, או היכן שנדרש דיוק גבוה. כמו כן, שימוש במערכות אוטונומיות לביצוע משימות מורכבות.
4. הדור הבא של האלקטרוניקה - כולל פיתוח חומרים חדשים לחצאי מוליכים כמו GaAs שיאפשרו המשך גידול בכושר החישוב לפי חוק מור. כמו כן פיתוח שיטות ליטוגרפיות חדשניות שיאפשרו הדפסה לא יקרה של כרטיסי אלקטרוניקה מתקדמים, כולל גמישים ותלת-מימד.
5. יצור רציף של פרמצבטיקה והנדסת ביו - פיתוח שיטות יצור מיוחדות, עם בקרה בזמן אמת, לתרופות בכמויות גדולות וכמויות קטנות. כמו כן, מקום מחקר להפיכת בקטריות ותאים ליצרני פרוטאינים ותרכובות על פי בקשה.
6. תכן וניהול שרשראות אספקה מבזרות - כולל ניהול שרשרות אספקה רב לאומיות, עם בקרה ועקיבות מלאה, תוך דאגה לאיכות ולעמידה בתקנים בינלאומיים. כמו כן, מושם דגש מיוחד על עמידה בהיבטי סביבה, קיימות, הבטחת מידע, הגנה בפני סייבר, אחריות חברתית ומניעת רמאויות.
7. יצור ירוק ובר קיימא - כולל עידוד מחזור ושימוש חוזר של חומרים, צמצום האנרגיה המושקעת במהלך היצור והלוגיסטיקה.

בנספחים 1 ו-2 ניתן סיכום של ממצאים והמלצות של עבודות מחקר שבוצעו לפני מספר שנים בארה"ב בהנחיית נשיא ארה"ב, כדי להציג בפניו תכניות ל"החזרת עטרת היצור" לתעשייה האמריקאית על ידי יישום טכנולוגיות מתקדמות שתוארו לעיל.

גם באירופה יש מאמץ מיוחד בתחום, והתכנית המו"פ האירופאית HORIZON מקדישה משאבים רבים לקידום מה שהם מכנים - מפעלי העתיד - FACTORIES OF THE FUTURE (FOF). למאמץ אירופאי זה שותפות התעשיות, האקדמיה ומכוני מחקר יישומי דוגמת מכון פראונהופר המתואר בנספח 3. בנספח 13 יש פירוט של הטכנולוגיות המתקדמות המתוכננות לתעשייה הגרמנית, וכן האימפקט המהותי על התל"ג הגרמני (גידול ב- 1% לשנה ב- 10 שנים), היקף ההשקעה בתעשייה המתקדמת (כ- 250 מיליארד יורו) והגידול הצפוי בהיקף המועסקים המתאימים (390 אלף+) ביכולותיהם וכישוריהם לתעשייה המתקדמת.

בנספח 7 מוצגות התפתחויות מרשימות בתחום הדפסה תלת-מימדית המכונה גם יצור בהוספה - Additive Manufacturing (AM) שכבר לא רק נותנת מענה לדגמים מהירים, אלא גם נותנת

מענה לצרכי יצור מיוחדים בכל התחומים, כולל בתעופה וחלל (נספח 8), וגם בתחום האלקטרוניקה (נספח 9). בנספח 7 מוצגת מפת דרכים אתגרית ומעניינת בתחום הדפסה תלת-מימד. בתחום זה גם מתפתחת תקינה בינלאומית ענפה שתאפשר יישום יעיל של הטכנולוגיות האלו (ראה נספח 10).

בנספח 6 מאתגר רפי קוריאט את התעשייה המסורתית בשימוש בננו-טכנולוגיה לשדרוג המוצרים ותהליכי היצור בתחומים רבים.

בנספח 11 ניתנת הדגמה של יישום מערך סנסורים (RFID) ואינטרנט של הדברים (IoT) במפעל טמפו על ידי חברת לייטאפ, כדי לנהל את משאבי היצור ובמיוחד לנהל ולצמצם את משאבי האנרגיה הנצרכים במפעל.

כאמור בנספחים 1 ו-2 – לאקדמיה יש תפקיד חיוני במהפכת היצור המתקדם - גם בפיתוח טכנולוגיות היצור המתקדמות והחדשניות, והן בהכשרת דור המהנדסים הבא בידע הדרוש לפיתוח ויישום יצור מתקדם בתעשייה (ראו גם נספח 4 על תכניות הכשרה אקדמיות בארה"ב להנדסה של יצור מתקדם). בנספח 15 ניתן פירוט על מגוון תכניות הלימודים והמחקר ב MIT במסגרת יוזמת יצור מתקדם.

בדוח המתומצת בנספח 1 ניתן תיאור של התכניות הלאומיות לקידום יצור מתקדם במספר מדינות, כמו: סין, קוריאה, גרמניה, ברזיל, יפן. סקירת התכניות לאומיות בתחומי יצור מתקדם שמונהגות בארה"ב, אירופה, אנגליה וסין ניתנת בנספח 14.

המלצות לפיתוח ויישום יצור מתקדם וחכם בישראל

נראה של ישראל שיש בה חברות הייטק מצליחות ומוניטין בחדשנות ויזמות יש פוטנציאל מבטיח לפיתוח ויישום יצור מתקדם וחכם בישראל. היצור המתקדם מתבסס על טכנולוגיות חדשניות שחלקן פורצות דרך ומייצגות חשיבה "מחוץ לקופסא". חברות הייטק הישראליות והמהנדסים הישראלים הצעירים ידועים בהצלחותיהם בסביבה טכנולוגית חדשנית ופורצת דרך.

לדוגמא, בדוח המסוכם בנספח 1 מוזכרת לטובה החברה שהייתה ישראלית OBJET GEOMETRIES / STRATASYS שמפתחת ומייצרת מדפסות תלת-מימד בהיקף גדול כמו כל מדינות אירופה. כאמור במסמך זה, זו טכנולוגיה מובילה בתחום יצור מתקדם, וכדאי ללמוד מניסיונה של חברה זו.

בנוסף, פיתוח יכולות ותשתיות יצור מתקדם בישראל יכולות להביא למספר הישגים חשובים לתעשייה הישראלית:

- יצירת המשכיות לחברות הייטק הישראליות על ידי אימוץ טכנולוגיות יצור מתקדם במפעלי הייטק. במקום למכור את החברות לפני שהן מתחילות לבנות מערכי יצור או ולהשאיר אותו בישראל תוך יישום היצור בטכנולוגיות מתקדמות וחדשניות. להערכתנו, זה יכול להיות הרחבת ההצלחה של יישום החדשנות לבניית תעשייה מבוססת חדשנות ומענה חלקי למגמות ה-EXIT בחברות הייטק הישראליות.
- יצירת הזדמנויות לפיתוח חברות הייטק המתמחות בתחומי הציוד, המחשוב והמערכות התומכות ביצור מתקדם. לאחרונה השלמנו סקר בהזמנת משרד הכלכלה/מנהל סחר חוץ של כ- 150 חברות ישראליות המפתחות, מיישמות ומשווקות פתרונות טכנולוגיים ליצור מתקדם בארץ ובעולם.
- הכנסת טכנולוגיות יצור מתקדם למפעלי התעשייה המסורתית משפרות בצורה מהותית את הפריון של מפעלי התעשייה המסורתית והופכות אותו למפעל הייטק מבחינת שיטות היצור. דוגמאות קיימות הם מפעלי ישקר, פיניציה, אופטיקה שמיר, תפרון ועוד. זה יאפשר לשמר חיוניותה של תעשייה זו בישראל ולעצור חלק מזליגת היצור למזרח הרחוק ואובדן מקומות התעסוקה

על בסיס הסקירות שניתנות במסמך זה, ושיחות ראשוניות עם גורמים שונים במשק הישראלי מוצגות כאן המלצות ראשוניות לפיתוח ויישום יצור מתקדם בתעשייה הישראלית:

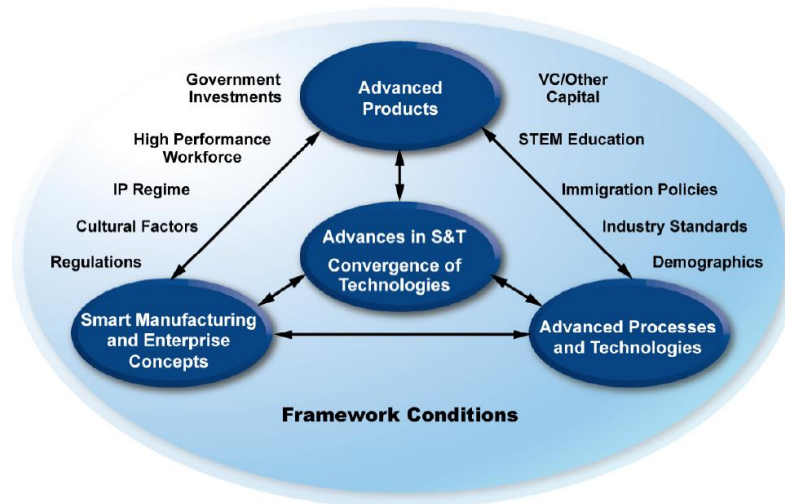
1. גיבוש מדיניות לאומית ליצור מתקדם בתעשייה הישראלית

יש חשיבות גדולה לגיבוש ואימוץ מדיניות לאומית ליצור מתקדם בכל התעשייה הישראלית (האזרחית והביטחונית), ובפרט בתעשייה המסורתית.

לשם כך מומלץ להקים צוות היגוי לאומי בו תהייה נציגות לנציגי התעשייה, נציגי הממשל, נציגי האקדמיה. צוות מרכז למציונות תעשייתית במוסד נאמן, יכול לרכז צוות היגוי לאומי בתחום זה.

מומלץ שהמדיניות הלאו, מית תתייחס ליצור המתקדם כהתפתחות מערכתית רב-ממדית, המתוארת בתרשים הבא (תרשים 1) וכוללת בין השאר היבטי מוצרים מתקדמים, יצור חכם, ארגונים חכמים, תהליכים וטכנולוגיות מתקדמות, התפתחויות במדעים וטכנולוגיה.

תרשים 1: יצור מתקדם כהתפתחות מערכתית רב-מימדית¹



מומלץ שבתחום זה ייווצר שיתוף פעולה פורה בין המערכת האזרחית (מדען ראשי- הרשות לחדשנות, תעשייה, אקדמיה...) והמערכת הביטחונית (מפא"ת, מנה"ר, תעשייה ביטחונית...).

בתחום זה גם מומלץ ליצור שת"פ של תעשיות החלל והתעופה האזרחיות והביטחוניות.

כפי שצוין בדו"ח זה גם לתעשיית הסייבר יכולה להיות תרומה לפיתוח תחומי היצור המתקדם.

במסגרת המדיניות הלאומית לעידוד מפעלים ליישם טכנולוגיות יצור מתקדם, נכון שמרכז ההשקעות יכוון חלק מתקציבו להטמעת טכנולוגיות אלו במפעלים בהם יישום טכנולוגיות מביא לשיפור מהותי בפריון ובפוטנציאל היצוא.

¹Stephanie S. Shipp et al. "EMERGING GLOBAL TRENDS IN ADVANCED MANUFACTURING IDA (Institute for Defense Analysis)

במסגרת גיבוש המדיניות הלאומית ניתן ללמוד מניסיון של מדינות שכבר מובילות מהלכים לאומיים בתחום זה, כמו: בריטניה, גרמניה, האיחוד האירופי.

הערה: פרופ' Olivier de Weck שהוביל במסגרת ה MIT את המחקר האמריקאי בתחום זה, הוא עמית מקצועי, והביע את נכונותו לסייע לנו בגיבוש תכנית לאומית בתחום זה.

2. גיוס האקדמיה ומערכת החינוך לפיתוח תחום זה

לצערנו, תחום היצור באקדמיה בישראל אינו מפותח במידה מספקת. יש תכניות אקדמיות בתחומי הנדסת תעשייה וניהול, אבל חלקן הגדול הם בדגש ניהולי ופחות דגש על היבטי ההנדסה ופיתוח טכנולוגיות יצור. היבטים אלו נכון שיתפתחו ברמה גבוהה בפקולטות ההנדסיות השונות.

אנחנו ממליצים לגייס את האוניברסיטאות להנדסה בישראל- הטכניון, אוניברסיטת ת"א, אוניברסיטת ב"ג לפיתוח המחקר, ההוראה והיישום בתחום זה כאתגר לאומי עם סיכויי הצלחה מבטיחים. כמו כן מומלץ לרתום מכללות הנדסה שמוכנות להשקיע בתחום ויצוגי יכולות גבוהות וחדשניות בתחומי היצור המתקדם.

כפי שמוצג בנספחים 1 ו-2 יש בתחום זה אתגרים מחקריים מעניינים, יש כבר הצלחות מחקריות באוניברסיטאות מובילות בארה"ב ובאירופה.

כמו כן, קיימות גם תכניות הכשרת סטודנטים לתארים גבוהים (נספח 4) באוניברסיטאות מובילות כמו ה MIT (בנספח 15 ניתן פירוט על פעילויות MIT בתחומי מחקר ולימודים במסגרת יוזמת יצור מתקדם), אוניברסיטת מישיגן ועוד. ניתן לאמץ תכניות דומות בישראל.

כאן המקום לציין, שעקב חשיבות היצור להנדסה, נכון שבכל פקולטה הנדסית תנוצל מגמת היצור המתקדם לחשיפת הסטודנטים בתואר הראשון להתפתחויות והיכולות המודרניות של היצור המתקדם. להערכתנו, זה יעשה אותם למהנדסים יותר טובים.

בנוסף, כיון שלתחום היצור המתקדם יש היבטים יישומיים, רצוי שהאקדמיה יחד עם התעשייה יקימו מכוני מחקר יישומיים בתחום זה כמוצג בנספח 3 על מכן פראונהופר הגרמני, וכמוצג בנספח 5 לתכנית אקדמיה מקדמת תעשייה-אמ"ת. מכון מחקר יישומי בתחום זה יוכל גם להקים מרכז חדשנות ויזמות ליצור מתקדם. מוסד שמואל נאמן יחד עם הטכניון יזם הצעת תכנית להקמת מרכז מו"פ יישומי בתחומי הרובוטיקה והאוטומציה. הצעה זו נדונה כיום בפורומים שונים.

גם למערכת החינוך ולמערכת ההכשרה המקצועית יש תפקיד חשוב בהכשרת דור העתיד בבתי הספר ובמוסדות ההכשרה המקצועית לתחומי היצור המתקדם.

יש לגבש במסגרת התכנית הלאומית ליצור מתקדם גם תכנית לחינוך והכשרה בתחום- ברמות שונות, לגילאים שונים, ובמסגרות שונות.

3. עידוד חברות העוסקות בפתרונות ליצור מתקדם

כפי שצוין, בהזמנת משרד הכלכלה והתעשייה השלמנו לאחרונה סקר מקיף של כ- 150 חברות ישראליות המפתחות, מיישמות ומשווקות פתרונות טכנולוגיים ליצור מתקדם. סיכום דו"ח המיפוי של חברות אלו ניתן בנספח 16. בסקר זה נמצא שהמספר הרב ביותר - 43% - משתייך לקטגוריית לוגיסטיקה ותהליכים מתקדמים. במקום השני והשלישי בהיקף היחסי של 17% ו- 16% משתייכות חברות מתחום הרובוטיקה והאוטומציה, וחברות מתחום היצור בר קיימא, בהתאמה. במקום הרביעי נמצאות חברות מתחום היצור בהוספה. רוב החברות נוסדו אחרי שנת 2000, אבל יש גם חברות ותיקות יותר שנוסדו בשנות ה 90 וחידשו את טכנולוגיות היצור שלהן. רוב החברות הן בשלב הכנסות ראשוניות או בשלב גידול בהכנסות.

לחברות אלו יש פוטנציאל כפול במהלך הלאומי לקידום יצור מתקדם:

- פיתוח ועידוד החברות כאשכול חברות עם יכולות טכנולוגיים חדשניים ליצור מתקדם עם אוריינטציה של יצוא היכולות לעולם
- החברות האלו עם היכולות שלהן יכולות להוות מאפשרים של קידום יצור מתקדם במפעלים בארץ על ידי יישום יכולות "כחול לבן"

מומלץ ליצור כלי עידוד לחברות אלו כדי שהן תממשנה את הפוטנציאל הכפול שלהן.

4. מאגדים בתחומי יצור מתקדם

למיטב ידיעתנו, כיום מתקיימים שני מאגדים של המדען בתחומי יצור מתקדם - PRINTL בתחומי דיו אלקטרונית, ומאגד עתיד בתחומי הדפסה תלת מימד. לדעתנו, נכון שמאגדים אלו יהיו חלק מהמאמץ הלאומי לקידום יצור מתקדם בישראל. בנוסף, ייתכן ונכון לאתר עוד תחומי התמחות של יצור מתקדם שנכון ליזום בהם מאגדים.

5. שיתוף פעולה בינלאומי

כמוצג במסמך זה יש פעילות בינלאומית ענפה בתחום הפיתוח והיישום של יצור מתקדם. מוצע שבמסגרת הפעילות בישראל ניצור שיתופי פעולה עם מוסדות, תכניות ואנשים מובילים בתחום בעולם. במסגרת התכנית האירופית HORIZON יש יוזמות מחקר רבות המכונות FACTORIES OF THE FUTURE (FOF). להערכתנו נכון שחוקרים מישראל ישתלבו ביוזמות מחקר בתחום זה.

כמו כן, יש מרכזים מתקדמים בארה"ב המתמחים בהיבטים שונים של יצור מתקדם, כמו: המרכז לחומרים קלים במישיגן, מרכז להדפסת תלת מימד באוהיו, ומרכז ליצור דיגיטאלי בשיקגו.

6. משיכת השקעות זרות בתחום

כאמור לעיל, לתעשייה הישראלית יש פוטנציאל לפתח טכנולוגיות ויכולות בתחומי היצור המתקדם. מומלץ ליצור אקו-סיסטם בישראל המעודד השקעות זרות בתחום זה.

7. השתלבות בתקינה הבינלאומית בתחום

כמוצג בנספח 10 יש כבר פעילות ענפה של תקינה בתחום היצור בהוספה (AM). נכון לעודד את השותפות של התעשייה והאקדמיה בפעילות התקינה בתחומים אלו. על פי תיאום עם מכון התקנים המרכז למצוינות תעשייתית יכול להיות משקיף בפעילות וועדת המראה שהוקמה במכון התקנים הישראלי.

8. יישומי חלוץ (פיילוט)

כיוון שחלק מטכנולוגיות היצור המתקדם כבר הבשילו וניתן ליישמן בתעשייה, נכון לזום יישומי חלוץ בתעשייה ולהפיק מכך לקחים בטווח הקצר. בנספח 6 מוצגות אפשרויות יישום ננוטכנולוגיות בתעשייה המסורתית במוצרים ובתהליכי יצור. בתחומי הדפסה תלת-מימד יש כבר יכולות שנכון ליישמן בתעשייה (נספחים). גם בתחומי הסנסורים (RFID) וה- BIG DATA יש יכולות הזמינות ליישום (נספח 11).

מומלץ לעודד יישומי חלוץ של טכנולוגיות יצור מתקדם בשלות בתעשייה המסורתית, ולהגיע להישגים בתחום בטווח הקצר, וללמוד מיישומים אלו.

9. כנסים, ימי עיון, שולחנות עגולים

תחומי היצור המתקדם הם עתירי ידע ונכון ליצור שיתוף בידע בישראל על ידי כנסים, ימי עיון, סמינרים ושולחנות עגולים. נכון לשלב תחום זה במסגרת כנסים ישראלים ובינלאומיים המתקיימים בארץ, כמו כנסי הנדסת מכונות, אווירונאוטיקה, חומרים, אלקטרוניקה, אוטומציה ורובוטיקה, יצור והנדסה ועוד.

כמו כן, ייתכן ויש עניין לקיים כנסים, ימי עיון וסמינרים ייעודיים בתחום זה.

המרכז למצוינות תעשייתית קיים במהלך פברואר 2016 שולחן עגול בנושא עם כ- 30 מומחים בתחום. התובנות וההמלצות ממפגש שולחן עגול זה ניתנות בנספח 17.

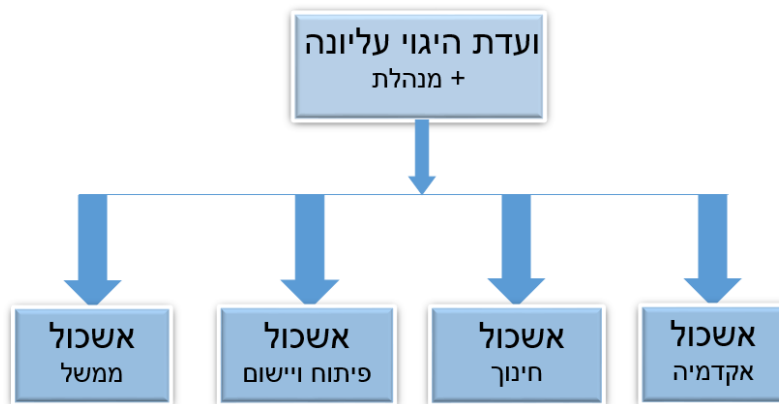
ב- 3.8.16 התקיים שולחן עגול רב משתתפים שאורגן, נוהל והונחה ע"י אגף אסטרטגיה במשרד הכלכלה. האגף הפיץ את תובנות מפגש שולחן עגול זה.

10. התארגנות ולוח זמנים

כמוצג בנספחים 1, 2, 7, 14 מפות הדרכים בתחומי היצור המתקדם בעולם מציגות הבשלת הטכנולוגיות בעשור הקרוב, ותחזית שתוך כ-20 שנה התעשייה ברובה תתבסס על טכנולוגיות יצור מתקדמות וחדשניות. לכן, מומלץ שישראל תצטרף בהקדם למהלך זה, ואפילו תהווה גורם מוביל עולמי בחלק מתחומים אלו. אנחנו ממליצים שגיבוש התכנית הלאומית לפיתוח וקידום יצור מתקדם יותנע בחודשים הקרובים, ויצא לדרך ב-2017.

אנחנו ממליצים להתארגן בוועדת היגוי ומנהלת שיפעילו פעילויות ב-4 אשכולות – חינוך, אקדמיה, פיתוח ויישום, ממשל כמוצג בתרשים (תרשים 2) ההתארגנות הבא:

תרשים 2: מבנה מוצע לתכנית



האשכולות יעסקו בפעילויות הבאות:

- אשכול אקדמיה-אוניברסיטאות ומכללות אשר יבצעו מחקרים יישומיים לקידום היבטים שונים של יצור מתקדם (טכנולוגיות, תהליכים, מערכת), ישתפו פעולה עם מוסדות אקדמיים בעולם ויגבשו תכניות הוראה ולימוד בפקולטות להנדסה
- אשכול חינוך-תגובש תכנית לחינוך מקצועי וטכנולוגי לצעירים ולמבוגרים
- אשכול פיתוח ויישום-יוקמו מרכזי מצוינות אשר יפתחו כלים ליצור מתקדם (כולל אוטומציה תעשייתית). המרכזים יקבלו הזמנות ליישום תהליכים, טכנולוגיות וכלי יצור מתקדמים. המרכזים יפעלו בשיתוף עם התעשייה הקיימת והפועלת בתחום.
- אשכול ממשל- אחריות לתאום המשרדים הרלוונטיים, לגיבוש חבילות תמריצים ולייזום שיתופי פעולה בינלאומיים

11. סיכום

כמוצג במסמך זה יש התפתחויות מעניינות ומבטיחות בתחומי היצור המתקדם בעולם ובארץ. תחום זה יכול להיות הזדמנות מצוינת להתפתחות התעשייה הישראלית על כל גווניה, כולל הזדמנות להוציא את התעשייה המסורתית ממצוקתה. כדי שהזדמנות זו תמומש אנו ממליצים לגבש ולהתניע תכנית לאומית לפיתוח וקידום יצור מתקדם בישראל, בשיתוף כל הגורמים הרלוונטיים, כולל האקדמיה.

משרד הכלכלה והתעשייה הפיץ מסמך סקירת מדיניות והשוואה בינלאומית לקידום היצור המתקדם בישראל. במסמך זה זוהו 6 כיווני פעולה ראשיים הנחוצים לקידום היצור המתקדם בישראל, כאשר הראשון בהם: ריכוז פעילותם של כלל הגופים תומכי התעשייה בישראל למען עידוד היצור המתקדם במסגרת וועדת היגוי ייעודית.

המרכז למצוינות תעשייתית במוסד נאמן בטכניון יכול לרכז וועדת היגוי זו ולגבש תכנית לאומית בישראל בתחום היצור המתקדם.

EMERGING GLOBAL TRENDS IN ADVANCED MANUFACTURING

IDA- Institute for Defense Analysis
Stephanie S. Shipp, Project Leader

תובנות, ממצאים והמלצות**כללי**

זהו דוח מקיף שהוזמן על ידי המשרד של מנהל המודיעין הלאומי בארה"ב כדי לזהות מגמות בארה"ב ובעולם בתחומי יצור מתקדם (ADVANCED MANUFACTURING), וכן להציע תרחישים להתפתחויות בתחום זה ב-10 וב-20 השנים הקרובות.

הדו"ח נכתב על פי ראיונות עומק ואיסוף מידע אצל 90 מומחים בתעשייה, באקדמיה ובמשל שנחשבים למובילים בתחום זה והם גם עם ניסיון בינלאומי בתחום.

הדוח נושא את התאריך מרץ 2012.

עבודה זו מזהה את המגמות המכנסות (CONVERGING), את המגמות המתפתחות

(EMERGING), את התנאים המאפשרים (ENABLING FACTORS) התפתחות ראויה בתחום, והתרחישים העתידיים (FUTURE SCENARIOS) להתפתחויות בתחום.

להערכתי זהו דוח מערכתי טוב המציג תמונה מאוזנת של ההתפתחויות בתחום זה, הן מבחינת הערכת המצב הקיים והן מבחינת התחזית לעתיד.

הדוח כולל פרטים רבים על הנעשה בתחום בארה"ב ובמספר מדינות שעוסקות בנושא: ברזיל, סין, יפן, קוריאה, גרמניה, בריטניה.

ישראל מוזכרת בדוח במספר מקרים בעיקר בהשוואות של השקעות מו"פ.

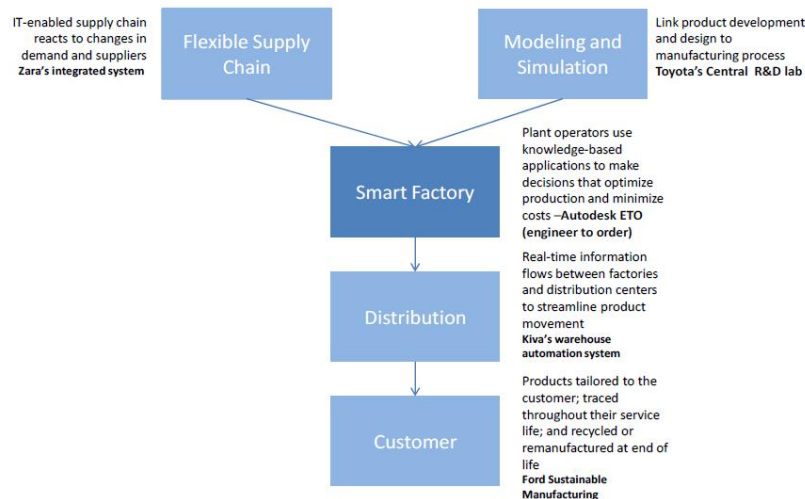
ממצאים עיקריים

זוהו 5 מגמות מכנסות שבאמצעותן ניתן לבצע את השינוי משיטות יצור מסורתיות המבוססות על כוח אדם לתהליכים מבוססי טכנולוגיה:

1. ריבוי התפקידים והרב מימדיות של טכנולוגיות המידע במערכות היצור
2. התבססות על מודלים וסימולציות בתהליכי היצור (בהמשך למה שקרה בתחומי התכן וההנדסה)
3. האצת החדשנות בניהול שרשרת האספקה ברמה הגלובאלית (כולל יישום RFID)
4. מעבר לאפשרויות שינוי (CHANGEABILITY) מהירות ביצור כמענה לדרישות הלקוחות והשוק
5. תמיכה וקידום יצור בר קיימא

כמגמת על מכנסת ניתן גם לזהות את ה- ENTERPRISE LEVEL CONCEPT OF ADVANCED MANUFACTURING אשר במסגרתה מקיימים את השילוב של כל חמשת המגמות שלעיל כתפישה ארגונית מאוחדת ומשולבת מהתכנון של המוצר וקווי היצור, דרך ניהול שרשרת האספקה, ביצוע היצור במפעל חכם וירוק, אספקת המוצרים המותאמים ללקוחות על ידי מערכת הפצה ממוחשבת. מגמת על זו מתוארת בתרשים 1.1 להלן:

תרשים 1.1 יצור מתקדם כקונספט על מפעלי (Enterprise)



Source: Adapted from SMLC (2011).

יש לציין כאן גם את ה"הנדסה המשולבת" שבאמצעותה מקיימים אינטגרציה בין מאמצי הפיתוח וההנדסה לבין מאמצי בניית יכולות היצור המתקדם.

הטכנולוגיות העיקריות שנדונות בדוח ושנמצאות בשלבים שונים של בשלות הן:

- מוליכים למחצה
- חומרים מתקדמים עם דגש על INTEGRATED COMPUTATIONAL MATERIALS ICME – ENGINEERING
- יצור בהוספה (ADDITIVE) - כמו הדפסה תלת מימד
- יצור ביולוגי עם דגש על ביולוגיה סינתטית

התנאים המאפשרים התפתחות בתחום היצור המתקדם מנותחים במפורט בדוח זה, כאשר ניתן כאן גם דיווח מפורט על התנאים המאפשרים במדינות שהוזכרו לעיל ומקדמות את התחום הזה:

- מדיניות לאומית להשקעה בתחום זה כדי לשפר את התחרותיות של התעשייה (מוצגות אסטרטגיות לאומיות בתחום זה, כולל של סין...)
- עידוד ההכשרה האקדמית (במיוחד תארים גבוהים), המקצועית והטכנולוגית בתחום זה
- עידוד האקדמיה לחקור ולפתח בתחום זה
- גיבוש תהליכים המעודדים שיתופי פעולה אקדמיה-תעשייה וכן שיתופי בין ארגונים ציבוריים ועסקיים פרטיים בתחום זה
- נדרש לתת פתרונות הגנת סייבר לרשתות המידע והנתונים האופייניים ליצור מתקדם
- שילוב התעשייה הביטחונית בתחום זה, כיוון שיש לה אתגרים דומים (הוזכר בין השאר האתגר לייצר חלקי חילוף למערכות וותיקות...)

התרחישים העתידיים הנצפים בדו"ח זה הם:

במהלך 10 השנים הקרובות צפויות המגמות הבאות:

- יצור מתקדם ישולב ביותר מפעלים שיהיו מקושרים גלובאלית דרך שרשרת האספקה שתהיה מוטת אוטומציה ותקשורת דיגיטאלית
- מדינות וחברות המשקיעות בסייבר יוכלו לנצל מצב כדי לתת פתרונות הגנה לרשתות המידע האלו
- יצור מתקדם צפוי להיות חסכוני במשאבים ואנרגיה
- יהיה גידול בדרישה להתאמה וגמישות יביא לשימוש מוגבר ביצור אדיטיבי
- ICME - ו ייצור מוצרים מותאמים וחומרים מותאמים
- יהיה שימוש מוגבר בחומרים מתקדמים כמרכיב ביצור
- תהיה התקדמות מסוימת ביצור מבוסס ביולוגיה

במהלך 20 השנים הקרובות צפויות המגמות הבאות:

- ברוב המדינות המתועשות תהייה עדיפות ליצור מתקדם, שיתבסס בעיקר על הסקטור הפרטי
- רוב המפעלים יעברו לשימוש בשיטות וטכנולוגיות יצור מתקדם
- יצור מתקדם יאפשר גמישות ביצור
- יגבר השימוש בחומרים מתקדמים ומותאמים ליצור
- יצור אדיטיבי ו- ICME יחליף את תהליכי היצור המסורתיים
- ביולוגיה סינתטית תשנה את יצור המוצרים הביולוגיים

על בסיס הנלמד בעבודה זו ומסוכם בדו"ח, ניתנת הגדרה כוללת של יצור מתקדם כקונספט מערכתי רב מימדי הן מבחינת מה הוא מאפשר להשיג (תפוקות) והן מבחינת הדרכים להשיגו (תשומות):

הגדרה של יצור מתקדם

יצור מתקדם משפר חומרים, מוצרים ותהליכים קיימים או יוצר חומרים, מוצרים ותהליכים חדשים לגמרי.

יצור מתקדם מבצע את זה באמצעות שימוש במדע, הנדסה, טכנולוגיות מידע, כלים ומתודות מדויקות, כוח עבודה ברמה גבוהה ומודלים חדשניים לעסקים וארגונים.

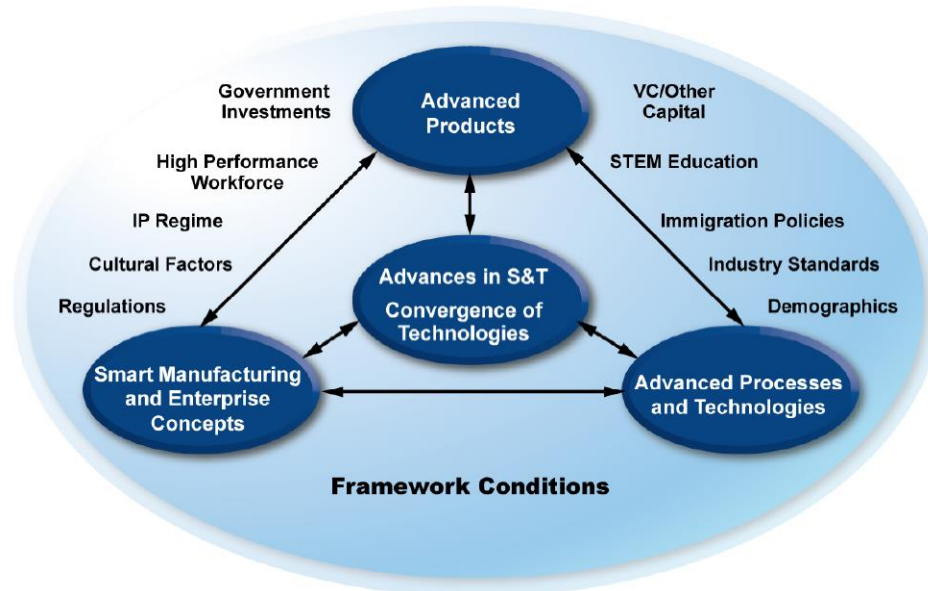
מאפיינים עיקריים של יצור מקדם כוללים בין השאר:

- יכולת יצור בכמויות קטנות וגדולות עם היעילות של יצור המוני והגמישות של יצור מותאם (Custom), כדי לענות במהירות לדרישות משתנות של לקוחות ושוק.
- יצור מתקדם מתבסס על התקדמות מהותית (אינקרמנטאלית או פורצת דרך) לעומת דרכי היצור הקיימות, תוך שימוש בשיטות יצור חכמות ומתוחכמות המשלבות מיחשוב חכם ויעילות תפעולית
- יצור מתקדם יוצר מוצרים תוך שימוש מינימאלי במשאבים, תוך שיפור בעלויות ובביצועים.

יצור מתקדם הוא קונספט מערכתי רב מימדי כמתואר בתרשים 1.2 להלן: מוצרים מתקדמים, תהליכים מתקדמים, טכנולוגיות חדשניות הן ברמת היצור והן ברמות הפיתוח וההנדסה. הרב

מימדיות מתבטאת גם בגורמים המאפשרים יצור מתקדם, כמו: השקעות, כוח אדם משכיל ומיומן, תקנים, תהליכים ארגוניים מותאמים.

תרשים 1.2 יצור מתקדם כקונספט מערכתי רב מימדי



EMERGING GLOBAL TRENDS IN ADVANCED MANUFACTURING-

Stephanie S. Shipp et al-IDA (Institute for Defense Analysis)

נספח 2

Trends in Advanced Manufacturing Technology Innovations

Olivier de Weck, Darci Reed, Sanja Sarma, Martin Schmidt- MIT

A Chapter submitted to the Production in Innovation Economy (PIE) Study

תובנות, ממצאים והמלצות

מבוא

מסמך זה כולל ממצאי מחקר שבוצע על ידי צוות אוניברסיטת MIT לבחינת הטכנולוגיות המבטיחות חדשנות בשיטות היצור במאה ה-21. המחקר מבוסס על עבודות שבוצעו במסגרת ה-MIT, על סקר שבוצע בתעשיות האמריקאיות ועל סקר ספרות נרחב. עיקרי הממצאים:

- לפי ממצאי מחקר זה נמצאו 24 טכנולוגיות מבטיחות השפעה חיובית על היצור התעשייתי בתחילת המאה ה-21. 24 טכנולוגיות אלו נבחנו לגבי פוטנציאל ההשפעה שלהן.
- 24 הטכנולוגיות האלו קובצו ל- קטגוריות המאפשרות התמקדות בהתייחסות למשפחות טכנולוגיות אלו
- מוצגת הגדרה חדשה של "יצור מתקדם" ומהו התפקיד ש-7 טכנולוגיות בשינוי אופי היצור במאה ה-21 מיצור מסורתי-ליניארי, המתקדם בשלבים ליצור יותר משולב, מערכתי ובמעגל סגור.
- מוצגות כמה דוגמאות ליישום טכנולוגיות יצור מתקדם בתעשייה האמריקאית
- מוצגות כמה משוכות העומדות בפני האקדמיה בארה"ב בהתקדמות במחקר של יצור ומתקדם, ומוצעות פתרונות לשיפור

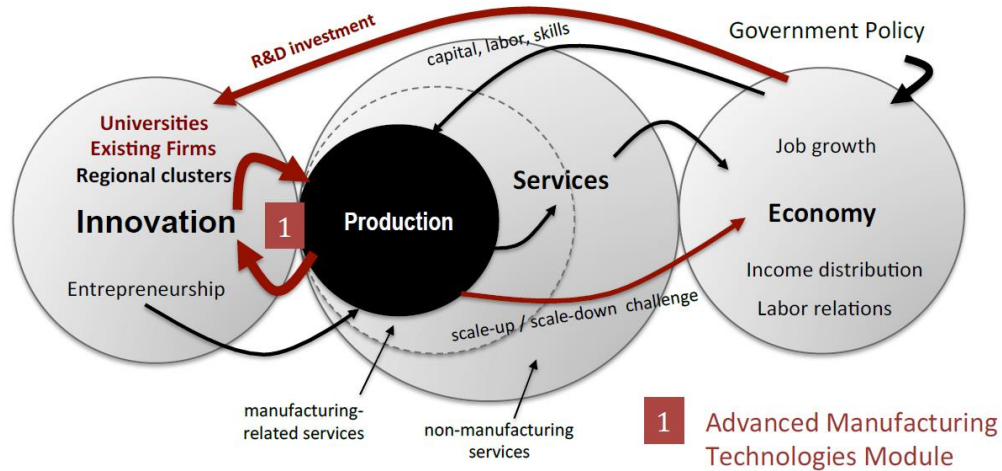
מסמך זה מהווה חלק בפרויקט מחקר יותר נרחב: PIE-Production in the Innovation Economy המחפש פתרונות לשינוי מאזן הכוחות בעולם בתחומי היצור עקב מעבר קווי היצור לסין ולמדינות נוספות במזרח. בחלק גדול מהחברות היצור מובצע במזרח. מצב זה גורם לתלות כלכלית גוברת והולכת במזרח, סיכונים לקשיי אספקה, סיכונים לגניבת ידע ו-IP, ניתוק הקשר בין ההנדסה ליצור ועוד.

בנוסף, הפרויקט מציין את עובדת סגירת מחלקות המו"פ במפעלים ובחברות, והתבססות על המו"פ באוניברסיטאות.

לאור האמור לעיל פרויקט PIE פיתח מודל מערכתי (ראה תרשים 2.1 להלן) - התרשים מופיע במאמר שנספח זה (מסכם) להבנת תהליך פיתוח ואימוץ חדשנות ביצור על החברות, על האוניברסיטאות ועל הכלכלה.

במסגרת מודל זה מושם דגש על חשיבות התהליכים המזינים את החדשנות בתעשייה מהיצור, מפיתוח הטכנולוגיות באוניברסיטאות.

תרשים 2.1- מבנה של מחקר PIE ומצב הממשק חדשנות-יצור



מצב המחקר בתחומי יצור ב-MIT

נמצאו כ-200 חוקרים ב-MIT שעוסקים בתחומי יצור. רוב החוקרים השתייכות למחלקות הבאות: הגדסת מכונות, בית ספר לניהול, הגדסת חשמל, מדעי המחשב, הגדסת מערכות והנדסה כימית. בנוסף, צויינו תכניות רוחביות כמו המעבדה ליצור ופריון (LMP) והתכנית למנהיגות בתפעול גלובאלי (LGO). פרט לכך, במועד כתיבת דו"ח המחקר לא היו יוזמות רוחביות לקואורדינציה של המאמצים ב-MIT בתחום זה. אחד הממצאים של עבודה זו הייתה יוזמה ליצירת מעטפת מחקרית לתחום היצור.

תחומי המחקר ביצור שהתפתחו ב-MIT הם:

- פיתוח חומרים חדשים ליצור מתקדם
- פיתוח שיטות יצור מתקדמות, כמו הדפסה תלת-מימד ועוד
- פיתוח מודלים וסימולציות התומכות ביצור מתקדם
- פיתוח שיטות אוטומציה ורובוטיקה חדשות ליצור מדויק
- פיתוח שיטות מערכתיות ליצור כמו מערכות שרשרות יצור ואספקה
- פיתוח תהליכי יצור המבטיחים קיימות וחיסכון במשאבים

לפי הערכת עורכי מחקר זה, המחקר בתחומי היצור ב-MIT הוא בסך הכל די נפוץ וכולל בו כ-15% מהחוקרים באוניברסיטה. רוב החוקרים עוסקים בשאלות מחקר המעניינות את התעשייה, אבל עוסקים גם במחקרים ארוכי טווח שיכולים להביא לקונספטי יצור חדשניים, שעשויים להיות משני כללי משחק בתעשייה ובכלכלה. רוב המחקרים הם לא אינקרמנטליים כנהוג באוניברסיטה אלא דווקא מחקרים המציגים קפיצות מדרגה. חלק גדול מהמימון למחקרים אלו באים ממקורות ממשלתיים כמו: NSF, DARPA, NIH (וכו'). כמו כן, חלק גדול מהמחקרים יוצרים פטנטים וחברות הזנק. כמו כן, יש בתחום זה לא מעט שיתופי פעולה בין החוקרים וגם המעבדה ליצור ופריון (LMP). שיתופי פעולה אלו עדיין לא זוכים להכוונה מלמעלה ברמת האוניברסיטה.

הקבצת 7 הטכנולוגיות המבטיחות והמרשימות

כאמור לעיל במסגרת מחקר זה נמצא שנכון לקבץ את 24 הטכנולוגיות שזוהו ל-7 קטיגוריות ראשיות:

1. הנדסת ננו של חומרים ומשטחים - כולל סינתזה ובנייה של חומרים פונקציונאליים ומולטיפונקציונאליים ברמת הננו ורמת המיקרו. החומרים מקורם יכול להיות טבעי וגם מלאכותי.
2. יצור בהוספה ויצור מדויק - כולל שימוש בטכנולוגיות חדשניות כמו הדפסה תלת מימד, בהן תהליך היצור הוא הוספת משטחים ליצירת המוצר מאבקת חומר.
3. רובטיקה ואוטומציה מותאמת - כולל שימוש אינטלגנטי של רובוטים ואוטומציה ביצור. טכנולוגיות אלו מחליפות עבודת יצור מחזורית, או היכן שנדרש דיוק גבוה. כמו כן, שימוש במערכות אוטונומיות לביצוע משימות מורכבות.
4. הדור הבא של האלקטרוניקה - כולל פיתוח חומרים חדשים לחצאי מוליכים כמו GaAs שיאפשרו המשך גידול בכושר החישוב לפי חוק מור. כמו כן פיתוח שיטות ליטוגרפיות חדשניות שיאפשרו הדפסה לא יקרה של כרטיסי אלקטרוניקה מתקדמים, כולל גמישים ותלת-מימד.
5. יצור רציף של פרמצבטיקה והנדסת ביו-פיתוח שיטות יצור מיוחדות עם בקרה בזמן אמת, לתרופות בכמויות גדולות וגם לתרופות בכמויות קטנות. כמו כן, מקום מחקר להפיכת בקטריות ותאים ליצרני פרוטאינים ותרכובות על פי בקשה.
6. תכן וניהול שרשראות אספקה מבוזרות - כולל ניהול שרשרות אספקה רב לאומיות, עם בקרה ועקיבות מלאה, תוך דאגה לאיכות ולעמידה בתקנים בינלאומיים. כמו כן, מושם דגש מיוחד על עמידה בהיבטי סביבה, קיימות, אחריות חברתית ומניעת רמאויות.
7. יצור ירוק ובר קיימא - כולל עידוד מחזור ושימוש חוזר של חומרים, צמצום האנרגיה המושקעת במהלך היצור והלוגיסטיקה.

מצב התכניות האקדמיות בארה"ב בהנדסת יצור ותעשייה

החוקרים זיהו 85 תכניות להנדסת יצור ותעשייה באקדמיה בארה"ב, ובחנה איתן מספר נושאים בתחומי יצור מתקדם והקשר לתעשייה.

ההקבצה ל-7 טכנולוגיות מבטיחות כאמור לעיל אוששה בסקר עם האקדמיה בארה"ב. כדאי לציין שכל אוניברסיטה הבליטה את הקטגוריה הטכנולוגית שהיא מתמחה בה.

הטכנולוגיות הספציפיות שזכו לציונים גבוהים מצד האקדמיה האמריקאים בהקשר לפוטנציאל ההשפעה על היצור בעשור הקרוב היו:

- אוטומציה חכמה ומתוככמת
- יצור מדויק
- חומרים קלים
- טכנולוגיות מידע ליצור
- חישה מתקדמת
- רובוטיקה

מספר טכנולוגיות נוספות זכו לציין הערכה גבוהה, אבל גם הוערכו עם שונות גבוהה, המצביעה על התלבטות בהקשר למימוש פוטנציאל ההשפעה. טכנולוגיות אלו כוללות את:

- שרשרת אספקה ולוגיסטיקה
- דגמים מהירים (Rapid Prototyping)
- אלקטרוניקה גמישה

בהמשך עבודה נבחנו הכוחות הדוחפים והאתגרים את החוקרים בפקולטות לקיים מחקר בתחומי היצור, ולקלוט סטודנטים לתחום זה.

נמצא שהמחקר בתחום נדחף בעיקר על ידי תקציבים ממשלתיים, שהאוניברסיטאות כמעט ואינן מקצות תקציבים לפיתוח תחום זה. זה אינו נושא "חם" לאנשי המחקר וגם לסטודנטים ממוצא אמריקאי. תחומי מחקר יותר אטרקטיביים באקדמיה האמריקאית כמו אנרגיה ורובוטיקה, יכולים להיות רלוונטיים באופן עקיף לתחום היצור. כך שהמחקרים בתחום סובלים ממשאבים מוגבלים.

במחקר הועלה הצורך בשיתוף פעולה אקדמיה-תעשייה בתחום קידום היצור החדשני והמתקדם. שיתוף פעולה זה נתקל בקשיים משפטיים בהיבטי IP, ובמתח הרגיל בין צרכי התעשייה לפתרונות מהירים לבין האקדמיה השואפת למחקר ארוך טווח. בנוסף, המחקר בתחומי יצור הוא רב דיסציפלינארי ומחייב שיתוף חוקרים ממחלקות שונות.

לכן, מוצע לגבש ולבנות מודל חדש לשיתוף פעולה בין האקדמיה לתעשייה בדמות מרכזי מחקר משותפים יישומיים דוגמת German Fraunhofer Institute.

יש לציין שבמסגרת זו הוקמו בארה"ב מרכזי חדשנות ביצור - MII - Manufacturing Innovation Institutes שהם מרכזים ללא מטרת רווח, שמוקמים במסגרת American Manufacturing Partnership.

האוניברסיטאות המיוצגות בשותפות זו הן:

- MIT
- Carnegie Mellon University
- Berkley
- University of Michigan
- Georgia Institute of Technology
- Stanford

החוקרים באוניברסיטאות אלו גם מפרסמים מאמרים בתחומי היצור המתקדם, בנושאים כמו:

- אוטומציה חכמה ואוטונומית,
- שינוי תצורה של מערכות יצור,
- מידול, בקרה ואופטימיזציה של תהליכי יצור
- כלים ומכשור מתקדם ליצור
- אינטגרציה של תכן, הנדסה ויצור
- דגמים מהירים ויצור בהוספה
- עיבודים זעירים
- יצור בר קיימא
- יצור ביו
- מיכשור רפואי

לעניות דעתי, הערכות ועמדות אלו באקדמיה האמריקאית מציגות זהירות ושמרנות ביחס לפוטנציאל מטכנולוגיות חדשניות ופורצות דרך.

קידום היצור המתקדם בחברות התעשייתיות

כמובן שיש פיתוח וקידום היצור המתקדם בחברות המחפשות דרכים לייצר יותר חכם, יותר מהר ויותר בזול.

במחקר זה יש רק ממצאים על חידושים במדגם קטן של חברות שהסכימו לשתף בחידושים שלהן:

- CISCO - פיתוחים בתחומי אוטומציה חכמה ביצור מוצרי החברה, שיפור מערכי שרשרת האספקה
- ALNYLAM - שיפור שיטות ליצור פרמצבטיקה בכמויות קטנות
- MICHELIN - פיתוח חומרים מתוחכמים לשיפור ביצועי הצמיגים, שיפרו תהליכי שימוש בחומרים כדי לקדם יצור ירוק ובר קיימא
- Cambrian Innovation - זוהי חברת הזנק צעירה שמפתחת שיטות יצור ביולוגיות, למשל ליצור חשמל מפסולת ביולוגית
- 1366 Technologies - קידמו שיטות יצור בהוספה של תאים פוטוולטאים

אלו רק דוגמאות מועטות ממה שקורה בתחום היצור החכם בתעשייה.

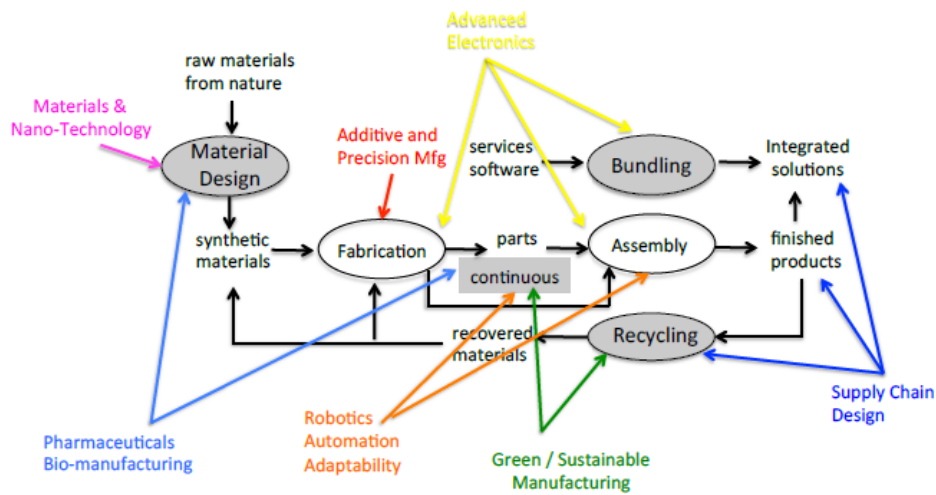
סיכום ומסקנות

כאמור לעיל, במקום היצור הליניארי במתבצע בשלבים וההופך חומרי גלם ורכיבים קנויים למוצר ביצור המתקדם נשאף לכמה שינויים מהותיים ומגמות מהותיות, כמו:

- במקום שימוש בחומרי גלם קיימים - סינתזה של חומרים חדשים המותאמים למוצר הסופי ולשיטות יצור מתקדמות
- במקום יצור בסדרות גדולות-יצור אוטומטי בסדרות של "אחד", עם הגמישות שכל מוצר שונה מרעהו.
- במקום הצעת ומכירת המוצר הפיזי בלבד - להציע חבילת פתרונות אינטגרליים לשוק הכוללות חומרה, תוכנה ושירותים. חבילה זו כוללת גם סנסורים ונדרשת לאיכות ואמינות גבוהים יותר.
- שימוש חוזר של חומרים והחזרתם לתהליך היצור, מעבר להיקף המיחזור כיום שמתבצע משיקולים סביבתיים.

ניתן תיאור גראפי (תרשים 2.2 - התרשים מופיע במאמר שנספח זה מסכם) של המגמות לעיל והשימוש ב-7 הטכנולוגיות המתקדמות במסגרת יצור מתקדם - הנדסת ננו של חומרים ומשטחים, יצור מדויק בהוספה, רובוטיקה ואוטומציה, הדור הבא של האלקטרוניקה, יצור ביו, שרשרות אספקה מבוזרות, יצור בר קיימא.

תרשים 2.2- ההשפעה של המחקר בתחומי טכנולוגיות יצור על יצור מתקדם



למרות שהתמקדנו כאן בעיקר בפוטנציאל הפיתוח של יצור מתקדם, יש לציין שהיצור המתקדם מאפשר גם פיתוח כמה הזדמנויות חשובות:

- שיטות היצור המתקדמות מאפשרות גם פיתוח ויצור מוצרים חדשים ויצירת תעשיות חדשות.
- שיטות יצור מתוכננות יכולות לאפשר יצור מדויק של מוצרים ללא השקעה בתשתיות מסיביות ויקרות מנשוא.
- טכנולוגיות אשר משדרגות פריון וגמישות בתהליכי יצור קיימים, וייתכן שמשנות את נקודת העבודה המסורתית ביצור המסורתי.

יש לציין שכל המגמות והטכנולוגיות לעיל אינן מבטיחות יותר מקומות תעסוקה, אבל הן מבטיחות משרות הדורשות יותר ידע וכישרון, מציעות יותר אתגרים וכנראה גם שכר יותר גבוה.

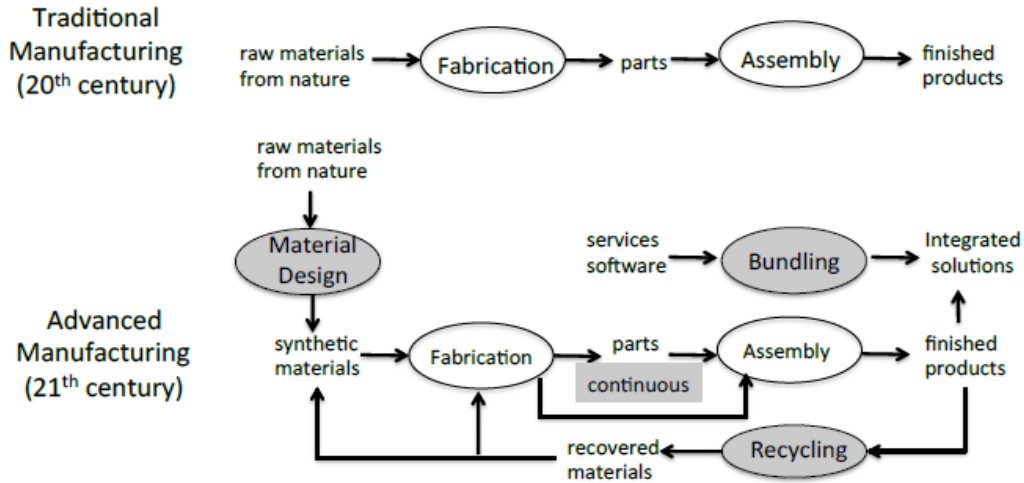
הגדרה כוללת ומעודכנת של היצור המתקדם

על בסיס מגמות אלו מוגדר היצור המתקדם בצורה הבאה:

יצור מתקדם הוא יצירה של פתרונות מוכללים אשר דורשים יצור של מוצרים פיזיים במאוחזד עם שירותים בעלי ערך מוסף ותוכנה, כאשר נעשה שימוש בחומרים המתוכננים על פי הזמנה וממוחזרים ומשתמשים בתהליכים מאד יעילים.

הגדרה זו מודגמת בתרשים 2.3 (התרשים מופיע במאמר שנספח זה מסכם):

תרשים 2.3 – הגדרה של יצור מתקדם (בתחתית התרשים), כהרחבה של יצור מסורתי (בחלקו העליון של התרשים)



נספח 3

מכון פראונוהופר (FRAUNHOFER) למחקר יישומי כמודל למכון מחקר ליצור מתקדם

מכון פראונוהופר נוסד ב- 1949 במטרה לקיים מחקר יישומי המסייע ומפתח את הכלכלה הגרמנית. כיום הוא מונה כ- 23,000 עובדים המסייעים לכלכלה הגרמנית, האירופאית ולעוד מדינות שגיבשו שיתוף פעולה עם מכון זה.

המכון הגדיר את החזון שלו: Research Dedicated to the Future

הרוח שלו מתמצית בשתי סיסמאות: WHY NOT? I DOES WORK!

סוגי השירותים שלו:

- מחקרים ופיתוחים עבור התעשייה והממשלה
- מחקרים וניתוחים
- ייעוץ ותמיכה
- הדרכה והכשרה (סטודנטים, בוגרים צעירים של האקדמיה, אנשי תעשייה)
- בקורת, בחינה והסמכה של מוצרים, תהליכים ואנשים בתעשייה
- פרויקטים פורצי דרך (= מגדלורים)
- מרכזי חדשנות

תחומי העיסוק שלו:

- בריאות וסביבה, מדעי החיים
- בטחון והגנה
- תנועה, נגישות ותחבורה
- אנרגיה ומשאבים
- יצור
- אור ומשטחים
- מידע ותקשורת
- מיקרואלקטרוניקה
- חומרים

התקציב של מכון פראונהופר - 2/3 מוזמן על ידי התעשייה ולקוחות, 1/3 על ידי הזמנות מהמשלה.

4.0 INDUSTRY – המהפכה התעשייתית הרביעית

פרויקט פיתוח יכולות היצור המקדם בתעשייה של מכון פראונהופר. זהו פרויקט מגדלור של המכון המכונה גם Efficient-Emission-Ergonomic. פרויקט זה כולל:

- הכנסת טכנולוגיות מתקדמות ליצור לשיפור פריון וחדשנות
- צמצום השימוש במשאבים ואנרגיה כחלק מהתכנון
- התאמת התעשייה לשינויים הדמוגרפיים (למשל, עובדים יותר מבוגרים)
- שימוש נרחב במידע ותקשורת
- שימוש נרחב באינטרנט של הדברים IOT
- הקטנת מנות היצור, שיפור הגמישות והקטנת זמני תגובה לשוק

אתר הבית של פראונהופר:

<https://www.fraunhofer.de/en.html>

כללי

קידום יצור מתקדם בתעשייה מחייב גם הכשרה של מהנדסים בתחומי היצור.

קיימות בעולם ובארץ תכניות ההכשרה לתואר ראשון ושני של מהנדסי יצור.

רוב התכניות האלו נותנות דגש על ניהול הנדסת היצור ופחות על ההנדסה של היצור-כלומר על היבטים של הנדסת היצור בתכן והנדסת המוצרים.

ניתן כמה דוגמאות של תכניות בעולם של הכשרה אקדמית של ההנדסה של היצור.

MIT - Master of Engineering in Manufacturing

זו תכנית של 12 חודש בו לומדים 8 קורסים ברמת מוסמכים, מבצעים פרויקט בתעשייה וכותבים תזה מבוססת על פרויקט זה.

התכנית הזאת מתקיימת בשיתוף פעולה עם המחלקה להנדסת מכונות ב MIT ועם המעבדה - The Laboratory for Manufacturing and Productivity - זו מעבדה בה הסטודנטים יכולים להתנסות בתחומי יצור והנדסה- לבצע עבודה בפועל, לחקור ולנסות תיאוריות ומתודולוגיות יצור. זו מעבדה מושקעת עם וותק של למעלה מ-30 שנה.

תכנית המסטר להנדסה ביצור מבוססת על ארבעה מרכיבים: פיזיקה של היצור, מערכות יצור, תכן מוצרים, היבטים עסקיים ביצור.

בתכנית הזו שותפים למעלה מעשרה פרופסורים בתחומי התמחות שונים.

<http://web.mit.edu/~meng-manufacturing/>

University of Michigan - MSE in Manufacturing Systems Engineering

זו תכנית של 30 נקודות קרדיט בתחומי יצור, הנדסה וניהול היצור. קורסים לדוגמא: תהליכי יצור בתעשיית הרכב, יצור מוצרים אלקטרוניים, ניהול היצור, תהליכי תכן מוצרים, ניהול איכות ביצור, יצור חכם, ניהול מידע ביצור, ניהול שרשרות אספקה, תהליכי עיצוב מתכות, הנדסת חומרים ביצור ועוד.

בתכנית זו שותפים כ-10 פרופסורים בתחומי התמחות שונים. הפרופסורים האלו חוקרים במגוון תחומים הרלוונטיים להנדסה ביצור, כמו: חומרים ועיבודם, מערכות אנרגיה, דינאמיקה ובקרה, תכן מערכות תחבורה, מערכות מידע ותקשורת בתחבורה.

התכנית משתמשת בתשתיות מעבדות מפותחות בתחומים שונים, כמו: מעבדת מטרולוגיה ומדידות, מעבדה משולבת מחשב ליצור (CIM), מעבדת יצור מבוססת מחשב (CAM), מעבדת רובוטיקה, מעבדת דגמים מהירים - Fast Prototyping ועוד.

כמו כן, קיימות תכניות לדוקטוראט בתחומי יצור והנדסת מערכות רכב, ולדוקטוראט בהנדסת מערכות מידע.

http://umdearborn.edu/cecs/IDP/mse_mse/

נספח 5

הצעת תוכנית "אקדמיה מחזקת תעשייה" (אמ"ת) במסגרת המדע"ר

ההצעה נשלחה על ידי רפי קוריאט ביולי 2014

בהמשך לפגישה האחרונה עם הוול"ג והבקשה להצעת דרכים לקידום והאצת הקשר בין אקדמיה לתעשייה מציע שינוי תפישה כולל ובמקום לרוץ אחרי האקדמיה, ליזום תוכנית בה האקדמיה לוקחת על עצמה משימה לאומית ופועלת בנחישות לאימוץ תהליך וגישה לתגבור התעשייה ובמיוחד המסורתית כמשימה לאומית תוך יישום טכנולוגיות ננו בעיקר, בידע וכוח אדם מכוון מטרה.

במסגרת זאת הצעתי היא לקיום פגישות עם ראשי האוניברסיטאות שמטרתם הדגשת הצורך הלאומי חברתי לעזרתם לחיזוק התעשייה המסורתית בעיקר בעזרת תוכניות המושתתות על טכנולוגיות חדשניות ובמיוחד ננו שמסוגלות לאפשר קפיצת מדרגה בתעשייה תוך מתן חשיפה, תקצוב מתאים ותגמול הולם מול הצלחה ובניית תוכנית בהתאם.

כחלק מהגדלת סיכויי ההצלחה להצעה זאת, לדעתי יש לשלב מובילי דעה מהאקדמיה בנוסף אלינו שיהיו בצוות שייפגש עם נשיאי האוניברסיטה וכאלה יכולים להיות 2-3 מהאקדמיה שהנושא בנפשם, שבהכוונה מתאימה ירתמו ויסייעו לתהליך.

המטרה:

תוכנית אקדמיה מחזקת (מעודדת ומשדרגת) תעשייה - אמ"ת ע"י בחירת תוכניות ותחומים ממוקדים שבעזרת טכנולוגיה ובמיוחד ננו עשויים לסייע לתעשייה המסורתית בעיקר לשמר את הקיים ולחזק בעזרת כלים ותהליכים חדשניים את מיצוב החברה ושינוי כללי המשחק.

דוגמאות:

- שיפור שנעשה במצברי וולקן ובקבלי על באלביט בעזרת ננוטכנולוגיה
- שיפור תהליכים באבן קיסר תוך שימוש בחומרים ואבקות ייחודיות
- שיפור בתעשיית המזון להארכת חיי מדף
- שיפור בתעשיית חומרי המיגון – תוך שילוב ננוטכנולוגיה
- ציפויים וטיפול שטח למפעלי מתכת לשדרוג משמעותי בביצועיהם
- שיפור בתעשיית הטכסטיל כגון דלתא לשינוי כללי המשחק ושילוב טכנולוגיה מתקדמת
- שינוי בתעשיית הפולימרים והפלסטיק לאריזות וגלילים להקטנת משקל, עובי והגדלת חוזק
- ועוד דוגמאות שניתן להביא בהמשך.

התוצאות הצפויות:

- שמירת הקיים תוך חיזוקו בשיפור משמעותי בכיצועי המוצרים הקיימים והחדשים
- עתיד טוב יותר לחברות וגידול בנתח שוק וברווחיות
- חיזוק הפריפריה ומפעלים קיימים שאם יכשלו יהפכו נטל משמעותי לחברה והכלכלה הישראלית
- תקווה חדשה לאזורים בפריפריה ולצעירים בתוכה למקומות תעסוקה
- הכנסת מו"פ לתוך התעשייה המסורתית, מושג שזר לתעשייה זאת ולהביא לשינוי תפישה
- הפיכת תעשיות מסורתיות לתעשיות מאתגרות ובעלות פוטנציאל להתרחב לתחומים נוספים

רפי קוריאט – נובמבר 2014

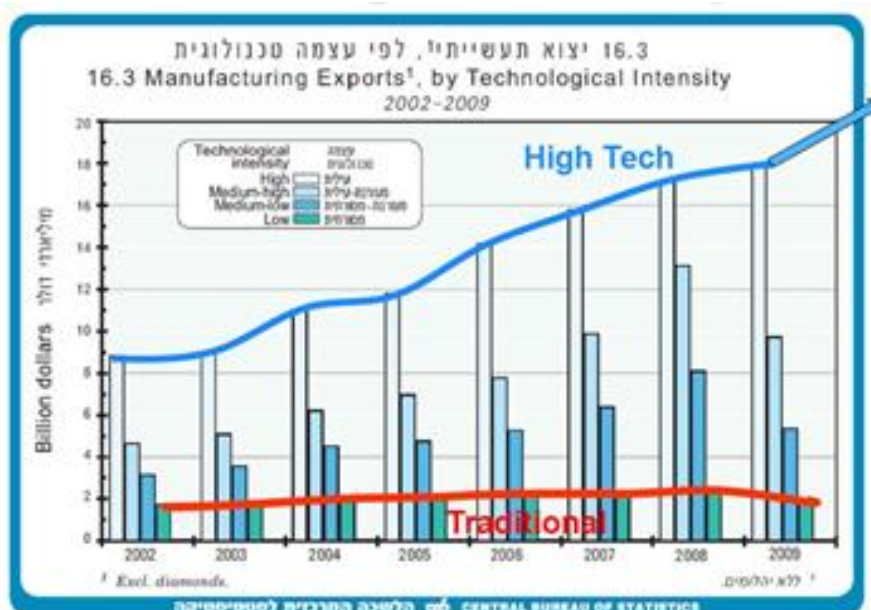
לאור הניסיון הטוב שנצבר בעזרת שילוב טכנולוגית ננו בתעשייה מסורתית, לקו מוצרים בחברה וולקן שהיה בקיבעון ובנסיגה מתמדת בשימוש בטכנולוגיות יצור שלא השתנו זה למעלה משישים שנה, הצליח המפעל לשפר את ביצועי קו המוצרים במעל 100% זכר שבתעשייה המסורתית קשה עד בלתי אפשרי לבצע, אלא אם משנים סדרי בראשית ומשלבים טכנולוגיה מהפכנית שמשנה את כללי המשחק, תוך עבודה במשותף עם גורם בעל ידע סגולי כמו האקדמיה. ניסיון זה יכול לשמש כקרח קפיצה למפעלים נוספים בתחום התעשייה המסורתית.

במסגרת תוכנית מג"ט של מאגד הננוטכנולוגיה שיזמתי והובלתי במהלך חמש שנים, הטמיעה חברת וולקן חומרי ננו (ננוצינוריות פחמן) שעל ידי שילובם בצורה מתוחכמת לתמיסה האקטיבית במצבר, הצליחו להגדיל את מחזורי הפריקה והטעינה במעל 100% ולהוביל למהפכה בתחום. החברה אף ניצלה זאת קדימה בחבירה לחברה מובילה בינלאומית בשם ארקמה הצרפתית שיחד הם פועלים להקמת קו ליצור חומרי הננו הגולמי שישולב במצברים העתידיים ולפריצה עולמית בתחום. כהבעת אמון בטכנולוגיה ובמוצר, מותקנים בשני כלי הרכב הפרטיים שלי שני מצברים כניסיון שטח, זה למעלה משנה ופועלים בצורה טובה וחלקה ללא כל תקלות.

מדינת ישראל כמו כל מדינה מתקדמת בעולם, נשענת בחלקה על תעשייה מסורתית המספקת מקומות עבודה לשכבה רחבה של האוכלוסייה, כתנאי שכר נחותים לעומת מגזרי ההיי-טק ואחרים, וזאת תעשייה חשובה והכרחית אצלנו כמו בכל מדינה מודרנית כדי לאפשר לקהל עובדים עם מיומנות מוגדרת ולעיתים אף מוגבלת להיות פרודוקטיביים תוך תרומה כדאית למפעל ולעצמם. לכן יש להשקיע בתכונה בתעשיות מסוג זה שלרוב ממוקמות באזורי פריפריה שבהם שוק התעסוקה מוגבל עד מאוד, ובזאת להבטיח את עתיד המפעל ועתיד האוכלוסייה במקום.

כמדינה השכלנו לקדם את הכלכלה בארץ ב 20 השנים האחרונות בעזרת מיקוד בתחומים פורצי דרך, שבהם היתרון הסגולי, חדשנות ויצירתיות קבעו את כללי המשחק, אך מנגד נוצרו פערים שלא ניתנים לגישור בין תעשיית ההיטק לבין התעשייה המסורתית שנשארה מאחור, הן באופן הפעילות והן במדרגות השכר השונות מהותית בין שני המגזרים והפער אף יגדל אם לא נשכיל לשנות את הווקטור לטובת התעשייה המסורתית.

תרשים 6.1: היקף יצוא תעשייתי לפי עצמה טכנולוגית בשנים 2002-2009



המקור: איגוד תעשיות האלקטרוניקה והתוכנה

כשבוחנים את הגרף 6.1 מעל רואים בכרור את השוני בקצבי הגידול בין התעשייה המסורתית לעומת תעשיית ההיטק והשאלה הנשאלת היא, האם ניתן לשפר את כיוון הגרף בתעשייה המסורתית, והאם ניתן לבצע "נדידת" טכנולוגיה ממגזר ההיטק לשיפור משמעותי בתעשייה המסורתית?. התשובה לכך לדעתי נעוצה במגזרים מסוימים בתעשייה המסורתית בעלי פתיחות, יכולת ומוכנות לבצע זאת ויהיו מוכנים להשקיע את המאמץ הנדרש לשינוי דפוסי החשיבה והתפיסה להתאמה והחדרה של טכנולוגיה מתקדמת לשיפור ושדרוג מוצרים בתעשייה המסורתית.

טכנולוגיה שעשויה לסייע משמעותית בתעשייה זאת היא הנווטטכנולוגיה שבתמהיל ותוכנית נכונה ניתן לשדרג מוצרים קיימים ולקבל שיפור ביצועים ניכר, ובכך למצב ולשנות ולהפוך את התעשייה המסורתית לתעשייה אטרקטיבית וכדאית כלכלית, ובכך לאפשר חיזוק המפעלים תוך הבטחת עתידם ועתיד העובדים. אם לא נעשה כן, נמצא את עצמנו בנסיגה מתמדת ובבעיה כלכלית - חברתית מתגברת שתחליש את החוסן הכלכלי לאומי.

ניתן להצביע על מספר תחומים שבהם טכנולוגית הננו עשויה להביא למהפכה בביצועי המוצר, שכוללים בין השאר גידול בחוזק, הקטנת משקל, הרחבת חלון העבודה, הורדת עלות וכמובן שיפור בביצועי המוצר הסופי.

להלן תחומי תעשייה נבחרים שבהן ניתן לשדרג מוצרים קיימים

תעשיית העץ – שילוב חומרי ננו מעכבי בעירה, עמידות בפני בקטריה, הגנה בפני רטיבות, הגדלת אורך חיים ע"י מניעת התפרקות החומר טרם זמן.

תעשיית הצבע – הגדלת כושר האטימה, הקטנת השחיקה והבלאי, מירקם וטקסטורה ייחודיים.

תעשיית הדבקים – שיפור מבנה ותכונות חומרי ההדבקה, אורך חיים ארוך יותר וחוזק ועמידות משופרים משמעותית.

תעשיית הפולימרים ויריעות PVC – הקטנת עובי, הגדלת חוזק לקריעה, הקטנת עלות עקב שימוש בכמות חומר קטנה יותר, הגנה בפני חדירת מזיקים ובקטריה (תוספת חלקיקי ננו כסף)

תעשיית הריהוט הפלסטי – הגדלת יציבות החומר והמוצר, הגדלת חוזק לשבירה והקטנת עובי ומשקל.

תעשיית החומרים המרוכבים – שיפור משמעותי בתכונות ובביצועים, הקטנת עלות לעומת שימוש בחומרים יקרים.

תעשיית הרכב – שילוב במצברים, צמיגים, שמשות מוגנות ושקופות, צבעי הגנה לעמידות לקורוזיה ושחיקה.

תעשיית המזון – בשלב זה מציע לא לכלול אותה עקב חסמים פסיכולוגים - בריאותיים לכניסה לשוק זה.

תעשיית המים – הגנה צנרת בפני קורוזיה, שילוב של אפקט הלוטוס להקטנת התנגדות הזרימה והפסדי אנרגיה, פילטרים לטיהור מים, הקטנה ומניעת בקטריה.

תעשיית הטקסטיל – שילוב חומרים מעכבי בעירה, אריגים חזקים יותר, כבלים וחבלים בעלי חוזק משופר, שילוב סיבי פחמן לעמידות בפני שחיקה וקריעה, שילוב חומרי ננו הדוחים כתמים ומקטינים את הצורך בניקוי לעיתים תכופות.

תעשיית הספורט – חוזק, משקל, גמישות באביזרי ספורט כגון סקי, מחבטי טניס וגולף, אריגים נושמים.

כמובן שישנם מגזרים בתעשייה בתחום הטכנולוגי העילי בהם לשילוב ננוטכנולוגיה יש יתרון מובהק כולל בתחום הרפואה, תרופות מכוונות מטרה, תעשייה החיישנים, עזרים אופטיים, קרמיקה שקופה וכמו שלא נכללים כאן כי לא מתאימים להגדרה של תחום התעשייה המסורתית.

תנאי סף להצלחה:

- פתיחות וההפנמה של מנהלי החברה בצורך להטמעת טכנולוגיה מתקדמת לשדרוג המפעל
- איש פיתוח פעיל בחברה בעל ניסיון ומסוגלות לקידום והטמעה בתוך החברה
- מחייבות ההנהלה לנושא והקצאת הזמן והמשאבים הדרושים לכך
- תוכנית עידוד מתאימה אם בעזרת חונך, תקציב או תמריץ לחברה
- הגדרה ברורה של קריטריונים להצלחה – מוצר מכיר בסוף התוכנית
- מוכנות החוקר להקדיש מזמנו ומרצו לקדם את הנושא מול תגמול והוקרה מתאימים

ניתן בהסתברות גבוהה להצליח בתוכנית זאת תוך מיקוד, עידוד והקצאת משאבים סבירים שיכולים לחזור ובגדול לקופה הציבורית ולהפריח תעשייה שלא שינתה את פניה מזה שנים. בכך נוכל להבטיח חוסן כלכלי לתעשיות המסורתיות עם יכולות משודרגות והבטחת עתיד החברה והעובדים שאחרת אם יפלטו יהפכו לנטל כלכלי על החברה הישראלית כולה.

תוכנית זאת יכולה להשתלב היטב עם תוכנית "אקדמיה מחזקת תעשייה" (אמ"ת) שהכנתי ושלחתי ביולי השנה ומצורפת בהמשך.

שתי התוכניות יכולות לעבוד במקביל או יחד לתוכנית אחת כוללת עם אבני בוחן וקריטריונים להצלחה מוגדרים מראש.

נספח 7

הדפסה תלת-מימדית - סקירה

תמצית סקירה שנכתבה על ידי דר' אהרון האופטמן בלקט מו"פ בטחוני בעולם מאוגוסט 2015, לשכת הסגן המדעי לראש מפא"ת

הדפסה תלת-מימד מכונה כיום גם יצור בהוספה - Additive Manufacturing. יצור בהוספה כולל לא רק הדפסות תלת-מימד אלא גם שיטות נוספות. השיטה לבנות חלקים ומוצרים על ידי הנחת שכבות חומר זו על זו, בהבדל מהסרת חומר, אינו חדש. כבר בשנות ה-70 וה-80 היו בשוק מערכות ומתקנים במתכונות מדפסות תלת-מימד לבנייה מהירה של אבי טיפוס שכונו Rapid Prototyping. בשנים האחרונות נעשה שימוש גובר והולך בשימוש בטכנולוגיות הדפסה תלת-מימדית ליצור שוטף ולא רק למודלים ואבי טיפוס. כמו כן, החלו להיות נפוצות מדפסות תלת-מימד מסחריות לשימוש ביתי. זהו כמובן כוון מהפכני ומלהיב בפני עצמו.

בסקירה זו נתמקד ביצור תעשייתי תוך דגש על תחומי ביטחון, תעופה וחלל.

גם חברת לוקהיד מרטין מיישמת טכנולוגיות תלת-מימד בתחומי יצור בטחוני ויצור לפרויקטי חלל. חברת לוקהיד גם מעריכה שיצור בהדפסה תלת-מימד מורידה את זמן מחזור היצור ב-43% ומפחיתה את העלויות ב-48%.

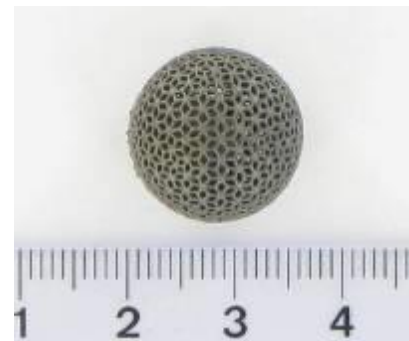
בביקור בחברת רפאל, הוצגו לנו יכולות הדפסה תלת-מימד מגוונות לתכנון וליצור אבי טיפוס, ליצור חלקים לניסויים, וכמו כן נבחנת ההיתכנות ליצור מבצעי.

לשיטות המתקדמות של הדפסת תלת-מימד יש עוד שימושים רבים כמו הדפסת מכלולים אלקטרוניים כמתואר להלן- שת"פ בין חברה ישראלית NANO DIMENSION ותע"א.

דוגמה נאה של תוצר הדפסה תלת ממדית מוצגת בתמונה הבאה 7.1.

זהו כדור טיטניום חלול, אשר ממחיש את היכולות של טכנולוגיה זאת ביצירת אובייקטים שקשה מאוד (אולי אפילו בלתי אפשרי) ליצור בשיטות אחרות. בזכות המבנה הגיאומטרי המיוחד, כדור כזה הינו קל מאוד ויחד עם זאת חזק מאוד. זאת אחת הדוגמאות שהציגה סוכנות החלל האירופית ESA, אשר בוחנת בשנים האחרונות את הפוטנציאל של ההדפסה התלת ממדית בעבור פרויקטים עתידיים בתחום החלל².

תרשים 7.1 - כדור טיטניום מודפס בהדפסת תלת-מימד



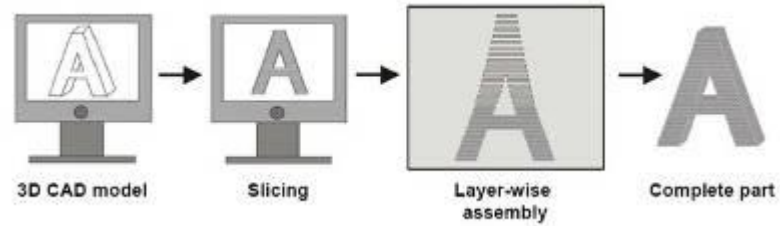
3D-printed titanium lattice ball (ESA)

לפי ESA, תצורות דומות עשויות לשמש בין השאר בעבור מבני לוויינים המצטיינים במשקל נמוך ביותר.

²[esa- space engineering & technology](http://esa-space-engineering-technology)

התהליך של "יצור בהוספה" ע"י הדפסה תלת ממדית מתחיל במודל ממוחשב תלת ממדי, אשר "נפרס לפרוסות". בשלב היצור, האובייקט "מודפס" שכבה אחר שכבה תוך שימוש בחומר מתאים (למשל מתכת מותכת) כמתואר בתרשים הבא 7.2. כך אפשר ליצור בעיקרון כמעט כל צורה גיאומטרית.

תרשים 7.2 - תהליך הדפסת תלת-מימד



בנוסף להשגת תצורות גיאומטריות ותכונות ייחודיות, אחד היתרונות הנוספים של טכנולוגיה זאת הוא האפשרות לייצר חלקים תוך שימוש בפחות חומר ופחות אנרגיה, וזאת בלי להתפשר על תכונות כגון חוזק מכאני. כלומר, זה יכול להיות תהליך "ירוק" יותר מיצור רגיל. לדברי ESA, תחום החלל מתאים במיוחד לשימוש בטכנולוגיה זאת, כי בתחום זה בדרך כלל לא מדובר על יצור המוני של חלקים אלא יצור של סדרות קטנות או חלקים בודדים בעלי איכות גבוהה. בתרשים ובתמונה הבאה 7.3 (המופיעים בפרסום של ESA) מוצגת מסגרת תמיכה לאנטנה, אשר יוצרה בהדפסה תלת ממדית.

תרשים 7.3 - מתקן תמיכה לאנטנה מודפס בתלת מימד



3D-printed bracket for antenna support (ESA)

קיימות טכניקות רבות של הדפסה תלת ממדית, הן של חומרים פלסטיים והן של חומרים מתכתיים. להלן כמה דוגמאות של שיטות נפוצות³.

- Fused Deposition Modeling (FDM) – הזרקה באקסטרוזיה של חומר פלסטי או מתכתי, מבוקרת מחשב ע"י תוכנת CAD. מופעלת במדפסות של חברת Stratasys, אחת המובילות בשוק.
- סטריאוליטוגרפיה (SLA) – הדפסת שכבות של פולימר והקשיה ע"י אור אולטרה סגול. מבוססות עליה מדפסות תלת-מימד של חברת 3D Systems Corporation, אף היא אחת המובילות בתחום.
- Jetting - הזרקת שכבות פוטופולימר נוזלי והקשייתן ע"י קרינה אולטרה סגולה. מדפסת Objet הישראלית של Stratasys הפועלת בשיטה זו מסוגלת לשלב מספר חומרים שונים באותו אובייקט.
- Powder Based Jetting – שכלול מסוים של השיטה הקודמת. בשימוש ע"י החברות Voxeljet, ExOne
- Selective Laser Sintering (SLS) – שימוש בלייזר למיצוק סלקטיבי של שכבות פולימר או חומר מתכתי אבקתי. בטכנולוגיה זו משתמשות לדוגמה מדפסות של החברות Renishaw, SLM Solutions -i EOS
- Direct Metal Laser Sintering (DMLS) ושיקוע לייזר - Laser Deposition (LD). אלה שתי שיטות לקונסולידציה של אבקת מתכת ע"י חימום באמצעות לייזר רב-עוצמה מבוקר-מחשב
- בין השיטות הנוספות: Selective Laser Melting (SLM), Electron Beam Melting (EBM), Digital Light Processing (DLP).

ההדפסה התלת-ממדית כבר הפכה לטכנולוגיה מבוססת למדי בשימוש בחומרים פלסטיים, ובמיוחד פולימרים תרמופלסטיים. בתקופה האחרונה הורחבו יתרונות הטכנולוגיה גם לנתכי מתכת, תוך התגברות על אתגרים טכנולוגיים כמו טמפרטורת היתוך גבוהה וצמיגות נמוכה של החומר המותך (דבר המקשה על הזנה רצופה של חומר בתהליכי הדפסה רגילים). ההתפתחויות מובילות בין השאר ליכולת חדשה לייצר בהדפסה חלקים הבנויים מחומרים שונים (משולבים יחד), כולל נתכי מתכת שונים, עם יתרונות הנדסיים שקשה להשיגם בחומר מתכתי מונוליטי. לדוגמה, מחקר של מעבדת JPL של נאסא, המכון הטכנולוגי של קליפורניה וגורמים נוספים, הראה כיצד ניתן ליצור בשיטת שיקוע לייזר (LD) חלקים שההרכב המשתנה בתוכם יוצר גראדיינט פונקציונאלי. למשל, עמידות תרמית משתנה או צפיפות משתנה (כפונקציה של המרחק מפני החלק). יצור תעשייתי של חלקים עם גראדיינט פונקציונאלי הינו קשה בשיטות אחרות. כמו כן,

³[ceres - Countless Opportunities in Additive Manufacturing](#)

יש יתרון תעשייתי משמעותי לתהליך יצור המאפשר שילוב של מתכות שונות בעלות תכונות שונות, כולן מודפסות "בחתיכה אחת", ללא צורך בריתוך, הדבקות, הברגות וכו'.⁴

לדעת חוקרים מאוניברסיטת הארווארד היכולת לשלב שליטה הן בתצורה והן בפונקציונאליות של מוצרים מודפסים היא "החזית הבאה" בתחום. אחת השיטות המבטיחות היא סוג של אקסטרוזיה הנקרא direct ink writing העושה שימוש בדיו ויסקואלסטי המורכב ממגוון רחב של חומרים, לרבות חלקיקים קראמיים, מתכתיים, פולי-אלקטרוליטים, הידרוג'לים, שרפי אפוקסי ועוד. כך נבנו כבר התקנים פונקציונאליים שונים כגון אנטנות, סוללות נטענות זעירות, סנסורים, וחלקים מחומרים מרוכבים. לדברי החוקרים, "היכולת להדפיס חומרים מרובים ע"י אותו נחיר (nozzle) באופן הניתן לתכנות, פותחת הזדמנויות חדשות ליצירת חומר פונקציונאלי עם גראדיינט של הרכב ותכונות מקודדים".⁵

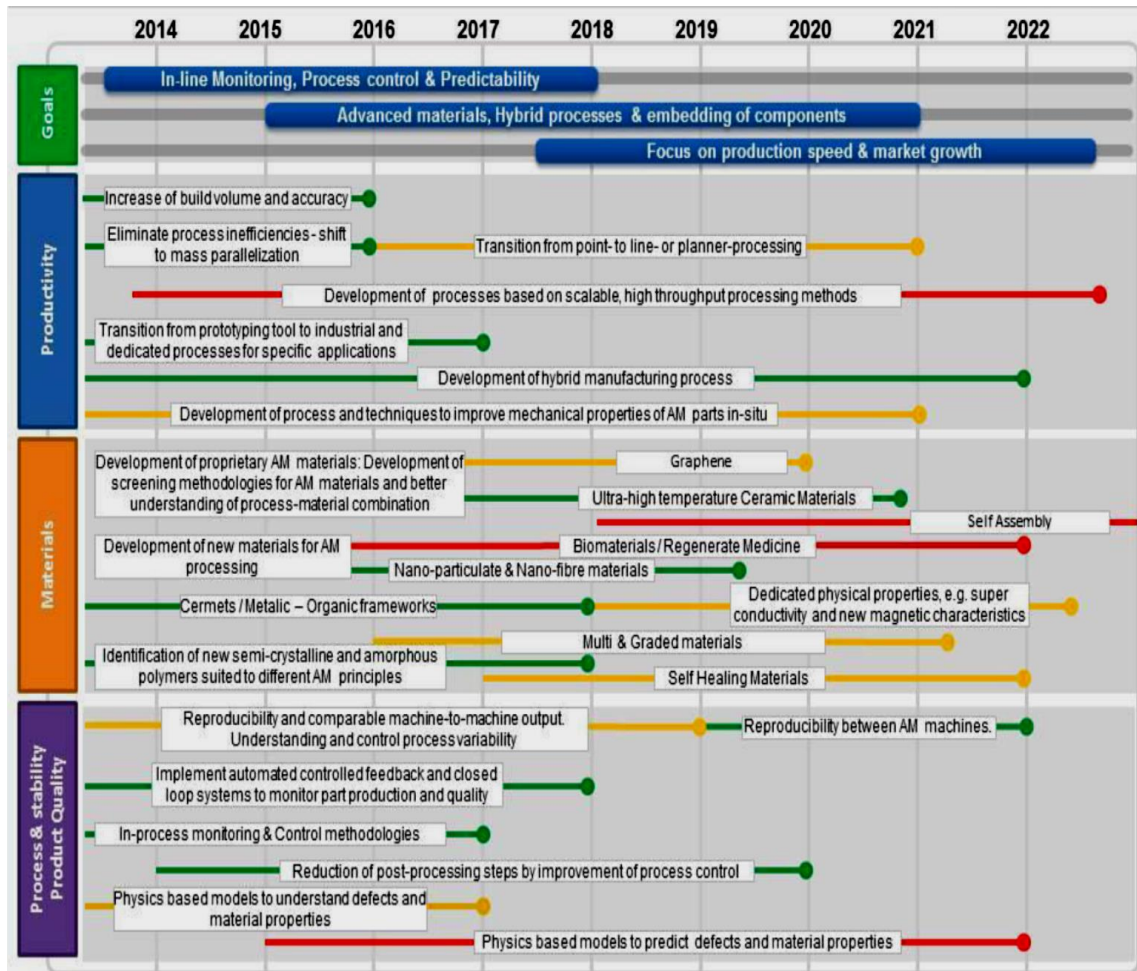
"מפת דרכים" (ראה תרשים 7.4 בהמשך) אשר נערכה ע"י "הפלטפורמה של יצור בהוספה" באירופה⁶ ומתארת את התפתחות התחום עד שנת 2023, ניתחה בין השאר את הכוחות המניעים הרבים והמגוונים של התחום, שהם למעשה היתרונות שמציעה הטכנולוגיה. אלה כוללים בין השאר גמישות בתכנון, יצירת חלקים מורכבים וקלי משקל, עלויות נמוכות, יכולות יצור חדשות, תחרותיות, אפשרויות חדשות של mass customization, יצור מקומי ועוד. עם זאת, יש עדיין אתגרים טכנולוגיים כמו הבטחת יציבות תהליכית, וחסרונות כמו איטיות של תהליך ההדפסה. קיימים כבר פיתוחים טכנולוגיים המבטיחים שיפורים בהיבט זה, כמו גם מאמצי פיתוח של חומרים חדשים המתאימים להדפסה, ושיטות לשימוש בחומרים מרובים בו זמנית. במפת הדרכים ניתן לראות שבתחום החומרים קיימת מגמה של פיתוח חומרים ייחודיים להדפסה תלת-ממדית ושימוש בחומרים חדשים כגון גראפן ונגו-חומרים נוספים, ביו-חומרים (biomaterials), חומרים עם יכולות של "ריפוי עצמי" ועוד.

⁴[3D print - Manufacturing Breakthrough Allows for 3D Printing of Several Different Metals Within One Print](#)

⁵[Microfluidic Printheads for Multimaterial 3D Printing of Viscoelastic Inks](#)

⁶[AM-platform-artical](#)

תרשים 7.4 – מפת דרכים לפיתוח ויישום טכנולוגיות יצור בהוספה



מפת דרכים זו אנחנו למדים שתוך פחות מעשור שנים יושלם פיתוח ויישום טכנולוגיות יצור בהוספה והדפסה תלת-מימד בתחומי החומרים, יצוריות, בקרת איכות.

במספר מעבדות פותחו/מפותחות שיטות יצור בהוספה תוך בקרת מבנה החומר ברמת מיקרו/ננו, עם שילובי חומרים שונים ושליטה על תכונות פונקציונאליות רצויות לצורך השגת צירופי תכונות שלא ניתן להשיגם בשיטות יצור אחרות. לדוגמה, צוות מחקר במעבדה הלאומית לורנס ליברמור, מכון MIT ואוניברסיטת אילינוי, עשה שימוש, בין השאר, בתהליכי היצור כגון Electrophoretic Deposition, Direct Ink Writing, Projection Microstereolithography, אשר

מתאימים ליצור אמין של ארכיטקטורות מורכבות, רב-חומריות, לרבות פולימרים, מתכות וחומרים קראמיים.⁷

בתעשיות התעופה/החלל גובר העניין בהדפסה תלת ממדית, לאור הפוטנציאל להוביל ליצור חלקים קלי משקל וחזקים תוך אופטימיזציה של ניצול החומר. בפרסומים מוזכרות אפשרויות להוריד את משקל כלי הטייס ב-4 עד 7 אחוזים, וזאת בעלויות נמוכות יותר בהשוואה לשיטות המסורתיות.⁸

בתוכנית המחקר של האיחוד האירופי FP7 מובילה סוכנות החלל האירופית ESA פרויקט 4 שנתי (יסתיים ב-2016) בשם AMAZE⁹, עם תקציב של 20 מיליון אירו, ובהשתתפות 28 גורמים בתעשייה ובאקדמיה. מטרתו להדגים יצור בהדפסה של רכיבי מתכת איכותיים בגודל עד 2 מטר, נטולי פגמים ועם ניצול אופטימאלי של חומר, לשימוש בתעופה, חלל, היתוך גרעיני, תחבורה ועוד, וכל זאת תוך הורדה של 50% בעלויות יצור. חברת לוקהיד מרטין דיווחה לאחרונה (במסגרת כנס SPIE באוגוסט 2015) על שימוש בהדפסה תלת ממדית ליצור מצעי מראות מתכתיים למערכת HEL (לייזר עתיר אנרגיה). אלה חלקים בעלי גיאומטריה מורכבת, עם מוליכות תרמית גבוהה, והם כוללים תעלות לקירור אקטיבי¹⁰. דוגמה לשימוש בהדפסה כפתרון מהיר ליצור חלק צבאי הוצגה ע"י חברת EOIR: תושבת למצלמה ומקלע עבור הטנק אברמס M1 והרק"ם "ברדלי". הטכנולוגיה (תוך שימוש במדפסת של "סטראטסיס") אפשרה לא רק הערכה מהירה של מודלים חלופיים ובדיקתם על הרכב, אלא גם את בניית סידרה של תושבות מבצעיות לאחר הניסויים. כל זאת בזמן קצר ותוך הפחתת עלות משמעותית (60%) בהשוואה לתהליך רגיל.¹¹

השימוש בהדפסה תלת ממדית בתעופה וחלל כבר אינו מצטמצם רק לחלקים קטנים ספציפיים. במסגרת פרויקט בשם FAST מספר חברות אירופיות משתפות פעולה בבחינת האפשרויות לייצר בהדפסה חלקי מבנה תעופתיים גדולים¹². לדברי אחד ממובילי הפרויקט, "הדפסה תלת-ממדית תאפשר לנו ליצור צורות מתכתיות ותכונות שהיה בלתי ניתן ליצור קודם לכן". (ראו התייחסות בהמשך).

⁷[Additive Micro-Manufacturing of Designer Materials](#)

⁸[PHYS-New case study finds 3-D printing could reduce airplane's weight by 4 to 7 percent](#)

⁹[Amaze-project](#)

¹⁰[spie](#)

¹¹[Stratas-sys EOIR Technology](#)

¹²[3D printing industry](#)

בשנים האחרונות מתרחב השימוש בהדפסה ליצור חלקי מבנה מחומרים מרוכבים, לרבות שימוש בננו-צינוריות פחמן – Carbon Nanotubes. דוגמה אחת מהתקופה האחרונה היא הודעתה של החברה Arevo Labs על הצלחתה לפתח טכנולוגיה של הדפסה תלת ממדית ליצור חלקי מבנה פולימריים חזקים במיוחד, תוך שימוש בחומרים כמו KetaSpire PEEK, AvaSpire, Radel PPSU, PAEK, PrimoSpire SRP, וכן שימוש בסיבי פחמן ייחודיים ובננו-צינוריות פחמן CNT¹³. חברת Arevo Labs הכריזה על יכולתה לשלב בהדפסה פולימרים גבוהי-ביצועים (למשל PEEK) יחד עם סיבים רציפים בכלל הכיוונים (Z,Y,X)¹⁴. בעקבות ההישגים של שימוש בסיבים בהדפסה תוך שילובם בכיוונים המתאימים במבנה, מומחים אשר עד לאחרונה הטילו ספק באשר להדפסה של חלקים פלסטיים נושאי עומסים ברמת אמינות נאותה מתחילים לשנות את דעתם. בין השאר, מייחסים פוטנציאל רב בתחום יצור חלפים "לפי דרישה" בתעשיית התעופה.

בתחילת 2014 הציגה חברת MarkForged מדפסת תלת ממד ראשונה מסוגה, היכולה לבנות חלק מחומר מרוכב עם סיבי פחמן רציפים בתוך מטריצה פולימרית. במקביל הדגימה המעבדה הלאומית באוקרידג' (ORNL) הדפסה של גוף רכב שלם מחומר מרוכב (מחוזק בסיבי פחמן קצרים ולא ארוכים) תוך 44 שעות.

רשות התעופה הפדראלית בארה"ב (FAA) אישרה לג'נרל אלקטריק לכלול חישן טמפרטורה במנועי בואינג 777, אשר יוצר כולו במדפסת. החברה הודיעה שחלקים נוספים עוברים בדיקות רישוי וציינה כי יכולת יצור חלקים במהירות ע"י הדפסה מאפשרת לה לשפר חלקים שונים, לבחון אותם ולהעבירם תהליך רישוי בזמן קצר משמעותית ממה שהיה מקובל עד היום¹⁵. בנוסף, החברה מתכננת יצור סדרתי של 25,000 יחידות של LEAP engine nozzles בהדפסה תלת-ממדית בשנת 2016¹⁶.

טכנולוגיות הדפסה מציעות גם שיטות חדשות לבניית מערכות אופטיות, הכוללות מכלולים אופטיים, תמיכות מכאניות וכו', לרבות בניית מבנים בתוך מבנים ותיכון משולב מכני-אופטי. בראיון מעניין עם מומחים מהחברה ההולנדית LUXeXcel (המתמחה בהדפסת אופטיקה) ומהמכון לפוטוניקה באוניברסיטת UEF בפיןלנד¹⁷, נאמר שהטכנולוגיה מאפשרת למשל מבנים חלולים ומבני שבכה (lattice) אשר לא ניתן לבנות בשיטות אחרות, ועם רמות חסרות תקדים של

¹³[Arevo Labs Announce High Performance Composite Materials for 3D Printing](#)

¹⁴[Composites-world 3D Printing: Niche or next step to manufacturing on demand?](#)

¹⁵[Ge-Reports The FAA Cleared the First 3D Printed Part to Fly in a Commercial Jet Engine from GE](#)

¹⁶[Forbes-2015 Roundup Of 3D Printing Market Forecasts And Estimates](#)

¹⁷www.luxexcel.com/wp-content/uploads/2014/12/21st-Century-Manufacturing-Printing-the-future-of-Optics.pdf

קשיחות, עמידות וחסכון במשקל. כל אלה פותחים אפשרויות חדשות ליצור מערכות אופטיות משולבות, כולל "עדשות בתוך עדשות". גם מרכז המחקר הטכני VTT של פינלנד הציג תכנון להדפסה תלת ממדית של מכלולים אופטומיכאניים.¹⁸

סוכנות החלל נאסא בנתה בשנת 2014 מערכת דימות בעבור לוויינים זעירים מסוג CubeSat, שחלק ניכר ממנה בנוי מרכיבים שיוצרו בהדפסה תלת-ממדית¹⁹, תוך שימוש באבקות אלומיניום וטיטניום. השלב הבא בפעילות זאת אמור להיות הרכבת טלסקופ dual-channel בקוטר 350 מ"מ. המפתחים מצפים להוזלה ניכרת של עלויות היצור של טלסקופים למכשור בחלל, תוך הורדה ניכרת של כמות הרכיבים ויכולת לבנותם במגוון רחב של גיאומטריות. לדעתם יש לטכנולוגיה פוטנציאל רב לשיפור איכות של מכשור (כגון חישני א"א) האמור לפעול בטמפרטורות נמוכות מאוד ועשוי מחומרים שונים. אם חלקים נפרדים שונים יוכלו להיות מודפסים כיחידה אחת, ניתן יהיה למנוע אי-התאמה בין חומרים, יופחת מספר החלקים ומספר הממשקים ותוגדל יציבות המכשור. בהמשך יש כוונה להשתמש בסגסוגת Invar (ניקל-ברזל) המצטיינת במקדם התפשטות תרמית נמוך במיוחד ומבטיחה יציבות ממדית גבוהה בתחום רחב של טמפרטורות. יש לציין שעם כל ההתלהבות מההדפסה התלת ממדית, יש עדיין בעיות ואתגרים טכנולוגיים. למשל, יש צורך להעמיק את ההבנה על השפעת שינויים קלים בפרמטרי יצור שונים על התכונות של החומר המוגמר. האתגר הזה נובע מכך שאובייקטים המיוצרים בהדפסה תלת ממדית מורכבים בדרך כלל מכמויות עצומות של מעין גרגרים, בגודל מיקרוני, ה"מולחמים" זה לזה. אפילו אם משתמשים בנתכי מתכת מוכרים ואמינים, תהליך היצור בהוספה (ההדפסה) מפיק חומרים בעלי מיקרו-מבנה שונה, דבר שעשוי להתבטא בתכונות והתנהגות שונה בהשוואה לאותו חלק המיוצר בתהליך רגיל. כמו כן, חלקים המיוצרים במכונות הדפסה שונות עשויים להיות שונים זה מזה, כך ששיטות הקוואליפיקציה הסטטיסטיות הרגילות אינן מתאימות.

כדי לתת מענה לאתגר זה יזמה דארפא תכנית בשם "יצור פתוח" - Open Manufacturing - השואפת לטפל בבעיה זאת ע"י הדגמת טכנולוגיות לניתוח ובקרה של המשתנים בתהליך היצור, מה שאמור להוביל לקוואליפיקציה מהירה של תוצרי התהליך. במסגרת תכנית זאת מפותחות גם מספר טכניקות יצור חדשות האמורות לתמוך בצרכים ביטחוניים²⁰.

לבסוף, נזכיר בקצרה כיוון חדשני מעניין במיוחד המתפתח בשנים האחרונות והוא "הדפסה ארבעה-ממדית": בניית אובייקטים שהגיאומטריה שלהם משתנה כפונקציה של הזמן בהתאם

¹⁸www.miktech.fi/media/julkaisut/getfile.php?file=435

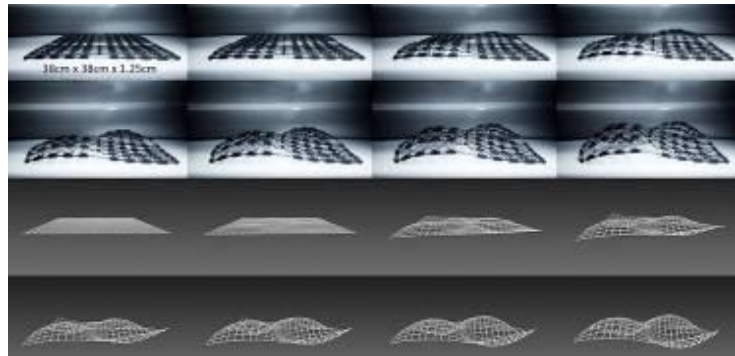
¹⁹[NASA Engineer Set to Complete First 3-D-Printed Space Cameras](http://www.nasa.gov/feature/nasa-engineer-set-to-complete-first-3-d-printed-space-cameras)

²⁰[Phys-Boosting confidence in new manufacturing technologies](http://www.darpa.mil/pressroom/2014/04/phys-boosting-confidence-in-new-manufacturing-technologies)

לשינויים סביבתיים, הביצועים הפונקציונאליים וכו', כמו הדוגמה המופיעה בתמונה הבאה²¹. אפשר לאפיין כיוון זה כשילוב של הדפסה תלת ממדית יחד עם חומרים "חכמים" (smart materials). נושא זה מתקשר לתחום מפציע כללי רחב יותר – "חומר בר-תכנות" – Programmable Matter אשר ברמה הרעיונית הוצע ע"י דארפא בשנת 2007: הכוונה לחומרים המאפשרים בניית אובייקטים המשנים את צורתם ותפקודם "לפי דרישה". כעת, כאשר מתוך ההדפסה התלת-ממדית מתפתח תת-התחום של "הדפסה ארבעה-ממדית", עולה האפשרות לממש את החזון של דארפא בצורה השונה מזאת שנהגתה ברעיון המקורי של "חומר בר-תכנות".

משרד המחקר של צבא ארה"ב ARO תומך במחקר בנושא זה במספר אוניברסיטאות בארה"ב. אחת הפעילויות המעניינות והיצירתיות ביותר בתחום זה מתרחשת במעבדת ההרכבה העצמית ב-MIT (MIT Self-Assembly Lab). במעבדה זאת מפותח מגוון רחב של חומרים, לרבות טכנולוגיה חדשנית של סיבי פחמן גמישים. סיבים אלה מתקפלים, מתפתלים ומסתלסלים בתגובה ל"גירויים" חיצוניים שונים. בין היישומים הפוטנציאליים: משטחים אווירודינמיים משני צורה, שסתומים עם רגולציה עצמית, מבנים עם קשיחות הניתנת לכוונון ויישומים דינאמיים אחרים. טכנולוגיות מסוג זה עשויות גם לסייע לדארפא בפיתוח רובוטים משני צורה שיהיו למשל מסוגלים להשתחל דרך חרכים צרים. כל אלה גורמים לכך שיש הרואים בתחום ההדפסה הארבעה-ממדית פוטנציאל ליצירת טכנולוגיות צבאיות מתקדמות, הרבה מעבר להדפסה תלת-ממדית²².

תרשים 7.5 – חומרים מודפסים בתלת מימד שצורתם משתנה עם הזמן



Shape shifting: 3D printed materials that change shape over time

לסיכום ביניים:

²¹[Kurzweilai-Explainer: what is 4D printing?](#)

²²<http://myidst.com/index.php/en/industries/item/229-the-4d-or-3d-printing-of-programmable-matter-would-revolutionize-military-systems>

ההתקדמות וההתפתחות בתחום יצור בהוספה/הדפסה בתלת-מימד היא מרשימה מאד, ובמיוחד מרשים המעבר מתכן ויצור אבי טיפוס מהירים לתכן ויצור סדרתי.

יש התקדמות מרשימה בכל ההיבטים חומרים, יצוריות ובקרת איכות.

קיימת מפת דרכים אתגרית להתקדמות תחום זה.

בתחום זה מתקיימת במספר מדינות תכניות לאומיות לקידום התחום - ראו דוגמא להלן בבריטניה. במסגרת זו מתקיים שיתוף פעולה פורה בין התעשייה והאקדמיה.

נספח 8

בריטניה משקיעה במו"פ בתחום הדפסה תלת-ממדית כדי לחזק את תחום התעופה והחלל

DEFENCE IQ, July 2015

UK Invests in Additive Manufacturing R&D to Bolster Aerospace Sector

http://www.defenceiq.com/air-forces-and-military-aircraft/articles/uk-invests-in-additive-manufacturing-r-d-to-bolste//utm_source=1-

(מתוך הלקט מו"פ בטחוני בעולם מאוגוסט 2015, לשכת הסגן המדעי לראש מפא"ת)

בריטניה משקיעה במו"פ בתחום יצור בהדפסה תלת-ממדית כדי לשמר את מקומה בחזית החדשנות בשוק התעופה והחלל העולמי.

Anna Soubry השרה הממונה על התעשייה הבריטית חנכה רשמית ביוני את המרכז לפיתוח תעופה וחלל והמרכז הלאומי ליצור בהדפסה תלת-ממדית בעיר Coventry. מתקני המחקר ממוקמים במרכז לטכנולוגיית יצור והם מהווים חלק מאסטרטגיית השקעה רחבה יותר של הממשלה הבריטית בתחום התעופה והחלל, מדובר בהתחייבות של 3.28 מיליארד דולר המתבצעת בפיקוח של Aerospace Technology Institute (ATI).

שרת התעשייה אמרה שהממשלה והתעשייה פועלים יחד כדי להבטיח שבריטניה תימצא בחזית שוק התעופה והחלל העולמי. היא ציינה שבריטניה נמצאת במקום שני אחרי ארה"ב, אבל יש עוד הרבה מה לעשות וחשוב להמשיך ולהשקיע במו"פ ולפתח טכנולוגיות פורצות דרך. לפי השרה, זה מביא לצמיחה ולתעסוקה רבה בעבור הכלכלה של בריטניה, כאשר מתבססים על יכולותיה המתקדמות של תעשייה זו בבריטניה בתחום הכנפיים, המנועים, המסוקים, מערכות

מתקדמות ושירותים. אם נעשה זאת נכון, טוענת השרה, נספק תועלת כלכלית לחברות הגדולות, הבינוניות והקטנות לאורכה ורוחבה של המדינה.

כחלק מההשקעה בבריטניה בתחום התעופה והחלל, הוכרזו ארבעה פרויקטים במהלך הטקס. 11.2 מיליון דולר למחקר של Airbus על דרכים לטיפול בפגמים של משטחי כנף. 7.8 מיליון דולר לטכנולוגיות חלוציות, כמו לדוגמה איך ניתן לשלב Internet Of Things ביצור מטוסים. 10 מיליון דולר למחקר בתחום טכנולוגיות הרכבה אוטומטיות מתקדמות, כדי לשפר את התחרותיות של שרשרת האספקה בבריטניה בתחום העלויות. קרוב ל- 7 מיליון דולר לחברת UTC Aerospace Systems להקמת קווי יצור המוני של מוצרים מחומרים מרוכבים בעלות נמוכה.

כאמור לעיל, להדפסה תלת-ממדית שנקראת בכתבה additive manufacturing, יש הפוטנציאל לשנות את שרשרת האספקה הצבאית וכן לשנות מהותית את הדינאמיקה של תעשיית התעופה והחלל וכן את התעשייה הביטחונית. בסקר מיוחד שביצע Defence IQ, 54% מהמשיבים הסכימו בצורה נחרצת שהשימוש בהדפסה תלת-ממדית ימצא שימוש נרחב בתחום המחקר והפיתוח. בסך הכול 83% הגיבו בחיוב להצהרה על התפיסה האוניברסאלית לגבי עתיד ההדפסה התלת-ממדית ועל כך שיתכן ואנו מתקרבים למהפכה חדשה ביצור.

השקעות מצד הממשלה והתעשייה תהיינה קריטיות בעבור הראשונים אשר יהיו פורצי הדרך בשוק ואשר יובילו את החדשנות וירחיבו את גבולות ההנדסה.

צודקת שרת המסחר באומרה שפעילות זו תוכל לספק תועלת כלכלית בטווח הארוך. זה נכון לא רק לתעשיית התעופה, החלל והתעשייה הביטחונית, אלא לחלק נרחב יותר בכלכלה. כמעט כל החברות בתחום התעופה, החלל והביטחון בוחנות כל הזמן דרכים להרחבת השימוש במוצרים ובשירותים שלהם לתחומים נוספים. המשבר של 2008 השפיע מאד על חברות בתחום הביטחוני. חברות צריכות להקטין סיכונים בקווי המוצר שלהן ולבחון שווקים אחרים כדי לצמוח. הדפסה תלת-ממדית יכולה להיות מסלול לשווקים חדשים ויכולה לעזור לחברות לגוון מה שהן מסוגלות לייצר.

PRNEWswire.COM, July 23, 2015

Nano Dimension Announces Evaluation Collaboration with Israel Aerospace Industries

www.prnewswire.com/news-releases/nano-dimension-announces-evaluation-collaboration-with-israel-aerospace-industries-300117870.html

(מתוך הלקט מו"פ בטחוני בעולם מאוגוסט 2015, לשכת הסגן המדעי לראש מפא"ת)

החברה הישראלית Nano Dimension החלה לשתף פעולה עם התעשייה האווירית, במטרה לבחון שיטות מתקדמות להדפסה תלת ממדית של אלקטרוניקה, תוך שימוש במדפסת DragonFly 2020. לדברי החברה, יש במדפסת זאת פוטנציאל למהפכה בפיתוח ויצור של אלקטרוניקה (לוחות מעגלים מודפסים – PCB – רב שכבתיים), לרבות האצה דרמטית של מחזורי פיתוח ובדיקת יישומים חדשניים.

SASAM Standardization Roadmap - "יצור בהוספה" - מפת דרכים לתקינה בתחומי

Additive Manufacturing: SASAM Standardization (מבוסס על חוברת מ-2015 בשם: *Roadmap שיצא בהוצאת AM Platform*)

SASAM project: The research leading to these results has received funding from the Seventh Framework Programme FP7/2007-2013/ under grant agreement n° 319167.

בעקבות ההתפתחויות המשמעותיות בתחומי היצור בהוספה AM נוצרה פעילות תקינה המבוססת על החזון והמגמות של התעשייה בתחום זה, הצרכים של בעלי העניין והפיתוחים בתחום.

למעלה מ-100 בעלי עניין מהתחומים השונים, ממקומות שונים בעולם, כאשר מרכז הכובד הוא באירופה גיבשו מפת דרכים לתקנים בתחום.

לאחרונה הוטלה מלאכת התקינה בתחום על הוועדה הטכנית CEN/TC 438. עקרונות התקינה בתחום:

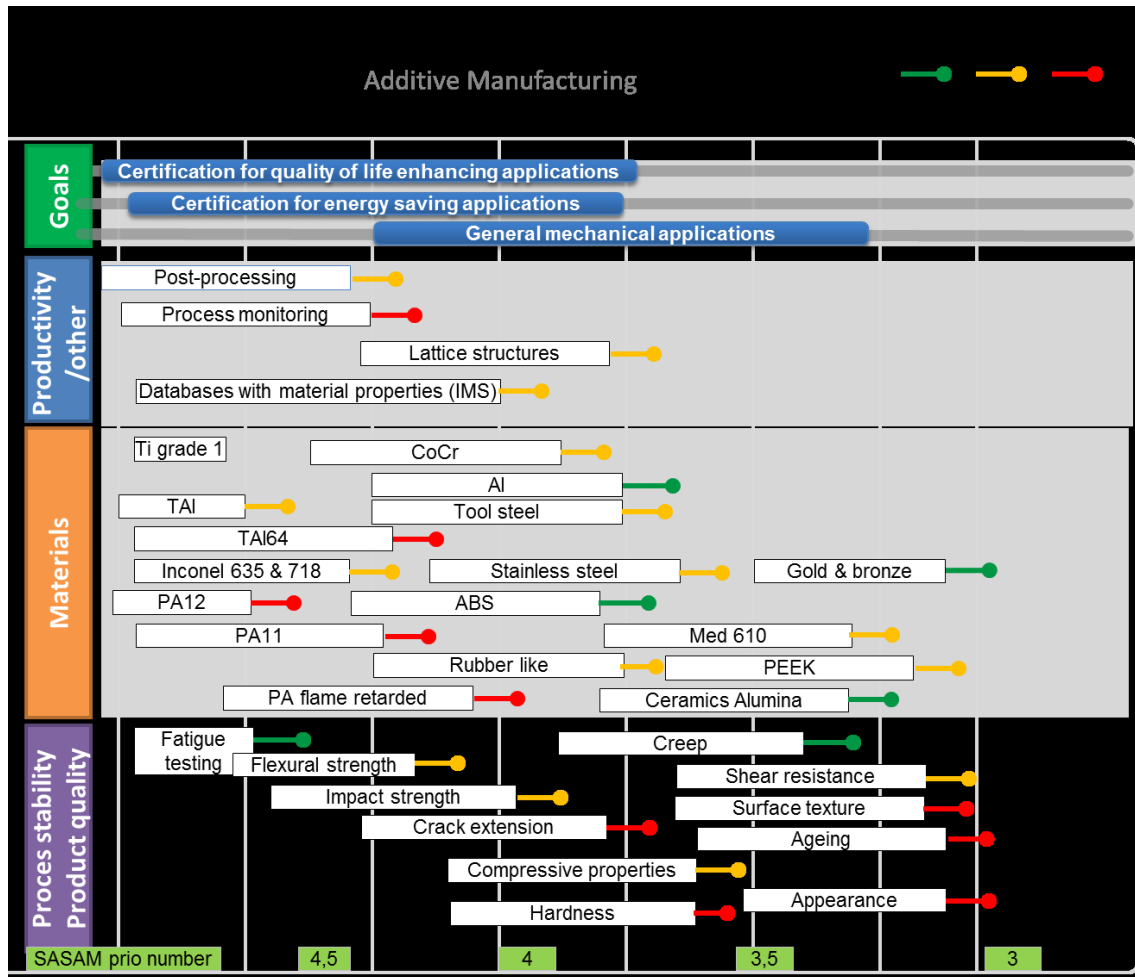
- גיבוש סט אחד של תקינה – שיהיה בשימוש בכל העולם
- לעבוד על פי מפת תקינה משותפת
- להשתמש ככל האפשר בתקנים קיימים, ולהתאים אותם לתחום ה-AM
- יצירת שיתוף פעולה של ISO, CEN עם ה-F42ASTM
- התקינה בתחום נכון שתעקוב ותסייע להתפתחויות השונות בתחום (באמצעות פורומים, דיונים פתוחים וכנסים מקצועיים בתחום)

מפת הדרכים של התקינה ניתנת בתמצית בתרשים 10.1 הבא.

יעדי התקינה בתחום הם: אישורי איכות ואמינות מוצרים, אישורי היסכון באנרגיה, יישומים מיכאניים.

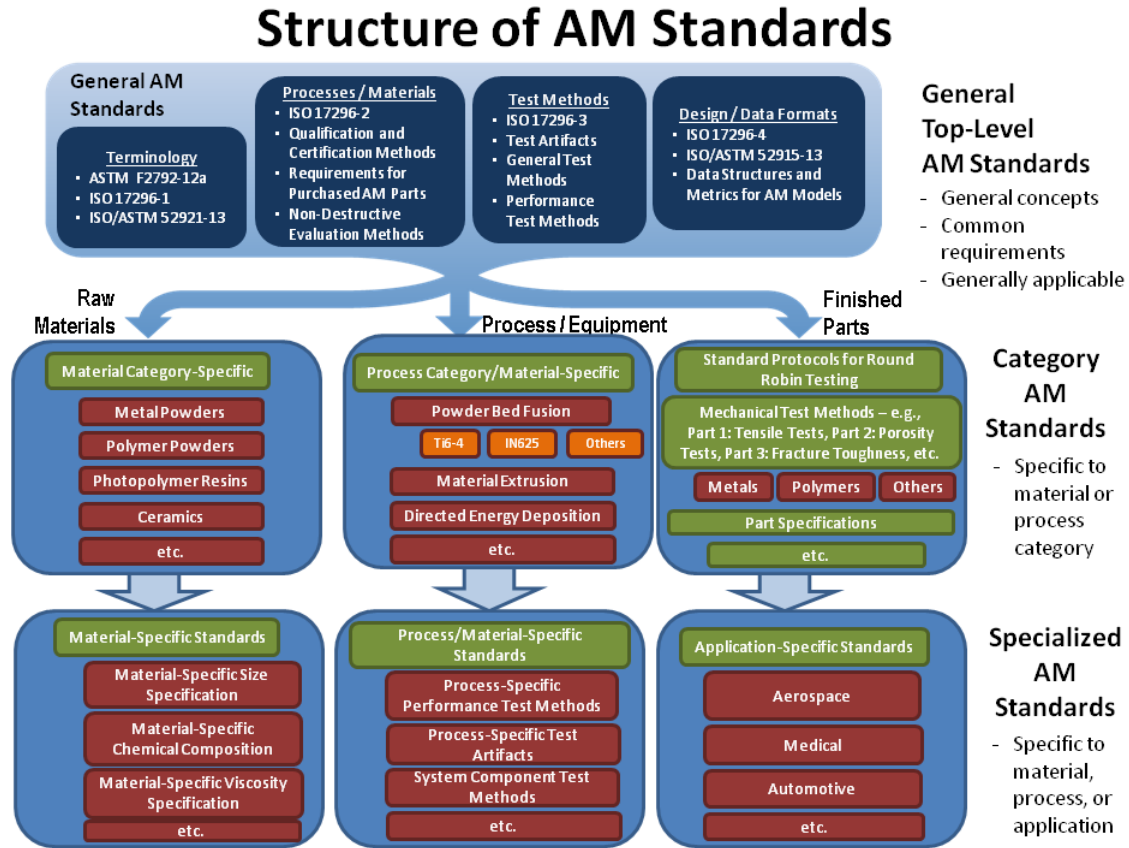
התקינה מטפלת בנושאים כמו: יצוריות, חומרים, איכות מוצרים ויציבות תהליכים.

תרשים 10.1 מפת דרכים לתקינה בתחומי AM



המבנה של התקינה בתחום מפורט בתרשים 10.2 הבא, וכולל 3 שכבות עיקריות:

1. תקנים כלליים בתחומי טרמינולוגיה, תהליכים, חומרים, שיטות בחינה, תכן, מידע.
2. תקנים של חומרים בסיסיים, תהליכים, בחינות.
3. תקנים ספציפיים של חומרים, תהליכים, שימושים (כמו: תעופה, רפואה, רכב...)



המסמך כולל גם ניתוח SWOT של היבטי התקינה בתחומי AM. בניתוח זה בולטות ההזדמנויות של AM, כמו: יצור במקום אחד, אין צורך במלאי, יצור על פי דרישה, יצור בקיימא. תהליכי היצור בטכנולוגיית AM זורשת ידע רב, ולכן יוצר הזדמנות לפיתוח מקומות עבודה ברמה גבוהה ואיכות גבוהה. לפי ניתוח זה נמצא גם שיש עדיפות לתהליכים היברידיים, כלומר תהליכים המשלבים תהליכים קונבנציונאליים עם תהליכים מתקדמים כדי לנצל את "הטוב משני העולמות". מאמצי התקינה גם הם יופנו גם לתהליכי היצור ההיברידיים.

יש לציין שתהליכי התקינה בתחום הזה הם גם פלטפורמה מצוינת לשיתוף ידע גלובאלי בתחום זה.

גם מכון התקנים הישראלי הקים וועדת מראה לתהליכי התקינה הבינלאומיים בתחום. בראש וועדת המראה יושב פרופ' עדין שטרן.

המפעל החכם שיוזע בדיוק כמה עולה לייצר כל פחית בירה

אמיר טייג, ענבל אורפז, דה מרקר 22.8.15

כמה מים וחשמל הושקעו בכל בקבוק מים מינרלים? מה העלות היצור המדויקת של פחית משקה קל? מה פליטת ה-CO2 בגין כל מוצר? לכל השאלות הללו, יש כעת תשובות - שימוש בביג דאטה לייעל תהליכים ולחסוך באנרגיה ובעלויות יצור מספק כלי ניהולי חדש, שרק עכשיו נכנס לשימוש במפעלי התעשייה המסורתיים

אלפי בקבוקים רצים על מסועים ומתקבצים אוטומטית למשטחים. מלגזות, משאיות, מחסנים לוגיסטיים ענקיים, רעש וחום בלתי נסבל - במבט ראשון נראה מפעל טמפו הוותיק למשקאות קלים ובירה בנתניה כאנטיתזה לכל מתחם היי-טק בארץ או בעולם. ואולם מאחורי המעטה האנלוגי מסתתרת מערכת דיגיטאלית חדישה שדוחפת את המפעל המסורתי הזה לעידן העכשווי: כל מכונה על פס היצור, כל מתקן להבשלת הבירה ומשטח בקבוקים, מדחס לחץ אוויר, מצנן, מסנן מים או מכונת קיטור מחוברים לרשת של כ-400 חיישנים שמפוזרים במפעל ויוצרים רשת עצבים מתוחכמת המנטרת בזמן אמת כל משאב שנכנס בשערי המפעל - אם זה חשמל, מים, גז, קיטור, מזוט או פלסטיק - וכל מוצר שיוצא משערו. המפעל אמנם נותר מפעל יצור מסורתי, אך הניהול שלו נהפך לדיגיטלי.

"המהפיכה התעשייתית הראשונה הייתה מנוע הקיטור, המהפיכה השנייה הייתה קווי היצור והשלישית הייתה הבקרים האלקטרוניים שמנטרים את המכונות. כיום אנחנו בפתחה של המהפכה התעשייתית הרביעית - אינטרנט של הדברים, "אומר ירון בן נון, שותף וסמנכ"ל חדשנות בלייטאפ - המפתחת, מיישמת ומטמיעה פתרון מתקדם לניהול צריכה וחסכון בעלויות האנרגיה בארגונים ומפעלים - הסטארט-אפ שאחראי לשינוי הדיגיטאלי בטמפו.

המערכת של לייטאפ אמנם לא הפכה את המפעל לסטרילי יותר, אך היא העניקה לו מודעות עצמית - כמה מים וחשמל הושקעו בכל בקבוק מים מינרלים? מה העלות היצור המדויקת של פחית משקה קל? מה פליטת ה-CO2 בגין כל מוצר? ומה זול יותר לייצר - שישיית בירה בפחית או בקבוק ממוחזר של חצי ליטר בירה? תובנות אלה ואחרות מספקות למנהל מפעל טמפו, ז'יל אסולין, כלי ניהולי שמעולם לא היה לו, שבעזרתו הוא יכול לייעל את היצור.

"הצורך במערכת כזאת נבע מהרצון שלנו להתנהל נכון יותר מבחינה אנרגטית", אומר אסולין. "המטרה היא לבנות תהליך מתמיד שמאפשר לנהל את האנרגיה שלך. לשם כך, אנחנו צריכים קודם כל להבין בכלל איך אנחנו מתנהלים. מפעל שמתנהל נכון מבחינה אנרגטית הוא מפעל בריא. כמו גוף האדם, המפעל צריך להתנהל בצורה מאוזנת. אתה לא רוצה לבזבז אנרגיה היכן

שלא צריך, אבל מצד שני אתה חייב את האנרגיה כדי לייצר את המוצרים. השאלה היא כמה אנרגיה ומה האופטימום שלך מבחינת צריכת אנרגיה כדי לייצר מוצר בהתאם לאיכות הנדרשת ממך."

"כיום אני יכול להשפיע טוב יותר על עלות המוצר"

התוצר העיקרי שמספקת המערכת של לייטאפ הוא לוח מכוונים דיגיטאלי המשמש בעיקר את אסולין ואת מהנדס המפעל, אבי נבון. על פני ציר זמן יכולים השניים לראות כמה אנרגיה נצרכת בכל רגע על ידי המפעל כולו או כל פס יצור בנפרד, וכמה תוצרת הוא מפיק. היחס בין השניים מספק להם מדד בזמן אמת לרמת היעילות האנרגטית. כל החלטה תפעולית שהם מקבלים מיועדת להשפיע על המדד ולהעלות את היעילות - אם זה החלפת מכונה בשרשרת היצור, שינוי סדר הפעלת המכונות או החלפת יצור של מוצר אחד במשנהו. המערכת מספקת להם מידע קריטי אם ההחלטות התפעוליות שקיבלו הוזילו בסופו של דבר את המוצר - או ייקרו אותו.

"למשל, אנחנו יודעים כי צרכן האנרגיה הגדול ביותר שלנו הוא בית הבישול של הבירה. ניהלנו דיונים רבים כיצד לייעל את צריכת האנרגיה שם, אך לא היו לנו מספיק נתונים", אומר אסולין. "זה גרם לנו להתקין מונים רבים בכל המפעל שימדדו את צריכת האנרגיה, כך שבסוף כל תקופה הייתי מקבל דו"ח כתוב על צריכת החשמל. אך גם הדו"ח הזה לא היה שווה הרבה בלי מערכת שמנתחת את נתונים. כיום אני יכול לפתוח את המערכת ולראות בזמן אמת כמה חשמל אני צורך, לאן החשמל הזה הולך, מי מבין המוצרים שלי צורך יתר חשמל, איך צריכת החשמל משתנה לאורך היום ואם אני עומד באמות המידה שקבענו לעצמנו. כיום אני יכול להשפיע טוב יותר על עלות המוצר."

לדברי בן נון, המערכת לא רק מנטרת ואוספת מידע, אלא גם מבצעת השוואות בין מפעלים שונים ויוצרת אמות מידה וסטנדרטים. "יש רכיבים רבים שחוזרים על עצמם במפעלי יצור שונים. מכונות יצור זקוקות לאוויר דחוס, כך שבכל מפעל יש מדחסי אוויר, מצנני אוויר, מסועים וכו'. אנחנו יכולים לספק למנהלי המפעלים מדדים השוואתיים ולהראות להם עד כמה הם יעילים מבחינה אנרגטית. המערכת מייצרת נתונים המקובלים על כל מקבלי ההחלטות במפעל, ומאפשרת להם לנהל דיונים מעמיקים יותר ולהבין בקלות כיצד ההחלטות שלהם משפיעות על עלויות היצור."

נבון נותן דוגמה להחלטה מסוג זה: "מדי בוקר מגיעים העובדים הראשונים למפעל ומתחילים בפרוצדורה קבועה לפני שמפעילים את קו היצור. הם מפעילים את כל המכונות, אבל עד שיוצא המוצר הראשון מפס היצור, עוברות עוד כמה שעות של הכנה. במהלך שעות אלה מבוזבזת אנרגיה בלי שמיוצרים מוצרים. גילינו כי מרב האנרגיה מתבזבזת בתנור הנמצא בסוף פס היצור, שתפקידו לכווץ את התווית מניילון העוטפת את הבקבוק. התנור הזה היה עובד מ-6:00 בבוקר עד 10:00 שלא לצורך. מספיק היה לשנות את סדר הפעלת המכונות, ולהדליק את התנור ממש בסמיכות ליציאת המוצר הראשון כדי לחסוך המון אנרגיה."

"נגיד שבקצה המפעל קיימת מערכת לצינון מים שעובדת כבר שנים ארוכות", אומר גיא פאר, שותף מייסד וסמנכ"ל תפעול בלייטאפ. "יש שם חמישה מצננים שונים, שאף אחד לא יודע כמה אנרגיה הם צורכים ומה התפוקה שלהם. יכול להיות שאחד המצננים מבזבז 100 אלף שקל בשנה בגלל תקלה מכאנית כלשהי. מאחר שיש במפעל חמישה מצננים כאלה, אף אחד לא יזהה את התקלה עד שיתחיל להעלות עשן מהמצנן, וזה כמובן יהיה מאוחר מדי. המערכת שלנו מודדת לאורך זמן את היעילות של אותו מצנן ומספקת השוואה ל-200 מצננים דומים במפעלים אחרים. אנחנו יכולים להפנות את תשומת הלב של מנהל המפעל לתקלות לפני שהן מתרחשות, אבל גם לגלות לו מכונות במערך היצור שלו שאפשר לייעל".

"אני צריך להחליט כיצד לחלק את תקציב התחזוקה במפעל", אומר אסולין. "האם עלי להשקיע בהחלפת מכונה או רק לשפץ אותה? אם אני יודע כמה אנרגיה מבזבזת לי כל מכונה וכמה אני יכול לייעל אותה, אני מקבל כלי המאפשר לי לחשב די בקלות את ההחזר על ההשקעה".

"מחיר חוסר היעילות יכול להגיע למיליוני שקלים בשנה"

המציאות של ניהול מפעל תעשייתי שונה מאוד מניהול עסק המספק שירותים. לדברי בן נון, "הכל מתנהל כאן תוך תנועה. זה כמו מכונת שנמצאת על הכביש 15 שנה. בהתחלה היא יעילה מבחינה אנרגטית, אך לאט-לאט היא מתחילה להישחק. הצמיגים כבר פחות טובים, המנוע שורף שמן וצריכת הדלק עולה. זה לא משהו בודד שנשחק, אלא הרבה רכיבים קטנים שנשחקים מתוך המכלול הזה שנקרא מכונת. ההבדל בין מכונת פרטית לבין מפעל יצור זה מחיר חוסר היעילות - במפעל כמו טמפו זה יכול להגיע למיליוני שקלים בשנה".

"אנחנו תעשייה שעובדת על מרווחים נמוכים מאוד", אומר אסולין. "כל 1% שאנחנו חוסכים מהוצאות היצור שלנו מגיע ישירות לשורת הרווח. מרבית התקציב שלי הוא קשיח. קשה לי לייעל מהותית את כוח האדם ולצמצם את צריכת חומרי הגלם. חצי מתקציב המפעל יוצא על הוצאות אנרגיה - שם יכולה להיות לי גמישות. כל חברה במצב שלי מחפשת כלי ניהולי לייעול השימוש באנרגיה. זה אחד המקומות שבהם פוטנציאל החיסכון הוא הגבוה ביותר".

לדברי בועז אור, סמנכ"ל פיתוח עסקי בלייטאפ, "אדם מן היישוב שמסתכל על מפעל כמו זה של טמפו מאמין כי התהליכים כאן מנוהלים מתחילתם עד סופם. אבל חייבים להבין שמהפכת האינטרנט של הדברים רק בתחילתה. רק מפעלים מעטים בעולם אימצו את הרמה הזאת של איסוף נתונים, ניתוחם והשוואתם לנתונים בנצימרק בתעשייה".

"התפישה היא ש-20% מהאנרגיה בעולם מבזבזת בגלל תפעול לא נכון", אומר בן נון. "אם היינו יודעים לייעל את שימוש באנרגיה, לא היה מתרחש אסון אקולוגי. בעולם נעשה מחקר רב בניסיון לייעל את השימוש באנרגיה. אחד ממכוני המחקר המעניינים נקרא E2e - שיתוף פעולה של אוניברסיטת ברקלי בקליפורניה, אוניברסיטת שיקגו ו-MIT - שבבוסטון. החל באוקטובר נתחיל

בשיתוף פעולה עמם, שבמסגרתו קיבלנו מהם מענק של 5 מיליון דולר כדי שנחבר למערכת שלנו מאות מפעילים בצפון אמריקה. אנחנו נהיה למעשה הפלטפורמה המחקרית של המכון, שינסה בעזרת הנתונים שנאסוף להגיע למסקנה מה הערך הכספי שייחסך אם נהפוך את המפעילים לחכמים".

"אנחנו אדישים לשאלה מהיכן מגיע המידע ומה סוג החיפוש", מוסיף בן נון. "לכל מפעל יש סוג חיישנים משלו, שפועלים בשפות שונות. למשל, החיפוש שמורכב על המכונה הסינית מדבר בשפה שונה מזו שמורכב על המכונה הגרמנית. אנחנו יודעים לאסוף את כל המידע, ולאחד אותו תחת מערכת אחת. למעשה, אנחנו יכולים לגרום למערכות שונות, שלא דיברו זו עם זו מעולם, לדבר באותה שפה. כך אנחנו יכולים להציג תמונה רחבה על צריכת האנרגיה במפעל. הפילוסופיה שלנו אומרת שלא משנה בכלל כמה אנרגיה צורך המפעל, אלא משנה כמות הבזבז ופוטנציאל החיסכון. כדי להגיע לנתון בודד כמו עלות היצור האמיתית של בקבוק שתייה, צריך להתממשק להמון מערכות שונות."

"בסופו של דבר, כולנו רוצים להשתפר"

גם עבור סטארט-אפ צעיר, לייטאפ, שהוקמה ב-2011 על ידי אלחי פרקש (המנכ"ל) וגיא פאר (סמנכ"ל התפעול) היא עדיין חברה קטנה מאוד המונה 12 עובדים בישראל ועוד ארבעה עובדים בעולם. עד כה הושקעו בה כ-2 מיליון דולר ממשקיעים פרטיים, והיא קיבלה מענקים בהיקף של כ-6 מיליון דולר מקרן בירד, המזען הראשי במשרד הכלכלה ורשות האנרגיה של מדינת קליפורניה (CEC). למעשה, החברה אינה עוסקת בהתקנות של חיישנים במפעלים, אלא יודעת לאסוף את המידע מהחיישנים הרבים שכבר מותקנים במפעל.

"המרכיב הראשון של המערכת הוא איסוף המידע מהחיישנים, האחדה שלו ומשיכת נתוני היצור ממערכת הניהול המרכזית", (ERP) אומר פאר. "מהחיישנים אנחנו מקבלים את צד הצריכה, כלומר כמה אנרגיה, חומרי גלם וכדומה הושקעו במוצר. ממערכת ה-ERP אנחנו מקבלים את צד התפוקה, כלומר כמה מוצרים יוצרו בכל תקופת זמן. את המידע הזה אנחנו מכניסים למערכת, ומפעילים עליו את המרכיב השני במערכת, שהוא מנוע ניתוח אנליטי שיוזע לייצר יחס בין צריכה לתפוקה וגם מדדים השוואתיים. האלמנט השלישי הוא ההצגה הגראפית, כלומר הדרך שבה המערכת מייצרת למנהל שקיפות ועוזרת לו לקבל החלטות. המערכת כולה נמצאת בענן, אך לקוח שרוצה מאוד לשמור על הנתונים אצלו יכול להפעיל אותה מתוך הענן הפרטי שלו, הנמצא מאחורי הפיירוול".

למרות התחרות הקשה בין יצרני המשקאות הקלים, אסולין לא חושש לשתף עם מפעלים אחרים חלק מהמידע שמייצרת לייטאפ, אפילו עם מתחרי. "אנחנו מאתגרים את עצמנו כיום בעיקר כדי להפחית את צריכת ה-CO2-ליחידת מוצר", אומר אסולין. "טביעת הרגל הפחמנית שלנו נוצרת בעיקר בשל השימוש בחשמל. אנחנו קובעים יעדים להפחתת הפליטה הפחמית ומפרסמים

אותם. זו גאווה מבחינתנו לעמוד ביעדים ולראות לכולם שהשתפרנו. אין לי התנגדות שהמתחרה שלי יידע כמה אנרגיה וכמה מים אני צורך בגין כל מוצר, כדי שגם הוא יוכל להשתפר. בסופו של דבר כולנו רוצים להשתפר. ברור שמידע קריטי כמו כמות היצור חייב להישאר סודי".

באשר למודל העסקי אומר אור כי "אנחנו לא חברת היסכון באנרגיה שלוקחת אחוזים מההיסכון שהיא משיגה. מודל ההכנסה שלנו נגזר מהיקף האנרגיה המנוהלת במערכת. אנחנו נותנים שירותי תוכנה למפעל, וגובים תשלום חודשי או רבעוני לפי כמה אנרגיה מנוהלת במערכת. זה דומה מעט לניהול נכסים פיננסיים, ומודל של דמי ניהול. אנחנו פונים בעיקר למפעלים שחשבון האנרגיה שלהם עולה על 400 אלף שקל בחודש, שזה כולל חשמל מזוט, גז ועלות הטיפול במים ושפכים. למעשה, מערך החיישנים הוא לא שלנו, אלא של המפעל עצמו. אנחנו לא חברת אינטגרציה שבאה ומתקינה חיישנים. את זה עושים אנשי המפעל".

"מדובר בתהליך ארוך יחסית עד שרואים תוצאות", אומר אסולין. "לקח לנו כמעט שנה כדי לחבר את כל החיישנים הקיימים ולשים חיישנים נוספים. כדי לקבל תובנות טובות גם צריך שתהיה היסטוריה של נתונים, כך שאפשר יהיה לבצע השוואות ולראות שינויים".

באופן מעט מפתיע, לייטאפ פיתחה את המוצר על בסיס ניסיון שנצבר בישראל. לחברה 52 התקנות במפעלים בישראל ורק שתי התקנות בארה"ב. "יש לנו פרויקט בתהליך בגרמניה, ועד שתי התקנות במכרות בצ'ילה, אך החל באוקטובר תתרחש קפיצת מדרגה - נתחיל להתקין את המערכת ב-100 מפעלים בארה"ב כחלק ממחקר של "E2e" אומר בן נון. באשר לשותפים אסטרטגיים, מעריכים בלייטאפ כי חברות הייעוץ הגלובליות הן מועמדות קלאסיות לשיתופי פעולה אלה. "אנחנו חברה קטנה, אבל עובדים עם שותפים", הוא אומר.

המהפכה הניהולית מתחילה בחיישנים

בזמן הביקור במפעל טמפו קשה שלא להיזכר בספר "המטרה" של ד"ר אליהו מ. גולדרט מ-1984, שנהפך לרב מכר בתחום הניהול. הספר עוקב אחרי תהליך שינוי שמוביל אלכס רוגו, מנהל מפעל אמריקאי שלא מצליח לעמוד באף אחת מההזמנות שלו במועד המבוקש ועומד על סף סגירה. השיטה שגולדרט מציג בספר, שמהווה את הבסיס לניהול לפי תורת האילוצים, מתבססת על זיהוי צווארי הבקבוק במפעל, קבלת החלטה כיצד לנצל אותם ולהתאים אליהם את יתר המפעל, תוך שיפור של הפעילות שלהם.

אחד היסודות שעליהם נשען תהליך ההתייעלות במפעל, שחרור צווארי הבקבוק והפיכתו ממפעל כושל למפעל ששולט בלוחות הזמנים ותחרותי, הוא כמות גדולה של נתונים. כך, כחלק מהשינוי המתואר בספר, שפורסם בראשית ימי המחשב האישי, מותקן מסוף מחשב בכל אחד מהשלבים בתהליך היצור שמוגדרים כצווארי בקבוק. באמצעות הזנת מידע ישירות לבסיס הנתונים של המפעל מצליחים במפעל לחזות מראש ברמת דיוק של יום מתי ייצא משלוח מהמפעל. המידע

הזה משמש, למשל, את מחלקת השיווק שיכולה בהתאם לדו"חות והתחזיות לפנות ללקוחות חדשים ולהתחייב ללוחות זמנים. כלומר, נתונים ומידע משמשים לא רק לייעול תהליך היצור, אלא יכולים לשנות את הדרך שבה מתנהל המפעל כולו.

כבר בשנות ה-80 היה ברור שאחד הגורמים המרכזיים שמאפשרים את יישום השיטה הוא מידע מדויק ומעודכן לגבי התפוקות, הזמנים, הקצב וצריכת החומרים בכל אחד משלבי היצור המפעל. לכן מפתיע כל כך לגלות שב-2015 לא קיים מידע מדויק ומעודכן בזמן אמת לגבי כל אחד מהפרמטרים בתהליך היצור, אלא מידע כללי וגולמי כמו כמויות החשמל או המים הכוללות שצורך המפעל בכל חודש, בלי פירוט ספציפי לכל מכונה במפעל ובזמן אמת (לפני שנגרם בזבז).

עבור מנהלי המפעלים זהו מידע יקר ערך בעל משמעויות אופרטיביות, כלכליות ואסטרטגיות. בשנים האחרונות ירדו מחירי החיישנים בצורה דרסטית, והכיוון שאליו צועד העולם הוא חיבור של כל מכונה ומכשיר לרשת האינטרנט. שילוב של שני הגורמים האלה למפעלים המסורתיים, יחד עם כלים שנגישים במכשירי מובייל בכל כיוון, יכול להביא אותם למהפכה ניהולית של ממש, שתהפוך אותם לרלוונטיים למאה ה-21.

נספח 12

מנוע הצמיחה המהירה של התעשייה המסורתית // "תעשייה בלי ננו-טכנולוגיה תיעלם בתוך 20 שנה"

אורה קורן, דה מרקר 11.02.2016

המחקר הננוטכנולוגי יכול לשדרג חומרי גלם קיימים וליצור חומרים חדשים שיותאמו מראש למוצר הסופי - במקום להתאים את המוצר לחומרים הזמינים. מצברים חדישים, שקיות ניילון שמאריכות את חיי המזון ומטוסים חדשים ללא טייס הם רק חלק מהפיתוחים החדשים

בימים אלה עובדים חוקרים ותעשיינים ברחבי הארץ על פיתוח בדים, שקיות ניילון, מצברים, מטוסים ללא טייס ומערכות נשק שיהיו מבוססות על ננוטכנולוגיה. ההערכות הן כי עד 2025 לא תהיה תעשייה שלא תשלב חומרים המבוססים על ננוטכנולוגיה. כבר כיום, פחות מעשור לאחר שהוקמו בארץ שישה מרכזי ננו תוססים, ברור לחוקרים כי המחקר הננוטכנולוגי - שעוסק בחומרים ברמת גודל זעירה, של ננו-מטר (החלק המיליארד של המטר, קוטר של שערה, למשל, הוא 100 אלף ננו-מטר) - יכול לשדרג מוצרים ולהעניק להם יתרון תחרותי ברמה עולמית.

כמו בכל מחקר ופיתוח (מו"פ), הראשון שייצא לעולם עם הפיצוח יזכה בקופה. בכ-150 חברות ישראליות כבר בונים על זה, ובכללן בולקן מצברים, שם מקווים כי הננו יאריך את חיי המצבר שלה; כרמל אולפינים, שמפתחת, בשיתוף הטכניון, שקיות ניילון מאריכות חיי מזון; גומי עין שמה,

שמשלבת ננו לשיפור גמישות וחוזק של גומי; אומן יציקות בלחץ, שמשלבת ננו בשיפור תכונות אלומיניום לרכב; ובתעשייה האווירית (תע"א), עם פלסן ואלביט, שמשדרגות רכיבי תעופה בעזרת ננו־טכנולוגיה.

פרופ' זרון אורבך, חבר סגל במחלקה ללימודי כימיה, עומד בראש הקבוצה לאלקטרוכימיה באוניברסיטת בר־אילן, מהקבוצות השותפות במכון הננו־טכנולוגי של אוניברסיטת בר־אילן. מרכז מחקר זה הוא אחד מששת מרכזי הננו שהוקמו בארץ בעשור האחרון, כמו גם באוניברסיטת תל אביב, אוניברסיטת בן־גוריון באר שבע והאוניברסיטאות העברית, הטכניון ומכון ויצמן. "בר־אילן לקחה על עצמה להוביל נושאי אנרגיה בארץ ובעולם תוך שימוש בננו־טכנולוגיה", אמר אורבך. למשל, אחד המחקרים שנמצא בהליך יישום מתקדם ביותר במכון קשור לסוללות המשמשות כיום להתנעת רכב, ועוברות שדרוג משמעותי. לדבריו, שילוב טכנולוגיית ננו, שמבוססת על חומרים חדשים שמפותחים בתהליכי המחקר, במצבר עופרת-חומצה המוכר, כבר יכולה להכפיל את משך חיי המצבר.

עם זאת, במכון לא מסתפקים בכך ופועלים להגדיל את משך חיי המצברים הללו פי עשרה, באמצעות שילוב של חומרים ננו־מטריים מתקדמים. לדברי אורבך, "ניקה סוללות נטענות שמחזיקות מעמד שנתיים ונאפשר להן לעבוד 10–20 שנה. אני מיעד את הפיתוחים הללו לאגירה ולאספקה שוטפת של אנרגיה סולארית". הסוללות יכולות לשמש בין השאר להטסת מל"טים ולהנעת כלי רכב.

החלטת הממשלה על הקמת מרכזי ננו־טכנולוגיה היתה מלווה בהשקעה כוללת של 250 מיליון דולר לחמש שנים במימון הממשלה, האקדמיה ותורמים פרטיים. לצורך זה הוקם ארגון יוזמת הננו־טכנולוגיה הלאומית הישראלית (INNI), שמקדם את הפרויקט.

רפי קוריאט, האחראי בארגון על הקשר בין המכונים לתעשייה ליישום המחקרים, אמר כי "ננו יכול לנצח חומרים קיימים בחוזק, גמישות ועמידות לאורך זמן. הייחוד בננו הוא, שהתחום, העוסק ברמה האטומית של החומר, בונה חומרים מלמטה בצורה שאי־אפשר לבנות אחרת. אנחנו בודקים מה המוצר הסופי שהמחקר אמור להניב ובונים את חומר הגלם הטוב ביותר למוצר. זה ההפך משאר הדברים, שמתחילים בחומר הגלם ויוצרים ממנו את המוצר. ככל שיוצרים בגדלים, מרחב האפשרויות נעשה כמעט בלתי־מוגבל, וחוקי הפיזיקה משתנים. יוצרים חומרים חדשים שלא היו קודם בטבע". המחקר הננו־טכנולוגי יכול, לדבריו, להוליד מוצר מהפכני, שלא קיים בשוק, ולחלופין להביא לשירוג משמעותי במוצרים קיימים.

מוצר משופר בעלות יצור נמוכה

הלקוחה המשמעותית ביותר של פיתוחי הננו היא דווקא התעשייה המסורתית, אף שכיום היא מתקשה להפנים אפילו מו"פ פחות מתוחכם. כדי להקל עליה, הוסב מסלול קיים בלשכת המדען

הראשי במשרד הכלכלה והתעשייה, מכינת מו"פ, כך שיתאים גם לתמיכה ממשלתית בשילוב ננו־טכנולוגיה בתעשייה המסורתית. קוריאט הדגיש כי שילוב הננו משמעותי ביותר למשק דווקא בתעשייה המסורתית, שאחראית ל-35% מהמועסקים במשק, לעומת 10% בלבד בהיי־טק. "תעשייה שלא תשלב ננו בפיתוח המוצר, תיעלם תוך 20 שנה", הוא אמר. עם זאת, לדבריו, "לא כל דבר כדאי לעשות בננו. אנחנו מסתכלים איפה אחד ועוד אחד שווים עשר, כי מדובר בהשקעה משמעותית וצריך להסתכל על ההחזר".

לפני שש שנים הקים קוריאט מאגד ננו באמצעות המדען הראשי. המטרה היתה להשתמש בחומר בסיסי בשם ננו־צינוריות לשדרוג מוצרים. הננו־צינוריות נראות כמו קפיץ בקוטר ננו־מטרים בודדים ובאורך של כמה מיקרונים. כשמערבבים אותן עם חומר נוסף, ניתן לשפר את תכונות החומר בחוזק, ביציבות, או בהגנה מפני בקטריות. המאגד שילב 13 חברות, ובהן אלתא, רפאל, אלביט ופלסן, עם חוקרים מובילים מהאקדמיה ומכוני מחקר. גם אורבך שולב במאגד.

רפאל, תע"א ואלביט כבר עושות שימוש בידע שצברו במאגד להקטנת משקלם של חלקי תעופה. לדוגמה, שילוב שבבי פחמן בחלקי מטוסים, מערכות נשק וקבלי חשמל. חברה נוספת, קילולמדה, בוחנת את יישום הטכנולוגיה באמצעים אופטיים, בכלל זה לשיפור הצללה באמצעות ציפוי מגן על משטחים.

וולקן מצברים הצטרפה למאגד כשנה לאחר הקמתו - כאשר במאגד הבינו שחברה כזאת יכולה להרוויח מהטכנולוגיה. "וולקן חשובה לנו, כי היא מייצגת את המרחק הכי גדול בין ההיי־טק לתעשייה המסורתית", אמר קוריאט. "היא מייצרת מצברים, שכמעט 60 שנה לא שינו את טכנולוגיית היצור שלהם. אין שם מו"פ עצמי".

חברת וולקן קלטה חוקר בוגר הנדסה מהטכניון שייצג אותה במאגד וביצעה סדרת ניסויים. "בחברה לקחו מצבר קיים והחליפו את הקרביים שלו, את האלקטרודות", אמר קוריאט. "מצבר נמדד במספר מחזורי פריקה וטעינה, והוא נגמר כאשר האלקטרודות מתפרקות. האפשרות להשתמש בחומרי ננו יותר עמידים לאורך זמן מאפשר, בסבירות טובה, לשפר את המצברים הללו", הוסיף. לדבריו, בשלוש שנים של ניסיונות הגיעה החברה לתוצאות יוצאות דופן, לשיפור של מעל 100% בפעילות המצבר. "בוולקן הכפילו אורך חיי מצבר משנתיים לארבע שנים", הוא אמר, והוסיף: "המשמעות היא, שאפשר למכור מצבר משופר במחיר הרבה יותר יקר, כשהעלות בשיפור זולה יחסית".

כיום נוסעות כמה מכוניות עם המצבר החדש של וולקן, בשלב של הוכחת היתכנות (בטא סייט) לפני כניסה ליצור המוני. באחת מהן נוהג קוריאט עצמו. לדבריו, הצלחת היישום בשלב הראשוני שלו הניבה שיתוף פעולה אסטרטגי בין וולקן לחברת ארקמה הצרפתית, שתייצר את הננו־צינוריות.

יישומים של ננו־טכנולוגיה אפשריים בכל התעשיות. כך לדוגמה, לפי קוריאט, כי חברת תורטק ננו־סיבים מבית פלסן סאסא מייצרת ננו־סיבים לסינון של מים, הפרדה של שמן ומים שרלוונטית למאגרי הגז בארץ.

חברת ננו־מטיריאלס, שהוקמה על בסיס הידע של מכון ויצמן ופרופ' רשף טנא, מייצרת ומשווקת חומרי סיכה לתעשיית הרכב וההנעה, שמאריכים את אורך חיי המערכות ומשפרים את רמת הביצוע על ידי הקטנת חיכוך משמעותית. חומרי הסיכה גם משמשים בתעשיית העיבוד השבבי כנוזלי קירור, ומביאים לחיסכון כספי נוסף.

חברת חניתה ציפויים מיישמת טכנולוגיה של ננו־חלקיקים לציפוי יריעות פלסטיק בחומר מתכתי דק מאוד (עובי של חלקיקי ננו בודדים) לשימושים שונים וכן להצללה על ידי בליעת הקרינה האולטרא סגולה.

מחקר בהובלת פרופ' שמואל קניג ופרופ' עמוס אופיר ממכון שנקר הוביל ליישום מוצלח בתחום האריזות, על ידי שילוב חומרי ננו בולעי חמצן למוצרי בשר ובכך הגדיל את אורך חיי המדף ושיפור המוצר. מחקר נוסף בהובלת פרופ' שמואל קניג הוביל ליצירת פתרון לציפוי פלדה להגנה מפני בלייה.

הישגים נאים, תקציב דל

הגישור בין המחקר לתעשייה ייעשה בעזרת המדען הראשי, אבי חסון. בתוכנית שמתגבשת באחד ממסלולי התמיכה במו"פ בתעשייה מסורתית, שיעסוק גם בקידום ננו, ייבחרו בשלב ראשון כארבע חברות, כניסוי. אלה ייהנו מתמיכה כספית ומחוקר מלווה המתמחה בננו, לשנתיים.

באקדמיה מתמחים כיום כ-1,200 חוקרים במרכזי הננו, שחלקם כבר משתלבים בתעשייה, בעיקר בחברות כמו אלביט ותע"א, ובתחום האנרגיה, לצד החברות שמטמיעות ננו במוצריהן.

ישראל נחשבת לאחת המדינות שהגיעו להישגים טובים בעולם בתקציב דל יחסית של כ-70 מיליון דולר בשנה (ממשלה ותעשייה), לעומת כ-3 מיליארד דולר בשנה שמשקיעים בתעשייה בארה"ב ובאיחוד האירופי, בנפרד. בארץ פועלות כבר קרוב ל-200 חברות בתחום הננו. 10% מהן חברות גדולות, כמו אלביט, התעשייה האווירית, אינטל ופלסן, ואילו האחרות קטנות וחברות הזנק שצמחו מהמחקרים.

"באיחוד האירופי אומרים, שב-2025 לא יהיה ולו תחום אחד שלא ישולב בו ננו, וזה הכיוון שגם אנחנו רואים", אמר קוריאט. בסוף פברואר ייערך כנס בנושא שבו יוצגו 400 פרויקטים מתחום הננו זמינים לשילוב בתעשייה. המארגנים מצפים שבין האורחים יגיעו חברות רב־לאומיות שפתחו מרכזי מו"פ בארץ. "ננו יכול להתאים לרכב האוטונומי של גוגל, למאגרי מידע והגנות סייבר של פייסבוק ולכיווץ מאגרי תמונות", אמר קוריאט.

INDUSTRY 4.0- THE FUTURE OF PRODUCTIVITY AND GROWTH IN MANUFACTURING INDUSTRIES

BCG- The Boston Consulting Group/April 2015

כללי

העבודה בוצעה על הערכת האימפקט של המהפכה התעשייתית הרביעית INDUSTRY 4.0 על **התעשייה הגרמנית**. ההערכה בוצעה באמצעות ניתוחי מקרים ואירועים בתעשייה הגרמנית.

לפי הערכה זו המהפכה הזאת תתרום 1% לשנה לתל"ג, במשך כ 10 שנים ותיצור 390 אלף מקומות עבודה. בעבודה זו מוערך שההשקעה הנדרשת היא 1% עד 1.5% של הכנסות היצרנים השווה לכ- 250 מיליארד יורו ב 10 שנים.

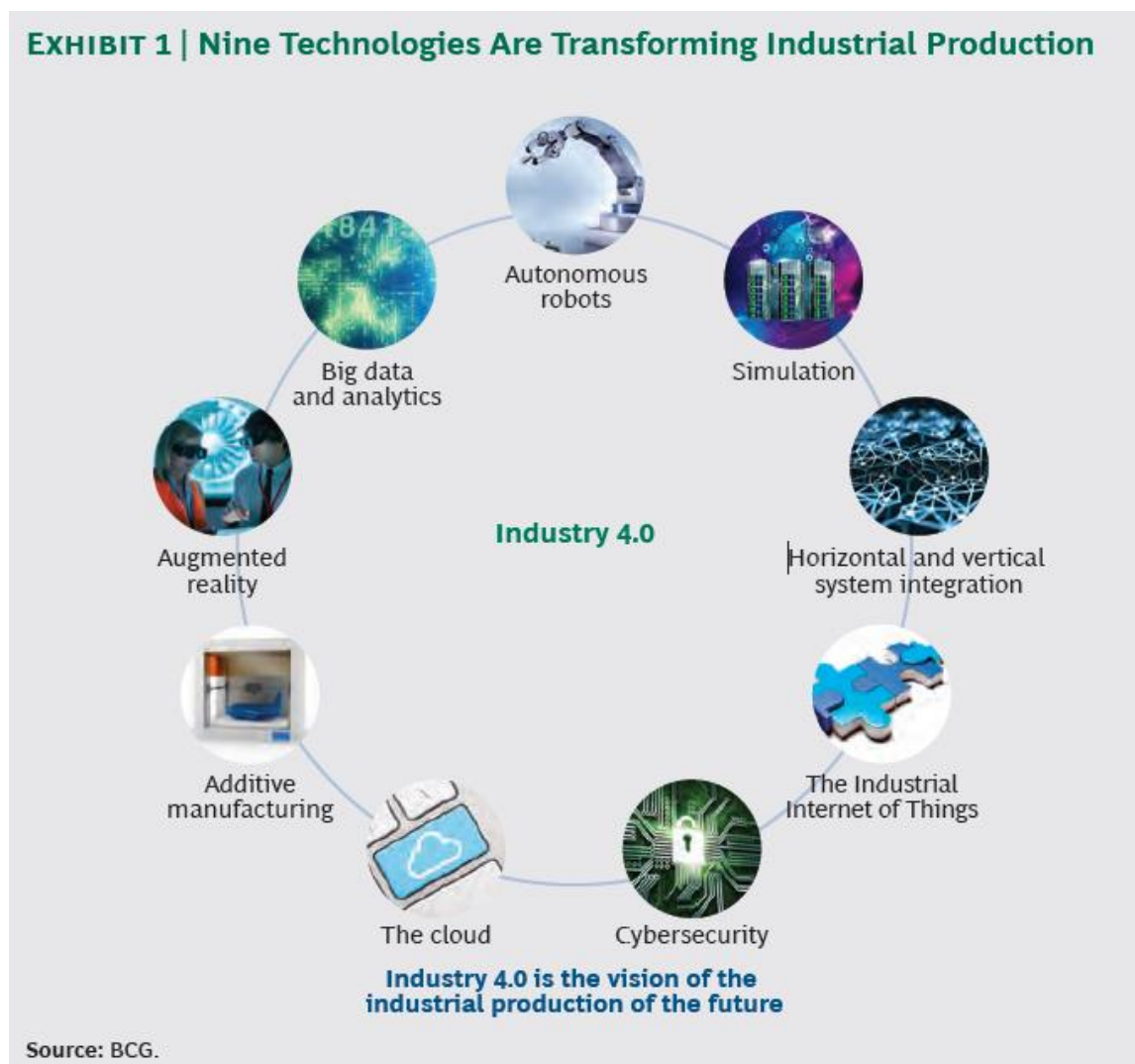
המהפכה אמורה להתרחש ב 20 שנה הקרובות, אבל רוב ההתקדמויות יגובשו בעשור הקרוב.

הטכנולוגיות העיקריות הכלולות במהפכה

כפי שמפורט בתרשים הבא 13.1 קיימות 9 טכנולוגיות עיקריות המהוות את עמודי התווך של המהפכה:

- BIG DATA ואנליטיקה של מידע ונתונים
- רובוטים אוטונומיים
- סימולציות
- אינטגרציה מערכתית אנכית ואופקית
- אינטרנט של דברים תעשייתיים
- אבטחת סייבר CYBERSECURITY
- הענן
- יצור בהוספה
- מציאות מורחבת AUGMENTED REALITY

- תרשים 13.1: 9 טכנולוגיות עיקריות המהוות את עמודי התווך של המהפכה התעשייתית

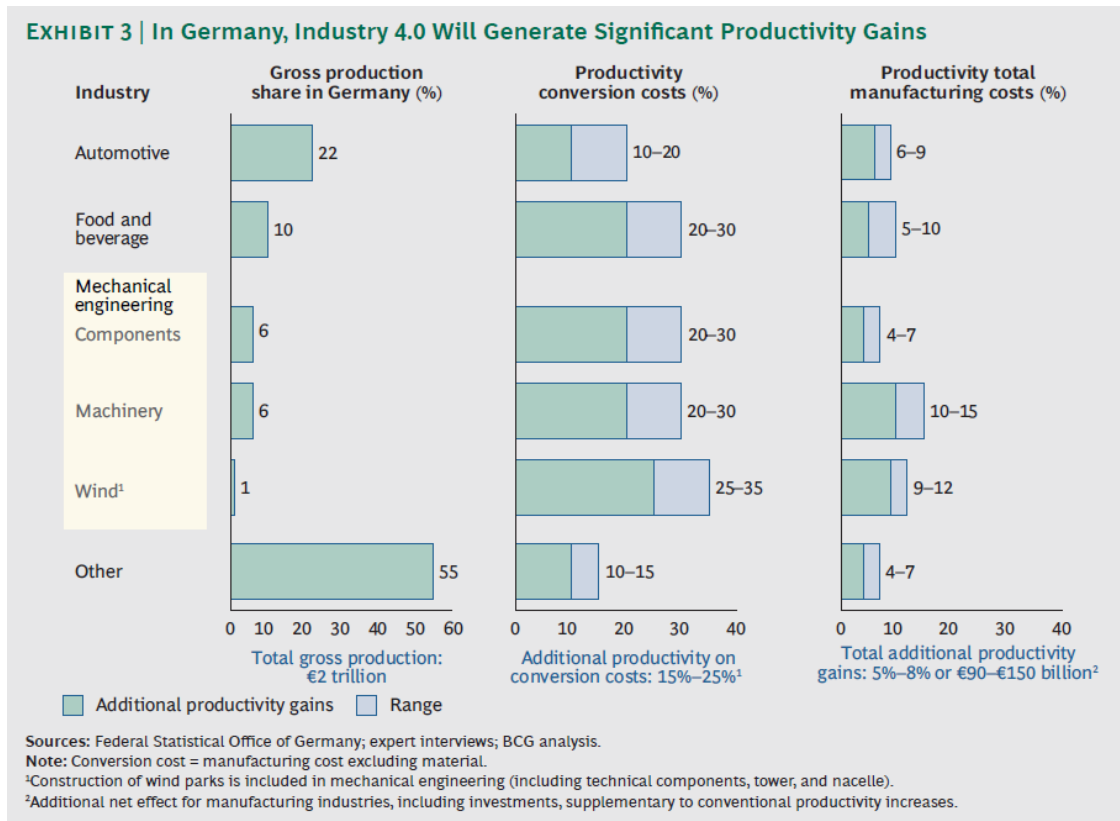


ההשפעה של INDUSTRY 4.0

ההשפעה בתעשייה הגרמנית צפויה בשיפור פריון, בגידול ההכנסות, בהיקף התעסוקה, בהיקף ההשקעות.

כמוצג בתרשים 13.2, סך היקף הפעילות התעשייתית בגרמניה היא 2 טריליון כאשר 22% הם בתחומי המכונות, 10% בתחומי המזון והמשקאות. לפי ההערכה של עבודה זו העלות של הפיכת התעשייה היא כ-15%-25% והגידול הצפוי בפריון עקב ההפיכה הזאת הם בסביבות 5%-8%. לפי הערכות אלו הגידול בפריון יביא לעוד 90-150 מיליארד יורו פעילות תעשייתית.

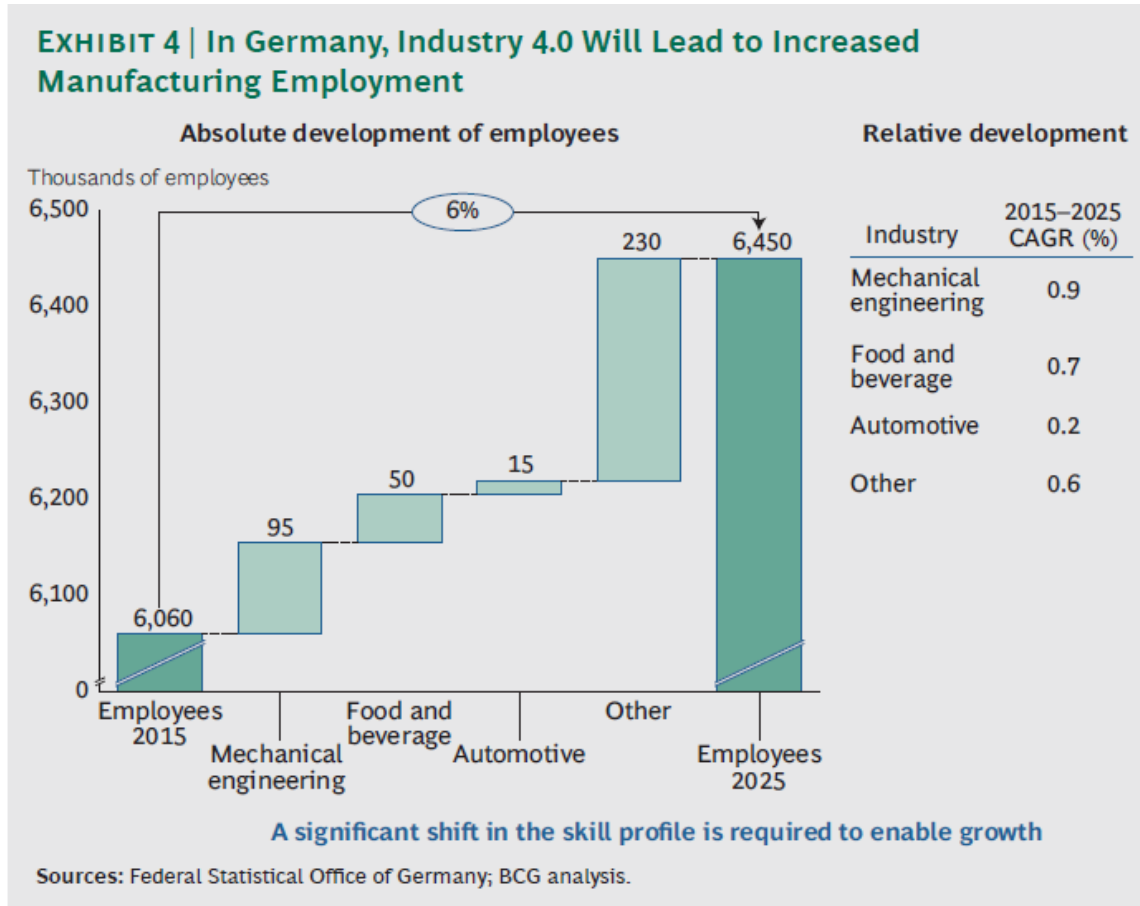
תרשים 13.2: סך היקף הפעילות התעשייתית בגרמניה



הגידול הצפוי בהכנסות התעשייה הוא 30 מיליארד יורו.

המהפכה הזאת צפויה להגדיל את הקף המועסקים בתעשייה בכ 6% כמוצג בתרשים 13.3, כאשר כמובן יהיה שינוי גדול בתמהיל העובדים לתכנתים, מנתחי מידע, מהנדסי מכונות ורובוטיקה, אנשי סימולציה ועוד.

תרשים 13.3: המהפכה ה-4.0 צפויה להגדיל את היקף המועסקים ביצור בגרמניה



ההשקעות הצפויות בתעשייה יהיו בהיקף 250 מיליארד יורו ב-10 השנים הקרובות.

לסיכום זו מהפיכה של ממש באופי התעשייה, בתמהיל המועסקים בתעשייה שתביא לגידול עצום בהיקף התעשייה ורמת הפריון שלה.

השפעה על יצרני המשנה

יצרני המשנה לאורך כל שרשרת האספקה צריכים להיות חלק מהמהפכה:

- יצרני המשנה מקבלים את המידע והדרישות ליצור דרך מערכות המידע האוטומטיות
- יצרני המשנה מצטיידים בציוד יצור מתקדם המשתלב מערכתית בתהליכי היצור הכוללים
- יצרני המשנה יוצרים גמישות לשינויים במוצרים המסופקים ומועדי האספקה

- יצרני המשנה יכולים להיענות לדרישות אופטימיזציה והתאמה למערכות המיוצרות בזמן אמת
- יצרני המשנה משתלבים במערכת הלוגיסטיקה האוטומטית דרך רובוטים, מערכות אוטונומיות, ואינטרנט של הדברים.

השפעה על ספקי מערכות יצור והרכבה

ספקי מערכות יצור והרכבה הם חלק חשוב במהפכה על ידי תכנון, יצור, אספקה של מערכות עם אוטומציה מרובה, עם קישוריות גבוהה בהעברת מידע, בתפעול וניתוב היצור, בבקרת האיכות ועוד.

כאן נדרש מאמץ גדול בתקינת הציווד כדי שידבר אחד עם השני בצורה שוטפת ואמינה.

התכנון קדימה

מדינות שונות ותעשיות שונות יאמצו את המהפכה התעשייתית הבאה בדרכים שונות המותאמות לנקודת המוצא שלהם ולמטרות שהם יציבו. הצעדים המקובלים:

- תכנון האימוץ והפיתוח של 9 הטכנולוגיות המתקדמות לפי סדרי עדיפות שיגובשו בכל מדינה ותעשייה
- תכנון ויישום התאמת כוח העבודה לדרישות החדשות
- יצרני מערכות היצור צריכים לפתח ולספק את המערכות המתקדמות לפי תכנית אסטרטגית ועסקית מותאמת לצרכי השוק והיכולות שלהם
- התאמת מערכות ותכניות החינוך בבתי הספר, תכניות הלימודים באקדמיה ותכניות ההכשרה כדי להתאים את המנהלים, המהנדסים, החוקרים, הטכנאים והעובדים לעידן החדש.

סיכום

המהפכה התעשייתית INDUSTRY 4.0 מהווה הזדמנות גדולה ליצרנים חדשניים, לספקי ציווד יצור טכנולוגי מתקדם, לספקי מערכות מתקדמות, לחברות וספקים מתקדמים, למערכות החינוך וההכשרה.

מהפכה זו מהווה גם איום לאלו שלא ישתלבו במהלך זה, או ישתלבו בו לא נכון.

נכון לתכנון ולהתכונן למהפכה זו ברמת המדינה, התעשייה, האזור, החברה ומערכת החינוך, ויפה שעה אחת קודם.

סקירת תכניות לאומיות נבחרות בתחומי היצור המתקדם

הוכן על ידי: שירי פרוינד-קורן, עידן ליבס

1. הקדמה

נספח זה סוקר מבחר של תכניות לאומיות שעניינן יצור מתקדם, בדגש על ארה"ב, אירופה וסין. תכניות אלו לרוב מתבססות על שיתופי פעולה בין הממשל, האקדמיה והתעשייה, במודלים שונים. בעוד שבאופן טבעי נבדלות המדינות השונות באופי התעשייה שבהן, בתרבות הארגונית ובסדרי הממשל, בכלן ניתן לזהות כיצד נעשה שימוש בשילוב של ידע מדעי, ניסיון מעשי ומדיניות מכווניה על-מנת להעניק למגזר התעשייתי כלים חדשניים אשר ישפרו את ביצועיו התחרותיים בזירה הגלובאלית.

2. ארה"ב

ממשל

תחת ה- U.S. Department of Commerce נמצא NIST (National Institute of Standards and Technology), שהינו מוסד ממשלתי וותיק (הוקם ב-1901) העוסק במחקר שמטרתו קידום היתרונות התחרותיים של התעשייה האמריקאית. במסגרת גוף זה, פועל המשרד ליצור מתקדם - Advanced Manufacturing National Program Office (AMNPO). הגדרת המשימה של המשרד הינה ריכוז וקידום שותפויות פרטיות-ציבוריות בתחומי היצור המתקדם הפועלות בשיתוף עם אוניברסיטאות, ותכנון ויישום יוזמות רוחביות חוצות משרדים בתחום תוך שיתוף הדדי של מידע. המשרד פועל בשיתוף עם משרד ההגנה, משרד האנרגיה, נאסא, ה- National Science Foundation, משרד החינוך ומשרד החקלאות. מתוך כך, משרד זה אחראי על התכניות הבאות:

- **תכנית NNMI** (National Network for Manufacturing Innovation) המאגדת גופים מהתעשייה, אקדמיה והממשל לכדי מוסדות העוסקים בשיתוף פעולה במטרה לקדם חדשנות ביצור. במסגרת תכנית זו, הושקה **תחרות** פתוחה להקמת מוסדות מחקר חדשים בתחומי היצור המתקדם שטרם קיבלו מימון פדרלי במסגרת כלשהיא.

המוסדות אשר הוקמו מתמקדים כל אחד בתחום טכנולוגי ספציפי המשרת את מטרת העל ומשלים את היכולות מיתר האשכולות. להלן פירוטם:



America Makes: The National Additive Manufacturing Innovation Institute



Digital Manufacturing and Design Innovation Institute (DMDII)



LIFT – Lightweight Innovations For Tomorrow



The Institute for Advanced Composites Manufacturing Innovation (IACMI)



American Institute for Manufacturing Integrated Photonics (AIM Photonics)



Advanced Functional Fabrics of America (AFFOA)

Clean Energy Smart Manufacturing Innovation Institute

- **תכנית AMTech** (Advanced Manufacturing Technology Consortia) במסגרתה מוענק מימון למאגדים מהתעשייה העוסקים בהתוויית מפות דרכים ארוכות-טווח למחקר תעשייתי. תכנית זו אוחדה עם תכנית NNMI בתחילת 2016, כאשר במקור מטרת AMTech הייתה התמקדות בהכנת מפות הדרכים אשר ישמשו בהמשך את NNMI להגדרת יעדי מו"פ.

אקדמיה

- אוניברסיטת ברקלי - Advanced Manufacturing for Energy (AME). קבוצה מולטי-דיסציפלינרית המתמחה בהתפסת תלת-מימד של "חומרים חכמים", כמו גם פיתוח חיישנים ומערכות לתחום ה-IoT
- אוניברסיטת MIT - פירוט פעילויות במסגרת יוזמת יצור מתקדם ב-MIT ניתן בנספח 15.

ממשל



בשנת 2008 הוקמה תחת תכנית ההבראה הכלכלית האירופית ע"י האיחוד האירופי שותפות פרטית-ציבורית (Public-Private Partnership, PPP) בנושא – מפעלי העתיד (Factories of the Future, FoF). שותפויות PPP שהוקמו במהלך מתווה התכנית השביעית למחקר של האיחוד האירופי (2007-2013 - FP7) כללו [150 פרויקטי-על](#) שנערכו על ידי חברות תעשייתיות ומוסדות מחקר מובילים באירופה. מתווה התכנית האירופית למחקר וחדשנות לשנים 2014-2020 – [Horizon 2020](#) – מאגד תחתיו את ה-PPP החדש של FoF שנבנה על הצלחות הנדבך הקודם לו. מטרת-העל של השותפות הינה פיתוח התעשייה באירופה לשם הגדלת הצמיחה ויצירת מקומות עבודה. מעורבותם של הגורמים התעשייתיים באיחוד האירופי מבטיחה שתוצרי השותפות יהיו טכנולוגיות שביכולתן להעניק את היתרונות התחרותיים ומקיימים הדרושים למפעלי העתיד. השותפים כוללים תאגידים קטנים כגדולים, אוניברסיטאות, גופי מחקר ואגודות מרחבי אירופה אשר עוסקים באופן פעיל במחקר ופיתוח של טכנולוגיות יצור, ויחדיו הם פועלים בשיתוף פעולה בפרויקטים רוחביים המתמקדים בטכנולוגיות יצור במגוון של מגזרי תעשייה. מפת הדרכים הרב-שנתית של ה-FoF לשנים 2014-2020 מתווה קווי-מנחה להתפתחותן של טכנולוגיות לתעשיות בעלות ערך מוסף גבוה, אשר יתרמו לביצועי מפעלי העתיד בהיבטי תוצר כמו גם קיימות סביבתית וחברתית, בהתאם לתעודף שנקבע בהמשך להליך היוועצות ציבורי ממושך ע"י EFFRA (ראה תחת **תעשייה** בהמשך). קולות קוראים בנושאי המחקר השונים מוכרזים מדי שנה ע"י הנציבות האירופית, וגופים מעוניינים יוצרים מאגדים המגישים הצעות, כאשר לאחר שלב הערכת ההצעות מוקצה להן שיעור של מימון מהאיחוד האירופי ויתרת המימון הינה בידי חברי המאגד. עד כה [למעלה מ-200 פרויקטים](#) הושקו במסגרת זו, בהשתתפותם של למעלה מאלף ארגונים שונים מאירופה.



אגודת המחקר האירופית של מפעלי העתיד (The European Factories of the Future Research Association, EFFRA) הינה הנציגה הרשמית של המגזר הפרטי בשותפות הציבורית-פרטית של "מפעלי העתיד".

FoF-Impact

FoF-Impact הינו פרויקט דו-שנתי שמרוכז ע"י EFFRA וממומן ע"י שותפות FoF, אשר מטרתו הינה לעזור ולזרז את תהליכי הטמעת הידע שנצבר בפרויקטי FoF בתעשייה.

גרמניה ומודל פראונהופר

בנוסף למספר רב של חברות בינלאומיות מובילות בגרמניה, נהנית המדינה מעושר של חברות קטנות ובינוניות (small and medium-size enterprises, SMEs). חברות אלו ברובן פונות לשווקי נישה, ובחלקן הגדול הן השחקניות המובילות בשווקים אלו; זאת, על-אף היותן יקרות לרוב ביחס למתחרים. את חלקן לפחות מהיתרון האיכותי של החברות הגרמניות הקטנות והבינוניות ניתן לשייך לארגון פראונהופר ([Fraunhofer-Gesellschaft](#) או Fraunhofer Society). זהו ארגון לא-ממשלתי עצמאי, אשר עוסק במחקר יישומי ומעשי באיכות גבוהה וטווחי זמן קצרים המשרת את צרכי הפיתוח של התעשייה. הארגון חולש על למעלה מ-60 מוסדות מחקר וכ-22,000 עובדים המתמקדים ב-250 תחומי מחקר הנמצאים בנקודות ההשקה שבין האקדמיה לתעשייה. הוא אף הקים שלוחות מחקר במדינות נוספות, כולל ארה"ב, צ'ילה, אוסטרליה, פורטוגל ואיטליה, ולאחרונה גם יצר שיתוף פעולה עם ישראל בתחומי הסייבר.

פעילותו של פראונהופר, האחראי לביצוע של 6,000-8,000 פרויקטים בשנה, נחשבת למוצלחת במיוחד, כזו התורמת באופן מוחשי לביסוס היתרון התחרותי של התעשייה אותה המחקר משרת. מכוני המחקר השונים פועלים באופן אוטונומי וממוקד תוצאות, וכל אחד מהם מקושר עם אוניברסיטה בעלת תחומי עניין משותפים. מכוני אלו מאופיינים בצידוד ברמה גבוה וקווי פיילוט

ליצור תעשייתי, תוך שיתוף פעולה עם ייצרני ציוד מקומיים. לפראונוהופר זכויות על אלפי פטנטים וידע קנייני אחר שנוצר במסגרת מחקריו. עם זאת, התמקדותו של ארגון זה על תעשיות מבוססות מונעת ממנו יצירת טכנולוגיות חדשות פורצות דרך, כאלו אשר יוצרות ענפי תעשייה חדשים.

מודל פראונוהופר הינו מודל קלאסי לשותפות תעשייה-ממשל, בו המימון נחלק לשלושה מקורות – המדינה, מחקר עבור גופים פרטיים ומחקר במימון ציבורי (כאשר בפועל, חלקו של המימון הפרטי שאינו נתמך במענקים ותמיכות אחרות קטן באופן יחסי). אלו מעניקים לארגון יציבות תקציבית, המושתתת על התפיסה בממשל לפיה מחקר יישומי הינו תשתית לאומית לכל דבר. כמו כן, ניתן דגש לחינוך מקצועי המשלב לימודים אקדמיים עם חניכה במפעלים, המספקת כוח עבודה מיומן ובעל כישורים טכנולוגיים ברמה גבוהה. גישה משלבת זו ננקטת גם בפראונוהופר, המעסיקה מאסטרנטים, דוקטורנטים וחוקרי פוסט-דוק במשרות חלקיות במקביל ללימודיהם, ובכך מאפשרת להם לרכוש ידע מעשי טרם השתלבותם בתעשייה או בתפקידים באקדמיה.

מקור: Charles W. Wessner, W. C. (2013). "How Does Germany Do It?". The American Society of Mechanical Engineers (ASME). <https://www.asme.org/engineering-topics/articles/manufacturing-processing/how-does-germany-do-it>

4. אנגליה



פארק היצור המתקדם (Advanced Manufacturing Park, AMP) הינו מיזם משותף למגזר הציבורי והפרטי שמטרתו ליצור מרכז עולמי להנדסה, חדשנות, מחקר ומצוינות תעשייתית, אשר ממוקם בדרום יורקשיר. בכוונת המיזם למנף ידע וניסיון אזורי בתחומי ההנדסה והיצור ע"מ לחזק את היתרונות התחרותיים של החברות המקומיות. הפארק הינו בית למספר ארגוני מחקר מובילים, בהם (AMRC) Manufacturing Research Centre with Boeing של אוניברסיטת שפילד ובואינג (ראה פירוט בהמשך), Rolls-Royce, Castings Technology International (CTi), TWI Nuclear AMRC-ו Technology Centre. ארגונים אלו מספקים לגופי תעשייה בכל הגדלים והענפים למנף את פעילותם ע"י שימוש בטכנולוגיות מתקדמות. למעלה מ-700 איש עובדים בפארק, כולל מהנדסים ממדינות שונות, בהם גם ישראלים.

מרכז המחקר ליצור מתקדם (Advanced Manufacturing Research Centre, AMRC) הינו שיתוף פעולה של אוניברסיטת שפילד וחברת בואינג, עוסק במחקר של מכונות וחומרים לענף התעופה וענפי תעשייה נוספים שהינם בעלי ערך-מוסף גבוה. שותפות זו בין האקדמיה לתעשייה הפכה למודל בעבור מרכזי מחקר דומים ברחבי העולם. מרכז המחקר פועל הן מול חברות קטנות ובינוניות והן עם תאגידים בינלאומיים, במודל של פרויקט חד-פעמי או במעמד של חבר בארגון; למעלה מ-80 חברות משלמות דמי חבר המעניקים להן גישה למשאבי המרכז והשפעה על תכניות המחקר. ב-AMRC ישנם חמישה תחומי פעילות משותפים עיקריים: מכונות, יצור משולב, חומרים מרוכבים, בדיקות מבניות ותכנון אבות-טיפוס. פרויקטי המחקר הינם מבוצעים במסגרת כללית – בה התוצאות משותפות לכלל החברים, במסגרת פרטית – בה לחברה המזמינה יש בלעדיות על תוצרי המחקר, או במסגרת פרויקטי חדשנות הממומנים ע"י גורמים חיצוניים בממשל או באיחוד האירופי והעשויים לכלול שותפויות עם גורמי מחקר חיצוניים אחרים. כ-500 מהנדסים וחוקרים מהעולם מועסקים במרכז, הפועל בשני מתחמים ייעודיים בפארק היצור המתקדם.



AMRC הינו החבר הראשון במסגרת הממשלתית למרכזי חדשנות טכנולוגית הנקראת Catapult. תחת מסגרת זו מתקיימת התאחדות בתחומי התעשייה המתקדמים – the High Value Manufacturing Catapult – המאגדת שבעה מרכזי מו"פ מובילים ונתמכת ע"י סוכנות החדשנות הבריטית Innovate UK.

5. סין

סין מפתחת תעשייה מתקדמת באמצעות מגוון של אסטרטגיות השקעה בתחום. פיתוח טכנולוגיות ייעודיות לצרכי השוק הסיני - מדיניות הנקראת "zizhu chuangxin" – ביטוי המכוון לחדשנות מקומית, או יתרון יחסי מקומי בתחום החדשנות. מדיניות זו מתמקדת בהפחתת תלות בטכנולוגיות מחוץ למדינה תוך השקעה בחדשנות מקומית להגדלת יכולות היצור, המותאמות לצרכי השוק והקטנת זמן הגעה לשוק של טכנולוגיות אלה. (Breznitz and Murphree 2011)

בנוסף, משקיעה סין בפיתוח טכנולוגיות להן יעילות כפולה – הן לשוק צבאי והן לשוק המקומי.

[בתכנית החמש שנתית מספר 13](#) שפורסמה בסין, עבור השנים 2016-2020, ששמה למטרה להכפיל את ה-GDP מ-2010 לאדם עד 2020 גם באזורים עירוניים וגם באלה הכפריים, כתוב

במפורש שסין תשקיע ביצור מתקדם ובתעשיות רלוונטיות אליו (אנרגיה, מידע, ביוטכנולוגיה, ציוד מתוחכם ועוד).

אקדמיה



המרכז לטכנולוגיות ליצור מתקדם באקדמיה הסינית למכונאות, מדע וטכנולוגיה (China Academy of Machinery Science & Technology (CAMTC) הוקם מתוך ארגון מחדש של המרכז למחקר הנדסת מכונות. הקמת המרכז אושרה על ידי המשרד הסיני להנדסת מכונות (לשעבר) והוועדה הלאומית למדע וטכנולוגיה ב-1997, החלטה שאושררה והורחבה ב-2006.

המרכז הוקם במטרה להגדיל חדשנות טכנולוגית, להזין את התעשייה הצעירה והחדשנית ואת תעודות אנשי המקצוע הרלוונטיים.

CAMTC מכיל ארבעה גופים מחקריים הכוללים מרכז טכנולוגי להנדסת חומרים, מרכז יצור לציוד מתקדם ועוד.

CAMTC מפעיל תשתיות תמיכה ביניהן מרכז ארצי להדגמה והעברת טכנולוגיות, מרכז ארצי לקידום שת"פ בינ"ל בתחומי המדע והטכנולוגיה ופלטפורמת חדשנות בתחומי יצור פלסטיק ופולימרים.

תעשייה

[קרא להשקעה ביצור מתקדם](#) הוקמה בבייג'ינג ב-8.6.2016 במטרה לסייע לקידום התחום במדינה.

ההחלטה על הקמת הקרן התקבלה על ידי State Council והוצאה לפועל על ידי National Development and Reform Commission, משרד האוצר ומשרד התעשייה וטכנולוגיות המידע הסיני.

הקרן מתקיימת במודל שותפות מוגבלת והיא מוכוונת שוק. הסכום ראשוני שגויס על ידי הקרן עמד על כ-20 מיליארד יואן (\$3.05B) כולל 6 מיליארד יואן ממשרד האוצר הסיני. שאר הגיוס נעשה ממשיקיעים כולל State Development & Investment Corp. והבנק הסיני למסחר ותעשייה (the Industrial and Commercial Bank of China).

הקרן תשקיע בסקטור היצור המתקדם, תקדם חדשנות בתעשייה המסורתית ותסייע בהצאת טכנולוגיות עילית.

מסמך זה סוקר דוגמאות נבחרות לתוכניות לאומיות בתחום היצור המתקדם, בממשל, באקדמיה ובתעשייה. המדינות בהן מתמקדת הסקירה הינן ארה"ב, סין, אירופה בכלל וגרמניה ואנגליה בפרט; מדינות אלו נבחרו בהיותן מעצמות תעשייתיות מובילות, אשר שמו לעצמן למטרה לשמר ולחזק את יכולותיהן בסקטור היצור התעשייתי.

בכל אחת מהמדינות ניכרים מאפיינים ייחודיים בגישתן ליצור המתקדם, הנובעים מהיתרונות היחסיים והאסטרטגיה המובילה אותן, הבאים לידי ביטוי באופן ובאופי המוסדות והתכניות ליצור מתקדם המיושמים בהן. כך, בארה"ב ניכר הדגש ששם הממשל על חדשנות טכנולוגית פורצת דרך, תוך חלוקה לתחומים מובילים ושילוב בין שיתוף-פעולה ובין תחרותיות בחיבור בין המוסדות האקדמיים ומשרדי הממשלה הרלוונטיים. באירופה, לעומת זאת, נראה כי לתעשייה חלק נכבד בפיתוח התחום, דבר הבא לידי ביטוי בהשתתפות פעילה בתכניות הממשלתיות ונטילת חלק במימון תשתיות מחקר יישומי, כאשר המוקד הוא ביסוס יתרונות תחרותיים בתחומי ההנדסה והטמעת חדשנות בתהליכי היצור, מתוך ראייה חברתית רחבה השואפת לקידום אזורי באמצעות שילוב של מערכת החינוך והתעשייה לשם יצירת תעשייה איכותית ותחרותית אשר תספק מקומות עבודה איכותיים. סין, בהיותה מעצמת יצור עולמית, מעוניינת לשמר ולחזק את מעמדה ככזו – יעד לאומי המוגדר בתכנית החומש האחרונה שלה – ובבד בבד מעוניינת לפתח טכנולוגיות חדשניות בעצמה על-מנת להפחית את תלותה בידע זר; על-מנת לצמצם את הפער הקיים בפיתוח חדשנות טכנולוגית, מושקעים בסין משאבים כספיים עצומים תוך גיוס גופים ממשלתיים בשיתוף פעולה עם התעשייה לשם האצת החדשנות, תוך השענות על שוק מקומי חזק ומתפתח.

בבואה של ישראל לגבש אסטרטגיה בתחום היצור המתקדם, עליה למצוא את היתרונות היחסיים שלה בתחומים המשיקים ולמצוא דרך למנפם בפיתוח התעשייתי באופן סינרגי. כך, לדוגמא, ניכר כיום הפער הגדול שבין הרמה הטכנולוגית הנמוכה שבתעשייה המסורתית, ובין היכולות החדשניות ופורצות הדרך ברמה העולמית הקיימות בקרב חברות ישראליות המפתחות פתרונות למגזר זה.

צוות של ה-MIT הוביל בשנים 2011-2013 עבודת מחקר ובחינה על קידום יצור מתקדם בארה"ב. המחקר הסתיים בדוח המכונה PRODUCTION IN THE INNOVATION ECONOMY (PIE) וכולל בין השאר המלצות מדיניות המפורטות בנספח 2 בדוח שלנו. ממצאי המחקר סוכמו בשני ספרים שיצאו בהוצאת ה-MIT :

Production in the Innovation Economy

Making in America: From Innovation to Market

לאחר סיום המחקר, פרסום ממצאיו והצגתם בפורומים שונים, צוות המחקר פוזר ונושא קידום יצור מתקדם ב-MIT עבר למרכז [MIT- INNOVATION INITIATIVE](#) הנקרא גם MITii. את המרכז הזה מנהלת Krystyn Van Vliet.

על בסיס המלצות המחקר נוצרו כמה יוזמות:

שותפות ציבורית- פרטית לקידום יצור מתקדם המכונה Advanced Manufacturing Partnership (AMP) שבראשה עומדים במשותף נשיא MIT ונשיא DOW.

מרכזי קונסורציום הפועלים ליצירת אקוסיסטם של חדשנות ביצור NNMI - National Network for Manufacturing Innovation Institutes

ה-MIT שותף בשלב זה ב-4 מתוך 8 מרכזי הקונסורציום שכל אחד מהם מתמחה בתחום טכנולוגי אחר. למשל המרכזים בהם שותף ה-MIT :

מרכז לסיבים פונקציונאליים – Functional Fibers of America (AFFOA) Institute

מרכז זה במחקר, לימוד, פיתוח, הדרכה ויישום סיבים ובדים מתקדמים וחכמים. הפונקציונליות מוענקת לסיבים אלו באמצעות ננוטכנולוגיה ותוכנה. הפונקציונליות של הסיבים כוללת מגוון של תכונות ויכולות, כמו: תקשורת, חישה, ראייה, צילום, מדידה, חימום וקירור. השימוש הפוטנציאלי בסיבים פונקציונליים הוא ברוב התחומים: הגנה וביטחון, תחבורה, מערכות יצור, ביגוד, מערכות רפואיות, מוצרי צריכה אלקטרוניים. [ליותר פרטים וסרטונים על המרכז לסיבים פונקציונליים](#)

[לחצו כאן](#)

מרכז לפוטוניקה - AIM Photonics

מרכז זה עוסק בעיקר בהכשרה והדרכה של יצרנים בשימוש בטכנולוגיות מעגלים משולבי פוטוניקה. [לפרטים נוספים לצו כאן](#)

מרכז לאלקטרוניקה היברידית גמישה NextFlex

מרכז זה מסייע ליצרנים לאמץ וליישם טכנולוגיות מעגלים היברידיים גמישים. [לפרטים לחצו כאן](#)
בכל אחד מהמרכזים מבצעים מחקרים, ומכשירים/מחנכים את דור העתיד של כוח העבודה בתחומים אלו.

תכניות החינוך וההכשרה של ה MIT יחד עם שותפים תעשייתיים:

- תכנית מסטר בהנדסה של יצור- זו תכנית של 12 חודש, בו הסטודנטים לומדים מגוון תחומים ביצור מתקדם ומבצעים פרויקט גמר בו הם מתמודדים עם אתגרים המוצגים על ידי התעשייה. חלק מסטודנטים ממשיכים ללימודי דוקטוראט המוצעים בתכנית. [לפרטים לחצו כאן](#)
- מעבדה ליצור ופריון- זו מעבדה רב דיסציפלינארית לימוד ותרגול בפועל של מערכות יצור, ביצוע מחקרים יישומיים בתחומי יצור, והכשרת מנהיגים לתחומי היצור. [לפרטים לחצו כאן](#)
- מנהיגים לפעילות גלובלית – תואר כפול-מדעי וניהולי
- יום יצור לאומי (מתקיים שנתיים באוקטובר)
- מפות דרכים ואסטרטגיות לטכנולוגיות יצור מתקדמות
- מרכז לקידום ביצועים בתעשייה
- קונסורציום למערכות יצור עם פוטוניקה משולבת המובל ע"י ה CIPSM – MIT
- קונסורציום למבנים תעופתיים עם חומרים מרוכבים יחד עם ננוהנדסה (NCST) המובל ע"י ה MIT
- קונסורציום לחיזוי העתיד של יצור מתקדם המובל ע"י אוניברסיטת מישיגן- הקונסורציום יוזם ומבצע מחקרים מתקדמים בתחום שמשמשים את כל הגורמים בעלי עניין בהתפתחויות ובחידושים בתחום. [לפרטים לחצו כאן](#)

מיזמים יחד עם גופים ממשלתיים:

- פורטל Manufacturin.gov
- משרד תכניות לאומי ליצור מתקדם AMNPO
- משרד ליצור מתקדם במסגרת משרד האנרגיה - זהו מרכז העוסק במחקר, פיתוח, לימוד, הדרכה ויישום טכנולוגיות חדשניות ומתקדמות במפעלי תעשייה לצורך היסכון באנרגיה, לקידום השימוש באנרגיות מתחדשות ונקיות. המרכז הזה גם משקיע בגישור בין המחקר

הבסיסי באקדמיה ליישום בפועל בתעשייה-AMO: Bridging the Innovation Gap - פרטים בקישור: <http://energy.gov/eere/amo/research-development-projects>

- תכנית לקידום טכנולוגיות יצור במשרד ההגנה- זו תכנית מגוונת ומושקעת בעשרות פרויקטים של קידום יצור חדשני ומתקדם בתעשיות הביטחון וההגנה- היא כוללת מחקר, פיתוח, לימוד והדרכה, יישום טכנולוגיות ושיטות מתקדמות ליצור מתקדם. פרטים על סוגי הפרויקטים, היקפם והישגיהם בקישור: [/https://www.dodmantech.com](https://www.dodmantech.com)
- מועצת יצור במשרד המסחר

פרטים על כל התכניות והיוזמות הללו אפשר למצוא וללמוד בלינק הבא:

[/https://innovation.mit.edu/research-policy/advanced-manufacturing](https://innovation.mit.edu/research-policy/advanced-manufacturing)

סיכום

ב-MIT מתקיימות עשרות תכניות לקידום יצור מתקדם הכוללות מחקר, לימודים, פיתוח ויישום של מגוון טכנולוגיות ויוזמות בתחומי יצור מתקדם. ה-MIT מוביל ושותף במגוון גופים לאומיים המקדמים את הידע והיישום של יצור מתקדם בתעשייה האמריקאית.

אנו מעריכים שה-MIT מהווה מודל לחיקוי של גוף אקדמי מוביל בתחומי יצור מתקדם.

מומלץ לגופי האקדמיה המובילים בישראל ללמוד מה-MIT ולאמץ ולהתאים גישות ויוזמות בישראל.

דוח מיפוי של חברות בישראל העוסקות בטכנולוגיות של יצור מתקדם ADVANCED
MANUFACTURING

הוכן ע"י: שירי פרוינד-קורן, עידן ליבס

מבוא

המרכז למצוינות תעשייתית במוסד שמואל נאמן עוסק מספר שנים בפיתוח וקידום התעשייה הישראלית. במסגרת זו, מזה זמן מה עוסק צוות המרכז בגיבוש מדיניות לאומית לקידום יצור מתקדם במדינת ישראל. להבנתנו פיתוח יכולות ותשתיות יצור מתקדם בישראל יכולות להביא למספר הישגים חשובים לתעשייה הישראלית:

- יצירת המשכיות לתעשיית ההייטק הישראלית על ידי אימוץ טכנולוגיות יצור מתקדם במפעלי הייטק. במקום להוציא את היצור למזרח- להשאיר אותו בישראל תוך יישום היצור בטכנולוגיות מתקדמות וחדשניות. להערכתנו, זה יכול גם להוות מענה חלקי למגמות ה EXIT בתעשיית ההייטק הישראלית.
- יצירת הזדמנויות לפיתוח חברות הייטק המתמחות בתחומי הציוד, המחשוב והמערכות התומכות ביצור מתקדם
- הכנסת טכנולוגיות יצור מתקדם למפעלי התעשייה המסורתית משפרות בצורה מהותית את הפריון של מפעלי התעשייה המסורתית והופכות אותו למפעל הייטק מבחינת שיטות היצור.

עבודה זו מתמקדת בקידום ייצוא טכנולוגיות בתחום היצור המתקדם, על ידי מיפוי התעשייה הישראלית בתחום זה, כדי לאפשר למנהל לסחר חוץ במשרד הכלכלה לסייע באיתור הזדמנויות בעולם עבור החברות הישראליות בתחום.

המיפוי כולל:

- סקירה תמציתית של ספרות עדכנית על תהליכי יצור מתקדם ועל מגמות עולמיות בתחום זה
- מיפוי חברות ישראליות המספקות פתרונות עבור יצור מתקדם, ציון סוג הפתרונות והטכנולוגיה שהן מספקות, התייחסות לשלב ההתפתחות של החברה הטכנולוגיה, ציון סוגי התעשייה-לקוחות שהחברה פונה אליהן.

העבודה בוצעה על פי הצעת המחיר של מוסד שמואל נאמן מדצמבר 2015 והזמנת העבודה ממנהל סחר חוץ/משרד הכלכלה והתעשייה מ- 8.2.16.

העבודה בוצעה על ידי צוות מוסד נאמן: שירי פרוינד ועידו ליבס בהנחיית דר' אביגדור זוננשיין ודר' גילי פורטונה מהמרכז למצוינות תעשייתית.

תהליך המיפוי

המיפוי כלל איתור חברות בישראל העוסקות בפיתוח ויישום טכנולוגיות יצור מתקדם בארץ ובעולם. לכל חברה סיכמנו את המידע על יכולותיה בתחומי טכנולוגיות יצור מתקדם בהם החברה מתמחה. המידע הזה כולל בין השאר:

- שם החברה והלוגו שלה
- תאריך הקמת החברה (התמקדנו בעיקר בחברות חדשות, בהנחה שטכנולוגיות יצור מתקדם מתפתחות בעיקר בשנים האחרונות. הוספנו חברות וותיקות אם אבחנו שהן מפתחות יכולות חדשניות ליצור מתקדם בשנים האחרונות)
- סווג החברה לאחת מ 7 טכנולוגיות יצור מתקדם שהוגדרו בדוח האמריקאי על אסטרטגיית פיתוח יצור מתקדם בארה"ב (ראה נספח 2 בסיכום שלנו על יצור מתקדם)
- תיאור תמציתי של עיקרי העסק
- לקוחות היעד (verticals) - התבססנו בעיקר על המידע באתר החברה וידע אישי שלנו
- תיאור המוצרים והפתרונות שהחברה מפתחת או מציעה בשוק
- מספר העובדים בחברה על פי דווח החברה
- רמת הבשלות של הטכנולוגיה שהחברה מתמחה בה. התבססנו על הצהרת החברה לפי הסיווגים: SEED, R&D, Initial Revenues, Revenues Growth
- קישור לאתר החברה - יש לציין שרוב האתרים נראים לנו מעודכנים ואינפורמטיביים

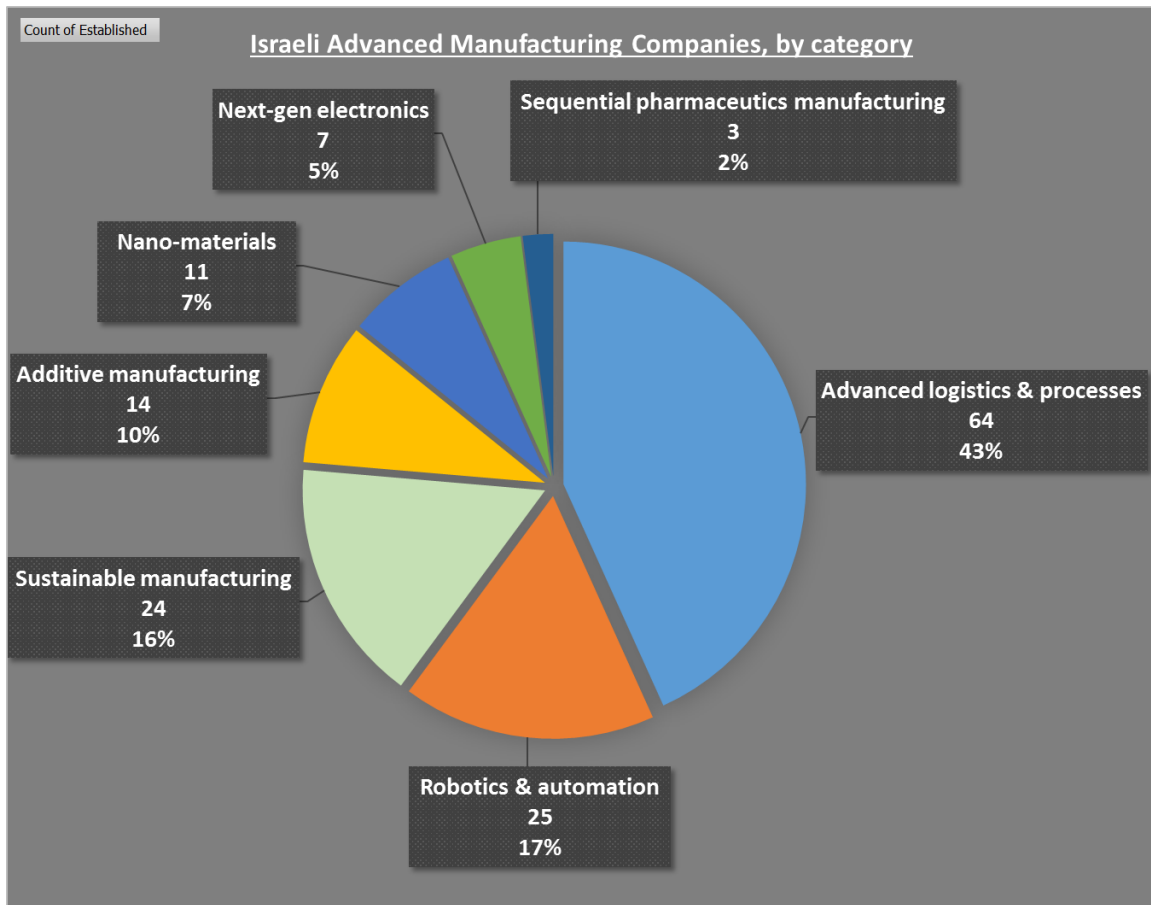
מקורות המידע עליהם התבססנו במיפוי הם:

- מאגר IVC
- דוח שהופק עבור מכון היצוא, ואנו סיננו מתוכו את החברות שלהערכתנו רלוונטיות ליצור מתקדם
- אתר איגוד הרובוטיקה
- ידע אישי ומחקר עצמאי

ממצאים עיקריים

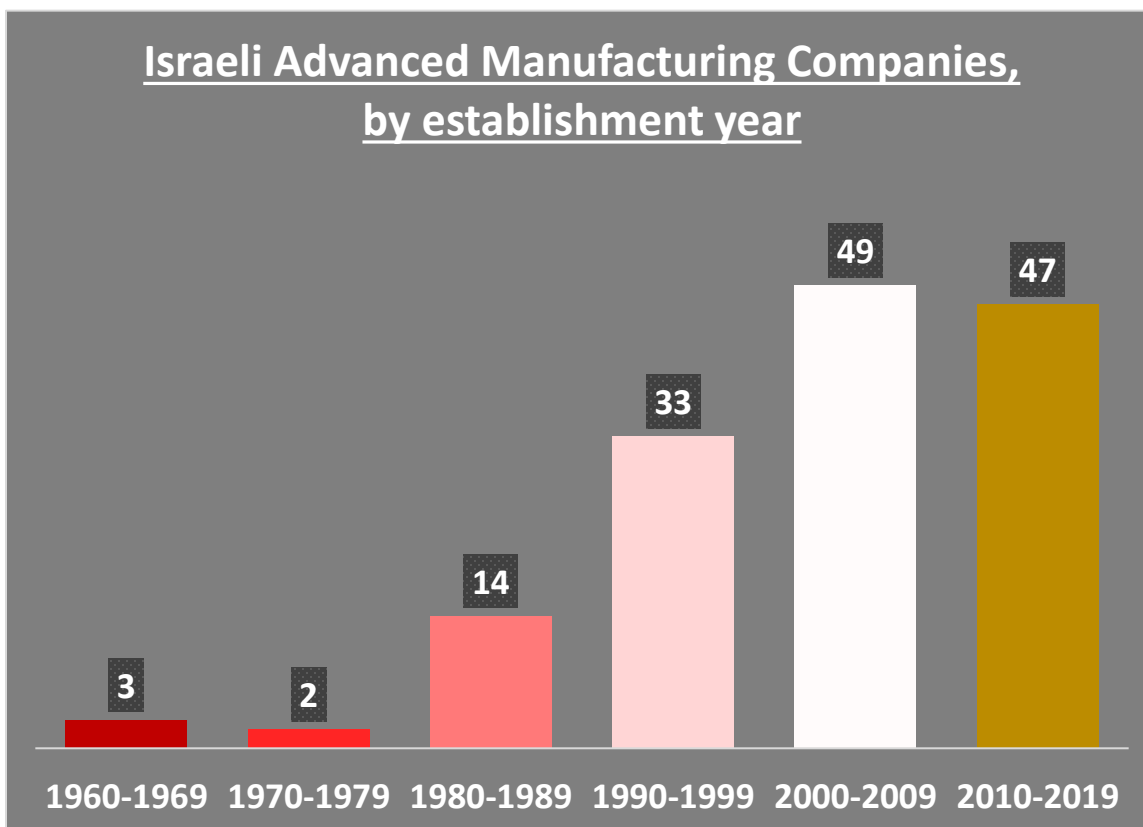
- איתרנו כ 150 חברות בישראל העוסקות ומתמחות בטכנולוגיות יצור מתקדם.
- חלוקת החברות לפי 7 הקטגוריות מתוארת להלן בתרשים 16.1:

תרשים 16.1: חלוקת החברות לפי 7 הקטגוריות



- מספר החברות הרב ביותר 43% משתייך לקטגוריית לוגיסטיקה ותהליכים מתקדמים
- במקום השני והשלישי בהיקף יחסי של 17% ו- 16% משתייכות חברות מתחום הרובוטיקה והאוטומציה, וחברות מתחום היצור בר קיימא, בהתאמה
- רק במקום הרביעי נמצא חברות מתחום היצור בהוספה - MANUFACTURING - ADDITIVE שמאפיין את ההתמחות של יצור מתקדם

רוב החברות נוסדו אחרי שנת 2000, אבל יש גם חברות ותיקות יותר שנוסדו בשנות ה-90. יש לציין שוב שסינון חברות וותיקות שנראה לנו שלא חידשו טכנולוגיות ומוצרים בתחום בשנים האחרונות. פילוג מועד הקמת החברות בתחום מוצג בתרשים 16.2 הבא:

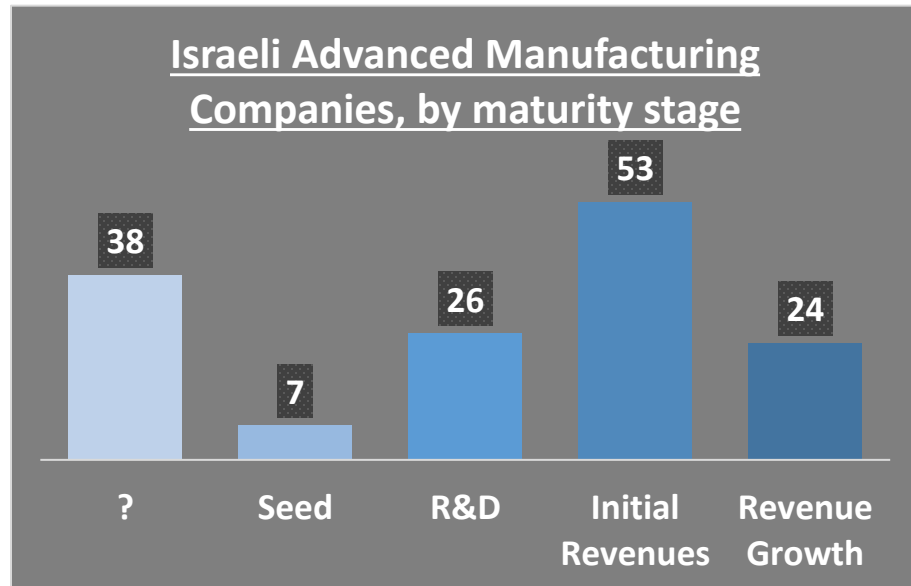


- ניתוח לקוחות היעד של החברות שאיתרנו במיפוי זה מתבסס על המידע באתרי החברות ובמקורות המידע שצוינו לעיל. באתרי החברות נמצא מידע על לקוחות בפועל וגם הצהרת כוונות לתחומי לקוחות עתידיים. על בסיס מידע זה גיבשנו רשימה ראשונית של כ- 20 תחומי עיסוק תעשייתיים של לקוחות בפועל ופוטנציאליים. רשימה זו מפורטת להלן. בנוסף באקסל הכולל יש פירוט גדול יותר של תחומי עיסוק אפשריים של הלקוחות הפוטנציאליים. למידע זה ניתן גם בחיפוש שמות תחומי עיסוק המעניינים את המשתמש באקסל. דוגמא לממצאי חיפוש כזה עבור תעשיית המזון והמשקאות ניתנת בנספח 1.
- לחלק של החברות הצלחנו להעריך את שלבי הבשלות של החברה בעיקר על פי הצהרת החברה או מאגר IVC. בהתאם כללנו מידע זה בטבלה לפי הסיווגים: Initial, R&D, SEED, Revenues Growth, Revenues. פילוג החברות לפי רמת הבשלות ניתן בתרשים 16.3 להלן. מפילוג זה נראה שרוב החברות נמצאות התחלת הכנסות או אפילו בשלבים יותר מוקדמים. זה כמובן מדגיש את הסטאטוס המתפתח של תחום זה.

תחומי עיסוק תעשייתיים של לקוחות בפועל ופוטנציאליים מפורטים בטבלה הבאה :

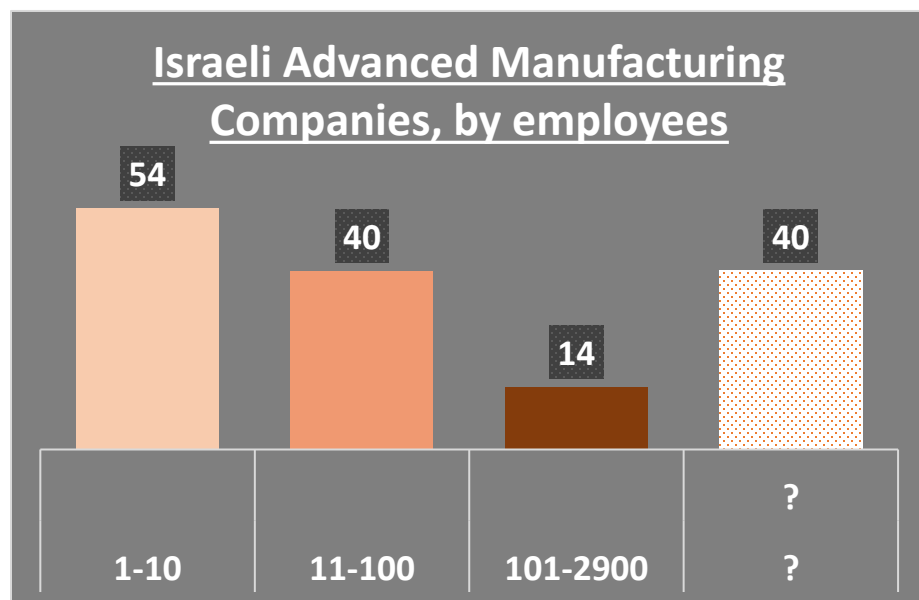
Automotive	Display
Aviation / Aerospace	Solar PV
Mining, drilling & refining	Glass
Medical	
Water and wastewater	
Semiconductors	
Textile	
Paper	
Print	
Packaging and Containers	
Wood	
Agriculture	
Food	
Security	
Defense	
Pharmaceuticals	
Chemicals	
Metals	

תרשים 16.3: שלבי הבשלות של החברות בתחום



- מספר העובדים בכל חברה מצוין בתרשים 16.4 והוא בטווח מעובד אחד עד 2900 עובדים באחת החברות. פילוג היקף העובדים ניתן בגרף הבא (16.4) ומציג את שונות היקף העובדים בתחום, וריבוי חברות קטנות ובינוניות.

תרשים 16.4: פילוג היקף העובדים של החברות בתחום



סיכום והצעת פעילות המשך

תחום היצור המתקדם מתפתח בעולם בארץ. בעבודה זו הצגנו מיפוי של חברות ישראליות שמפתחות ומציעות פתרונות וטכנולוגיות מתקדמות וחדשניות בתחום, ליישום בארץ ובשוק העולמי.

חברות אלו יכולות להיות שותפות, בין השאר, לשלושה מהלכים חשובים לתעשייה והמשק הישראלי:

- שיפור הפיריון בתעשייה על ידי יישום והטמעת שיטות מתקדמות אלו בתעשייה הישראלית
- יצוא טכנולוגיות יצור מתקדם לתעשייה העולמית, המשוועת היום לשיטות יצור המשנות את כללי המשחק
- משיכת השקעות בינלאומיות לארץ כדי לפתח את טכנולוגיות היצור המתקדם בישראל

אנו מעריכים שעבודה זו תורמת לקידום מהלכים חשובים אלו.

אנו מציעים להעמיק ולהרחיב עבודה זו על ידי הפעילויות הבאות:

- ביקורים ומפגשים בחברות המתמחות בטכנולוגיות יצור מתקדם ותיעוד היכולות, אפשרויות היישום וכווני ההתפתחות בארץ ובח"ל
- ביקורים ומפגשים בחברות ישראליות שיישמו טכנולוגיות ושיטות יצור מתקדמות, תיעוד תהליך היישום, תיעוד ההשפעות של היישום על התפוקות וההתייעלות בחברות (המטרה: ליצור סיפורי הצלחה של הוכחת יכולת הטכנולוגיות שתסייע בשווק ליצוא)
- בחינה עם החברות המתמחות בטכנולוגיות יצור מתקדמות מה יכול לסייע ולתמוך בהתפתחותן
- נבחר בעיקר חברות בעלות חדשנות פורצת דרך, שיש להן לדעתנו פוטנציאל ליצוא אבל עדיין לא מימשו פוטנציאל זה בהיקף משמעותי

סיכום מפגש שולחן עגול בנושא יצור מתקדם שהתקיים במוסד נאמן ב-17.4.16

משתתפים: עמרי רנד, גילי פורטונה, דן וילנסקי, חיים רוסו, אריה מהרשק, רון קנת, דני וייס, אבי שטוב, יריב בכר, גיורא שלגי, אבנר שדמי, ליאור אפלבלאום, רפי קוריאט, רמי בונן, ראובן כץ, חיים רוזנסון, אמנון שיריזלי, אוהד דולב, דפנה גץ, שירי פרוינד, עידן ליבס, רפי נוה, ליאור זילברמן, ארז כרפס, רונית אביב, דב חייט, לבנה זגורי, אסף גרינוולד, איתן תפארת, עוזד אמיר, דן זר, שי אסל, דני ספרן, יובל וייס, גלעד אייל, תמר דיין, אביגדור זוננשיין.

רקע: יצור מתקדם ADVANCED MANUFACTURING הוא יישום טכנולוגיות מתקדמות ביצור מוצרים ומערכות, כאשר שואפים ל"שבור מוסכמות" של יצור ליניארי ההופך חומרי גלם למוצרים ומערכות. יצור מתקדם מהווה מגמה עולמית למעבר ליצור מתוחכם, כדי להתמודד בין השאר עם המעבר של מפעלי היצור למזרח הרחוק ולמזרח אירופה. בסיס היצור במערב הולך ונשחק. למציאות זו יש תוצאות בעייתיות: התעשייה במערב מאבדת מיליוני מקומות עבודה ביצור, התעשייה במערב מאבדת את הידע והניסיון בתחומי היצור, החברות במערב מאבדות את הקשר האינטימי החיוני עם היצור שמדרבן לחדשנות, לפיתוח משפחות מוצרים ועוד. לאור זאת מדינות המערב התעשייתיות יזמו את ההשקעה ביצור מתקדם, כדי להחזיר את בסיס היצור למדינות אלו. כאמור, יצור מתקדם הוא מבוסס ידע, חדשנות, תחכום ברמת המפתחים והעובדים. במדינות התעשייתיות במערב מכנים מהלך זה "המהפכה התעשייתית הרביעית". לישראל יש ידע רב בטכנולוגיות הנדרשות אך, להערכתנו, המצב של התעשייה הישראלית בהיבטי יצור מחייב שדרוג רציני כמעט בכל הענפים, ובמיוחד בתעשייה המסורתית. מגמת היצור המתקדם מהווה הזדמנות לשדרוג מהותי של התעשייה הישראלית בהיבטי פריון, חדשנות ותחרותיות ובנוסף למנף את היכולות כדי לשלב חברות ישראליות בגיבוש ויישום הפתרונות

במרכז למצוינות תעשייתית במוסד שמואל נאמן התנענו מחקר יישומי לגיבוש מדיניות לאומית ליצור מתקדם בתעשייה הישראלית. במסגרת זו אנו עורכים סקר ספרות בתחום, נפגשים עם מומחים ותעשיינים בעלי עניין בתחום, מקיימים סקר חברות ישראליות בתחום (בהזמנת משרד הכלכלה) ויזמנו שולחן עגול זה כדי לקיים סיעור מוחות בסוגיות הבאות:

- מה מידת הבשלות של המגמות השונות ביצור מתקדם- בעולם ובארץ?
- האם נחוצה תכנית לאומית לפיתוח וקידום יצור מתקדם בישראל?
- לאיזה הישגים אנו צופים ביישום יצור מתקדם בתעשייה בישראל?
- כיצד נכון לקדם חברות ומיזמים בישראל המפתחים יכולות בתחומי יצור מתקדם לפעילות בעולם (מכירות, שווק, שיתופי פעולה ועוד) ?

סדר המפגש: פתחנו בסבב היכרות של משתתפי המפגש, הצגנו בתאום עם פרופ' OLIVIER de WECK מה MIT-בידאו את סקירתו על התכנית האמריקאית לקידום יצור מתקדם וחכם.

בהמשך הצגנו את מטרות המפגש והציפיות שלנו מהסיעור מוחות באמצעות המצגת הבאה.

בהמשך נפתח סיעור מוחות והעלאת עמדות ורעיונות מכל משתתפי המפגש.

עיקרי הדברים שהועלו על ידי משתתפי השולחן העגול:

- רצוי לפשט נושא מורכב זה ולהתמקד ב 2-3 כווני פעולה עיקריים שמביאים לתועלות הגדולות ביותר
- נכון להקים במסגרת זו מרכזי מו"פ יישומי המתמחים בתעשייה
- כדאי להתמקד בתחומים שיש לנו יתרון יחסי (התמקדות באפליקציות, שיפור תהליכים ולא פיתוח תהליכים חדשים)
- נכון לזהות את אוכלוסיית היעד. מוצע שאוכלוסיית היעד היא התעשייה היצרנית הקיימת.
- רצוי להתמקד ביישום לשיפור פריון ולא בפיתוח טכנולוגיות.
- כדאי לברר עד כמה זה דחוף וחשוב להצטרף למגמה זו (3 אפשרויות: אין כאן מהפיכה אמיתית אלא שידוד מערכות תקופתי, יש מהפיכה חדשה של יצור מתוחכם כחלק מיצור מתקדם, יש כאן שינוי מהיר של טכנולוגיות יצור שחייבים להטמיע במהלך פיתוח המוצרים)
- כדאי להתמקד ביצור בהוספה, מהפיכה תעשייתית 4.0 נראית גדולה מידי ולא ממוקדת.
- בתעשייה המסורתית כיום יש בעיית פריון שהיא הופכת לבעיה כלכלית וחברתית. שיטות יצור מתקדם יכולות להביא לחדשנות במוצר וחדשנות בתהליכי היצור. רצוי שתהיה גישה ומסגרת על לקידום הנושא. במסגרת זו נכון להקים מכוני מו"פ לתהליכים תעשייתיים, שיהוו מרכזי ידע ומצינונות עבור התעשיות השונות לקידום מוצרים ותהליכים מתקדמים. מכוני מו"פ ידעו מתי נכון להיעזר באקדמיה.
- צריך לגבש ולגדל את הדור הבא של אנשי התעשייה שמתמחים ביצור מתקדם וחדשני. יצור והנדסת יצור זו התמחות גם ברמה האקדמית וגם ברמה המעשית-יישומית.
- החינוך וההכשרה כיום בתחומי היצור היא של שיטות קלאסיות ישנות. זה נכון לרוב הדיסציפלינות של היצור. צריך להשקיע בהכשרה וחינוך שיטות מתקדמות ומתוחכמות.
- כדאי ללמוד ממה קרה בעבר בתחומי מיקרואלקטרוניקה, בו שולבו באופן הדוק תהליכי הפיתוח והיצור, וגם שולבו כלי הפיתוח וכלי היצור.
- לחברות בישראל יש קושי מבני להתמודדות עם מורכבות. כיוון שהעולם הוא מורכב, נכון להעניק למנהלים ולחברות יכולות להתמודד עם מציאות מורכבת. למשל על ידי קידום DATA SCIENCE, ניהול באמצעות נתונים, קידום ידע בניתוח ניסויים מעורבים. כרגע המצב בחברות הישראליות אינו מזהיר ונדרש מהלך משמעותי לשינוי מצב זה.
- רוב החברות המצליחות שייכות לחברות רב לאומיות הקובעות ומטמיעות סטנדרטים גבוהים.

- צוואר בקבוק בחברות רבות הוא השוק . השוק המקומי לא מספק ולכן חייבים לעמוד בסטנדרטים בינלאומיים ולפנות ליצוא.
- נכון לבחון הקמת פראונהופר ישראלי.
- הוזכרה אמנת ונגרד ליצור מתקדם. כדאי ללמוד במה מדובר.
- מעוניינים בכך שברמה הלאומית יקודם נושא חומרי הגלם (אבקות) ליצור בהוספה- על ידי: השקעה בציוד לאטומיזציה, הקמת מרכז אבקות. ייתכן ויש כאן פוטנציאל מדעי ועסקי משמעותי.
- מושקע הון רב בעולם בתחום יצור בהוספה ADDITIVE MANUFACTURING ונכון להיות בו.
- הפעילות היא במספר חומרים כמו: טיטניום, טונגסטן ועוד. שיטות היצור גם הן במספר כוונים כמו לייזר EPT ו BEAM TECHNOLOGY, שמכונים . גם האפליקציות הן שונות-חלקים תעופתיים, חלקי מכוניות, שתלים רפואיים, תכשיטים ועוד. פרנהופר משקיע בקידום תחום זה, במחקרים, יישומים, תקינה ותערוכות. יש חברות כמו WOOLER ASSOCIATED שמרכזים מידע על שווקים, כווני התפתחות ומגמות.
- בתחום פיתוח מערכות הדפסה תלת ממד בארץ- החלוצים לא מצאו משקיעים, לעומת זאת הממשיכים הצליחו. כדאי ללמוד מתהליך זה וממחיר החלוציות.
- רוב המפעלים הקטנים בארץ הם קבלני משנה BTP. כדי להניע קבלני משנה להיכנס לתחום יצור מתקדם- החברות הגדולות והמזמינות צריכות להניע את המהלך. בנוסף, אם מעוניינים שגם למפעלים הקטנים יהיו מוצרים עצמאיים וחדשניים באמצעות יצור מתקדם, נכון להוציא קולות קוראים ליוזמות כאלו.
- בנושא יצור בהוספה יש פערים בארץ בתחומים כמו: הבטחת איכות, סימולציות ועוד ביצועים. פערים אלו ניתן לסגור גם בשיתוף האקדמיה.
- נכון לבצע מיפוי התעשייה המסורתית בהיבטי פערי יצוריות, פערי שוק בהיבט הגלובאלי.
- כדי להשקיע נכון ואפקטיבית ביצור מתקדם נכון להגדיר קריטריונים להשקעה נבונה.
- מספר מדינות בעלות כלכלות מתקדמות (כמו גרמניה, ארה"ב) מפתחות תכניות לאומיות בתחום יצור מתקדם. נכון שישראל גם כן תפתח תכנית כזאת המותאמת למצב בישראל. תכנית כזאת היא תשתית חשובה לפיתוח התעשייה והכלכלה בישראל.
- הוצג שיש חשש שתהיה לנו מדינה ללא יצור. לכן נושא קידום היצור המתקדם הוא קריטי ודחוף. כל התעשיות המתקדמות כולל ההייטק, הביטחון והחלל עלולות להיפגע מחוסר תשתית יצור מתקדמת. נכון לרתום את האקדמיה לתחומים אלו. בנושא החינוך של הנוער- יש התקדמות במשרד החינוך בהשקעה בחינוך בתחום הרובוטיקה. יש תכנית של משרד החינוך ללימודים ופרויקטים ברובוטיקה בכ- 200 בתי ספר, במופעלת על ידי תעשייה. צריך להרחיב ולהעמיק תכניות כאלו.
- יצור מתקדם אינו רק 7 הטכנולוגיות שצינו בתחילת המפגש אלא גם איך להטמיע וליישם טכנולוגיות אלו בתעשייה. נכון לגבש דרכים שיביאו את התעשייה לאמץ טכנולוגיות אלו.
- מיפוי החברות הישראליות העוסקות בתחום הוא חשוב ומבורך.

- כדאי לגבש רשת תקשורת בין משתתפי שולחן עגול זה ובין בעלי עניין בקידום יצור מתקדם בארץ.

סיכום תובנות עיקריות עליהן הייתה הסכמה במפגש:

- המהלך העולמי של יצור מתקדם הוא בעל פוטנציאל תרומה משמעותי לתעשייה הישראלית ונכון להשתלב בו בתחומים בהם יש לנו יתרון יחסי, ולהתמקד במספר מצומצם של כווני פעולה עיקריים שמביאים לתועלות הגדולות ביותר.
- קיים איום על התעשייה הישראלית שהיא תישאר ללא יצור תחרותי. זהו איום לא רק על היקף מקומות העבודה בתעשייה, אלא גם מהווה איום על חדשנות הפיתוח עקב הנתק משרשרת היצור. לכן זהו מהלך אימוץ שיטות יצור מתקדמות ומתוחכמות הוא חיוני ודחוף.
- ההשקעה בחינוך התלמידים בבתי הספר והסטודנטים להנדסה בתחומי יצור מתקדם (רובוטיקה, הדפסות תלת ממד, מדעי הנתונים, סנסורים...) היא מהלך מפתח במסגרת זו. כמו כן, חיוני להשקיע בחינוך והכשרת עובדים, מהנדסים ומנהלים בתעשייה בתחומי יצור מתקדם.
- לאקדמיה יש מספר תפקידים חשובים במהלך זה: מחקרים יישומיים בתחומי יצור מתקדם כדי לקדם את הידע בישראל בתחום זה, הקמת מרכזי מו"פ יישומי לצורך העברת ידע על יצור מתקדם למפעלים, הכשרת סטודנטים להנדסה בתחומי היצור המתקדם.
- היעד הראשון של שדרוג היצור הוא בתעשייה המסורתית. נכון לקיים בה מהלך כולל ומערכתי.

המלצות עיקריות:

- להמשיך בפעילותנו לגיבוש מדיניות לאומית לקידום יצור מתקדם בישראל. במסגרת זו נכון לגבש כווני הפעולה בהם נכון להתמקד על פי קריטריונים מוגדרים מראש. במהלך זה נפעל לשיתוף נציגי משרדי הממשלה הרלוונטיים והרשויות הרלוונטיות.
 - הפורום שהשתתף במפגש שולחן עגול ישמש לנו כפורום היוועצות באמצעות תקשורת שוטפת ומתמידה.
 - להקים מספר צוותי משימה משותפים שיקדמו נושאים ספציפיים, כמו:
 1. תכנית לחינוך ליצור מתקדם,
 2. פיתוח ההשקעה של האקדמיה ביצור מתקדם (כולל הקמת מרכזי מו"פ יישומיים)
 3. שדרוג תעשייה מסורתית בשיטות יצור מתקדם
- הערה: בכל צוות משימה ישתתפו גם תעשיינים בעלי עניין.
- להשלים מיפוי התעשיות היכולות לתרום בתחום זה ולשלב נציגי תעשיות אלה במאמץ.

תעשייה וחדשנות



מוסד שמואל נאמן
למחקר מדיניות לאומית

טל. 04-8292329 | פקס. 04-8231889
הטכניון – מכון טכנולוגי לישראל
קרית הטכניון, חיפה 3200003
www.neaman.org.il