

## מהנדס מנחם הרטמן

### שמירת שבת בתעשייה

#### (א) הבעיה

התעשייה היא מרכיב חשוב שאי אפשר בלעדיו במדינה מודרנית. לכן, כאשר באים לדון במדינה המתנהלת על פי ההלכה, חייבים לתת את הדעת למרכיב זה. במסגרת מאמר זה נעסוק רק בהיבט הלכתי אחד של התעשייה, ושמירת השבת. להבנת העניין יש לזכור כי מרבית המוצרים נעשים בתהליך תעשייתי הן משום מורכבותם, ובגלל הכדאיות הכלכלית של ייצור המוני בלבד. אי לזאת, מדינה הרוצה וצריכה לבסס עצמה מבחינה כלכלית, חייבת לפתח תעשייה משלה כדי לספק מאקסימום של מוצרים לצורכי עצמה, ולפתח מוצרים ליצוא כדי לשלם בעבור המוצרים שעליה לרכוש. המציאות הקיימת בארץ היא, שקרוב למאה מפעלי תעשייה עובדים בשבת בהיקף זה או אחר, ומחללים שבת. ניתן לסווג את הסיבות לכך שמפעלים עובדים בשבת לשלושה סוגים עקריים:

- (1) מפעלים שעובדים בתהליך רציף.
- (2) מפעלים שעובדים בתהליך שנתי "ארוך".
- (3) מפעלים המנצלים את השבת לפעולות אחזקה וניקיון.

#### תהליך רציף

תהליך רציף הינו תהליך ייצור שבו זורם החומר דרך מערכת הייצור באורח קבוע ללא שינויים, ואין צורך בהתערבות היצרנית אלא במקרה של תקלה. התהליך מופסק אך ורק במקרה של תקלה, או – לעיתים רחוקות – לצורך תחזוקת הציוד. תהליך כזה יעיל ומבוקר יותר מאשר תהליך שנתי, שכן לאחר שפעם אחת הביאו אותו לכדי שיווי משקל הוא מתמשך פחות או יותר ללא תקלות. כמרכן עלולה הדממת תהליך כזה להימשך עשרות שעות, ואם הדבר נעשה מהר יותר מן המתוכנן, יכול הדבר לגרום נזק לציוד עד כדי הריסתו. החזרתו לשיווי משקל לאחר הפסקה כזו היא תהליך קשה, היכול להימשך מספר ימים.

במשך מאתיים השנים האחרונות נעשה מאמץ מחקרי גדול להפיכת התעשייה לרציפה, על מנת להגיע לכמויות ייצור גדולות יותר ואחידות בייצור. כתוצאה מכך הפכה סיסמת התעשייה להיות Keep it running... בכל מחיר, וזאת עקב הקושי הגדול בעצירה והמחיר הכבד של הפסקה בייצור. להלן שתי דוגמאות לתהליכים רציפים מן הסוג הנזכר.

א. זיקוק נפט: תהליך הזיקוק נעשה על ידי חימום חומר הגלם והעברתו דרך דרגות שונות של חימום, כאשר בכל שלב נפרד חלק אחר של החומר מתוכו. הבאת החומר הזורם לטמפרטורה המדוייקת בכל שלב ושלב הינה תהליך מסובך וארוך. השגת שיווי משקל במערכת כזו יכולה להימשך מספר ימים.

ב. ייצור מלט: חומרי הגלם המורכבים מסלעי גיר וחמרה עוברים שלבי הכנה שונים הכוללים טחינה וערבוב. לאחריהם מועבר החומר דרך תנור מסוג "כבשן מסתובב", שאורכו כשלושים מטר ובו מגיע החומר לטמפרטורה גבוהה מאוד, נשרף, ומשתנה. התנור מרופד בלבנים חסיני אש הרגישות לשנויי טמפרטורה מהירים. חימומו של התנור או קרוורו בקצב מהיר יגרמו בהכרח לסדקים ושברים בחומר הריפוד (הלבנים). עצירת סיבוב התנור לפני שיתקרר במידה מספקת, תגרום התעקמות הצינור. הבאת התנור ממצב עמידה לטמפרטורה מלאה לוקח שלושה ימים וזמן מקביל דרוש לעצירתו.

#### תהליך שנתי "ארוך"

היינו, תהליך אחד או הרכב של מספר תהליכים עוקבים, שאין אפשרות להפריד ביניהם, והוא נמשך מספר ימים. תהליך כזה, הנמשך שלושה ימים וחצי ומעלה, אם התחילוהו במוצאי שבת קודש, הרי שאין אפשרות להתחיל במנה שנייה מבלי להיכנס לשבת הבאה. או תהליך הנמשך ארבעים ושמונה שעות בלבד, מאפשר שתי מנות בשבוע אם אין עובדים בשבת, ומשמעות הדבר בשני המקרים שהוזכרו עבודה חלקית בלבד, המעמידה תעשייה זו בשאלה חמורה של כדאיות. מובן, שהמקרה הקיצוני ביותר הוא תהליך הנמשך למעלה משבוע מלא, שהוא עצמו כבר נכנס לשבת, אך במקרה זה, יש להתייחס אליו כאל תהליך רציף.

דוגמא לתהליך זה הוא ייצור חומרי הדברה המצריכים שמונה עשרה שעות לתהליך. התהליך מורכב אמנם מארבעה עד חמישה שלבים, אך לפי שמוצרי הביניים אינם יציבים, אם לא יימשך התהליך ברציפות יתקלקלו חומרי הביניים. מפעל זה אם לא יעבוד בשבת יספיק שבע מנות בלבד. דהיינו ניצול של שבועים וחמישה אחוז מכושר ייצורו (מאה עשרים ושש שעות מתוך מאה שישים ושמונה). דוגמא נוספת: מפעל המייצר תרופות

עובד בתהליך מתמשך של שמונים שעות, וממילא מאפשר תהליך כזה רק מנה אחת בשבוע ללא חילול שבת, ופירוש הדבר שהנצולת במפעל תהיה חמישים אחוז בלבד.

#### מפעלים המנצלים את השבת לפעולות תחזוקה וניקיון

קיימים מפעלים שבהם בעיית הפסקת התהליך אינה בעיה, אך עובדים בהם שלוש משמרות – דהיינו עשרים וארבע שעות ביממה ובסך הכל שבע עשרה וחצי משמרות בשבוע. אך לנוכח ה"צפיפות" שבשעות עבודת המפעל אין מתחזקים או מתקינים דברים חדשים, ולפעמים אף דוחים פעולות ניקיון. כל זה נעשה בסוף השבוע כאשר העבודה הרגילה שובתת, וממילא מחללים על ידי כך את השבת. דבר זה קורה במספר גדול של מפעלי שימורים, בהם יש לחץ עבודה עונתי, במפעלי טקסטיל ובמפעלי עץ גדולים.

#### (ב) פיתרונות

פיתרון הבעיות יחולק להלן בהתאם להצגת הנושא לחלקיו לעיל.

#### תהליכים רציפים

כאשר באים לטפל בפיתרון בעיות השבת בתהליכים רציפים, הדבר הראשון שמתבקש הוא הגברת האוטומאציה ושימוש במחשבים. שני נושאים אלה (אוטומאציה ומחשבים) התקדמו מאוד בשני העשורים האחרונים, ובעזרתם ניתן לצמצם את מספר העובדים העוסקים בפיקוח על התהליכים, עד למינימום. למרות זאת אין מגיעים למניעה מוחלטת של נוכחות עובדים בשבת, משום שעדיין אין מערכת אוטומאטית היכולה להחליף את העובד הצריך להתערב במקרה של תקלה, ולהפעיל שיקול דעת במקרים חריגים. ייתכן שבעתיד עם התפתחות הבינה המלאכותית ישתנה דבר זה, אך עדיין חזון למועד.

במקרים רבים, כאשר לא ניתן להפסיק תהליך רציף, ניתן ל"הקפיאו" על ידי שינוי אחד הפאראמטרים השולטים בתהליך. לדוגמא: ריאקציות המתרחשות בטמפרטורה גבוהה ניתן לפעמים להפסיקן על ידי הורדת הטמפרטורה בכמה עשרות מעלות, ובמקביל ניתן לשמר את התהליך במצב "מקורר" זה. תוצאה דומה ניתן להשיג לעיתים גם על ידי שינוי הלחץ או סילוק הקטליזטור מתוך התהליך.

לדוגמא: בתהליך פיצוח, המתרחש בטמפרטורה של שמונה מאות מעלות,

ואין אפשרות להפסיקו אלא בתהליך איטי מאוד בגלל חשש לסדקים בדפנות התנור עקב מאמצים טרמיים, אם ניתן לעצור את הראקציה הכימית על ידי הורדת הטמפרטורה או הלחץ, או סילוק פיזי של הקטליזטור ולהשאיר את המערכת חמה למשך השבת, הרי שהגענו להקפאת התהליך ופתרנו את בעיית השבת באותו מפעל. שינוי כזה בתהליך, מחייב פיתוח והשקעת משאבים בכך, כולל הרצה במתקני פיילוט (Pilot), מתקני ניסוי מוקטנים).

כבר הוזכר לעיל ענין ההשקעות העצומות שנעשו במשך מאתיים השנה האחרונות להפיכת התהליכים לרציפים. אילו הושקע ולו אחוז קטן מן המאמץ הזה (הן כספית והן מחקרית), בהוספת אפשרויות עצירה לתהליכים הרצופים, בודאי לא היינו מתלבטים היום בבעיית שמירת שבת בתעשייה. לפעמים קשה להבין מדוע הוזנח נושא זה בפיתוח התעשייתי, כאשר חשיבותו גדולה ביותר לא רק לגבי שבת, אלא גם לגבי שליטה בתהליך במקרי תקלה, כאשר נאלצים להפסיק בגלל קלקול פליטת קיטור חזקה או אפילו הפסקות חשמל ארוכות בגין תקלה חיצונית. במקרים כאלה, כאשר התהליך אינו מותאם להפסקות וההפסקה הינה בלתי נמנעת, הנזק הנגרם הוא עצום.

בסוף שנות החמישים הוקם בארץ מפעל לייצור סוכר. על אף פניות הרבנים, תוכנן המפעל לעבודה שבעה ימים בשבוע ברציפות. בעונה הראשונה של הפעלת המפעל, בגלל שגיאת אנוש, אירע פיצוץ במערכת הקיטור של המפעל, והמפעל נעצר לשלושה ימים לצורך תיקון המערכת. ולפי שלא תוכנן פיתרון להפסקות חירום, תמיסת הסוכר שקעה בצנורות ובמתקנים לפני שהספיקו לרוקנם. הדבר גרם להפסקה ארוכה בייצור ולאיבוד חלק רציני מן העונה החקלאית לעיבוד סלק סוכר (העונתיות היתה ביסוד הסיבה לתיכנון העבודה שבעה ימים). אחרי שנים נפגשנו במקרה עם מתכנן המפעל – יהודי אמריקאי שומר מצוות. הוא סיפר כי בשעתו הציע למזמינים לתכנן תהליך המבוסס על הפסקה שבועית כפי שהדבר מקובל במספר מפעלים באירופה (הפועלים שם מסרבים לעבוד ביום ראשון...) אך בעלי המפעל התעקשו לקבל תהליך רציף, כולל שבת.

דוגמא אחרת שבה נמצא פיתרון על ידי שינוי קטן בתהליך הוא מפעל לייצור שמן מגרעיני כותנה. במפעל זה קולים את גרעיני הכותנה המרוסקים. לאחר מכן ממצים מתוכם את תכולת השמן לתוך בנזין ומפרידים בין התמיסה המכילה בנזין ושמן לבין החומר המוצק, בתהליך אידוד. לאחר מכן מעבירים את אידי הבנזין ומחזירים אותם לתהליך. כאשר הוצע לבעלי המפעל זה לעבוד בהפסקה שבועית הם סירבו. טענתם היתה שבכל הפסקה והתנעה מחדש, פורצות כמויות עצומות של אידי בנזין אל מחוץ למתקן

העיבוי לאטמוספירה. אידי הבנזין מהווים סכנה בטיחותית, וכן הפסד כספי גדול למפעל. לאחר ניתוח טרמרדינאמי של התהליך, התברר, שהדבר נובע משטחי קירור קטנים מדי במתקן העיבוי בעבור מצב מעבר של תחילת התהליך, משום שהם תוכננו רק למצב של שיווי משקל כאשר התהליך רץ. כאשר הגדילו את שטחי הקירור של מיתקן העיבוי, המפעל הצליח להיכנס לשיגרה של שישה ימי עבודה בצורה מסודרת. לשון אחר, על ידי הגדלת שטחי הקירור יותר אידיים מתקררים ומתעבים ונשארים בתוך המערכת ובכך: (1) אינם נפלטים לאטמוספירה ומזהמים אותה; (2) אין הפסד כספי משום שהבנזין חוזר לשימוש. ממילא לא היתה סיבה למפעל להמשיך בעבודתו בשבת.

### (ג) תהליכים שנתיים ארוכים

מרבית הדברים שנאמרו לגבי תהליך רציף, יהיו נכונים גם לגבי תהליכים שנתיים ארוכים. כלומר, אם יעלה בידינו להביא לידי הפסקה בתהליך בתכנית מראש או נצליח ליצור הקפאת התהליך כפי שהוצא בפרק הקודם, נוכל לפתור בעיות שבת בתהליכים אלה. נוסף לכך, אם נוכל להפוך את המוצר באחד משלבי הביניים למוצר יציב, הרי שנוכל לעצור בו את התהליך ולהמשיכו במוצאי שבת קודש.

### (ד) עבודות שבת הנובעות מפעולות תחזוקה

כמו שכתבנו לעיל אין בנושא זה בעיה עקרונית – טכנולוגית, אלא בעיה ארגונית כלכלית של רצון להרוויח חצי משמרת עבודה. ההוכחה הטובה ביותר לקיום אפשרות עקרונית לביצוע כל פעולות התחזוקה מבלי להזדקק לעבודת שבת, הם אותם מפעלים העובדים בתהליך רציף, שלהם אין ה"שבת הפנויה" לתחזוקה. אותם מפעלים מצליחים לבצע את רוב פעולות התחזוקה תוך כדי ייצור. מספר קטן של פעולות שלא ניתן לעשותן תוך התהליך, נעשות בעת חופשה שנתיית, כאשר המפעל כולו שובת לתקופה שלימה.

תהליך זה של ביצוע תחזוקה תוך כדי ייצור, מותנה בהכנסת שיטות מודרניות של תחזוקה מונעת. לימוד שיטות בעמ"ח (עבודות במתח חי), שיטה המקובלת מאוד בארצות אירופה, הוכיחו כי שיטות אלה מצמצות הרבה את מספר תאונות העבודה, ובמיוחד תאונות עבודה מחשמל. החזקת מלאי חלפים המאפשר החלפות ללא צורך בהמתנה לתיקון חלק שבור, ובכך למנוע הפסקת ייצור כמעט לחלוטין.

באופן כללי ניתן לומר שבבדיקת מספר ניכר של מפעלים, אשר אף שאינם מיצרים בשבת, הם עוסקים בפעולות תחזוקה בשבת, נמצאה קורולאציה בין רמת התחזוקה לבין כמות חילול השבת במפעל. לדוגמא: בשני מפעלי עץ העוסקים בדיוק באותו נושא, באחד מהם עובדים שלושה אנשים בכל שבת ובאחר עשרים ושניים איש בכל שבת. אותן פעולות תחזוקה, שלטענת המפעלים לא ניתן בשום פנים לבצען במסגרת שבוע הייצור (וגם אלה הינן במפעלים בודדים ובפעולות מועטות) יש להקדיש לצורך פעולות אלה מספר שעות משבוע העבודה, או במילים אחרות לקצר את מספר המשמרות במקרים של עבודה מאקסימאלית משבע עשרה וחצי משמרות, לשבע עשרה משמרות בלבד. קרוב לוודאי שניתן לפתור את הצרכים הללו במסגרת העבודה והמשמרות, אם יש גם רצון כן למצוא פיתרון. להמחשה נאמר, שגם בתהליך רציף כאשר יש צורך בתחזוקה של מערכות קריטיות, מחזיקים מערכות כפולות, אחת בפעולה והאחרת בטיפול.

#### (ה) סיכום

ניתן לומר שאפשר לקיים תעשייה שומרת שבת כאשר ברוב המקרים כבר נמצאו פיתרונות, או שהפיתרונות מוכנים אם רק יהיו המפעלים מעוניינים לקבלם. מאידך גיסא באותן תעשיות ומקרים שעדיין לא נמצאו כל הפיתרונות, אם יושקעו האמצעים במחקר וביישום, יש סיכוי טוב שגם בהם נוכל להגיע לפיתרון אופטימאלי.