

איכות כוללת בקרת איכות ותכנון לאיכות



ד"ר חיים שור

**איכות כוללת,
בקרת איכות
ותכנון לאיכות**

ד"ר חיים שור

איכות כוללת בקרת איכות ותכנון לאיכות. ד"ר חיים שור

כל הזכויות שמורות למחבר ©

ת.ד. 6496, תל-אביב, 61064

מהדורה ראשונה תשנ"ב, 1992

מהדורה שנייה תשנ"ה, 1995

עריכה גרפית: חדר בנדקובסקי

הקדמה למהדורה החדשה

במהדורה זאת הוכנסו שינויים הבאים :

1. מובא התדריך המעודכן לפרס Malcolm-Baldrige (1995), והוא מופיע במלואו בנספח ג'.
2. עודכנה רשימת הספרות.
3. התוכנה שצורפה למהדורה הראשונה אינה מצורפת עוד למהדורה זאת. הדבר נעשה כדי להזייל באופן ניכר את מחיר הספר. ניתן לרכוש את התוכנה בנפרד על פי הכתובת המצויינת בדף הפתיחה של הספר.

אנו מקווים כי שינויים אלה יהיו לשביעות רצון הקוראים.

תוכן העניינים

עמוד

7	פרק 1: מהפיכת האיכות - מהי
43	פרק 2: 14 העקרונות של דמינג
57	פרק 3: ניהול לפי איכות כוללת (TQM)
94	פרק 4: בקרת איכות תהליכית (תרשימי בקרה וניתוח כושר תהליך)
147	פרק 5: תכנון לאיכות (פריסת פונקציית האיכות, טגוצ'י ותכנון ניסויים)

נספחים:

נספח א': "איכות כוללת" כתפיסה ניהולית וכיעד אסטרטגי

נספח ב': תרשימי בקרה

נספח ג': מבדקי איכות: פרס Malcolm - Baldrige - התדריך המקורי

נספח ד': מדיניות האיכות של המפעל - דוגמה

נספח ה': תכנית הדרכה לעובדים - דוגמה

נספח ו': חישוב עלויות האיכות של הרכש - דוגמה

נספח ז': הורדת שוננויות והשפעתה על השטף ומלאי בתהליך (עם תכנית סימולציה)

נספח ח': רשימת ספרות

נספח ט': טבלאות של התפלגויות סטטיסטיות

נספח י': הוראות הפעלה של תוכנת SPC ותכניות דגימה סטטיסטיות

1. מבוא

ספר זה מיועד למנהלים, מדריכים, משתמשים וטכנאים העוסקים באיכות במסגרת תכניות ל"שיפור האיכות", בתהליכי תכנון המוצר בגישת "תכנון לאיכות", בבקרת איכות בתהליכי הייצור או בהדרכת עובדים. לספר נלווית תוכנת מחשב להפעלה של תרשימי בקרה ולבניית תכניות דגימה סטטיסטיות.

מהפיכת האיכות העוברת כיום על המדינות המתועשות, תקני האיכות הבינלאומיים וכן התחרות הבינלאומית הגוברת, כל אלו הפכו את איכות המוצר ליעד ניהולי אסטרטגי ראשון במעלה, ושינוי לחלוטין את הגישה הקלסית לאיכות. הגישה שהיתה מקובלת עד לסוף שנות השבעים לפיה ניתן להשיג איכות על ידי סינון התוצרת בסוף התהליך חלפה מן העולם, והוחלפה בגישות חדשניות, המדגישות את בניית האיכות לתוך המוצר מלכתחילה, בשלב התכנון ובשלב הייצור. גישה חדשה זאת חייבה שינוי עמדות, סגנונות ניהול חדשים, והפיכת האיכות לעניינו של כל עובד ועובד בארגון. מכאן המושג המרכזי של גישה זאת: "איכות כוללת".

ספר זה נועד להציג את עיקרי מהפיכת האיכות, מקורותיה ותוצאותיה, וכן את המוצרים העיקריים שלה:

- פילוסופיה ניהולית חדשה ביחס לאיכות, שעיקריה נוסחו על ידי 14 העקרונות הידועים של דמינג (גישת "Big - Q" לעומת הגישה הישנה של "little - q").
 - סגנון ניהולי חדש המתבטא ב"ניהול לפי איכות כוללת" (T.Q.M - Total Quality Management).
 - "בקרת איכות תהליכית" (במגמה להגיע לבקרה בזמן אמיתי) והסטת הדגש מבקורת איכות של המוצר הסופי לבקרת תהליך של פרמטרים של תהליכי הייצור במטרה להבטיח את יציבותם.
 - פריסת פונקציות האיכות (Q.F.D - Quality Function Deployment), שנועדה להבטיח ייצוג הולם של דרישות הצרכן לכל אורך הדרך (החל בתכנון המוצר וכלה בשיווק ובשרות).
 - "תכנון לאיכות", תוך שימוש בשיטות ניתוח חדשניות (שיטות טגוצ'י ואחרות), המדגישות את הצורך בתכנון "מוצר בלתי רגיש לרעשים" (Robust Design).
- לספר שתי מטרות:

- א. לשמש כחומר הדרכה תומך לקורסים בנושאי איכות.
- ב. להיות ספר עזר אשר ניתן להסתייע בטכניקות ובנוסחאות המוצגות בו לפתרון בעיות איכות, לניהול תכניות לשיפור האיכות ולהפקת אינפורמציה מנתונים המתקבלים באמצעות תרשימי בקרה על פרמטרים של תהליכי הייצור.

בהתאם לכך, ניבנה הספר בתבנית מיוחדת. עיקרו מורכב מלוחות בודדים, שבכל אחד מהם מוצג נושא מסויים תוך הסתייעות בגרפיקה נרחבת. מטרת לוחות אלו לשמש ליצירת שקפים אשר יוקרנו על המסך בעת ההרצאה, ועם זאת יוכלו התלמידים להוסיף משפטי הסבר, מבוססים על דברי המרצה. חלק זה של הספר מורכב מחמישה פרקים:

1. מהפיכת האיכות - מהי.
2. 14 העקרונות של דמינג.
3. ניהול לפי איכות כוללת - עקרונות, שלבי בצוע, כלים.
4. בקרת איכות תהליכית (תרשימי בקרה וניתוח כושר תהליך).
5. תכנון לאיכות.

לספר מספר נספחים, אשר בחלקם מוצגים ביתר הרחבה נושאים שונים, המובאים בגוף הספר.

נספח א' :

"איכות כוללת" כתפיסה ניהולית וכיעד אסטרטגי - הגישה המודרנית לאיכות. נספח זה מציג את המשמעויות הניהוליות של מהפיכת האיכות ואת השלבים השונים הקשורים בהחדרת גישת "ניהול לפי איכות כוללת".

נספח ב':

תרשימי בקרה. נספח זה מביא את הרקע התיאורטי של תרשימי הבקרה העיקריים המקובלים בתעשייה ואת אופן הפעלתם, תוך הצגת הנוסחאות והטבלאות המתאימות.

נספח ג:

התדריך המקורי להגשת מועמדות לפרס מלקולם - בולדריג', פרס האיכות הנשיאותי המוענק מדי שנה בארה"ב למפעלים שהצטיינו באיכות. ההנחיות המובאות בנספח זה עשויות לשמש כקריטריונים לבחינה עצמית למפעלים המעוניינים להכנס למסגרת של "איכות כוללת".

נספח ד':

מדיניות האיכות. דוגמה למסמך בו מפורטת מדיניות האיכות של מפעל ישראלי.

נספח ה':

תכנית הדרכה. דוגמה למסמך בו מפורטת תכנית הדרכה במפעל ישראלי.

נספח ו':

עלויות האיכות של הרכש. דוגמה להגדרת עלויות האיכות של הרכש ושיטת חישוב, במפעל ישראלי.

נספח ז':

הורדת שונויות - השפעתה על השטף ועל מלאים בתהליך (WIP), עם תכנית לביצוע החקיה.

נספח ח':

רשימת ספרות (ביבליוגרפיה).

נספח ט':

טבלאות של התפלגויות סטטיסטיות (בינומית, פואסונית, נורמלית, t, F ו- χ^2).

נספח י':

הוראות הפעלה של התוכנה המצויה בדיסקט המצורף לספר זה. בתוכנה תכניות פשוטות להפעלת תרשימי בקרה למשתנים ולתכונות, ולבניית תכניות דגימה סטטיסטיות.

אנו מקווים כי ספר זה יתרום לקידום ולשיפור האיכות בתעשייה ובשירותים במשק הישראלי.

ד"ר חיים שור

חשוון, תשנ"ב

פרק ראשון

מהפיכת האיכות – מהי

26	פרמטרים של איכות	8	ציוני דרך
27	מדדים לאיכות	10	מהפכת האיכות
28	מימדי האיכות	11	איכות לעומת כמות
29	"למה איכות"	12	המודל התחליפי
30	הגדרות בסיסיות	13	שינוי במושג האיכות
31	תקנים לאבטחת איכות	14	מסקנות
32	עלויות איכות	15	1% תקלות
34	דוח עלויות איכות	16	שלושה כללים חשובים
35	גרף עלות האיכות	17	סולם האיכות
36	עלויות הרכש	18	שלבים בהתפתחות
37	"כיצד משיגים איכות"	19	שלב מעקב ושלב בקרה
38	איכות כוללת - תמונה	20	ארבע טעויות ניהוליות
39	מבדק ביצועים	22	בקרת איכות ביפן
41	Q גדול ו-q קטן	23	יפן, ארה"ב, אירופה (השוואה)
42	הטרילוגיה של גיוראן	24	ארבע שאלות מפתח
		25	הגדרת איכות

איכות כוללת בקרת איכות ותכנון לאיכות. ד"ר חיים שור

© - כל הזכויות שמורות

ציוני דרך בהתפתחות אבטחת האיכות (מה- "רב - אומן" ועד ל- "תכנון לאיכות")

- **אלי ויטני (1798): חליפיות בין רכיבי המוצר.**
לא עוד ייצור מוצר שלם, מתחילתו ועד סופו, על ידי ה"רב-אומן", אלא ייצור המוני של רכיבים חליפיים.

- **פרדריך ו. טיילור (1911): עקרונות הניהול המדעי.**

- **תכניות דגימה סטטיסטיות:**

(א) דגימה לפי תכונות

דודג' - רומיג, מעבדות "בל", 1920:

- הגנה מפני אחוז פגומים לא רצוי (תכניות - דגימה מסוג LTPD).
- אבטחת אחוז פגומים ממוצע רצוי תוך סינון 100% של משלוחים שנדחו (תוכניות דגימה מסוג AOQL).

תכניות דגימה לתכונות מסוג AQL (Accepted Quality Level):

צבאי: MIL - STD - 105D (1950), MIL - STD - 105E (1989).

אזרחי: ANSI/ASQC Z1.4 (1981).

תכניות דגימה לתכונות (אחרות):

ANSI/ASQC S1 - 1987 : An Attribute Skip - Lot Sampling Program.

ANSI/ASQC Q3 - 1988 : Sampling Procedures and Tables for Inspection of Isolated Lots by Attributes.

(ב) תכניות דגימה למשתנים מסוג AQL:

צבאי: MIL - STD - 414 (1957, עדכונים תקופתיים).
אזרחי: ANSI/ASQC Z1.9 (1980) (המקביל לתקן ISO/DIS 3951).

■ **בקרת איכות תהליכית (שוהרט, 1920): תרשימי בקרה.**

תקנים מקובלים לתרשימי בקרה :

ANSI/ASQC A1 - 1987 : Definitions, Symbols, Formulas and Tables for Control Charts.
ANSI/ASQC B1 - 1985 : Guide for Quality Control Charts.
ANSI/ASQC B2 - 1985 : Control Chart Method of Analyzing Data.
ANSI/ASQC B3 - 1985 : Control Chart Method of Controlling Quality during Production.

■ **תקנים למערכות אבטחת איכות (סדרת ISO9000 - 1987 ומקבילותיה)**

תקן רלבנטי: ANSI/ASQC A3 - 1987: Quality Systems Terminology

■ **תקופת "הגורוס" - יפן (שנות החמישים), ארה"ב (שנות השמונים):**

דמינג, ג'ורן, פייגנבאום, טגוצ'י, אישיקאוה.

**מוצרים עיקריים: חוגי איכות, ניהול לפי איכות כוללת, תכנון לאיכות,
שיטות טגוצ'י, פריסת פונקצית איכות.**

(Quality Circles, Total Quality Management, Off - Line Quality Control,
Quality by Design, Taguchi Methods, Quality Function Deployment).

איכות כוללת בקרת איכות ותכנון לאיכות. ד"ר חיים שור

© - כל הזכויות שמורות

מהפכת האיכות

מקורות, סיבות ותוצאות

1. מהפיכת האיכות מהי?

- בתפיסה הניהולית.
- בשיטות ניהול הייצור (FMS, CIM, MRPII, MRP, MBC, JIT).
- בתפיסת האיכות.
- ביחסים עם ספקים וצרכנים.

2. מקורות המהפיכה ומחולליה

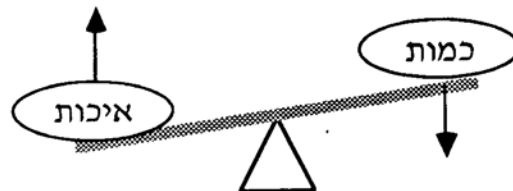
- שיטות הייצור ובקרת האיכות ביפן.
- מדיניות רייגן בארה"ב (דה - רגולציה) ומדיניות תאצ'ר באנגליה (הפרטה, ליברליזם כלכלי, מלחמה בלטיפונדיות מקצועיות (שביתת כורי הפחם).
- הפשרה בינלאומית (פתרון קונפליקטים), שווקים פתוחים, תחרותיות הולכת וגוברת.
- המחשוב, רשתות טלקומוניקציה, הקטנת זמן פיתוח מוצרים וזמני תגובה.
- ארגוני צרכנים, ארגוני משתמשים, ירחוני צריכה.

3. תוצאות המהפכה

- הסטת דגש מפיריין לאיכות, מחסכון בהוצאות אל דרישות הצרכן.
- הגדרה חדשה של איכות.
- שינוי בתקני האיכות (מאחוז פגומים (AQL) לחלקים למליון (PPM).
- מעבר מבקורת איכות מסננת לבקורת איכות תהליכית ותכנון לאיכות.
- הגדרה חדשה של יחסים בין ספקים ליצרנים ובין יצרנים ללקוחות.
- מעבר מ-"Little-q" ל-"Big-Q".
- ניהול לפי איכות כוללת (TQM).

הבעיה הקלסית: איכות לעומת כמות

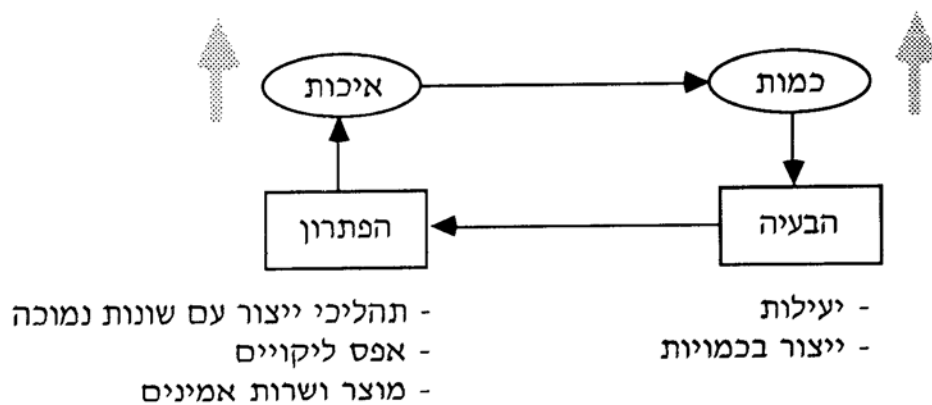
הפרדיגמה הישנה:



איכות גבוהה = מפרט יותר חמור.

תוצאה: אובדנים רבים יותר, עבודה חוזרת על פריטים פגומים, ירידה בכמות.

המודל התחליפי:



איכות כוללת בקרת איכות ותכנון לאיכות. ד"ר חיים שור

© - כל הזכויות שמורות

משמעות המודל התחליפי:

יעילות - לעשות דברים נכון (DOING THINGS RIGHT)

אפקטיביות - לעשות הדברים הנכונים (DOING THE RIGHT THINGS)

איכות = יעילות + אפקטיביות

לעשות הדברים הנכונים - נכון, בפעם הראשונה,
תמיד ובכל תהליך

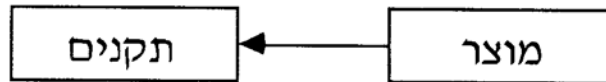
(DOING THE RIGHT THINGS - RIGHT, THE FIRST TIME,
ALWAYS, AND AT EVERY PROCESS)

איכות כוללת בקרת איכות ותכנון לאיכות. ד"ר חיים שור

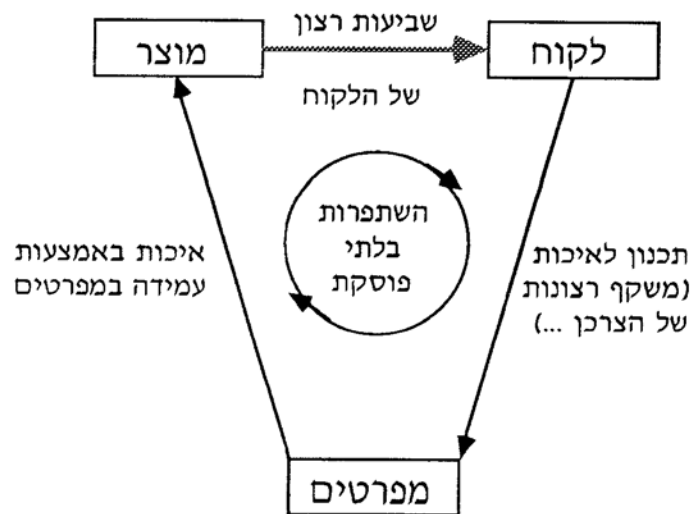
© - כל הזכויות שמורות

הדגמת השנוי במושג האיכות

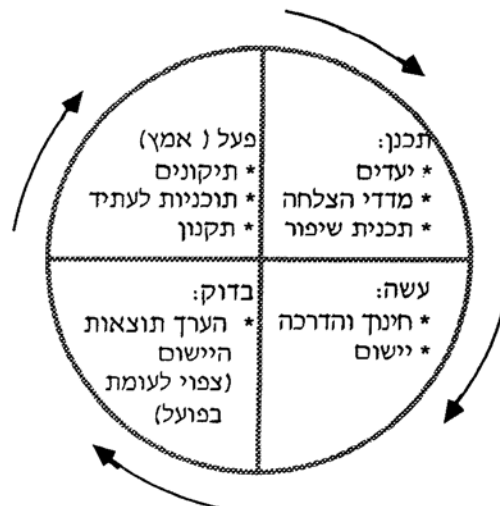
בעבר: עמידה במפרטים



כיום: שביעות רצון הצרכן



מעגל האיכות של TQM: תכנון, עשה, בדוק, פעל (PDCA CIRCLE)



איכות כוללת בקרת איכות ותכנון לאיכות. ד"ר חיים שור

© - כל הזכויות שמורות

המסקנות המיידיות מהגדרת האיכות החדשה

■ "עם הפנים לצרכן" (TOTAL CUSTOMER SATISFACTION).

■ "איננו מוכרים רק פריט, אלא המוצר כולל גם את השרות במשך חיי המוצר".

■ הצרכן אינו רק המשתמש הסופי.

גם דרגי הביניים בתכנון המוצר, ייצורו ושיווקו הם צרכנים הדורשים לקבל מוצר "מתאים לשימוש". לכל תהליך עבודה (או ייצור) יש ספק וצרכן, המספקים איכות ומקבלים איכות.

■ רמות האיכות אליהן הורגלנו בעבר אינן מספיקות.

- דרישת הצרכן ל"מוצר מעולה" מחייבת מוצרים מורכבים ותהליכי ייצור מורכבים.
- דרישת הצרכן ל"מוצר תקין" מחייבת איכות ללא פשרות.

מדוע רמת איכות של 1% תקלות בכל פעילות אינה מספיק טובה ? שתי דוגמאות

דוגמה א'

מוצר עובר N שלבי עיבוד שונים. בכל שלב עיבוד עשויה לקרות תקלה (אחת או יותר), אך כל תקלה פוסלת את הפריט. בממוצע קורות בכל שלב 1.4 תקלות לכל 100 פריטים (נניח כי למרות שהתקלות בכל שלב עיבוד הן שונות במהותן, הרי תדירות התקלות זהה לכל השלבים).

מהו אחוז המוצרים התקינים שמייצר הקו?

פתרון:

נחשב את ההסתברות כי בשלב עיבוד כלשהוא לא תקרה אף תקלה (העיבוד יבוצע כהלכה).

כיוון שבכל שלב עשוי לקרות מספר כלשהוא של תקלות הרי שמספר זה הוא אקראי, וניתן לאפיין אקראיות זאת על ידי התפלגות סטטיסטית הנקראת: ההתפלגות הפואסונית.

מטבלת התפלגות זאת נמצא כי עבור ממוצע של 0.0140 תקלות לפריט (בשלב עיבוד נתון), ההסתברות כי הפריט "יעבור בשלום" את העיבוד היא 0.9861.

כדי שהמוצר הסופי יהיה תקין עליו להיות תקין בכל אחד מ-N השלבים. הסתברות זאת היא: $(0.9861)^N$.

לדוגמה: אם בתהליך הייצור 20 שלבי עיבוד, אחוז המוצרים התקינים שייצר הקו יהיה: 75.6% !!

דוגמה ב'

מוצר מורכב מ-N חלקים שונים. כל חלק מיוצר בתהליך עיבוד שונה, אך בכולם נשמר הכושר, דהיינו: מדדי כושר התהליך (ראה הגדרתם בפרק 4) אינם קטנים מ-1. נניח כי בכל תהליך מדד הכושר הוא בדיוק 1. בהנחה שהתפלגות תכונת האיכות הקובעת אם התהליך תקין היא נורמלית, משמעות הדבר כי 99.73% מהחלקים המיוצרים בשלב עיבוד כלשהוא נמצאים בתוך תחום הטולרנס המותר (תחום ההשתנות המותר על פי המפרט הטכני הוא ± 3 סטיות תקן סביב לערך הנומינלי).

מהו אחוז המוצרים הפגומים שייצר הקו?

פתרון:

כיוון שכל חלק פגום המותקן במוצר הסופי בשלב ההרכבה פוסל אותו פרופורציית המוצרים התקינים שייצר הקו תהיה: $(0.9973)^N$.

לדוגמה: אם במוצר הסופי 70 חלקים, הקו ייצר 17.2% מוצרים פסולים (!!), למרות שבממוצע יהיו רק 0.2 ($70 \times 0.0027 =$) חלקים פגומים למוצר (בממוצע רק כשליש האחוז מכלל החלקים במוצר יהיו בלתי תקינים!).

שלושה כללים חשובים

1. כלל 40 : 30 : 30 (מקובל ביפן)

- 40% מבעיות האיכות מקורן בתכנון לקוי.
- 30% מבעיות האיכות מקורן בבקרת תהליך לקויה.
- 30% מבעיות האיכות מקורן אצל הספק.

2. כלל 100 : 10 : 1 באיתור בעיית איכות

אם איתור בעיית האיכות ותיקונה בשלב הייצור ("בזמן אמת") עולה שקל אחד, תיקון הבעיה בסוף התהליך (על ידי לקוח פנימי) יעלה 10 שקלים, ואילו תיקון הנזק לאחר שהמוצר כבר בידי הלקוח ("לקוח חיצוני") יעלה 100 שקלים.

3. כלל 5 : 1 בשמירת לקוחות

עולה פי 5 לרכוש לקוח חדש מאשר להחזיק לקוח קיים באמצעות שרות טוב ומוצר איכותי.

המסקנה: יש לבנות איכות מלכתחילה לתוך המוצר, הן בשלב התכנון והתיכון והן בשלב הייצור.

התוצאה: סולם האיכות.

ההוכחה: נתונים משווים מהתעשייה היפנית והתעשייה האמריקאית.

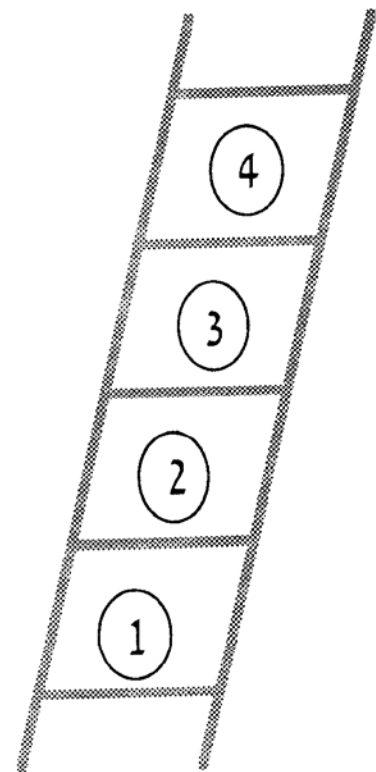
איכות כוללת בקרת איכות ותכנון לאיכות. ד"ר חיים שור

© - כל הזכויות שמורות

סולם האיכות

מחזור חיים טיפוסי בהתפתחות אבטחת האיכות

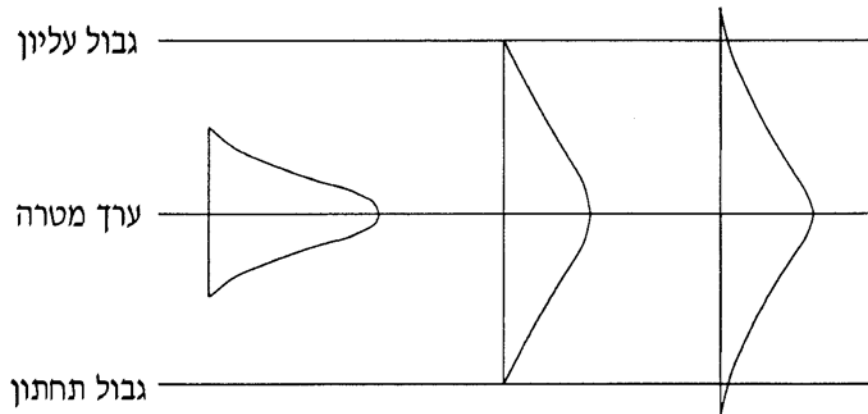
ש י ט ה	כ ל י
תכנון לאיכות	ניסויים מבוקרים (OFF LINE QC)
אתור בעיות וסילוקן תוך כדי תהליך	- תרשים בקרה - חקר תהליכים ("שבעת המופלאים")
ניפוי בעיות באמצעות סינון	- מיון 100% - תוכניות דגימה סטטיסטיות
תגובה לכל תלונה, כיבוי שריפות, מציאת אשמים	- יחסי ציבור



איכות כוללת בקרת איכות ותכנון לאיכות. ד"ר חיים שור

© - כל הזכויות שמורות

מבט אלטרנטיבי על שלבים בהתפתחות אבטחת האיכות



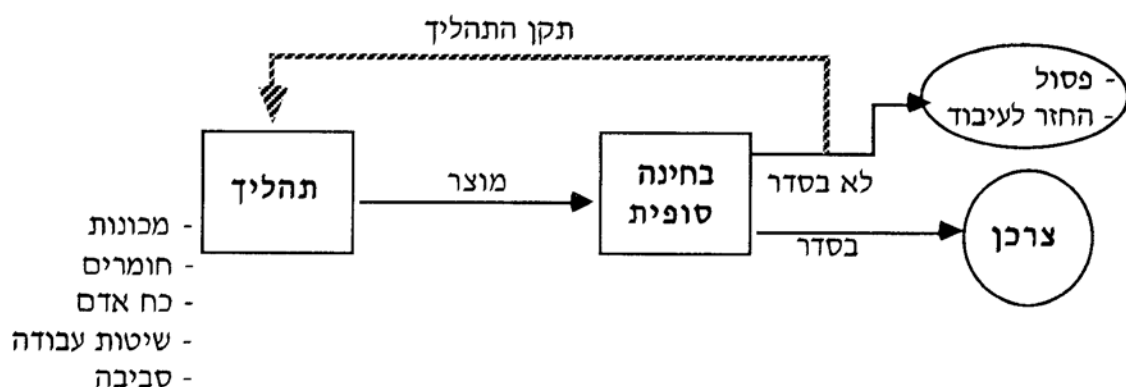
לקוח יצרן

<u>בעתיד</u> (תכנון לאיכות)	<u>בהווה</u> (בקרת תהליך)	<u>בעבר</u> (סינון)	<u>בעבר הרחוק</u>
- תכנון ניסויים	- תרשימי בקרה	- מיון 100%	- יחסי ציבור
- שיטות טגוציי	(בקרת פרמטרים	- תוכניות דגימה	
(לתכנון פרמטרים	של התהליך,	(בקרת המוצר	
ואפילויות כך	ולעיתים: תכונות	(הסופי)	
שהמוצר יהיה	של המוצר)		
בלתי רגיש	- ניתוח כושר		
ל"רעשים")	תהליך		

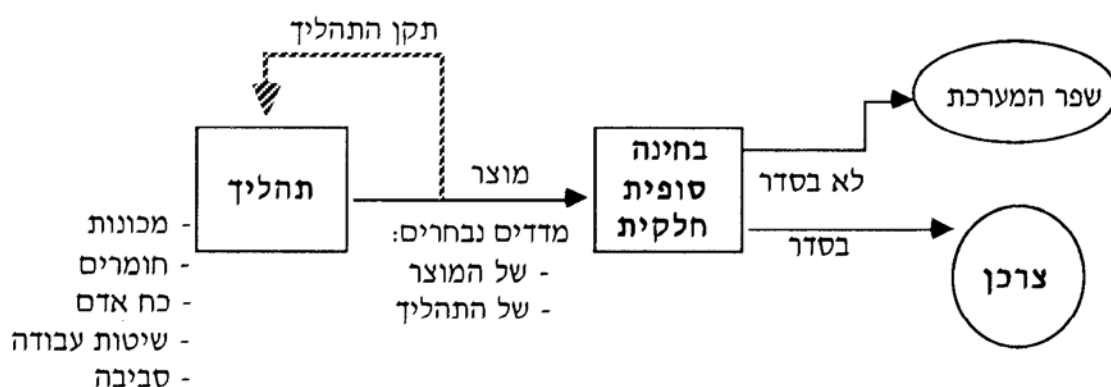
איכות כוללת בקרת איכות ותכנון לאיכות. ד"ר חיים שור

© - כל הזכויות שמורות

המעבר משלב המעקב (DETECTION) לשלב הבקרה (CONTROL) (מבט אלטרנטיבי נוסף)



שלב מעקב



שלב בקרה

"המפעל הנסתר" - (פייגנבאום, 1983): "40-15% מכושר הייצור מבזבז על

פסולים שלא היו צריכים להיות מיוצרים מלכתחילה".

איכות כוללת בקרת איכות ותכנון לאיכות. ד"ר חיים שור

© - כל הזכויות שמורות

ארבע טעויות אפשריות בקבלת החלטות

טעות מסוג ראשון:

להחליט כי מצב הדברים השגרתי, המקובל- השתנה, בעוד שבפועל אין הדבר כן (בניסוח סטטיסטי: "דחיית השערת האפס" בטעות).

לדוגמה:

1. ב"בחינת קבלה" על ידי בדיקה מדגמית של משלוח שהתקבל מספק, נמצא במדגם מספר פגומים גדול מ"מספר הקבלה" (דבר שהוביל להחלטה על פסילת המשלוח), בעוד שהמשלוח בפועל עומד ברמת האיכות הרצויה (פרופורצית הפגומים אינה גדולה מהרצוי).

2. התרעת שווא בבקרת תהליך סטטיסטית.

הסיכון הכרוך בטעות מסוג ראשון נקרא לעיתים "סיכון היצרן", ואת ההסתברות לטעות מסוג זה מסמנים ב- α .

טעות מסוג שני:

להחליט כי לא קרה דבר יוצא דופן, מצב הדברים השגרתי ממשיך להתקיים, בעוד שבפועל אין הדבר כן (בניסוח סטטיסטי: "אי דחיית השערת האפס" בטעות).

לדוגמה:

1. ב"בחינת קבלה", להחליט על סמך בדיקה מדגמית כי המשלוח שהתקבל מהספק עומד ברמת האיכות הרצויה בעוד שבפועל המשלוח מכיל פרופורצית פגומים גבוהה מהנסבל.

2. בבקרת תהליך סטטיסטית, ההחלטה כי התהליך יציב בעוד שבפועל חל שינוי בממוצע התהליך.

הסיכון הכרוך בטעות מסוג שני נקרא "סיכון הצרכן", ואת ההסתברות לטעות מסוג זה מסמנים ב- β .

טעות מסוג שלישי:

דחיית החלטות עקב ניתוח נתונים ממושך (Paralysis by Analysis). זוהי טעות שנוטים לעשות מנהלים: תהליך איסוף הנתונים, ניתוחם והוצאת המסקנות מהם, הוא כה ממושך עד שכאשר מגיע רגע ההחלטה- הנתונים שנאספו אינם עוד רלוונטים.

לדוגמה:

צוות "שיפור איכות" אוסף נתונים תקופה ממושכת, וכאשר סוף סוף מוצגות ההמלצות לפני ההנהלה לביצוע- הן אינן ישימות, כיוון שהן מתבססות על נתונים בלתי עדכניים.

טעות מסוג רביעי:

פתרון הבעיה הלא נכונה עקב ניסוח לא נכון של הבעיה.

לדוגמה:

1. **קביעת גודל סדרת ייצור.** בגישת הניהול המערבי נהוג לקבוע את גודל הסדרה כך שיושג המינימום של סך כל עלות ההקמה ועלות אחזקת המלאי (ככל שמייצרים בסדרות יותר קטנות מספר ההקמות השנתי רב יותר, אולם רמות המלאי יורדות).

הגישה היפנית גרסה שהבעיה אינה אופטימיזציה בין עלות ההקמה ועלות אחזקת המלאי, אלא צמצום של זמני ההקמה ועלויות ההקמה.
התוצאה: גישת "בדיוק בזמן" (Just In Time).

2. **השגת איכות.** בגישת הניהול המערבי הניחו כי לכל תהליך ישנה רמת איכות אופיינית (רא"ר- רמת איכות רצויה), וניתן להבטיח את האיכות הרצויה על ידי סינון של התוצרת הסופית באמצעות "בחינות קבלה" (בדיקה מדגמית או סינון של 100%). בגישה המודרנית לאיכות, המושג של רמת איכות רצויה אינו קיים. הבעיה אינה בניית תכנית דגימה אופטימלית שתאפשר סינון התוצרת, אלא בקרה נכונה של פרמטרים של תהליך הייצור ומאמץ מתמיד לסילוק גורמים האחראיים לאיכות ירודה כדי להבטיח כי "כל פריט מיוצר נכון בפעם הראשונה" (אפס פריטים פגומים).

התוצאה: מעבר מסינון באמצעות "דגימת קבלה" לבקרת תהליך סטטיסטית (SPC), לנוהלים מפורטים של אישור ספקים ולגישת "איכות כוללת".

איכות כוללת בקרת איכות ותכנון לאיכות. ד"ר חיים שור

התפתחות בקרת האיכות ביפן (ממלחה"ע II ועד היום)

לפי ISHIKAWA (1985):

1. אבטחת איכות על ידי בחינה לאחר ייצור (תכניות קבלה).
2. אבטחת איכות על ידי בקרת איכות תוך ייצור (בקרת תהליך).
3. אבטחת איכות עם דגש על שלב פיתוח המוצר (תכנון לאיכות).

לפי YOSHIZAWA (1987):

- 2,1. כמו לעיל.
3. אבטחת איכות על ידי בקרת איכות תוך מעורבות כל המחלקות בארגון (מכוון מערכת).
4. א.א. תוך דגש על מוצרים חדשים (מכוון פיתוח).
5. א.א. על ידי ניהול פונקציונלי (מכוון תפקיד).
6. א.א. על ידי מתודולוגיה כוללת שתבטיח השתקפות דרישות הצרכן בכל שלבי מחזור החיים של המוצר (פיתוח, ייצור, שיווק, שירות).
(QFD - QUALITY FUNCTION DEPLOYMENT)
7. א.א. על ידי בקרת איכות כוללת בינלאומית.
(INTERNATIONAL GROUP - WIDE Q.C)

המסקנה לארצנו:

"עוד רבה הדרך, עוד רבה המלאכה".

איכות כוללת בקרת איכות ותכנון לאיכות. ד"ר חיים שור

© - כל הזכויות שמורות

נתונים משווים יפן, ארה"ב, אירופה

כללי

<u>אירופה</u>	<u>ארה"ב</u>	<u>יפן</u>	
2.8:1	2.5:1	1:1	יחס: ישיר / עקיף
1:9	1:11	1:20	טווח אחריות ממוצע (כפופים לממונה)
12.4	13.8	15	תפוקה לשעת עבודה
16.2	18.9	0	פגמים ל- 100 יח'

תעשיית המכוניות

(מקור: "FORTUNE" NO. 22, OCTOBER 23, 1989)

מכוניות שנמכרו בארה"ב מתוצרת

<u>יפן</u>	<u>ארה"ב</u>	
119	163	תלונות לקוחות (תוך 90 יום מרכישה, ל - 100 מכוניות)
* 20.3	24.4	שעות עבודה למכונית
80%	40%	תכנון מחדש של מודלים (טווח של 5 שנים)

* 32.9 שעות אצל יצרנים אירופיים.

מסקנות עורך המחקר: הצלחת יפן אינה תודות לאוטומציה גבוהה יותר או מכוניות יותר פשוטות, אלא:

ניהול מעולה ומעורבות עובדים.

איכות כוללת בקרת איכות ותכנון לאיכות. ד"ר חיים שור

© - כל הזכויות שמורות

4 שאלות מפתח :

מהי איכות?

למה איכות?

כיצד משיגים איכות ?

מי אחראי לאיכות?

הגדרת האיכות ("מהי איכות?")

בעבר - "עמידת המוצר במפרט".
(CONFORMANCE TO SPECIFICATIONS)

כיום - "התאמת המוצר לשימוש" (ג'ורן, 1979).
(FITNESS FOR USE)

או: "התאמת המוצר לדרישות הצרכן".

היעד העליון: "שביעות רצון כוללת של הצרכן"

ההגדרה המקובלת כיום מתייחסת ל - 4 פרמטרים:

- איכות התכנון
- איכות העמידה במפרט (QUALITY OF CONFORMANCE)
- זמינות המוצר (AVAILABILITY)
- שרות (FIELD SUPPORT)

הגדרת "המוצר" החדשה :
(מוצר) + (שרות, תמיכה וייעוץ)

פרוט לפרמטרים של האיכות

■ איכות התכנון

- תכונות המוצר כפי שנתפסות על ידי צרכנים
- המושג אותו מייצג המוצר ("מכונית מנהלים" לעומת "מכונית עממית")
- איכות המפרטים (טולרנסים, חומרי גלם)
- איכות התיכון (Quality of Design)

■ איכות העמידה במפרט. תלויה ב:

- איכות התיכון (האם המוצר בלתי רגיש לטעויות בייצור?)
- טכנולוגיית הייצור ותהליכי הייצור
- רמת הבקרה על תהליך הייצור
- כח האדם
- רמת הניהול

■ זמינות

- אמינות המוצר (לאורך זמן)
- תחזוקתיות

■ שירות

- מהירות תגובה לדרישת שירות או תלונה
- תמיכה לוגיסטית (זמינות חלפים)
- אספקה מהירה ובזמן

מדדים לפרמטרים של "התאמה לשימוש"

- **זמינות (Availability)** - מדד של פרופורציית הזמן בה הפריט זמין לשימוש של הלקוח.

$$\frac{\text{זמן עבודה}}{\text{זמן עבודה} + \text{זמן השבתה}} = \frac{\text{MTBF}}{\text{MTBF} + \text{MTTR}}$$

MTBF - זמן ממוצע בין כשלים (Mean Time Between Failures)

MTTR - זמן ממוצע לתיקון (Mean Time To Repair)

- **אמינות (Reliability)** - מדד ל"חופש מתקלות" של הפריט. בדרך כלל מוגדר כ"הסתברות של המוצר לפעול ללא כשל בתנאים נתונים לתקופת זמן מוגדרת".

- **תחזוקתיות (Maintainability)** - מדד לקלות בה ניתן לבצע אחזקה של הפריט (אחזקה מונעת ומתוכננת וכן אחזקת שבר - תיקון תקלות).
מדדים מקובלים לתחזוקתיות :
- זמן ממוצע לתיקון (MTTR).
- הסתברות להחזיר פריט לפעולה בפרק זמן מוגדר.
- זמן ממוצע לביצוע פעילות של אחזקה מתוכננת.

יש המחלקים "תחזוקתיות" ל"שירותיות" (Servicability), המתייחס לקלות בה ניתן לבצע בדיקות ופעולות שירות מתוכננות, ו"תקוניות" (Repairability), המתייחס לקלות בה ניתן להחזיר מוצר שהתקלקל לשירות.

- **ייצוריות (Producibility, Manufacturability)** - מושג המתייחס ללקוח פנימי של המפעל, דהיינו: לייצור. פריט הוא בר ייצור אם התיכון שלו מאפשר לייצרו באמצעות המתקנים ותהליכי הייצור הזמינים.

איכות כוללת בקרת איכות ותכנון לאיכות. ד"ר חיים שור

© - כל הזכויות שמורות

שמונה מימדי איכות (GARVIN, 1987)

גרווין מבחין בקיומן של חמש קבוצות של הגדרות איכות:

- | | |
|--|--|
| 1. האיכות כאידאל
(THE TRANSCENDENT DEF.) | |
| 2. איכות המתבססת על תכונות המוצר
(THE PRODUCT-BASED DEF.) | |
| 3. איכות כ"התאמה לשימוש"
(THE USER-BASED DEF.) | |
| 4. איכות כ"התאמה לתקנים"
(THE MANUFACTURING-BASED DEF.) | |
| 5. איכות כ"תמורה הולמת לכסף"
(THE VALUE-BASED DEF.) | |

גרווין מייחס את ריבוי ההגדרות לכך שניתן להבחין באיכות המוצר 8 מימדים:

- | | |
|----------------------------------|--|
| א. ביצועים
(PERFORMANCE) | |
| ב. אופיינים
(FEATURES) | |
| ג. אמינות
(RELIABILITY) | |
| ד. התאמה לתקנים
(CONFORMANCE) | |
| ה. משכיות
(DURABILITY) | |
| ו. שירותיות
(SERVICEABILITY) | |
| ז. אסתטיקה
(AESTHETICS) | |
| ח. איכות נתפסת | |

(Match of design and operation to pre-established standard)

מקור: Garvin D.A. (1987). Competing on the Eight Dimensions of Quality. Harvard Business Review. Nov.- Dec. 101-109

איכות כוללת בקרת איכות ותכנון לאיכות. ד"ר חיים שור

© - כל הזכויות שמורות

מימדי איכות במערכות שירות (Berry, Zeithaml, Parasuraman, 1985)

- ברי ושותפיו מבחינים, על סמך מחקר מקיף, 10 גורמים לפיהם צרכנים מעריכים את רמת האיכות במערכות שירות:
- א. **אמינות** (Reliability) - המידה בה השירות הניתן הוא יעיל, עקבי וניתן לסמוך עליו (העדר שגיאות, עמידה בהבטחות, עמידה בלוח זמנים).
 - ב. **הענות** (Responsiveness) - מידת הנכונות של ספק השירות לספקו מיידית עם הגעת דרישה מצד הצרכן.
 - ג. **כושר ביצוע** (Competence) - קיום הכישורים והידע הנדרש להספקת השירות.
 - ד. **נגישות** (Access) - הקלות בה ניתן להגיע אל ספק השירות (קווי טלפון פנויים, תורים קצרים, זמני מתן שירות נוחים, גישה נוחה אל מערכת השירות).
 - ה. **אדיבות** (Courtesy).
 - ו. **תקשורת** (Communication) - אספקת מידע בשפה מובנת ללקוח ונכונות להקשיב לדרישותיו.
 - ז. **מהימנות** (Credibility) - המידה בה ניתן להאמין ולבטוח בנותן השירות (תכונות אישיות של ספק השירות, שם החברה, התנסות קודמת עם החברה).
 - ח. **בטחון** (Security) - חופש מסכנות, סיכונים או ספקות הנוצרים עם קבלת השירות (בטחון פיזי, בטחון פיננסי, בטחון בשמירת צינעת הפרט).
 - ט. **הבנה/ידע של הצרכן ודרישותיו מצד ספק השירות.**
 - י. **אספקטים פיזיים מוחשיים של רמת השירות** (Tangibles), כגון: המבנים, המתקנים והמכשירים באמצעותם ניתן השירות, צורת ההופעה של נותני השירות, צרכנים אחרים המצויים במתקן השירות.

מסקנות החוקרים:

1. רמת השירות נתפסת על ידי צרכנים על בסיס השוואת צפיותיהם לפני קבלת השירות עם השירות שניתן בפועל.
2. תפיסת האיכות נקבעת גם על פי תהליך השירות ולא רק על פי תוצאת השירות.
3. איכות השירות היא משני סוגים: איכות של שירות רגיל, ואיכות השירות בטיפול ב"חריגים" או "מקרים בעייתיים". באבטחת איכות השירות יש לטפל בשני הסוגים בנפרד.

מקור:

- Berry, L., V. Zeithaml and A. Parasuraman (1985). Quality Counts in Services, Too. Business Horizons. May-June, 45-46.
- (1985). A Conceptual Model of Service Quality and Its Implications for Future Research. Journal of Marketing. Fall, p. 44.

שאלה: "למה איכות?"

תשובה: א. בגלל עלויות הנובעות מהעדר איכות.

ב. החלופה היחידה האפשרית להישרדות בתנאים החדשים של השוק הבינלאומי.

ג. התקצרות "זמן התגובה" להזמנת לקוחות בתנאי השוק התחרותי הבינלאומי, אינה מותירה זמן לתקן שגיאות (הפריט חייב להיות מיוצר נכון בפעם הראשונה!)

ד. שביעות רצון גבוהה יותר לכולם :
ספקים, צרכנים, מועסקים (אין צורך בתיקונים,
אין צורך לטפל בתלונות, אין החזרת תוצרת,
והעיקר: אין צורך בעבודה כפולה ! !)

הגדרות בסיסיות (לצורך הסבר עלויות האיכות)

■ בקרת איכות (לפי תקן: ANSI / ASQC, A3- 1987)

הטכניקות האופרטיביות והפעילויות, התומכות בהשגת איכות מוצר או שרות אשר תספק צרכים נתונים.
כמו כן, השימוש בטכניקות ובפעילויות אלו.

הגדרה אלטרנטיבית (JURAN, 1974)

בקרת איכות זהו התהליך אשר באמצעותו אנו מודדים ביצוע האיכות (Quality Performance) בפועל, משווים אותו עם תקנים, ופועלים על ההפרש.

■ אבטחת איכות (ANSI / ASQC, A3 - 1987)

כל אותן פעולות מתוכננות או עקביות הנחוצות כדי להעניק בטחון נאות שמוצר או שרות יספקו צרכים נתונים.

הגדרה אלטרנטיבית

מערכת פעילויות שמטרתה להעניק בטחון כי בקרת האיכות הכוללת מבוצעת באופן אפקטיבי.

במילים אחרות: אבטחת איכות זוהי פונקציה שמטרתה להבטיח כי כלל האספקטים של איכות נשמרים בפועל (על פי תקנים ומדדים מקובלים), ובמידה ואין הדבר כן - להמליץ או לבצע הצעדים המתקנים הנחוצים כדי להגיע למצב כזה.

הערה :

התקן : ANSI/ASQC A3 - 1987 : Quality Systems Terminology, כולל הגדרות בסיסיות ביחס לאבטחת איכות, בקרת איכות, תכניות איכות ומערכות איכות. משתמש במושגים חדשים מתקן ISO 8402.

תקנים למערכות אבטחת איכות

1. התקן הישראלי (מכון התקנים הישראלי)

ת"י 1432 (מתאים לתקן ISO 8402-1986. ינואר, 1990): איכות - הגדרות ומונחים.

ת"י 2000 (מתאים לתקן ISO 9000-1987. ינואר, 1990):
מדריך לתקני ניהול איכות והבטחת איכות - הנחיות לבחירה ולשימוש.

ת"י 2001 (מתאים לתקן ISO 9001-1987. ינואר, 1990): מערכות איכות - מודל
להבטחת איכות בתיכון, בפיתוח, בייצור, בהתקנה, במתן שירות ובתחזוקה.

ת"י 2002 (מתאים לתקן ISO 9002-1987. ינואר, 1990):
מערכות איכות - מודל להבטחת איכות בייצור ובהתקנה.

ת"י 2003 (מתאים לתקן ISO 9003-1987. ינואר, 1990):
מערכות איכות - מודל להבטחת איכות בבחינה ובבדיקה הסופיות.

ת"י 2004 (מתאים לתקן ISO 9004-1987. יוני, 1991):
מערכות איכות - אלמנטים במערכות איכות וניהול איכות : הנחיות.

2. תקני הארגון הבינלאומי לתקינה

ISO - International Standardization Organization

ראה התקנים הישראליים, התואמים תקני סדרת ISO 9000.

3. תקני המכון האמריקאי לתקינה

ANSI - American National Standards Institute

החברה האמריקאית לבקרת איכות

ASQC - American Society for Quality Control

ומשרד ההגנה האמריקאי

- תקני ANSI/ASQC Q90-Q94 התואמים את תקני סדרת ISO 9000.

- תקן : ANSI/ASQC C1-1985: Specifications of General
Requirements for a Quality Program

- תקן : MIL-Q-9858A : Quality Program Requirements

תקן זה מקביל לתקן נאט"ו AQA-1

4. תקנים בריטיים

- תקן : B5 5750 : Quality Systems

- תקן : B5 4891 : Guide to Quality Assurance

איכות כוללת בקרת איכות ותכנון לאיכות. ד"ר חיים שור

© - כל הזכויות שמורות

רכיבי עלויות האיכות

■ עלויות מניעה (Prevention)

- תכנון לאיכות (למעט אבטחת איכות).
- תכנון ופתוח מערכת מדידת איכות וציוד לבקרת איכות.
- תכנון מערכת לבקרת תהליך.
- סקר תיכון (Design review).
- אימות תיכון המוצר (Product design verification).
- הסמכת ספקים או אישור ספקים.
- הדרכה (של מועסקים ושל ספקים).
- פתוח והפעלת מערכת אבטחת איכות.
- מבדקי מערכת אבטחת איכות.
- פרויקטים לשיפור איכות.
- הפעלת TQM.

■ עלויות הערכה וסינון (Appraisal and Screening)

עלויות הנובעות מפעילויות שמטרתן לקבוע את

מידת ההתאמה של המוצר/שרות לדרישות האיכות:

- בדיקה ובחינה של חומרי גלם.
- בדיקה ובחינה של המוצר בשלבי הייצור ושל המוצר הסופי.
- חומרי גלם, מוצרים ושירותים הנצרכים תוך תהליכי בדיקה ובחינה (מבחני -הרס, מבחני אמינות).
- עלות אחזקה וקליברציה של ציוד מדידה ובחינה.
- עלות הפעלה ותחזוקה של מערכת הערכה וסינון (כולל בקרת תהליך או מוצר בתוך התהליך).
- מבדקי איכות המוצר (הערכת רמת האיכות של המוצר הסופי מנקודת הראות של הצרכן).
- עלויות בחינת המוצר אצל הצרכן, לפני המסירה הסופית.

■ עלויות כשל פנימי

עלויות הנובעות מאי עמידת המוצר / שרות במפרטים,

שנתגלתה לפני המסירה ללקוח:

- חומרי גלם שנפסלו (MATERIAL PROCUREMENT COSTS).
- מוצרים פסולים (SCRAP), והתשומות שהושקעו בהם (שעות אדם, מכונה וכיו"ב).
- מוצרים פגומים שעובדו מחדש (REWORK), או תוקנו (REPAIR).
- בחינה מחדש (RETEST).
- אובדן תפוקה בייצור (YIELD LOSSES).
- בטלה של אמצעי ייצור (DOWNTIME).
- אובדן רווח ממכירת מוצרים כסוג ב' (DOWNGRADING).

■ עלויות כשל חיצוני

עלויות הנובעות מאי תפקוד משביע רצון לאחר שהמוצר סופק לצרכן:

- מימוש אחריות.
- טפול בתלונות שלא במסגרת האחריות.
- שירות למוצר, הנדרש עקב פגמים שנתגלו בבדיקת-יצרן שגרתית.
- החזרת מוצרים / רכיבים.
- תביעות משפטיות.
- אובדן לקוחות.

■ עלויות "איכות תכנון" ירודה

- אובדן נתח שוק של המוצר.
- אובדן נתחי שוק של מוצרים אחרים של הפירמה.

הערות:

1. רכיב העלות האחרון אינו נכלל בדרך כלל בעלויות האיכות הסטנדרטיות.
2. עלויות הרכש (ראה פרוט בעמודים הבאים) הם מרכיב בעלויות הערכה וסינון ועלויות הכשל.

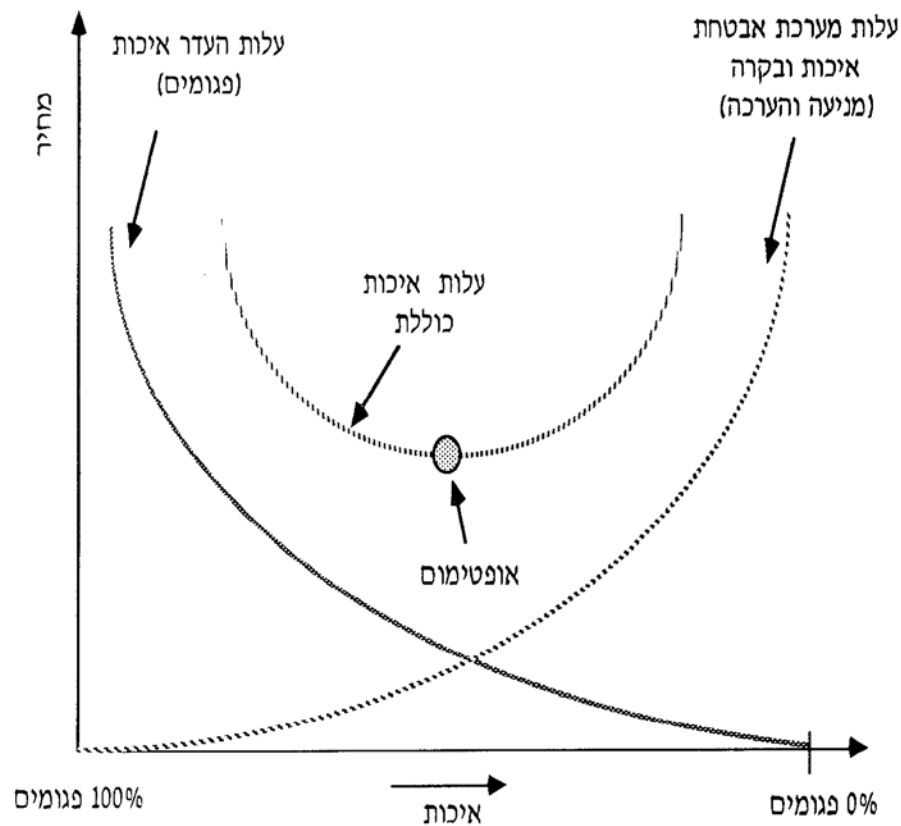
דו"ח שנתי של עלויות האיכות במפעל TRW

שקל	% ממכירות	% מעלות הייצור	
תכנון מערכת בחינה ובקרה פעולות מניעה (מח' ב. איכות) <u>מבחני אישור ספקים</u>			32,040 26,479 <u>18,626</u>
סך כל עלויות מניעה:	1.37	3.33	77,145
בחינה ובקרת קבלה (ח"ג, רכיבים) בחינה ובקרה של תוצרת בתהליך ותוצרת גמורה <u>מיכשור (בחינה ובקרה)</u>			21,681 127,740 <u>29,730</u>
סך כל עלויות הערכת איכות:	3.19	7.73	179,151
עלויות כשל פנימי: עיבוד מחדש תוצרת פסולה: ברוטו ערך שיורי			55,272 93,118 (9,288)
עלויות כשל חיצוני: מימוש אחריות טיפול בתלונות <u>יעוץ משפטי</u>			3,577 4,000 <u>6,000</u>
סך כל עלויות כשל:	2.71	6.59	152,679
סך כל עלויות איכות:	7.27	17.64	408,975

איכות כוללת בקרת איכות ותכנון לאיכות. ד"ר חיים שור

© - כל הזכויות שמורות

גרף עלות האיכות הכוללת (תיאור סכימטי)



הערה: רמות הסטוריות של פגמים במפעל המתחיל להשקיע בשיפור האיכות ימצאו בדרך כלל **משמאל** לנקודת האופטימום.

עלויות האיכות של הרכש **(Procurement Quality Costs)**

■ הגדרה:

עלויות האיכות של הרכש הן עלויות נוספות לעלות הישירה של הרכש, הנוצרות כתוצאה מכך שהספק אינו מספק תוצרת / שירות באיכות הנדרשת.

■ חלוקה כללית של עלויות הרכש:

1. עלויות הנובעות מרמת הסווג של הספק.

ככל שרמת הסווג של הספק יותר גבוהה, כן הצורך בבדיקת תוצרתו (בדיקת קבלה מסננת) וכן רמת הבדיקה, יורדים. נהוג לסווג ספקים כמוסמכים (Certified), מאושרים (Approved) או בלתי מאושרים.

2. עלויות הנובעות מרמת האיכות בפועל של הספק בשלב בחינת הקבלה.

ככל שרמת האיכות בפועל של תוצרת הספק יותר גבוהה, כן עלות הפעילויות הנובעות מזיהוי איכות ירודה בבחינת קבלה יותר נמוכה.

3. עלויות הקשורות ברמת האיכות בפועל של הספק בשלב הייצור.

אלו עלויות הנובעות מפעילויות מיוחדות שנדרשו בשלב הייצור עקב גילוי ליקויים בתוצרת הספק, ואשר לא אותרו בבחינת הקבלה. כמו כן עלויות כשל פנימי.

4. עלויות שיבושים בתכנית הייצור הנובעים מרמת האיכות בפועל של הספק.

5. עלויות כשל חיצוני (אצל הלקוח) הנובעות מרמת האיכות בפועל של הספק.

הערה: החלוקה המובאת לעיל של עלויות הרכש אינה חלוקה תקנית (כמו עלויות האיכות שהובאו קודם).

דוגמה למסמך המפרט עלויות האיכות של הרכש במפעל ישראלי ושיטת חישובן - מובאת בנספח ו'.

הבעיה: כיצד משיגים איכות ?

הפתרון: גישה חדשה לאיכות ("BIG-Q")

וניהול לפי איכות כוללת (T.Q.M)

"ייצור הדבר הנכון, בשיטה הנכונה, בפעם הראשונה"
("DOING THE RIGHT THING - RIGHT, THE FIRST TIME")

"בשיטה הנכונה":

- א. שונות נמוכה בתהליכים.
- ב. העדר הפרעות מקומיות (SPC).
- ג. תהליכי ייצור בעלי עלות ייצור נמוכה.

"הדבר הנכון":

- א. תכנון לאיכות ("פריט מעולה").
- ב. עמידה במפרטים ("פריט תקין").
- ג. תיכון קשיח ("פריט שאיכותו בלתי רגישה לטעויות בייצור או בשימוש").

הגישות החדשות להשגת איכות: תכנון לאיכות*, פריסת פונקציית האיכות*, גישת "BIG-Q" וגישת T.Q.M**.

עלויות ניהול איכות לפי איכות כוללת:

- תכנון לאיכות והנדסת איכות.
- חקר שווקים ומתחרים (BENCHMARKING).
- מערכת בקרת איכות תהליכית (עם/ במקום בקרת המוצר):
- איסוף מידע על איכות וניתוחו.
- הדרכת עובדים.
- חקר תהליכים במטרה להקטין שונות (VARIATION RESEARCH AND REDUCTION).

* בגישות אלו נדון בפרק 5

** בגישה זאת נדון בפרק 3

תמונה כללית של מרכיבים באיכות כוללת



איכות כוללת בקרת איכות ותכנון לאיכות. ד"ר חיים שור

© - כל הזכויות שמורות

מבדק ביצועים (Benchmarking)

מבדק ביצועים זוהי גישה חדשה יחסית לשיפור האיכות והשגת מצויינות. על פי הגדרתו המקובלת, "מבדק ביצועים זהו תהליך של מדידת ביצועים יחסית לאלו של החברות הטובות ביותר בשוק, קביעה כיצד משיגות החברות אותן רמות ביצוע, והשימוש במידע זה כבסיס בחברתך לצורך קביעת יעדים, אסטרטגיות ודרכי יישום".

בחברה שהנהלתה הבכירה מגלה נכונות מעטה בלבד לאמץ את גישת TQM, עשויות התוצאות של מבדק ביצועים וכן התהליך הנלווה של ביקורת עצמית (איתור תחומים בעייתיים הראויים להכלל במבדק) להיות כלי אפקטיבי לשכנע הנהלה "שבעת רצון" בצורך להכנס לתהליך TQM.

שלבי ביצוע מבדק ביצועים שונים מחברה לחברה. חברת AT&T מציגה תהליך בן 12 שלבים (חלקם חופפים לאלו המוצגים בספרו של קמפ), ואילו חברת AICOA מציגה תהליך בן ששה שלבים, המוצג להלן:

שלב 1: קביעת התכנים של מבדק הביצועים

שאלות רלוונטיות בשלב זה: האם הנושא חשוב ללקוח? האם הנושא עקבי עם מדיניות החברה? האם הנושא חשוב במונחים של עלות או אינדיקטורים לא כספיים אחרים? האם הנושא הוא בתחום שבו תוספת מידע תשפיע באופן קריטי על ביצועי החברה? מהם משתני המפתח המשקפים את הביצועים בתחום הנבדק? **תוצאות שלב זה:** מסמך המגדיר את גבולות מבדק הביצועים, וקובע קוים מנחים לפעילויות של צוות המבדק.

שלב 2: תכנון מפורט של הפרויקט

- קביעת ראש צוות וחברי צוות.
- תכנון מפורט של הפרויקט. שאלות מנחות: מיהם לקוחות הפרויקט? אלו תכונות ימדדו? איזה מידע זמין כיום? כיצד יאסף המידע הדרוש? מיהן "החברות הטובות" העשויות לשמש כשותפות לביצוע המבדק?
תוצאות שלב זה: הגשת הצעה מפורטת ליוזם המבדק.

שלב 3: הבנת ביצועי העצמיים

- איסוף מידע על ביצועיך והבנת הגורמים המשפיעים על הביצועים.
- לימוד סוגי הנתונים הרלבנטיים וכיצד יש לאסוף נתונים אלו. המידע הנאסף בשלב זה יוצר את קו הבסיס להשוואת הביצועים עם החברות המצויינות המשמשות נשוא למבדק.

שלב 4: ביצוע "מבדק הביצועים" בחברות אחרות

- צמצום רשימת המועמדים לביצוע המבדק לקבוצה נבחרת.
- הכנת שאלות ותכנון הדרכים לענות על שאלות אלו בעת ביצוע המבדק. בשלב זה יוגדרו מדדים ושיטת ניתוח הנתונים.
- ביצוע המבדק גופו אצל חברות.

שלב 5: ניתוח נתוני המבדק

- ניתוח הנתונים שנאספו תוך איתור פערים עם ביצועי החברה.
- זיהוי קטעי מידע חיוניים ושימושיים לצורך השגת ביצוע משופר.
- זיהוי הזדמנויות לשיפור.

שלב 6: יישום ממצאי "מבדק הביצועים"

- * Camp R. (1989): Benchmarking : The Search for Industry Best Practices that Lead to Superior Performance. ASQC Quality Press. Milwaukee, WI.
- ** Bemowski K. (1991): The Benchmarking Baudwagon. Quality Progress. January 19-24.

גישות לאיכות

הגישה המסורתית ("little-q")

והגישה החדשה ("BIG-Q")

אלמנט האיכות	מפעל בגישת "little-q"	מפעל בגישת "BIG-Q"
1. הגדרת האיכות היא :	מכוונת מוצר (הגדרת ספציפיקציות טכניות)	מכוונת לקוח (הגדרת דרישות הצרכן הסופי)
2. נושא האיכות הוא:	פחות חשוב מעלות, נפח ייצור, יעילות הייצור	יעד אסטרטגי עליון בקבלת החלטות עסקיות
3. הדגש הוא על:	איתור שגיאות וטעויות (סינון של תוצרת סופית)	מניעת שגיאות וטעויות (בקרת תהליך ושיפור תהליכים)
4. עלות המוצר נתפסת	כעולה עם עליית האיכות	כיורדת עם עליית האיכות
5. האחריות לאיכות היא של	מחלקת אבטחת איכות ומבקרי איכות	כל עובד בארגון, ובעיקר של ההנהלה הבכירה
6. אקלים חברתי במפעל מכוון	למציאת אשמים, "שמור לי ואשמור לך", קונפליקט בין הייצור לאנשי אבטחת האיכות ("שוטרים וגנבים")	אנשי אבטחת איכות נותנים תמיכה מקצועית ומשמשים יועצים לאנשי הייצור, עליהם מוטלת האחריות לאיכות. אווירת שתוף פעולה ועבודת צוות.
7. פתרון בעיות	ע"י המנהלים, ריכוז סמכויות החלטה, "ראש קטן", כיבוי שריפות.	ע"י צוותות בין מחלקתיים, אווירת פתיחות, שיפור מתמיד של תהליכים.
8. בעיות איכות נתפסות כנובעות	מסיבות מיוחדות (באחריות הפועלים ליד המכונות)	מסיבות כלליות, ממבנה לקוי של המערכת ונוהלי התפקוד שלה, ולכן בעיקרן הן באחריות ההנהלה.
9. קשר עם ספקים	חשדנות, גישת "הפרד ומשול" בין מספר רב של ספקים כדי להוריד מחירים.	יחסי אמון, תפיסת הספקים כשותפים עסקיים, פתיחה הדדית של מערכות הייצור כדי לפתור במשותף בעיות איכות. הקטנת מספר ספקים כדי להקטין שונות. הנהגת נוהל אישור ספקים
10. תפקיד ההנהלה	לפקח על העובדים	לשפר את המערכת על מנת לאפשר לכל עובד לבצע את עבודתו "נכון בפעם הראשונה"

איכות כוללת בקרת איכות ותכנון לאיכות. ד"ר חיים שור

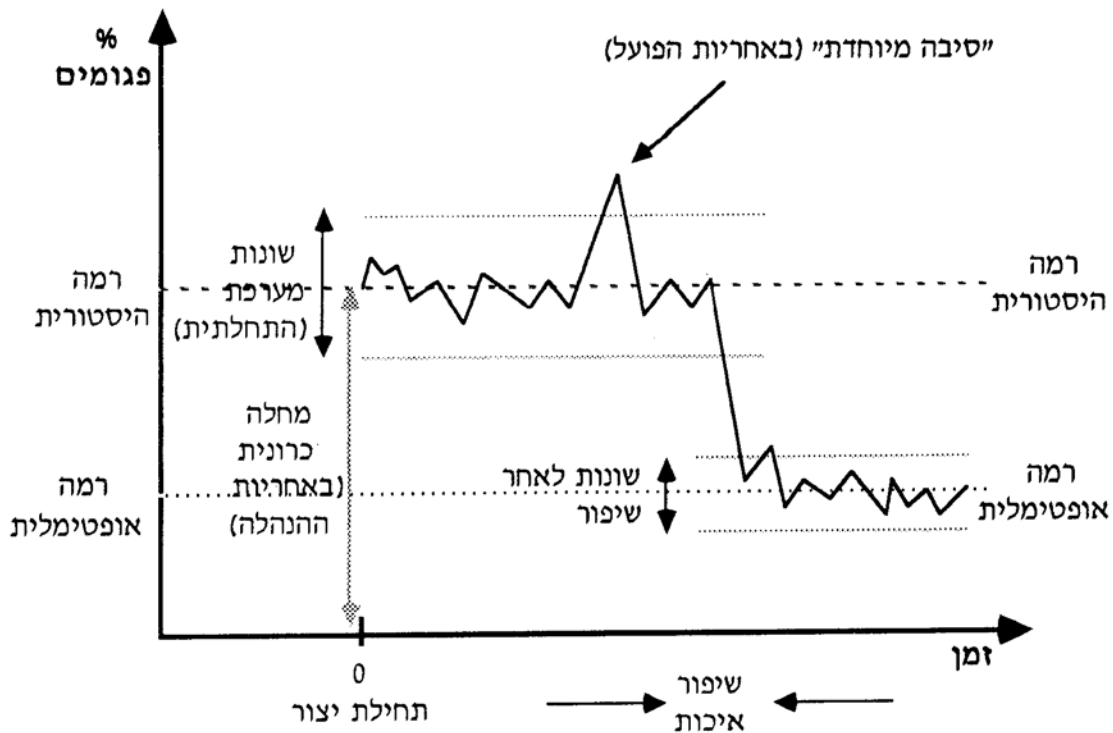
© - כל הזכויות שמורות

הטרילוגיה של ג'וראן

שלושה תהליכים ניהוליים להשגת איכות:

- תכנון לאיכות
- בקרת איכות (תוך כדי תהליך)
- שיפור האיכות

תאור סכמטי



הערה: קיימת הקבלה מלאה עם שלושה תהליכי הניהול הפיננסי:

תיקצוב, בקרת הוצאות, צמצום עלויות.

פרק שני

14 העקרונות של דמינג

44	תחלואי הניהול המערבי (דמינג)
45	14 עקרונות דמינג
55	מערכת ידע מעמיק (דמינג)

תחלואי הניהול המערבי (לפי דמינג)

■ "המחלות הקטלניות של הניהול המערבי"

1. העדר קביעות המטרה (CONSTANCY OF PURPOSE) הנחוצה כדי להכיר את צרכי הלקוח, לקבוע מדיניות לטווח ארוך ולתרגמה למפת דרכים.
2. דגש על רווחים לטווח קצר (ההיפך מ"קביעות המטרה").
3. מערכות הערכת עובדים לדרגים ניהוליים ("ניהול על ידי פחד").
4. ניידות הנהלה בכירה.
5. שימוש במספרים נראים בלבד לצורך קבלת החלטות ניהוליות.

■ בעיות נוספות שמונה דמינג (חלקן מיוחדות לארה"ב)

- עלויות מופרזות של טיפול רפואי.
- עלויות מופרזות של מימוש אחריות.
- תקוה לתוצאות מיידיות.
- "הבעיה שלנו שונה".
- תכנית למודים שגויה בבתי ספר למינהל עסקים (דגש על הצד הפיננסי ולא על הייצור).
- כשלון בהוראת סטטיסטיקה באוניברסיטאות שתכין לתעשייה.
- הנחת ההנהלה שהשגת איכות דורשת רק "השתדלות ורצון טוב" מצד כח האדם במפעל, ולא שיפור המערכת.
- העדר מעורבות של הנהלה בכירה בבעיות הייצור.
- בידוד ההנהלה הבכירה מבעיות המפעל.
- "תן דוגמאות ממפעל דומה".
- הסתמכות על חוגי-איכות ותכניות אחרות למעורבות עובדים, תוך ניתוק ההנהלה הבכירה מבעיות איכות ופריזון.

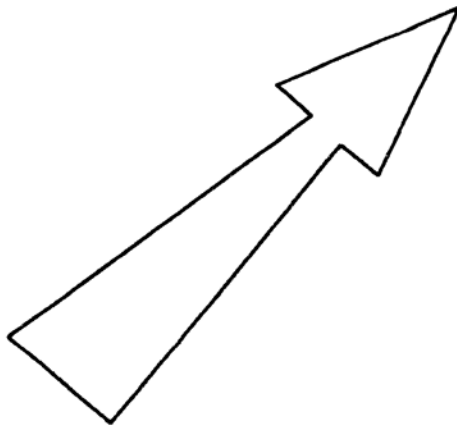
איכות כוללת בקרת איכות ותכנון לאיכות. ד"ר חיים שור

© - כל הזכויות שמורות

התרופות הנדרשות: 14 העקרונות של דמינג

1. יצור "קביעות המטרה"

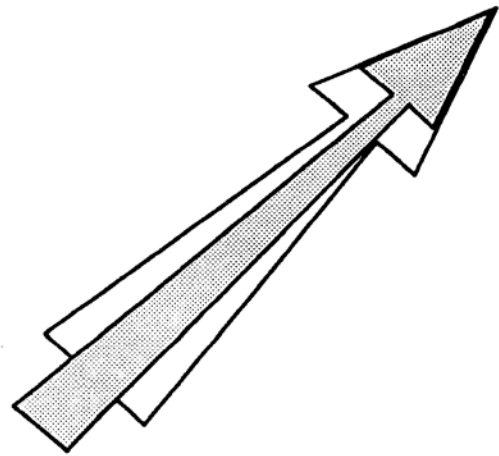
לקראת שיפור המוצר והשרות, כאשר היעד הוא להיות תחרותי, להישאר בשוק ולספק מקומות עבודה.



"קביעות המטרה"

קבע כוון

(נסח מדיניות הארגון)



"עקביות המטרה"

צמצם את הפיזור

(דאג שכל הדרגים הניהוליים
ייצמדו למדיניות שנקבעה)

אלמנטים מרכזיים:

- הבנת צרכי הלקוח היא השלב החשוב ביותר בתהליך הייצור.
- השקעה במחקר ופיתוח.
- חדשנות כדי להישאר תחרותי.

איכות כוללת בקרת איכות ותכנון לאיכות. ד"ר חיים שור

© - כל הזכויות שמורות

(עקרונות דמינג - המשך)

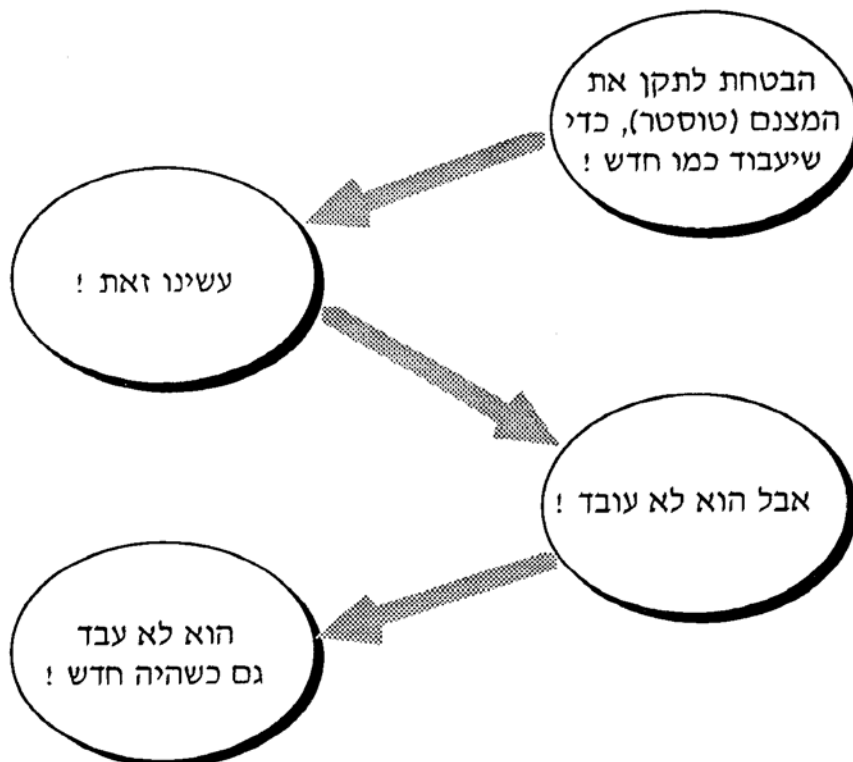
2. אמצ' הפילוסופיה החדשה

אנו בתקופה כלכלית חדשה, שנוצרה על ידי יפן. על ההנהלה להתעורר לאתגר, ללמוד את תפקידיה החדשים וליטול מנהיגות בהכנסת השנוי.

העקרון היסודי של התקופה החדשה: איכות גבוהה יותר-עולה פחות (לא יותר).

מרכיבי נורמת ההתנהגות החדשה:

- ייצור למפרט (אין מיונים ואין תיקונים).
- אין חריגים (גם לא במפרטים).
- שרות בזמן.
- עמידה בהתחייבויות (ללא מקדמי בטחון, ללא תירוצים).



(עקרונות דמינג – המשך)

3. חדל להסתמך על בחינה (INSPECTION) ובקורת

סלק את הצורך המסיבי בבקורת על ידי בניית איכות לתוך המוצר מלכתחילה.

- הזדקקות לבקורת של 100% מעידה על:
* תכנון פגום.

* תהליך ייצור בלתי מבוקר.

* חוסר התאמה בין המפרט לבין תהליך הייצור.

- הבחינה במהותה היא תהליך בלתי יעיל.

- יש לדרוש הוכחה סטטיסטית על איכות מובנית בכל תהליך.

- היעד חייב להיות שפור תהליכים שימנע צורך בבחינה סופית.

להלן 3 תרגילים להדגמת אי היעילות של בחינה ויזואלית של 100%

תרגיל 1: קרא פעם אחת בלבד את קטע א', ורשום את מספר הפעמים שמופיעה האות f.

מספר הפעמים שהופיעה f: _____

תרגיל 2: הנח כי בקטע ב' האות G מייצגת מוצר פגום. רשום את מספר ה"מוצרים הפגומים" בקטע.

מספר הפעמים שהופיעה G: _____

תרגיל 3: (מקור - Quality World, Dec. 1990) : בתמונה שלהלן מצוירות טבעות שבורות. טבעת שבורה אשר הפתח שלה פונה ימינה נחשבת כמוצר פגום.

כמה טבעות כאלה מופיעות בתמונה?

מספר הפעמים שהופיעה "טבעת פגומה": _____

הכלל המקובל :

בוזון ממוצע מגלה רק כ- 80% מהפגמים או מהמוצרים הפגומים

(עקרונות דמינג - המשך)

4. חדל מהנהול של רכש רכיבים וחומרים בשל שיקולי מחיר בלבד

במקום זאת - הבא למינימום העלות הכוללת. התקדם לקראת עבודה עם ספק אחד בלבד לכל פריט, ובנה איתו יחסי עבודה לטווח ארוך המבוססים על נאמנות ואמון.

- העדף ספקים שיכולים להוכיח איכות בנתונים סטטיסטיים.

ספק A



ספק B

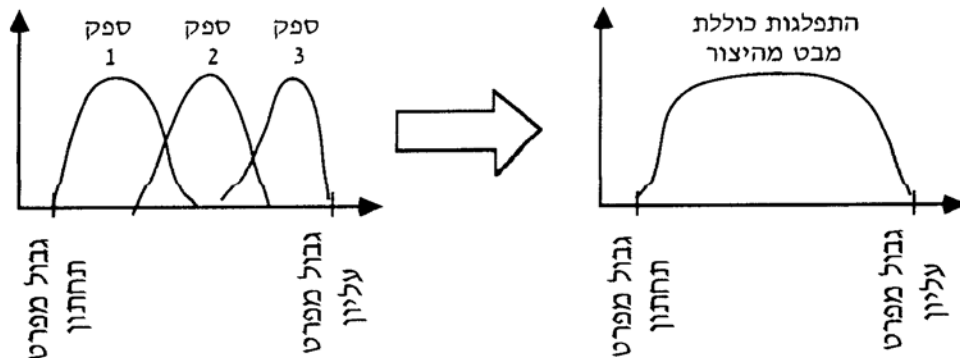


אין הוכחה
ליציבות התהליך



את מי נעדיף?

- עבודה עם מספר ספקים טובים. תוצאה: איכות גרועה.



איכות כוללת בקרת איכות ותכנון לאיכות. ד"ר חיים שור

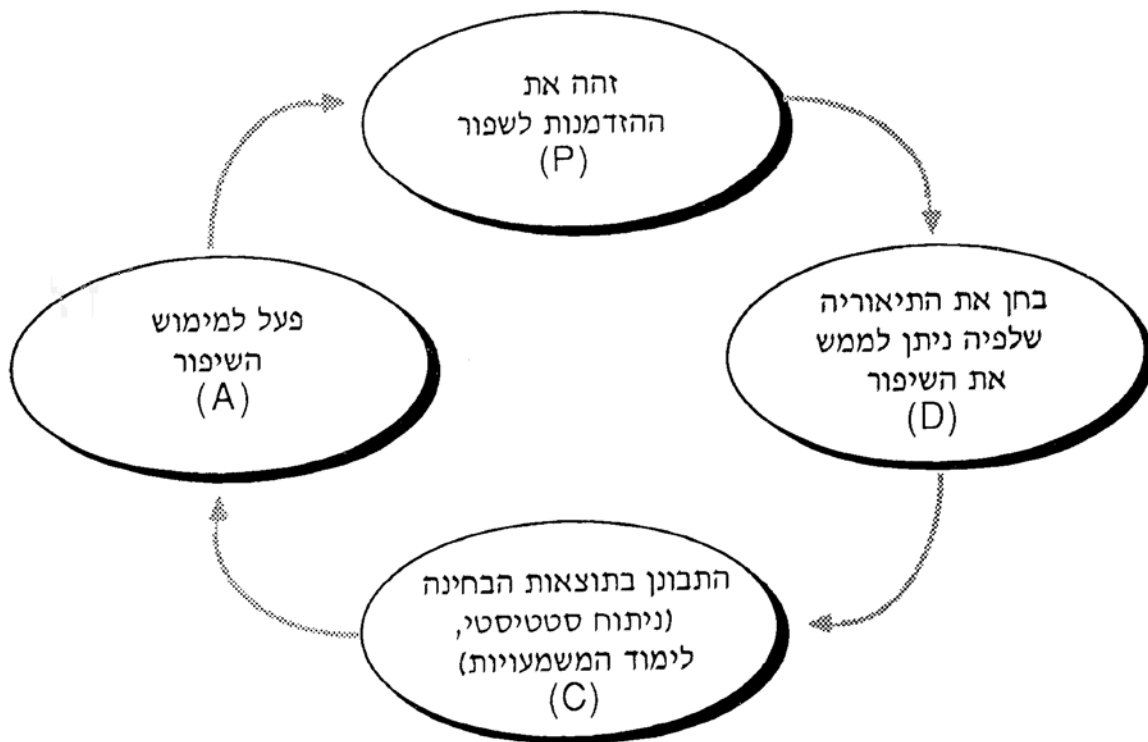
© - כל הזכויות שמורות

(עקרונות דמינג – המשך)

5. שפר בהתמדה וכל הזמן את המערכת (ייצור ושרות)

כדי לקדם את האיכות והפרייון. באופן כזה - הקטן בהתמדה את ההוצאות.

PDCA - מעגל שיפור האיכות של דמינג



- כ- 85% מהבעיות נובעות מהמערכת (באחריות ההנהלה) ורק 15% קשורות בעובדים (המערכת אינה יציבה 15% מהזמן!)
- המפתח לשיפור איכות הוא שיפור תהליכים, ולא סיסמאות או יצירת מוטיבציה אצל העובדים. (להלן עקרון 10)
- הסיבה להצלחת התעשייה היפנית: מעורבות מנהלים בתהליכי שיפור התהליכים.

איכות כוללת בקרת איכות ותכנון לאיכות. ד"ר חיים שור

© - כל הזכויות שמורות

(עקרונות דמינג - המשך)

6. יש להדריך עובדים במקום עבודתם

- בנה שיטות הדרכה מודרניות שיבטיחו כי העובד מבין את המוטל עליו. זהו תרשים בטוח להעלאת האיכות.
- פרוס את תכנית ההדרכה ככל האפשר, כך שלעובד תנתן שהות להשתמש בחומר שלמד ולהביא בעיות שהתעוררו.
- וודא על ידי שיטות סטטיסטיות שהעובד מתאים לעבודתו ושתקופת ההדרכה הסתיימה.

סיבות מצויות להתנגדות להדרכה (למנהלים):

- "זה מיועד לעובדים שלי, לא בשבילי".
- "זה טוב לייצור, לא לעבודתי".
- "הבעיות שלנו כאן הן שונות".
- "אנו מסתמכים על נסיוננו".
- "תקוה ל"INSTANT PUDDING" (תוצאות מיידיות).

7. החדר שיטות מודרניות של ניהול עבודה (SUPERVISION), הראה מנהיגות

למנהל העבודה הגדרת תפקיד חדשה:

- מנהל העבודה אינו שוטר או שופט, אלא מדריך ומנהיג המסייע לפועלים להוציא מוצרי איכות, כך שיתגאו בעבודתם.
- מנהל העבודה חייב להתמקד בטפול בתקלות במערכת שאינן בשליטת הפועלים, ולא בכתיבת דוחות ומלוי טפסים.
- מנהל העבודה מרכז בעיות במערכת הדורשות שיפור, ומעבירן לדרגים הממונים (פגמים בחומרים, כלים פגומים, דרישות עבודה המתמקדות בכמות ללא דרישות איכות).

(עקרונות דמינג – המשך)

8. הרחק פחד, כך שכל אחד יוכל לעבוד באופן אפקטיבי עבור הארגון

התוצאות ההרסניות של "ניהול באמצעות פחד":

- העלמת בעיות מההנהלה הבכירה.
- הכנת תחזיות לא מבוססות (אופטימיות יתר).
- איסוף אינפורמציה מיותרת (כולל הכנת דוחות מיותרים).
- העלמת עין מבעיות אצל "השכן" ("יד רוחצת יד").
- אוריה של "שוטרים וגנבים".
- מונע תהליך שיפור מתמיד כי כל שיפור מקורו בבעיה.
- מבטל חדשנות הכרוכה בסיכונים.

התוצאות החיוביות של "הרחקת פחד":

- פתיחות, המאפשרת לאנשים לשאול שאלות להבנת הנדרש מהם.
- העובד בטוח במקום עבודתו, ויכול לעבוד באוריה המובילה לשיפור והתייעלות.

9. שבור מחיצות בין מחלקות

אנשים במחקר, תכנון, מכירות וייצור חייבים לעבוד כצוות כדי לצפות בעיות בייצור ובעיות בשימוש שיתגלו במוצר (או בשירות).

אלמנטים עיקריים:

- פתרון בעיות בעבודת צוות.
- איחוד מאמצים של אנשים מתחומי פעילות שונים.
- כל גורם רואה בעיות מהזווית שלו. הסרת מחיצות מבטיחה השתקפות של בעיות המערכת בכללותה.
- עבודה בצוות מבטיחה התייחסות לדרישות הלקוח.
- בעבודה בצוות משתקפות מטרות המערכת, ובכך נמנעת תת אופטימיזציה.
- קיצור זמן החדרת מוצר חדש לשוק (Concept to product cycle time).

(עקרונות דמינג - המשך)

10. הרחק סיסמאות, הטפות מוסר והצהרות על יעדים ללא תכניות אופרטיביות ("אפס פגומים", "רמות חדשות של פריון")

מה שנדרש הוא:

- מחויבות ההנהלה.
- תכניות אופרטיביות (הדרכת עובדים, כלים ושיטות עבודה מתאימים).
- פוסטרים המציינים מה נעשה ומה השתפר.
- תכנית אב ל"שיפור איכות מתמיד".

11. המנע מתקני עבודה (נורמות) ברצפת הייצור. החלף במנהיגות. הימנע מניהול לפי יעדים (MBO). המנע מניהול לפי מספרים, המנע מיעדים מספריים

חסרונות של קביעת יעדים:

- מנציחים איכות נמוכה, מונעים שיפורים.
- מנציחים יעילות נמוכה, מעלימים הצורך בשנוי המערכת.
- תרומה שלילית לשביעות רצון של עובדים וצרכנים.
- היעד לעתים תלוי בגורמי מערכת שאינם בשליטת העובד או תלוי בגורמי אקראיות.
- למטרות תכנון אין צורך להשתמש בתקנים. ניתן "לצלם" את התהליך בפועל.
- תקנים לעתים משקפים פשרה או שיקולים לא רלבנטיים (יחסי עבודה).
- תקנים מתעלמים מדרישות הלקוח, או ממחיר שהוא מוכן לשלם עבור מלוי צרכיו.

התחליף:

מנהיגות ושיטות סטטיסטיות לשיפור מתמשך באיכות.

(עקרונות דמינג - המשך)

12. הסר מחסומים השוללים מהעובד את זכותו להתגאות בעבודתו

משמעות הדבר, בין השאר, ביטול הערכת עובדים שנתית וגישת "ניהול לפי חריגים":

- לעובד אין שליטה בשיפור המערכת.
- לעובד אין שליטה בבעיות ניהול עבודה.
- העובד מציע שיפורים ואינו זוכה להתייחסות.

מערכות "מפריעות" לגאווה עובד בעבודתו:

מערכת הערכת עובדים:

- פוגעת בעבודת צוות.
- מעודדת בינוניות (תופעת "ראש קטן" בגלל חשש מכשלונות).
- מגדילה את השונות ("ניהול לפי חריגים").
- אינה מבדילה בין אנשים ובין תשומות אחרות למערכת.
- מתמקדת על הטווח הקצר (התוצאה: "בקרת יתר" והגדלת אי יציבות המערכת).

מערכת דיווח ייצור יומי:

- מגבירה פחד ותגובות - יתר לנפילות אקראיות בתפוקה ("בקרת - יתר" והגדלת השונות).
- דגש על תפוקה ולא על איכות.
- דגש על תפוקה ולא על שיפור המערכת.
- הגברת מלאים כדי להסתיר סטיות בתפוקה היומית.

מערכת ניהול פיננסית (FMS):

- מגבילה את ההנהלה, ומונעת גמישות בהחלטות.
- סוגרת אפיקי תקשורת.
- דגש על הטווח המיידי.
- לא מביאה בחשבון עלויות האיכות.
- גורמת להנהלה להתעלם מ"המספרים הבלתי נראים".

(עקרונות דמינג - המשך)

13. יש למסד תכנית נמרצת להדרכה והשתלמות עצמית

- יש להכשיר עובדים לקליטת החידושים (תהליכים, מכוונות, מוצרים חדשים)
 - יש לאפשר לעובדים פיתוח עצמי כך שיוכשרו לתקופה החדשה, ויוכלו להשתלב במקצועות חדשים (אם מקצועם יעלם).
 - יש להכין תוכנית הדרכה נרחבת לשימוש בכלים סטטיסטיים לבקרת תהליכים, שיפור תהליכים וקבלת החלטות המבוססות על ניתוח עובדתי.
- "In GOD we trust. Everyone else brings Data"

14. כל אדם בארגון חייב לפעול להשגת התמורות הנדרשות - תמורות אלו הן עניינו של כל אדם בארגון.

מערכת של ידע מעמיק

לאחרונה החל דמינג לפתח את "מערכת הידע המעמיק"

(A System of Profound Knowledge).

לטענתו, כדי להנהיג את הטרנספורמציה הדרושה בניהול של ארגונים בתעשיה, בחינוך ובמשלה, יש צורך בבסיס ידע, המהווה בפועל את התשתית התיאורטית ל-14 העקרונות. "הידע המעמיק" הינו הידע הדרוש למנהל כדי לנהל באופן אופטימלי את המערכת שעליה הוא מופקד.

דמינג מבחין בארבעה פרקים, תלויים זה בזה הדדית, אשר בכללותם יאפשרו להטמיע את תפיסת "השיפור המתמיד" בכל הפעילויות של הארגון, ולשנות את סגנון הניהול המערבי הנוכחי בכוון של אופטימיזציה.

איכות כוללת בקרת איכות ותכנון לאיכות. ד"ר חיים שור

© - כל הזכויות שמורות

ארבעת הפרקים הם:

1. ידע בהתנהגות מערכות ("Appreciation for a System")
2. תורת ההשתנות ("Theory of Variation")
3. תורת הידע ("Theory of Knowledge")
4. ידע בפסיכולוגיה ("Knowledge of Psychology")

דוגמאות לידע נדרש ב"תורת ההשתנות":

- הבנת מושג ההשתנות, כולל השתנות הנובעת מסיבות מיוחדות ומסיבות כלליות. הדבר חיוני לצורך ניהול מערכת, כולל הנהגת בני אדם.
- ידע אודות מקורות אי הוודאות השונים במערכת המדידה. האם המערכת היא יציבה? בבקרה סטטיסטית?
- הבנת כושר תהליך, ומתי נתונים מרמזים כי תהליך אינו יציב.
- ידע אודות האובדנים הנגרמים מאפליקציה חוזרת של כוחות אקראיים או שינויים אקראיים, שכל אחד עשוי להיות חסר משמעות. לדוגמה: עובד מדריך עובד, שתוצאתו האפשרית: "טלפון שבור".

דוגמאות לידע נדרש בפסיכולוגיה:

- "הצדקת-יתר" נובעת ממערכת לקויה של תמריצים. מתן תמריץ כספי, או פרס, לאדם על מעשה או הישג שביצע להנאתו הפרטית ושלא על מנת לקבל פרס, יביאו לתוצאה הפוכה מהרצוי: המתוגמל "תגמול יתר" יאבד עניין בהשגת הישגים דומים בעתיד.
- אנשים לומדים בדרכים שונות ובקצב שונה. חלקם לומדים בשיטה היעילה ביותר על ידי קריאה, חלקם על ידי הקשבה, חלקם על ידי התבוננות בתמונות (דוממות או נעות) וחלקם על ידי צפייה באדם אחר המבצע את הפעולה הנלמדת. המנהל חייב להיות מודע להבדלים אלו, ולהביאם בחשבון בתכנון פעילויות הדרכה.

פרטים נוספים ראה בפרסומים:

- Deming W.E. (1989-1990). A System of Profound Knowledge for Industry, Education and Government. Working Papers.
- Gruska G.F. (1991). Report of the Deming Study Group (II). Transaction of the 45th Annual Quality Congress, ASQC 409-413.

פרק שלישי

ניהול לפי איכות כוללת –

עקרונות, שלבי ביצוע, כלים

74	7 כלים סטטיסטיים	58	TQM - הגדרה
75	7 כלים ניהוליים	59	גורמי מפתח
76	רשימת תיוג מרובה	60	עקרונות יסוד
77	ניתוח סיבה - תוצאה	61	ספקים וצרכנים
78	דיאגרמת עצם דג	62	"מה איננה TQM"
80	ניתוח פרטו	63	שלבים ביישום
82	ריבוד	64	פירוט השלבים
83	תרשים זרימה	66	צוותי איכות וחוגי איכות
85	איכות ושונות	67	בעיות ביישום
86	דוגמאות ליצירת שונות	68	פרס Malcolm Baldrige
87	פונקציית האובדן (טגוצ'י)	69	חמישה פנים לשיפור האיכות
88	מדידת השתנות	70	שלבים בפרויקט שיפור האיכות
89	תרשים Multi-Vari	71	שלבים חיוניים (תהליך)
91	ניתוח שונות	72	מדדי ביצוע
92	דוגמאות	73	שימוש בכלים הסטטי והניהוליים

ניהול לפי איכות כוללת (T.Q.M) **(TOTAL QUALITY MANAGEMENT)**

הגדרה :

ניהול לפי איכות כוללת זוהי פילוסופיה ניהולית, מחוייבת

לנושא האיכות, המתמקדת בשפור תהליכים מתמיד, תוך

השתתפות של כל עובד בארגון.

תוצאתה:

שביעות רצון מוחלטת של הצרכן

גורמי מפתח בגישת T.Q.M

1. מודעות לאיכות.
2. מחויבות והנהגה מצד ההנהלה (גישת TOP/DOWN).
3. התארגנות לקראת שיפור איכות.
4. יצירת סביבה של שיתוף ועבודת צוות.
5. הדרכה לשיפור איכות.
6. מעורבות של כל איש בארגון, בכל הדרגים.
7. מעורבות של צרכנים וספקים כאחד.
8. פתרון בעיות ומניעתן (ניתוח תהליכים, הקטנת שוננויות).
9. בקרת איכות סטטיסטית.
10. מדידה של רמת האיכות.
11. הכרה בהישגים בתחום האיכות.
12. שיפור מתמיד.

עקרונות יסוד בגישת T.Q.M

- האיכות היא עניינו, בעייתו ומחוייבותו של כל עובד, ולא של מבקרי האיכות בלבד.
- איכות היא מאמץ מתמשך ומתמיד לשיפור. יש להמנע מקביעת סטנדרטים.
- מחויבות, השתתפות מלאה והנהגה מצד ההנהלה הבכירה הם תנאי להצלחת המאמצים לשיפור האיכות.
- הדרכת כל עובד בארגון במונחים הבסיסיים של בקרת איכות (כולל ספקים).
- יש לבנות את האיכות לתוך המוצר בשלב התכנון והייצור, ולהמנע מהסתמכות על ביקורת מסננת של המוצר המוגמר.
- כל פעילות בארגון היא תהליך, שניתן להגדיר את לקוחותיו ואת דרישות האיכות שלהם.
- בכל ארגון מצויים צרכנים פנימיים וחיצוניים. יש לבצע ניתוח מערכת שיאתר צרכנים אלו, יזהה את דרישות האיכות שלהם, יקבע סיבות לחוסר שביעות רצון ויסלק הגורמים האחראיים לכך.
- יש לפתח מדדים ברורים לרמת האיכות, ולהקים מערכת דווח מדוייקת ואמינה לגבי מצב האיכות.

יחסים עם ספקים וצרכנים (פנימיים וחיצוניים) בגישת T.Q.M

1. כל עובד במפעל הוא גם ספק וגם צרכן ועליו להתייחס לתפקידו הכפול בהתאם:
- לדאוג שהספק שלו יבין את דרישות האיכות הנדרשות ממנו ולתבוע את קיומן.
- לדאוג שהצרכן שלו יהיה שבע רצון.
2. יש להקטין במידת האפשר את מספר הספקים כדי להפחית השונות של חומרי הגלם.
3. יש להתרכז בביקורת התהליך של הספק כדי להפחית או להמנע כליל מהצורך בביקורת מסננת של תוצרתו.
4. היחסים עם ספקים מושתתים על התקשרות לטווח ארוך המאפשרת יצירת יחסי אמון הדדי שבהם מוחלפת אינפורמציה, וקיימת נכונות להדריך את הספק בהחדרת שיטות של אבטחת איכות.
5. יש לשאוף לרכוש חומרי גלם אך ורק מספקים מוסמכים או מאושרים.
6. יש לספק ללקוחות מידע מלא על תכונות האיכות של המוצרים ולסייע להם בעשיית שימוש נאות במוצרים אלה.
7. יש לעקוב באופן מתמיד אחר תגובות צרכנים ביחס למוצרי המפעל וביחס למוצרים מתחרים כדי להבטיח שהמטרה העיקרית של הארגון, "שביעות רצון מלאה של הצרכן", תושג.
8. יש לעקוב באופן שוטף אחר דרישות האיכות המשתנות של הלקוחות ושל השוק בכללו, ולבצע הערכה תקופתית באיזו מידה עדיין עונים מוצרי המפעל לדרישות אלו.

מה איננה גישת T.Q.M ?

- ♦ אינה תכנית חדשה. T.Q.M. זוהי פילוסופיה ניהולית, משולבת במתודולוגיה אופרטיבית.
- ♦ אינה "אותה גברת בשינוי אדרת". מדובר בצורת חשיבה המהווה "פריצת דרך".
- ♦ אינה "כבוי שריפות". זוהי גישה מובנית לזיהוי ופתרון בעיות איכות, ויישום השיפורים בפועל.
- ♦ אינה בנויה על סיסמאות. עיקרה מעשים ופעולות יזומים על ידי ההנהלה.
- ♦ אינה נובעת מלמטה, מהפועלים ברצפת הייצור (כמו "חוגי איכות"), אלא מדרגי הנהלה בכירים.
- ♦ אינה "פתרון קסם", אלא מאמץ מתמשך, אורח חיים.

שלבים ביישום גישת T.Q.M

- הצגת גישת T.Q.M בפני הנהלה בכירה, יצירת מחויבות.
- עיצוב אסטרטגית איכות כוללת.
- הקמת מועצת איכות (בהשתתפות המנהל הכללי).
- התארגנות לקראת "איכות כוללת".
- בחירת פרויקטים לשיפור האיכות, קביעת עדיפויות.
- מערכת הדרכה לעובדים.
- הקמת צוותי איכות.
- הוצאה לפועל של פרויקטים לשיפור האיכות.
- מעקב, בקרה ודיווח (כולל דיווח על מערכת האיכות).

פרוט השלבים ביישום T.Q.M

■ עיצוב אסטרטגית איכות כוללת:

- זיהוי הצרכנים.
- הגדרת דרישות וציפיות של צרכנים (כולל סקר צרכנים).
- "תרגום" ציפיות צרכנים לתכונות המוצר.
- הגדרת מדדי איכות של התכונות הנדרשות.
- קביעת מטרות ויעדים לשיפור האיכות.
- הגדרת מדיניות איכות כוללת.

הערה: ראה בנספח ד' דוגמה למסמך המפרט מדיניות האיכות במפעל ישראל.

■ התארגנות לקראת איכות כוללת:

- העברת המסר לעובדים (פגישות עובדים, מודעות, "אקלים איכות").
- הקמת מערכת דיווח על איכות, או שיפור הקיימת.
- מערכת תמריצים לעובדים לשיפור האיכות.
- השלמת מערכת אבטחת איכות במפעל (נוהלים).
- הסרת מחיצות בין מחלקתיות בנושאי איכות (הגדרות של "ספקים" ו"צרכנים" פנימיים).

פרוט השלבים ביישום T.Q.M – המשך

■ בחירת פרויקטים לשיפור האיכות הכוללת :

- איסוף נתוני איכות וניתוחם (כולל עלויות).
- הערכת "פערים" בין ציפיות צרכנים ובין תכונות המוצר.
- קבלת הערכות על חומרתן של בעיות איכות במפעל.
- מיון והערכה של הצעות שפור של עובדים.
- הכנת רשימה של פרויקטים אפשריים. תענה על השאלות הבאות:
 - מהי הבעיה?
 - מהו התהליך (מקור הבעיה)?
 - מה הפעולה הנדרשת בתהליך?
 - מה התוצאה הצפויה?
 - כיצד תמדד התוצאה? (מדד שיפור).
- שקלול וקביעת עדיפויות. בחירת הפרויקטים.

הערה: הבעיות יוגדרו מצד הצרכנים ולא מצד הספקים.

■ דוגמאות:

- בעיה:** זמן תגובה להזמנת שרות לטלביזיה ארוך מדי.
- תהליך:** טפול בהזמנות שרות וניתובן.
- פעולה:** ייעול התהליך במטרה לפשטו ולקצרו.
- תוצאה:** קיצור משך המתנה של לקוח.
- מדד:** הממוצע של מדגם בן 20 הזמנות.
-
- בעיה:** טעויות במשלוח פריטים ללקוחות.
- תהליך:** בדיקת תכולת המשלוח והשוואתו ל"טופס הזמנה".
- פעולה:** הדרכת עובדים בזיהוי פריטים הרשומים ב"טופס הזמנה".
- תוצאה:** הקטנת מספר ההחזרות לנורמה מקובלת.
- מדד:** מספר החזרות שבועי.
-
- הערה:** הגדרת תהליך לא תלווה בתרשים זרימה בשלב זה.

איכות כוללת בקרת איכות ותכנון לאיכות. ד"ר חיים שור

© - כל הזכויות שמורות

השוואה בין צוותי איכות לחוגי איכות

חוגי איכות	צוותי איכות	
*****	*****	
עובדים או הנהלה מקומית	הנהלה בכירה	היחוס:
שפור תנאי עבודה ואיכותם	פתרון בעיות איכות של המפעל	מטרה:
התנדבותי	לא התנדבותי	בסיס:
של הנהלה מקומית (אם בכלל)	של הנהלה בכירה	מחויבות:
הומוגני, מקומי	בין מחלקתי, רב פונקציונלי	הצוות:

בעיות ביישום גישת T.Q.M

(דווח על מחקר 41. P. 1989, MAY, QUALITY PROGRESS.)

1. מנהלים נוטים להתמקד בהגברת מודעות ומוטיבציה של עובדים (חוגי איכות, פרסי עידוד) או בפתרונות טכניים (רובוטיקה, MRP) במקום להתמקד בשנוי עמדות, גילוי מנהיגות, תמיכה ומעורבות של ההנהלה ובניית תכנית פעולה קונקרטית לשיפורים במערכות המפעל. (80% מההוצאות הוצאו עבור הדרכה טכנית ורכישת מערכות חדשות, בעוד שבפועל רק 20% מהבעיות קשורות בכישורים הטכניים של העובדים).
2. דגש על איכות בייצור תוך הזנחת האיכות בתהליכים אחרים (איכות בהחלטות ניהוליות, תהליך מכירה ושוק, גיוס עובדים, הנהלת חשבונות ועוד).
3. תקוה לתוצאות מיידיות שתוצאתה - אכזבה ונטישת התכנית.
4. אקלים של "שוטרים וגנבים" במקום אקלים של "פתרון בעיות". התוצאה: התנגדות עובדים.
5. תפיסות עמומות או בלתי מדויקות של "מהי איכות". ראיית איכות כהתאמה למפרט טכני במקום כמתכון למצויינות בכל הפעולות.

בחינת מערכת האיכות במפעל לפי

7 קטגוריות ראשיות ו- 32 קטגוריות משנה

(מתוך עלון ההדרכה, 1991)

MALCOLM BALDRIGE NATIONAL QUALITY AWARD (U.S.A)

1. מנהיגות (100 נקודות)
 - מנהיגות הנהלה בכירה
 - ערכי איכות
 - ניהול לאיכות
 - אחריות צבורית
2. מידע וניתוח (70 נקודות)
 - ההיקף והניהול של נתוני איכות
 - מידע על איכות
 - השוואות עם מתחרים ומבדקי ביצועים
 - ניתוח נתוני איכות ומידע
3. תכנון איכות אסטרטגי (60 נקודות)
 - תהליך התכנון
 - יעדי איכות ותכניות איכות
4. שמוש במשאבי אנוש (150 נקודות)
 - ניהול משאבי אנוש
 - מעורבות עובדים
 - חינוך והדרכה לאיכות
 - הכרה בתרומת העובדים ומדידת ביצועים
 - רווחת העובד ומורל
5. אבטחת איכות של מוצרים ושירותים (140 נקודות)
 - תיכון והצגה של מוצרים ושירותים חדשים או משופרים
 - בקרת איכות תהליכית
 - שפור מתמיד של תהליכים
 - הערכת איכות
 - תיעוד האיכות
 - האיכות של תהליכים עסקיים ושירותים תומכים
 - איכות ספקים
6. תוצאות האיכות (180 נקודות)
 - תוצאות איכות של מוצרים ושירותים
 - תוצאות איכות של התהליך העסקי, של פעולות החברה, ושל שירותים תומכים
 - תוצאות איכות של ספקים
7. שביעות רצון הלקוח (300 נקודות)
 - קביעת דרישות הצרכן וציפיותיו
 - ניהול היחסים עם הצרכן
 - תקנים בשירות הלקוח
 - מחויבות ללקוח
 - טפול בתלונות לצורך שיפור האיכות
 - קביעת שביעות רצון הלקוח
 - תוצאות של שביעות רצון הלקוח
 - השוואת שביעות רצון הלקוח עם זאת של מתחרים

סה"כ נקודות: 1000

איכות כוללת בקרת איכות ותכנון לאיכות. ד"ר חיים שור

© - כל הזכויות שמורות

חמישה פנים ל"שיפור האיכות"

- ◆ הקטנת ההשתנות הקיימת בפרמטרים של התהליך או של המוצר, על ידי ייצוב התהליך (סילוק הפרעות מקומיות וזמניות, איתור "סיבות מיוחדות" והכחדתן).
- ◆ הקטנת השונות הקבועה ("רעש") הקיימת בתהליך באופן תמידי, על ידי איתור "סיבות כלליות" וסילוקן.
- ◆ כוונן נכון של פרמטרים של התהליך כך שהסטיות בין ממוצע התהליך וערך המטרה שלו תהיינה קטנות ככל האפשר.
- ◆ תכנון ותיכון מוצרים או תהליכי ייצור כך שיהיו בלתי רגישים ל"גורמי רעש" בייצור או אצל המשתמש הסופי (גישת טגוצ'י, Robust Design).
- ◆ "השמעת קולו של הצרכן" לכל אורך תהליך הפיתוח, התכנון, התיכון והייצור כדי להבטיח התאמה מלאה בין דרישות הצרכן ותכונות המוצר ("פריסת פונקציית האיכות").

ראה פרוט נוסף בפרק 5.

שלבים בפרוייקט שפור איכות

PDCA

- הגדרת הבעיה.
- זיהוי התהליך ותאורו.
- יעד הפתרון (מצב רצוי).
- נתוח סיבה - תוצאה.
- הגדרת מדדי ביצוע של התהליך.
- ניתוח פרטו.
- הכנת תכנית פעולה לשיפור.
- יישום התכנית.
- הערכת תוצאות (על פי מדד השיפור).
- ביסוס השינויים (תיקונים, נוהלים, תקנון).
- חזרה לתאור התהליך המתוקן, או עבור לפרוייקט הבא.

שלבים חיוניים בזיהוי התהליך, בתאורו ובאיתור הזדמנויות לשיפור

1. זהה את הלקוח ואת דרישותיו.
2. הגדר את המוצר (או השרות).
3. בצע מיפוי התהליך הדרוש לייצור המוצר (או השרות). (בנה תרשים-זרימה של התהליך).
4. בנה רשימת מדדים **כמותיים** של איכות המוצר (או השרות), ושל מדדי תהליך המשפיעים על מדדי איכות המוצר (או השרות).
5. תוך שימוש בתצפיות שנאספו באמצעות המדדים, זהה מקורות לפגמים (טעויות), או אי-יעילויות המגדילות את זמן התגובה (או זמן המחזור).
לצורך זה רשום בתרשים התהליך ריבוע ליד כל שלב המוסיף ערך למוצר (או השרות), ומשולש ליד כל שלב שאינו מוסיף ערך. מצא דרכים כיצד להפחית בזבוז בתהליך על ידי סילוק פעילויות שאינן מוסיפות ערך (סילוק השלבים המסומנים במשולש).

מדדי ביצוע של התהליך

העיקרון היסודי:

"IN GOD WE TRUST .EVERYONE ELSE BRINGS DATA"

מדוע לאסוף נתונים?

- כדי לנתח את המצב (ANALYSIS)
- כדי לשלוט בתהליך על ידי בקרה (CONRTOL)
- כדי לשפר את התהליך (IMPROVEMENT)

מהם מדדי ביצוע?

מדדים של פרמטרים של תהליך המשקפים את איכות התהליך ו/או המשפיעים על איכות המוצר.

מה כולל מדד ביצוע?

- הגדרה
- יחידת מדידה

דוגמאות:

- מספר תלונות לקוחות בשבוע (תהליך נתון).
- ריכוז של מרכיב בתערובת מזון.
- זמן תגובה להזמנת פריט מהייצור.
- אחוז פריטים פגומים בתהליך.

שלבים בפתרון בעיות איכות והשימוש בכלים הסטטיסטיים ובכלים הניהוליים

1. הגדרת הבעיה
2. חקר מצב קיים
3. קביעת יעדים ותנאים רצויים (הגדרת מצב רצוי)
4. איתור הגורמים העיקריים היוצרים תוצאות רלבנטיות לבעיה, והבהרת יחסי סיבה-תוצאה.
5. תכנון הפעולות לתיקון הבעיה ויישומן.
6. אישור או אימות האפקטיביות של הצעדים שנקטו.
7. ביסוס השינויים (תיקנון) למניעת הישנות הבעיה.

שלב	כלים סטטיסטיים	כלים ניהוליים
1		TD,RD,AD
2	CED,PC,HG,CC,SD,FC	TD,RD,MD,MDA
3	FC,CC,PC	TD
4	CED,SD,CC,HG	TD,MD,RD,MDA
5		RD,TD,MD,AR,PDPC
6	FC,PC,CC	MD,MDA
7	CC	AR,PDPC

כלים סטטיסטיים

CED :CAUSE AND EFFECT DIA.
 PC :PARETO CHART
 HG :HISTOGRAM
 CC :CONTROL CHART
 SD :SCATTER DIA.
 FC :FLOW CHART

כלים ניהוליים

TD :TREE DIA.
 RD :RELATION DIA.
 MD :MATRIX DIA.
 AR :ARROW DIA.
 AD :AFFINITY DIA.
 MDA :MATRIX - DATA ANALYSIS.

קרי:

איכות כוללת בקרת איכות ותכנון לאיכות. ד"ר חיים שור

© - כל הזכויות שמורות

כלים גרפיים וסטטיסטיים למעקב אחר האיכות ("שבעת המופלאים" של ISHIKAWA)

1. רשימות תיוג (CHECK SHEETS)

2. היסטוגרם (HISTOGRAM)

3. דיאגרמת סיבה - תוצאה (FISHBONE DIAGRAM)

4. דיאגרמת פרטו

5. תרשימי פיזור (SCATTER PLOTS)

6. תרשימי זרימה (PROCESS & FLOW CHARTS)

7. תרשימי בקרה (CONTROL CHARTS)

"שבעת הכלים הניהוליים של בקרת איכות" ("THE NEW SEVEN")

- | | | |
|-----|----------------------------------|-----------------------|
| | (AFFINITY DIAGRAM, KJ METHOD) | 1. דיאגרמת זיקה |
| (3) | (RELATIONS DIAGRAM) | 2. דיאגרמת יחסים |
| (2) | (TREE DIAGRAM) | 3. דיאגרמת עץ |
| (1) | (MATRIX DIAGRAM) | 4. דיאגרמת מטריצה |
| | (MATRIX DATA ANALYSIS) | 5. ניתוח נתוני מטריצה |
| | (PROCESS DECISION PROGRAM CHART) | 6. דיאגרמת PDPC |
| | (כמו דיאגרמת פרט) | 7. דיאגרמת חיצים |

הערה: המספרים מציגים את רמת השימוש בפועל של שלוש הטכניקות השכיחות ביותר בשימוש.

פרוט של ארבעת הכלים הניהוליים הראשונים - ראה פרק 5.

מקור :

SHIGERU MIZUNO (1988)
MANAGEMENT FOR QUALITY IMPROVEMENT: THE 7 NEW - QC TOOLS
BOOK. PRODUCTIVITY PRESS, INC.

רשימת תיוג מרובה (Multiple Check Sheet)

דוגמה: להלן מופיעה רשימת תיוג של 4 סוגי פגמים על פי 4 גורמי מיון: מכונה, עובד, יום בשבוע, משמרת.

התוצאה: תמונה ברורה של הסיבות לרמת האיכות הירודה, לפי סוגי הפגמים (רצוי לסמן כל פגם בצבע שונה).

סה"כ	מכונה	ששי		חמישי		רביעי		שלישי		שני		ראשון		עובד	ציוד
		2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1		
29	11		Δ	α Δ				Δ			Δ	α Δ	Δ	א'	מכונה 1
	18	ο ο	α x	α x	Δ α				Δ		Δ	α	Δ α α		
7	4		Δ										Δ α ο	ג'	מכונה 2
	3							Δ					Δ α		
26	2		x	α					x	ο				ה'	מכונה 3
	24			ο x	x x	x ο	ο	α ο	α	ο x	Δ ο ο	α x			
8	4			x		Δ							α	ז'	מכונה 4
	4	Δ				α							ο α		
70		7	7	14	2	5	1	2	4	2	5	6	15		סה"כ

מקרא:

α - שריטה

ο - חור בפני השטח

Δ - פגיעה אחרת

x - צורה

התפלגות כללית של כל סוגי הפגמים:

x	Δ	ο	α	
12	24	15	19	שכיחות
17	34	22	27	%

מסקנות:

- מכונה 1 מהווה מקור לבעיות איכות.
- פועל ו' כנראה לא תודרך כראוי, או שאינו מבין את הוראות העבודה.
- במשמרת 1 ביום א' ובמשמרת 2 ביום ה' יש נטיה לרמת איכות ירודה במיוחד.
- אין הבדלים ניכרים בשכיחות סוגי הפגמים השונים או בין משמרת 1 למשמרת 2.

איכות כוללת בקרת איכות ותכנון לאיכות. ד"ר חיים שור

© - כל הזכויות שמורות

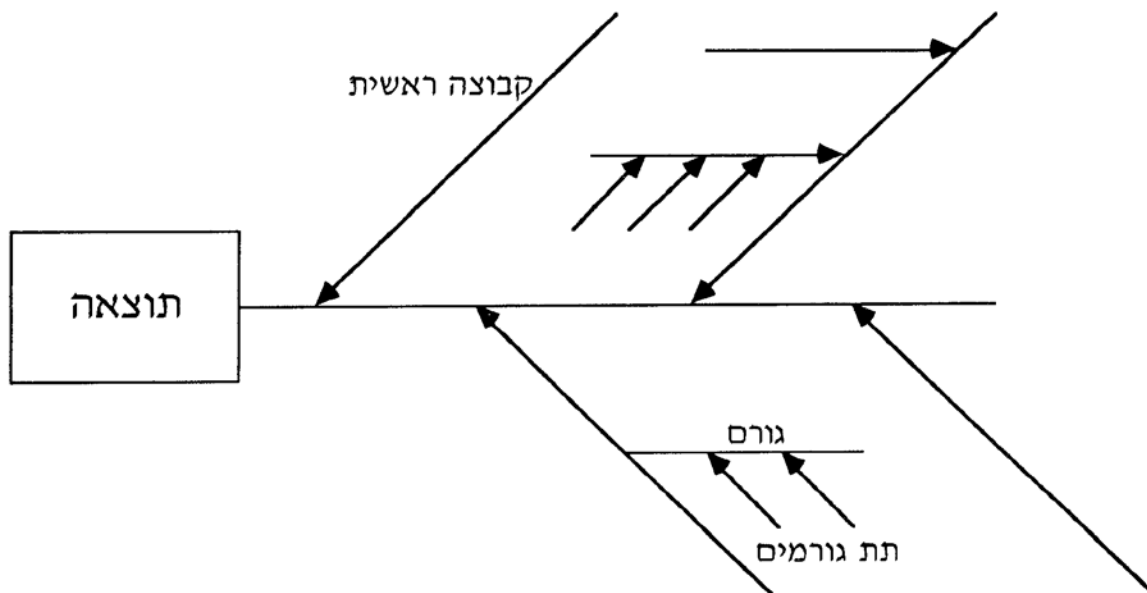
ניתוח סיבה – תוצאה (דיאגרמת ISHIKAWA)

המטרה: איתור הגורמים (הסיבות) לתוצאה נתונה (או רצויה)

שלבים בניתוח:

- א. הגדר את האפקט ("תוצאה") שאותו אתה מעוניין לחקור.
- ב. בנה צוות - לימוד הבעיה.
- ג. הסערת מוחות לאיתור גורמים אפשריים.
- ד. הגדר קבוצות ראשיות של גורמים.
- ה. בנה דיאגרמת עצם - דג (FISHBONE DIAGRAM).
- ו. זהה גורמי מפתח תוך הקבצת הגורמים לקבוצות הראשיות.
(הבדל בין סימפטומים לסיבות אמיתיות. הבדל בין סיבה לתוצאה).
- ז. רשום גורמים נוספים או תת גורמים שהועלו תוך בניית הדיאגרמה.
- ח. השג קונצנזוס בין חברי הצוות לגבי הסיבות העיקריות לבעיה
(מבין הרשומות בדיאגרמה).
- ט. "צא לשדה" לאסוף נתונים שיאשרו את הניתוח של הצוות.
- י. מסקנות אופרטיביות.

מודל של דיאגרמת עצם-דג (ניתוח סיבה-תוצאה)

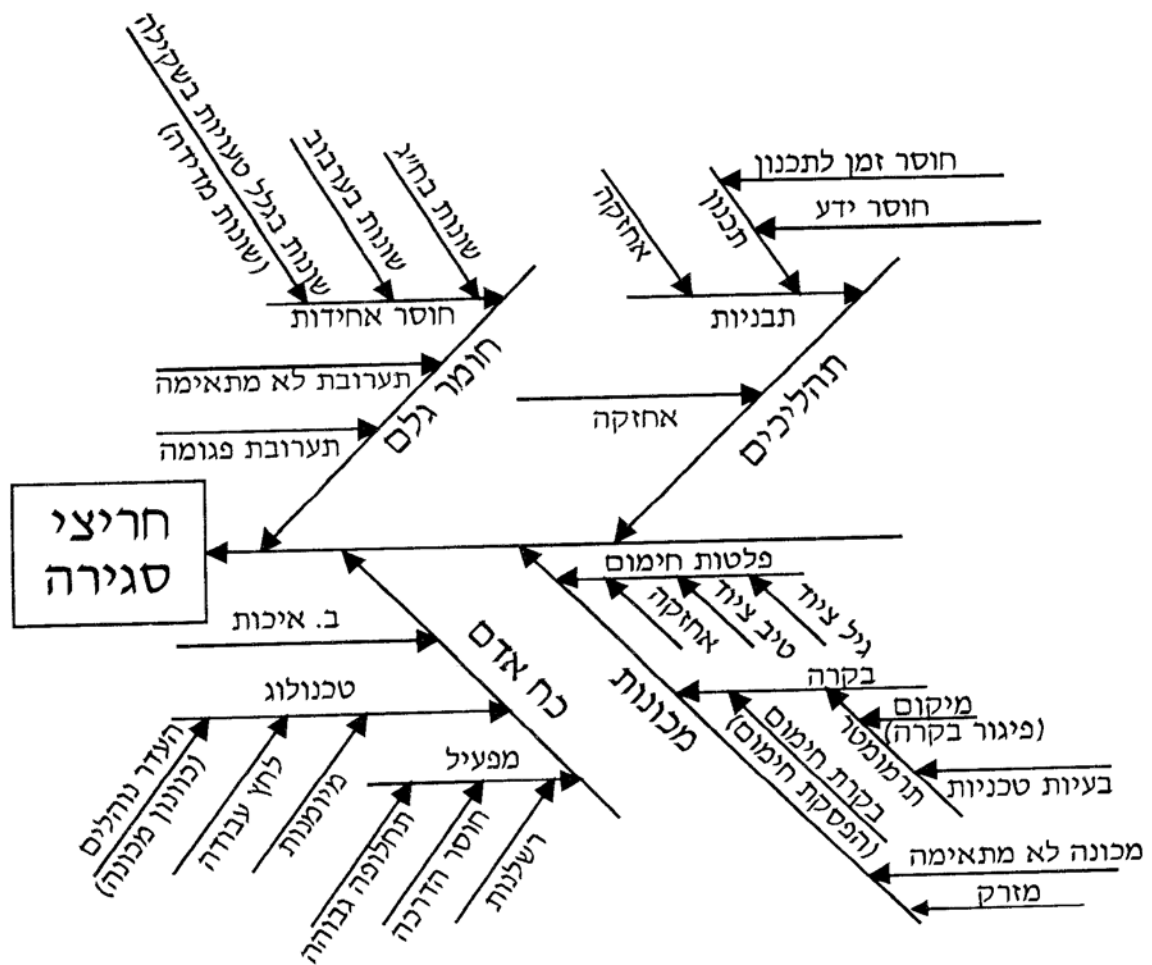


קבוצות ראשיות: (דוגמה)

- כח אדם
- שיטות עבודה (תהליכים)
- חומרים
- מכונות
- טכנולוגיה
- סביבה

דוגמה לתרשים סיבה – תוצאה (Fishbone Diagram)

הבעיה: היווצרות חריצי סגירה במפעל המייצר טבעות גומי בהזרקה.



איכות כוללת בקרת איכות ותכנון לאיכות. ד"ר חיים שור

© - כל הזכויות שמורות

ניתוח פרטו (PARETO DIAGRAM)

המטרה: - הבחנה בין "עיקר" ל"טפל" בניתוח סיבתי.
- בסיס להכנת תכנית פעולה לשיפור האיכות.

הגדרה: הצגת שכיחויות של תוצאה נבדקת לפי סיבותיה (מקורותיה), כאשר הסיבות מוצגות בסדר יורד של שכיחויות.

הבסיס לניתוח: חוק פרטו (ידוע גם כהתפלגות פרטו)

20% מהסיבות $\Leftarrow$ 80% מהתוצאות

דוגמאות: - קבוצות המוצרים במחסן (ידוע גם כניתוח ABC).

- סיבות לתקלות במכשיר מדידה.

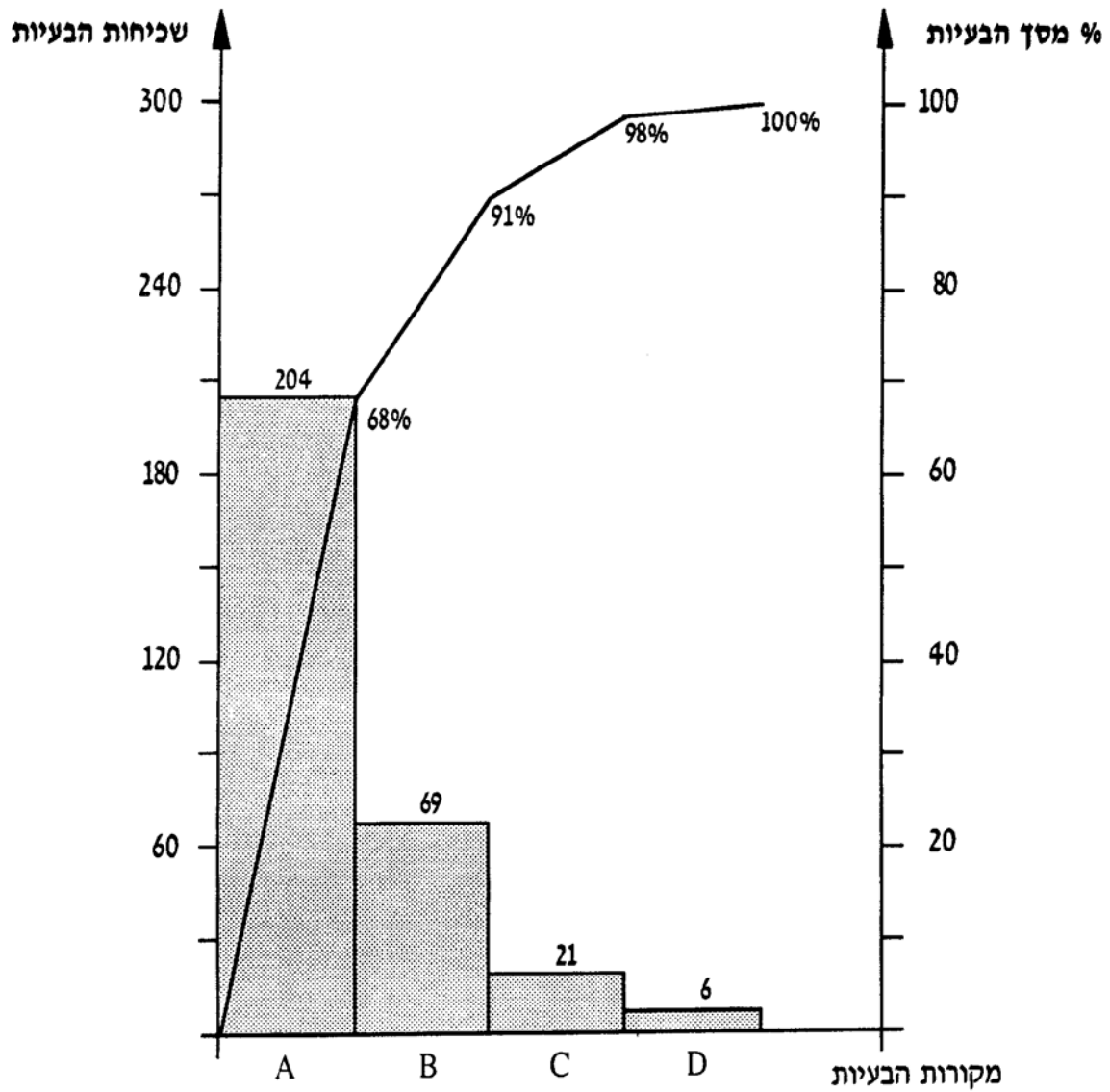
- צרכני החשמל במפעל.

- סוגי ליקויים המתגלים במוצר הסופי.

- מבקרים במרפאה.

- ספקים האחראים לפגומים בייצור.

דיאגרמת פרטו – דוגמה



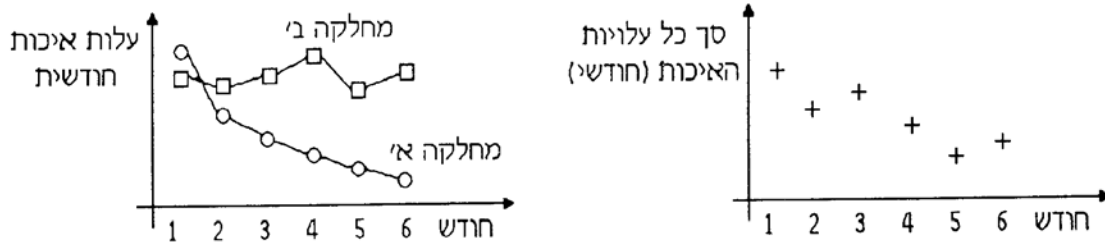
איכות כוללת בקרת איכות ותכנון לאיכות. ד"ר חיים שור
© - כל הזכויות שמורות

חלוקה לשכבות (ריבוד) (Stratification)

חלוקה לשכבות זוהי טכניקה לפיה מחלקים קבוצה גדולה של נתונים לקבוצות משנה (שכבות), על פי גורם מיון אחד או יותר, ומחשבים מדדי סיכום (כגון ממוצע, שכיחות יחסית) לכל קבוצה וקבוצה. טכניקה זאת עשויה לסייע בגילוי תבניות בקבוצת הנתונים, אשר במבט ראשון נראים כאקראיים לחלוטין.

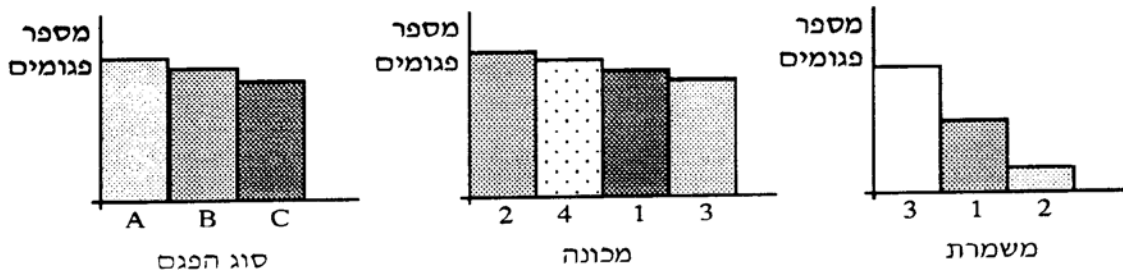
ביצוע הריבוד ואיתור התבניות יסייע לאתר גורמים (או שכבות) היוצרים בעיות איכות, ולסילוקם של גורמים אלה.

דוגמה לביצוע על פי ארבעה גורמי מיון (מכונה, עובד, יום בשבוע, משמרת) ביחס לארבעה סוגי פגמים ניתנה בעמוד קודם. דוגמה נוספת ניתנת בתרשים Multivari, המוצג בעמוד 89. בדוגמה שלהלן מובאים שני תרשימים - בתרשים הימני מובאת עקומת עלויות האיכות החודשית במפעל במחצית השנה האחרונה. רואים כי קיים שיפור מתמיד ברמת האיכות. אולם לאחר ריבוד מחלקתי (תרשים שמאלי) אנו מגלים כי חל שיפור אך ורק במחלקה א', בעוד שבמחלקה ב' לא הושג כל שיפור.



הערה: טכניקת הריבוד קשורה קשר אמיץ עם דיאגרמת פרטו. למעשה, דיאגרמת פרטו משלימה את החלוקה לשכבות ומאשרת כי גורם המיון, לפיו בוצעה החלוקה לשכבות, הוא משמעותי.

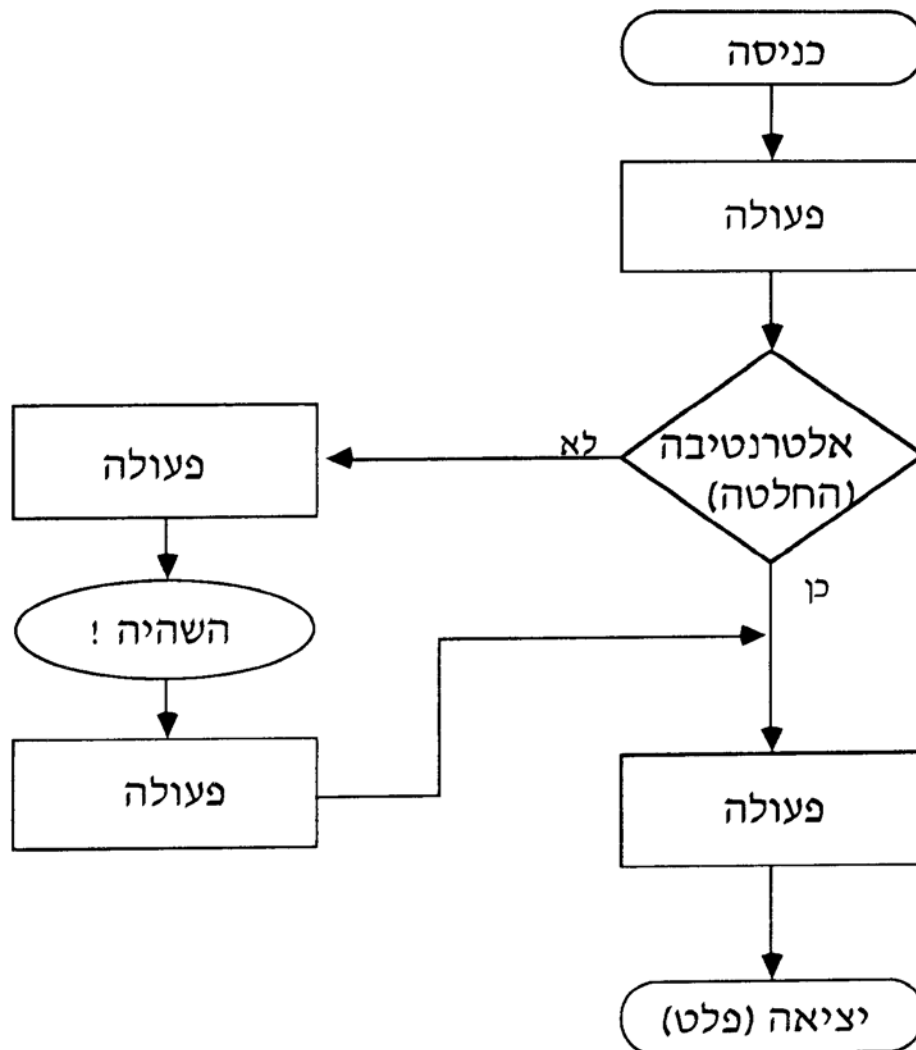
לדוגמה: בגרף שלהלן מובא ריבוד של כל הפריטים שנפסלו בבדיקה הסופית לפי סוג הפגם, לפי המכונה בה יוצר החלק ולפי משמרת. חלוקה זאת מוצגת בדיאגרמת פרטו. ברור כי למשמרת השפעה קריטית בקביעת פרופורציית הפסולים, בעוד שלמיון על פי סוג המכונה או סוג הפגם אין משמעות (פרופורציית הפגמים אינה קשורה בסוג המכונה או סוג הפגם).



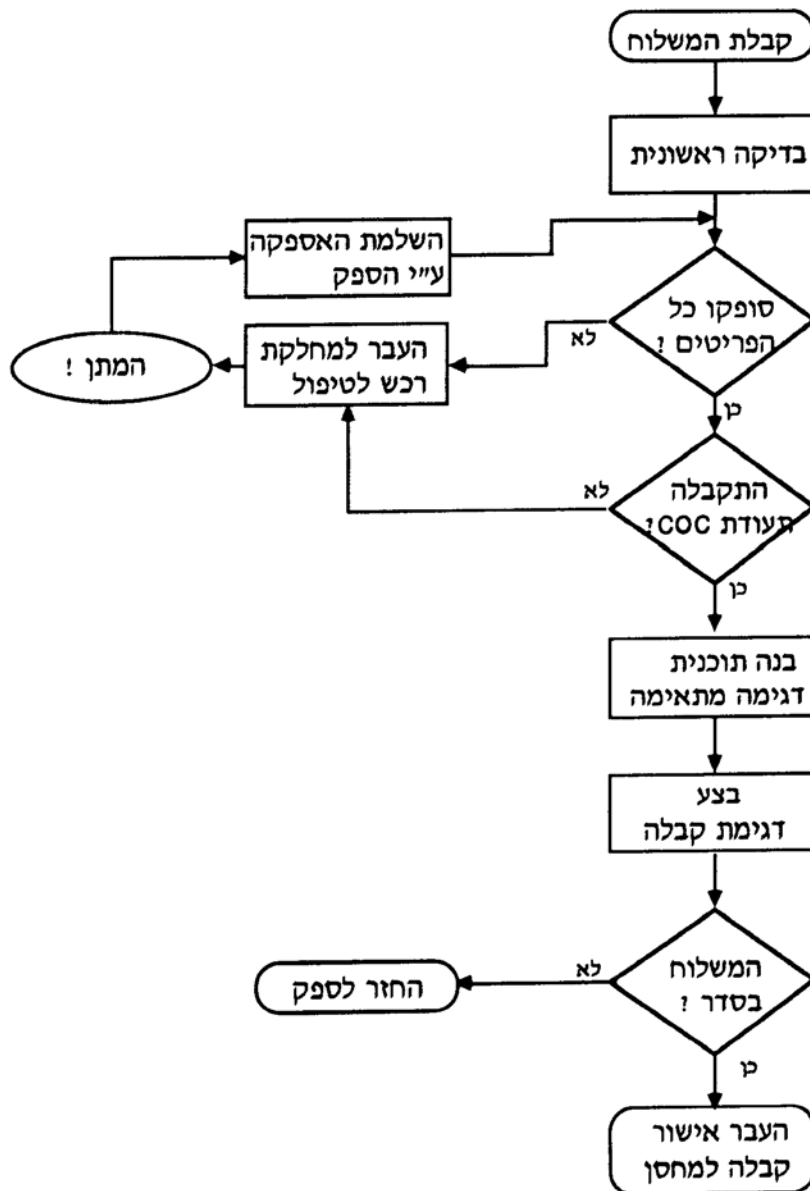
איכות כוללת בקרת איכות ותכנון לאיכות. ד"ר חיים שור

© - כל הזכויות שמורות

אלמנטים בתרשים – זרימה של תהליך

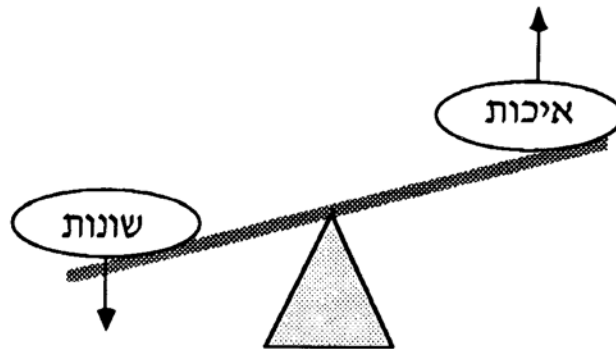


תאור תהליך – דוגמה: ביצוע בדיקת קבלה



איכות, שונות ואיתור מקורות השונות (QUALITY), (VARIATION), (SOURCES OF VARIATION)

המודל הכללי:



א. מהי שונות

- רמת הפיזור הנצפית מסביב לערך מרכזי (בדרך כלל הממוצע).
- חוסר היציבות הנצפית בגורם הנבדק.

ב. הסיבות לשונות

- השתנות (או חוסר אחידות) בגורמים המשפיעים על התכונה הנבדקת.

ג. איך נמדדת השונות

- סטיית התקן (σ)
- הטווח (R)

הערה: לעתים משתמשים בשונות היחסית (מקדם השונות - σ/μ)

ד. הקשר בין שני המדדים:

$$\hat{\sigma} = \bar{R} / d_2 \quad (\text{אומדן לסטיית התקן})$$

- $\bar{R}$ - טווח ממוצע (של מספר מדגמים בני n תצפיות כ"א).
- d_2 - ערך מספרי (תלוי בגודל המדגם n). מתוך טבלה 2, נספח ב'.

הערה: נכון אך ורק להתפלגות נורמלית.

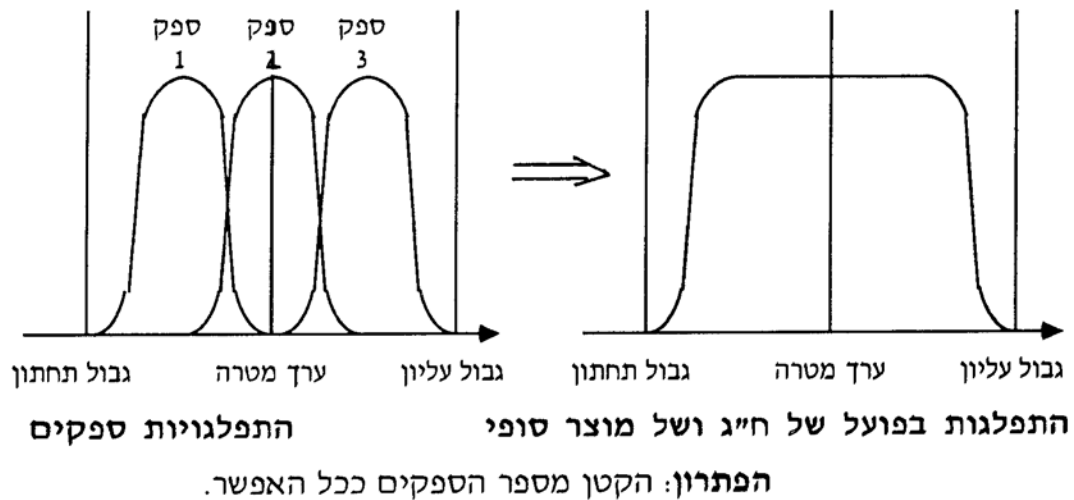
ה. כיצד נאתר את מקורות השונות?

באמצעות ניתוח השונות ופירוקה למקורותיה על פי גורמים משפיעים אפשריים.

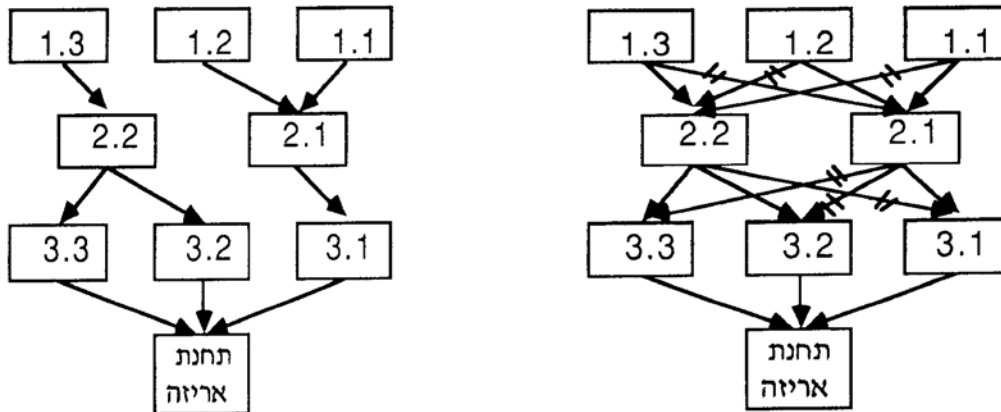
הערה: מבדילים בין "השונות הרגעית" של התהליך ושונותו לאורך זמן. ראה פרוט בפרק 4.

דוגמאות לשונות שנוצרה עקב החלטות ניהוליות שגויות (MULTIPLE SOURCING)

א. ריבוי ספקים (להגדלת אמינות...)



ב. ריבוי מסלולי ייצור (להגדלת אמינות...)



מספר מסלולים: 4

מספר מסלולים: 18

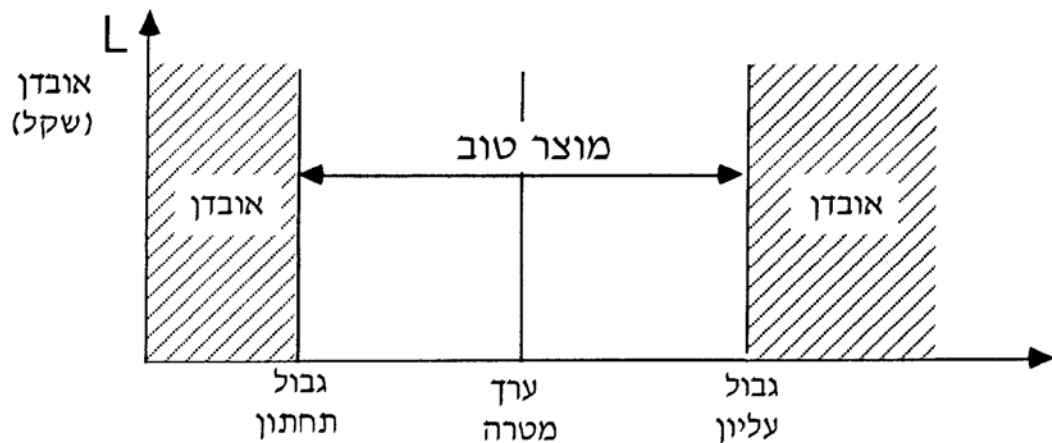
התוצאה: שונות גבוהה (איכות ירודה)

הפתרון: הקטנת מספר מסלולים (לדוגמה ל-4).

מה רע בשונות גבוהה, כל עוד המוצר עומד במפרט?

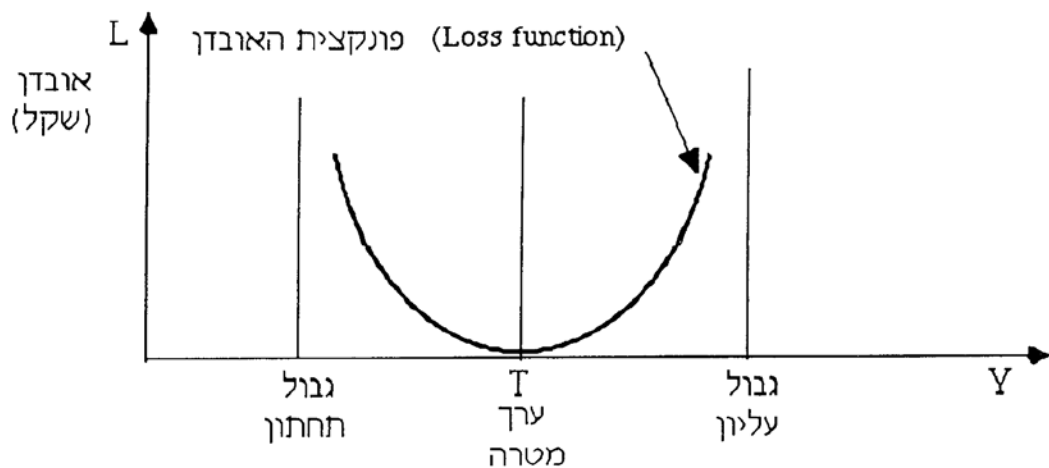
פונקציית האובדן של TAGUCHI

הגישה הישנה:



הגישה של טגוצ'י:

$$L = k(Y-T)^2$$



מדידת ההשתנות (VARIABILITY)

1. באמצעות הטווח (R)

$$R = \begin{array}{l} \text{(הקריאה הנמוכה)} \\ \text{ביותר במדגם} \end{array} - \begin{array}{l} \text{(הקריאה הגבוהה)} \\ \text{ביותר במדגם} \end{array}$$

2. באמצעות סטיית התקן:

שיטת חישוב א':

- חשב הסטיה של כל תצפית מהממוצע המדגמי
- העלה בריבוע
- סכם את ריבועי הסטיות
- חלק במספר התצפיות פחות אחד
- הוצא שורש

$$\hat{\sigma} = \sqrt{\sum (x_i - \bar{x})^2 / (n - 1)}$$

שיטת חישוב ב' :

- העלה כל תוצאה בריבוע
- חשב ממוצע הריבועים
- החסר את הממוצע בריבוע
- הכפל במקדם $n/(n-1)$
- הוצא שורש

$$\hat{\sigma} = \sqrt{[(\sum x_i^2 / n) - (\bar{x}^2)] [n / (n - 1)]}$$

3. אומדן לסטיית התקן באמצעות הטווח המדגמי הממוצע:

$$\hat{\sigma} = \bar{R} / d_2 \quad (\text{אומדן לסטיית התקן במדגם בודד})$$

d_2 - מתוך טבלה 2 בנספח ב', או הטבלה בעמוד 145 (תלוי במספר המדגמים לחישוב הטווח הממוצע).

שיטות לאיתור מקורות שונות:

תרשים MULTI-VARI

המטרה: זהו גרפי של מקורות ההשתנות לצורך קביעת פרמטרים לבקרה ולצורך שיפור האיכות.

דוגמה:

הבעיה: בייצור כרטיס מעגל מודפס (PCB) מבוצעת בדיקה סופית של ההתנגדות הכוללת של המעגל.

תחום מותר: 4:20 אוהם.

לאחרונה - מספר רב של כרטיסים נפסלו עקב קריאות חריגות (גבוהות מדי).

גורמים נבדקים: - מפעילים (4)

- מכשיר הבדיקה (3)

מדגם:

כל מפעיל יבדוק 3 קבוצות של 5 כרטיסים שונים, כל קבוצה במכשיר בדיקה שונה.

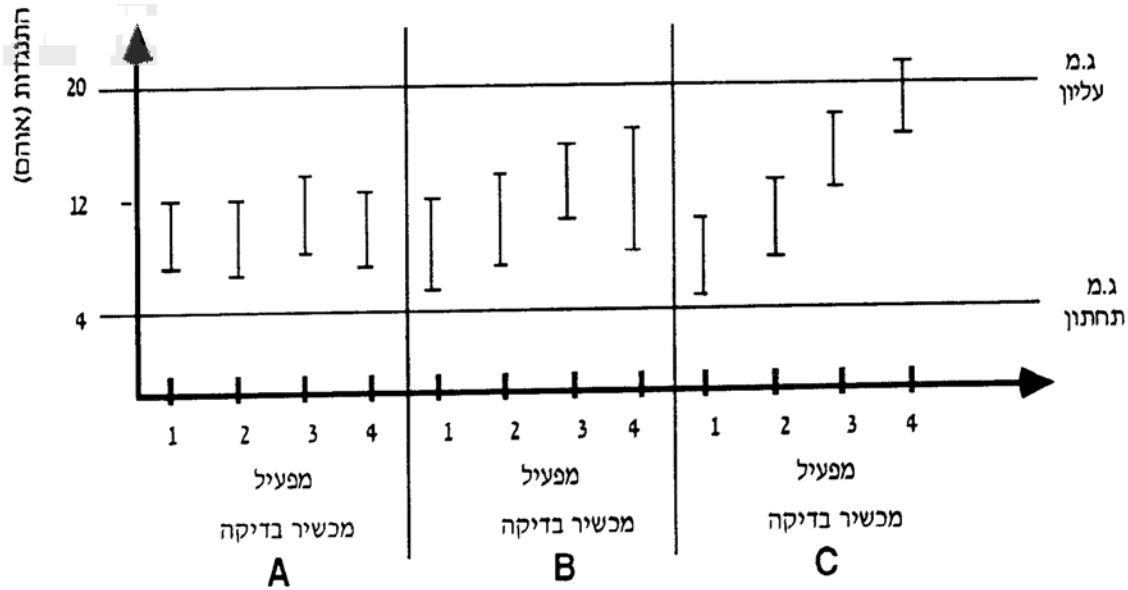
תוצאות (באוהם)

מכשיר בדיקה			מפעיל
C	B	A	
8.3, 10.8, 6.5 12.4, 10.6	6.5, 12.8, 8.4 10.2, 12.4	8.6, 10.4, 8.2 10.5, 12.3	1
8.6, 16.2, 8.5 14.8, 12.2	8.4, 14.3, 10.2 8.6, 12.2	12.4, 8.6, 6.5 8.5, 10.2	2
12.3, 18.4, 12.2 16.9, 16.5	10.2, 14.6, 12.5 14.8, 12.2	8.4, 12.5, 10.2 12.2, 14.6	3
22.5, 16.8, 18.2 20.2, 14.3	14.2, 8.5, 16.3 12.6, 12.3	12.8, 10.2, 8.5 10.5, 8.8	4

איכות כוללת בקרת איכות ותכנון לאיכות. ד"ר חיים שור

© - כל הזכויות שמורות

תרשים Multi-Vari



תוצאה:

מכשיר C יוצא מכיול בשימוש חוזר (משיכה לקריאות גבוהות).

אין בעיה עם מפעילים לא בממוצע ולא במהימנות (מדד השחזור, הטווח, דומה לכל המפעילים).

שיטות לאיתור מקורות שונות:

ניתוח שונות

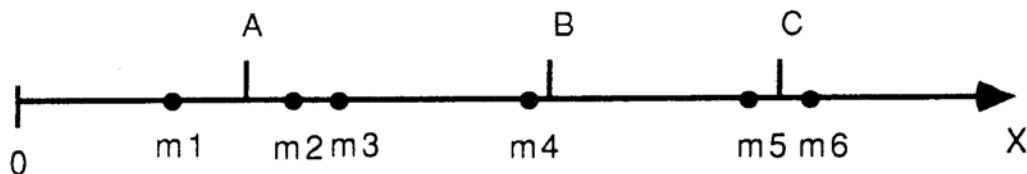
העקרון הבסיסי (כמו בחישוב מומנט האינרציה):

$$\text{מומנט האינרציה הכולל} = \text{סכום מומנטי האינרציה של מרכזי הכובד} + \text{סכום מומנטי האינרציה סביב מרכזי הכובד}$$

$$\text{נניח: } m_1 + m_2 + m_3 + m_4 + m_5 + m_6 = 1$$

(סך כל המסה שווה יחידה אחת)

X_i - המרחק של המסה m_i מהראשית (נקודה 0).



$$\begin{aligned} m_1 x_1^2 + m_2 x_2^2 + m_3 x_3^2 + m_4 x_4^2 + m_5 x_5^2 + m_6 x_6^2 &= \\ &= [m_1(x_1 - A)^2 + m_2(x_2 - A)^2 + m_3(x_3 - A)^2] + [m_4(x_4 - B)^2] + [m_5(x_5 - C)^2 + m_6(x_6 - C)^2] + \\ &\quad (m_1 + m_2 + m_3)A^2 + m_4 B^2 + (m_5 + m_6)C^2 \end{aligned}$$

כאשר A, B, ו-C הם מרכזי הכובד (וכן מרחקיהם מהראשית).

הסיבה לשיויון (דוגמה ביחס לנקודה C):

$$(m_5 + m_6)C = m_5 x_5 + m_6 x_6 \quad \text{הגדרת מ. הכובד:}$$

ולכן:

$$\begin{aligned} m_5(x_5 - C)^2 + m_6(x_6 - C)^2 + (m_5 + m_6)C^2 &= \\ &= m_5 x_5^2 + m_6 x_6^2 - 2[m_5 x_5 C + m_6 x_6 C] + 2(m_5 + m_6)C^2 \\ &= m_5 x_5^2 + m_6 x_6^2 \end{aligned}$$

דוגמאות לניתוח שונות

דוגמה 1 : בחינת הבדלים בין ממוצעים של קוי ייצור.

הנוסחה הבסיסית:

$$\sum \sum (x_{ij} - \mu)^2 = \sum \sum (x_{ij} - \mu_j)^2 + n \sum (\mu_j - \mu)^2$$

סה"כ ההשתנות
ההשתנות בתוך הקוים
ההשתנות בין תוחלות הקוים

SS_T
(2) - (1)
 SS_r
(2) - (3)
 SS_a
(3) - (1)

נוסחאות חישוב:

$$(1) = \frac{(\sum \sum x_{ij})^2}{kn} \quad (2) = \sum_{(j)(i)} x_{ij}^2 \quad (3) = \frac{\sum_{(j)} (\sum_{(i)} x_{ij})^2}{n}$$

כללית, אומדן לרכיב שונות מסוים: דרגות החופש / סכום הריבועים

אומדן לשונות הכללית (σ^2) : $MS_T = SS_T / (kn - 1)$

אומדן לשונות בתוך הקוים (σ_o^2) : $MS_r = SS_r / k(n-1)$

אומדן לשונות $\sigma_o^2 + n \sigma_a^2$: $MS_a = SS_a / (k-1)$

k - מספר הקוים

X_{ij} - התצפית ה-i שנלקחה בקו j.

μ_j - אומדן התוחלת של קו j. (הממוצע המדגמי של קו j)

n - מספר התצפיות בכל קו

σ² - השונות בתוך הקוים ("שונות טבעית")

השונות בין תוחלות הקוים:

$$\sigma_a^2 = \frac{\sum (\mu_j - \mu)^2}{k-1}$$

מבחן להבדלים בין תוחלות הקוים:

כאשר: $F > MS_a / MS_r$ - יש הבדל מובהק בין התוחלות (דחה את השערת האפס שאין הבדל בין תוחלות קווי הייצור).

F נלקח מטבלת F בהתאם לדרגות החופש של MS_r ו-MS_a (טבלת F בנספח ט').

איכות כוללת בקרת איכות ותכנון לאיכות. ד"ר חיים שור

© - כל הזכויות שמורות

דוגמאות לניתוח שונות – המשך

דוגמה 2 (חישובית): בחינת הבדלים בין ספקים

נתונים:

ספק 1	ספק 2	ספק 3
203,217,163	230,258,180	185,210,200
184,172,175	261,195,240	214,230,220

$$k = 3 \quad n = 6$$

$$(1) = \frac{(3737)^2}{3 \cdot 6} = 7.758 \cdot 10^5$$

$$(2) = 7.899 \cdot 10^5$$

$$(3) = \frac{1259^2 + 1364^2 + 1114^2}{6} = 7.811 \cdot 10^5$$

סכום הריבועים:

$$SS_T = 14.1 \times 10^3$$

סה"כ שונות :

$$SS_a = 5.30 \times 10^3$$

שונות בין הספקים :

$$SS_r = 8.80 \times 10^3$$

שונות בתוך הספקים:

ממוצעי הריבועים (Mean square):

$$MS_T = 829 \quad MS_a = 2650 \quad MS_r = 587$$

מציאת ערך F מטבלה :

$$k-1 = 3-1 = 2$$

דרגות חופש במונה :

$$k(n-1) = 3(6-1) = 15$$

דרגות חופש במכנה :

$$\alpha = 5\%$$

דרגת מובהקות רצויה :

$$F = 3.68$$

ערך F :

החלטה :

$$MS_a/MS_r = 2650/587 > 3.68 \text{ כיוון ש:}$$

נמצא שיש הבדלים בין הספקים השונים.

פרק רביעי

בקרת איכות תהליכית (תרשימי בקרה וניתוח כושר התהליך)

114	תבניות בסיסיות	95	שתי גישות בסיסיות
115	פרוש התבניות	96	משתני תהליך/מוצר
117	דוגמאות לתבניות	97	מקורות לסטיות בתהליך
121	פתרונות לדוגמאות	98	מקורות נוספים
122	עקומת ARL, OC	99	תהליך יציב - הגדרה
124	בקרת קדם	100	יתרונות תהליך יציב
127	תרשים לבודדות ומתאם	101	תרשימי בקרה (שימושים)
130	אופטימיזציה	102	מטרת תרשימי בקרה
133	ניתוח כושר תהליך	103	שלבים ב- SPC
134	מדדי כושר תהליך	105	מושגי יסוד
137	רשימת ספרות למדדים	106	גבולות מפרט, תהליך, בקרה
138	ניירות הסתברות	107	תרשימי בקרה - חלוקה כללית
139	נייר הסתברות נורמלי	108	טעויות ביישום
141	תרשימי בקרה וכושר תהליך	109	תרשים בקרה לממוצע ולטווח
142	מדדי הדירות ושיחזור	111	שונות רגעית ולאורך זמן
145	אומדן σ על פי הטווח הממוצע	112	שיקולים בבחירת גודל מדגם
146	טופס לחישוב R&R	113	כיצד לקרוא תרשים בקרה

בקרת תהליך

שתי גישות בסיסיות לבקרת תהליך:

1. הגישה ההנדסית: בקרה אוטומטית בזמן אמת

בגישה זאת מבוצעת החלקה (Smoothing) של טעות התהליך, $e(t)$ (סטיית הערך הנצפה מערך המטרה בזמן t). כאשר הטעות ה"מוחלקת" עוברת ערך סף קבוע מראש - ניתנת הוראה לתקן את כוונון התהליך, בדרך כלל באמצעות בקר מתוכנת המחובר לתהליך ב"זמן אמיתי" (משוב חוזר).
חישוב ערך הטעות המוחלק לפיו יתוקן התהליך, נקבע באמצעות משוואת ההחלקה הבאה:

$$m(t) = K_p e(t) + K_i \int e(t) dt + K_d [de(t) / dt]$$

כאשר $m(t)$ זהו התיקון שיבצע הבקר בתהליך בזמן t (סטיית הפלט של הבקר מערך המטרה).

במשוואה זאת 3 פרמטרים (משתני החלטה), אשר יקבעו את משקלם היחסי של מרכיבי המשוואה השונים בחישוב ערך "הטעות המוחלקת". בקרה זאת נקראת בקרת PID (PID - Proportional, Integral, Derivative).
בתעשייה נפוצה בעיקר בקרה מסוג PI.

2. הגישה של "בקרת תהליך סטטיסטית" (SPC)

גישה זאת מקובלת ב"בקרת איכות" והיא מתבססת על אומדן היציבות של התהליך (סטיית התקן התהליכית). בגישה זאת נקבעים "גבולות השתנות טבעיים" לתהליך (או למדד המחושב ממדגם תצפיות שניטלו ממנו), כך שכאשר התהליך יציב ההסתברות לחרוג מגבולות אלה היא נמוכה מאד (0.27%). מבוצע תיקון בתהליך (או איתור גורמים מפריעים) אך ורק אם המדד שחושב מהמדגם חרג מ"גבולות הבקרה". המגמה כיום לעבור ל"בקרת תהליך סטטיסטית" בזמן אמיתי (ולא באמצעות מדגמים תקופתיים).

הערה: להלן נעסוק אך ורק בבקרת תהליך סטטיסטית.

חלוקה כללית של משתני תהליך / מוצר והכלים לבקרת איכותם

■ משתנים רציפים

משתנים אשר ניתן למדוד אותם על פני רצף, כגון:
מימדים גיאומטריים, משקל, טמפרטורה, חומציות, ריכוז, לחץ, זמן.

■ משתנים בדידים

משתנים היכולים לקבל אך ורק ערכים מסויימים (בדרך כלל שלמים), מבין קבוצת ערכים נתונה מראש. משתנים אלה יהיו בדרך כלל תוצאות של ספירה, כגון: מספר (או אחוז) הפריטים הפגומים (בדיקה שעל פיה מסווג הפריט ל: עובר/לא עובר), מספר הפגמים במוצר (למשל: מספר פגמי השטח בלוח זכוכית, מספר הפגמים (מסוג כלשהוא) שהתגלו בכרטיס מודפס (PCB).
בשפת "בקרת תהליך" משתנים אלו נקראים: תכונות.

מחלקים את התכונות בחלוקה משנית:

- פרופורציה
- מספר הארועים (או קצב הארועים) שהתרחשו (למשל: מספר ההעדרויות לרבעון, או מספר פגמי השטח למ"ר של לוח פורמיקה).

■ כלים שניחים לבקרת המשתנים

משתנה	בקרה מסננת (דגימת קבלה סטטיסטית)	בקרת תהליך סטטיסטית
1. רציף	ANSI/ASQC Z 1.9 (אזרחי) MIL-STD-414 (צבאי)	תרשימי בקרה (X, R) ואחרים
2. בדיד (תכונות)	ANSI/ASQC Z 1.4 (אזרחי) MIL-STD-105E (צבאי)	תרשים בקרה P (לפרופורציה) תרשים בקרה C (למספרארועים) תרשים בקרה U (לקצב ארועים)

איכות כוללת בקרת איכות ותכנון לאיכות. ד"ר חיים שור

© - כל הזכויות שמורות

המקורות לסטיות בתהליכים

א. סיבות מיוחדות (SPECIAL CAUSES)

הגדרה: סיבות הקשורות לאירועים מיוחדים, זמניים, מקומיים (הרעה פתאומית בטיב ח"ג, החלפת משמרת, פועל לא מיומן, כלי שהתבלה).
סיבות אלו יוצרות סטיות לא אקראיות בתהליכים.

המאפיין: סיבות שאינן מהותיות למערכת.

התוצאה: מערכת שאינה בבקרה סטטיסטית.

המשקל: כ- 15% מהזמן (לפי דמינג: 5%)

האחריות: של העובדים הישירים, אנשי הייצור.

שם אלטרנטיבי: סיבות שניתן לשייכן (ASSIGNABLE CAUSES .SHEWHART)

ב. סיבות כלליות (COMMON CAUSES)

הגדרה: סיבות הקשורות במערכת ויוצרות שונות סיסטמית וקבועה במערכת (הזנת ח"ג ממספר ספקים, חומרי גלם לא מתאימים, תכנון לקוי של המוצר או התהליך, רעידות, תנאי עבודה לא נוחים, ערבוב "חומר בתהליך" ממספר קוי ייצור, נוהלי עבודה לא ברורים, דרישות איכות לא מובנות לפועלים, מכונות או נוהלים שאינם מתאימים לספציפיקציות ההנדסיות).
סיבות אלו יוצרות סטיות אקראיות בתהליך.

המאפיין: סיבות פנימיות הנובעות ממבנה המערכת או אופן תפקודה בתנאים נורמליים.
סיבות אקראיות קבועות.

התוצאה: רמת איכות ירודה באופן קבוע.

המשקל: כ- 85% מהזמן תורמות את עיקר השונות (לפי דמינג: כ- 95% מהזמן).

האחריות: של ההנהלה.

שם אלטרנטיבי: סיבות אקראיות (CHANCE CAUSES)

איכות כוללת בקרת איכות ותכנון לאיכות. ד"ר חיים שור

© - כל הזכויות שמורות

מקורות נוספים להשתנות תהליכית

(Process Variability)

1. התערבות יתר (Tampering)

מקור שונות זה נגרם ע"י התערבות מיותרת בתהליך ותיקונו כאשר התהליך בפועל הוא יציב, והסטיות הנצפות נובעות מאקראיות בלבד ("סיבות כלליות"). התוצאה של התערבות יתר היא הקטנת יציבותו של התהליך (הגדלת סטיית התקן). על התוצאות של תגובות מיותרות לסטיות של תהליך יציב - ראה בעמוד הבא. התערבות יתר עלולה לקרות כאשר אין משתמשים ב"תרשימי בקרה", או כאשר משתמשים בגבולות המפרט הטכני כגבולות הבקרה בתהליך חסר כושר (תהליך בעל מדד Cp קטן מ-1. ראה פרטים בעמוד 134).

2. השתנות מבנית (Structural Variability)

זוהי השתנות הנובעת משינויים עקביים ומתמשכים בתהליך, הבאים לידי ביטוי בתבניות התנהגות נתונות לזיהוי ב"תרשימי בקרה", כגון: תבניות של עונתיות, מחזוריות, או מגמה לטווח ארוך. לדוגמה: שחיקת כלי קדוח תתגלה במגמת ירידה בתכונת האיכות; ערבוב לסירוגין של "תוצרת בתהליך" ממספר קווי ייצור תתגלה בתרשים הבקרה בהקבצת נקודות מעל לקו האמצעי ומתחתיו, לסירוגין.

תהליך יציב (תהליך בבקרה סטטיסטית)

הגדרה: תהליך יציב מבחינה סטטיסטית הוא תהליך, אשר הסטיות שבו נגרמות על ידי אקראיות בלבד (כלומר: אינן נובעות מסיבות מיוחדות, זמניות, הניתנות לאיתור מיידי).

אופן ההשגה של תהליך יציב:

מעקב סיסטמטי לצורך איתור וסילוק של סיבות מיוחדות (הפרעות לתפקוד הנורמלי של התהליך).

טעויות בתגובות לסטיות בתהליך יציב:

קיימות 4 תגובות אפשריות לסטייה של d מערך המטרה (T_o):

- כלל 1:** אל תתערב (התהליך מכוון כל הזמן לערך המטרה, T_o)
 - כלל 2:** תקן את התהליך ע"י הזחתו בשעור $-d$ מערכו הנוכחי (לערך: $T - d$).
 - כלל 3:** תקן את התהליך על ידי הזחתו בשעור $-d$ מערך המטרה (לערך: $T_o - d$).
 - כלל 4:** תקן את התהליך על ידי הזחתו לערך הנצפה האחרון (לערך: $T_o + d$).
- T - הערך הנוכחי אליו מכוון התהליך.

אם הסטייה הנצפית מקרית, התוצאות הצפויות:

- כלל 1:** התהליך ישאר יציב.
- כלל 2:** הכפלת השונות של התהליך. התהליך יישאר יציב.
- כלל 3:** המערכת לא יציבה. נקבל ערכים ההולכים ונעשים יותר ויותר קיצוניים (באופן סימטרי). השונות של התהליך הולכת וגדלה עם הזמן.
- כלל 4:** המערכת לא יציבה. נקבל ערכים ההולכים וגדלים בכוון אחד (תהליך של "הילוך אקראי"). השונות של התהליך הולכת וגדלה עם הזמן.

דוגמאות לכלל 4 (שמירת עקביות מפריט לפריט):

- התאמת צבע מסידרה לסידרה, תוך התעלמות מהצבע המקורי הנדרש.
- ייצור פריט כך שיתאים לפריט הקודם שיוצר.
- "טלפון שבור": עובד מדריך עובד חדש במקום העבודה, וכעבור זמן העובד החדש מדריך עובד חדש אחר.

הערה: על התוחלות והשונויות של התערבות ב"תהליך יציב" לפי הכללים השונים, ראה : Quality Progress, Dec. 1990. p.69

היתרונות שבהשגת תהליך יציב (מצב של בקרה סטטיסטית)

1. לתהליך יש "זהות" הניתנת למדידה (% פגומים, כושר תהליך, ניצולת ח"ג).
2. עלויות ביצועים ורמת איכות הניתנים לניבוי (PREDICTABILITY).
3. ייצור סדיר המאפשר הקטנת מלאים (JIT).
4. פריון ואיכות מירביים במערכת הקיימת.
5. יחסי צרכן - ספק תקינים ומבוססים על אמון הדדי.
6. אבחנה מהירה (ולכן תגובה מהירה) לשנויים במערכת.
7. תנאי הכרחי לתחילת תהליך של שיפור איכות, וליכולת למדוד שיפורים במערכת.
8. תנאי הכרחי לאיתור חוסר התאמה בין מפרט לבין טכנולוגיית הייצור.

הערות:

1. בקרה סטטיסטית אין משמעותה שיפור האיכות, אלא התייצבות האיכות.
2. סילוק "סיבות מיוחדות" מאפשר לחשוף את התפקוד האמיתי של המערכת הקיימת, אך לא לשפרה.

שאלה: כיצד נדע אם סטייה בתהליך דורשת תיקון (סיבה מיוחדת) או נובעת מאקראיות (סיבה כללית, אינה דורשת תגובה) ?

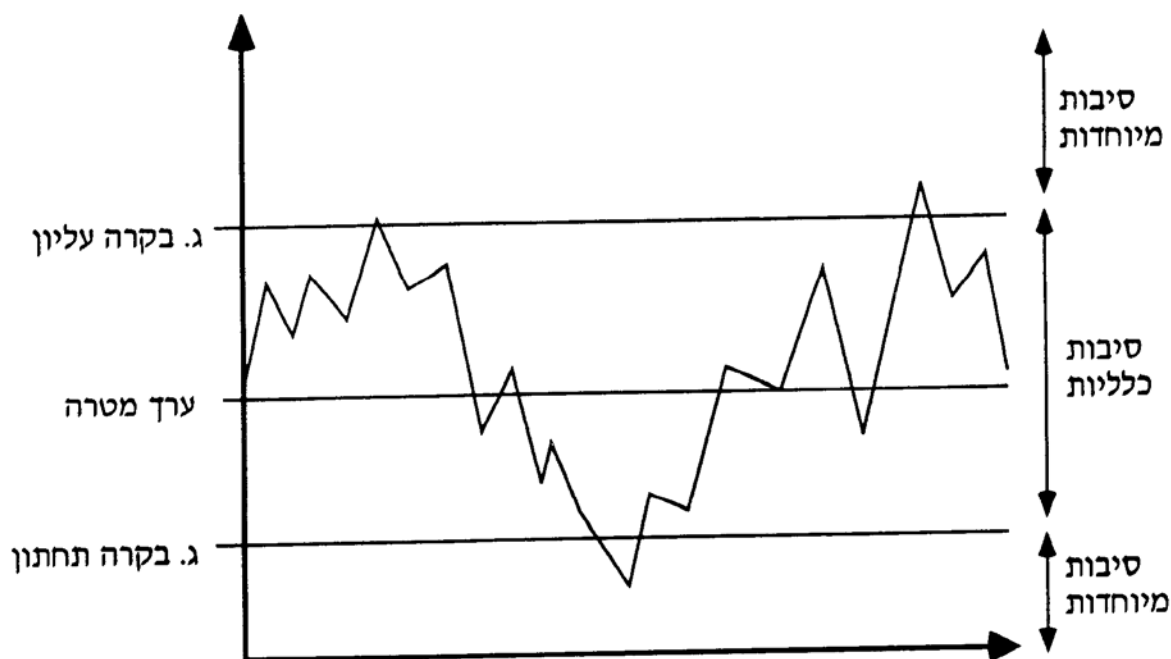
תשובה: בקרת תהליך סטטיסטית (SPC - Statistical Process Control), והשמוש בתרשימי בקרה.

תרשימי בקרה

שימושים עיקריים:

1. לצורך בקרה שוטפת של התהליך ושמירת יציבותו.
2. לצורך שיפוט מהיר על רמת האיכות והתפלגותה. התוצאה: ביטול/ הפחתה של הצורך בדגימת קבלה.
3. לקבלת מידע דיאגנוסטי על התהליך, תפקודו וכושרו.
4. לאפשר ביצוע חיזויים ביחס לביצועי התהליך (PREDICTABILITY).

מבנה אופייני של תרשים בקרה



זכור: גבולות הבקרה משקפים את גבולות ההשתנות של הסטטיסטי המדגמי, לא את המפרט הטכני ההנדסי של המוצר. עם זאת, ניתן לחשב את גבולות ההשתנות של התהליך על סמך גבולות הבקרה וגודל המדגם.

המטרה של תרשימי בקרה:

איתור השתנות באחד מ- 5 הגורמים הבסיסיים (המקורות ל"סיבות מיוחדות"):

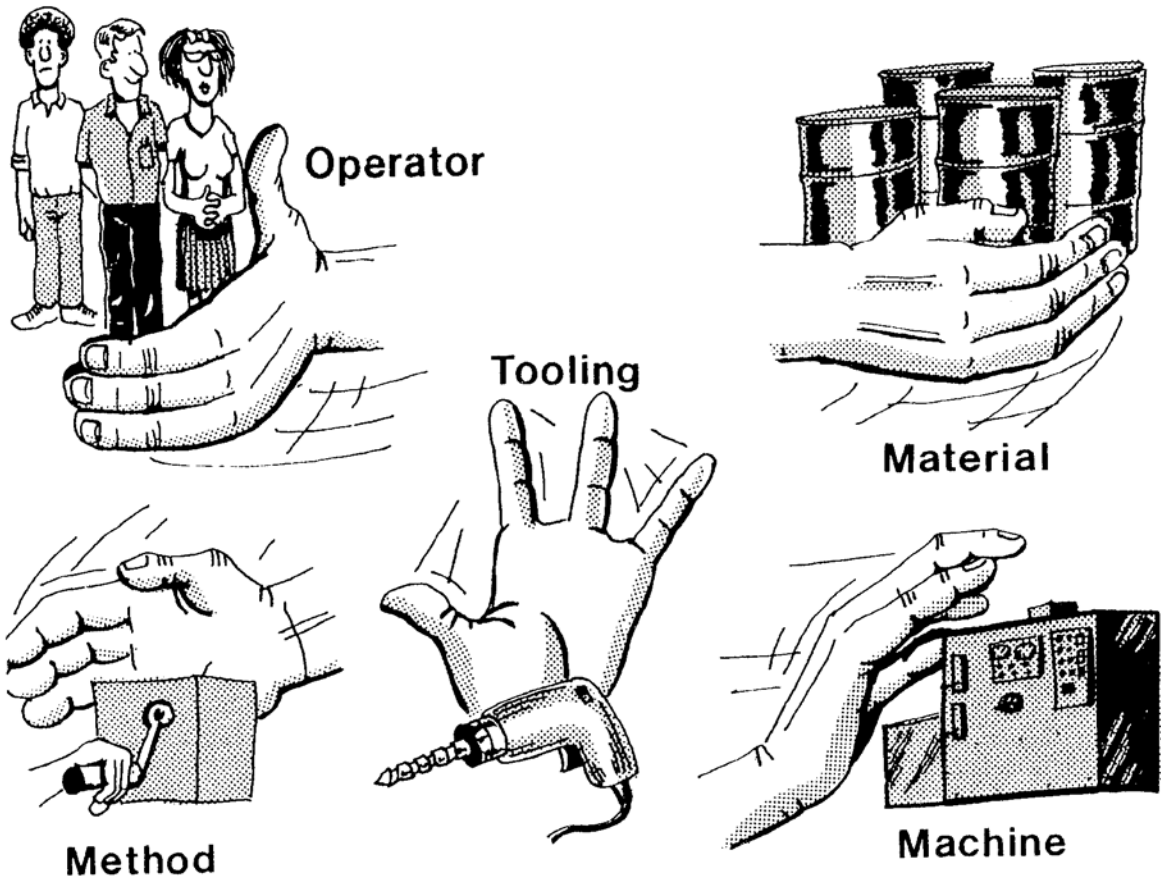
- כלי (TOOL)

- מפעיל (OPERATOR)

- שיטת עבודה (METHOD)

- חומר גלם (MATERIAL)

- מכונה (MACHINE)



איכות כוללת בקרת איכות ותכנון לאיכות. ד"ר חיים שור

© - כל הזכויות שמורות

שלבים בתכנון, הקמה והפעלה של מערכת בקרת תהליך סטטיסטית (Statistical Process Control)

1. פגישות עם הנהלה בכירה להסבר מושגים בסיסיים בבקרת תהליך סטטיסטית.
2. הקמת ועדת היגוי שתלווה את תהליך הפיתוח וההחדרה של מערכת SPC.
3. בחירת קבוצות המוצרים או התהליכים שעליהם תופעל מערכת SPC, תוך קביעת סדר קדימויות.
4. הגדרת דרישות האיכות (ובהתאם לכך מדדי האיכות) של המוצר הדורשות בקרה.
5. ניתוח הסטורי של נתוני חוסר התאמה (Non-Conformance), כולל ניתוחי פרטו. הנתונים יכללו תלונות לקוחות, כשל חיצוני וכשל פנימי, ונתוני מימוש אחריות.
6. ניתוחי סיבה-תוצאה (דיאגרמת עצם דג) לאיתור פרמטרים קריטיים של התהליך המשפיעים על תכונות האיכות שהוגדרו בסעיף 4. בשלב זה רצוי להשתמש גם בדיאגרמות פיזור ובניתוחי מיתאמים ורגרסיה. אחד הכלים העיקריים בשלב זה הוא פריסת התצפיות (הן של תכונות האיכות של המוצר והן של הפרמטרים של התהליך) על ציר הזמן באמצעות תרשימי בקרה. אבחון דגם דומה בהתנהגות של פרמטר של התהליך ותכונה נמדדת של המוצר (על ידי השוואת תרשימי הבקרה שלהם) - תצביע על קשר ישיר בין השניים, ועל הצורך לבצע בקרה תהליכית על פרמטר התהליך.

7. חקר תהליך לאיתור מקורות שונות המשפיעים על פרמטרים של התהליך/המוצר המבוקר. חקר התהליך יכול תיאור התהליך באמצעות תרשימי זרימה (Process Flow Charts), איסוף נתונים ראשוני וניתוחם באמצעות כלים גרפיים (היסטוגרמות, דיאגרמות סיבה-תוצאה, תרשימי Multi-Vari, דיאגרמות פיזור) וסטטיסטיים (ניתוחי שונות ורגרסיה). חקר התהליך עשוי לכלול גם איסוף נתונים על חומר הגלם של התהליך.
8. פעילויות להורדת שונות הנובעות מסיבות מיוחדות (ייצוב התהליך) או מסיבות כלליות, שאותו בסעיף 7.
9. איסוף נתונים ראשוני לצורך הערכת תוצאות הפעילויות שבוצעו ב-8, ולצורך בניית תרשימי בקרה.
10. בניית תכנית דגימה להפעלת תרשימי בקרה. התכנית תכלול קביעת נקודות הדגימה ונוהל הדגימה: מי דוגם, כיצד, באלו זמנים (תדירות הדגימה) ומספר התצפיות מכל דגימה.
11. השלמת איסוף נתונים לצורך בניית תרשימי בקרה.
12. בניית גבולות הבקרה ויישום תרשימי הבקרה.
13. הדרכת עובדים במושגים בסיסיים של SPC.
14. כתיבת נוהלים. (כולל נוהל תגובה על חריגה מגבולות הבקרה).
15. מעקב אחר היישום.

תרשימי בקרה – מושגי יסוד

העקרון הבסיסי: בנה גבול עליון וגבול תחתון לתרשים הבקרה, כך שאם המערכת יציבה, ההסתברות שהתוצאה שחשבת מהמדגם ("הסטטיסטי") תחרוג מהגבולות - תהיה מאוד נמוכה (כמעט בלתי מסתברת).

ההנחה הבסיסית: התפלגות הסטטיסטי - נורמלית.

הקריטריון לבניית הגבולות:

הגבול העליון יהיה במרחק 3 סטיות תקן מעל הקו האמצעי, והגבול התחתון במרחק 3 סטיות תקן מתחת לקו האמצעי. תחת ההנחה הבסיסית, ההסתברות הכוללת לחריגה מגבולות אלו במצב יציב היא 0.27% בלבד. סטיית התקן בה נשתמש שונה מתרשים בקרה אחד למשנהו.

שים לב: תרשים הבקרה קובע נורמה לתחום ההשתנות של הסטטיסטי במצב בקרה, לא של תצפית בודדת.

שאלה: כיצד יודעים לחשב את סטיית התקן של הסטטיסטים השונים (הממוצע, הטווח, אחוז הפגומים) ?

תשובה: לכל סטטיסטי - נוסחת חישוב אחרת. ראה פרטים בטבלה 1, נספח ב'.

בניית תוכנית הדגימה (כללי)

העקרון הבסיסי: בחר מדגמים רציונליים (RATIONAL SUBGROUPS). בחירה רציונלית משמעותה שאם הופיעה "סיבה מיוחדת" היא תגרום להבדלים בין המדגמים השונים.

הקריטריון לבחירה: טול מדגמים שיהיו אחידים ככל האפשר בתוך עצמם, בעוד ההבדלים בין המדגמים (כאשר קרו הפרעות) יהיו גדולים ככל האפשר. לדוגמה: אל תיטול בתוך אותו מדגם תצפיות מקוי ייצור שונים, ממפעילים שונים או ממשמרות שונות.

גישה א': טול תצפיות קרובות זו לזו (בזמן) ככל האפשר.

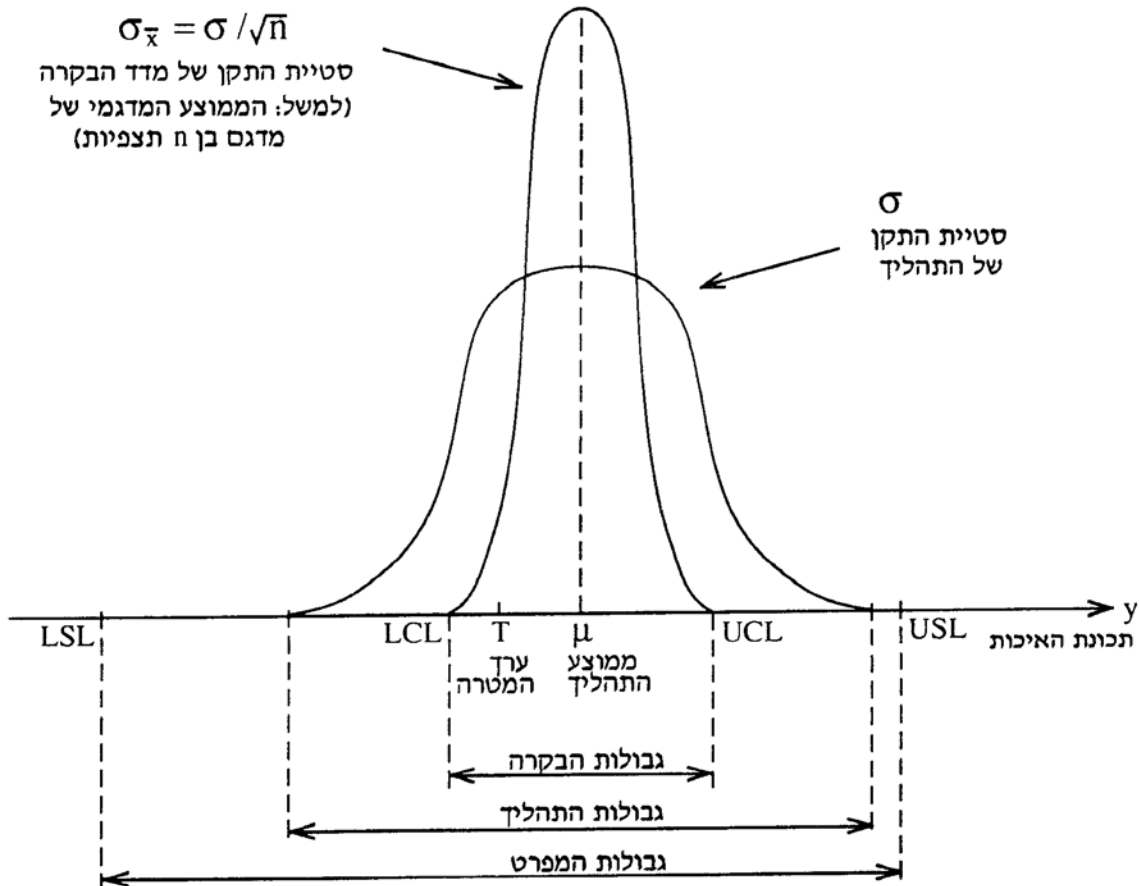
גישה ב': טול תצפיות שיהיו מייצגות את תוצרת התהליך מאז ניטל המדגם הקודם.

איכות כוללת בקרת איכות ותכנון לאיכות. ד"ר חיים שור

© - כל הזכויות שמורות

גבולות המפרט, גבולות התהליך וגבולות הבקרה

(Specification Limits, Process Limits, Process - Control Limits)



$T = \mu - T$ סטיית כונון התהליך מערך המטרה.

גבולות המפרט: ערך נומינלי (T) $\pm$ האפציות (טולרנס).

גבולות התהליך: ממוצע התהליך ± 3 סטיות תקן של התהליך.

$\mu - 3\sigma$: גבול תהליך תחתון ; $\mu + 3\sigma$: גבול תהליך עליון

גבולות הבקרה: התוחלת (ממוצע האוכלוסיה) ± 3 סטיות תקן של הסטטיסטי המשמש לבקרת התהליך.

לדוגמה: אם מבוצעת בקרה באמצעות הממוצע המדגמי, אזי:

(Lower C.L) $LCL : \mu - 3\sigma / \sqrt{n}$ (Upper Control limit) $UCL : \mu + 3\sigma / \sqrt{n}$

הערה: תהליך יוגדר כבעל כושר אם גבולות המפרט מצויים מחוץ לגבולות התהליך.

איכות כוללת בקרת איכות ותכנון לאיכות. ד"ר חיים שור

© - כל הזכויות שמורות

חלוקה כללית של תרשימי בקרה

■ תרשימי בקרה למשתנים:

הגורם עליו מעוניינים לפקח הוא משתנה רציף הניתן למדידה, כגון: מימדים גיאומטריים, ריכוז חומר בתהליך, טמפרטורה, משקל, עלות ייצור.

- תרשים בקרה לממוצע ($\bar{X}$)
- תרשים בקרה לטווח (R)
- תרשים בקרה לסטיית התקן (S)
- תרשים בקרה לשונות (S^2)

■ תרשימי בקרה לתכונות:

הגורם עליו אנו מעוניינים לפקח היא הפרופורציה או הקצב בהם מופיעה תכונה מסוימת, למשל: פרופורצית הפגומים בתהליך, מספר הפגמים במוצר, קצב מופע תקלות בקו הייצור.

- תרשים בקרה לפרופורציה (P)
- תרשים בקרה למספר המופעים (C)
- תרשים בקרה לקצב המופעים (U)
- תרשים בקרה לסכום משוקלל של קבוצות שונות של פגמים.

■ תרשימי בקרה מיוחדים (משתנים / תכונות):

- תרשים בקרה לממוצע גיאומטרי נע.
- תרשים בקרה לממוצע נע / טווח נע.
- תרשים בקרה לסכום מצטבר (CUMULATIVE-SUM).
- תרשים בקרה לממוצע כאשר ממוצע התהליך רשאי להשתנות בגבולות נתונים (MODIFIED .C.C).
- תרשימי בקרה עם מדגמים בגודל משתנה.
- תרשימי בקרה לתצפיות בודדות.
- תרשימי בקרה רב משתניים (MULTIVARIATE .C.C).
- תרשימי בקרה לסדרות קצרות (SHORT-RUN CONTROL CHARTS).

טעויות ביישום תרשימי בקרה

- שמוש בתרשים בקרה בשלב מתקדם מדי בתהליך, שאינו מאפשר איתור "סיבה מיוחדת" או נקיטת אמצעי אפקטיבי.
- חוסר תגובה לסימנים של העדר בקרה עקב לחצים מהייצור.
- חוסר תגובה לסימנים של הפועות (סיבות מיוחדות) כיוון שלא נגרמו בגללן חריגות מהמפרט.
- חוסר תגובה לסיבות מיוחדות כיוון שהאחראי אינו יודע כיצד עליו להגיב.
- חוסר תגובה לסיבות מיוחדות כיוון שגבולות הבקרה לא נקבעו על סמך מדידות (אלא כ"פרופורציה מהספציפיקציות" או "על סמך נסיון"). התוצאה: בקרת יתר או בקרת חסר.
- חוסר תגובה להעדר בקרה כיוון שגבולות הבקרה למעשה אינם מעודכנים.
- חוסר תגובה כיוון שחסר הקו המרכזי בתרשים.
- דגימה לא נכונה ("לא רציונלית").
- פחד מההנהלה בגלל "חדשות רעות". התוצאה: דגימה עד לקבלת "תוצאה טובה".
- התרכזות בחריגות מגבולות הבקרה תוך התעלמות מדפוסי התנהגות חריגים. (מחזוריות, מגמה, עונתיות וכיו"ב).
- לימוד והוצאת מסקנות מתרשים X כאשר תרשים R מצביע על העדר בקרה.
- מעקב אחר מספר תכונות, כאשר שנוי בתכונה מרכזית אחת משפיע על התכונות האחרות. הפתרון: תרשים בקרה לתכונה המרכזית בלבד.
- חיפוש "סיבה מיוחדת" בתהליך מסויים כאשר מקור ההפרעה בשלב ייצור קודם או בתהליך אחר (הפתרון: השווה את תרשימי הבקרה בתהליכים השונים).
- הסקלה על הציר האנכי אינה מספיק מפורטת (פתרון: לפחות 10 שנתות).
- או רישום הערות בעת הדגימה, כאשר נצפה שנוי בתנאי התהליך (העדר מעקב הסטורי אחר תנאי הסביבה של התהליך).

תרשים בקרה לממוצע ($\bar{X}$) ותרשים בקרה לטווח (R)

1. תרשים בקרה לממוצע (X) שואל:

האם ממוצעי המדגמים משתנים, ממדגם למדגם, יותר מהצפוי על פי ההשתנות הפנימית של המדגמים (המיוצגת על ידי תרשים R)?

2. תרשים בקרה לטווח (R) שואל:

האם ההשתנות הפנימית של המדגמים (הנמדדת על ידי הטווח) יציבה לאורך זמן?

3. לתרשים הבקרה לממוצע אין כל משמעות אם נמצא כי רמת היציבות של התהליך

השתנתה (נמצאה תצפית חריגה בתרשים הבקרה לטווח). הסיבה: גבולות הבקרה של תרשים $\bar{X}$ מתבססים על הטווח הממוצע $\bar{R}$, ואם זה השתנה - אין עוד משמעות לגבולות הבקרה הקיימים של תרשים $\bar{X}$. על כן בהפעלה בו זמנית של תרשים $\bar{X}$ ותרשים R, יש לבדוק קודם את הטווח שהתקבל מהמדגם. אך ורק אם נמצא כי אינו חריג - אפשר לבדוק אם ממוצע המדגם נופל בתוך גבולות הבקרה של תרשים $\bar{X}$.

4. אם ההתפלגות הבסיסית נורמלית - התנהגות $\bar{X}$ ו-R תהיינה בלתי תלויות זו בזו

(תרשימים בלתי תלויים). אם נראה כי שני התרשימים "מחקים" זה את זה - ההתפלגות הבסיסית היא בלתי סימטרית (לא נורמלית), והשימוש בתרשימי הבקרה עשוי לתת מסקנות מוטעות.

5. זכור: הטווח הממוצע המחושב מייצג את השונות בתוך המדגם (השונות הרגעית של התהליך) ולא את השונות בין המדגמים או את השונות הכללית של התהליך. לדוגמה: יתכן שממוצע התהליך, שהיה קודם יציב, יתחיל להשתנות באופן מחזורי. בדיקת השונות לאורך זמן (השונות הנצפית על ידי הצרכן הסופי של תוצרת המפעל) עשויה להראות כי השונות של התהליך גדלה, בעוד שהשונות הרגעית (זאת המיוצגת על ידי הטווח המדגמי) לא השתנתה. באופן מתמטי ניתן להציג את האבחנה בין שני סוגי השונות על ידי הנוסחה הבאה:

$$\sum_{(j)(i)} (X_{ij} - \mu)^2 = \sum_{(j)(i)} (X_{ij} - \bar{X}_j)^2 + n \sum_{(j)} (\bar{X}_j - \mu)^2$$

(2) (1)

(1) ההשתנות של ממוצע התהליך (ההשתנות בין המדגמים).

(2) ההשתנות הפנימית (בתוך המדגמים).

X_{ij} - התצפית ה- i במדגם j . μ - ממוצע התהליך לאורך זמן.
 $\bar{X}_j$ - ממוצע מדגם j . n - מספר התצפיות למדגם.

6. בתרשימי בקרה לטווח ולממוצע אנו משתמשים **תמיד** ב"שונות הרגעית" כדי לתאר את שונות התהליך. מאידך, בתיאור "כושר תהליך" ללקוחות חיצוניים, יהיה הלקוח מעוניין לדעת את שונות התהליך **הכוללת** (השונות לאורך זמן) כדי להעריך באמצעותה את טיב התוצרת.

“השונות הרגעית” של התהליך ושונות התהליך לאורך זמן

הגדרות :

- השונות הרגעית של התהליך היא שונות התהליך כפי שנצפתה בנקודת זמן מסוימת (ההשתנות סביב לממוצע התהליך באותו זמן).
- השונות הכללית של התהליך היא שונות התהליך כפי שנצפתה לאורך זמן, והיא כוללת גם את השתנות ממוצע התהליך לאורך זמן.

דוגמה:

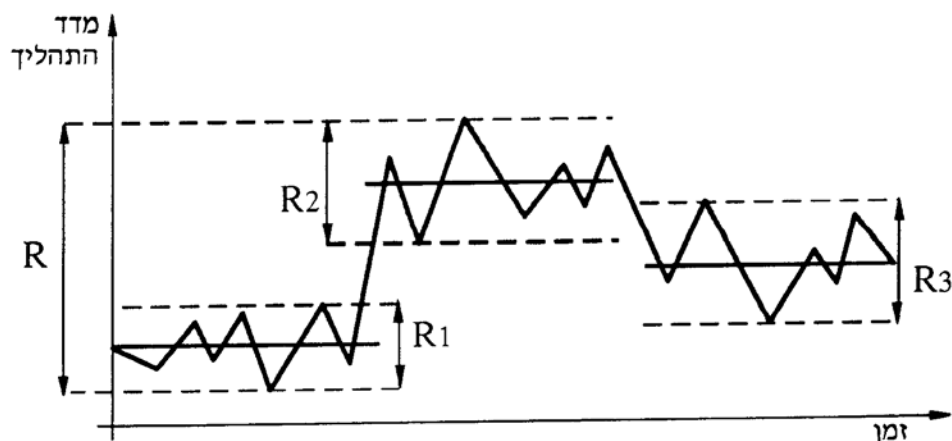
נניח שניטלו בתקופות זמן שונות שלושת המדגמים הבאים:

מדגם	סטיות התקן	R	ממוצע
מדגם 1: 3.1 8.5 6.9 6.6 6.7 4.5 2.9 8.6 4.6 7.3	2.03	5.73	5.96
מדגם 2: 13.5 10.8 11.5 14.1 8.4 12.1 13.5 11.3 11.7 12.1	1.64	5.71	11.92
מדגם 3: 8.3 12.3 9.8 10.7 9.0 8.4 11.0 9.8 11.6 10.6	1.34	4.00	10.16

סטיות התקן הרגעית: ממוצע סטיות התקן של המדגמים הבודדים: $\bar{R} = 5.15$

סטיות התקן הכללית: סטיות התקן של כלל המדגמים לאחר שאוחדו: $R = 11.25$

הדגמה של שני רכיבי השונות מופיעה בציור הבא:



$$\bar{R} = (R_1 + R_2 + R_3) / 3$$

ממוצע ההשתנות הרגעית של התהליך: $\bar{R}$
ההשתנות הכוללת של התהליך: R

איכות כוללת בקרת איכות ותכנון לאיכות. ד"ר חיים שור

© - כל הזכויות שמורות

שיקולים בבחירת גודל המדגם ותדירות הדגימה

- אם תרשים הבקרה לממוצע נועד להתריע על סטיה בינונית עד גדולה בממוצע התהליך (למשל: שתי סטיות תקן ויותר) השתמש במדגם יחסית קטן, למשל: $n = 4, 5, 6$.
אם ברצוננו להבחין גם בסטיות קטנות מאוד, הגדל את גודל המדגם $n = 15:25$.
- פתרון זול יותר הינו להשתמש בתרשים בקרה לסכום מצטבר, לממוצע נע או לממוצע נע גיאומטרי (שני התרשימים האחרונים הם פשוטים, וידועים ביכולתם להתריע על סטיות קטנות).
במקרה של שמוש בתרשים בקרה לממוצע נע המתבסס על K הממוצעים האחרונים הקטן את גבולות הבקרה של תרשים X פי $\sqrt{K}$. במקרה של ממוצע נע גיאומטרי עם מקדם החלקה של A - הקטן את גבולות הבקרה של תרשים X פי $(2-A)/A$. הקו המרכזי אינו משתנה.
- אם שכיחות ההפרעות בתהליך יחסית גבוהה (התהליך לא בבקרה באחוז גבוה מהזמן) העדף מדגמים קטנים בתדירות גבוהה על פני-מדגמים גדולים בתדירות נמוכה.
- תרשים הבקרה לטווח יחסית בלתי רגיש לשנויים בסטיית התקן. מאידך הגדלת המדגם מגדילה את הסכוי שאומדן סטיית התקן על ידי הטווח יהיה מוטה. לכן אם מעוניינים להבחין בשנויים קטנים בסטיית התקן - השתמש בתרשים בקרה ל- S או S^2 עם מדגמים יחסית גדולים ($n > 10$).
- כללית העדף מדגמים קטנים ($n=4:5$) בתדירות גדולה. הדבר יבטיח כי הזמן עד לגילוי ההפרעה בייצור יהיה נמוך.
- אם קצב הייצור נמוך מאוד - השתמש במדגמים גדולים בתדירות נמוכה.
- אם חקירת התרעות שווא יקרה מאוד (הפסקת ייצור כללית, ביצוע בדיקות מעבדה), השתמש בגבולות בקרה רחבים יותר (למשל: 4 סטיות תקן). התנאי לביצוע: הבטח שגבולות הבקרה החדשים עדיין רחוקים מאוד מגבולות הטורנס.

כיצד יש לקרוא תרשימי בקרה?

(SPC INTERPRETATION)

בתרשימי בקרה ניתן להבחין 9 סוגי תבניות המעידים על הפרעות בתהליך:

1. **קפיצה פתאומית בודדת** (מעבר לגבולות הבקרה).
2. **קפיצה קבוצתית:** קבוצה של נקודות המרוחקות מהקו המרכזי (קריטריונים מקובלים: 2 מתוך 3 נקודות עוקבות נמצאות מעבר לגבולות האזהרה ($\pm 2\sigma$) או 4 מתוך 5 נקודות עוקבות הנמצאות מעבר ל $\pm 1\sigma$, כאשר כל נקודות הקבוצה החריגות באותו צד של תרשים הבקרה).
3. **סטייה** בכיווןן התהליך (לפחות 9 נקודות עוקבות מצויות מצידו האחד של הקו המרכזי).
4. **מחזוריות:** הנקודות בתרשים מציירות תמונה גלית (קריטריון מקובל: לפחות 14 נקודות עוקבות קופצות מעלה ומטה, לסירוגין).
5. **מגמה** (לפחות 6 נקודות עוקבות נמצאות במגמת עליה או ירידה, או שהממוצע הנע מראה מגמה).
6. **הקבצת נקודות:** הנקודות בתרשים נוטות להופיע בצורות ללא התנהגות הזיג זג האופיינית לתרשים של תהליך בבקרה.
7. **התנהגות לא סדירה** של הנקודות בתרשים. קפיצות גדולות מאוד ובלתי סדירות (קריטריון מקובל: מתוך 10 נקודות עוקבות או יותר, לפחות 40% מהנקודות מעבר לגבולות האזהרה ($\pm 2\sigma$)).
8. **העדר נקודות קרוב לקו המרכזי.** תבנית של "תערובת יציבה": דגימה לסרוגין מתערובת של מספר מקורות שונים, שכל אחד מהם בפני עצמו נמצא בבקרה (קריטריון מקובל: 8 נקודות עוקבות נמצאות מעבר ל $\pm 1\sigma$, בצד כלשהוא של הקו המרכזי).
9. **ריכוז רב** של נקודות סביב הקו המרכזי, שאינו מלווה במגמת ירידה בתרשים R (קריטריון מקובל: 15 נקודות עוקבות נופלות בתחום $\pm 1\sigma$ סביב לקו המרכזי בצד כלשהוא).

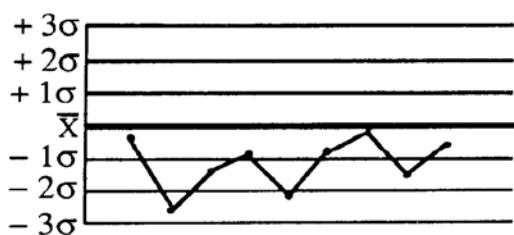
הערות:

- חלק מהקריטריונים לקוחים מ: WESTERN ELECTRIC HANDBOOK (1956).
- כדי למצוא את סטיית התקן של הסטטיסטי המשמש לביצוע הבקרה חלק את המרחק בין גבולות הבקרה ב-6.
- רב התוכנות הקיימות מתבססות על הקריטריונים הנ"ל, או דומיהם, לביצוע מבחנים לאיתור קיומן של "סיבות מיוחדות" או של השתנות מבנית. ככל שנרבה במספר הכללים הסיכוי להתרעת שווא יגדל.

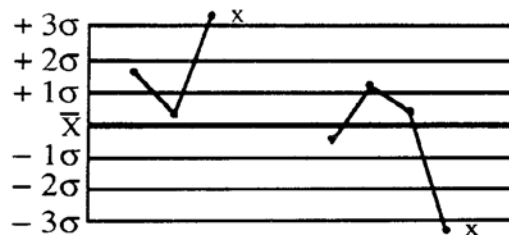
איכות כוללת בקרת איכות ותכנון לאיכות. ד"ר חיים שור

© - כל הזכויות שמורות

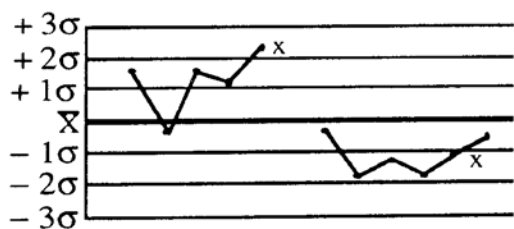
תאור תשעה סוגי התבניות הבסיסיים



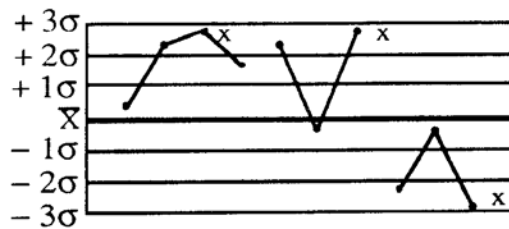
3. סטייה



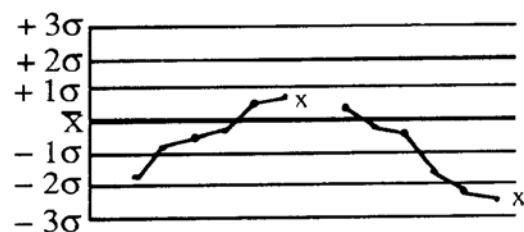
1. קפיצה פתאומית בודדת



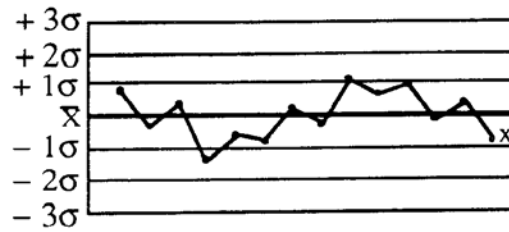
2ב. קפיצה קבוצתית ב'



2א. קפיצה קבוצתית א'



5. מגמה



4. מחזוריות



7. התנהגות לא סדירה



6. הקבצת נקודות



9. ריכוז רב



8. העדר נקודות קרוב לקו המרכזי

פרוש התבניות ומקורותיהן

1. קפיצה פתאומית (FREAK)

- השתנות פתאומית בחומר גלם.
- טעות מדידה.
- טעות חישובית.
- טעות בציר הנקודה בתרשים.

2. קפיצה קבוצתית (FREAK PATTERN)

- שנוי פתאומי בחומר גלם.
 - טעויות מדידה.
 - דילוג על פעולת עיבוד (טעות מפעיל).
 - פעולת עיבוד שלא הושלמה (טעות מפעיל).
- הערה:** בדרך כלל תבנית זאת תשתלב בתבנית כוללת יותר המעידה על חוסר בקרה.

3. סטיה בתהליך (SHIFT)

- שנוי פתאומי באחד מ- 5 המקורות העיקריים ל"סיבות מיוחדות" (מפעיל, מכונה, שיטה, חומר, כלי).

דוגמאות: החלפת ספק, מפעיל חדש, שנוי בכוונן התהליך (מכונה), שינוי בשיטת המדידה או כלי המדידה, אחזקה לקויה.

הערה: מפעיל חדש לא מיומן יגרום בדרך כלל לסטיה כלפי מעלה בתרשים R.

4. מחזוריות (CYCLES)

- ציוד לקוי הפועל במחזוריות.
- אספקת אנרגיה מחזורית (תנודות מתח).
- גורמי אנוש (החלפת משמרת, עובדים חדשים, עייפות מצטברת לאורך המשמרת).

5. מגמה (TREND)

סיבות למגמת ירידה בתרשים R :

- הדרכת עובדים.
- אחזקה משופרת.
- הפעלת תכנית שיפור איכות.
- אמצעי בקרה משופרים בתהליך או בשלבי עיבוד קודמים.

סיבות למגמה בתרשים $\bar{X}$ (כאשר הטווח בבקרה):

- התבלות כלי העבודה.
- עייפות מצטברת לטווח זמן ארוך.
- הרעה מצטברת בתנאי העבודה. (לכלוך מצטבר במכונות, ספיגת לחות בחומרי גלם).
- "הזדקנות" ציוד.

6. הקבצה (BUNCHING)**סיבות להקבצה בתרשים R :**

- קיומן של מספר התפלגויות שונות באותו תהליך (הבדלים במיומנויות של מפעילים, שינויים בטיב ח"ג שנרכש מספקים שונים, חוסר הומוגניות של חומר גלם).
- סיבות להקבצה בתרשים X (כאשר הטווח בבקרה):**
- שינויים זמניים באחד מ- 5 המקורות העיקריים ל"סיבות מיוחדות".

7. תבנית לא סדירה (ERRATIC PATTERN)

- בקרת יתר
- מכשירי מדידה לקויים, לא אמינים או לא מכוילים כראוי.
- רשלנות במדידה.
- הסיבות של (1), נמשכות לאורך זמן.
- אוסף של סיבות שונות שמקורן בשלבים מוקדמים יותר של תהליך הייצור (חומר בתהליך לא הומוגני, הפסקות עבודה, אי שמוש בתרשימי בקרה בשלבים קודמים בתהליך, ערבוב **אקראי** של ח"ג מספקים שונים או מקוי ייצור שונים).
- אמצעי קיבוע בלתי יציבים.

8. תערובת יציבה (STABLE MIXTURE)

- ערבוב בסדר קבוע (לא אקראי!) של מקורות שונים לתשומות התהליך, כאשר כל מקור בפני עצמו הוא עקבי (שונות נמוכה):
- שנוי בכלי המדידה (או המודד).
- שנוי במקור חומר הגלם.
- שנוי במקור חומר בתהליך (קווי ייצור או הרכבה שונים).
- שנוי משמרת או מפעיל.

פתרון: מעבר למקור יחיד שתוצאתו: הקטנת שונות.

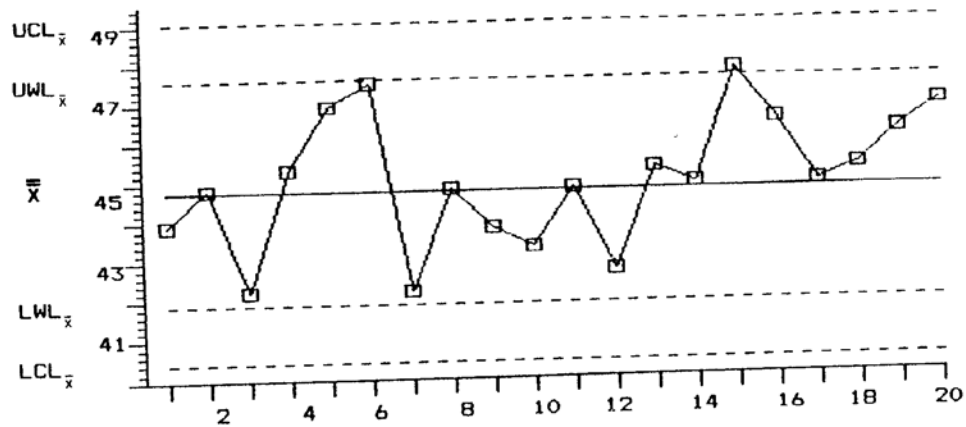
9. שיטוח (STRATIFICATION)

- סקלה גסה מדי על מכשיר המדידה או על תרשים הבקרה.
- שיטת מדידה (מכשיר מדידה) בעלת דיוק נמוך מדי.
- שיטת מדידה מורכבת מדי, ארוכה מדי או קשה לביצוע - הגורמת ל"פברק" תוצאות.
- דגימה לא אקראית ("נדגמים" רק פריטים טובים).
- דגימה באופן שונה מהדגימה ששמשה לבניית תרשים הבקרה (הקטנה מלאכותית של שונות הדגימה).
- שמוש בבניית תרשים הבקרה בשונות שאינה מייצגת את השונות האמיתית של המדגמים הנלקחים בפועל. לדוגמה: אומדן שונות על סמך איחוד מספר רב של מדגמים, בעת בניית גבולות הבקרה.
- חישוב לא נכון של גבולות הבקרה.

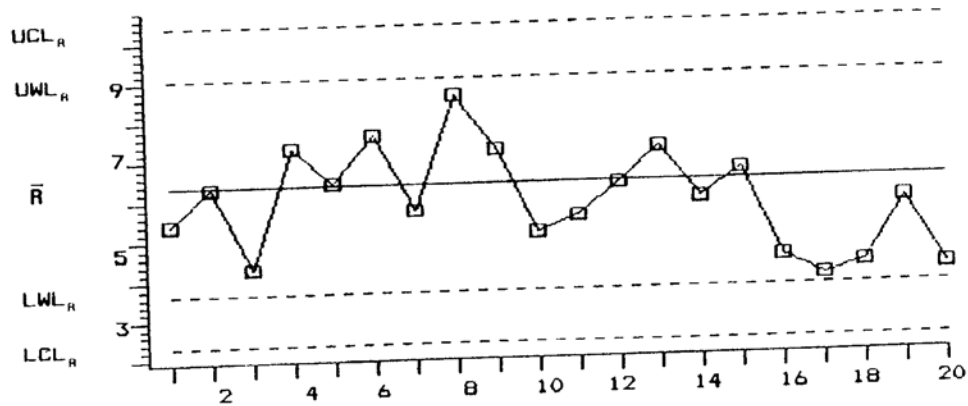
דוגמאות לתבניות השונות

הפתרונות לדוגמאות אלה נתונים בעמוד 121

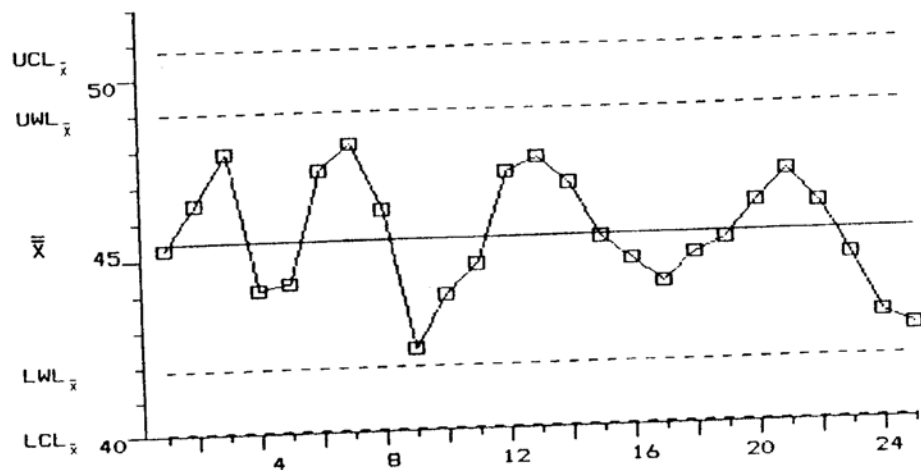
1



2



3

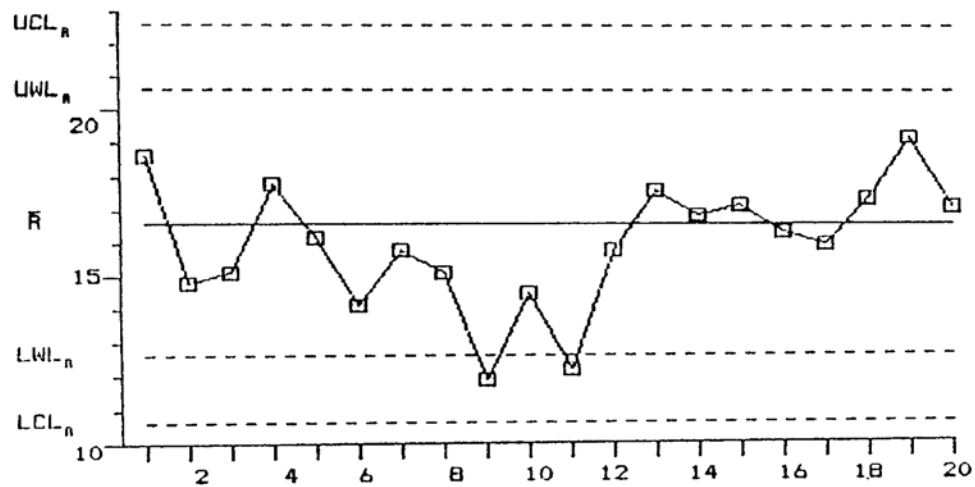


איכות כוללת בקרת איכות ותכנון לאיכות. ד"ר חיים שור

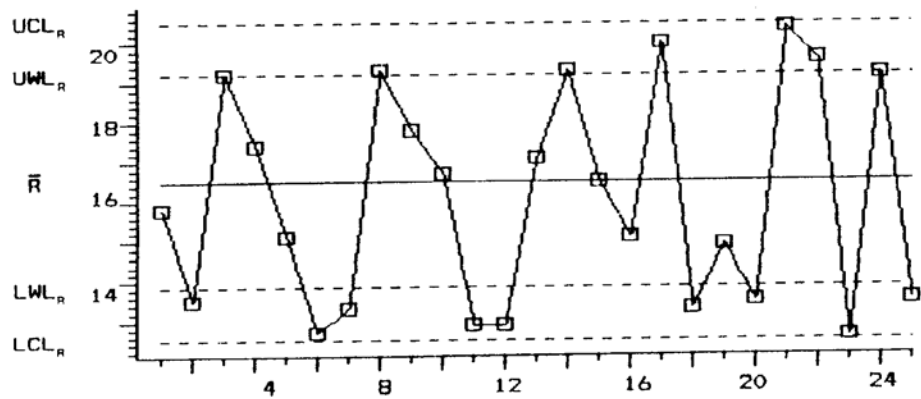
© - כל הזכויות שמורות

דוגמאות לתבניות השונות – המשך

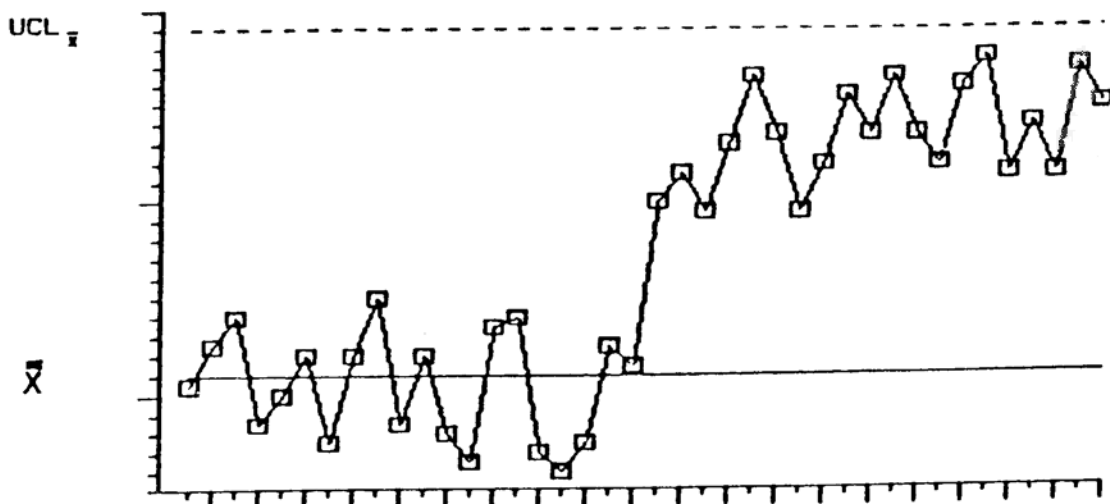
4



5



6

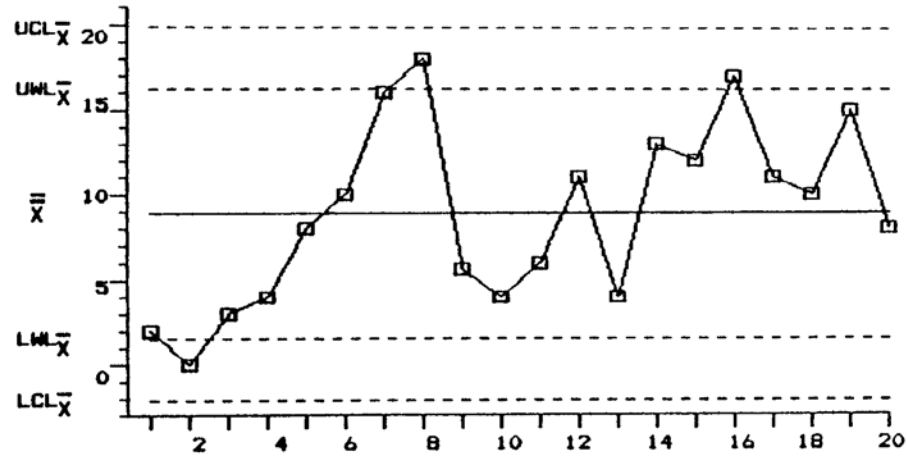


איכות כוללת בקרת איכות ותכנון לאיכות. ד"ר חיים שור

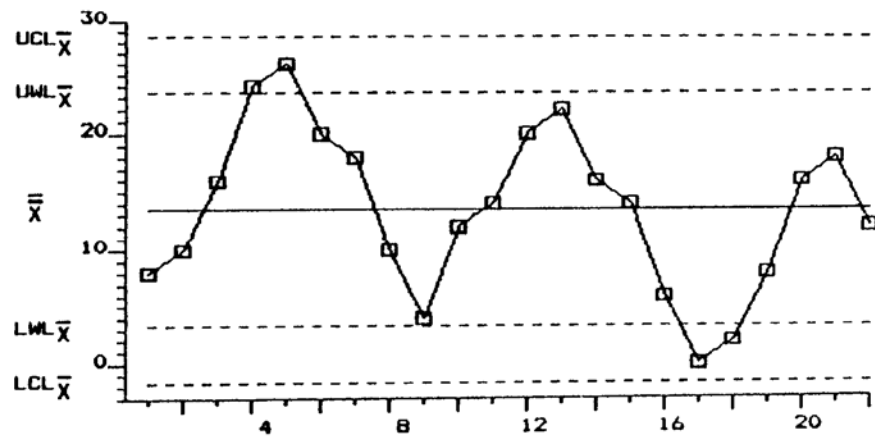
© - כל הזכויות שמורות

דוגמאות לתבניות השונות - המשך

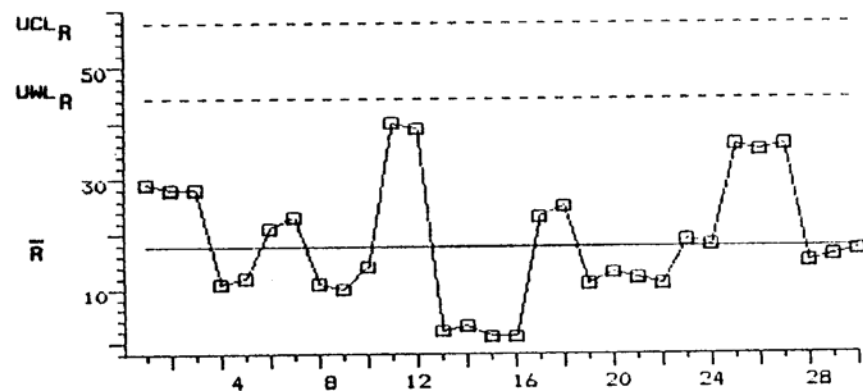
7



8

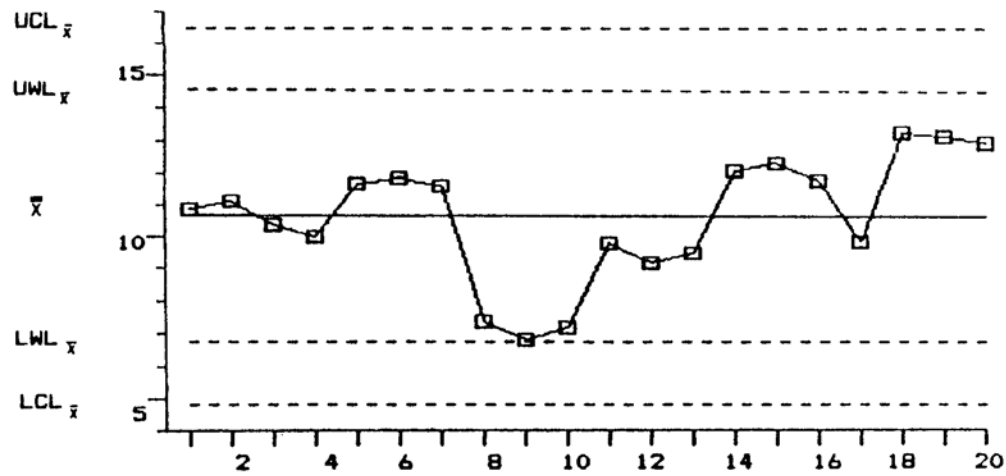


9

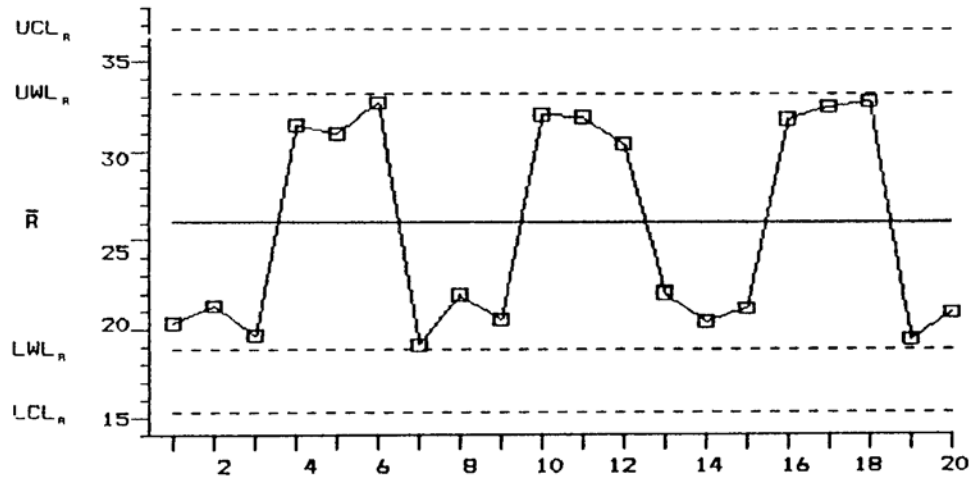


דוגמאות לתבניות השונות - המשך

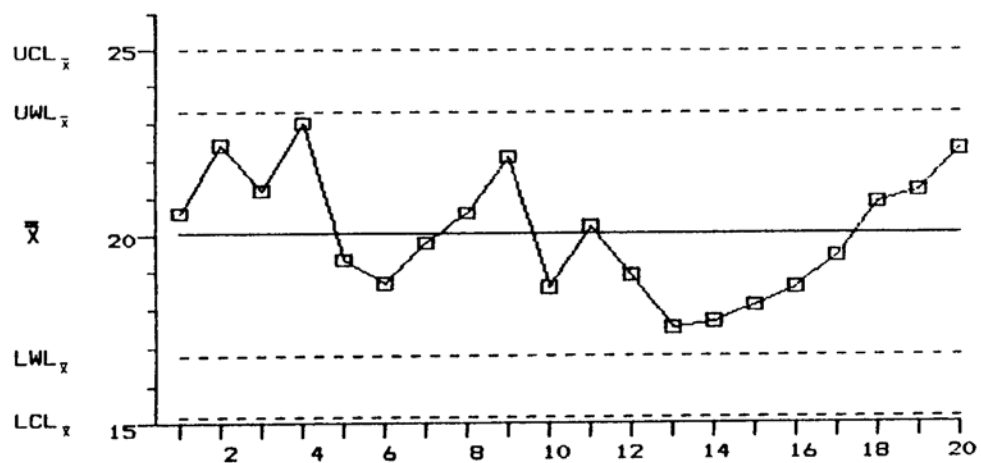
10



11



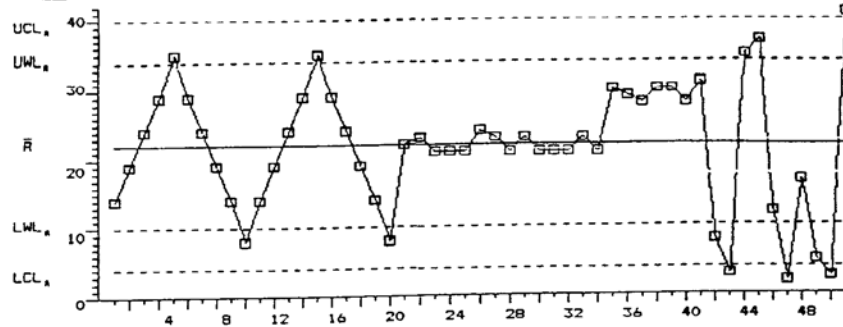
12



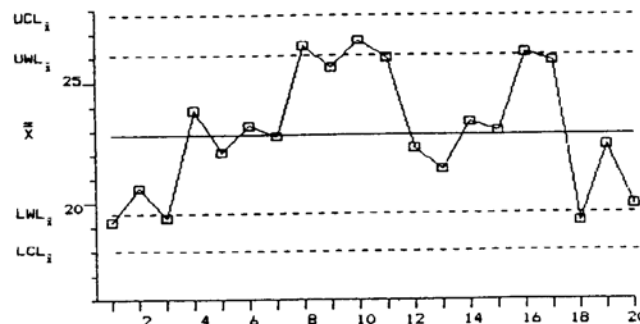
איכות כוללת בקרת איכות ותכנון לאיכות. ד"ר חיים שור
© - כל הזכויות שמורות

דוגמאות לתבניות השונות – המשך

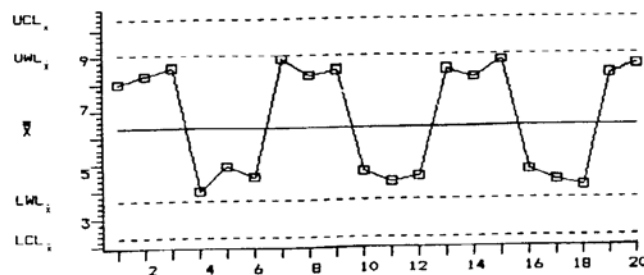
13



14



15



פתרונות

פתרון	דיאגרמה מס'	פתרון	דיאגרמה מס'
מחזוריות (4)	8	סטייה (תבנית 3)	1
הקבצה (6)	9	קפיצה קבוצתית (2)	2
הקבצה (6)	10	מחזוריות (4)	3
תערובת יציבה (8)	11	קפיצה קבוצתית (2)	4
מגמה (5)	12	קפיצה קבוצתית (2)	5
תבנית 4, 3, 2, 1	13	סטייה (3)	6
תבנית 6, 2	14	מגמה (5)	7
תערובת יציבה	15		

איכות כוללת בקרת איכות ותכנון לאיכות. ד"ר חיים שור

© - כל הזכויות שמורות

עקומת OC, ARL, ותרשים הבקרה

הגדרה:

עקומת OC היא גרף המתאר את ההסתברות לקבל, כתוצאה מבדיקה מדגמית, את "השערת האפס" ביחס לפרמטר הנבדק, כתלות בערכו בפועל של אותו פרמטר.

לדוגמה:

נניח שב"דגימת קבלה" דוגמים 50 פריטים, והמשלוח נפסל אם נמצאו שני פריטים פגומים או יותר. עקומת OC של "תכנית דגימה" זאת תתן את ההסתברות לאשר את המשלוח (לקבל את "השערת האפס" שהמשלוח תקין) כתלות בפרופורציית הפגומים בפועל במשלוח. לדוגמה: אם במשלוח היו 10% פגומים, אזי ההסתברות לאשרו (ההסתברות לקבל במדגם פריט פגום אחד לכל היותר) תהיה, תוך שמוש בטבלת ההתפלגות הבינומית: 0.0338. הסתברות זאת נוכל לקרוא מעקומת OC של אותה "תכנית דגימה".

השימוש בעקומת OC לבחינת ביצועיו של תרשים בקרה מאפשר לזהות את ההסתברות כי התוצאה המדגמית שקבלנו (למשל: ממוצע המדגם) נופלת בין גבולות הבקרה, כפונקציה של ערכו בפועל של פרמטר התהליך המבוקר. באופן זה אנו יכולים ללמוד על רגישותו של תרשים הבקרה לשינויים בפרמטר, ויכולתו לזהות שינוי כזה. אנו נשאף כי כאשר הפרמטר המבוקר השתנה, ההסתברות כי התוצאה המדגמית תיפול בין גבולות הבקרה תהיה נמוכה.

דוגמה:

בתרשים בקרה למוצע, המתבסס על מדגמים בני $n = 4$ תצפיות, נניח כי סטיית התקן של התהליך היא: $\sigma = 5$ ותוחלת התהליך היא: $\mu = 70$.

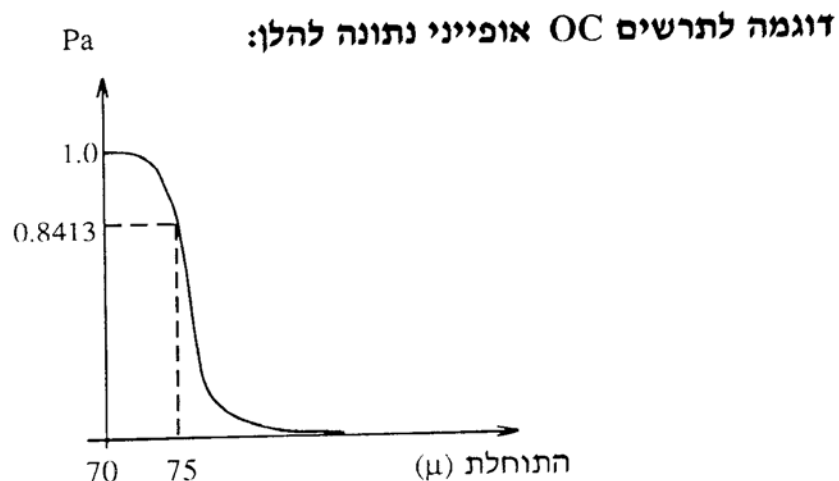
$$UCL : \mu + 3\sigma/\sqrt{n} = 77.5 \quad \text{גבול הבקרה העליון יהיה:}$$

$$LCL : \mu - 3\sigma/\sqrt{n} = 62.5 \quad \text{גבול הבקרה התחתון יהיה:}$$

נניח עתה כי תוחלת התהליך השתנתה ל- $\mu = 75$. ההסתברות כי נשאר בין גבולות הבקרה (ההסתברות לקבל את "השערת האפס" שהתהליך יציב) תהיה, תוך שמוש בטבלת ההתפלגות הנורמלית סטנדרטית:

$$\begin{aligned}
 P_a &= \Pr(\bar{X} < UCL) + \Pr(\bar{X} < LCL) = \\
 &= \Pr\left(\frac{\bar{X} - 75}{5/\sqrt{4}} < \frac{77.5 - 75}{5/\sqrt{4}}\right) + \Pr\left(\frac{\bar{X} - 75}{5/\sqrt{4}} < \frac{62.5 - 75}{5/\sqrt{4}}\right) = \\
 &= \Pr(Z < 1) + \Pr(Z < -5) = 0.8413
 \end{aligned}$$

($\bar{X}$ - ממוצע המדגם. Z - המשתנה הנורמלי סטנדרטי).
הסתברות זאת תרשם בעקומת OC בקואורדינטות: (0.8413, 75).



מדד ARL (Average Run Length) הינו מדד סטטיסטי המחשב כמה מדגמים בממוצע נצטרך לקחת עד שתתקבל תוצאה החורגת מגבולות הבקרה, כתלות בערכו בפועל של הפרמטר הנבדק. אנו נשאף כי ה-ARL יהיה גבוה ככל האפשר בתהליך יציב, ונמוך ככל האפשר בתהליך בלתי יציב.

לדוגמה: בדוגמה הקודמת ראינו כי כאשר תוחלת התהליך השתנתה ל-75, ההסתברות כי במדגם כלשהוא נקבל ממוצע מחוץ לגבולות הבקרה היא: $1 - 0.8413 = 0.1587$.
נחשב את ה-ARL:

$$ARL = \frac{1}{1 - P_a} = \frac{1}{1 - 0.8413} = 6.3$$

משמעות הדבר היא כי בממוצע רק במדגם ה-6.3 תתגלה לראשונה הסטיה בתוחלת התהליך.

הערה: חישוב ה-ARL מתבסס על ההתפלגות הגיאומטרית.

בקרת קדם (PRE - CONTROL)

בקרת קדם זוהי שיטה מהירה ופשוטה להבטיח כי:

1. תהליך (או מכונה) אשר החלו בייצור מוצר חדש מכוונים כראוי.
2. לאחר שהתהליך (או המכונה) קבלו את האישור הראוי - לעקוב אחריהם כדי להבטיח כי הם בכושר (אין מיוצרים פריטים פגומים).

בהתאם לשתי מטרות אלו מוגדרים שני שלבים ביישום השיטה:
שלב א': שלב הסמכת התהליך (Process Qualification).
שלב ב': שלב המעקב, באמצעות בחינה מדגמית.

אופן הביצוע:

1. הגדר גבול מפרט עליון וגבול מפרט תחתון.
2. חלק התחום בין שני הגבולות לארבעה קטעים שווים.
3. הגדר את שני הקטעים האמצעיים כ"אזור ירוק", ואת שני הקטעים הקיצוניים כ"אזור צהוב". האזורים שמעבר לגבולות המפרט יוגדרו "אזור אדום".

שלב א' - הסמכה :

- קריטריון ההסמכה:** אם חמישה פריטים עוקבים נפלו ב"אזור הירוק" - התהליך בכושר. אם לא, אזי:
- כאשר פריט נפל ב"אזור צהוב" - התחל את הספירה מחדש, אך אל תבצע כל שינוי בתהליך.
 - כאשר שני פריטים עוקבים נפלו ב"אזור צהוב" (אף אם שייכים לספירות שונות) או שאחד הפריטים נפל ב"אזור האדום" - תקן את התהליך, והתחל את הספירה מחדש.
 - בצע הסמכה מחדש לאחר כל אחד מהשינויים הבאים:
 כוונן מכונה, שינוי במכשיר, חומר גלם, מפעיל או משמרת.

שלב ב' - בקרת התהליך :

- דגום שני פריטים עוקבים A ו-B:
- אם פריט A נפל ב"אזור הירוק" - המשך בתהליך (אין צורך למדוד גם את פריט B).
 - אם פריט A "צהוב" - מדוד גם את פריט B.
 - אם שני הפריטים נפלו באותו "אזור צהוב" - התהליך אינו מכוון כראוי (הערך המרכזי אינו באמצע המפרט).
 - אם שני הפריטים נפלו בשני "אזורים צהובים" שונים - חל גידול בשונות התהליך (התהליך אינו בבקרה).
 - בשני המקרים עצור את התהליך וחפש "סיבה מיוחדת".
 - אם A או B נפלו ב"אזור האדום" - עצור את התהליך וחפש "סיבה מיוחדת".

איכות כוללת בקרת איכות ותכנון לאיכות. ד"ר חיים שור

© - כל הזכויות שמורות

בקרת קדם - המשך

העקרון הבסיסי: תהליך יוכרז כ"לא תקין" רק אם שני פריטים עוקבים נפלו ב"אזור צהוב", או פריט אחד לפחות נפל ב"אזור אדום".

תדירות דגימה מומלצת: לפחות 6 מדגמים בין כל שינוי או כוונון מחדש של התהליך (לדוגמה: במשמרת של 8 שעות תבוצע הדגימה במרווחים של לא יותר מ- 1.33 שעות = 8/6).

הערות:

1. הנחנו כי גבולות המפרט הם גבולות כושר התהליך. אם גבולות כושר התהליך צרים יותר - השתמש בהם (במקום בגבולות המפרט).
2. אם אפילו התכונה הנמדדת אינן סימטריות, כוון את התהליך לאמצע התחום שבין גבול המפרט העליון וגבול המפרט התחתון.
3. "בקרת קדם" הוצעה לראשונה ע"י שיינין בשנות הארבעים, ומאז התפרסמו כמה גירסאות שלה. על הגירסה המעודכנת של שיינין (שהוצגה לעיל) ניתן לקרוא בפרסומים:

- Shainin D. and P. Shainin (1989). Pre-Control versus X-Bar & R. charting: Continuous or immediate quality improvement. Quality Engineering, V.2, N.3.
- Shainin D. (1990). Comments on Pre-Control vs. Control Charting : A critical comparison by Neil A. Mackertich. Quality Engineering, V.2, N.3.
- Ermer D.S & J.R. Roepke (1991). An Analytical Analysis of Pre-control. 45th A.S.Q.C. Quality Congress Annual. p. 522.

■ חסרונות השיטה

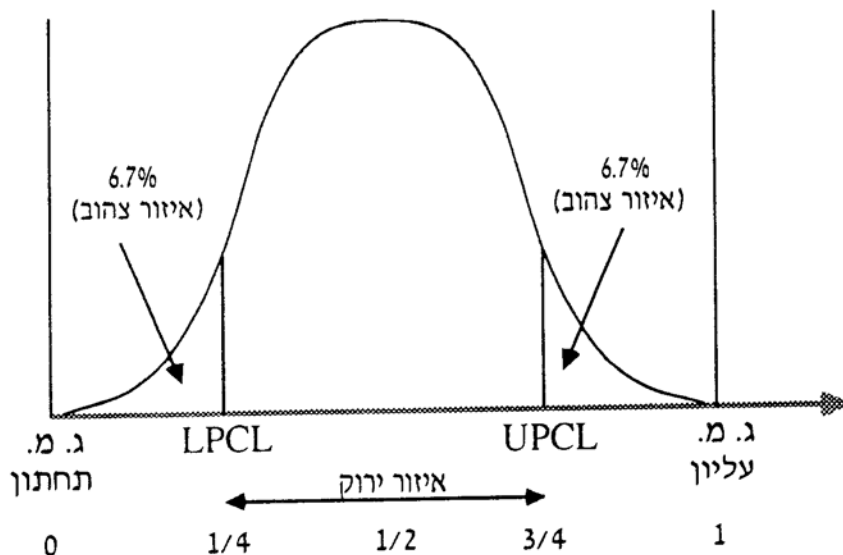
1. אינה נותנת מידע דיאגנוסטי על התהליך (כמו תרשימי בקרה). על כן גם אין רישום הסטורי של תוצאות המדגמים.
2. אינה מצביעה על הסיבה להפרעה, ולכן אינה מספקת אינפורמציה שתסייע באיתור "הסיבה המיוחדת".
3. אינה רגישה כלל ל"הפרעות" בתהליך הנמצא בבקרה (הפרעות היוצרות תבניות מיוחדות, שניתן לאבחן באמצעות תרשימי בקרה).
4. המדגם הקטן מפחית במידה רבה את היכולת לגלות סטיות בתהליך.

איכות כוללת בקרת איכות ותכנון לאיכות. ד"ר חיים שור

© - כל הזכויות שמורות

בקרת קדם - המשך

■ הסבר השיטה



כאשר התהליך בבקרה ההסתברות שהמדגם יאשר זאת היא ההסתברות לקבל פריט ראשון "ירוק" או לקבל פריט ראשון "צהוב" והשני "ירוק".

מטבלת ההתפלגות הנורמלית:

- ההסתברות לקבל פריט "ירוק" היא: 0.8664

- ההסתברות לקבל פריט "צהוב" היא: $0.0668 + 0.0668 = 0.1336$

ולכן ההסתברות שבעקבות הדגימה בתהליך תקין התהליך יוכרז ככזה היא:

$$0.8664 + 0.1336 \times 0.8664 = 0.9822$$

כלומר: קיימת הסתברות של 1.8% לאתרעת-שווא. זוהי הסתברות גבוהה מזאת המקובלת בתרשים בקרה (0.27%).

תרשים בקרה לתצפיות בודדות ובעיית האוטו – קורלציות

הצגת הבעיה

בתרשימי הבקרה המקובלים אנו דוגמים **תקופתית** את התהליך, ורושמים את ממוצע המדגם (או מדד אחר כלשהוא) בתרשים הבקרה. ההנחה הבסיסית היא כי תוצאות המחושבות ממדגמים שונים הן בלתי תלויות, ותוצאה שהתקבלה במדגם כלשהוא אינה משפיעה על ערכים שנקבל במדגמים הבאים וכן אינה מושפעת ממדגמים קודמים.

במילים אחרות: **אין מיתאם בין הערכים הנרשמים בתרשים הבקרה, ובמצב היציב הסטיות בתרשים אקראיות לחלוטין.**

כאשר מבצעים בקרת תהליך באמצעות "תרשים בקרה לתצפיות בודדות" התצפיות ניטלות בדרך כלל בפרקי זמן קצרים ביותר לצורך ביצוע בקרה רציפה של התהליך. עקב כוחות אינרציה הקיימים בתהליך, קיימת אזי הסתברות גבוהה כי תצפיות עוקבות, או תצפיות קרובות בזמן, תהיינה בעלות מיתאם גבוה. למשל: סביר להניח כי אם ברגע מסוים נקראה טמפרטורה גבוהה מהממוצע גם בדקה העוקבת תתקבל קריאה הגבוהה מהממוצע.

מיתאם הקיים בין תצפיות השייכות לאותה סידרת נתונים נקרא: אוטו-קורלציה.

קיום אוטו-קורלציה בין תצפיות עוקבות (או קרובות בזמן) מנוגד להנחה שפורטה לעיל, משמית את הבסיס התיאורטי לשימוש בתרשים בקרה לתצפיות בודדות, ועלול להפוך את המסקנות המופקות מהתרשים למופרכות מעיקרן. לדוגמה: קיומן של אוטו-קורלציות עלול להגדיל באופן ניכר את מספר התרעות השווא של תרשים הבקרה.

בעיית האוטו – קורלציות (המשך)

הגדרה:

אוטו-קורלציה מסדר K הינו המיתאם העצמי המתקבל בסדרה עתית (סדרת נתונים שניטלה לאורך זמן) בין תצפיות הסדרה המקורית לבין תצפיות אותה סדרה לאחר שהוזה, יחסית לעצמה, K מקומות לאחור.

לדוגמה: אוטו-קורלציה מסדר ראשון ($K=1$) של סדרת הנתונים: 10, 8, 7, 11, 12, 9, 8 הוא המיתאם שיתקבל בין זוגות התצפיות הבאים: (8, 7), (7, 11), (11, 12) וכו'.

הפתרון

קיום מיתאמים עצמיים בסדרה עתית מעיד על כך שהתצפיות אינן אקראיות לחלוטין, אלא חבויה בהן תבנית התנהגות מסוימת. מכאן שביטוי תבנית זאת באמצעות מודל מתמטי מתאים "יסלק" את התבנית מהנתונים, ויאפשר לנו לקבל שוב נתונים אקראיים לחלוטין, שניתן לעקוב אחר יציבותם באמצעות תרשים בקרה רגיל. נהוג להתאים לסידרה עתית בעלת אוטו-קורלציה מודלים מסוג $ARIMA$ (Auto - Regressive Integrated Moving Average) או מסוג $ARMA$. מודלים אלו מניחים כי התהליך ממנו ניטלו התצפיות הוא יציב לאורך זמן (סטציונרי). יציבות זאת מתבטאת בכך שממוצע התהליך וסטיית התקן אינם משתנים עם הזמן.

לאחר שהותאם מודל לנתונים והוא נמצא תקף, ניתן להפעיל תרשים בקרה על השאריות המתקבלות (השארית של תצפית i הינה ההפרש בין הערך שהתקבל בפועל בזמן i לבין הערך הצפוי על פי המודל).

אם המודל שהותאם מייצג כהלכה את התהליך הנצפה, השאריות תהיינה בדרך כלל בלתי מתואמות (הדבר ניתן לבדיקה), ובעלות התפלגות נורמלית עם תוחלת אפס וסטיית תקן σ_ϵ . (את σ_ϵ ניתן לאמוד באמצעות השאריות המתקבלות בפועל).

בעיית האוטו – קורלציות (המשך)

דוגמה:

נניח שנמצא כי בין תצפיות עוקבות קיימת אוטו-קורלציה ($K=1$), ואילו בין זוג תצפיות המרוחקות $K > 1$ יחידות זמן זו מזו, המיתאם העצמי אינו מובהק. המודל המתאים לתהליך זה הוא: $Y_t = aY_{t-1} + b$, כאשר Y_t היא התצפית בזמן t , ו- a ו- b הם אומדנים, המתקבלים על ידי התאמת משוואת רגרסיה לנתונים. אם נסמן ב- $Y(t)$ את התצפית החזויה לזמן t (על פי המודל), אזי השארית עבור תצפית שתתקבל בזמן t תהיה: $\varepsilon_t = Y_t - Y(t) = Y_t - (aY_{t-1} + b)$. שארית זאת תרשם כנקודה בתרשים בקרה לתצפיות בודדות. בתרשים זה הקו האמצעי יהיה ברמה 0, ואילו הגבול העליון והגבול התחתון יהיו מרוחקים $\pm 3\sigma_\varepsilon$ ממנו.

נוסחת חישוב מקדם האוטו-קורלציה המדגמי:

$$\hat{\gamma}(k) = \sum_{t=k+1}^n (Y_t - \bar{Y})(Y_{t-k} - \bar{Y}) / n \quad (\text{מקדם האוטו-קווריאנס המדגמי})$$

$$\hat{\rho}(k) = \hat{\gamma}(k) / \hat{\gamma}(0) \quad (\text{מקדם האוטו-קורלציה המדגמי})$$

n - מספר התצפיות

בדרך כלל ניתן להבחין בקיום מתאם-עצמי מסדר K על ידי ציור Y_t בציר האופקי ו- Y_{t-k} בציר האנכי. הסתדרות הנקודות במגמה עולה (או יורדת) תעיד על קיום אוטו-קורלציה מסדר K .

קיימים מבחנים סטטיסטיים לזהות מיתאמים עצמיים מובהקים סטטיסטית.

אופטימיזציה בתכנון תוכניות דגימה בתהליך

דוגמה

הצגת הבעיה

פריט מיוצר במנות של 1000 יחידות למנה. מנסיון העבר ידוע כי 90% מהמנות הן בעלות 1% פגומים או פחות, ואילו ב-10% הנותרים אחוז הפגומים נע בין 5% ל-10%. לתקן פריט בשלב היצור עולה 5 שקלים, אך אם פריט פגום הגיע לשלב ההרכבה יגרם נזק של 80 שקל.

עלות בחינה של פריט בשלב היצור היא 1.5 שקל.

מנות שנדחו עוברות בחינה של 100%.

פריט פגום שנמצא במדגם מתוקן, אך ניתן להזניח עלות זאת אם המנה אושרה.

מוצעות שלש תוכניות בחינה בשלב יצור הפריט:

א. סינון של 100%.

ב. העדר כל בחינה.

ג. תוכנית דגימה עם: גודל מדגם : 25 פריטים

מספר קבלה : 1

מספר דחיה : 2

מהי תוכנית הבחינה המומלצת ?

פתרון

נחשב את עלות הבחינה של מנה "טובה" (1% פגומים), ושל מנה "גרועה" (7.5% פסולים בממוצע):

א. סינון 100%

אף פריט פגום לא מגיע לשלב ההרכבה, לכן עלות הבחינה לפריט היא :

$$\text{מנה "טובה":} \quad \text{שקל} \quad 1000 \times 1.5 + 1000 \times 0.01 \times 5 = 1550$$

$$\text{מנה "גרועה":} \quad \text{שקל} \quad 1000 \times 1.5 + 1000 \times 0.075 \times 5 = 1875$$

$$\text{עלות ממוצעת למנה:} \quad \text{שקל} \quad 0.9 \times 1550 + 0.1 \times 1875 = 1582.5$$

איכות כוללת בקרת איכות ותכנון לאיכות. ד"ר חיים שור

© - כל הזכויות שמורות

ב. העדר כל בחינה בשלב היצור

כל הפריטים הפגומים מגיעים לשלב ההרכבה.

$$1000 \times 0.01 \times 80 = 800 \text{ שקל} \quad \text{מנה "טובה":}$$

$$1000 \times 0.075 \times 80 = 6000 \text{ שקל} \quad \text{מנה "גרועה"}$$

$$0.9 \times 800 + 0.1 \times 6000 = 1320 \text{ שקל} \quad \text{עלות ממוצעת למנה:}$$

ג. תוכנית דגימה (n=25 A=1 R=2)

באמצעות ההתפלגות הבינומית נחשב ההסתברויות השונות הכרוכות בתוכנית דגימה זו:

מנה "טובה":

ההסתברות לאשר את המנה (נמצא במדגם לכל היותר פגום אחד):

$$\binom{25}{0} 0.01^0 0.99^{25} + \binom{25}{1} 0.01^1 0.99^{24} = 0.9742$$

ההסתברות לדחות את המנה:

$$1 - 0.9742 = 0.0258$$

מנה "גרועה":

ההסתברות לאשר את המנה (נמצא במדגם לכל היותר פגום אחד):

$$\binom{25}{0} 0.075^0 0.925^{25} + \binom{25}{1} 0.075^1 0.925^{24} = 0.4311$$

ההסתברות לדחות את המנה:

$$1 - 0.4311 = 0.5689$$

נחשב את העלויות השונות הכרוכות בתוכנית הדגימה:**מנה "טובה":**

מנה "טובה" תאושר בהסתברות של 97.4% ותדחה בהסתברות של 2.58%.
אם המנה תאושר עלותה תהיה:

$$\text{שקל } 25 \times 1.5 + 1000 \times 0.01 \times 80 = 837.5$$

אם המנה תדחה, היא תעבור סינון של 100% ואף פריט פגום לא יגיע לשלב ההרכבה.
העלות הכוללת תהיה:

$$\text{שקל } 1000 \times 1.5 + 1000 \times 0.01 \times 5 = 1550$$

העלות הממוצעת למנה "טובה":

$$\text{שקל } 0.9742 \times 837.5 + 0.0258 \times 1550 = 855.9$$

מנה "גרועה":

מנה "גרועה" תאושר בהסתברות של 43.1% ותדחה בהסתברות של 56.9%.
אם המנה תאושר עלותה תהיה:

$$\text{שקל } 25 \times 1.5 + 1000 \times 0.075 \times 80 = 6037.5$$

אם המנה תדחה, היא תעבור סינון של 100% ואף פריט פגום לא יגיע לשלב ההרכבה.
העלות הכוללת תהיה:

$$\text{שקל } 1000 \times 1.5 + 1000 \times 0.075 \times 5 = 1875$$

העלות הממוצעת למנה "גרועה":

$$\text{שקל } 0.4311 \times 6037.5 + 0.5689 \times 1875 = 3669.4$$

העלות הממוצעת למנה (כלשהיא):

$$\text{שקל } 0.90 \times 855.9 + 0.10 \times 3669.4 = 1137$$

ד. תשובה סופית

עדיף לבחור בתוכנית הדגימה המוצעת.

הערה: לא נהוג להשתמש בתוכנית דגימה בה ההסתברות לאשר מנה גרועה היא כה גבוהה (43.1%), ויש להתייחס אל הנתונים כדוגמה בלבד.

ניתוח כושר תהליך

הגדרה: כלל הפעילויות שמטרתן להעריך את אחידות התהליך באמצעות ניתוח השונות שלו (PROCESS VARIATION).

מטרת הניתוח:

- להעריך אם התהליך בכושר, כלומר: יכול לייצר פריטים שיעמדו במפרטים.
- לסייע לאנשים העוסקים בניתוח מוצרים, בתכנון תהליכי ייצור או ברכש.
- לעזור בצמצום השונות בתהליך הייצור.
- לסייע בקביעת תדירות הדגימה לצורך בקרת התהליך.

הערות:

1. בדרך כלל ניתוח כושר תהליך מתבצע על ידי מדידת פרמטרים פונקציונליים של המוצר, ולא דווקא של התהליך.
2. ניתוח שונות התהליך עוסק בשני רכיבי שונות:
 - "השונות הטבעית" ("הרגעית") של התהליך.
 - שונות התהליך לאורך זמן.כאשר התהליך נמצא בבקרה מלאה - שני הרכיבים יהיו זהים.
3. לניתוח כושר תהליך אין משמעות אם התהליך אינו בבקרה.

שלוש הטכניקות העיקריות בניתוח כושר תהליך:

- מדדי כושר תהליך, היסטוגרמות וניירות הסתברות.
- תרשימי בקרה.
- תכנון ניסויים.

מדדי כושר תהליך (CAPABILITY INDEXES)

הגדרה:

מדד כושר תהליך מודד את כושרו של תהליך (כפי שנקבע על ידי השונויות האקראיות שלו) לספק מוצרים, אשר יעמדו במפרט הטכני.
למעשה, מדד כושר תהליך מבטא יחס בין תחום ההשתנות המותר של הפרמטר לבין תחום ההשתנות בפועל. מכאן, שכאשר הממד נמוך מ-1 משמעות הדבר שהתהליך ייצר מוצרים פגומים (NONCONFORMING). להלן נציג 3 מדדים מקובלים, יתרונותיהם וחסרונותיהם.

1. מדד הכושר C_p

$$C_p = \frac{\text{טווח המפרט}}{\text{כושר תהליך}} = \frac{USL - LSL}{6\sigma} \quad (\text{מפרט דו צדדי})$$

$$C_p = \frac{USL - T}{3\sigma} \quad (\text{גבול מפרט עליון בלבד})$$

$$C_p = \frac{T - LSL}{3\sigma} \quad (\text{גבול מפרט תחתון לבד})$$

USL - גבול מפרט עליון (UPPER SPECIFICATION LIMIT)
LSL - גבול מפרט תחתון (LOWER - " -)
T - הערך הנומינלי של הפרמטר (ערך המטרה של התהליך).
 σ - סטיית התקן של התהליך (בבקרה).

חישוב אומדן של σ : השתמש ב-10 מדגמים בני 5 תצפיות כל אחד, או ב-50 תצפיות עוקבות. במקרה הראשון אמוד את סטיית התקן באמצעות $\bar{R}/d_2$, ובמקרה השני באמצעות סטיית התקן המדגמית S. כאשר התהליך נמצא בבקרה **מלאה** - שני האומדנים יהיו זהים.

חסרון הממד: אינו מבחין בתהליך לא מכוון כהלכה (תהליך אשר הממוצע שלו סוטה מהערך הנומינלי).

הערה: אומדן σ באמצעות $\bar{R}/d_2$ יאמוד את רכיב השונויות ה"רגעיים" של התהליך, ואילו אומדנו באמצעות S הינו אומדן שונויות התהליך לאורך זמן. מטבע הדברים שהיצרן (הספק) ירצה להשתמש בממד הראשון בחישוב C_p ואילו הצרכן (הרוכש) יהיה מעוניין שבחישוב C_p ישתמשו ב-S, המשקף את ההתפלגות האמיתית אותה "רואה" הצרכן (שונויות התהליך לאורך זמן).

איכות כוללת בקרת איכות ותכנון לאיכות. ד"ר חיים שור

© - כל הזכויות שמורות

2. מדד הכושר C_{pk}

מקור: SULLIVAN (1984, 1985), KANE (1986A, 1986B)

$$C_{pk} = \text{minimum} \left[\begin{array}{l} \frac{USL - T - (\mu - T)}{3\sigma} = \frac{USL - \mu}{3\sigma} \\ \frac{T - LSL - (T - \mu)}{3\sigma} = \frac{\mu - LSL}{3\sigma} \end{array} \right]$$

כאשר μ - הממוצע בפועל של התהליך. כאשר אינו ידוע, אמוד אותו באמצעות $\bar{X}$.
ממוצע המדגם $\bar{X}$.

יתרון המדד:

מדד זה "קונס" את היצרן (נותן מדד כושר יותר נמוך) על סטיית ממוצע התהליך (μ) מערך המטרה (הערך הנומינלי T). נשתמש במדד זה להערכת הכושר בפועל של התהליך, בעוד שהמדד הקודם ימדוד את הכושר הפוטנציאלי של התהליך (הכושר המקסימלי שהיה מתקבל לו התהליך היה מכוון כראוי).

חסרונות המדד:

1. במדד זה ניתן להשתמש רק כאשר קיימים שני גבולות למפרט (גבול עליון וגבול תחתון).
2. המדד מניח כי התפלגות הנתונים ששמשו לחישוב C_{pk} היא נורמלית. אם ההתפלגות בפועל אינה סימטרית - הדבר אינו ניכר במדד.
3. המדד אינו מבחין בין העדר כושר עקב סטייה מערך המטרה (שקל לתקנה), לבין העדר כושר הנובע משונות אקראית גבוהה הקיימת בתהליך (שקשה להפחיתה).
4. בדרך כלל קשה לדעת מהי ההתפלגות האמיתית של האומדן של C_{pk} (KANE, 1986A), לכן קשה להגיע לאומדנים של טעות הדגימה הכרוכה בו. עם זאת ידוע כי שונות הדגימה שלו גבוהה מאוד. פירוש הדבר שהערך המדגמי של C_{pk} עלול לתת סטייה גדולה מאוד מהערך האמיתי בלא שנדע על כך.

הערה: סדרת מאמרים מצויינת על "השמוש והשימוש לרעה במדד C_{pk} " ניתן למצוא בירחון: QUALITY PROGRESS (1989) מחודשים ינואר, מרץ, מאי, יולי. (ראה: THE STATISTICS CORNER, BERT GUNTER)

3. מדד הכושר C_{pm}

מקור: CHAN, CHENG AND SPRING, 1988

$$C_{pm} = \frac{\min[USL - T, T - LSL]}{3\sqrt{\sigma^2 + (\mu - T)^2}}$$

כאשר ממוצע התהליך (μ) וסטיית התקן (σ) אינם ידועים, אמוד את C_{pm} באמצעות:

$$\hat{C}_{pm} = \frac{\min[USL - T, T - LSL]}{3\sqrt{s^2 + \frac{n}{n-1}(\bar{X} - T)^2}}$$

כאשר T הוא נקודת האמצע של גבולות המפרט, נקבל (בהתאמה):

$$C_{pm} = \frac{USL - LSL}{6\sqrt{\sigma^2 + (\mu - T)^2}}$$

$$\hat{C}_{pm} = \frac{USL - LSL}{6\sqrt{s^2 + \frac{n}{n-1}(\bar{X} - T)^2}}$$

יתרונות:

- א. מתקן את חסרון (3) במדד הקודם.
- ב. ישנו בטוי מתמטי מפורש לפונקצית ההסתברות של האומדן של C_{pm} , כך שאפשר בנקל לחקור את טעויות הדגימה הנובעות מהאומדן. (תקון חסרון 4 במדד הקודם).

ביבליוגרפיה למדדי כושר תהליך:

1. CHAN, L.K., S.W. CHENG, F.A. SPRING. A NEW MEASURE OF PROCESS CAPABILITY : C_{pm} . JOURNAL OF QUALITY TECHNOLOGY. 20,3,1988.
2. KANE, V.E., PROCESS CAPABILITY INDICES. JOURNAL OF QUALITY TECHNOLOGY. 18,1,1986 (A)
3. -, CORRIGENDA. 18,3, 1986 (B)
4. SPRING F.A. , APPLICATION OF C_{pm} TO THE TOOLWEAR PROBLEM. IN THE PROCEEDINGS OF THE 43rd ANNUAL QUALITY CONGRESS, (ASQC). MAY, 1989.
5. -, THE C_{pm} INDEX. QUALITY PROGRESS. 24,2,1991.
6. SULLIVAN L.P. TARGETING VARIABILITY - A NEW APPROACH TO QUALITY. QUALITY PROGRESS. 17, 7,1984
7. -, LETTERS. QUALITY PROGRESS. 18,7,1985

הערה: כאשר התפלגות הנתונים המתקבלים מהתהליך אינה סימטרית (היסטוגרם בלתי סימטרי) מדדי הכושר לעיל חסרי משמעות. שיטה לחישוב מדדי כושר תהליך לתהליך לא נורמלי, תוך שמוש בהתאמת התפלגות פירסון לנתונים, נתון ב:

JOHN H. CLEMENTS , PROCESS CAPABILITY CALCULATIONS FOR NON-NORMAL DISTRIBUTIONS. QUALITY PROGRESS. 22, 9,1989.

השימוש בניירות הסתברות להערכת כושר תהליך

הגדרה:

תרשים הסתברות הוא גרף של השכיחות המצטברת של מדגם של תצפיות (הציר האנכי) כנגד הערך של התצפיות (הציר האופקי).

השכיחות המצטברת מחושבת באופן הבא:

מסדרים את n תצפיות המדגם בסדר עולה.

התצפית ה- i (התצפית אשר קיימות $i - 1$ תצפיות קטנות ממנה) היא בעלת השכיחות המצטברת הבאה:

$$P_i = \frac{i - 3/8}{n + 1/4}$$

למשל:

אם התצפית השלישית בגודלה במדגם של 20 תצפיות היא בעלת ערך 170, נצייר את הנקודה בנייר הסתברות כך שעל הציר האופקי תסומן התצפית בערך 170 ועל הציר האנכי בערך 0.1296.

הערות:

1. קיימים ניירות הסתברות מיוחדים להתפלגויות שונות (כגון ההתפלגות הנורמלית, אקספוננציאלית ווייבל).
2. כאשר המדגם ניטל מהתפלגות נורמלית וערכיו מצויירים בנייר הסתברות נורמלית - נקבל פיזור נקודות סביב קו ישר (ובאופן דומה לגבי התפלגויות אחרות).
3. הערך P_i הינו אומדן לערך הצפוי (Expected Value) של פונקציה ההתפלגות הנורמלית סטנדרטית כאשר נציב בה את התצפית ה- i .

שימושים בנייר הסתברות נורמלי לניתוח כושר תהליך

1. ניתן לאמוד הממוצע וסטיית התקן מהגרף. הממוצע יהיה הערך על הציר האופקי המתאים לערך של 0.5 על הציר האנכי. סטיית התקן הינה השיפוע של הקו הישר או ההפרש על הציר האופקי בין שתי הנקודות, המתאימות לערכים 0.84 ו - 0.50 (על הציר האנכי).

2. ניתן להעריך את אחוז הפריטים שאינם עומדים במפרט הטכני. מצא הנקודות על הציר האנכי המתאימות לגבולות המפרט שסומנו על הציר האופקי. חשב אחוז הפגומים.

3. ניתן להעריך אם הנחת הנורמליות, המשמשת כבסיס מדדי כושר שונים - מתקיימת, או שההתפלגות אינה סימטרית (למשל: הנקודות בקצה התחתון של הגרף סוטות מהקו הישר).

4. ניתן לאתר תצפיות חריגות (תצפיות הסוטות מאוד מהקו).

הערות:

1. אם נקודות הגרף אינן "מסתדרות" בקרוב על קו ישר - התהליך אינו בעל התפלגות נורמלית, ולא ניתן ליישם שימושים (1), (2) ו- (4) לעיל.

2. קיימים גרפים נוספים לאיתור ההתפלגות הסטטיסטית כגון גרף Q-Q (Quantile-Quantile) או גרף P-P. פרטים ודוגמאות ניתן למצוא בפרסומים:

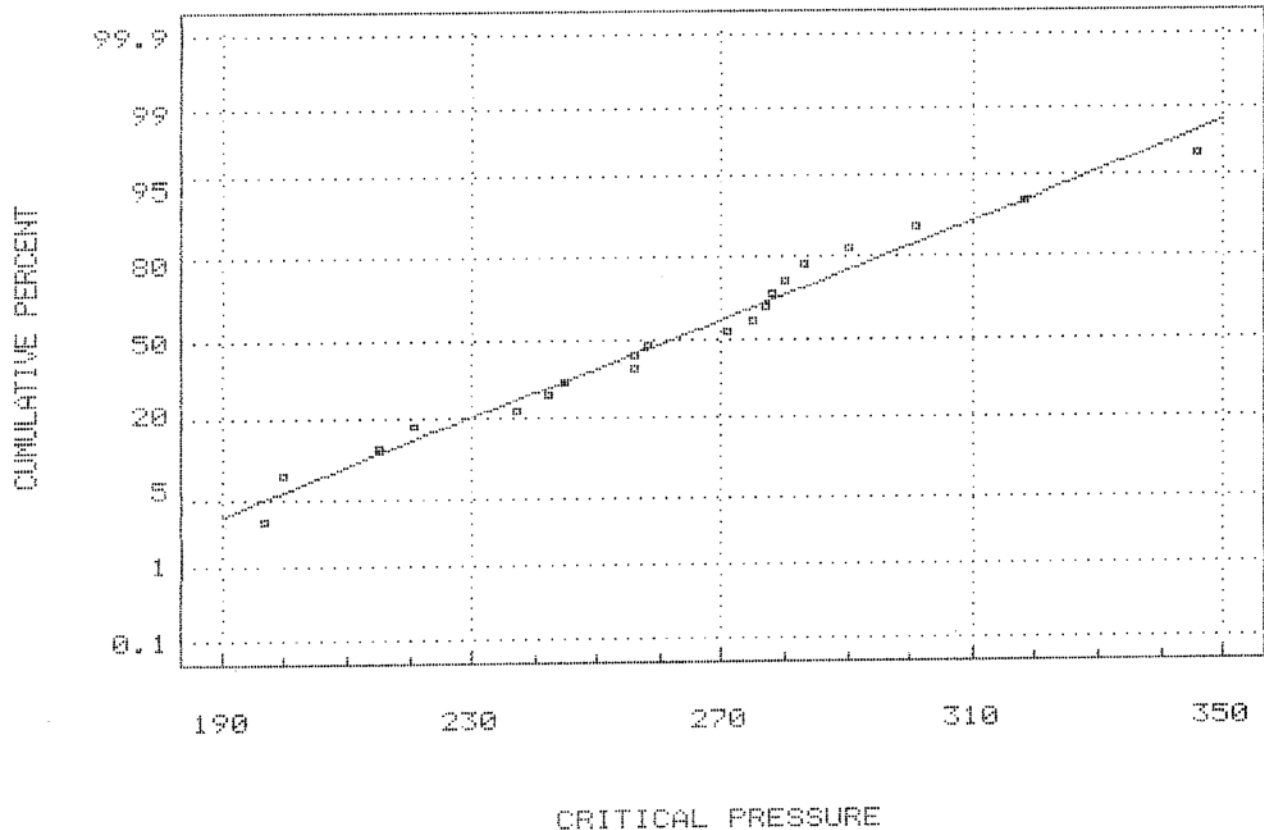
1. Gan F.F. & K.J. Koehler (1990). Goodness-of-Fit tests based on P-P Probability Plots. Technometrics. 32,3, 289-303.
2. Gan F.F, K.J. Koehler & J.C. Thompson (1991). Probability plots and distribution curves for assessing the fit of probability models. The American Statistician. 45, 14-21.

דוגמה: להלן נתוני בדיקה של חוזק הסגירה של בקבוקי משקה תוסס (הלחץ הדרוש לפריצת הפקק, ביחידות של PSI):

j	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
X _j	197	200	215	221	237	242	245	258	256	256
P _j	0.0309	0.0802	0.130	0.179	0.228	0.278	0.426	0.376	0.426	0.475

j	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
X _j	271	275	277	278	280	283	290	301	318	346
P _j	0.525	0.574	0.623	0.673	0.722	0.772	0.821	0.870	0.920	0.969

ציור (ממוחשב) בנייר הסתברות נורמלי:



איכות כוללת בקרת איכות ותכנון לאיכות. ד"ר חיים שור
© - כל הזכויות שמורות

השימוש בתרשימי בקרה להערכת כושר תהליך

■ מתרשים בקרה לממוצע ($\bar{X}$)

- קבל אומדן לממוצע התהליך מהקו האמצעי שבתרשים.
- קבל אומדן לסטיית התקן של הממוצע על ידי חלוקת ההפרש בין הגבול העליון והגבול התחתון שבתרשים ב - 6.
- כפול את התוצאה ב- $\sqrt{n}$ כדי לקבל סטיית התקן של התהליך.
- חשב אחד ממדדי כושר תהליך שהוצגו לעיל.

הערה: n - גודל המדגם לפיו בוצעה בקרת התהליך.

■ מתרשים בקרה לטווח (R)

- קבל אומדן לסטיית התקן על ידי חלוקת ערך הקו האמצעי (R) ב-d2 .
- מידיעת ממוצע התהליך (או הערך הנומינלי שלו), חשב אחד ממדדי כושר התהליך.

הערה:

השימוש תקף רק אם התהליך היה בבקרה בעת שנבנו גבולות הבקרה והקו האמצעי.

מדדי הדירות (Repeatability) ושיחזור (Reproducibility)

מדדי ההדירות והשיחזור מודדים שני מקורות חשובים להשתנות הקיימת במערכת מדידה :

■ השונות הנובעת ממכשיר המדידה עצמו (Instrument Variation):

שונות זאת נמדדת ע"י בצוע פעולות מדידה חוזרות ונשנות, עם אותו מכשיר ועל אותם חלקים. כל מדידה כזאת נקראת "ניסוי" (trial), ותחום ההשתנות של המדידה (הנובע ממכשיר המדידה עצמו), ברמת בטחון של 99% ($z=2.575$), נקרא: Repeatability. מדד ההדירות מודד איפוא את יכולת המכשיר לקבל אותן מדידות בניסויים חוזרים, תוך שימוש באותם חלקים ועם אותם מעריכים (Appraisers).

■ השונות הנובעת מהמודדים (Appraisers Variation):

שונות זאת מודדת את ההבדלים הקיימים בין מעריכים, המודדים את אותם חלקים באמצעות אותו מכשיר מדידה. תחום ההשתנות של המדידה, הנובע מהבדלים בין מעריכים, ברמת בטחון של 99% ($z=2.575$), נקרא: Reproducibility. מדד זה מודד איפוא את היכולת של מודדים שונים לקבל אותן מדידות בניסויים חוזרים, תוך שימוש באותם חלקים ועם אותו מכשיר.

ביטוי מדדי ההדירות והשיחזור כאחוזים מהטולרנס המותר נקרא: **ניתוח טולרנס**.

ניתוח מדדי הדירות ושחזור – דוגמה

גליון נתונים למדדי R & R

מערך ניסוי	יוסי			רות			אבנר		
	1	2	טווח	1	2	טווח	1	2	טווח
חלק									
1	1.98	1.44	.54	1.81	2.01	.20	2.14	1.34	.80
2	3.28	3.62	.34	3.15	2.95	.20	2.51	3.05	.54
3	2.11	2.04	.07	2.68	2.11	.57	2.68	2.20	.48
4	4.02	4.01	.01	2.98	3.25	.27	3.85	3.82	.03
5	2.38	2.71	.33	2.21	1.85	.36	2.71	2.02	.69
סה"כ	13.77	13.82	1.29	12.83	12.17	1.60	13.89	12.43	2.54
	13.82	➡	0.258	12.17	➡	0.320	12.43	➡	0.508
סכום:	27.59	$\bar{R}$ (יוסי)		25.00	$\bar{R}$ (רות)		26.32	$\bar{R}$ (אבנר)	
ממוצע:	2.759			2.500			2.632		

מספר ניסויים	D ₄
2	3.267
3	2.575
4	2.282

$$R_{\bar{x}} = \bar{X}_{\max} - \bar{X}_{\min} = 2.759 - 2.500 = 0.259 \quad \text{טווח הממוצעים :}$$

$$(0.508 + 0.320 + 0.258)/3 = 0.362 \quad \text{ממוצע הטווח ($\bar{R}$) :}$$

$$\bar{R} \times D_4 = 0.362 \times 3.267 = 1.183 \quad \text{גבול בקרה עליון לטווח (UCL_R) :}$$

הערה: אם אחד הטווחים גדול מגבול הבקרה העליון - זהה הסיבה לחריגה ותקן. חזור על הקריאות עם אותו מפעיל ועם אותו חלק.

דווח על מדדי R&R – המשך דוגמה

שם החלק: 631 RX שם המדיד: מיקרומטר מס' המדיד: FA 940
 התכונה הנמדדת: D2 תאריך: 31/12/91
 טולרנס: 2 בוצע ע"י: יצחק בן אברהם

מתוך גליון הנתונים: $\bar{R} = 0.362$ טווח הממוצעים $(\bar{R})$: 0.259

(I) תחום ההשתנות של המדיד: 1.651 $R_1 = \bar{R} \times K_1 = 0.362 \times 4.56 =$ (הדירות)

ב- % מהטולרנס: $1.651 / 2 = 82.5 \%$

$Z = 2.575$

4	3	2	n - (מס' הניסויים)
2.50	3.04	4.56	$K_1 (2Z / d_2^*)$

סטיית התקן של המדיד: $\bar{R} \times (1 / d_2^*) = .362 \times .8865 = .3209$

(II) תחום ההשתנות של המעריך:

$$R_2 = \sqrt{(R_{\bar{x}} \times K_2)^2 - R_1^2} / [(\text{מס' ניסויים}) (\text{מס' חלקים})] =$$

$$\sqrt{(0.259 \times 2.70)^2 - 1.651^2 / (5 \times 2)} = 0.465$$

ב- % מהטולרנס: 23.24%

4	3	2	מפעיל
2.30	2.70	3.65	$K_2 (2Z / d_2^*)$

(III) בושר תהליך (R&R ברמת בטחון של 99 %):

$$R\&R = \sqrt{R_1^2 + R_2^2} = \sqrt{1.651^2 + 0.465^2} = 1.715$$

ב- % מהטולרנס: 85.8%

מקדמים לאומדן סטיית התקן על פי הטווח הממוצע של K מדגמים, כל אחד בן n תצפיות

(חישוב K1 ו-K2 בניתוחי R&R)

בחישוב גבולות הבקרה לתרשים בקרה לממוצע, אנו משתמשים בנוסחה: $\sigma = R / d_2$, כדי לאמוד את סטיית התקן על סמך הטווח הממוצע של k מדגמים. בדרך כלל אנו לוקחים 25 : 20, ועל כן ניתן להשתמש במקדמים d_2 הנתונים בטבלה 2 בנספח ב'. כאשר $k \leq 10$ יש להתחשב גם במספר המדגמים המשמשים לחישוב הטווח הממוצע, ולהשתמש במקדמים המתוקנים המובאים בטבלה שלהלן.

מקדמים אלה חשובים לצורך קביעת K_1 ו- K_2 בחישוב מדדי הדירות ושחזור:

א. בחישוב מדד ההדירות, מצא d_2^* בטבלה על פי:

(מספר מעריכים) x (מספר חלקים) = מספר המדגמים = k

מספר הניסויים (מספר המדידות של כל חלק על ידי כל מעריך) = n

בדוגמה שלעיל: k = 15, n = 2.

ב. בחישוב מדד השחזור מצא d_2^* בטבלה על פי:

k = 1, מספר המעריכים = n.

בדוגמה שלעיל: n = 3.

מקדמים $1/d_2^*$ להפיכת הטווח הממוצע לאומדן של סטיית התקן.

n	k = 1	2	3	4	5	8	10	∞
2	0.709	0.781	0.813	0.826	0.840	0.855	0.862	0.885
3	0.524	0.552	0.565	0.571	0.575	0.581	0.581	0.592
4	0.446	0.465	0.472	0.474	0.476	0.481	0.481	0.485
5	0.403	0.417	0.420	0.422	0.424	0.426	0.427	0.429
6	0.375	0.385	0.388	0.389	0.391	0.392	0.392	0.395
7	0.353	0.361	0.364	0.365	0.366	0.368	0.368	0.370
8	0.338	0.344	0.346	0.347	0.348	0.348	0.350	0.351
9	0.325	0.331	0.332	0.333	0.334	0.334	0.336	0.337
10	0.314	0.319	0.322	0.323	0.323	0.324	0.324	0.325

k - מספר המדגמים

n - גודל המדגם

מקור: Duncan A.J. (1986). Quality Control and Industrial Statistics.

5th Edition. Table D3. p. 910. Irwin Pubs. USA.

איכות כוללת בקרת איכות ותכנון לאיכות. ד"ר חיים שור

© - כל הזכויות שמורות

טופס לחישוב מדדי הדירות ושחזור

שם החלק: _____ שם המדיד: _____
 התכונה הנמדדת: _____ תאריך: _____
 טולרנס: _____ בוצע על ידי: _____

מתוך גליון הנתונים: $\bar{R} =$ טווח הממוצעים $(\bar{R})$:

(I) תחום ההשתנות של המדיד: $R_1 = \bar{R} \times K_1 =$ (הדירות)

ב- % מהטולרנס:

$Z = 2.575$

4	3	2	n - (מס' הניסויים)
			$K_1 (2Z / d_2^*)$

סטיית התקן של המדיד: $\bar{R} \times (1 / d_2^*) =$

(II) תחום ההשתנות של המעריך:

$$R_2 = \sqrt{(\bar{R} \times K_2)^2 - R_1^2} / [(\text{מס' ניסויים}) (\text{מס' חלקים})] =$$

=

ב- % מהטולרנס:

4	3	2	מפעיל
			$K_2 (2Z / d_2^*)$

(III) כושר תהליך (R&R ברמת בטחון של 99%):

$$R\&R = \sqrt{R_1^2 + R_2^2} =$$

=

ב- % מהטולרנס:

פרק חמישי

תכנון לאיכות

(פריסת פונקצית האיכות-QFD,
גישת טגוצ'י ותכנון ניסויים)

165	גישת טגוצ'י	148	מרכיבים בגישה הכוללת
168	גישת טגוצ'י (ניסוח מתמטי)	149	גיראן- תכנון לאיכות
170	תכנון פרמטרים (טגוצ'י)	150	פריסת פונקציית האיכות
171	תכנון אפיצויות (טגוצ'י)	151	שלבים ב-QFD
173	תכנון ניסויים	152	7 הכלים הניהוליים
174	שלבים בתכנון ניסויים	161	"בית האיכות"
		164	דיאגרמות מטריצה ב-QFD

מרכיבים בגישה הכוללת של תכנון לאיכות

- פריסת פונקצית איכות (QUALITY FUNCTION DEPLOYMENT).
- גישת טגוצ'י: "פונקציית האובדן" ו"תיכון קשיח" (ROBUST DESIGN).
- תכנון נסויים וניתוח שונות.
- אופטימיזציה הנדסית:
 - אופטימיזציה של גורמי בקרה במערכת ייצור (EVOP - EVOLUTIONARY OPERATIONS)
 - אופטימיזציה של פרמטרים של המוצר (PARAMETER DESIGN)
 - אופטימיזציה של טולרנסים (TOLERANCE DESIGN)
- תכנון המוצר ותהליכי הייצור במקביל (CON-CURRENT ENGINEERING).

תכנון לאיכות (על פי ג'וראן)

- **זהה** את הלקוחות
- **גלה** את צרכי הלקוחות (גלויים ושאינם גלויים)
- **"תרגם"** רצונות הלקוחות למושגים שלך ושל מוצריך
- **קבע** מדדים ויחידות מידה
- **בנה** "מערכת חישה" ודווח
- **פתח** את המוצר (תכנון ותיכון המוצר):
 - תכנון המערכת (המוצר)
 - תכנון פרמטרים
 - תכנון אפיצויות
- **תכנן** את תהליכי היצור
- **תכנן** את שיטות ותהליכי הבקרה

פריסת פונקציות איכות (QFD)

הגדרה:

QFD היא גישה מובנית לזהות ולדרג את צרכי הלקוח, לתרגם צרכים אלו לספציפיקציות של המוצר/השרות, ולעקוב אחר אופן מימושם לאורך תהליך התכנון, הייצור, השווק והשרות.

יתרונות של גישת QFD

- ממקדת את תשומת הלב בנקודת הראות של הצרכן. חברי צוות QFD מתמקדים בתהליך הפיתוח והייצור, בבעיות הלקוח, צרכיו וציפיותיו. עקב כך QFD מאפשרת התקרבות רבה יותר ליעדים של "שביעות רצון מוחלטת של הצרכן".
- הפחתת זמן המחזור בין העלאת רעיון המוצר ובין מועד התחלת השווק (CONCEPT TO MARKET CYCLE TIME).
- הקטנת מספר השנויים הנדרשים בתהליך תיכון המוצר או תכנון תהליכי הייצור.
- משפרת את התקשורת בין היחידות השונות בארגון, כיוון שצרכי הלקוח (החיצוני) מקבלים עדיפות על פני צרכים פנימיים.
- מחייבת תהליך מסודר ואפקטיבי של איסוף וניתוח נתונים, תוך שימוש ב"שבעת הכלים הניהוליים". עקב כך מגבירה הסיכוי ל"החלטות נכונות בפעם הראשונה". אחרים יכולים לעקוב אחר תהליך החשיבה של הצוות לצורך פיתוח מוצרים בעתיד.

הפירמידה של גישת QFD



- "שבעת הכלים הניהוליים"
- השלבים בתהליך הפיתוח בגישת QFD
- "תקשורת היא הכרחית כדי למצוא מענה אופטימלי לדרישות הלקוח"
- "צרכי הלקוח חייבים להשתקף בכל פעילות בארגון"

ששה שלבים בגישת QFD (לתכנון המוצר)

1. זהה את דרישות הצרכן (או צרכי השוק).
2. בנה סולם עדיפויות של הצרכים תוך שקלול מתאים (העזר בסקר צרכנים).
3. זהה תכונות (מאפיינים) טכניים וטכנולוגיים של המוצר המתוכנן העשויים לענות על דרישות הצרכן.
4. תאם בין התכונות הטכניות ובין הצרכים שהוגדרו, והערך באיזו מידה כל תכונה ממלאה את הצרכים השונים. (ציון כל תכונה יהיה סכום משוקלל בהתאם לחשיבות שמייחסים הצרכנים לכל דרישה).
5. בנה סולם עדיפויות של המאפיינים הטכניים של המוצר המתוכנן. בשלב זה התחשב באילוצים כגון עלות הפיתוח, עלות הייצור וכיוצא באלו.
6. מבין מספר אלטרנטיבות נתונות בחר את האלטרנטיבה המביאה למינימום את הפער (המשוקלל) בין דרישות הצרכן ובין תכונות המוצר (תוך התחשבות באילוצים של שלב 5).

הערה:

הסתייע בכלים הניהוליים החדשים (דיאגרמת קירבה, דיאגרמת מטריצה וכיוצ"ב) בהתאם לצורך.

“שבעת הכלים הניהוליים”

להלן יוצגו “ארבעת הכלים הניהוליים” השימושיים ביותר.

1. דיאגרמת זיקה (KJ Method)

טכניקה זאת נועדה לסייע בהבהרה ובהבניית סדר לתוך מערכת של נתונים, מושגים או מצבים המתייחסים לתחום שלגביו חסר ידע או נסיון קודם. בניית הדיאגרמה מבוצעת בתהליך רב-שלבי.

תחילה מבוצע איסוף של עובדות, מחשבות, רעיונות, דעות ועמדות בתחום הנחקר, לעתים תוך “הסערת מוחות”. אלו נרשמים על גבי כרטיסים באמצעות משפטים קצרים ופשוטים, משפט לכרטיס.

בשלב הבא מקובצים כרטיסים בעלי פריטים דומים לקבוצות, 2 עד 3 כרטיסים לקבוצה. קריטריון ההקבצה הוא היות הכרטיסים נראים כשייכים לאותו ענין (כרטיסים בעלי קירבה), ויש להמנע מקריטריון פורמלי כלשהוא (ראה הערה להלן). על גבי כרטיס נוסף נרשמת כותרת מזהה לכל קבוצת כרטיסים וכל חבילה נקשרת בסרט הדבקה, כאשר כרטיס הכותרת הינו הכרטיס העליון בחבילה. לאחר ההקבצה הראשונית, מתייחסים לכל אחת מחבילות הכרטיסים כאילו היא כרטיס בודד (אשר תוכנו מיוצג על ידי כרטיס הכותרת), ותהליך ההקבצה חוזר על עצמו (הפעם ההקבצה של חבילות כרטיסים, ולא של כרטיסים בודדים). התהליך נמשך עד אשר מספר חבילות הכרטיסים (כולל כרטיסים בודדים שלא ניתן היה לשייכם) הוא בערך 10.

השלב האחרון הוא ציור “דיאגרמת זיקה”. מתחילים בהפרדת חבילות הכרטיסים, כאשר כל חבילה שהופרדה מיוצגת בדיאגרמה בתוך מסגרת משותפת, אשר בכותרתה מופיע הכרטיס המזהה של אותה חבילה. יחסי סיבה - תוצאה (או הנחה - מסקנה) מוצגים באמצעות חיצים.

אופן ציור הדיאגרמה הפוך לאופן הקבצת הכרטיסים: החבילות שהוקבצו אחרונות נרשמות בדיאגרמה תחילה, כך שהמסגרות החיצוניות (המייצגות רמת הקבצה גבוהה יותר) מצוירות תחילה, ורק אחר כך המסגרות הפנימיות יותר עד למסגרות המייצגות כרטיסים בודדים.

הערה:

מטרת השיטה להגיע ליצירתיות בניסוח מהות הבעיה, התהליך או טיב הפתרון המבוקש. לכן הקבצת הכרטיסים (או חבילות הכרטיסים) חייבת להתבסס על "הרגשה" שקיימת קירבה בין הפריטים המקובצים, ולא על מילות מפתח משותפות, שיטת מיון ידועה, ניתוח לוגי או כיוצא באלה.

דוגמה:

להלן "דיאגרמת זיקה", שצוירה כתוצאה מדיון בקבוצה שהתנהל בשאלה "כיצד יש לקדם את הפעלתם החלקה של חוגי איכות".

מקור:

SHIGERU MIZUNO (1988)
MANAGEMENT FOR QUALITY IMPROVEMENT: THE 7 NEW - QC TOOLS
BOOK. PRODUCTIVITY PRESS, INC.

2. דיאגרמת יחסים

"דיאגרמת יחסים" מטרתה להציג, באמצעות דיאגרמת חיצים, יחסי סיבה-תוצאה בין קבוצה של בעיות ובין הגורמים המשפיעים על בעיות אלו. באופן זה מתבהרת התמונה הכללית של היחסים הקיימים בין הגורמים השונים, והדבר מוביל ליצירת פתרונות נאותים לבעיות המוצגות. שימוש נוסף אפשרי של דיאגרמת יחסים הוא בהבהרת מערכת היחסים הקיימת בין מטרות ובין האמצעים למימושן של אותן מטרות. לבסוף, דיאגרמת היחסים מאפשרת לאתר גורמי-מפתח, שבבסיסן של הבעיות עבורן מנסים לזהות פתרונות אפשריים.

היתרונות העיקריים של דיאגרמת יחסים:

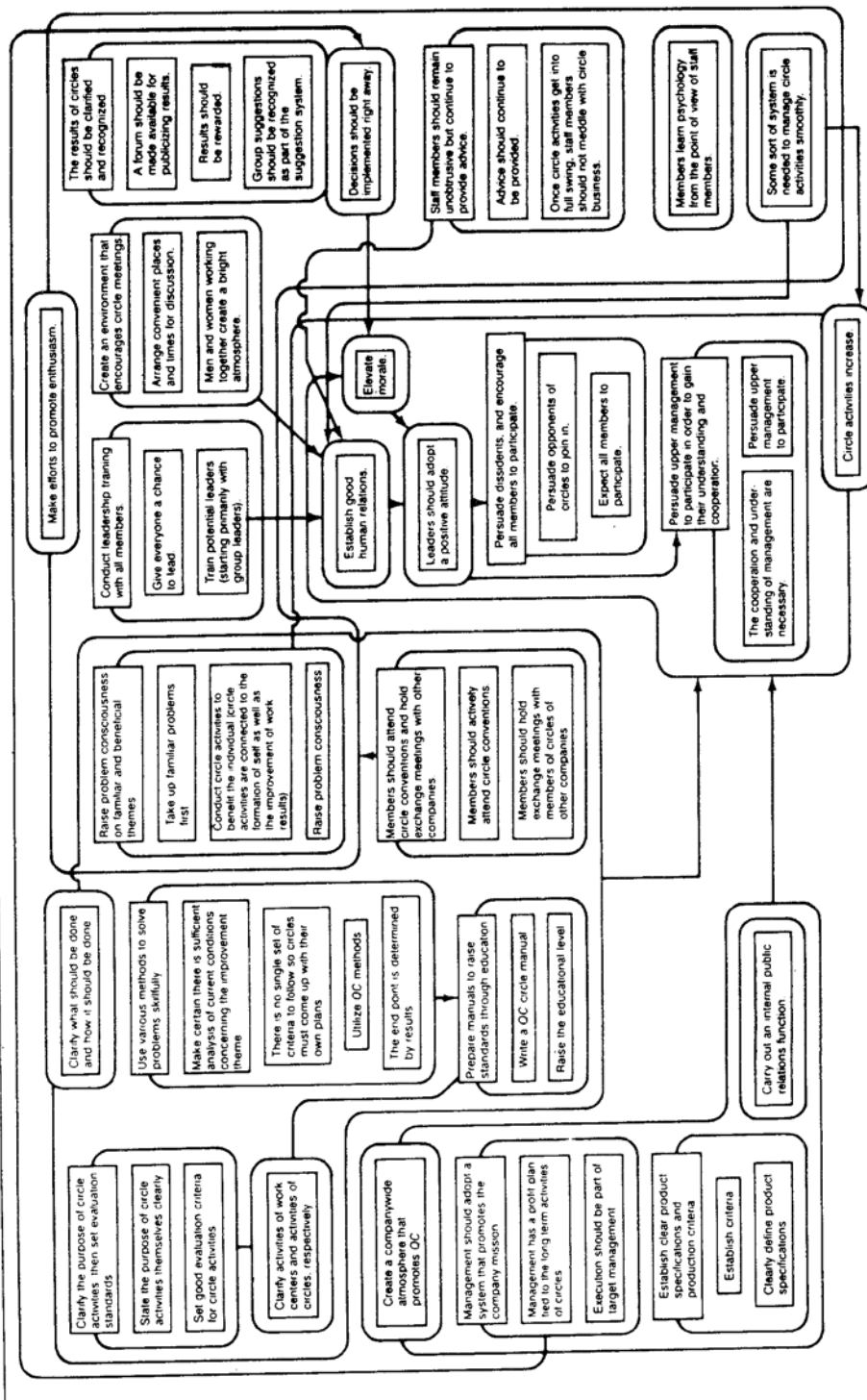
1. אמצעי יעיל לתאר בעיות בעלות מבנה מסובך של גורמים משפיעים.
2. מאפשרת תאור רחב וכולל של הבעיה הנחקרת.
3. מחייבת הגדרה מדויקת וחד משמעית של הגורמים המשפיעים.
4. מסייעת בבניית קונצנזוס בין חברי הקבוצה.
5. מאלצת הבחנה ברורה בין בעיות ובין סיבותיהן.
6. מסייעת באיתור גורמים כלליים (גורמי מפתח).

דוגמאות לתבניות שונות אפשריות של דיאגרמת יחסים, וכן דוגמה מעשית ל"דיאגרמת היחסים" שנוצרה במהלך דיון שמטרתו לבנות תכנית פעולה להחדרת גישת "JUST IN TIME" במפעל- מובאת להלן.

איכות כוללת בקרת איכות ותכנון לאיכות. ד"ר חיים שור

© - כל הזכויות שמורות

דוגמה לדיאגרמת זיקה

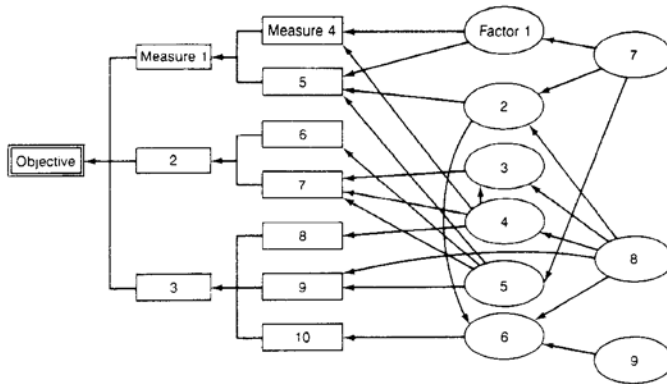


What should be done to operate QC circles smoothly (part 2)?

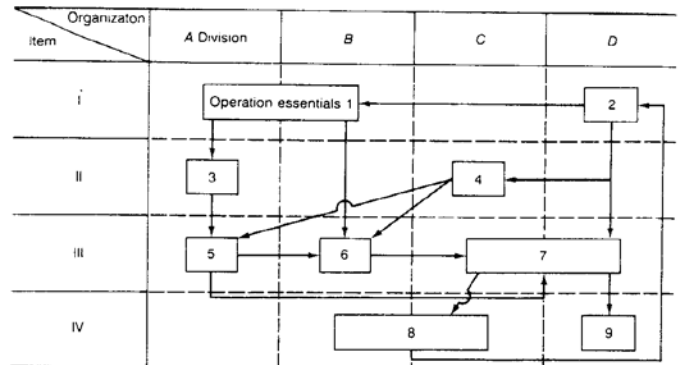
איכות כוללת בקרת איכות ותכנון לאיכות. ד"ר חיים שור

© - כל הזכויות שמורות

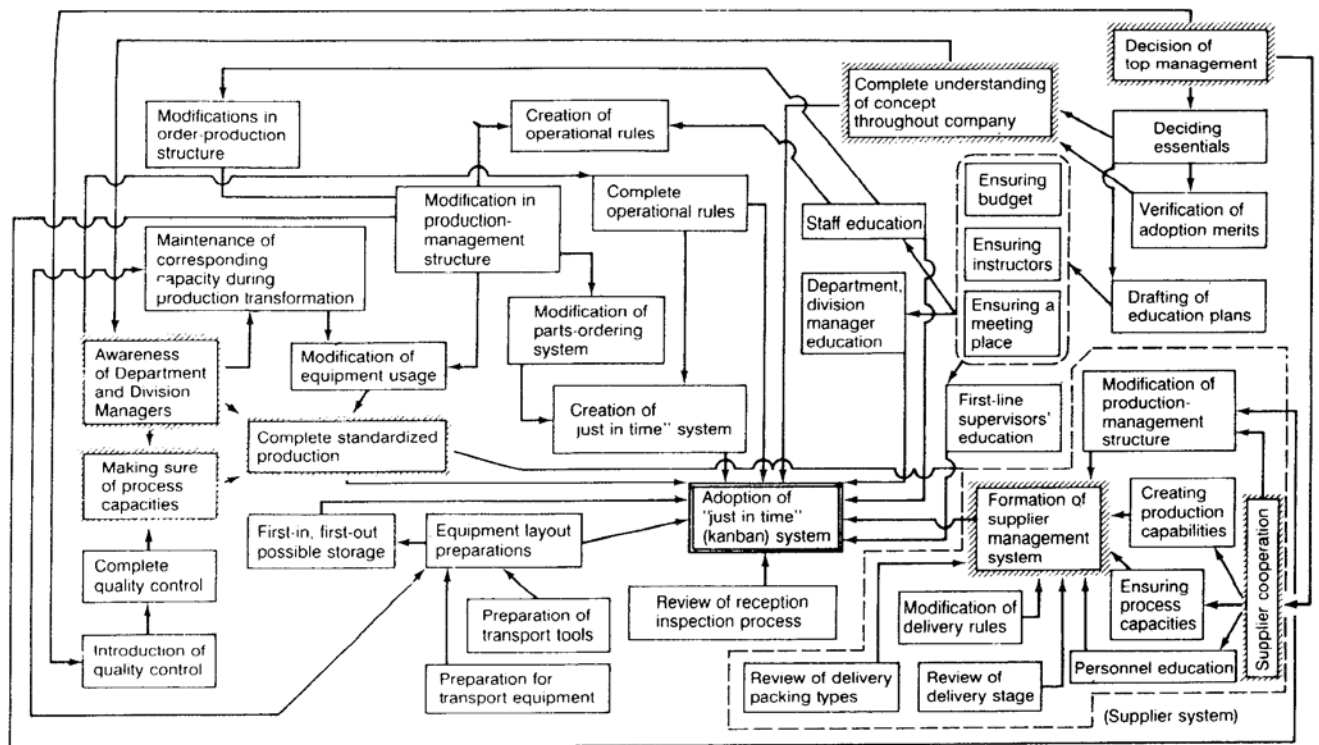
דוגמה לדיאגרמת יחסים



Applied relations diagram with systematic development



Applied relations diagram



A relations diagram used in the introduction of new production methods

Source: From Shin QC Nanatsu Dogu Katsuyo Jirei Happyokai Mondaishu (A Workbook on Case Studies on the Application of The Seven New QC Tools) (Tokyo: JUSE Press, Ltd., 1978).

איכות כוללת בקרת איכות ותכנון לאיכות. ד"ר חיים שור

© - כל הזכויות שמורות

3. דיאגרמת עץ (נקראת גם Systematic Diagram)

"דיאגרמת עץ" היא טכניקה לאתר את האמצעים הטובים ביותר להשגת מטרות מוגדרות על ידי הצגת המטרות והאמצעים בצורה הירארכית, כאשר כל אמצעי המוצג בשלב מסויים "בעץ" הופך להיות מטרה לשלב הבא. באופן זה מאפשרת "דיאגרמת עץ" לתפוס במבט אחד את יחסי הגומלין בין האמצעים והמטרות, להבדיל בין אמצעי למטרה ולדרג את המטרות לפי מיקומן ב"דיאגרמת העץ".

מבחינים בין שני סוגי דיאגרמות לפי שימושן :

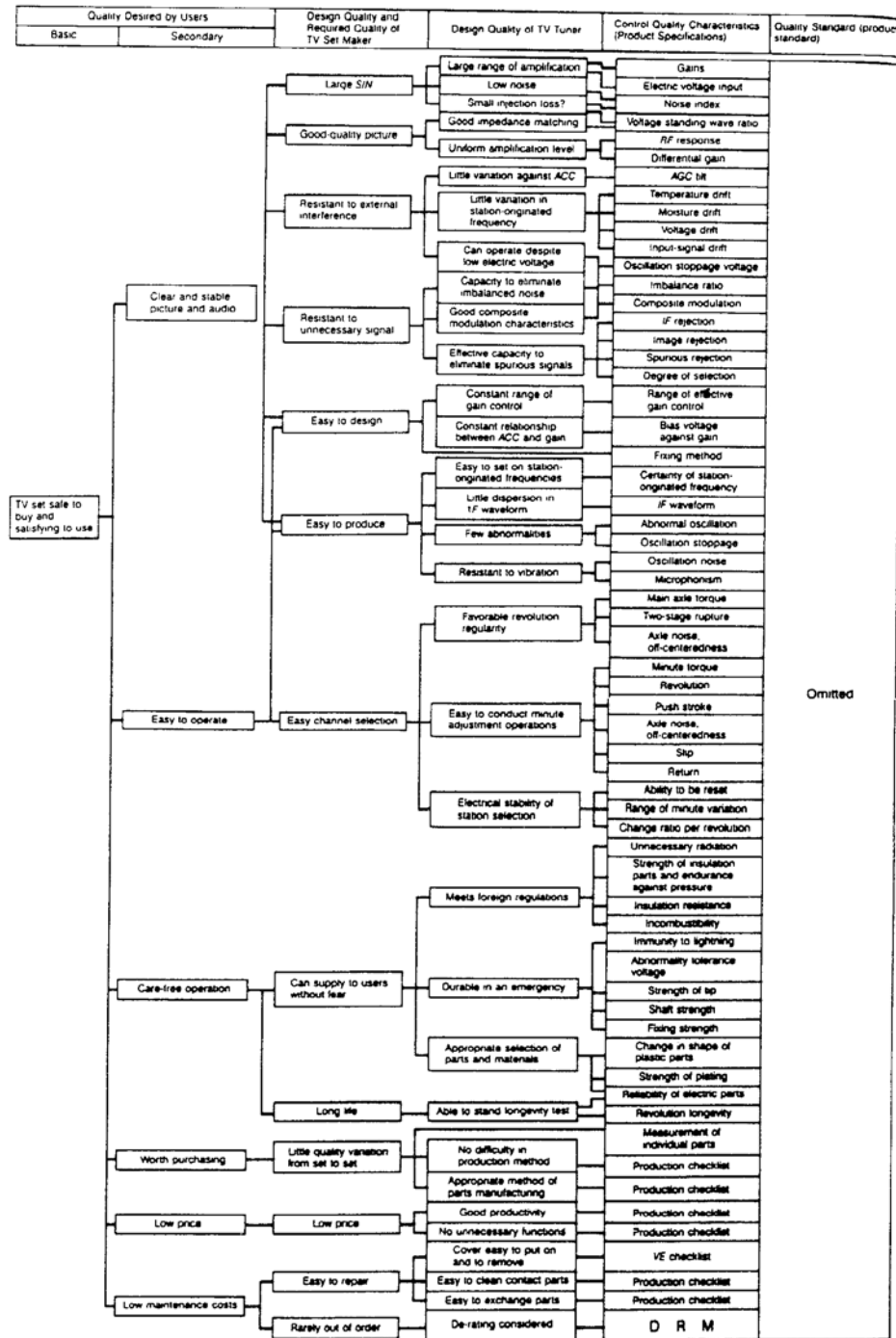
1. "דיאגרמת עץ" המפרקת את הנושא המרכזי לאלמנטים הבסיסיים שלו, ומתארת את יחסייהם למטרות ולאמצעים הנדרשים להשגת אותן מטרות.
(Component Development type).
 2. "דיאגרמת עץ" להכנת תכנית פעולה, המתארת את האמצעים והנוהלים הנדרשים ליישום תכנית נתונה. (Policy Development type).
- דוגמאות לשני סוגי "דיאגרמות עץ" נתונות להלן.

4. דיאגרמת מטריצה

"דיאגרמת מטריצה" מציגה את מערכת הקשרים בין שתי קבוצות של גורמים, על ידי הצגת קבוצה אחת של גורמים בעמודות המטריצה, קבוצה שניה של גורמים בשורות המטריצה, וציון עוצמת הקשר בין כל זוג גורמים בנקודות החיתוך שלהם במטריצה. בדרך זו מסייעת "דיאגרמת המטריצה" באפיון תבנית הקשר ועוצמת הקשר בין שתי קבוצות של גורמים, ומקלה בניסוח פתרונות לבעיות אשר מטבען הן דו מימדיות, כגון פיתוח מוצר חדש תוך השוואת דרישות הצרכן מול הספציפיקציות הטכניות של המוצר, או פיתוח מערכת אבטחת איכות, תוך השוואת תכונות האיכות הנדרשות עם פונקציות הבקרה של מחלקת אבטחת איכות. בדרך כלל עדיף בניתוח בעיה לשלב את דיאגרמת העץ עם דיאגרמת המטריצה, כמובא בצירור הסכמטי.

להלן מובאות שתי דוגמאות.

דוגמה לדיאגרמת עץ

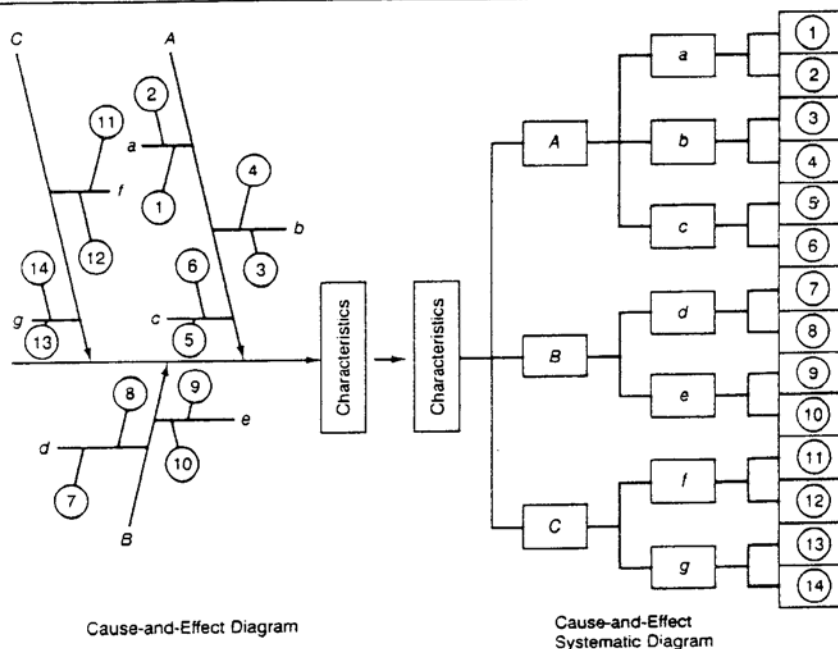
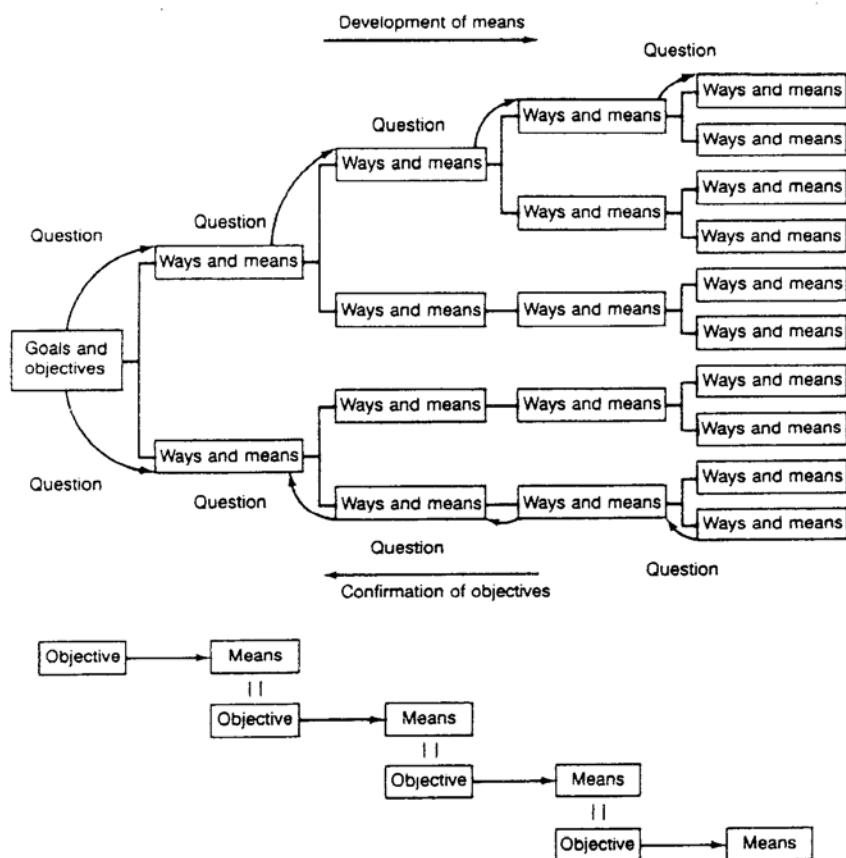


Systematic diagram for quality assurance of a television VHF tuner (a systematic diagram of the component-development type)

איכות כוללת בקרת איכות ותכנון לאיכות. ד"ר חיים שור

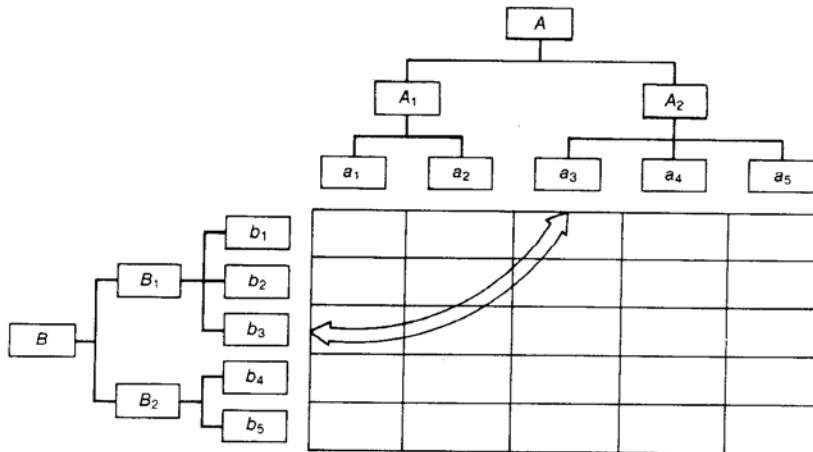
© - כל הזכויות שמורות

דוגמה לדיאגרמת עץ

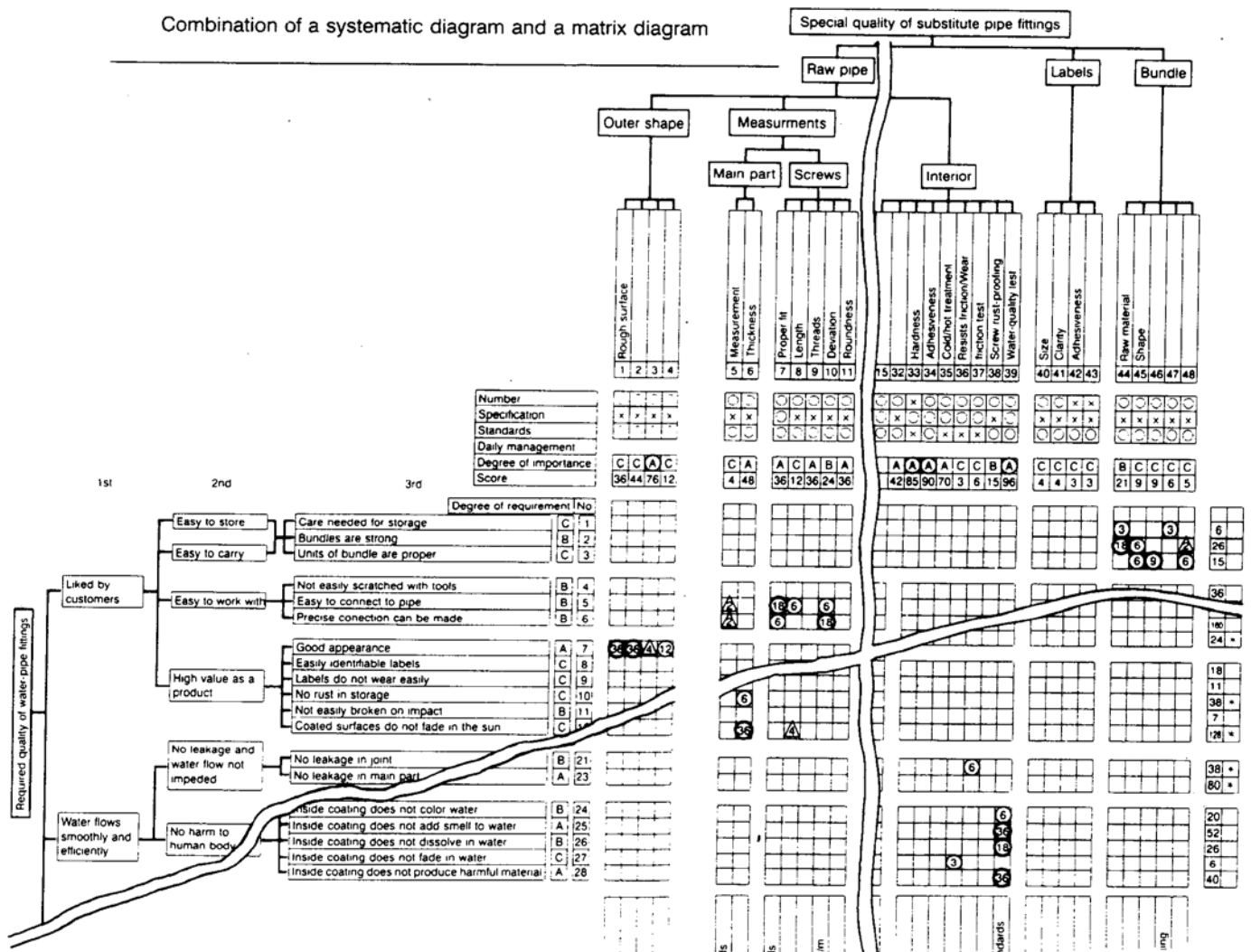


איכות כוללת בקרת איכות ותכנון לאיכות. ד"ר חיים שור
© - כל הזכויות שמורות

דוגמה לדיאגרמת מטריצה



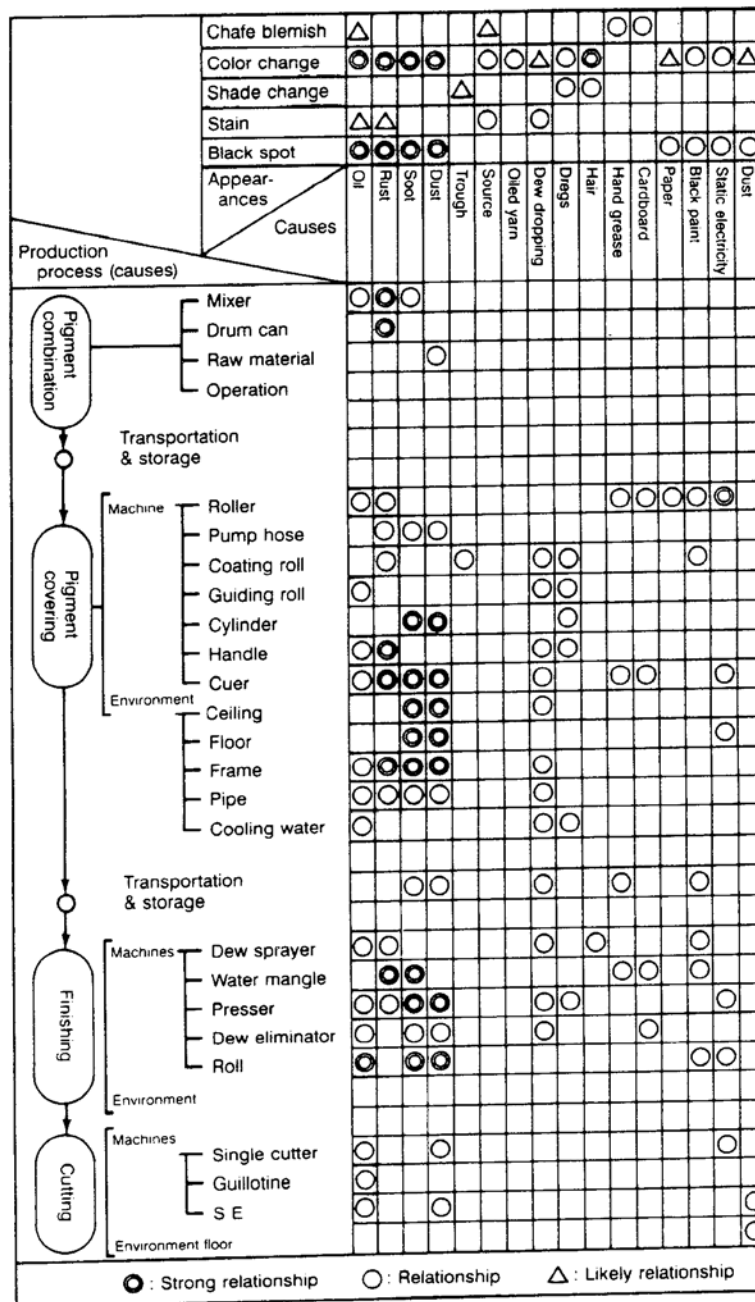
Combination of a systematic diagram and a matrix diagram



איכות כוללת בקרת איכות ותכנון לאיכות. ד"ר חיים שור

© - כל הזכויות שמורות

דוגמה לדיאגרמת מטריצה



T-type matrix searching for causes of smears in printing of cloth

איכות כוללת בקרת איכות ותכנון לאיכות. ד"ר חיים שור
© - כל הזכויות שמורות

"בית האיכות" (House of Quality)

"בית האיכות", כפי שנקראת מטריצת "תכנון המוצר", הינו אחד הכלים החשובים בתהליך "פריסת פונקציית האיכות".

בניית "מטריצת התכנון" כוללת חמישה שלבים :

שלב 1: פרוט דרישות הצרכן, ברמות פרוט שונות, תוך ציון חשיבותן היחסית (אגף שמאל במטריצה).

שלב 2: פרוט תכונות המוצר השונות, העשויות לענות על דרישות הצרכן (החלק העליון במטריצה). כל התכונות חייבות להיות ברורות מדידה.

שלב 3: זיהוי עוצמת הקשר בין כל אחת מדרישות הצרכן וכל אחת מתכונות המוצר. (הקורלציות ירשמו ע"י סימנים שונים בגוף המטריצה). כמו כן זיהוי עוצמת הקשר בין תכונות המוצר השונות (מיתאמים אלו רשומים ב"גג" של "בית האיכות").

קורלציה שלילית בין שתי תכונות נתונות של המוצר משמעותה כי שינוי ערכה של תכונה אחת במטרה להגדיל את שביעות הרצון של הצרכן, תגרום להקטנת הערך בתכונה אחרת, כך שתופחת שביעות רצון הצרכן. הדבר מחייב מציאת פשרה אופטימלית בין שתי התכונות, או "פריצת דרך" בתיכון, כך ש"יבוטל" המיתאם השלילי הנוכחי בין שתי התכונות.

שלב זה הוא החשוב מכולם, שכן הוא מאפשר לזהות "דרישות צרכן" שאינן נענות על ידי המוצר, או "התנגשות" בין שתי תכונות בהשגת "שביעות רצון" הצרכן.

שלב 4: "הערכת שוק" של הצרכן את מוצר החברה כנגד מוצרי חברות מתחרות, מפורטת על פי דרישות הצרכן השונות. הערכות אלו מובאות בעמודה הימנית של המטריצה.

שלב 5: הערכה טכנית השוואתית עם מתחרים, מבוצעת באופן פנימי על ידי החברה, במטרה להעריך את תכונות המוצר עם מוצרים מתחרים. תוצאות הערכה זאת מובאות ב"רצפת הבית", ומושוות עם "הערכת השוק", שבוצעה על ידי צרכנים, כדי לאתר פערים בין שתי ההערכות.

תאור מפורט של טכניקת "בית האיכות" ניתן למצוא ב:

D. Keith Denton (1990). Enhance Competitiveness and Customer Satisfaction

... Here's one approach. Industrial Engineering. May 1990. V.22, No. 5, 24-30.

להלן מובאות דוגמאות של "בית האיכות".

איכות כוללת בקרת איכות ותכנון לאיכות. ד"ר חיים שור

© - כל הזכויות שמורות

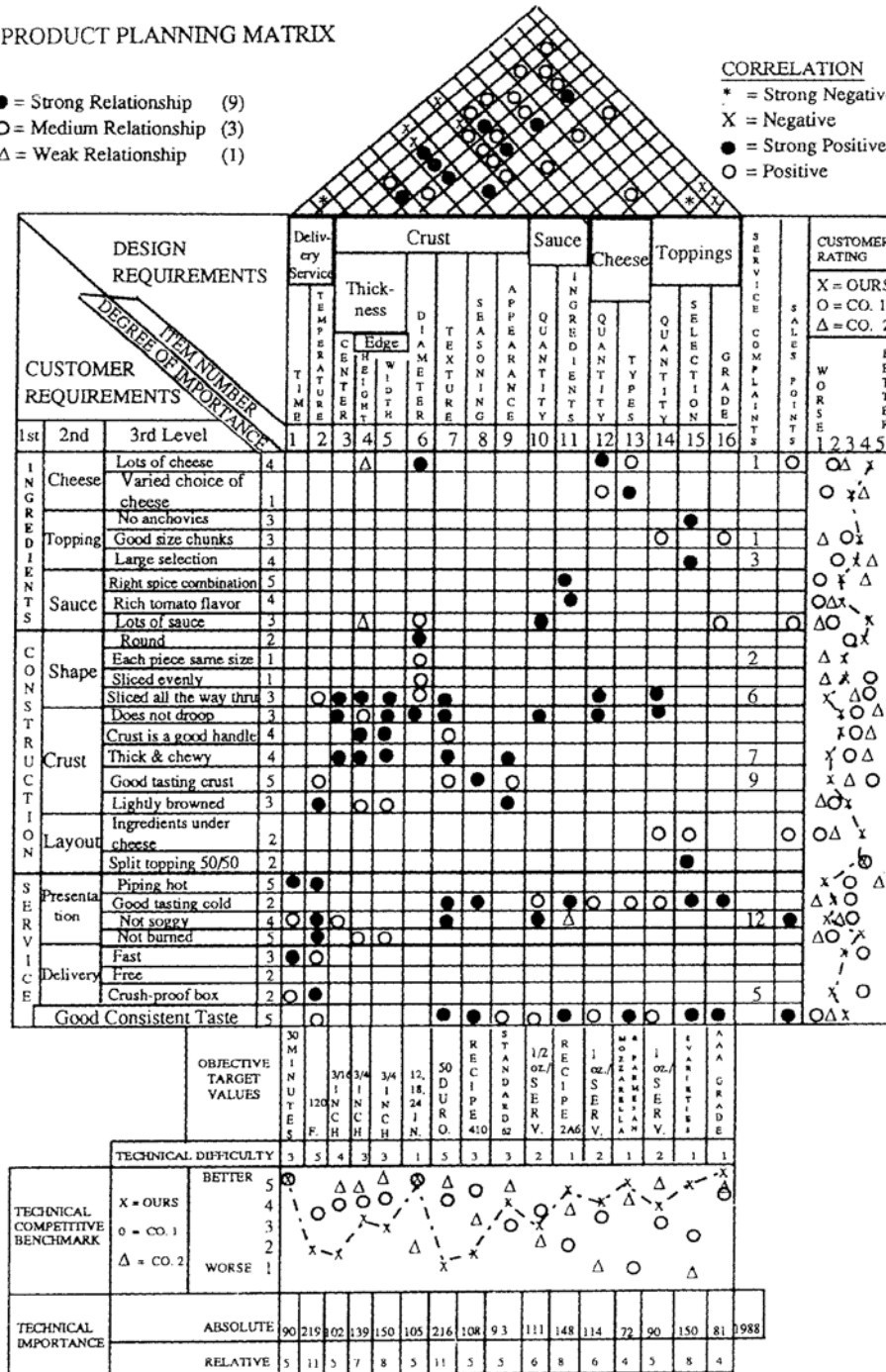
דוגמה ל"בית האיכות"

PRODUCT PLANNING MATRIX

- = Strong Relationship (9)
○ = Medium Relationship (3)
△ = Weak Relationship (1)

CORRELATION

- * = Strong Negative
X = Negative
● = Strong Positive
○ = Positive



איכות כוללת בקרת איכות ותכנון לאיכות. ד"ר חיים שור

© - כל הזכויות שמורות

דוגמה ל"בית האיכות"

667

1991—ASQC QUALITY CONGRESS TRANSACTIONS—MILWAUKEE

Figure 1
The First QFD Chart

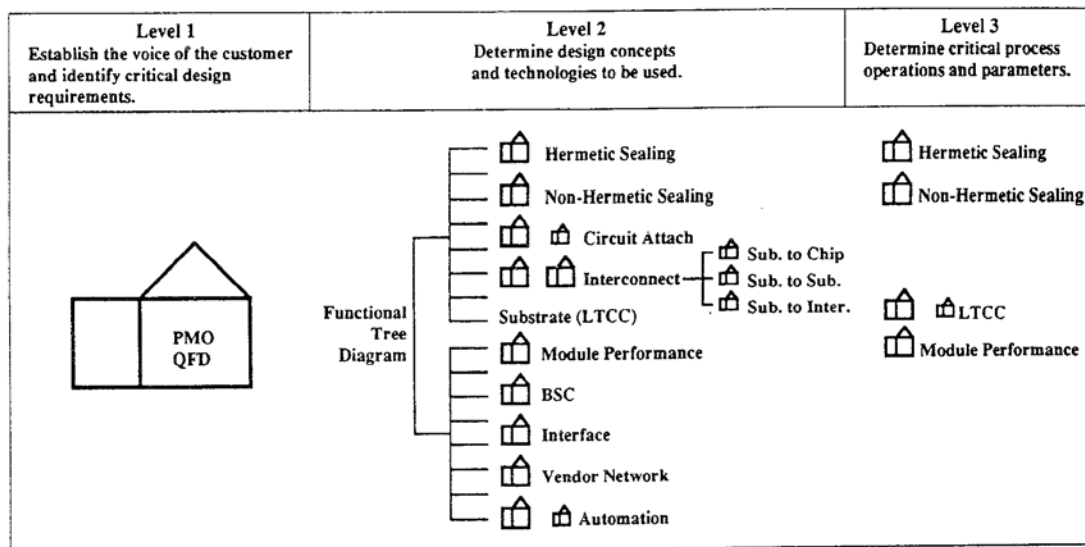
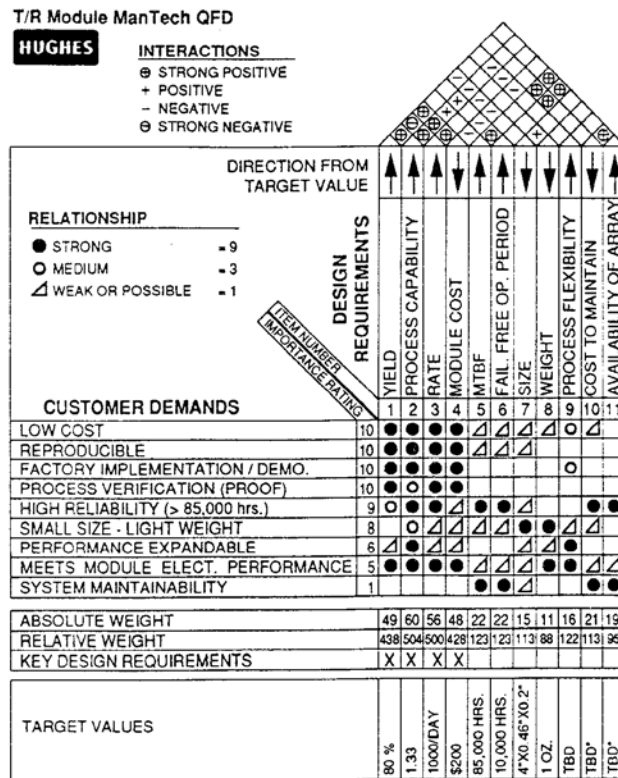
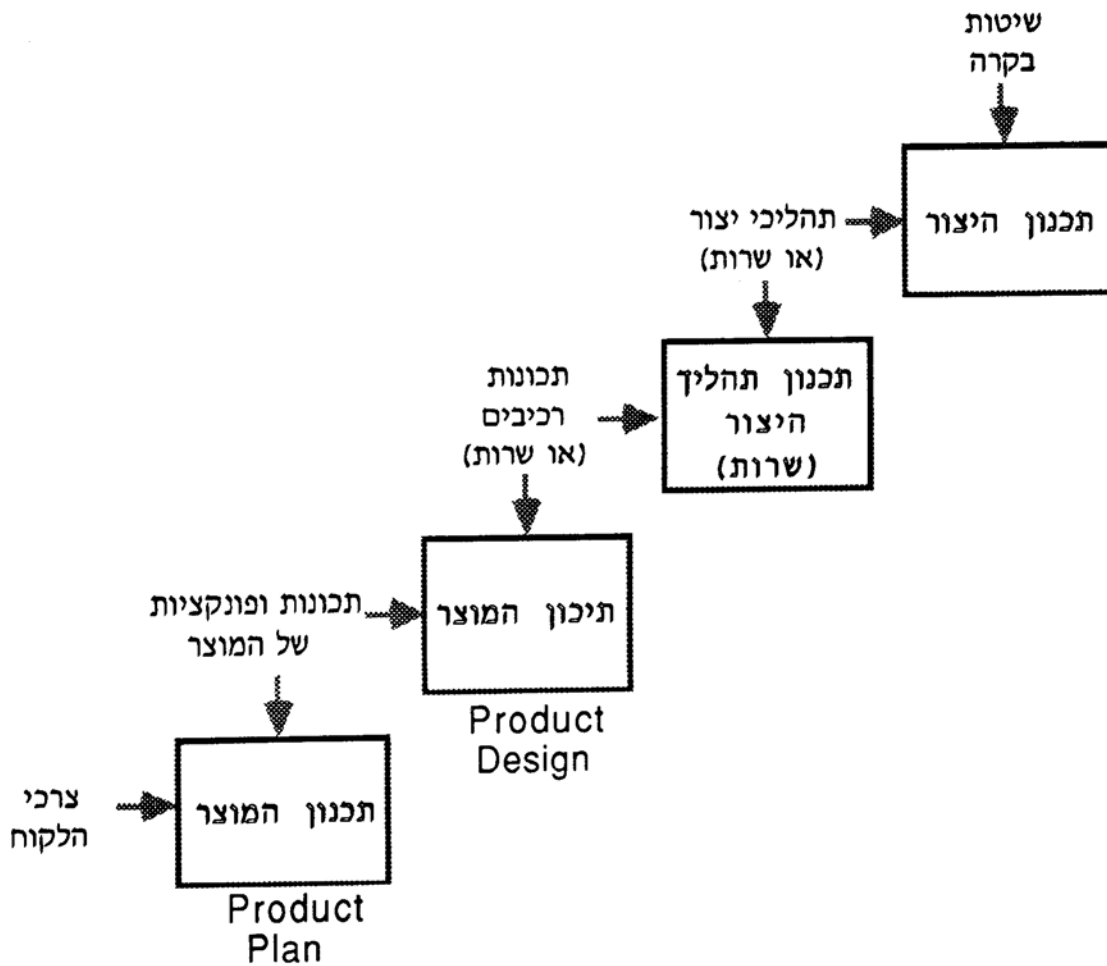


Figure 2
First QFD Chart Leads To Ten More

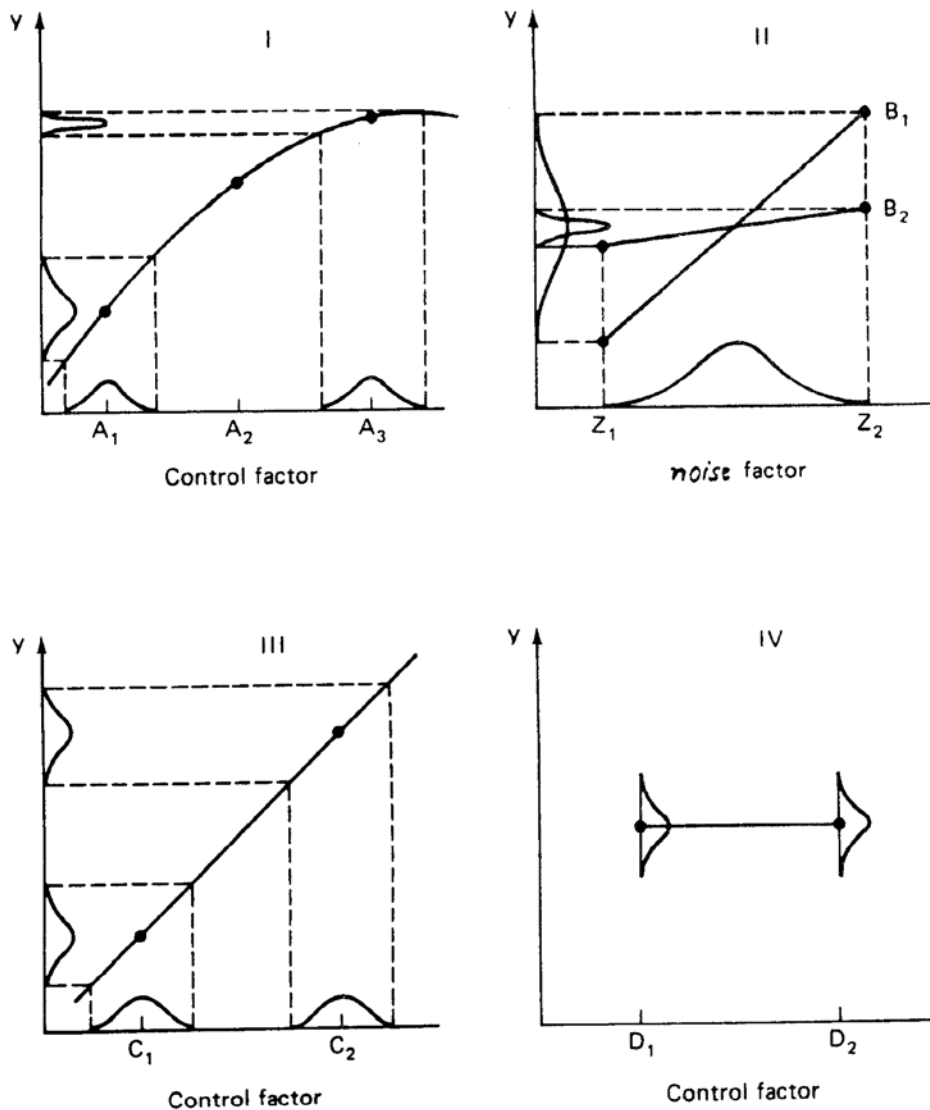
איכות כוללת בקרת איכות ותכנון לאיכות. ד"ר חיים שור
 © - כל הזכויות שמורות

שימוש בדיאגרמות מטריצה בתהליך QFD



עקרונות גישת טגוצ'י ו"תכנון לאיכות"

1. כל סטיה מערך המטרה של תכונת האיכות כרוכה בעלות לצרכן, ובסופו של דבר: עלות ליצרן.
טגוצ'י מניח אובדן (LOSS) הפרופורציוני לריבוע הסטיה מערך המטרה.
2. כל תכנון של מוצר או תהליך מורכב משלושה שלבים:
 - א. תכנון המערכת (System design).
 - ב. תכנון פרמטרים (Parameter design).
 - ג. תכנון אפיצויות (Tolerance design).
3. תכנון טוב של מוצר (או תהליך) אינו צריך להתרכז בסילוק גורמי רעש (שכן רב גורמים אלו בלתי ניתנים לשליטה, או בקרתם יקרה). תכנון טוב חייב להתמקד בהקטנת השפעתם של גורמי הרעש על ידי תכנון נכון של פרמטרים של גורמים ברי שליטה (Controllable Factors).
4. המטרה של "תכנון לאיכות" היא אפוא לבחור ערכים כאלו לפרמטרים של המוצר (או של תהליך הייצור) שיהפכו את תכונת האיכות, Y, לבלתי רגישה (ROBUST) לגורמי רעש בתהליך הייצור או בסביבה בה יתפקד המוצר. במילים אחרות: יביאו למינימום את השונות בפועל של Y.
5. חלק מגורמי התכנון (בלשון טגוצ'י: גורמי הבקרה) ישפיעו הן על הממוצע של Y והן על שונותו (קבוצה I), או ישפיעו על השונות של Y בלבד (קבוצה II). גורמי תכנון אחרים ישפיעו על הממוצע של Y, אך לא על שונותו. אלו יקראו: גורמי אות (Signal Factors). נסמנם כקבוצה III.
לבסוף, עשויים להיות גורמי תכנון שלא ישפיעו על הממוצע של Y ולא על שונותו (קבוצה IV).
דוגמה להשפעתן השונה של קבוצות גורמים אלו על הממוצע והשונות של Y ניתן לראות בגרפים שלהלן. לדוגמה: בתמונה העליונה מימין רואים כי כאשר גורם הבקרה B (השייך לקבוצה II) עובר מרמה B1 לרמה B2, השונות בערכים של Y, הנגרמת כתוצאה מההשתנות של "גורם רעש" Z (השתנות בתחום מ-Z1 עד Z2), יורדת באופן קיצוני (ראה גרפים של התפלגות Y על פני הציר האנכי). שונות זאת, המועברת ממשתנה קלט (כגון "גורם רעש") למשתנה פלט (כגון תכונת האיכות Y) נקראת "שונות מועברת", והניתוח המתמטי הכרוך בה נקרא "ניתוח העברת שונות" (Variation Transmission Analysis).



6. באמצעות ניסויים מתוכננים היטב (בדרך כלל בגישת "מערכים אורתוגונליים") נבנה מערך ניסויי אשר בו קיימת הפרדה בין "גורמי בקרה" ו"גורמי רעש". באמצעות סידרת הניסויים ניתן לאתר את גורמי התכנון העשויים לתרום במידה הרבה ביותר להקטנת השונות הנובעת מ"גורמי הרעש", ולמצוא מהם הערכים של גורמי התכנון שעבורם השונות בתכונת האיכות, Y , הנובעת מ"גורמי הרעש" - היא מינימלית (ראה להלן סעיף 7 - א').

7. מסעיפים 5 ו-6 נובע תהליך תלת שלבי לתכנון פרמטרים של המוצר ותהליך הייצור:
- א. באמצעות ניסויים מבוקרים קבע רמות אופטימליות של גורמי התכנון מקבוצה I ו-II המביאות למינימום את ההשתנות של תכונת האיכות, Y (מביאות למינימום את השפעתם של "גורמי הרעש").
 - ב. באמצעות סדרת ניסויים נוספת שנה את הערכים של גורמי אות כך שיביאו את הממוצע של Y לערך המטרה שלו. שינויים אלה, לפי הגדרה, לא יגדילו את השונות המינימלית שהושגה בשלב א'.
 - ג. קבע את רמות גורמי קבוצה IV בערכים הכלכליים ביותר שלהם.
8. כיוון שההשתנות של Y תלויה בחלקה בממוצע אנו נשתמש כקריטריון לאופטימיזציה בתכנון פרמטרים במדד יחס אות/רעש (SIGNAL TO NOISE RATIO), כאשר זה משתנה בהתאם לערך המטרה המבוקש של Y :

(Nominal is best)	$SN = 10 \log_{10} (\mu/\sigma)^2$
(Higher is better)	$SN = -10 \log_{10} [E(1/Y^2)]$
(Lower is better)	$SN = -10 \log_{10} [E(Y^2)]$

כאשר: μ - ממוצע Y , σ - סטיית התקן של Y , $E(\cdot)$ - התוחלת (אותה ניתן לאמוד באמצעות הממוצע המדגמי המתאים).

9. בתכנון אפיציות אנו שואפים להגביל את השונות של Y הנגרמת על ידי "גורמי רעש", שונות אשר לא נוטרלה או הוקטנה באופן משמעותי בשלב של תכנון פרמטרים. דבר זה נעשה על ידי הקטנת תחום ההשתנות של "גורמי הרעש" העיקריים התורמים לשונות של Y תוך שימוש בחומרים יותר טובים (יותר אחידים), מכונות יותר מדויקות, בקרה יותר טובה וכיוצא באלו. בדרך כלל הקטנת השונות של Y על ידי הגבלת תחום ההשתנות המותר של "גורמי רעש" (קביעת אפיציות) כרוכה בהשקעה כספית. השיקול הכלכלי של כדאיות ההשקעה (עלות/תועלת) חייב להיות שיקול מרכזי בשלב זה.

ניסוח מתמטי של גישת טגוצ'י

(ראה תאור גרפי בעמוד 87)

T - ערך המטרה

Y - ערך תכונת האיכות בפריט כלשהו

VAR(Y) - השונות של Y

δ - הטולרנס

פונקצית האובדן בגישה הקלסית:

$$L(Y) = \begin{cases} 0, & |Y - T| < \delta \\ L, & |Y - T| \geq \delta \end{cases}$$

פונקצית האובדן בגישת טגוצ'י (בהנחה ש- "Nominal Is Best") :

$$(NIB) \quad L(Y) = k(Y-T)^2$$

פירוק פונקצית האובדן למרכיביה:

$$L(Y) = k [Y - \mu + \mu - T]^2 = k [(Y - \mu)^2 + 2(Y - \mu)(\mu - T) + (\mu - T)^2]$$

מציאת התוחלת:

$$\text{התוחלת של פונקצית האובדן} = E [L(Y)] =$$

$$= k [(\mu - T)^2 + \text{Var}(Y)]$$

הקטנת הפער	הקטנת
בין הממוצע	ההשתנות
לערך המטרה	של Y
באמצעות שנוי	בשלב א'
"גורמי אות"	
(שלב ב')	

הערות:

1. כאשר התוחלת, μ , והשונות $\text{Var}(Y)$, אינם ידועים, יש לאמוד אותם באמצעות הממוצע המדגמי, $\bar{Y}$, והשונות המדגמית $\hat{\sigma}^2$ (ראה נוסחת חישוב בעמוד 88).
2. ההנחה בפיתוח פונקצית האובדן לעיל היא כי ישנו ערך נומינלי, T , שהוא ערך המטרה אליו אנו שואפים להתקרב. לעתים, תכונת האיכות היא כזאת שאנו שואפים להקטין את Y ככל האפשר ("Lower Is Better") או להגדיל את Y ככל האפשר ("Higher Is Better"). במקרים אלו האובדן לפריט יחיד יהיה:

$$\text{(LIB)} \quad L(Y) = k(Y^2), \quad Y \geq T = 0$$

$$\text{(HIB)} \quad L(Y) = k(1/Y^2)$$
 והתוחלת של פונקצית האובדן (אובדן ממוצע לפריט), תהיה:

$$\text{(LIB)} \quad E[L(Y)] = k[\sigma^2 + \mu^2]$$

$$\text{(HIB)} \quad E[L(Y)] = k(1/\mu^2)[1 + (3\sigma^2/\mu^2)]$$
- גם במקרים אלו ניתן להציב במקום התוחלת והשונות את הממוצע והשונות המדגמיים.
3. מנוסחת הממוצע של פונקצית האובדן (עבור המקרה השכיח של NIB) רואים כי כדי להקטין את "הנזק לחברה" (Loss to Society) התפלגות תכונת האיכות של המוצר, Y , צריכה להיות מרוכזת סביב ערך המטרה הנומינלי (דהיינו $\mu=T$), ואילו השונות שלה צריכה להיות קטנה ככל האפשר.
 נוסחה זאת מביעה שני אספקטים של ניהול האיכות במפעל: ראשית, על מתכנני המוצר ותהליכי הייצור להבטיח כי השונות של תכונת האיכות תהיה קטנה ככל האפשר. דבר זה יושג הן על ידי הקטנת השפעתם של "גורמי הרעש" בתכנון המוצר (Robust Design) והן על ידי סילוק "סיבות כלליות", היוצרות "רעש" קבוע בתהליך הייצור. שלב זה הוא שלב של בקרת איכות חוץ-תהליכית (off-line quality control), אשר יבוצע לפני תחילת הייצור ויתמיד משך כל תהליך הייצור על ידי מאמצים להקטנת שונות בגישת "שיפור האיכות" של TQM.
 שנית, זוהי אחריות של מנהלי הייצור להבטיח כי כוונן המכונות הוא כזה שהתפלגות תכונת האיכות תהא מרוכזת סביב ערך המטרה שלה, T . אלו הם מאמצים יומיומיים ומתמשכים מצד אנשי הייצור, הנעזרים לצורך ביצוע בקרת איכות תהליכית (on-line quality control) בין השאר בתרשימי בקרה.
4. פונקצית האובדן מאפשרת לקבוע טולרנסים באופן כלכלי. דוגמה מובאת בעמוד 171.

תכנון פרמטרים בגישת טגוצ'י (דוגמה)

(ניתנה על ידי טגוצ'י בספרו

(G.Taguchi and Yu-in Wu (1979): Off-Line Quality Control. P.30)

על סמך תכנון ניסויים נמצא כי שני רכיבים קובעים את מתח היציאה במכשיר חשמלי מסויים : מרווח הטרנזיסטור (transistor gain) A , והתנגדות החשמלית, B . המתח החשמלי ב-6 קומבינציות אפשריות (רמות A_1 ו- A_2 ו- A_3 לטרנזיסטור (מסומנות על הציר האופקי) בשתי רמות של התנגדות חשמלית - B_1 ו- B_2) נקבע על סמך ניסוי, והאופיונים שהתקבלו נתונים בציור.

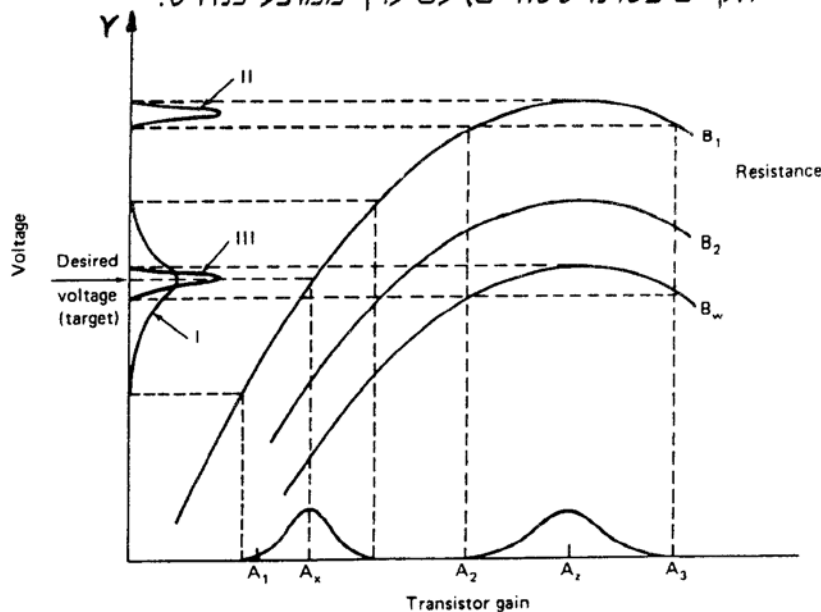
אנו רואים כי אם הטרנזיסטור יקבע ברמה נומינלית A_x השונות הטבעית הקיימת בייצור הטרנזיסטור (מצוירת בציר האופקי) תיצור שונות גדולה ברמות המתח החשמלי שיתקבלו במכשירים שייצרו (התפלגות I). מאידך, אם הטרנזיסטור יקבע ברמה A_z השונות הטבעית שלו (המסומנת על הציר האופקי) תיצור שונות יחסית נמוכה במתח היציאה (ראה התפלגות II).

מכאן שהפתרון של טגוצ'י יהיה כלהלן:

תכנן מכשיר אשר הטרנזיסטור שבו הוא בעל ערך נומינלי A_z הנותן שונות נמוכה במתח היציאה.

אולם כיוון שערך זה נותן מתח נומינלי גבוה מערך המטרה, הקטן עתה את מתח היציאה לערך המטרה על ידי שינוי ההתנגדות החשמלית (שהיא "גורם אות" שאינו משפיע על השונות של המתח החשמלי) לערך נומינלי B_w .

התוצאה הכוללת: שונות נמוכה במתח החשמלי (מכשיר בלתי רגיש לחוסר האחידות הקיים בטרנזיסטורים) עם ערך ממוצע כנדרש.



איכות כוללת בקרת איכות ותכנון לאיכות. ד"ר חיים שור

© - כל הזכויות שמורות

תכנון אפיציות בגישת טגוצ"י

על פי גישת טגוצ"י יש להעריך תחילה את המקדם של פונקצית האובדן באמצעות "האפיצות הנסבלת" על ידי הצרכן, ובשלב שני לקבוע "אפיצות ייצור", תוך התחשבות בעלויות של תיקון מוצר פגום. נדגים את גישת טגוצ"י והמושגים הנלווים לגישה זאת.

דוגמה : מפעל מייצר מכשיר לבקרת טמפרטורה בתהליכים תעשייתיים. איכות המכשיר מוערכת על פי "מספר יחידות חוס", והערך הנומינלי הוא 196. היצרן מעריך כי "אפיצות הצרכן" היא ± 4 . טגוצ"י מגדיר את "אפיצות הצרכן" כאותה אפיצות אשר מעבר לה 50% מהצרכנים יגיבו בשלילה, דהיינו יחזירו את המוצר לתיקון/החלפה, ו/או לא יקנו יותר את המוצר. נקודה זו מצויינת בפונקציית האובדן כנקודת LD-50, והעלויות הכרוכות בה הן שתיים:

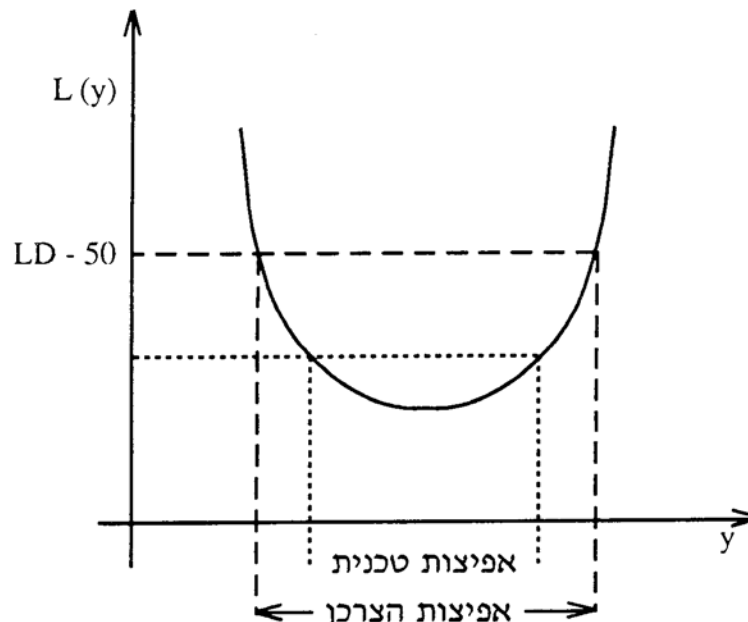
- עלות החלפת מוצר שהוחזר.

- קנס לחברה של אובדן רווח/רצון טוב בעתיד.

במפעל מעריכים כי עלות החלפת מוצר במסגרת האחריות היא 7.50 שקל (עלות ייצור (6.84) ועוד עלות הובלה (0.66), ואילו עלות אובדן רצון טוב/רווח מוערכת כעלות ייצור המוצר (6.84).

לכן אובדן ממוצע לפריטים הנמצאים על גבולות המפרט (כפי שאלו נתפסים על ידי הצרכן) :

$$\text{שקל } 7.17 = 0.50 (7.50 + 6.84)$$



נציב בפונקציית האובדן:

$$L(200) = k (200 - 196)^2 = 7.17$$

$$k = \frac{7.17}{4^2} = 0.448$$

$$L(Y) = 0.448 (Y - 196)^2 \quad \text{מכאן שפונקציית האובדן היא :}$$

פונקציה זאת מתארת את ההפסד לחברה (Loss to Society), כפי שנתפסת הן על ידי היצרן והן על ידי הצרכן. על פי גישת טגוצ'י, היצרן יקבע את "האפיצות הטכנית" באותה נקודה אשר מעבר לה כדאי לו לתקן את המוצר בטרם יצא את שערי המפעל, דהיינו, עלות תיקון המוצר תהיה נמוכה מהאובדן הצפוי על פי פונקציית האובדן.

אם עלות תיקון מוצר שנמצא פגום בתוך המפעל היא 0.59 שקל, ו- y_t הוא גבול המפרט הכלכלי, אזי נדרש כי :

$$L(y_t) \leq 0.59$$

y_t הגבוה ביותר שיקיים אילוץ זה ימצא מפתרון המשוואה :

$$L(y_t) = 0.448 (y_t - 196)^2 = 0.59$$

או :

$$y_t = 196 \pm 1.15$$

מכאן, שעל המפעל לקבוע כטולרנס טכני את הערך ± 1.15 יחידות חום.

תכנון ניסויים

הגדרה:

תכנון ניסויים זוהי גישה עקבית לשנוי בו זמני של מספר גורמים (פרמטרים של מוצר או גורמי בקרה בתהליך), על מנת לעמוד על ההשפעות שיש לגורמים אלו (בין בנפרד ובין בפעולת גומלין) על תוצרת התהליך, כמותה ואיכותה.

שימושים

- איתור הגורמים לבעיית איכות נתונה.
- איתור גורמים המשפיעים על האיכות, במטרה לקבוע רמות אופטימליות של בקרה על גורמים אלו.
- איתור גורמים משפיעים, וקביעת רמות אופטימליות של הגורמים שיביאו לשיפור ביצועי התהליך.
- איתור ואבחון גורמים התורמים לשונות במטרה להקטין השונות האקראית בתהליך (COMMON CAUSES).
- איתור השפעות גומלין של גורמים (אינטראקציות) אשר בפעולתם המשותפת משפיעים על רמת האיכות או כושר התהליך.
- בניית איכות לתוך המוצר בשלב התכנון: אתור רמות אופטימליות של פרמטרים של המוצר (PARAMETERS DESIGN) אשר בהן רגישות המוצר לגורמי רעש (בתהליך הייצור או בתנאי הסביבה בהם הוא יתפקד) - תהיה מינימלית (גישת טגוצ'י, (OFF-LINE QUALITY CONTROL).

הערה:

- אנשי ייצור או חוקרים שאינם מכירים את הגישה של תכנון ניסויים נוהגים לשנות מדי פעם גורם אחד בלבד, ולבדוק את השפעתו על התכונה הנבדקת. לשיטת ניסוי זאת מספר חסרונות:
- בזבוז משאבים, כיוון שניתן לבדוק בו זמנית את השפעתם של מספר גורמים, עם מספר קטן יותר של תצפיות (בגישת "תכנון ניסויים").
- התעלמות מהשפעות גומלין של מספר גורמים על התכונה הנבדקת (התעלמות מאינטראקציות).
- סכוי גבוה לא לאתר את הגורמים המשפיעים באמת עקב תכנון לא אפקטיבי של תכנית הניסוי.

תכנון ניסויים – שלבים ביישום

■ הגדרת הבעיה

- הגדר מטרות הפרוייקט
- הקם צוות פרוייקט
- בחר את תכונות האיכות הרלבנטיות
- הפקת דוח ראשוני על המטרות והתוצאות הצפויות.

■ תכנון הניסויים (EXPERIMENTAL DESIGN)

- הסערת מוחות לאיתור גורמים פוטנציאליים (לפי גישת טגוצ'י: הבחן בין "גורמי בקרה" ו"גורמי רעש").
- הסערת מוחות לאיתור השפעות גומלין אפשריות בין גורמי בקרה (אינטראקציות).
- בחירת רמות הגורמים שיידגמו בניסוי.
- בניית תכנית הניסויים.
- ביצוע מספר ריצות נסיון.

■ ביצוע הניסויים וניתוח התוצאות.

- ביצוע הניסויים המתוכננים.
- ניתוח התוצאות והסקת מסקנות אופרטיביות.
- ביצוע ריצות נסיון לאחר את מסקנות הניתוח.

■ מעקב (FOLLOW - UP)

- יישם את התוצאות.
- דווח לצוות הפרוייקט על התוצאות.
- פרסם את הישגי הפרוייקט.

הערות:

1. בדרך כלל ב"תכנון ניסויים" מבוצע הניסוי בשני שלבים:
א. שלב סינון ראשוני שבו נכללים כל הגורמים והאינטראקציות, החשודים בהשפעתם על תכונות האיכות הנחקרת. מספר הרמות של כל גורם יהיה המינימלי האפשרי (שניים). בשלב זה מאותרים הגורמים והאינטראקציות המשפיעים באופן מובהק.
ב. שלב שבו כל גורם משפיע, שאותר בשלב קודם, נבדק במספר רב יותר של רמות, על מנת לקבוע רמות אופטימליות של גורמי הבקרה.
2. "תכנון ניסויים" הינו ענף רחב בסטטיסטיקה, המציג מודלים שונים לביצוע ניסויים ואת שיטות החישוב הנלוות להם (כגון: ניתוח שונות). במסגרת זאת לא נציג מודלים אלו, אשר הבנתם דורשת ידע מעבר לזה שהונח בכתובת ספר זה.

נספחים

נספח א' : "איכות כוללת" כתפיסה ניהולית וכיעד אסטרטגי -
הגישה המודרנית לאיכות .

נספח ב' : תרשימי בקרה.

נספח ג' : מבדקי איכות:

- התדריך המקורי לפרס Malcolm-Baldrige (1995).

נספח ד' : מסמך "מדיניות האיכות של מפעל אבג" (דוגמה).

נספח ה' : תכנית הדרכה לעובדים (דוגמה).

נספח ו' : הצעה לבניית מערכת לחישוב עלויות האיכות של הרכש (דוגמה).

נספח ז' : הורדת שונויות והשפעתה על השטף ועל המלאי בתהליך (עם תכנית מחשב לסימולציה).

נספח ח' : רשימת ספרות.

נספח ט' : טבלאות של התפלגויות סטטיסטיות:

ט-I : ההתפלגות הבינומית

ט-II : ההתפלגות הפואסונית

ט-III : ההתפלגות הנורמלית

ט-IV : התפלגות t

ט-V : התפלגות F

ט-VI : התפלגות χ^2 .

נספח י' : הוראות הפעלה של תוכנת SPC ותוכניות דגימה סטטיסטיות

נספח א' . "איכות כוללת" כתפיסה ניהולית וכיעד אסטרטגי - הגישה המודרנית לאיכות

א. מבוא

"איכות כוללת הינה יעד אסטרטגי רשום ומדיניות מוצהרת בקרב 57% מהחברות בארה"ב, וכשני שלישים מהחברות הנותרות צופות שאיכות כוללת תיהפך יעד אסטרטגי בתוך שנה עד שלוש שנים. 61% מהחברות מדווחות על תוצאות משביעות רצון כתוצאה מאימוץ גישת האיכות הכוללת, והשאר מדווחות על "תוצאות לא ברורות", בדרך כלל מחמת החידוש שבמושג וההתנסות הקצרה מדי ביישומי".

ממצאים אלו מסקר שנערך לאחרונה על ידי ארגון (ASTD AMERICAN SOCIETY FOR TRAINING AND DEVELOPMENT) בקרב כ-200 מנהלים בכירים בחברות מרשימת FORTUNE 500 יש בהם להעיד על היקף המהפיכה החשיבתית והתפיסתית בגישה הניהולית לאיכות, המתחוללת בשנים האחרונות בארה"ב ובמדינות מתועשות אחרות. האיכות, שעד לפני שנים לא רבות נחשבה עניינם הבלעדי של טכנולוגים של איכות, הפכה לפתע מושג מפתח בתרבות הארגונית והניהולית של המפעל, ולצוות הניהולי הבכיר של מפעל טיפוסי הצטרף מנהל האיכות כמייצג פונקציה חשובה לא פחות מהמנהל הפיננסי, מנהל המכירות או מנהל הייצור.

מה הם מאפייניה של אותה "מהפיכת איכות", מי הם מחולליה, כיצד מיישמים את גישת "האיכות הכוללת" ומה ההשלכות של הגישה החדשה לאיכות על כושרו של המשק הישראלי להתחרות בשוק הבינלאומי - בשאלות אלו נדון להלן.

ב. מאפיינים של "מהפיכת האיכות"

כפי שוודאי ידוע לרבים, מהפכת האיכות לא החלה בארה"ב בשנות השמונים. היא החלה שנים רבות קודם ביפן. החל משנות החמישים, ובדרך כלל בהדרגתם ובעידודם של גורם אמריקאיים אשר לא מצאו אוזן קשבת לרעיונותיהם בארץ מוצאם (כגון דמינג וג'וראן), החלו היפנים מפתחים גישות חדשות לאיכות, משולבות בשיטות ייצור חדשניות שאחד מיעדיהן המרכזיים היתה אבטחת האיכות. בגישות אלו באו לידי ביטוי ההכרה כי אין זה יעיל להבטיח את איכות המוצר הנשלח ללקוח על ידי בדיקתו בסוף תהליך הייצור (בקורת מסננת באמצעות מיון של 100% או על ידי תכניות דגימה סטטיסטיות). במקום זאת יש לשאוף לבנות איכות מראש לתוך המוצר, הן בשלב התכנון והן בשלב הייצור.

"תכנון לאיכות" (QUALITY BY DESIGN) פרושו כי יש לתכנן את המוצר מלכתחילה, כך שיהיה "בלתי רגיש" ל"רעשים" בחומרי הגלם, בתהליכי הייצור או בסביבה בה יתפקד. במילים אחרות: המוצר יתוכנן באופן כזה שימשיך להיות תקין גם לנוכח "שגיאות" לא חמורות בספציפיקציות של חומרי הגלם, בפרמטרים של תהליכי הייצור או לנוכח תנאי סביבה עוינים כאשר יימצא בידי המשתמש הסופי.

בניית איכות לתוך המוצר תוך תהליך הייצור, משמעה כי הפרמטרים של תהליכי הייצור (אלו הקובעים את איכות המוצר) נמצאים בבקרה, תהליכי הייצור הם יציבים (יציבות סטטיסטית) וכוון שמבוצעת

"בקרת תהליך" נאותה, מובטח כי המוצר הסופי לא יהיה פגום. ואמנם מפעלים שלמים כיום, ביפן ובארצות מתועשות אחרות, ויתרו על בקורת האיכות הסופית של המוצר, או שבקורת זאת צומצמה עד למינימום הכרחי. רמת הבטחון שהושגה במפעלים אלו כי "תהליכי הייצור נמצאים בבקרה" גבוהה כדי כך שהסיכוי שמוצר פגום יגיע אל קצה הקו הוא אפסי. ממילא הופכת הבקורת הסופית למיותרת. יתר על כן: עיקרה של הבקורת אינו מבוצע עוד על ידי "השוטרים" המגיעים ממחלקת אבטחת איכות אלא היא נתונה בידיו של הפועל ליד המכונה. הוא אחראי לכך שהמוצר היוצא מתחת ידיו גם יעבור את בקורת האיכות הדרושה (לדוגמה: מפעל זירוקס בארה"ב). התוצאה: רמת איכות מ"עולם אחר".

תפיסות חדשניות אלו של אבטחת איכות החלו מיושמות במערב רק בתחילת שנות השמונים. מה הם אותם גורמים שאילצו מנהלים, אשר שלושים שנה קודם לכן התייחסו בזלזול לרעיונותיו של דמינג ואחרים, להתייחס עתה ביתר רצינות לנושא האיכות ולהפכו ליעד אסטרטגי חיוני? בסעיף הבא נתייחס לחמישה גורמים עיקריים.

ג. מחוללי מהפיכת האיכות

1. התחרות מצד התעשייה היפנית והגרעון התקציבי האמריקאי
כאשר החלו מוצרים יפניים לכבוש את שוק אמריקאיים מסורתיים (כגון שוק המכוניות) נדמה היה תחילה ליצרנים האמריקאיים כי יתרון המוצרים היפניים הוא במחירם הנמוך הנובע מסובסידיות ממשלתיות או משכר העבודה הנמוך ביפן. חיש מהרה התברר כי עלות הייצור ביפן נמוכה יותר בגלל שיטות הייצור היפניות ("היפנים יעילים יותר"), אך לא היה ספק לאמריקאים כי למוצריהם יתרון באיכות שכן "אנו משקיעים באיכות" (זכורה הסטיגמה "היפנים אינם ממציאים רק מעתיקים"?).
אט אט חדרה לתודעת האמריקאים ההכרה כי ליפנים יתרון גם באיכות. יתר על כן, עלות הייצור הנמוכה נובעת בראש וראשונה מהאיכות הגבוהה ומגישות ייצור חדשניות המבטיחות איכות כזאת (כגון גישת : "בדיוק בזמן", JUST IN TIME).

בדיחה המשקפת את הפער בין הגישה המסורתית של האמריקאים לאיכות (בדיקה מסננת של המוצר הסופי תוך ציון "אחוז פגומים רצוי") ובין גישת היפנים ("אפס פגומים") מספרת על יצרן אמריקאי שהזמין רכיב מסויים מספק יפני וציין "רמת איכות רצויה" של 2% (פגומים). היפני לא הבין בדיוק מה דורש האמריקאי, אך כדי לספק את רצונו שלח לו את התוצרת בשתי חבילות: באחת היו המוצרים התקינים, ובאחרת - 2% מוצרים פגומים, כדרישת הלקוח...

התחרות הגוברת של מוצרים יפניים, יחד עם הגידול בגרעון התקציבי הממשלתי שנבע בעיקרו ממאזן מסחרי לא מאוזן עם יפן, היוו מאיץ עיקרי בגישה החדשה לאיכות בארה"ב.

2. מדיניות הדה-רגולציה של רייגן בארה"ב ומדיניות ההפרטה של תאציר באנגליה
מתוך גישה של ליברליזם כלכלי ומדיניות של אי התערבות ממשלתית, פתחו רייגן ותאציר את ארצותיהם לתחרות חופשית בינלאומית. גישה זאת לוותה במאבק בלתי מתפשר נגד לטיפונדיות מקצועיות המשמרות איים של "אי יעילות" (שביתת פקחי הטיסה בארה"ב ב-1987 ושביתת כורי הפחם

נספח אי' - 3

באנגליה, אשר נשברו באופן ברוטלי על ידי רייגן ותאצ'ר, בהתאמה).
כתוצאה מגישות אלו, נוצרו תנאי חממה למעבר חופשי של סחורות ושרותים, וגברה התחרות בשוק הבינלאומי.

3. אוירה של פתרון קונפליקטים והפשרה בינלאומית

אלו תרמו תרומתם ליצירת שווקים פתוחים ולתחרותיות גוברת והולכת. עקב כך נאלצו תעשיות מקומיות לבצע שידוד מערכות ביחסן לאיכות, ולנקוט בצעדים ממשיים שיבטיחו את שרידותן נוכח תקני האיכות המחמירים בסחר הבינלאומי.

4. פיתוח טכנולוגיות מחשב חדישות

כגון: "תיכון באמצעות מחשב" ו"ייצור באמצעות מחשב" (CAD/CAM) אפשרו הקטנה בסדרי גודל של זמני הפיתוח של מוצרים חדשים, תוך ביצוע במקביל של שלבי הפיתוח השונים (גישת CON-CURRENT ENGINEERING). במקביל קוצרו זמני התגובה להזמנות של לקוחות.
זמני הפיתוח והתגובה הקצרים חייבו להקטין באופן קיצוני את אחוז הפריטים הפגומים המיוצרים, שכן אם עליך לספק 2000 יחידות וייצרת בפועל 2100 (כי 100 יחידות פגומות) הרי שזמן התגובה להזמנת לקוח התארך בהתאם.

5. התארגנויות של צרכנים ומשתמשים לדרוש איכות ולקבל איכות

גישה חדשה זאת שינתה את תנאי המשחק בין היצרן לצרכן. בעוד שבעבר היצרן קבע את תכונות המוצר והשתדל, בפרסומת, לחבבן על הצרכן, הרי שעתה התהפך הגלגל: הצרכן הוא המכתיב את דרישותיו, ועל היצרן להשתדל לספק דרישות אלו. מכאן נובעת הגדרה חדשה של איכות: לא עוד "עמידה במפרטים" בלבד ("CONFORMANCE TO SPECIFICATIONS") אלא: "התאמת המוצר לדרישות הצרכן", כאשר היעד העליון הוא: "שביעות רצון מלאה של הצרכן". שביעות רצון זאת פירושה כי לא די שהמוצר תקין אלא עליו להיות מעולה; לא די שהמוצר מספק את הצרכן אלא גם השרות הנלווה אליו חייב להיות כזה.
"הצרכן הוא המלך" וסיפוק משאלותיו הינו המטרה והתכלית של כל פעילות המבוצעת במפעל.
לחץ הצרכנים על היצרנים "להשביע את רצונם" מתבטא כיום בארגוני צרכנים אגרסיביים, ארגוני משתמשים, ירחוני צריכה וירחונים מקצועיים שונים, המסוגלים להגיש חוות דעת מקצועית ובלתי משוחדת על כל מוצר חדש שיצא לשוק. לדוגמא: הירחון PC MAGAZINE מצויד באחת המעבדות המשוכללות ביותר בארה"ב לבחינת חומרה ותוכנה בעולם המחשבים האישיים. ארגון משתמשי דיגיטל הביא לכך שניתן כיום לרכוש דיגיטל תוכנה בלי שתהיה חובה גם לרכוש את האחריות לתוכנה.
"המלכת הצרכן" כפוסק הסופי ביחס לתכונות המוצר הרצויות, הביאו לנסיקה בתקני האיכות המקובלים. ומכאן - לצורך בהערכות ניהולית חדשה שתבטיח עמידה באותם תקנים.

4. תוצאות עיקריות של מהפיכת האיכות

1. שינוי בהגדרת האיכות.

בעוד שבעבר נתפסה האיכות כ"עמידה במפרטים", כיום הגדרת האיכות היא רב מימדית. מקובל להבחין בארבעה רכיבים באיכות (ויש גם המבחינים ביותר מימדים כגון גרווין, 1987):

- "איכות התיכון" שתוצאתה: מוצר מעולה (QUALITY OF DESIGN)
- "איכות עמידה במפרט" שתוצאתה: מוצר תקין (QUALITY OF CONFORMANCE)
- "זמינות המוצר" שתוצאתה: מוצר אמין שקל לטפל בו ולתחזקו (AVAILABILITY)
- "איכות השרות" שתוצאתה: תגובה לדרישת שרות מצד הצרכן, זמינות חלפים ואספקה מהירה ובזמן (FIELD SUPPORT)

לא ניתן לספק איכות כזאת אלא אם כן היא נתפסת כ"איכות כוללת", המחייבת כל עובד ועובד בארגון.

2. תקני איכות חמורים יותר.

הסטנדרטים של איכות עלו. לא עוד מציינים "רמת איכות רצויה" (AQL) של 2% או 5% פגומים (כבתוכניות הדגימה הקלסיות), אלא מציינים את רמת האיכות במונחים של PPM (מספר חלקים פגומים למליון), כאשר הנורמה המקובלת היא בסדר גודל של כמה עשרות בודדות בלבד. מערכות ניהול איכות ואבטחת איכות הוכפפו לתקנים (מערכת ISO 9000-4 הבינלאומית או מקבילותיה הלאומיות), וכלגיטימי נחשב היום להציג, כאחת הדרישות ל"אישור ספק", הכפפת מערכת אבטחת האיכות שלו לתקן בינלאומי.

כדוגמה לתקני האיכות המחמירים ניתן להציג את תכנית "שש סטיות תקן" (SIX-SIGMA) של מוטורולה, אשר הציבה לה למטרה להגיע תוך תקופת זמן מוגדרת לרמת איכות של 3.4 PPM (העדר שגיאות או פגמים ב-99.9997% מהזמן בכלל הפעילויות של החברה). אם כי הסתברות זאת מניחה השתנות מותרת של ממוצע התהליך בתחום $\pm 1.5\sigma$ סביב לערך המטרה (או: $Cpk \geq 1.5$), הרי שם התכנית ("שישה סיגמה") נגזר מההתפלגות הנורמלית: בתחום $\pm 6\sigma$ סביב לממוצע יהיו 99.9999998% מההתפלגות. הקטנת סטיית התקן של התהליך כך שגבולות המפרט הטכני יהיו במרחק $\pm 6\sigma$ מערך המטרה תבטיח כי בתהליך מכוון כהלכה (ממוצע התהליך = ערך המטרה) 99.9999998% מהיחידות המיוצרות תהינה תקינות. לדוגמה: אם הפריט הסופי מורכב מ-1200 יחידות (כגון: 1200 נגדים) וכל יחידה פגומה פוסלת את המוצר, הרי שברמת איכות של "שישה סיגמה" יהיו בממוצע 2.4 יחידות פגומות למליון פריטים (0.000000002×1200), ואילו אחוז המוצרים הסופיים התקינים יהיה רק: $99.9998\% = 1200^{1200} (0.999999998)$

3. הסטת הדגש בניהול מפריון לאיכות, מחסכון בהוצאות אל מלוי דרישות הצרכן.

הפרדיגמה הישנה לפיה איכות גבוהה מורידה בהכרח את הפריון, הוחלפה בגישה לפיה איכות ופריון הם שני צדדים לאותה מטבע. כאשר אתה מייצר פריט "נכון בפעם הראשונה" אינך צריך לבזבז משאבים יקרים על תיקון, או ייצור מחדש של פריטים שנפסלו. פייגנבאום (1983) מדבר על "המפעל הנסתר": "40% - 15 מכושר הייצור של המפעל מבזבז על פסולים שלא היו צריכים להיות מיוצרים מלכתחילה".

סטטיסטיקות מהתעשיה האמריקאית והיפנית מבססות את הפרדיגמה החדשה ללא עוררין. לדוגמה:

היפנים משקיעים 20.3 שעות עובד למכונית לעומת 24.4 שעות בארה"ב. אולם תלונות לקוחות למכוניות שנמכרו בארה"ב (מספר תלונות שהוגשו תוך 90 יום מהרכישה ל-100 מכוניות) הוא 119 למכונית יפנית לעומת 163 למכונית אמריקאית. (מקור: FORTUNE, OCTOBER 23, 1989).

דוגמה אופיינית להסטת הדגש אל האיכות מהווה מרכז מחקר חדש, שנבנה על ידי חברת ווסטינגהאוז בארה"ב. המרכז משרת כיום כ-2000 ארגונים גדולים, ביניהם NASA ומוטורולה. מרכז זה נקרא תחילה: PRODUCTIVITY CENTER. כיום נקרא המרכז: PRODUCTIVITY AND QUALITY CENTER, אך העובדים קוראים לו בקיצור: THE QUALITY CENTER.

4. מעבר מבקורת איכות מסננת של המוצר הסופי אל בקורת איכות תהליכית ולתכנון לאיכות

אחת התוצאות החשובות של מעבר זה (שהוסבר בפרוטרוט במבוא) היא התמעטות השימוש ב"דגימת קבלה" סטטיסטית לצורך אישור קבלת חומרי גלם ובבדיקת התוצרת הסופית, והסטת הדגש לבקרה סטטיסטית של פרמטרים של תהליכי ייצור באמצעות תרשימי בקרה. אלו משמשים כיום, בנוסף לתפקידם הקלסי בשמירת יציבות תהליכי ייצור, גם כעדות סטטיסטית לגיטימית ל"הוכחת איכות" הן על ידי ספקים של חומרי גלם והן על ידי יצרנים של מוצרים לשימוש סופי. אם ספק מסוגל להוכיח באמצעות תרשימי בקרה כי תהליכי הייצור שלו הם יציבים (בבקרה), נחסך הצורך ב"דגימת קבלה" של הרכיבים או חומרי הגלם, אותם הוא מספק.

התרחבות השימוש בניסויים מבוקרים לצורך קביעת ערכים אופטימליים לפרמטרים של המוצר בשלב התיכון (תוך שימוש בתורה סטטיסטית הנקראת "תכנון ניסויים") היא אחת התוצאות של הסטת הדגש לבניית איכות לתוך המוצר עוד בשלב הפיתוח.

5. התפתחות גישת "ניהול לפי איכות כוללת" (TOTAL QUALITY MANAGEMENT).

רבות נכתב על גישת TQM, אשר דמינג נחשב כמחוללה בארה"ב. אנו לא נחזור כאן על 14 העקרונות המפורסמים של דמינג, אך נציג בסעיף הבא את המרכיבים העיקריים של הגישה, וננסה על ידי כך להבהיר מספר מושגי מפתח. כדי לעמוד על מימדי המהפיכה שחוללה גישת TQM בארה"ב, נציין כי כי פורד הנהיגה גישה זאת כאסטרטגיה ניהולית דומיננטית עוד ב-1980, והיא ייחסה לגישה זאת ירידה של 59% בתלונות לקוחות ועליה של 40% במכירות. כיום, אין תעשייה בארה"ב שלא נטלה יוזמה בהחדרת האיכות כאסטרטגיה ניהולית, וסקטור השירותים אינו מפגר אחרי התעשיות היצרניות בהרבה. ב-1986 הוכנו תכניות החדרה של TQM במשרד ההגנה האמריקאי, בפיקוד שירותי ההנדסה של הצי, ובסוכנויות אחרות, כאשר אחד התנאים לקבלת חוזים מסוכנויות אלו הוא: "אמץ גישת TQM או שכח מקבלת חוזים מאיתנו". ספורי הצלחה על החדרת TQM למפעלים בארה"ב תוך תאור הטכניקות בהן השתמשו, השינויים הארגוניים והתפיסתיים הנדרשים כדי לאמץ את הפילוסופיה החדשה והתוצאות שהושגו ניתן למצוא בירחון: ELECTRONIC BUSINESS מה-16.10.1989, המוקדש כולו לנושא: "QUEST FOR QUALITY", וכן בשבועון FORTUNE (No. 19, 23.9.91).

ה. מרכיבים עיקריים בגישת TQM

לפי ההגדרה "ניהול לפי איכות כוללת" זוהי פילוסופיה ניהולית, מחוייבת לנושא האיכות, המתמקדת בשיפור תהליכים מתמיד, תוך השתתפות של כל עובד בארגון. תוצאתה: "שביעות רצון מוחלטת של הצרכן".

בהתאם להגדרה זאת, ניתן לאפיין את גישת TQM על פי 12 גורמי מפתח:

1. **מודעות לאיכות**, שמשמעותה כי האיכות מהווה מרכיב עיקרי ומרכזי באקלים הניהולי והארגוני במפעל.
2. **מחוייבות והנהגה מצד ההנהלה הבכירה**. על העובדים לדעת כי ההנהלה הבכירה מחוייבת באמת לאיכות, ועל ההנהלה מצידה לגלות מנהיגות בהחדרת האיכות בכל תהליך ותהליך במפעל, בין אם הוא תהליך החלטה, תהליך מכירה, תהליך של הנהח"ש או תהליך ייצור.
3. **התארגנות לקראת שיפור האיכות**. יצירת דינמיקה של שיפור מתמיד של תהליכים כדי להעלות את האיכות מחייבת שלבי התארגנות מוקדמים, כגון: הקמת מועצת איכות, בניית מערכת דווח אמינה על איכות, הקמת צוותי איכות (לא חוגי איכות!) ועוד. גישת TQM מפרטת את השלבים הארגוניים השונים הדרושים כדי להבטיח הצלחה בהחדרת הגישה.
4. **יצירת סביבה של שיתוף ועבודת צוות**. לא ניתן להגיע ל"שביעות רצון מוחלטת של הצרכן" אם קיימים במפעל מחסומים בתקשורת בין מחלקות או בין פונקציות שונות. הסיסמה "עם הפנים לצרכן" מחייבת התמקדות בדרישותיו של הצרכן, ודבר זה מן הנמנע ללא סביבה של שיתוף פעולה. אחת הגישות החדשות לממש סיסמה זאת היא: "פריסת פונקציית האיכות" (QFD).
5. **הדרכה לשיפור איכות**. כל עובד חייב להבין מהי איכות, כיצד מודדים אותה, ומה הם הכלים שבאמצעותם ניתן לאתר מוקדים של איכות ירודה. מערכת הדרכה מקיפה ב"בקרת תהליך סטטיסטית" (SPC) ובמתודולוגיה של שיפור איכות היא תנאי ל"איכות כוללת", שתכלול את כל העובדים בארגון.
6. **מעורבות של כל איש בארגון, בכל הדרגים**.
7. **מעורבות של צרכנים וספקים כאחד**. אחד האספקטים המהפכניים ביותר בגישת TQM היא מערכת היחסים החדשה הנוצרת בין היצרן והספקים, מצד אחד, ובין היצרן והלקוחות מצד שני. החידוש הוא בשני מישורים:

 - א. הגדרת כל פעילות במפעל כתהליך אשר יש לו ספק ויש לו לקוח. אי לזאת בכל תהליך יש להבטיח כי התשומות הם באיכות הנדרשת, וכי המוצר בעוברו לשלב הבא בתהליך עומד במפרטי האיכות הנדרשים. בהתאם לכך מוגדרים לא רק ספקים ולקוחות חיצוניים אלא גם ספקים ולקוחות פנימיים, המחוייבים לספק איכות ולקבל איכות.
 - ב. בניגוד למדיניות של "הפרד ומשול" ביחס לספקים שהיתה בעבר, יש לשאוף למספר קטן מאוד של ספקים (הקטנת שונויות), אשר עימם ייבנו יחסים של שיתוף פעולה ואמון ביחס לאיכות. חומרי גלם באיכות ירודה פוגעים בסופו של דבר באיכות המוצר המוגמר, ולכן על הספק והיצרן לשתף פעולה תוך סיוע, התייעצות והדרכה מקצועית הדדית אשר ישחררו את היצרן מהצורך לבצע "בדיקת קבלה" של חומרי הגלם הנשלחים מהספק. מצד שני, על היצרן לדעת באיזו מידה השיג "שביעות רצון הצרכן", ומה הן דרישותיו. קשר הדוק עם הלקוחות יבטיח זרימת אינפורמציה חופשית מהלקוח אל היצרן, והמשוב החוזר יאפשר איתור בעיות איכות במוצר ותכנון וייצור מוצרים מותאמים לדרישת הצרכן.

8. **אווירה של פתרון בעיות ומניעתן** במקום אקלים של "שוטרים וגנבים" וחיפוש אשמים.
9. **בקרת איכות סטטיסטית**, כאשר הדגש הוא על בקרת תהליך סטטיסטית (SPC) ותכנון לאיכות.
10. **מדידה של רמת האיכות**. קשה להפריז בחשיבותה של מדידה כמותית של רמת האיכות, באמצעות מדדים המוגדרים באופן אופרטיבי. לא ניתן להעריך מאמצים לשיפור האיכות כאשר אין הסכמה ותפיסה אחידות כיצד נמדדת האיכות ובאלו כלים.
11. **הכרה בהישגים בתחום האיכות**. כדי ליצור הנעה להתמיד במאמצים לשיפור האיכות אצל כל עובד במפעל.
12. **שיפור מתמיד**. גורם זה מהווה את לב הגישה: השגת איכות היא מאמץ מתמשך של שיפור תהליכים

נספח א' - 7

בכל פעילות ופעילות בארגון. גישת TQM מספקת את התשתית הארגונית והמתודולוגית ליצירת דינמיקה של שיפור מתמיד, תוך גיוס טכניקות מתחום "הפסיכולוגיה הארגונית" ו"תאוריית הארגון" (שינוי עמדות, החדרת שנויים ארגוניים, טפול במחסומי תקשורת פנים מפעלית, ניהול ישיבות של צוותי איכות), מתחום בקרת האיכות והסטטיסטיקה (ניתוח נתונים, תרשימי בקרה וכיצד לפרשם, ניתוחי פרטו, תכנון ניסויים, תכנון דגימה סטטיסטית) ומתחום הנדסת ייצור (ניתוח תהליכים, חקרי זמן, שפור תהליכים). שילובם של תחומי ידע שונים ומגוונים אלו הוא תנאי הכרחי להצלחת ההחדרה של גישת TQM. יועצים למפעלים שאינם דואגים לשלב ייעוץ ארגוני, הנדסי וסטטיסטי בעת החדרת הגישה, עושים עוול לקוחותיהם, ומקטינים בכך במידה רבה את סכויי ההצלחה של הגישה.

ו. השלכות לתעשיה הישראלית

"מהפיכת האיכות" מציגה אתגר לתעשיה הישראלית, וליכולתה להתחרות בהצלחה בשוק הבינלאומי. "התארגנות לאיכות" אשר תאפשר לתעשיות ישראליות לעמוד בתקני האיכות הנוקשים המקובלים כיום בעולם הינה תהליך מתמשך, אשר במפעל טיפוסי עשוי להימשך מספר שנים. התעשיה הישראלית ניצבת היום בפני אחד האתגרים הקשים בתולדותיה. ההכרה כי "עוד רבה הדרך, עוד רבה המלאכה" חייבת להנחות כל מנהל המתבונן באופן מפורח ב"מהפכת האיכות" העוברת כיום על מדינות מתועשות בעולם.

נספח ב'. תרשימי בקרה

1. הקדמה

תרשימי בקרה הם כלי סטטיסטי לאיתור סטיות משמעותיות במשתנים של תהליכים, עליהם אנו מעוניינים להפעיל בקרה סטטיסטית. עובדת היסוד, עליה מושתתים כל תרשימי הבקרה, היא קיומה של "השתנות טבעית", האופיינית לכל תהליך ממשי. אין בנמצא תהליך, או מערכת, יציבים לחלוטין, ובכל תופעה נוכל להבחין בתנודות מקריות, סביב ערך מרכזי כלשהוא (או סביב מספר ערכים מוגבל), היוצרות את "השונות הטבעית" של התופעה.

בתהליכי הייצור, לדוגמה, קיימות סטיות אקראיות במשתנים שונים של התהליך, כגון ריכוז החומרים השונים, מידת החומציות, אחוז הלחות ועוד. אחוז הפריטים העומדים בספציפיקציות הטכניות הנדרשות אינו קבוע, והוא משתנה מעת לעת, למרות שלא חל שינוי משמעותי כלשהוא בתהליכי הייצור. בעבודות המשרדיות (כגון הנהלת חשבונות), משתנה מעבודה אחת לרעותה מספר השגיאות שנעשות. במרבית המקרים, מכלול של גורמים, הנובעים ממקורות שאינם קשורים בתנאי התהליך, תורמים לסטיות המקריות, וסטיות אלו יוצרות את מה שאנו מכנים: "השונות הנורמלית של התהליך". חוסר ההומוגניות בטיב חומר הגלם ממנו מיוצרים החלקים, השתנות תנאי האקלים, בעיות אישיות של העובדים ואי הדייקנות הטבעית של המכונה המייצרת את הפריטים - עשויים לתרום לשונות הטבעית במימדים של החלקים המיוצרים.

מספר השגיאות בהדפסת מכתב, עלול להיות מושפע מעייפות הכתבנית, או מהענין שהיא מגלה בהדפסת המכתב. בבקרת איכות, עלול מספר הפגמים שמתגלה להשתנות מפריט לפריט, מחמת השונות הטבעית של תהליכי הייצור ושל חומרי הגלם, אך גם כתוצאה מהבדלים ביכולת ההבחנה של מבקר האיכות, או מעליות וירידות בכושר הריכוז החלות במשך יום העבודה.

כל הגורמים האלה הם גורמים אקראיים האחראים לחוסר יציבות מסויים בתהליך, אך אין הם משנים באופן משמעותי את תנאי התפקוד הרגילים, ובדרך כלל אין בידינו לפקח עליהם מבלי לשנות את התהליך עצמו, או את המערכת הקשורה בו (לדוגמה: הקטנת השונות הטבעית של תהליך כימי אפשרית ע"י התקנת מכשיר לבקרה אוטומטית). גורמים אלה כינינו לעיל: "סיבות כלליות", והטיפול בהם מבוצע במסגרת מאמצי שיפור האיכות של צוותי איכות.

ברם, לא כל סטיה נצפית בתהליך ניתן לראותה כמקרית ובמסגרת "ההשתנות הטבעית". לעיתים נובעת סטיה מהפרעה במערכת הגורמים הקובעים את תנאי העבודה הנורמליים של המערכת, והדבר מחייב בדיקה לאיתור הסיבה לשינוי, ולהחזרת המערכת לקדמותה.

בפני מבקר האיכות הנדרש להבטיח כי תהליך הייצור הוא יציב, ניצבת איפוא השאלה: מתי נובעת סטיה בתהליכים המבוקרים, או בסטטיסטיים שחושבו על סמך תצפיות - מחוסר היציבות הטבעי של התהליך (הסטיה אקראית בלבד), ומתי היא כה גדולה שיש מקום לחשד כי נבעה משינוי כלשהוא באחד הגורמים המשפיעים על התהליך עצמו?

תשובה לשאלה זאת ניתנת על ידי "בקרת התהליך הסטטיסטית" (SPC - Statistical Process Control).

העקרון המרכזי של הבקרה הסטטיסטית הוא כי קיימים גבולות מותרים ל"השתנות הטבעית" של התהליך המבוקר (או של סטטיסטיים מדגמיים), וכל חריגה מגבולות אלו מרמזת על שינוי מהותי בתנאי התהליך.

באמצעות תרשימי הבקרה נבנים איפוא סטנדרטים להשתנות הנורמלית של התהליך (או לסטטיסטיים

נספח ב' - 2

המחושבים על סמך מדגמים שנלקחו מהתהליך, ונקבעים "גבולות קריטיים" לסטיות המותרות. הגבולות נקבעים באופן כזה, שההסתברות כי סטיה אקראית תחרג מהן, הינה אפסית (0.27%). במידה ונמצאה סטיה שעברה את הגבולות הקריטיים, אף כי ההסתברות לכך בתנאים רגילים נמוכה, סביר להניח כי אין היא אקראית, וכי נבעה משינויים בתנאי העבודה הנורמליים של התהליך. באופן זה אנו מאתרים חריגות מכלל איזון סטטיסטי של משתנה מבוקר של תהליך, ומאפשרים מתן התרעה, שתביא לחפוש הסיבה לחריגה והשבת התהליך לתנאי עבודתו הנורמליים.

2. רקע תיאורטי

ההשתנות הטבעית של תהליך הייצור, עליה עמדנו בהקדמה, יוצרת פיזור טבעי בסטטיסטיים המחושבים ממדגמים של תצפיות, שנלקחו על משתני התהליך. למשל: ממדגמים שונים נקבל ממוצעים בעלי ערכים שונים והפיזור של ערכי הממוצעים מיוצג על ידי סטיית התקן שלהם:

$$\sigma_{\bar{x}} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$$

n - מס' התצפיות
σ - סטיית התקן של התהליך

אנו רואים, כי סטיות הממוצעים המדגמיים מ"הממוצע האמיתי" (התוחלת) תלויות בהשתנות הנורמלית של התהליך, σ.

הפיזור הטבעי של הסטטיסטי מיוצג ע"י "התפלגות הדגימה" שלו. בשעה ש"התפלגות הדגימה" של הסטטיסטי ידועה, והתהליך המבוקר נמצא בתנאי עבודה נורמלים, ניתן לקבוע גבולות סבירים ביניהם יפלו ערכי הסטטיסטי. למשל: כאשר התפלגות משתנה התהליך המבוקר היא נורמלית, קיימת ההסתברות של 99.73% כי ערכי הממוצעים המחושבים ממדגמים בגודל n יפלו בין הגבולות:

$$\mu \pm 3 \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$$

μ - תוחלת משתנה התהליך המבוקר
σ - סטיית התקן שלו

דבר זה יתקיים בקירוב גם כאשר משתנה התהליך אינו מפולג נורמלית (על פי "משפט הגבול המרכזי"). מכאן שההסתברות כי נקבל בתנאים רגילים ממוצע, הנופל מחוץ לתחום זה, היא 0.0027, ההסתברות אפסית לכל הדעות. קבלת ממוצע החורג מהגבולות שצינו, למרות שההסתברות לכך, על פי "התפלגות הדגימה" המשוערת, היא אפסית, מעוררת את החשד כי בפועל אין ההסתברות כה נמוכה, ומכאן שהתפלגות הממוצע, על פיה חישבנו את ההסתברות, אינה זאת אותה הינחנו מלכתחילה, וחל בה שינוי כלשהוא. השינוי בהתפלגות, המשקף למעשה שינוי בתנאי העבודה הנורמליים של התהליך, יכול לקרות באחת משתי דרכים (או שתיהן):

א. הערך המרכזי של ההתפלגות (הערך סביבו קיים פיזור של הממוצע) סטה בכיוון זה או אחר.

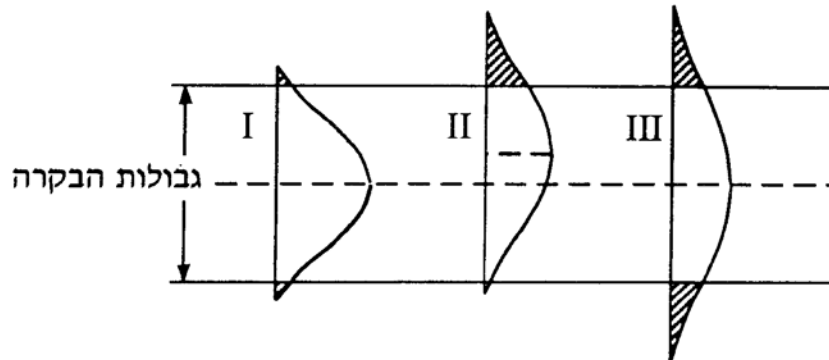
ב. חל גידול בשונות של ההתפלגות (ראה הערה ג' להלן).

שני השינויים האפשריים מוצגים בציור 1.

בכל מקרה, השינוי בהתפלגות הטבעית של הסטטיסטי, אשר הוסק מקבלת תוצאה קיצונית ובלתי מוסברת מהמדגם שנלקח - משקף שינוי בהתפלגות הטבעית של התהליך המבוקר, ויש לאתר את הסיבה

נספח ב' - 3

לשינוי, ולנקוט בצעדים מתקנים, אשר יחזירו את התהליך לתנאי עבודתו הנורמליים. הסיבות היוצרות שינוי בהתפלגות הסטטיסטית ועקב כך חריגה מגבולות הבקרה נקראות: "סיבות מיוחדות". השיקולים התיאורטיים בבניית תרשימי בקרה לסטטיסטיים אחרים (כגון תרשימי בקרה לפרופורציה, לסטיית התקן ועוד) - דומים במהותם.



ציור 1 - שינויים אפשריים בהתפלגות הממוצע המדגמי:

- I - התפלגות בתנאי עבודה נורמליים
 - II - הממוצע של התהליך גדל (השונות נשארה קבועה)
 - III - השונות של התהליך גדלה (הממוצע נשאר קבוע)
- השטח המקווקו מייצג את ההסתברות לקבל ממוצע החורג מגבולות הבקרה.

הערות:

- א. כל נטילת מדגם מתהליך, ובדיקה האם הסטטיסטי המחושב נופל בין גבולות הבקרה - הינה למעשה מבחן סטטיסטי, בו אנו מבקשים לקבוע האם חל שינוי בפרמטר התהליך המבוקר. אולם קיים הבדל טכני בין עריכת מבחן סטטיסטי כהילכתו, ובין אופן השימוש בתרשים בקרה: במבחן סטטיסטי אנו קובעים מראש את הסיכונים (α, β) הרצויים, שהם משתני החלטה, ולפיהם מחשבים את גודל המדגם הדרוש. משיקולים של שימוש נוח וקל בתרשים הבקרה, לא ניתן להרשות נטילת מדגמים גדולים (כפי שהיה אולי נדרש לו קבענו α ו- β רצויים), ולכן משתנה ההחלטה היחיד בעת בניית תרשים בקרה הוא גודל המדגם, n , כאשר גודל המדגם המקובל נע בין 5 ל-20 תצפיות.
- ב. קיימת הקבלה מלאה בין השגיאות האפשריות בקבלת החלטה כאשר מבחן סטטיסטי, ובין אלו האפשריות בעת השימוש בתרשים בקרה. הקבלה זאת מוצגת להלן:

תרשים בקרה

מבחן סטטיסטי

שגיאה מסוג 1:

קבלת החלטה כי "יש לנקוט צעדים מתקנים", למרות שהתהליך הוא תקין.
(הסטטיסטי המחושב נפל במקרה מחוץ לגבולות הבקרה).

שגיאה מסוג 2:

"דחיית H_0 ", למרות היותה נכונה
(הסטטיסטי המחושב נפל במקרה באזור הדחייה).

נספח ב' - 4

התוצאה של שגיאה זאת:

קבלת השערה בלתי נכונה.

התוצאה של שגיאה זאת:

ביצוע תיקונים מיותרים בתהליך, המביאים להגדלת השונות של התהליך, במקום להקטנה.

שגיאה מסוג 2:

"קבלת H_0 ", כאשר H_1 נכונה.
(הסטטיסטי המחושב נפל במקרה באזור הקבלה).

שגיאה מסוג 2:

קבלת החלטה כי "התהליך נמצא בבקרה, ואין צורך לבצע בו תיקונים", למרות שבפועל חלו שינויים בתהליך. (הסטטיסטי המחושב נפל במקרה בין גבולות הבקרה).

התוצאה של שגיאה זאת:

קבלת השערה בלתי נכונה.

התוצאה של שגיאה זאת:

ייצור מוצר באיכות גרועה.

ג. את השונות של תהליך מבוקר ניתן לפרק לשני מרכיבים:

"השונות הטבעית" - המייצגת סטיות אקראיות בתהליך, ונובעת ממכלול של גורמים בלתי רלוונטים לתהליך, אשר אף לא אחד מהם הוא בעל משקל מכריע בקביעת כוון סטיות התהליך וגודלן.

"השונות החריגה" - המייצגת סטיות בתהליך, שניתן לייחסן להשתנות של גורמים המשפיעים על התהליך, ושניתן לאתרם בנקל, כגון:

- הבדלים בין פועלים.

- הבדלים בין מכונות.

- הבדלים בין סוגי חומרים שונים.

- תקלות מכניות.

- סיבות מפריעות שונות (כגון: זרימה בלתי תקינה של חומרים).

השפעתם של גורמים כאלו מגדילה באופן ניכר את השונות הנצפית של התהליך, ובאופן עקיף - את שונות "התפלגויות הדגימה" של הסטטיסטיים, אשר באמצעותם אנו מעוניינים לבקר את התהליך (ומכאן גם את ההסתברות לסטיות חריגות). תרשימי הבקרה נועדו לאתר גורמים היוצרים "שונות חריגה" כדי לבטל את השפעתם, ולגרום לכך שהתהליך יימצא כל העת ב"בקרה סטטיסטית" (כלומר: "השונות הנצפית" תהיה מורכבת בעיקרה מה"שונות הטבעית" של התהליך). כדאי לציין, כי העובדה שניתן לפרק "שונות נצפית" של תופעה אקראית ל"שונות טבעית" ול"שונות חריגה", משמשת גם כבסיס לטכניקה הסטטיסטית של "ניתוח שונות", אשר דוגמאות לשימוש בה ניתנו בדפים קודמים.

3. הצגה כללית של תרשימי הבקרה

את תרשימי הבקרה הקיימים, ניתן לחלק לשתי קבוצות עיקריות:

א. תרשימי בקרה למשתנים, בהם הגורם עליו אנו מעוניינים לפקח הוא משתנה רציף שניתן למדידה, כגון: מימדי חלקים מיוצרים, הזמן הדרוש לביצוע עבודה מסויימת, ריכוז חומר בתהליך כימי, הטמפרטורה בתנור היתוך, משקל הפריט המיוצר, עלות הייצור של פריט, היקף מכירות חודשי ועוד.

ב. תרשימי בקרה לתכונות, בהם הגורם עליו אנו מעוניינים לפקח הוא הפרופורציה, או הקצב, בהם מופיעה תכונה מסויימת, כגון: אחוז הפגומים בסדרת ייצור, מספר הפגמים ליחידת שטח המתגלים בבדיקת שטח הפנים של זכוכית, או קצב מופע תקלות בקו הייצור.

כל אחת מקבוצות אלו מתחלקת חלוקה פנימית נוספת, בהתאם לפרמטר של התהליך עליו אנו מעוניינים לפקח.

לקבוצת תרשימי הבקרה למשתנים משתייכים שלושה תרשימי בקרה שכיחים:

1. תרשים בקרה לממוצע (תרשים X)

כאשר אנו מעוניינים לפקח על הממוצע של התהליך, ולהבטיח כי ההשתנות האקראית של התהליך תנוע סביב לערך המרכזי אליו הוא כוון - נשתמש בתרשים בקרה לממוצע. הערה: תרשים בקרה זה רגיש לשינויים בממוצע, אך אין הוא רגיש במיוחד לשינויים בסטיית התקן של התהליך, שאינם מלווים בשינוי משמעותי בממוצע התהליך (זאת למרות שכל הגדלה בשונות של התהליך - תביא להגדלת השונות של התפלגות הממוצע, ולהגדלת ההסתברות לקבל ממוצעים החורגים מגבולות הבקרה).

2. תרשים בקרה לטווח (תרשים R)

תרשים זה עוקב אחר רמת היציבות של התהליך, ובא להבטיח כי "השונות הרגעית" שלו לא השתנתה. התרשים אינו יכול לאתר הגדלת השונות של התהליך עקב שינויים בממוצע. בדרך כלל, נהוג להשתמש בתרשים בקרה לטווח בצמוד לתרשים הבקרה לממוצע, ובפועל זהו השימוש העיקרי של תרשים R. כידוע, גבולות הבקרה לממוצע מחושבים על סמך הטווח הממוצע. כאשר זה משתנה, אין עוד כל משמעות לגבולות הבקרה של תרשים X. לכן, חשוב להקפיד ולציין כי יש משמעות לרישום ערכים בתרשים X רק לאחר שוודאנו כי הטווח של התהליך לא השתנה (הטווח המדגמי נמצא בין גבולות הבקרה של תרשים R).

3. תרשים בקרה לסטיית התקן (תרשים S)

כאשר יש עניין בשמירה על יציבות התהליך (או המערכת), ואנו מבקשים להבטיח כי השינויים שחלים בשונות הטבעית שלו הם אקראיים בלבד, ואינם נובעים מ"סיבות מיוחדות", נשתמש בתרשים בקרה לסטיית התקן. יצוין, כי למרות שתרשים זה רגיש יותר לשינויים בשונות הטבעית של התהליך מאשר תרשים הבקרה לטווח, מחייב השימוש בו חישוב סטיות תקן של מדגמים, המסובך לאין שיעור ממצאת הטווח של המדגם. ("קריאה מקסימלית פחות קריאה מינימלית"). מסיבה זאת, השימוש בתרשים בקרה לסטיית התקן מקובל פחות.

לקבוצת תרשימי בקרה לתכונות שייכים שני סוגים של תרשימי בקרה שכיחים:

1. תרשים בקרה לפרופורציה (תרשים P)

כאשר אנו מעוניינים לפקח על הפרופורציה, בה מופיעה תכונה מסוימת, נשתמש בתרשים בקרה לפרופורציה¹. לדוגמה: אחוז הפריטים הפגומים בסדרת ייצור.

2. תרשים בקרה למספר המופעים ביחידה (תרשים U)

כאשר הגורם, עליו אנו מעוניינים לפקח, הוא קצב (או צפיפות) ההתרחשות של תופעה מסוימת, נשתמש בתרשים הבקרה למספר המופעים ליחידה². למשל: מספר הפגמים ליחידת שטח, המתגלים בבדיקת שטח הפנים של מוצר תעשייתי כלשהוא, מספר הדרישות המגיעות למחסן המרכזי ביחידת זמן, מספר הקלקולים היומי של מכשיר בדיקה רגיש, מספר שיחות הטלפון המגיעות למרכזיית טלפונים ביחידת זמן, מספר החוטים הנקרעים ביחידת זמן במכונת טוויה, מספר שגיאות ההדפסה המתגלות בדף מודפס, מספר תאונות העבודה בחודש.

1. תרשים זה מניח כי התפלגות הפרופורציה היא בינומית.

2. תרשים זה מניח כי התרחשות התופעה היא בעלת התפלגות פואסונית.

4. תאור תרשים הבקרה

תרשים הבקרה מורכב ממערכת צירים, אשר בה מייצג הציר האופקי את המספר הסידורי (או זמן הנטילה) של המדגם, ואילו הציר האנכי מייצג את ערך הסטטיסטי (לדוגמה: ממוצע, פרופורציה, טווח או סטיית התקן), המחושב מהמדגם.

התרשים עצמו מורכב משלושה קווים אופקיים:

קו אמצעי - העובר בגובה השווה לערך הממוצע (דהיינו, התוחלת) של המשתנה עליו אנו מפקחים (למשל: בתרשים בקרה לטווח, יהיה הקו האמצעי בגובה השווה לטווח הממוצע, שחושב ממדגמים ששמשו לאמוד את תוחלת הטווח בעת בניית תרשים הבקרה).

קו עליון - שהוא גבול הבקרה העליון, הנמצא במרחק שלוש סטיות תקן מעל הקו האמצעי, כאשר סטיית התקן היא של הסטטיסטי, המשמש לביצוע הבקרה. ערכה של סטיית התקן יהיה תלוי גם בגודל המדגמים, בהם נשתמש לביצוע הבקרה הסטטיסטית. לכן יש צורך, בעת בניית גבולות הבקרה, להשתמש במקדמים התלויים בגודל המדגם (ראה הסעיף הבא).

קו תחתון - שהוא גבול הבקרה התחתון, הנמצא במרחק שלוש סטיות תקן מתחת לקו האמצעי.

5. תהליך בניית תרשימי בקרה

שיטת הבניה של תרשים הבקרה תלויה במידע המצוי ברשותנו על התהליך המבוקר.

כאשר הפרמטרים של התהליך ידועים (למשל ידועות התוחלת וסטיית התקן), ניתן לקבוע את גבולות הבקרה והקו האמצעי ללא קושי, באמצעות הנוסחאות והמקדמים המופיעים בטבלאות שבסוף נספח זה. במקרה דנן אין צורך באיסוף אינפורמציה על התהליך לצורך בניית תרשים הבקרה. כאשר אין מידע מוקדם על התהליך, הכרחי להגיע לאומדנים על הפרמטרים שלו, והדבר נעשה ע"י נטילת מספר מדגמים מוקדמים שבאמצעותם נבנים גבולות הבקרה.

בדרך כלל, נהוג לקחת מעל ל- 20 מדגמים בזמנים שונים, כאשר כל מדגם מונה מספר קבוע של תצפיות. גודל המדגם, n (הזהה לגודל המדגמים שישמשו לביצוע הבקרה גופה), תלוי בגודל הסטיה, אותה אנו מתירים משיקולים טכנולוגיים. ברור, כי נדרוש שהסטיה, אותה יגלה תרשים הבקרה, תהיה קטנה מהסטיה הטכנולוגית המקסימלית המותרת. לדוגמה: אם בייצור זכוכית איננו מתירים שהסטיה בתוחלת תעלה על ± 1 מ"מ, נדרוש כי המרחק בין גבולות הבקרה, בתרשים בקרה לממוצע, יבטיח איתור סטיה כזאת (או סטיה גדולה ממנה) בהסתברות מספיק גבוהה. אם לאחר בניית התרשים נמצא, כי המרחק בין גבולות הבקרה גדול מדי כדי להבטיח את ההסתברות הדרושה, יהי הכרח להגדיל את n (מספר התצפיות למדגם), ולבנות מחדש את תרשים הבקרה. אחד המדדים הרלוונטיים לעניין זה הוא ה- ARL, שהוצג קודם.

ההסתברות כי תרשים הבקרה יאתר סטיה הגדולה מהסטיה המקסימלית המותרת היא $1-\beta$. במבחני השערות סטטיסטיות נקראת הסתברות זאת: "עוצמת המבחן", והיא ניתנת בנקל לחישוב בכל מקרה ומקרה (ראה דוגמה להלן).

שלבי בניית תרשים הבקרה, כאשר הפרמטרים של התהליך אינם ידועים, הם:

- קבע את גודל המדגם שישמש לבצוע הבקרה, n .
- טול מספר מדגמים בני n תצפיות כל אחד (20 עד 25 מדגמים).
- מצא, באמצעות המדגמים, את האומדנים הדרושים לבניית תרשים בקרה (ראה טבלה 1).
- בנה את תרשים הבקרה באמצעות המקדמים של טבלה 2.

נספח ב' - 7

בדוק אם המדגמים, אשר שמשו לבניית תרשים הבקרה, נילקחו הם עצמם בתנאי עבודה נורמליים, ואינם חורגים מגבולות הבקרה. לשם כך סמן כל מדגם כנקודה בתרשים, ובדוק אם היא נמצאת בין גבולות הבקרה. אם נמצא כי הסטטיסטי, שחושב ממדגם כלשהוא, חרג מגבולות אלו, עלינו להוציאו מכלל המדגמים, ולחשב מחדש את גבולות הבקרה והקו האמצעי.

6. אופן ביצוע הבקרה

- טול מדגם בן n תצפיות.
 - מצא מהמדגם את ערך הסטטיסטי, המשמש לביצוע הבקרה.
 - סמן את הערך שחושב בתרשים הבקרה.
- אם הנקודה שסומנה מצויה בין גבולות הבקרה - התהליך נמצא בבקרה. אחרת - יש לבדוק את המערכת, ולאתר את הסיבה לחריגה מגבולות הבקרה.

הערות:

1. כפי שצוין קודם, כאשר משתמשים בתרשים $\bar{X}$ יש קודם לסמן את הנקודה המתאימה בתרשים R .
2. לעיתים אנו עשויים לגלות כי פיזור הנקודות סביב לקו האמצעי אינו אקראי. למשל: קיים ריכוז של נקודות לא חריגות קרוב מאד לגבול הבקרה. גם במקרה זה, מן הדין לבדוק אם התהליך נמצא בבקרה, שכן ריכוז של נקודות קרוב לגבול הבקרה - הינו בלתי מסתבר בתנאים נורמליים של התהליך.

כדי להיווכח בכך, הבה נחשב את ההסתברות כי הממוצעים של שני מדגמים עוקבים נפלו, בתרשים בקרה למוצע, בתחום שבין $\mu \pm 2\sigma_{\bar{X}}$ ובין $\mu \pm 3\sigma_{\bar{X}}$.

ההסתברות שממוצע המדגם יהיה מרוחק יותר מאשר $\pm 2\sigma_{\bar{X}}$ מהתוחלת (μ) היא:

$$\Pr (|\bar{X} - \mu| > 2\sigma_{\bar{X}}) = 2 [1 - \Phi(2)] = 2 [1 - 0.97725] = 0.04550$$

(אנו מניחים, בהתאם למשפט הגבול המרכזי, כי התפלגות הממוצע היא נורמלית. $\Phi(2)$ - ערך שנלקח מטבלת ההתפלגות הנורמלית סטנדרטית עבור $Z = 2$).

ההסתברות שהממוצע יהיה מרוחק יותר מאשר $\pm 3\sigma_{\bar{X}}$ מהתוחלת היא:

$$\Pr (|\bar{X} - \mu| > 3\sigma_{\bar{X}}) = 2 [1 - 0.99865] = 0.00270$$

לכן, ההסתברות שמרחק הממוצע המדגמי מהקו האמצעי יהיה בין $\pm 2\sigma_{\bar{X}}$ ובין $\pm 3\sigma_{\bar{X}}$ (מרחק גבול הבקרה) היא: $0.04550 - 0.00270 = 0.0428$

ההסתברות שהממוצעים של שני מדגמים עוקבים, יהיו מרוחקים יותר מ- $\pm 2\sigma_{\bar{X}}$ מהקו האמצעי אך עדיין ישארו בין גבולות הבקרה היא, עקב אי-התלות בין המדגמים: $0.0428 \times 0.0428 = 0.00183$

כלומר: הסתברות נמוכה מאד.

ברור כי ההסתברות שהממוצעים של יותר משני מדגמים עוקבים יהיו קרובים לגבולות הבקרה, בתנאים נורמליים של התהליך - נמוכה אף יותר. בפרק 4 הבאנו מספר קריטריונים על פיהם ניתן לשפוט תהליך כ"בלתי יציב" אף כי לא נמצאו נקודות חורגות מגבולות הבקרה.

7. דוגמאות חישוביות

דוגמה 1

חוקר עבודה מתבקש לקבוע תקן זמן לייצור פריט מסויים. לצורך זה ביצע 100 מדידות זמנים, אשר הממוצע שלהן שימש כאומדן לתקן הדרוש. לאחר זמן התבקש על ידי מנהל המחלקה בה מיוצר הפריט לבדוק מדי פעם האם חל שינוי בתקן, והאם לא השתנו תנאי העבודה בתחנה בה מיוצר הפריט. הצע שיטה פשוטה ונוחה לביצוע הבדיקות הנדרשות.

פתרון :

כדי להפעיל בקרה שוטפת על זמן הייצור הממוצע של הפריט - נבנה "תרשים בקרה לממוצע", דבר המחייב כאמור להפעיל גם תרשים בקרה לטווח. בנוסף, ישמש תרשים R גם כדי להבטיח כי תנאי העבודה בתחנה נשארו בעינם, והתחנה מתפקדת באופן נורמלי (כזכור, כל הפרעה בתיפקוד הנורמלי תביא להגדלת השונות של המשתנה המבוקר).

נקבע כי המדגמים שישמשו לביצוע הבקרה יהיו בני 5 מדידות כל אחד. כיוון שאין נתונים מוקדמים על תוחלת זמן הייצור ועל תוחלת טווח ההשתנות של זמני הייצור, יש צורך לאמוד פרמטרים אלו באמצעות מדגמים מוקדמים. לצורך בניית תרשימי הבקרה חולקו איפוא 100 המדידות, אשר נלקחו לצורך בניית התקן, ל-20 קבוצות בנות 5 תצפיות כל אחת. כל קבוצה של מדידות נלקחה באותה תקופת זמן ובאותם תנאי עבודה (Rational Subgroups), וחושבו הממוצע והטווח של כל קבוצה. נתונים אלו מוצגים בטבלאות א' ב' ו- ג'.

טבלה א'. 100 מדידות זמנים לעבודה מחזורית (בדקות), שנלקחו ב-20 מדגמים בני 5 תצפיות כל אחד.

מדגם מספר									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1.98	2.24	1.95	1.83	1.94	2.12	1.79	2.16	2.21	2.26
1.75	2.09	1.72	1.91	1.42	2.38	1.86	2.12	1.72	1.84
2.01	1.84	2.04	1.68	2.08	2.19	2.06	2.01	2.01	1.87
2.09	2.25	2.13	1.94	2.26	1.98	1.70	1.96	2.05	1.82
2.04	2.09	2.08	2.02	1.88	2.30	2.12	2.24	2.04	2.29

מדגם מספר									
11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1.81	1.76	2.17	2.03	2.43	2.55	2.10	1.78	1.63	2.18
2.10	1.79	1.99	1.92	1.84	2.17	2.26	1.88	2.23	1.92
2.19	2.06	2.25	2.03	1.87	2.00	1.87	1.57	1.71	1.98
2.06	1.82	2.05	2.07	2.20	2.31	1.89	1.84	2.08	1.99
1.84	2.44	2.08	2.08	2.14	2.14	1.90	1.62	2.02	1.99

נספח ב' - 9

טבלה ב'. ממוצעים של 20 המדגמים. (ממוצעי 10 המדגמים הראשונים - בשורה העליונה).

1.97	2.10	1.98	1.88	1.92	2.19	1.91	2.10	2.01	2.02
2.00	1.97	2.11	2.02	2.10	2.24	2.00	1.74	1.93	2.01

טבלה ג'. הטווח של כל אחד מ-20 המדגמים. (הטווחים של 10 המדגמים הראשונים - בשורה העליונה)

0.34	0.41	0.41	0.34	0.84	0.40	0.42	0.28	0.49	0.47
0.38	0.68	0.26	0.16	0.59	0.55	0.39	0.31	0.60	0.26

$$\begin{aligned} \bar{X} &= \sum x_i / 20 = 2.01 \text{ דקות} & \bar{x}_i &= \text{ממוצע הממוצעים הוא:} \\ \bar{R} &= \sum R_i / 20 = 0.43 \text{ דקות} & R_i &= \text{הטווח הממוצע הוא:} \end{aligned}$$

באמצעות המקדמים של טבלה 2 והנוסחאות של טבלה 1, נמצא את גבולות הבקרה הבאים:

$$\begin{aligned} \bar{X} + A_2 \bar{R} &= 2.01 + 0.577 \times 0.43 = 2.26 \text{ דקות} & \bar{X} &= \text{ממוצע} \\ D_4 \bar{R} &= 2.115 \times 0.43 = 0.91 & \bar{R} &= \text{טווח} \end{aligned}$$

$$\bar{X} = 2.01 \quad \bar{R} = 0.43 \quad \text{קו אמצעי:}$$

$$\begin{aligned} \bar{X} - A_2 \bar{R} &= 2.01 - 0.577 \times 0.43 = 1.76 \text{ דקות} & \bar{X} &= \text{ממוצע} \\ D_3 \bar{R} &= 0 \times 0.43 = 0 & \bar{R} &= \text{טווח} \end{aligned}$$

תרשים בקרה לממוצע, יחד עם ממוצעי המדגמים לבנייתו - נתון בציור 2.

נמצא, כי פרט לממוצע של מדגם 18, הנמוך מגבול הבקרה התחתון, שאר הממוצעים נופלים כולם בין גבולות הבקרה, וניתן איפוא להניח כי המדידות ששימשו לחישובם - נלקחו בתנאי עבודה נורמליים. נוציא את מדגם 18 מכלל המדגמים המשמשים לבניית תרשימי הבקרה, ובטרם נחשב גבולות בקרה חדשים לממוצע, נבנה את תרשימי הבקרה לטווח, על מנת לבדוק אם אין מדגמים נוספים שנלקחו בתנאי עבודה בלתי שגורתיים.

בציור 3 נתון תרשימי בקרה לטווח, יחד עם הערכים שהתקבלו מ-20 המדגמים.

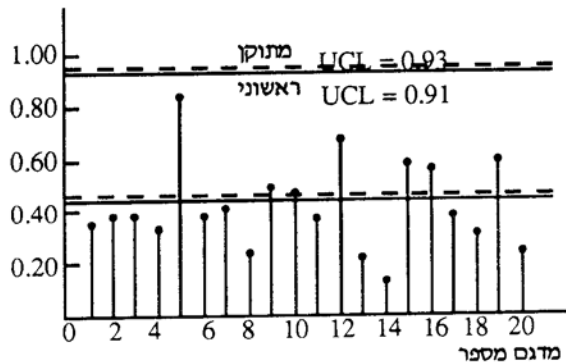
רואים כי כל המדגמים, אשר שמשו לבניית התרשים, נלקחו בתנאי עבודה נורמליים (לו נמצאה תצפית חריגה בתרשים R הינו משמיטים אותה ואת התצפית המקבילה בתרשים X ומחשבים מחדש את גבולות

נספח ב' - 10

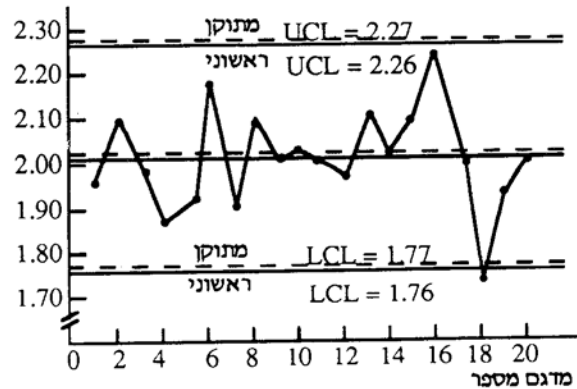
הבקרה בשני התרשימים). כיוון שמצאנו קודם לכן כי רק מדגם 18 נמצא מחוץ לגבולות הבקרה, נשמיטו מכלל המדגמים המשמשים לבניית התרשימים, ונחשב מחדש את ממוצע הממוצעים ואת הטווח הממוצע.

נמצא: $\bar{X} = 2.02$ דקות

$\bar{R} = 0.44$ דקות



ציור 3: תרשים בקרה לטווח



ציור 2: תרשים בקרה לממוצע

לכן גבולות הבקרה החדשים הם:

טווח	ממוצע	
0.93	2.27	גבול בקרה עליון
0.44	2.02	קו אמצעי
0	1.77	גבול בקרה תחתון

(הקו האמצעי וגבולות הבקרה המתוקנים מסומנים בציורים).

דוגמה 2

במפעל זכוכית מיוצרת זכוכית בטחון בעובי 20 מ"מ. ידוע כי סטיית התקן של עובי הזכוכית היא 0.5 מ"מ, והטולרנס הטכנולוגי המותר הוא: ± 1.5 מ"מ.

כדי להפעיל בקרה על התהליך, נבנה תרשים בקרה לעובי הזכוכית, ואחת לשעתיים ניטל מדגם של 16 מדידות עובי אקראיות, והממוצע נרשם בתרשים הבקרה.

כאשר חל שינוי של ± 0.2 מ"מ בתוחלת, מצא:

א. מהי ההסתברות כי תרשים הבקרה יתריע על כך (דהיינו: יתקבל ממוצע מדגמי החורג מגבולות הבקרה)?

ב. כמה מדגמים בממוצע ילקחו עד לקבלת המדגם החריג הראשון?

ג. מהו גודל המדגם הדרוש כדי להבטיח הסתברות של 99% לפחות כי תרשים הבקרה יתריע על החריגה במדגם יחיד?

פתרון

א. גבולות הבקרה של תרשים הבקרה נמצאים במרחק של:

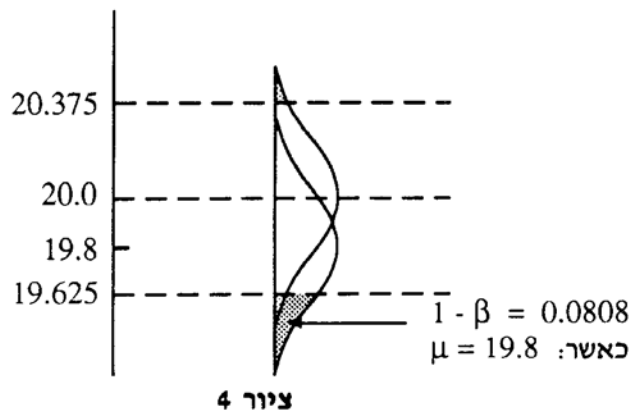
$$3\sigma_{\bar{x}} = \pm 3 \frac{0.5}{\sqrt{16}} = \pm 0.375 \text{ מ"מ}$$

מהקו האמצעי (ראה ציור 4).

נניח שתוחלת התהליך השתנתה מ- 20 מ"מ ל- 19.8 מ"מ (שינוי של -0.2 מ"מ). אזי, ההסתברות שהממוצע המדגמי יהיה נמוך מגבול הבקרה התחתון (ההסתברות לאתר את השינוי שחל) היא:

$$\Pr(\bar{X} \leq 19.625) = \Pr\left(Z \leq \frac{19.625 - 19.8}{0.5 / \sqrt{16}}\right) = \Pr(Z \leq -1.4) = 0.0808$$

ערכי Z - מטבלת ההתפלגות הנורמלית סטנדרטית.
(ההסתברות שהממוצע יהיה גדול מגבול הבקרה העליון - היא זניחה). ברור, כי אם השינוי שחל בתוחלת גדול יותר - ההסתברות לאתרו גדלה בהתאם.



ב. כיוון שההסתברות לחריגה במדגם בודד היא 0.0808, מספר המדגמים הממוצע שניטול עד לקבלת ממוצע חריג לראשונה (טווח ההתרעה) הוא :

$$ARL = \frac{1}{0.0808} = 12.4 \text{ מדגמים}$$

ג. נניח שנבחר מדגם בגודל n . אזי גבול הבקרה התחתון יהיה:

$$\mu - 3\sigma_{\bar{X}} = 20 - 3 \frac{0.5}{\sqrt{n}}$$

כדי שההסתברות לאתר סטיה של 0.2 - מ"מ בתוחלת במדגם יחיד תהיה 99% צריך להתקיים:

$$\Pr\left(\bar{X} \leq 20 - 3 \frac{0.5}{\sqrt{n}}\right) = \Pr\left(Z \leq \frac{20 - \frac{1.5}{\sqrt{n}} - 19.8}{0.5 / \sqrt{n}}\right) = 0.99$$

$$0.2 \sqrt{n} = 2.665 \quad \text{כיוון ש- } Z_{0.99} = 2.33 \text{ נמצא:}$$

$$n = 177.6 \sim 178$$

טבלה 1. טבלה לבניית תרשימי בקרה

תרשים בקרה						
למס' מופעים C-	לפרופורציה - p	לסטיית התקן - σ_x	לטווח - R	לממוצע - μ_x		
$C + 3\sqrt{C}$	$p + 3\sqrt{\frac{p(1-p)}{n}}$	$B_2 \sigma_x$	$D_2 \sigma_x$	$\mu_x + A\sigma_x$	גבול בקרה עליון	הפרמט- רים של התהליך ידועים
C	p	σ_x	$d_2 \sigma_x$	μ_x	קו אמצעי	
$C - 3\sqrt{C}$	$p - 3\sqrt{\frac{p(1-p)}{n}}$	$B_1 \sigma_x$	$D_1 \sigma_x$	$\mu_x - A\sigma_x$	גבול בקרה תחתון	
1 מצא את מספר המופעים ליחידה בכל מדגם - C_i	1 חשב את פרופורציית המקרים בכל מדגם - P_i	1 חשב את סטיית התקן של כל מדגם - S_x	1 חשב את סטיית התקן של כל מדגם (קריאה) מקסימלית פחות קריאה מינימלית - R_i	1 חשב את הממוצע של כל מדגם - $\bar{X}_i$ 2 חשב את הטווח של כל מדגם - R_i 3 חשב את ממוצע הממוצעים - $\bar{\bar{X}}$ 4 חשב את הטווח הממוצע - $\bar{\bar{R}}$	חשב את האומדנים הבאים:	הפרמט- רים של התהליך אינם ידועים
2 חשב את מספר המופעים הממוצע ליחידה - $\bar{C}$	2 חשב את הפרופורציה הממוצעת - $\bar{p}$	2 חשב את סטיית התקן הממוצעת - $\bar{S}_x$	2 חשב את הטווח הממוצע - $\bar{R}$			
$\bar{C} + 3\sqrt{\bar{C}}$	$\bar{p} + 3\sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{n}}$	$B_4 \bar{S}_x$	$D_4 \bar{R}$	$\bar{X} + A_2 \bar{R}$	גבול בקרה עליון	
$\bar{C}$	$\bar{p}$	$\bar{S}_x$	$\bar{R}$	$\bar{X}$	קו אמצעי	
$\bar{C} - 3\sqrt{\bar{C}}$	$\bar{p} - 3\sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{n}}$	$B_3 \bar{S}_x$	$D_3 \bar{R}$	$\bar{X} - A_2 \bar{R}$	גבול בקרה תחתון	

הערה: גבולות בקרה לתרשים בקרה לממוצע, כאשר התוחלת אינה ידועה, ניתן גם לקבל על ידי

החלפת $\bar{R}$ ב- $\bar{S}_x$ והחלפת A_2 ב- A_1 .

נספח ב' - 13

טבלה 2 : מקדמים לבניית תרשימי בקרה (הנוסחאות החשוביות - ראה טבלה 1)

		ת.ב. לממוצע			תרשים בקרה לסטיית התקן					תרשים בקרה לטווח							
גודל מדגם	מקדמים לגבולות הבקרה			מקדמים לקו האמצ.		מקדמים לגבולות הבקרה				מקדמים לקו האמצ.		מקדמים לגבולות הבקרה					
n	A	A ₁	A ₂	c ₂	1/c ₂	B ₁	B ₂	B ₃	B ₄	d ₂	1/d ₂	d ₃	D ₁	D ₂	D ₃	D ₄	
2	2.121	3.760	1.880	0.5642	1.7725	0	1.843	0	3.267	1.128	0.8865	0.853	0	3.686	0	3.267	
3	1.732	2.394	1.023	0.7236	1.3820	0	1.858	0	2.568	1.693	0.5907	0.888	0	4.358	0	2.575	
4	1.500	1.880	0.729	0.7979	1.2533	0	1.808	0	2.266	2.059	0.4857	0.880	0	4.698	0	2.282	
5	1.342	1.596	0.577	0.8407	1.1894	0	1.756	0	2.089	2.326	0.4299	0.864	0	4.918	0	2.115	
6	1.225	1.410	0.483	0.8686	1.1512	0.026	1.711	0.030	1.970	2.534	0.3946	0.848	0	5.078	0	2.004	
7	1.134	1.277	0.419	0.8882	1.1259	0.105	1.672	0.118	1.882	2.704	0.3698	0.833	0.205	5.203	0.076	1.924	
8	1.061	1.175	0.373	0.9027	1.1078	0.167	1.638	0.185	1.815	2.847	0.3512	0.820	0.387	5.307	0.136	1.864	
9	1.000	1.094	0.337	0.9139	1.0942	0.219	1.609	0.239	1.761	2.970	0.3367	0.808	0.546	5.394	0.184	1.816	
10	0.949	1.028	0.308	0.9227	1.0837	0.262	1.584	0.284	1.716	3.078	0.3249	0.797	0.687	5.469	0.223	1.777	
11	0.905	0.973	0.285	0.9300	1.0753	0.299	1.561	0.321	1.679	3.173	0.3152	0.787	0.812	5.534	0.256	1.744	
12	0.866	0.925	0.266	0.9359	1.0684	0.331	1.541	0.354	1.646	3.258	0.3069	0.778	0.924	5.592	0.284	1.716	
13	0.832	0.884	0.249	0.9410	1.0627	0.359	1.523	0.382	1.618	3.336	0.2998	0.770	1.026	5.646	0.308	1.692	
14	0.802	0.848	0.235	0.9453	1.0579	0.384	1.507	0.406	1.594	3.407	0.2935	0.762	1.121	5.693	0.329	1.671	
15	0.775	0.816	0.223	0.9490	1.0537	0.406	1.492	0.428	1.572	3.472	0.2880	0.755	1.207	5.737	0.348	1.652	
16	0.750	0.788	0.212	0.9523	1.0501	0.427	1.478	0.448	1.552	3.532	0.2831	0.749	1.285	5.779	0.364	1.636	
17	0.728	0.762	0.203	0.9551	1.0470	0.445	1.465	0.466	1.534	3.588	0.2787	0.743	1.359	5.817	0.379	1.621	
18	0.707	0.738	0.194	0.9576	1.0442	0.461	1.454	0.482	1.518	3.640	0.2747	0.738	1.426	5.854	0.392	1.608	
19	0.688	0.717	0.187	0.9599	1.0418	0.477	1.443	0.497	1.503	3.689	0.2711	0.733	1.490	5.888	0.404	1.596	
20	0.671	0.697	0.180	0.9619	1.0396	0.491	1.433	0.510	1.490	3.735	0.2677	0.729	1.548	5.922	0.414	1.586	
21	0.655	0.679	0.173	0.9638	1.0376	0.504	1.424	0.523	1.477	3.778	0.2647	0.724	1.606	5.950	0.425	1.575	
22	0.640	0.662	0.167	0.9655	1.0358	0.516	1.415	0.534	1.466	3.819	0.2618	0.720	1.659	5.979	0.434	1.566	
23	0.626	0.647	0.162	0.9670	1.0342	0.527	1.407	0.545	1.455	3.858	0.2592	0.716	1.710	6.006	0.443	1.557	
24	0.612	0.632	0.157	0.9684	1.0327	0.538	1.399	0.555	1.445	3.895	0.2567	0.712	1.759	6.031	0.452	1.548	
25	0.600	0.619	0.153	0.9696	1.0313	0.548	1.392	0.565	1.435	3.931	0.2544	0.709	1.804	6.058	0.459	1.541	
>25	$\frac{3}{\sqrt{n}}$	$\frac{3}{\sqrt{n}}$				*	**	*	**								

* $1 - \frac{3}{\sqrt{2n}}$

** $1 + \frac{3}{\sqrt{2n}}$

טבלה 3. נוסחאות ומקדמים לבניית תרשימי בקרה לחציון ולתצפיות בודדות.

גודל מדגם	תרשימים בקרה לחציון (Me)	תרשימים בקרה לתצפיות בודדות
n	$\hat{A}_2$	E_2
2	1.880	2.660
3	1.187	1.772
4	0.796	1.457
5	0.691	1.290
6	0.548	1.184
7	0.508	1.109
8	0.433	1.054
9	0.412	1.010
10	0.362	0.975

גבולות בקרה לתצפיות בודדות :

$$UCL : \bar{X} + E_2 \bar{R}$$

$$LCL : \bar{X} - E_2 \bar{R}$$

גבולות בקרה לחציון :

$$UCL : \bar{Me} + \hat{A}_2 \bar{R}$$

$$LCL : \bar{Me} - \hat{A}_2 \bar{R}$$

$\bar{X}$ - הממוצע של ממוצעי K מדגמים

$\bar{R}$ - הטווח הממוצע של K מדגמים

(כאשר הטווח של כל מדגם הוא

הטווח הנע של n התצפיות האחרונות)

$\bar{Me}$ - החציון הממוצע של K מדגמים

$\bar{R}$ - הטווח הממוצע של K מדגמים

הערות :

1. כל אחד מהתרשימים יופעל במקביל לתרשימים בקרה לטווח (אופן בניית התרשימים - ראה טבלאות קודמות)

$$3 \hat{\sigma} = 3 (\bar{R} / d_2) = E_2 \bar{R} \quad 2$$

3. n עבור תרשימים בקרה לתצפיות בודדות ותרשימים הטווח הנלווה הינו גודל הקבוצה המשמשת להערכת הטווח הנע. למשל: אם בכל תצפית מחושב הטווח על פי שלוש התצפיות האחרונות: $n = 3$.

CONTENTS



ii	THE MALCOLM BALDRIGE NATIONAL QUALITY AWARD: A PUBLIC-PRIVATE PARTNERSHIP
1	INTRODUCTION
2	DESCRIPTION OF THE 1995 AWARD CRITERIA
2	AWARD CRITERIA PURPOSES
2	CORE VALUES AND CONCEPTS
5	AWARD CRITERIA FRAMEWORK
6	DESCRIPTION OF CATEGORIES, ITEMS, AND AREAS TO ADDRESS
15	KEY CHARACTERISTICS OF THE AWARD CRITERIA
16	LINKAGE OF THE CRITERIA TO KEY BUSINESS ISSUES
18	CHANGES FROM THE 1994 AWARD CRITERIA
18	KEY THEMES STRENGTHENED IN THE 1995 CRITERIA
20	1995 AWARD EXAMINATION CRITERIA — ITEM LISTING
21	1995 AWARD EXAMINATION CRITERIA
21	1.0 LEADERSHIP
23	2.0 INFORMATION AND ANALYSIS
25	3.0 STRATEGIC PLANNING
27	4.0 HUMAN RESOURCE DEVELOPMENT AND MANAGEMENT
30	5.0 PROCESS MANAGEMENT
34	6.0 BUSINESS RESULTS
36	7.0 CUSTOMER FOCUS AND SATISFACTION
40	SCORING SYSTEM: APPROACH, DEPLOYMENT, RESULTS
41	SCORING GUIDELINES
42	1995 EXAMINATION RESPONSE GUIDELINES
47	ELIGIBILITY CATEGORIES AND RESTRICTIONS
49	HOW TO ORDER COPIES OF 1995 AWARD MATERIALS
49	FEES FOR THE 1995 AWARD CYCLE
50	HOW TO ORDER AWARD EDUCATIONAL MATERIALS
50	QUEST FOR EXCELLENCE VII CONFERENCE



INTRODUCTION

The Malcolm Baldrige National Quality Award is an annual Award to recognize U.S. companies for business excellence and quality achievement.

The Award promotes:

- awareness of quality as an increasingly important element in competitiveness,
- understanding of the requirements for performance excellence, and
- sharing of information on successful performance strategies and the benefits derived from implementation of these strategies.

Award Participation

The Award has three eligibility categories:

- Manufacturing companies
- Service companies
- Small businesses

Awards may be given in each category each year. Award recipients may publicize and advertise their Awards. In addition to publicizing the receipt of the Award, recipients are expected to share information about their successful performance strategies with other U.S. organizations.

Companies participating in the Award process are required to submit application packages that include completion of the Award Examination.

The Award Examination

The Award Examination is based upon performance excellence criteria created through a public-private partnership. In responding to these criteria, each applicant is expected to provide information and data on the company's improvement processes and results. Information and data submitted must be adequate to demonstrate that the applicant's approaches could be replicated or adapted by other companies.

The Award Examination is designed not only to serve as a reliable basis for making Awards but also to permit a diagnosis of each applicant's overall management system.

The Application Package

A complete Application Package consists of several components. Detailed information and the necessary forms are contained in the Application Forms and Instructions document. Ordering instructions for this document are given on page 49.

The objective of the Application Package is to provide sufficient information on management of products and services and results of improvement processes to permit a rigorous evaluation by the Board of Examiners. The Application Package consists of: an approved Eligibility Determination Form, with a listing of applicant company sites; a completed Application Form; a Business Overview, addressing the applicant's key business factors; the Application Report, responding to all Award Examination Criteria; and, Supplemental Sections, submitted by applicants whose applications include units that are in different businesses.

Application Review

Applications are reviewed and evaluated by members of the Board of Examiners in a four-stage process:

- Stage 1* – independent review and evaluation by at least five members of the Board
- Stage 2* – consensus review and evaluation for applications that score well in Stage 1
- Stage 3* – site visits to applicants that score well in Stage 2
- Stage 4* – Judges' review and recommendations

Board members are assigned to applications taking into account the nature of the applicants' businesses and the expertise of the Examiners. Assignments are made in accord with strict rules regarding conflict of interest.

Applications are reviewed without funding from the United States government. Review expenses are paid primarily through application fees; partial support for the reviews is provided by the Foundation for the Malcolm Baldrige National Quality Award.

Feedback to Applicants

Each applicant receives a feedback report at the conclusion of the review process. The feedback is based upon the applicant's responses to the Award Examination Criteria.

Purpose of This Booklet

This booklet contains the Award Examination Criteria, a description of the Criteria, scoring guidelines, and other information. In addition to serving as the basis for submitting an Award application, organizations of all kinds use the Criteria for self-assessment, planning, training, and other purposes.

If you plan to apply for the Award in 1995, you will also need the document entitled *1995 Application Forms and Instructions*. Ordering instructions are given on page 49.

Eligibility Determination Forms due — March 3, 1995

Award Applications due — April 3, 1995

To help interpret the Scoring Guidelines (page 41), the following comments on the graphed results would be appropriate:

- the current overall company performance level is excellent. This conclusion is supported by the comparison with competitors and with a "world class" level.
- the company exhibits an overall excellent improvement record
- Division A is the current performance leader — showing sustained high performance and a slightly positive trend. Division B shows rapid improvement. Its current performance is near that of the best industry competitor but trails the "world class" level.
- Division C — a new division — shows rapid progress. Its current performance is not yet at the level of the best industry competitor.

(6) Reviewing the Overall Set of Item Responses

It is helpful to review, as a whole, the complete set of 24 Item responses. There are four main considerations in this review:

1. emphasis on the applicant's most important business requirements. This emphasis should be clear throughout the set of responses and consistent with the Business Overview. For example, the key customer requirements described in the Business Overview should be clearly evident in all relevant Items, such as 3.1, 5.1, 5.2, 6.1, and 7.1. It is particularly important to report results related directly to key customer requirements and to key company performance requirements.
2. balance in the use of page limits. Ample page space should be given to results Items which are weighed heavily in the Examiners' evaluation. Items and Areas that address factors particularly important to the applicant's business should receive relatively more emphasis.
3. overall consistency. Responses should be checked to ensure that responses to related Items are consistent, and that there is appropriate cross-referencing to minimize duplication of information.
4. final check on deployment information. The overall application should convey widespread and consistent implementation, not merely an outline of approaches. The final review allows an assessment of how well the application as a whole covers all key company requirements, responsibilities, and processes.

נספח ד'. מדיניות האיכות של מפעל אב"ג (דוגמה)

1. מבוא

חברת שימורים אב"ג היא יצרן של מוצרי פירות (מיצים, תרכיזים וכתשים). החברה רואה באיכות יעד אסטרטגי בעל חשיבות עליונה המיועד להבטיח מילוי צרכיהם של לקוחותיה, ובכך להשיג את שביעות הרצון המלאה שלהם. כדי להדגיש את מחויבותה לספק מוצרים ושרותים נלווים באיכות ובמחירים אשר יענו על ציפיות הלקוחות ויהיו בני תחרות בשוק הבינלאומי נכתב מסמך זה. במסמך מפורטת מדיניות החברה בנושא האיכות, הפעילויות המבוצעות כדי להבטיח את איכות המוצרים והצהרת כוונות ביחס לפעילויות נוספות המתוכננות לתקופת זמן בת 3 שנים. מסמך זה ישמש גם כ"מורה דרך" למנהלים בדרגים השונים ביחס לדרישות המפעל ותכניותיו בנושא האיכות.

2. קווי מדיניות (כללי)

2.1 מדיניות החברה היא לספק מוצרים ושרותים נלווים אשר יענו על ציפיות הצרכנים הן ביחס לאיכות והן ביחס למחיר. בעשותה כן תשאף החברה לשמור על מעמדה כמוביל בשוק הבינלאומי ביחס למוצרי מיצים וכתשים, ולהימנות על קבוצת המובילים ביחס לשאר המוצרים.

2.2 החברה מתחייבת לעמוד באופן מלא במפרטים הנדרשים על ידי הלקוח, כפי שסוכמו בחוזה ההתקשרות בינו לבין החברה.

2.3 החברה תעמוד בתקנים הלאומיים הקיימים ביחס למוצריה בארצות היעד, באופן ספציפי:

- תקן USDA ארה"ב
- תקן JAS ביפן
- תקן RSK בגרמניה
- תקן AFNDR בצרפת

תקנים לאומיים אחרים ונורמות המקובלות בשוק הבינלאומי יכובדו באותה מידה.

2.4 החברה מתחייבת לזהות כהלכה את דרישות הלקוח, לספק יעוץ טכני בניסוח דרישות אלו, ולספק מוצרים אשר יענו על הדרישות, כפי שסוכמו בחוזה ההתקשרות בין הלקוח לחברה. התחייבות זאת היא במסגרת המדיניות הכללית של החברה לייצר טווח רחב של מוצרים "תפורים" על פי הזמנת הלקוחות.

2.5 החברה רואה באיכות גורם ראשון במעלה שאינו נופל בחשיבותו מגורמים אחרים החיוניים להצלחת החברה ולרווחיותה, כגון עמידה בזמני אספקה או צמצום עלויות. החברה מנחה את מנהליה לנהוג עפ"י מדיניות זאת.

2.6 החברה רואה באיכות מוצריה ושרותיהם הנלווים מספר מימדים כמפורט להלן:

2.6.1 עמידה בדרישות אורגנולפטיות, כך שמוצריה יהיו ברי תחרות עם מוצרים דומים בשוק

נספח ד' - 2

הבינלאומי או עולים עליהם. הקריטריונים לעמידה בדרישות הם חופש מטעמים זרים ו"התאמה לדוגמה".

2.6.2 עמידה מלאה במפרטים הנדרשים על ידי הלקוח, כפי שסוכם בחוזה ההתקשרות בינו לבין החברה.

2.6.3 אחידות בטיב המשלוחים (אחידות בתוך המשלוח ואחידות בין משלוחים לאורך זמן).

2.6.4 עמידה בזמן תגובה להזמנת לקוח של 72 שעות, במקומות ולגבי מוצרים בהם המלאי קודם לארצות היעד. במקרים אחרים החברה תמלא אחר תכנית מועדי אספקה, כפי שסוכם עם הלקוח.

2.6.5 אספקת מוצרים שיהיו בעלי תכונות איכות המשקפות את הטכנולוגיות והחומרים המתקדמים ביותר הקיימים בתעשייה.

2.6.6 תמיכה בשיתוף פעולה טכני וטכנולוגי עם הלקוח אשר יסייע לו בזיהוי ובהגדרת דרישותיו, ויאפשרו לו שמוש נאות במוצרי החברה.

2.6.7 תגובה מיידית וללא השהיות לתלונת לקוח (במידה וישנה), כך שהלקוח יהיה שבע רצון לחלוטין ובאופן מלא מהטיפול בבעייתו.

2.7 החברה רואה באיכות גורם מרכזי בכל פעילויותיה, ומנחה את עובדיה להצמד למדיניות זאת, כולל אלו שאינם קשורים ישירות בייצור, כגון עובדים המעורבים בפעילויות חיצוניות (מכירות, שיווק, הובלה) או אלו שבפונקציות תומכות (כגון מינהל או אחזקה).

2.8 החברה מאמצת את גישת "ניהול לפי איכות כוללת" (TQM) בכל פעילויותיה, ובמסגרת זאת מנחה את הפונקציות השונות לבצע פעילויות המקדמות את החדרת הגישה בכל רמות הביצוע. במסגרת גישה זאת פועלת החברה ללא לאות לשיפור האיכות הן באמצעות שיפור תהליכים, הן באמצעות שיפור מערכות בקרת איכות ואבטחת איכות (ראה להלן), הן באמצעות הקמה והפעלה של מערכות הדרכת עובדים והסמכת עובדים והן באמצעות יצירת קשרי אמון וייעוץ הדדי בבעיות איכות עם ספקים ולקוחות. הפעילויות לשיפור האיכות יתפרסו על כלל פעילויות החברה.

2.9 מדיניות החברה היא לפתור בעיות איכות במקור (בנקודת היווצרות הבעיה), ולשים דגש על צעדי מנע ופעילות מתקנת לאורך תהליך הייצור יותר מאשר לעסוק בפעילויות סינון של המוצר הסופי.

3. מדיניות האיכות - פרוט.

3.1 מערכת בקרת איכות ואבטחת איכות

החברה תנקוט בכל האמצעים המתבקשים על פי תקנים לאומיים ובינלאומיים ועל פי הסטנדרטים שקבעה לעצמה, כדי להבטיח כי איכות מוצריה יהיו ברמה הנדרשת על פי תקנים אלו ועל פי דרישות הלקוח, כפי שסוכם בחוזה ההתקשרות עימו. במסגרת זאת תשלים החברה פיתוח מערכת בקרת איכות ותבנה מערכת אבטחת איכות המותאמת לתקנים בינלאומיים המוכרים (תקן ISO 9002 הבינלאומי או ת"י 2002 המקומי).

החברה תתקין מערכת "בקרת איכות תהליכית" (SPC), אשר תופעל בזמן אמיתי ועל פי הטכנולוגיות המתקדמות הקיימות כיום בשוק. מערכת זאת תחול אך ורק על תהליכים ונקודות בקרה החיוניות לאבטחת איכות המוצר הסופי (בין במישרין או בעקיפין).

3.2 יחסים עם ספקים

- החברה תשאף ליצור קשרי מסחר לטווח ארוך עם ספקיה, מבוססים על קשרי אמון הדדיים שיבטיחו

נספח ד' - 3

- חומרי גלם נקיים מפגמים לתועלת שני הצדדים.
- החברה תעמיד את אמצעייה לרשות ספקים (מקומיים ומחוזיים) כדי לסייע להם להבין את דרישות האיכות של החברה, ולעזור להם בטיפול בבעיות איכות העלולות לפגוע באיכות חומרי הגלם המסופקים על ידם.
- החברה תרכוש חומרי גלם אך ורק מספקים מוסמכים או מאושרים. תהליכי ההסמכה והאישור מפורטים בספר אבטחת האיכות.
- החברה תבצע מעקב היסטורי אחר רמות האיכות של ספקיה.

3.3 תכנון הייצור

- בעת תכנון הייצור יובטח כי המוצר עומד בדרישות האיכות שסוכם עם הלקוח, וכי תהליכי הייצור הם בעלי כושר לספק מוצר כזה.

3.4 קשר עם לקוחות

- החברה תספק ללקוחותיה מידע רחב ככל האפשר על תכונות האיכות של מוצריה.
- החברה תבצע מעקב מתמיד אחר תגובות הלקוחות לאיכות מוצריה (כולל ניתוח סטטיסטי של תלונות לקוחות, במידה וישנן).
- החברה תאסוף באופן שוטף מידע על דרישות הלקוחות ודרישות השוק ביחס לאיכות, ובאופן תקופתי תעריך כיצד נתפסות תכונות האיכות של מוצריה לעומת מוצרים מתחרים. הנהלת החברה תדאג להפיק את המסקנות האופרטיביות המתאימות המתחייבות מהערכה זאת.

3.5 כח - אדם

- מדיניות החברה היא ליצור בקרב העובדים הכרה שכל עובד אחראי לאיכות התהליך/מוצר שעליו הוא מופקד.
- החברה תבצע פעילויות שמטרתן לעודד בקרב העובדים את המודעות לאיכות ולחשיבותה. במסגרת זאת החברה תעודד עובדים לשפר איכות או להציע הצעות לשיפור איכות.
- החברה תדריך עובדים ותסמיך עובדים כמתבקש מאימוץ תקן ISO 9002.

3.6 מעקב הנהלה אחר ביצוע מדיניות האיכות המוצהרת.

- הנהלת החברה תבצע מעקב תקופתי אחר יישום מדיניות האיכות, ותכין כלים מתאימים שיאפשרו לה הערכה של רמת הביצוע והקשיים בביצוע המדיניות. חלק מכלים אלו (כגון "סקר הנהלה") יוכנו במסגרת בניית מערך אבטחת איכות תואם תקן ישראלי 2002.

3.7 יעדי איכות

- הנהלת החברה תציב באופן תקופתי, יעדי איכות בלוי קריטריונים מדידים להערכת רמת ההצלחה בהשגת יעדים אלו. ההנהלה תקצה את המשאבים הדרושים להשגת היעדים, תגדיר פונקציות אחראיות ותקבע לוח זמנים לביצוע.

4. תכנית האיכות ל-3 השנים הבאות (כולל יעדי איכות ולו"ז).

נספח ה'. הצעה לתכנית הדרכה (דוגמה)

1. כללי

- מוצעת בזאת מערכת הדרכה כוללת בנושאי איכות לעובדי המפעל. למערכת ההדרכה שש מטרות:
- א. לספק לעובדים ידע בסיסי בבקרת איכות ובאבטחת איכות, עם דגש על תפיסות מודרניות המתבטאות בגישת "ניהול לפי איכות כוללת" והמעבר מ"בקרה מסננת" (תכניות דגימה) ל"בקרה תהליכית" (SPC).
 - ב. שנוי עמדות ביחס לחשיבות האיכות בשוק התחרותי הבינלאומי.
 - ג. לקדם "תרבות איכות" במפעל על ידי הגברת המודעות האישית לאיכות.
 - ד. לספק לדרגים הניהוליים והמקצועיים השונים הידע הנחוץ להפעלתה ולאחזקתה של מערכת SPC.
 - ה. לספק לעובדים ידע בנושאים ספציפיים הקשורים למקום עבודתם, כגון: מה היא הגדרת האיכות, גורמים המשפיעים על האיכות, איתור וזיהוי "סיבות מיוחדות", השגת יציבות תהליכים ושמירת היציבות וכיו"ב.
 - ו. להכשיר את הקרקע למעבר ל"ניהול לפי איכות כוללת" (TQM).

מערכת ההדרכה מכוונת ל-3 אוכלוסיות:

1. הנהלה בכירה ומנהלי אנפים
2. מנהלי עבודה ובוחנים
3. כלל העובדים.

2. הנהלה בכירה ומנהלי אנפים

2.1 כללי

ההדרכה תכלול סמינר דו-יומי אשר יתחלק לשניים:

ביום הראשון ינתנו הרצאות בנושאי איכות, בהן תוצג בהרחבה גישת "ניהול לפי איכות כוללת" (כולל עקרונות דמינג), ויוצגו מושגים בסיסיים באבטחת איכות, בקרת איכות וגישות מודרניות לאיכות ("תכנון לאיכות", גישות טגוצ'י ועוד).

ביום השני יתחלקו המשתתפים לקבוצות דיון ויידונו נושאים שונים במפעל הקשורים לאיכות. בסיכום יום הדיון יחובר מסמך המסכם את מדיניות האיכות של החברה ומציג תכנית - איכות (כולל יעדי איכות) לתקופה של 3 שנים.

2.2 נושאי הרצאה ליום הראשון

2.2.1 הרצאת מבוא

- מהפכת האיכות - מחולליה ותוצאותיה.
- סקירה הסטורית של התפתחות אבטחת האיכות ובקרת האיכות ("סולם האיכות", שלבים בהתפתחות בקרת האיכות ביפן).
- סקירת מבוא של גישות מודרניות לאיכות ("q קטן ו-Q גדול", מודל הטרילוגיה של גיוראן, פילוסופית האיכות של טגוצ'י, QFD, מבדק ביצועים).
- השלכות של תורות ניהול קיימות על נושא האיכות (JIT, TOC, אדיג'ס, א. גולדרט ו-OPT).

נספח ה' - 2

- פילוסופיית הניהול של דמינג: חמשת התחלואים של הניהול המערבי והתרופות הדרושות (14 העקרונות של דמינג).
- עלויות האיכות ומשמעויותיהן הניהוליות.
- 2.2.2 "ניהול לפי איכות כוללת"
- מקורות הגישה ומטרותיה.
- גורמי מפתח.
- שלבים ביישום.
- השוואה בין צוותי איכות לחוגי איכות.
- סקירת פעילות והישגים במפעל באימוץ הגישה.
- בעיות ביישום הגישה.
- הצגת 7 הכלים הניהוליים החדשים.
- 2.2.3 הצגת סרט ווידאו בנושא TOM
- 2.2.4 בקרת תהליך
- מושגים בסיסיים: יציבות תהליכים, "סיבות מיוחדות" ו"סיבות כלליות", "שונות התהליך", "תרשימי בקרה".
- שלבים ביישום SPC.
- הצגה מפורטת של 3 תרשימי בקרה (P, X, R).
- תרגילי סימולציה.
- 2.2.5 תקן ISO 9000 (ת"י 2000)
- 2.2.6 גישות מודרניות באבטחת איכות
- התפרסות פונקציית האיכות (QFD), "תכנון לאיכות" לפי גישת טגוצ'י ("גורמי אות" ו"גורמי רעש", תכון קשוח, שלבים בתכנון המוצר), תכנון ניסויים ומבדק ביצועים.
- 2.3 נושאי דיון ליום השני.**
- 2.3.1 דיון בקבוצות
- 2.3.1.1 משחק תפקידים (נציגי המפעל לעומת נציגי הלקוח).
- תפוקות מבוקשות:
- סיכום "דרישות הלקוח".
- הגדרת מימדי איכות ומדדי איכות של מוצרים קיימים.
- איתור פערים בין מוצרים קיימים ו"דרישות לקוחות".
- 2.3.1.2 מיקום המפעל ביחס למתחרים (BENCHMARKING)
- (איתור פערים בין מוצרי המפעל למוצרי מתחרים).
- 2.3.1.3 הערכת מצב האיכות במפעל
- פעילויות האיכות המתבצעות.
- האפקטיביות של הפעילויות הקיימות.
- המלצות ביחס לפעילויות נוספות דרושות לצורך שיפור האיכות.
- 2.3.1.4 הצהרת כוונות (לסגירת פערים)
- מוצרים חדשים.
- שינויים במוצרים קיימים.
- פעילויות דרושות במפעל.
- תכנית איכות מוצעת לתקופה בת 3 שנים.
- קוים מנחים לעיצוב מדיניות איכות.
- 2.3.2 בניית "בית האיכות": סיכום דיוני הצוותים.
- (השוואה בין "דרישות לקוח" לתכונות איכות של מוצרי המפעל ושל מוצרי מתחרים).

נספח ה' - 3

- 2.3.3 ניסוח קוים מנחים לחיבור מסמך "מדיניות האיכות".
- 2.3.4 הערכת "מצב האיכות" והתאמתה ל"מדיניות האיכות".
- 2.3.5 "תכנית איכות" לתקופה של 3 שנים.

3. מנהלי עבודה/בוחנים.

3.1 כללי

למנהלי עבודה ובוחנים מוצע קורס בן שישה מפגשים, ארבע שעות למפגש. הקורס יכול תרגול מחוץ לשעות המפגשים.

3.2 נושאי המפגשים

מפגש 1: מבוא

איכות מהי. הגישה המודרנית לאיכות. סקירה היסטורית של התפתחות בקרת איכות ואבטחת איכות. עלויות האיכות ומשמעויותיהן הניהוליות. פילוסופיית הניהול של דמינג ו-14 עקרונותיו. מודל הטרילוגיה של גיוראן.

מפגש 2: "ניהול לפי איכות כוללת" וכלים גרפיים לניתוח נתוני איכות.

- מקורות גישת TQM ומטרותיה.
- גורמי מפתח בגישת TQM.
- שלבים ביישום.
- 7 הכלים הגרפיים לניתוח נתוני איכות ולהשגת שיפור האיכות ("שבעת המופלאים").
- השוואה בין צוותי איכות וחוגי איכות.
- בעיות ביישום הגישה.
- דיון בפעילויות לשיפור איכות המבוצעות במפעל אב"ג.

מפגש 3 : יציבות תהליכים ובקרת תהליכים.

- מושגים בסיסיים ודוגמאות ("בקרת יתר" ו"בקרת חסר", סיבות כלליות ומיוחדות, "תהליך יציב", מדדי מרכז ומדדי פיזור, איתור מקורות שונות והפחתת שונות, ניתוח כושר תהליך, מדדי כושר תהליך, ביצוע בקרת-קדם).

מפגש 4 : תרשימי בקרה

- שלבים ביישום מערכת SPC.
- חלוקה כללית של תכונות-איכות (משתנים רציפים ומשתנים בדידים, "משתנים" לעומת "תכונות").
- חלוקה כללית של תרשימי בקרה.
- תבניות פתולוגיות המופיעות בתרשימי בקרה, פרושן והאמצעים לטפל בהן.
- טעויות נפוצות בהפעלת תרשימי בקרה.
- כונון תהליך בשיטת "בקרה מוקדמת" (PRE-CONTROL) - יתרונות וחסרונות.

מפגש 5 : הצגת תקן ISO 9000 וגישות מודרניות באבטחת איכות

(תיכנון ניסויים, גישת טגוצ'י, תכנון לאיכות, התפרסות פונקצית האיכות).

מפגש 6 : הצגת עבודות של משתתפים, שבועו במהלך הקורס, בטיפול בבעיית איכות (יוגש דו"ח

מסכם של העבודה למרצה). משתתפי הקורס יטלו חלק פעיל בבקורת העבודות המוצגות. כמו כן תוצג במפגש זה מדיניות האיכות של החברה, בהשתתפות נציג הנהלה בכיר.

4. כלל העובדים

4.1 כללי

הקורס יהיה בן ארבעה מפגשים - ארבע שעות למפגש. הקורס יתרכז בהצגת התפיסה המודרנית של איכות, בהצגת הדרישות של ת"י 2000 ובהדרכה לשימוש בתרשימי בקרה. מפגש 1 : מושגים בסיסיים.

- מהפיכת האיכות ומקום האיכות בשוק התחרותי הבינלאומי.
- הגדרת איכות ומדדי איכות.
- יציבות תהליכים וחשיבותה לרמת האיכות.
- מדידת יציבות תהליכים באמצעות מדדי פיזור (הטווח, סטיית התקן).
- כלים גרפיים לניתוח נתונים (רשימת מיתוג, היסטוגרם, דיאגרמות פרטו, ניתוח סיבה-תוצאה).
- "סיבות מיוחדות" ו"סיבות כלליות".
- הצגת SPC ו-TQM ככלים לטיפול בגורמים לבעיות איכות (הצגה כללית בלבד של שתי הגישות והקשרן ל"סיבות מיוחדות" ו"סיבות כלליות").

מפגש 2: תרשימי בקרה

- חלוקה כללית של מדדי איכות (משתנה מדידה (רציף) או משתנה ספירה, "משתנים" לעומת "תכונות").
- תגובות אפשריות לסטיות בתהליך ותוצאותיהן.
- הצגה כללית של תרשימי בקרה.
- תרשימי בקרה לממוצע, לטווח, לפרופורציה פגומים ולקצב המופע.
- טעויות ביישום תרשימי בקרה.
- תבניות פתולוגיות בתרשים בקרה - כיצד לזהותן וכיצד לטפל בגורמים להן.

מפגש 3: האיכות ומדידתה.

מפגש זה יותאם לאוכלוסיית הקורס, ומטרתו להבהיר למשתתפים כיצד מוגדרת האיכות במחלקה, מה הם מדדי האיכות, כיצד נמדדת האיכות, אלו גורמים (פרמטרים של התהליך, חומרי גלם, שיטות עבודה) משפיעים על האיכות, מה הן בעיות האיכות העיקריות הקיימות במחלקה. במהלך המפגש יתחלקו המשתתפים לקבוצות לצורך דיון בבעיות איכות שיוגדרו מראש על ידי קבוצות הדיון.

מפגש 4 : תקן ישראלי 2000 ומדיניות האיכות של החברה.

(בהשתתפות נציג הנהלה בכיר).

נספח ו'. מפעל אב"ג:

הצעה לבניית מערכת לחישוב עלויות האיכות של הרכש. (דוגמה)

1. עלויות הרכש (כולל עלות ישירה)

המערכת תסווג עלויות הרכש ל - 6 קבוצות:

1.1 עלויות המצויינות בתנאי ההתקשרות בין הלקוח והספק:

- מחיר הפריטים (מחיר הרכש).
- עלויות הובלה, ביטוח וכיו"ב.
- תנאי תשלום (הנחה לגודל, פריסת תשלומים).
- הערה: יבוצע היוון של העלויות הנכללות בקבוצה זאת.

1.2 עלויות בחינת קבלה, הנובעות מרמת הסווג של הספק:

- ספק מוסמך (בדיקת זיהוי והעברה ישירה למחסן, S.T.S - Ship To Stock).
- ספק מאושר.
- ספק לא מאושר.

1.3 עלויות הקשורות ברמת האיכות והשרות בפועל של הספק בשלב בחינת קבלה:

- עלות (קנס) למשלוח שהקדים (או אחר).
- עלות (קנס) למשלוח בכמות לא מתאימה.
- עלות עכוב משלוח אצל הלקוח עקב דוקומנטציה חסרה של הספק.
- עלות דחיית משלוח שלא עמד בנדרש בהזמנה.
- עלות משלוח שנפסל על ידי בוחן ראשי (והוחזר לספק או עבר להשמדה).
- עלות משלוח שנדחה בבדיקת קבלה והוחלט על ידי ועדת סקר חומר והנצלה (MRB):
 - להעבירו "לשימוש כמו שהוא"
 - להעבירו "לשימוש מוגבל בלבד"
 - להעבירו לשימוש לאחר פעילות מתקנת או מיון (100%)
 - להשמידו
 - להחזירו לספק

1.4 עלויות הקשורות ברמת האיכות של הספק בשלב הייצור

עלויות הקשורות בהשמדת מוצרים (סופיים או מוצרים בתהליך), ובביצוע עיבוד מחדש (REWORK) או פעילות מתקנת (REPAIR) עקב ליקויים בחומרי גלם, רכיבים או תת מערכות שסופקו על ידי הספק ושנתגלו בעת הייצור.

1.5 עלויות שבזימים בתכנית הייצור הנובעים מרמת האיכות של הספק:

- עלות רכש תחליפי דחוף לצורך עמידה בלוח זמנים.
- עלות (קנס) על אי עמידה בלוח זמנים לאספקה.
- עלות שינויים בתכנית הייצור עקב נפל גבוה.

1.6 עלות כשל חיצוני (אצל הלקוח) הנובעת מרמת האיכות של הספק

נספח ו' - 2

2. מודל לחישוב עלות הרכש למשלוח ולפריט

המטרה בחישוב עלויות הרכש היא לספק קריטריונים למינהל חומרים להשוות הצעות בין ספקים שונים, ובכך להביא להחלטות רכש נכונות שיקטינו את עלות המוצר. כיוון שספקים עשויים להגיש הצעות מחיר לפריטים שונים, מטרת החישוב היא להעריך את העלות בפועל של פריט שנרכש מספק. הדבר יבוצע על ידי הערכת סך כל העלויות הלא יצרניות למשלוח, והעמסתם על הפריטים השונים במשלוח באופן פרופורציוני למחיר הרכש הכולל שלהם. לדוגמה: במשלוח שלושה סוגי פריטים כלהלן:

כמות	מחיר רכישה ליחידה (מחושב לפי 1.1)	סה"כ
פריט 1	200	10
פריט 2	70	7
פריט 3	600	4
		סה"כ : 4890 שקל

עלויות האיכות של הרכש (סך כל עלויות רכש, לא כולל קבוצה 1.1): 540 שקל.

עלות רכש בפועל לפריט:

$$\text{פריט 1: } 10 + \left[\frac{540 \times 2,000}{4890} \right] / 200 = 11.10$$

$$\text{פריט 2: } 7 + \left[540 \times 490 / 4890 \right] / 70 = 7.77$$

$$\text{פריט 3: } 4 + \left[540 \times 2,400 / 4890 \right] / 600 = 4.44$$

עלות הרכש הכוללת למשלוח: 5430 שקל $200 \times 11.10 + 70 \times 7.77 + 600 \times 4.44 =$

הערות:

א. במשלוח הכולל מספר רב של פריטים יבוצע ניתוח פרטו (ניתוח ABC), ועלויות הרכש יועמסו על הפריטים מקטגוריה A בלבד.

ב. הפריטים שיכללו במערכת עלויות הרכש יקבעו לפי ניתוח פרטו.

נספח ו' - 3

ג. לכל ספק יקבע ציון הערכה תקופתי של "עלות הספק" לפי הנוסחה הבאה:

$$\text{ציון הערכה ל"עלות הספק"} = \left[\frac{N_1 C_1 + N_2 C_2 + N_3 C_3 + \dots}{N_1 C_1' + N_2 C_2' + N_3 C_3' + \dots} - 1 \right] \times 100$$

כאשר: NI - מספר יחידות של פריט מסוג I שסופקו במשך התקופה על ידי הספק.
CI - עלות רכש כוללת ליחידה של פריט I. (כולל "עלות האיכות" של הרכש)
CI' - מחיר הרכש של יחידה לפריט מסוג I. (סעיף 1.1)

3. בניית מערכת עלויות הרכש.

בניית מערכת עלויות הרכש תבוצע בשלבים הבאים:

א. ישיבה מקדימה לדיון בהצעה המוגשת בזה

נושאי הישיבה:

- בחינת קבוצות העלויות המוצגות, והעלאת הצעות להערכת עלויות אלו ומקורות האינפורמציה.
- קביעת הגורמים ממחלקות אחרות אליהם יפנו על מנת להזמין לשיבת הסערת מוחות. בישיבה זאת יקבעו סוגי העלויות, אופן הערכתן, מקורות האינפורמציה, סוגי המטריצות לחישובי עלות רכש עקיפה, ועקרונות לבניית המערכת הממוחשבת.
- ב. ישיבת צוות מורחבת - ל"הסערת מוחות" וקביעת העקרונות לבניית מערכת עלויות רכש.
- ג. בניית המערכת - בשיתוף בין חבר צוות ומגיש הצעה זאת.
- ד. מיחשוב המערכת - וביצוע ריצות נסיון.
- ה. ביצוע סימולציה - לכמה מהספקים הראשיים במפעל.

נספח ז' . הפחתת שונויות והשפעתה על השטף ועל מלאי בתהליך

(להפעלת התכנית המצויה בתקליטון רשום: THRUPUT)

פעילות להורדת שונויות היא אחד המרכיבים העיקריים בדרך להשגת איכות, אם לא החשוב שבהם. בפרקים קודמים הדגשנו כי הפחתת שונויות מגבירה את האחידות בפרמטרים של תהליכי הייצור, ומכאן גם את האיכות של המוצר הסופי.

מתברר, כי להקטנת שונויות השלכות על שני מאפיינים נוספים חשובים של תהליך הייצור והם: השטף (THROUGHPUT) והמלאי בתהליך (WIP - Work In Process).

ככל שכושר הייצור בתחנות העבודה השונות יהיה פחות יציב (זמני המחזור ישתנו ממחזור למחזור), כן מלאי הביניים בין התחנות ילכו ויתפחו, והשטף יהיה נמוך מהצפוי. תופעות אלו יקרו גם אם קו הייצור יהיה מאוזן לחלוטין, כלומר: הממוצעים של זמני המחזור בכל תחנה ותחנה יהיו זהים.

כדי להבין עניין זה, חשוב להסביר כיצד נקבעת התפוקה של קו ייצור ואת השפעתם של "צווארי בקבוק" בקו על תפוקה זאת. "צוואר בקבוק" לפי הגדרה היא תחנה (או פעילות בתהליך) אשר כושר הייצור שלה אינו גדול מכושר הייצור (או הדרישה) של הקו כולו. למשל: אם נדרש כי הקו ייצר 2400 פריטים לשעה, תחנה אשר כושר הייצור שלה אינו עובר תפוקה זאת תחשב כ"צוואר בקבוק". תחנה עם כושר ייצור גדול יותר- אינה "צוואר בקבוק".

ישנם ארבעה יחסים אפשריים בין תחנות המהוות "צוואר בקבוק" (נסמן ב-B) ובין תחנות שאינן כאלה (נסמן ב-NB):

- א. תחנה B קודמת לתחנה NB - במקרה זה כושר הייצור של NB יקבע על ידי B, וכיוון שלפי הגדרה כושר הייצור של B נמוך משל NB לא ניתן לנצל את כל כושר הייצור של תחנה NB.
- ב. תחנה NB קודמת לתחנה B - כיוון שתחנה B, שהיא "צוואר בקבוק", לא תוכל לספוג את כושר הייצור העודף של NB, ייווצר בין שתי התחנות "מלאי בתהליך", אשר ילך ויגדל עם הזמן.
- ג. תחנה B ותחנה NB מספקות חלקים לאותו קו הרכבה. (התחנות עובדות במקביל). בהנחה כי למוצר הסופי נדרש חלק אחד מתחנה B וחלק אחד מתחנה NB (חלקים המחוברים יחד בקו ההרכבה), שוב תקבע התפוקה הסופית על ידי תחנה B, ובקו ההרכבה הסופי ייווצר "מלאי בתהליך" ההולך וגדל של חלקים מתחנה NB.
- ד. תחנה B ותחנה NB מייצרות מוצרים נפרדים. במקרה זה כושר הייצור של תחנה NB יקבע על פי הדרישה למוצר. אולם כיוון שלפי הגדרה כושר הייצור של NB גבוה מהדרישה - שוב לא ניתן לנצל את NB במלוא התפוקה.

המסקנה העולה מניתוח זה היא כי "צווארי הבקבוק" בקו הם הקובעים את התפוקה של הקו כולו, וכי הגברת כושר הייצור של תחנה שאינה "צוואר בקבוק" היא ברכה לבטלה שלא תגדיל את השטף בקו.

מכאן נובעות מספר מסקנות מעניינות, שלעתים עומדות בסתירה לעקרונות מקובלים בניהול הייצור:

1. הגדלת היעילות של "צוואר בקבוק" תגדיל את יעילות המערכת כולה, בעוד שהגדלת היעילות של תחנה שאינה "צוואר בקבוק" לא תועיל כלל ואולי אף תזיק (עקב הגדלת המלאי בתהליך).
 2. זמן מבויז בתחנה שאינה "צוואר בקבוק" הוא חסר משמעות ואינו מביא לאובדן תפוקה (כל עוד כושר הייצור בתחנה לא ירד לרמה כזאת שהפכה את התחנה ל"צוואר בקבוק").
 3. אובדן תפוקה בגלל איכות ירודה (פריטים פסולים, עיבוד מחדש) בתחנה שהיא "צוואר בקבוק" מהווה אובדן לקו כולו, בעוד שאובדן דומה בתחנה שאינה "צוואר בקבוק" אינו פוגע בהכרח בתפוקת הקו כולו.
- המסקנה: את עיקר מאמצי שיפור האיכות יש למקד קודם לכל ב"צווארי הבקבוק".

4. עלות הפעלת תחנה שהיא "צוואר בקבוק" היא עלות הפעלת המערכת כולה שכן זמן מבוזבז ב"צוואר בקבוק" מהווה אובדן תפוקה לכל הקו.

אחת המסקנות מעקרונות אלו היא כי אם כושר הייצור העודף של תחנה מסוג NB אינו מנוצל - יש לקצץ בכושר הייצור של התחנה, עד לרמה השווה לדרישה הקיימת מהקו כולו. במלים אחרות: כל התחנות יעבדו באותו כושר ייצור (זמן מחזור זהה). מערכת כזאת, שבה לכל תחנה לאורך הקו אותו קצב תפוקה נקראת: מערכת מאוזנת, ושיטות להשגת מערכת כזאת נקראות שיטות "לאיזון קווים" (Line Balancing). מסתבר, כי בכך לא נפתרו בעיות הקו.

בכל תחנת עבודה ישנה השתנות, מרגע לרגע, במצב התפוקה וגם אם הקו כולו הוא **לטווח ארוך מאוזן (הממוצעים)** של זמני המחזור שווים בכל התחנות, עדיין אפשריים מצבים זמניים של חוסר איזון בין התחנות השונות; זמני כינון (Set-Up) עשויים להתארך מעבר לצפוי, חומר גלם הגיע באיחור, נדרש עיבוד נוסף של חלק בתחנת עבודה כלשהי וכן הלאה.

מצבים כאלה של חוסר איזון זמני בקו, קיימים תמיד בנקודה זאת או אחרת, והשפעתם על השטף ועל המלאים בתהליך היא מכרעת. נניח כי בקו ישנן שתי תחנות מאוזנות, A ו-B, וכי תחנה A קודמת לתחנה B. אם ברגע מסויים ירדה התפוקה של תחנה A היא הפכה בכך להיות "צוואר בקבוק", הקובע את שטף הקו כולו. תחנה B באותו זמן תהיה בטלה מאונס (אלא אם כן היה "מלאי בתהליך" בין שתי התחנות).

מאידך אם ירדה התפוקה של תחנה B באופן זמני תחנה זאת תקבע את השטף, ואילו תחנה A תתחיל להגדיל את המלאי בתהליך בין שתי התחנות. בכל מקרה, השטף בכל מחזור יקבע על פי התחנה שקצב הייצור שלה באותו זמן הוא **הנמוך מבין כל התחנות בקו**, ומכאן שהשטף יהיה תמיד נמוך מהשטף הצפוי על פי קצב הייצור הממוצע (זה המשותף לכל תחנות הקו).

יתרה על כן: כיוון שהשטף של הקו בכל מחזור נקבע על ידי התחנה בעלת קצב הייצור הנמוך ביותר בעוד קצב כניסת חלקים לקו נקבע על פי קצב הייצור של התחנה הראשונה בקו (שאינה מוגבלת על ידי "צווארי בקבוק"), הרי שהשטף בקו יהיה בדרך כלל נמוך מקצב כניסת החלקים (שהוא השטף של התחנה הראשונה). עודף הייצור של התחנה הראשונה בקו יצטבר איפוא במלאי ביניים בתהליך.

מצב זה שבו תחנות ממתניות או שחומר בתהליך ממתין (תוך הצטברות מלאים) הוא אופייני לכל "מערכת מאוזנת" של צווארי בקבוק. הוא מתאפיין בהגדלה הדרגתית של המלאי בתהליך, עד אשר מלאי הביניים בין התחנות השונות יגיעו לרמה כזאת שהתלות הקיימת בין התחנות תעלם. רק אז תוכל כל תחנה לעבוד כתחנה עצמאית, המושכת חומר גלם ממלאי הביניים שלרשותה, ללא תלות בקצב הייצור בפועל של התחנה הקודמת לה בקו. אז יחזור השטף של הקו לרמתו הצפויה, שהיא קצב הייצור הממוצע של התחנות ("המאוזנות") בקו.

מחזוריות זאת שבה בתחילת הייצור קיימת תלות בין התחנות, השטף של הקו נמוך מהשטף הצפוי ומתחילים להצטבר מלאי ביניים עד אשר התלות בין התחנות נעלמת ושטף הקו חוזר לרמתו הצפויה - תהיה אופיינית לכל תחילת ייצור של מוצר חדש. בתנאי התחרות הקיימים כיום בשוק, שבהם מנות הייצור קטנות מאד (JIT) וקיימים חילופים תדירים של המוצר המיוצר בקו (מערכות ייצור גמישות, FMS), יתכן שהקו לעולם לא יגיע למצב שיווי המשקל שלו, ושטף הקו יהיה איפוא תמיד נמוך מכושר הייצור הממוצע של התחנות הבודדות. אם הקו תוכנן מראש לספק כושר ייצור המתאים לדרישה בשוק, משמעות הדבר כי המפעל יפגר במלוי ההזמנות המתקבלות, ופיגור זה ילך ויגדל עם הזמן.

כדי להדגים את השפעת ההשתנות בקצבי התפוקה של התחנות השונות בקו מאוזן על השטף ועל המלאי בתהליך, נכתבה תכנית בשפת TURBOBASIC. התכנית מבצעת סימולציה בשיטת מונטה-קרלו של קו ייצור מאוזן, שבו N תחנות העובדות בטור ($N \leq 5$). המשתמש יכול לקבוע את כושר הייצור של התחנות (מספר פריטים ממוצע שתחנה מסוגלת לייצר במחזור), וכן את טווח ההשתנות של כושר הייצור

(כושר ייצור מקסימלי וכושר ייצור מינימלי של תחנה).

בתכנית הנתונה הנחנו כי התפלגות כושר הייצור של התחנה היא נורמלית (טווח ההשתנות, שנקבע על ידי המשתמש, הוא התחום של $\pm 3\sigma$ סביב לממוצע, כאשר σ זוהי סטיית התקן של כושר הייצור בתחנה). למותר לציין, כי אם בתחנה כלשהיא, I, היה כושר הייצור במחזור מסויים 40 פריטים, ואולם "המלאי בתהליך" העכשווי הוא 7 פריטים בעוד התחנה הקודמת בקו ייצרה רק 20 פריטים, הרי שתחנה I תייצר בפועל במחזור זה 27 פריטים בלבד (ולא 40 כמצופה).

בכל מחזור הודפס כושר הייצור של כל תחנה (CAP), התפוקה בפועל (PROD.) וכן המלאי בתהליך בסיום המחזור (WIP). סך כל המלאי בתהליך בסיום כל מחזור וכן הממוצע המצטבר של השטף (התפוקה למחזור של התחנה האחרונה בקו) נרשמים על המסך.

קוד התכנית לביצוע הסימולציה נתון בסוף הנספח.

להלן מובאות תוצאות משתי ריצות בנות 25 מחזורים כל אחת. בריצה הראשונה כושר הייצור הממוצע לתחנה הוא 200 פריטים למחזור, עם טווח ההשתנות שבין 150 ל-250 פריטים למחזור. בריצה השנייה נשאר הממוצע כשהיה, אולם טווח ההשתנות של כושר הייצור בכל תחנה גדל, והוא בין 75 ל-325 פריטים.

אנו רואים כי לאחר 25 מחזורים השטף הממוצע הוא 191.3 פריטים בריצה הראשונה ו-178.5 בריצה השנייה. ההשפעה של הגדלת השונות של כושר הייצור על המלאי בתהליך (במעבר מהריצה הראשונה לשנייה) היא דרמטית יותר: בעוד שבריצה הראשונה סך כל המלאי בתהליך במחזור האחרון הוא 175 הרי שבריצה השנייה גדל סך כל המלאי ל-436 פריטים !

מכאן, שהגדלת סטיית התקן של כושר הייצור בתחנות הגדילה במידה רבה את המלאי בתהליך, ומילא גם את העלות הכרוכה בו.

השונות של כושר הייצור היא האחראית ליצירת מלאי הביניים ולכך שהשטף בקו נמוך מהשטף הצפוי על פי כושר הייצור של התחנות הבודדות.

כיוון שחלק גדול משונות זאת נוצר כתוצאה מכך שגורמים בייצור אינם מבוקרים כהלכה, ברור כי השונות בכושר הייצור תלך ותפחת ככלל שנפחית את השונות הכרוכות בגורמי הייצור השונים.

מכאן נובעת המסקנה העיקרית של נספח זה:

הגברת האחידות של התנאים בהם מתפקד הקו (על ידי בקרת תהליך סטטיסטית ומאמצים ממוקדים ומתמידים להפחתת שונות), אינה בלבד אמצעי להשגת איכות, אלא היא תוביל גם להגברת יעילות הקו (הגדלת השטף, בעיקר בייצור מנות קטנות) ולהקטנת מלאים בתהליך.

דיון נוסף בהשפעתם של "צווארי בקבוק" על תיפקודן של מערכות ייצור, ניתן למצוא בספרו המצויין של אליהו גולדרט "המטרה" (1988, הוצאת המחבר).

**תכנית סימולציה להדגמת השונויות בכושר הייצור על השטף ועל מלאי בתהליך
(להפעלת התכנית המצויה בתקליטון רשום : THRUPUT)**

```

DEFINT C,N,L,U
DIM W(1:5,0:50),C(1:5,1:50), P(1:5,0:50), TWIP(1:50)
PRINT"===== "
PRINT*
PRINT*      A MONTE-CARLO SIMULATION TO DEMONSTRATE THE EFFECT OF PROCESS
PRINT*      VARIABILITY ON THROUGHPUT AND WORK-IN-PROCESS by Dr. Haim Shore
PRINT*      =====
PRINT*
PRINT*      This program calculates the throughput and work-in process
PRINT*      inventories for each of N serial work stations, during each of C
PRINT*      work cycles. Summary statistics are given too. It is assumed that
PRINT*      production rate at each station fluctuates randomly, where the
PRINT*      randomness is modelled by a normal distribution, the mean and
PRINT*      standard deviation of which are shared by all stations.
PRINT*      Running the program will demonstrate that with increasing varia-
PRINT*      bility in production rates total WIP will continuously grow,
PRINT*      irrespective of the fact that the line is essentially balanced.
PRINT*      Throughput will also be beneath its expected value.
PRINT*      For each cycle total WIP and cumulative average throughput will
PRINT*      be shown on the screen. Details for each cycle will be printed.
PRINT*===== "
INPUT" Number of Cycles Required (no more than 50): ", C:PRINT
INPUT" Number of Stations (no more than 5): ", N:PRINT
INPUT" Upper Limit for Production Rate: ",U
INPUT" Lower Limit for Production Rate: ",L
FOR I=1 TO N
LPRINT"  Station";I;" ";:NEXT:LPRINT
FOR I=1 TO N
LPRINT"  WIP CAP. PROD ";:NEXT:LPRINT
FOR I=1 TO N
LPRINT"  ===== ";:NEXT:LPRINT
M=(U+L)/2: S= (U-L)/6
FOR J= 1 TO C: FOR I=1 TO N
R=RND: IF R<0.500 THEN C(I,J)= M+S*5.531*((R/(1-R))^0.1193 - 1) ELSE_
C(I,J)= M+S*(-5.531*(((1-R)/R)^0.1193 - 1))
IF I=1 THEN P(I,J)= C(I,J):W(I,J)=0
IF I>1 THEN
IF C(I,J) >= P(I-1,J) + W(I,J-1) THEN P(I,J)= P(I-1,J) + W(I,J-1): W(I,J)=0
IF C(I,J) < P(I-1,J) + W(I,J-1) THEN P(I,J)= C(I,J): W(I,J)= P(I-1,J)+W(I,J-1)-C(I,J)
END IF
TWIP(J)= TWIP(J)+W(I,J)
LPRINT USING " ##### " W(I,J),C(I,J),P(I,J):NEXT
AVERAGE=((J-1)*AVERAGE+P(5,J))/J:PRINT "TOTAL WIP FOR CYCLE";J;" IS ";TWIP(J)
PRINT "      Cumulative Average Prod. is ";AVERAGE:PRINT:NEXT
FOR I=1 TO N:FOR J=1 TO C:MEANWIP(I)=MEANWIP(I)+W(I,J):
MEANCAP(I)=MEANCAP(I)+C(I,J):MEANPROD(I)=MEANPROD(I)+P(I,J):NEXT:NEXT
LPRINT"MEAN:";FOR I=1 TO N:LPRINT USING " ##### " MEANWIP(I)/C,_
MEANCAP(I)/C,MEANPROD(I)/C:;NEXT

```

END

נספח ז' - 5

תוצאות לדוגמה מהרצת הסימולציה

ריצה 1 ($\mu=200, \sigma=16.7$)

Station 1			Station 2			Station 3			Station 4			Station 5		
WIP CAP. PROD			WIP CAP. PROD			WIP CAP. PROD			WIP CAP. PROD			WIP CAP. PROD		
=====			=====			=====			=====			=====		
0	231	231	45	186	186	0	201	186	5	181	181	0	219	181
0	167	167	13	199	199	0	228	199	12	192	192	0	212	192
0	208	208	2	219	219	28	191	191	0	205	203	0	216	203
0	207	207	10	199	199	0	229	227	40	187	187	0	229	187
0	202	202	0	231	212	31	181	181	23	198	198	0	244	198
0	186	186	0	208	186	10	207	207	36	194	194	18	176	176
0	215	215	18	197	197	9	198	198	20	214	214	29	203	203
0	198	198	38	178	178	0	227	187	1	206	206	14	221	221
0	182	182	7	213	213	0	234	213	16	198	198	27	185	185
0	188	188	0	221	195	0	201	195	0	216	211	20	218	218
0	222	222	12	210	210	0	212	210	22	188	188	18	190	190
0	191	191	0	211	203	0	215	203	51	174	174	0	200	192
0	196	196	23	173	173	0	180	173	35	189	189	0	198	189
0	186	186	22	187	187	18	169	169	0	207	204	12	192	192
0	197	197	33	186	186	0	214	204	13	191	191	14	189	189
0	194	194	56	171	171	0	234	171	0	192	184	27	171	171
0	178	178	35	199	199	0	203	199	0	234	199	18	208	208
0	204	204	66	173	173	20	153	153	0	181	153	0	211	171
0	185	185	79	172	172	0	194	192	0	213	192	0	207	192
0	209	209	92	196	196	0	209	196	0	199	196	0	210	196
0	196	196	111	177	177	0	178	177	14	163	163	0	196	163
0	213	213	136	188	188	5	183	183	0	213	197	15	182	182
0	238	238	168	206	206	0	218	211	0	215	211	26	200	200
0	185	185	173	180	180	4	176	176	0	224	176	0	210	202
0	180	180	133	220	220	4	220	220	38	182	182	0	221	182
MEAN:														
0	198	198	51	196	193	5	202	193	13	198	191	10	204	191

ריצה 2 ($\mu=200, \sigma=16.7$)

Station 1			Station 2			Station 3			Station 4			Station 5		
WIP CAP. PROD			WIP CAP. PROD			WIP CAP. PROD			WIP CAP. PROD			WIP CAP. PROD		
=====			=====			=====			=====			=====		
0	277	277	112	165	165	0	202	165	11	154	154	0	248	154
0	118	118	33	197	197	0	269	197	28	180	180	0	231	180
0	221	221	5	249	249	71	178	178	0	213	206	0	239	206
0	219	219	28	196	196	0	273	267	99	168	168	0	272	168
0	206	206	0	278	234	81	153	153	57	195	195	0	310	195
0	164	164	0	220	164	27	218	218	89	186	186	45	141	141
0	237	237	45	192	192	23	196	196	50	235	235	72	208	208
0	196	196	95	146	146	0	268	169	4	215	215	34	253	253
0	155	155	17	233	233	0	286	233	42	195	195	68	161	161
0	171	171	0	253	188	0	203	188	0	240	230	53	245	245
0	255	255	29	226	226	0	231	226	57	169	169	48	174	174
0	177	177	0	229	206	0	237	206	129	134	134	0	201	182
0	189	189	58	131	131	0	149	131	88	172	172	0	194	172
0	164	164	54	168	168	46	122	122	0	219	210	31	179	179
0	191	191	80	165	165	0	235	211	33	178	178	37	172	172
0	186	186	137	129	129	0	285	129	0	179	162	72	127	127
0	145	145	84	198	198	0	206	198	0	284	198	50	220	220
0	210	210	163	131	131	48	83	83	0	153	83	0	228	133
0	164	164	197	130	130	0	185	178	0	232	178	0	217	178
0	223	223	229	191	191	0	222	191	0	198	191	0	226	191
0	190	190	276	143	143	0	145	143	36	107	107	0	191	107
0	233	233	340	169	169	12	157	157	0	233	193	39	154	154
0	294	294	418	216	216	0	246	228	0	238	228	68	199	199
0	163	163	430	151	151	11	140	140	0	260	140	0	224	208
0	151	151	331	250	250	11	250	250	94	156	156	0	252	156
MEAN:														
0	196	196	126	190	183	13	206	182	33	196	179	25	211	179

נספח ח'. רשימת ספרות

- [1] AT & T. **Statistical Quality Control Handbook** (1956)- Western Electric Company. 11th printing (1985). Available from ASQC Quality Press.
- [2] Barker, T. B. (1994). **Quality by Experimental Design**. 2nd Edition. Marcel Dekker Inc.
- [3] Bossert, J. L. (Editor) (1994). **Supplier Management Handbook**. ASQC Quality Press.
- [4] Bossert, J. L. (1990). **QFD: A Practitioner's Approach**. ASQC Quality Press.
- [5] Brassard, M. (1989). **The Memeory Jogger Plus+**. Available from ASQC Quality Pr.
- [6] Camp, R. C. (1995). **Business Process Benchmarking**. ASQC Quality Press.
- [7] Carlsen, R. D., Gerber, J., and Mchugh, J., F. (1992). **Manual of Quality Assurance Procedures and Forms, Revised Edition**. ASQC Quality Press.
- [8] Collier, D. A. (1994). **The Service/Quality Solution: Using Service Management to Gain Competitive Advantage**. ASQC Quality Press.
- [9] Crosby, P. B. (1979). **Quality is Free**. ASQC Quality Press.
- [10] Deming, W. E. (1986). **Out of the Crisis**. MIT Press.
- [11] Dunn, R. H., and Ullman, R. S. (1994). **TQM for Computer Software**. ASQC Qua. Pr.
- [12] Feigenbaum, A. V. (1986). **Total Quality Control**. 3rd Edition. McGraw-Hill Inc.
- [13] Grant, L. G., Leavenworth, R. S. (1988). **Statistical Quality Control**. ASQC Qu. Pr.
- [14] Hammer, M., and Champy, J. (1993). **Reengineering the Corporation**. Harper Business.
- [15] Hoffer, G. D., Moran, J., and Nadler, G. (1993). **Breakthrough Thinking and Total Quality Management**. Prentice-Hall Inc., New-York, NY.
- [16] Ishikawa, K. (1985). **What is Total Quality Control- The Japanese Way**. ASQC Quality Press.
- [17] Johnson, R. S. (1993). **TQM: Leadership for the Quality Transformation**. ASQC.
- [18] Joiner, B. L. (1994). **Fourth Generation Management: The New Business Consciousness**. ASQC Quality Press.
- [19] Juran, J. M. (1992). **Juran on Quality by Design: The New Steps for Planning Quality into Goods and Services**. Available from ASQC Quality Press.

- [20] Juran, J. M. (1988). **Juran's Quality Control Handbook**. 4th Edition. ASQC Qu. Pr.
- [21] Lamprecht, J. L. (1993). **Implementing the ISO 9000 Series**. ASQC Qu. Pr.
- [22] Mizuno, S. (1988). **Management for Quality Improvement: The 7 New QC Tools**. Productivity Press, Inc.
- [23] Montgomery, D. C. (1991). **Introduction to Statistical Quality Control**. 2nd Ed. ASQC Quality Press.
- [24] Montgomery, D. C. (1991). **Design and Analysis of Experiments**. Third Edition. ASQC Quality Press.
- [25] Munro-Faure, L., and Monro-Faure, M. (1992). **Implementing Total Quality Management**. Financial-Times Pitman Publishing, UK.
- [26] Peach, R. W.(Editor) (1994). **The ISO 9000 Handbook**. 2nd Edition. ASQC Qu. P. r.
- [27] Pyzdek, K., and Berger, R. W. (1992). **Quality Engineering Handbook**. ASQC Qu. Pr.
- [28] Roberts, L. (1994). **Process Reengineering: The Key to Achieving Breakthrough Success**. ASQC Quality Press.
- [29] Ross, P. J. (1988). **Taguchi Techniques for Quality Engineering**. ASQC Qu. Pr.
- [30] Sheridan, M. S. (1993). **Policy Deployment: The TQM Approach to Long-Range Planning**. ASQC Quality Press.
- [31] Shores, R., (1990). **A TQM Approach to Achieving Manufacturing Excellence**. ASQC Quality Press and Quality Resources Inc.
- [32] Straker, D. (1994). **Quality Improvement: Tools and Techniques**. Prentice Hall Inc.
- [33] Wilson, P. F., Dell, L. D., Anderson, G. F. (1993). **Root Cause Analysis: A Tool for Total Quality Management (Workbook available)**. ASQC Quality Press.
- [34] Squeglia, N. L. (1994). **Zero Acceptance Number Sampling Plans**. 4th Ed. ASQC QP.
- [35] Taguchi, G. (1987). **System of Eperimental Design**. Quality Resources and the American Supplier Institute (ASI).

נספח ט'. טבלאות של התפלגויות סטטיסטיות

ט-י: ההתפלגות הבינומית

n	k	0.01	0.05	0.10	0.15	p	0.20	0.25	0.30	0.40	0.50
2	0	.9801	.9025	.8100	.7225	.6400	.5625	.4900	.3600	.2500	
	1	.9999	.9975	.9900	.9775	.9600	.9375	.9100	.8400	.7500	
3	0	.9703	.8574	.7290	.6141	.5120	.4219	.3430	.2160	.1250	
	1	.9997	.9928	.9720	.9392	.8960	.8438	.7840	.6480	.5000	
	2		.9999	.9990	.9966	.9920	.9844	.9730	.9360	.8750	
4	0	.9606	.8145	.6561	.5220	.4096	.3164	.2401	.1296	.0625	
	1	.9994	.9860	.9477	.8905	.8192	.7383	.6517	.4752	.3125	
	2		.9995	.9963	.9880	.9728	.9492	.9161	.8208	.6875	
	3			.9999	.9995	.9984	.9961	.9919	.9744	.9375	
5	0	.9510	.7718	.5905	.4437	.3277	.2373	.1681	.0778	.0112	
	1	.9990	.9774	.9185	.8352	.7373	.6338	.5282	.3310	.1875	
	2		.9988	.9914	.9421	.8965	.8616	.8099	.6816	.5000	
	3			.9995	.9978	.9933	.9844	.9692	.9130	.8125	
	4				.9999	.9997	.9990	.9976	.9898	.9688	
6	0	.9415	.7351	.5314	.3771	.2621	.1780	.1176	.0467	.0156	
	1	.9985	.9672	.8857	.7765	.6554	.5339	.4202	.2313	.1094	
	2		.9978	.9842	.9527	.9011	.8306	.7443	.5443	.3438	
	3		.9999	.9987	.9941	.9830	.9624	.9295	.8208	.6562	
	4			.9999	.9996	.9984	.9954	.9891	.9590	.8906	
	5				.9999	.9999	.9998	.9993	.9959	.9844	
7	0	.9321	.6983	.4783	.3206	.2097	.1315	.0824	.0280	.0078	
	1	.9980	.9556	.8503	.7166	.5167	.4449	.3194	.1566	.0625	
	2		.9962	.9743	.9262	.8520	.7564	.6471	.4199	.2266	
	3		.9998	.9973	.9879	.9667	.9294	.8740	.7102	.5000	
	4			.9998	.9988	.9953	.9871	.9712	.9017	.7734	
	5				.9999	.9996	.9987	.9962	.9812	.9175	
	6					.9999	.9999	.9998	.9984	.9922	
8	0	.9227	.6634	.4305	.2725	.1678	.1001	.0576	.0168	.0039	
	1	.9973	.9428	.8131	.6572	.5033	.3671	.2553	.1064	.0352	
	2	.9999	.9942	.9619	.8948	.7969	.6785	.5518	.3154	.1445	
	3		.9996	.9950	.9786	.9437	.8862	.8059	.5941	.3633	
	4			.9996	.9971	.9898	.9727	.9420	.8263	.6167	
	5				.9998	.9988	.9958	.9887	.9502	.8555	
	6				.9999	.9999	.9996	.9987	.9915	.9648	
	7					.9999	.9999	.9999	.9993	.9961	
9	0	.9135	.6102	.3874	.2316	.1342	.0751	.0404	.0101	.0020	
	1	.9966	.9288	.7748	.5995	.4362	.3003	.1960	.0705	.0195	
	2	.9999	.9916	.9470	.7382	.6007	.4628	.3188	.1715	.0598	
	3		.9994	.9917	.9661	.9104	.8343	.7297	.4876	.2539	
	4			.9991	.9944	.9804	.9511	.9012	.7334	.5000	
	5			.9999	.9994	.9969	.9911	.9747	.9006	.7461	
	6				.9997	.9962	.9957	.9750	.9102	.8555	
	7					.9999	.9999	.9996	.9957	.9905	
	8						.9999	.9997	.9997	.9980	

n	k	0.01	0.05	0.10	0.15	p	0.20	0.25	0.30	0.40	0.50
10	0	.9044	.9887	.3487	.1969	.1074	.0563	.0282	.0060	.0010	
	1	.9957	.9139	.7361	.5443	.3758	.2440	.1493	.0464	.0107	
	2	.9999	.9885	.9298	.8202	.6778	.5256	.3828	.1673	.0547	
	3		.9990	.9872	.9500	.8791	.7759	.6496	.3823	.1719	
	4		.9999	.9984	.9901	.9672	.9219	.8547	.6331	.3770	
	5			.9999	.9986	.9916	.9803	.9537	.8338	.6230	
	6				.9999	.9991	.9965	.9884	.9452	.8281	
	7					.9999	.9996	.9984	.9877	.9453	
	8						.9996	.9984	.9877	.9453	
	9							.9999	.9983	.9999	
15	0	.8600	.4633	.2059	.0874	.0352	.0134	.0047	.0005		
	1	.9904	.8290	.5490	.3186	.1671	.0802	.0353	.0052	.0005	
	2	.9996	.9638	.8159	.6042	.3980	.2361	.1268	.0271	.0037	
	3		.9945	.9444	.8227	.6482	.4613	.2969	.0905	.0176	
	4		.9994	.9873	.9383	.8358	.6865	.5155	.2173	.0592	
	5		.9999	.9978	.9332	.9389	.8516	.7216	.4032	.1599	
	6			.9997	.9964	.9819	.9414	.8689	.6098	.3036	
	7				.9996	.9958	.9827	.9500	.7869	.5000	
	8				.9999	.9992	.9958	.9849	.9050	.6964	
	9					.9999	.9992	.9963	.9662	.8491	
	10						.9999	.9993	.9907	.9408	
	11							.9999	.9993	.9981	
	12								.9997	.9824	
	13									.9963	
										.9995	

n	k	0.01	0.05	0.10	0.15	p	0.20	0.25	0.30	0.40	0.50
20	0	.8179	.3585	.1216	.0388	.0115	.0023	.0008	.0005		
	1	.9831	.7358	.3917	.1756	.0692	.0243	.0076	.0005	.0002	
	2	.9990	.9245	.6769	.4049	.2061	.0913	.0355	.0036	.0002	
	3	.9999	.9841	.8670	.6477	.4114	.2252	.1071	.0160	.0013	
	4		.9974	.9568	.8298	.6596	.4148	.2375	.0510	.0009	
	5		.9997	.9887	.9271	.8042	.6172	.4164	.1256	.0207	
	6			.9976	.9781	.9133	.7858	.6080	.2500	.0577	
	7			.9996	.9941	.9679	.9319	.8682	.7123	.4159	
	8			.9999	.9987	.9900	.9591	.8867	.7553	.4119	
	9				.9998	.9974	.9861	.9520	.8725	.5881	
	10					.9999	.9994	.9961	.9829	.8725	
	11						.9999	.9991	.9949	.9435	
	12							.9998	.9987	.9790	
	13								.9997	.9684	
	14									.9984	
	15									.9941	
	16									.9987	
										.9998	

n	k	0.01	0.05	0.10	0.15	p	0.20	0.25	0.30	0.40	0.50
25	0	.7778	.2774	.0718	.0172	.0038	.0007	.0001			
	1	.9742	.6424	.2712	.0931	.0274	.0070	.0016	.0004		
	2	.9980	.8729	.5371	.2537	.0982	.0321	.0090	.0004		
	3	.9999	.9639	.7636	.4711	.2140	.0962	.0332	.0034	.0001	
	4		.9928	.9020	.6821	.4207	.2137	.1395	.0294	.0020	
	5		.9998	.9666	.8385	.6167	.3783	.1935	.0736	.0073	
	6			.9905	.9305	.7800	.5611	.3406	.1518	.0216	
	7			.9977	.9745	.8909	.7265	.5118	.2735	.0539	
	8			.9995	.9920	.9532	.8506	.6769	.4246	.1148	
	9			.9999	.9978	.9827	.9287	.8106	.4726	.1148	
	10			.9995	.9944	.9703	.9022	.7858	.4726	.1148	

ט-I: ההתפלגות הבינומית - המשך

טבלת ההתפלגות הבינומית $P_r(X \leq k)$ (המשך).

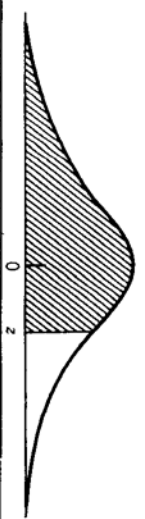
n	k	p										n	k	p									
		0.01	0.05	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30	0.40	0.50	0.01			0.05	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30	0.40	0.50		
25	11				.9999	.9985	.9803	.9557	.7123	.3450	100	0	.3660	.0059	.0003	.0001	.0001	.0001	.0001	.0001	.0001		
	12					.9996	.9825	.9666	.8462	.5000		1	.7338	.0371	.0019	.0019	.0002	.0002	.0002	.0002	.0002		
	13					.9991	.9940	.9940	.9222	.6550		2	.9206	.1183	.0078	.0004	.0004	.0004	.0004	.0004	.0004		
	14					.9998	.9982	.9982	.9656	.7878		3	.9816	.2578	.0237	.0004	.0004	.0004	.0004	.0004	.0004		
	15					.9995	.9986	.9986	.9852	.8852		4	.9966	.4360	.0576	.0016	.0016	.0016	.0016	.0016	.0016		
	16					.9999	.9997	.9997	.9957	.9461		5	.9995	.6160	.1172	.0048	.0125	.0003	.0003	.0003	.0003		
	17						.9998	.9988	.9784	.9277		6	.9999	.8720	.2060	.0125	.0009	.0009	.0009	.0009	.0009		
	18						.9997	.9927	.9927	.9927		7		.9369	.3209	.0283	.0023	.0023	.0023	.0023	.0023		
	19						.9995	.9995	.9995	.9995		8		.9718	.5832	.1024	.0567	.0057	.0057	.0057	.0057		
	20											9		.9957	.8018	.2547	.1578	.0469	.0054	.0054	.0054		
	21											10		.9995	.9274	.4709	.3578	.1285	.0804	.0054	.0054		
50	0	.6050	.0769	.0051	.0003	.0002	.0001	.0002	.0001	.0001	50	0	.6050	.0769	.0051	.0003	.0002	.0001	.0002	.0001	.0001		
	1	.9106	.2794	.0338	.0029	.0013	.0001	.0007	.0001	.0001		1	.9106	.2794	.0338	.0029	.0013	.0001	.0007	.0001	.0001		
	2	.9862	.5405	.1117	.0142	.0057	.0005	.0025	.0005	.0005		2	.9862	.5405	.1117	.0142	.0057	.0005	.0025	.0005	.0005		
	3	.9984	.7604	.2503	.0460	.0085	.0021	.0007	.0007	.0007		3	.9984	.7604	.2503	.0460	.0085	.0021	.0007	.0007	.0007		
	4	.9998	.8964	.4312	.1121	.0185	.0021	.0007	.0007	.0007		4	.9998	.8964	.4312	.1121	.0185	.0021	.0007	.0007	.0007		
	5		.9622	.6161	.2193	.0480	.0070	.0007	.0007	.0007		5		.9622	.6161	.2193	.0480	.0070	.0007	.0007	.0007		
	6		.9882	.7702	.3613	.1904	.0453	.0075	.0025	.0025		6		.9882	.7702	.3613	.1904	.0453	.0075	.0025	.0025		
	7		.9968	.8778	.5187	.3103	.1904	.0453	.0075	.0025		7		.9968	.8778	.5187	.3103	.1904	.0453	.0075	.0025		
	8		.9992	.9421	.6681	.4016	.2682	.1637	.0402	.0008		8		.9992	.9421	.6681	.4016	.2682	.1637	.0402	.0008		
	9		.9998	.9755	.7911	.5836	.3816	.2622	.1637	.0402		9		.9998	.9755	.7911	.5836	.3816	.2622	.1637	.0402		
	10		.9906	.8801	.6968	.5110	.3390	.2229	.1390	.0788		10		.9906	.8801	.6968	.5110	.3390	.2229	.1390	.0788		
	11		.9968	.9372	.7107	.4839	.3116	.2002	.1390	.0788		11		.9968	.9372	.7107	.4839	.3116	.2002	.1390	.0788		
	12		.9990	.9699	.8139	.6370	.4684	.3279	.2280	.1637		12		.9990	.9699	.8139	.6370	.4684	.3279	.2280	.1637		
	13		.9997	.9868	.8894	.7881	.6839	.5836	.4839	.3816		13		.9997	.9868	.8894	.7881	.6839	.5836	.4839	.3816		
	14		.9999	.9947	.9493	.8947	.8369	.7660	.6839	.5625		14		.9999	.9947	.9493	.8947	.8369	.7660	.6839	.5625		
	15			.9980	.9593	.8956	.8169	.7224	.6161	.5000		15			.9980	.9593	.8956	.8169	.7224	.6161	.5000		
	16			.9998	.9775	.9317	.8649	.7822	.6839	.5625		16			.9998	.9775	.9317	.8649	.7822	.6839	.5625		
	17				.9975	.9491	.8713	.7713	.6562	.5295		17				.9975	.9491	.8713	.7713	.6562	.5295		
	18				.9991	.9661	.9152	.8465	.7465	.6250		18				.9991	.9661	.9152	.8465	.7465	.6250		
	19				.9997	.9749	.9322	.8610	.7610	.6406		19				.9997	.9749	.9322	.8610	.7610	.6406		
	20					.9999	.9974	.9877	.9760	.9611		20					.9999	.9974	.9877	.9760	.9611		
	21						.9990	.9877	.9760	.9611		21					.9990	.9877	.9760	.9611	.9611		
	22						.9996	.9944	.9877	.9760		22					.9996	.9944	.9877	.9760	.9760		
	23						.9991	.9976	.9922	.9803		23					.9991	.9976	.9922	.9803	.9803		
	24						.9991	.9976	.9922	.9803		24					.9991	.9976	.9922	.9803	.9803		
	25						.9996	.9966	.9903	.9775		25					.9996	.9966	.9903	.9775	.9775		
	26						.9998	.9987	.9940	.9836		26					.9998	.9987	.9940	.9836	.9836		
	27						.9999	.9995	.9975	.9878		27					.9999	.9995	.9975	.9878	.9878		
	28							.9998	.9987	.9878		28						.9998	.9987	.9878	.9878		
	29							.9999	.9995	.9878		29						.9999	.9995	.9878	.9878		
	30							.9999	.9995	.9878		30						.9999	.9995	.9878	.9878		
	31							.9999	.9995	.9878		31						.9999	.9995	.9878	.9878		
	32							.9999	.9995	.9878		32						.9999	.9995	.9878	.9878		
	33							.9999	.9995	.9878		33						.9999	.9995	.9878	.9878		
	34							.9999	.9995	.9878		34						.9999	.9995	.9878	.9878		
	35							.9999	.9995	.9878		35						.9999	.9995	.9878	.9878		
	36							.9999	.9995	.9878		36						.9999	.9995	.9878	.9878		
	37							.9999	.9995	.9878		37						.9999	.9995	.9878	.9878		
	38							.9999	.9995	.9878		38						.9999	.9995	.9878	.9878		

טבלת ההתפלגות הפואסונית: $F(k) = Pr(X \leq k)$
 עבור $\mu = 3.4$, $E(X) = \mu = 3.4$, ההסתברות ש- X יהיה קטן או שווה ל-5 היא 0.871.

ט-II: ההתפלגות הפואסונית

k	0.01	0.05	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30	0.35
0	.990	.951	.905	.861	.819	.779	.741	.705
1	.999	.998	.995	.990	.982	.974	.961	.951
2		.999	.999	.999	.999	.998	.996	.994
3							.999	.999
0	0.40	0.45	0.50	0.55	0.60	0.65	0.70	0.75
1	.670	.638	.607	.577	.549	.522	.497	.472
2	.938	.925	.910	.894	.878	.861	.844	.827
3	.992	.989	.986	.982	.977	.972	.966	.959
4	.999	.999	.998	.998	.997	.996	.994	.993
0	0.80	0.85	0.90	0.95	1.0	1.1	1.2	1.3
1	.449	.427	.407	.387	.368	.333	.301	.273
2	.809	.791	.772	.754	.736	.699	.663	.627
3	.953	.945	.937	.929	.920	.900	.879	.857
4	.991	.989	.987	.984	.981	.974	.966	.957
5	.999	.998	.998	.997	.996	.995	.992	.989
0	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2.0	2.1
1	.247	.223	.202	.183	.165	.150	.135	.111
2	.592	.558	.525	.493	.463	.432	.406	.355
3	.813	.809	.783	.757	.731	.704	.677	.621
4	.946	.934	.921	.907	.891	.875	.857	.819
5	.986	.981	.976	.970	.964	.956	.947	.928
6	.997	.996	.994	.992	.990	.987	.983	.975
7	.999	.999	.999	.998	.997	.997	.995	.993
0	2.2	2.3	2.4	2.5	2.6	2.7	2.8	2.9
1	.110	.100	.090	.082	.074	.067	.060	.055
2	.334	.330	.308	.287	.267	.248	.231	.214
3	.622	.596	.549	.518	.493	.469	.445	.405
4	.819	.799	.778	.757	.736	.714	.691	.669
5	.927	.916	.904	.891	.877	.862	.847	.831
6	.975	.970	.964	.957	.950	.943	.934	.925
7	.992	.988	.982	.985	.982	.979	.971	.971
8	.998	.997	.996	.995	.994	.993	.991	.990
9	.999	.999	.999	.998	.998	.998	.997	.996
0	3.0	3.2	3.4	3.6	3.8	4.0	4.2	4.4
1	.049	.041	.033	.027	.022	.018	.015	.012
2	.199	.171	.147	.126	.107	.091	.078	.066
3	.423	.380	.340	.303	.269	.238	.210	.185
4	.647	.603	.558	.515	.473	.433	.395	.359
5	.815	.781	.744	.706	.668	.628	.590	.551
6	.916	.895	.871	.844	.816	.785	.753	.720
7	.966	.955	.942	.927	.909	.889	.867	.844
8	.988	.983	.977	.969	.960	.948	.936	.921
9	.996	.994	.992	.988	.984	.978	.972	.964
10	.998	.998	.997	.996	.996	.994	.991	.989
11	.999	.999	.999	.999	.999	.998	.997	.996
12	.999	.999	.999	.999	.999	.999	.999	.999
0	4.6	4.8	5.0	5.2	5.4	5.6	5.8	6.0
1	.010	.008	.007	.006	.005	.004	.003	.002
2	.036	.048	.040	.034	.029	.024	.021	.017
3	.163	.143	.124	.109	.095	.082	.072	.061
4	.336	.294	.265	.238	.213	.191	.170	.151
5	.513	.476	.440	.406	.373	.342	.313	.285
6	.686	.651	.615	.581	.546	.512	.478	.445
7	.818	.791	.762	.732	.702	.670	.638	.606
8	.905	.887	.866	.845	.822	.797	.771	.743
9	.955	.944	.931	.918	.903	.886	.867	.847
10	.980	.975	.968	.960	.951	.941	.929	.916
11	.992	.990	.986	.982	.977	.972	.965	.957
12	.999	.999	.997	.997	.996	.995	.993	.991
13			.999	.999	.999	.999	.999	.999
14								.999
15								.999
0	6.2	6.4	6.6	6.8	7.0	7.2	7.4	7.6
1	.002	.002	.001	.001	.001	.001	.001	.001
2	.015	.012	.010	.009	.007	.006	.005	.004
3	.034	.046	.040	.034	.030	.025	.022	.019
4	.084	.119	.105	.093	.082	.072	.063	.055
5	.154	.235	.213	.192	.173	.156	.140	.125
6	.259	.384	.355	.327	.301	.276	.251	.231
7	.414	.542	.511	.480	.450	.420	.392	.365
8	.574	.716	.687	.658	.628	.599	.569	.539
9	.716	.826	.803	.775	.749	.723	.697	.671
10	.826	.886	.869	.850	.830	.810	.788	.765
11	.902	.927	.927	.915	.901	.887	.871	.854
12	.949	.969	.969	.963	.955	.947	.937	.926
13	.975	.989	.986	.982	.978	.973	.967	.961
14	.989	.994	.992	.990	.987	.984	.981	.976
15	.998	.997	.997	.996	.996	.994	.991	.989
16	.999	.999	.999	.999	.998	.997	.996	.995
17				.999	.999	.999	.998	.998

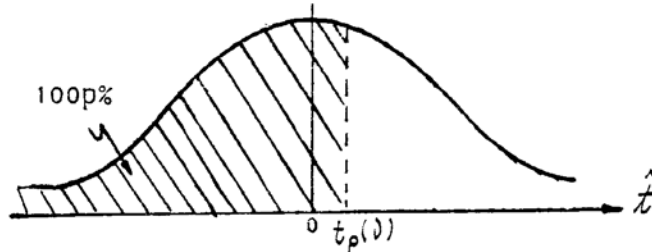
ט-III : ההתפלגות הנורמלית

$\Phi(z) = \int_{-\infty}^z \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-u^2/2} du$ 												
z	0.00	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09	z	
0.0	0.50000	0.50399	0.50798	0.51197	0.51595	0.51994	0.52392	0.52790	0.53188	0.53586	0.0	0.0
0.1	0.53983	0.54379	0.54776	0.55172	0.55567	0.55962	0.56356	0.56749	0.57142	0.57534	0.1	0.1
0.2	0.57926	0.58317	0.58706	0.59095	0.59483	0.59871	0.60257	0.60642	0.61026	0.61409	0.2	0.2
0.3	0.61791	0.62172	0.62551	0.62930	0.63307	0.63683	0.64058	0.64431	0.64803	0.65173	0.3	0.3
0.4	0.65542	0.65910	0.66276	0.66640	0.67003	0.67364	0.67724	0.68082	0.68438	0.68793	0.4	0.4
0.5	0.69146	0.69497	0.69847	0.70194	0.70540	0.70884	0.71226	0.71566	0.71904	0.72240	0.5	0.5
0.6	0.72575	0.72907	0.73237	0.73565	0.73891	0.74215	0.74537	0.74857	0.75175	0.75490	0.6	0.6
0.7	0.75803	0.76115	0.76424	0.76730	0.77035	0.77337	0.77637	0.77935	0.78230	0.78523	0.7	0.7
0.8	0.78814	0.79103	0.79389	0.79673	0.79954	0.80234	0.80510	0.80785	0.81057	0.81327	0.8	0.8
0.9	0.81594	0.81859	0.82121	0.82381	0.82639	0.82894	0.83147	0.83397	0.83646	0.83891	0.9	0.9
1.0	0.84134	0.84375	0.84613	0.84849	0.85083	0.85314	0.85543	0.85769	0.85993	0.86214	1.0	1.0
1.1	0.86433	0.86650	0.86864	0.87076	0.87285	0.87493	0.87697	0.87900	0.88100	0.88297	1.1	1.1
1.2	0.88493	0.88686	0.88877	0.89065	0.89251	0.89435	0.89616	0.89796	0.89973	0.90147	1.2	1.2
1.3	0.90320	0.90490	0.90658	0.90824	0.90988	0.91149	0.91308	0.91465	0.91621	0.91773	1.3	1.3
1.4	0.91924	0.92073	0.92219	0.92364	0.92506	0.92647	0.92785	0.92922	0.93056	0.93189	1.4	1.4
1.5	0.93319	0.93448	0.93574	0.93699	0.93822	0.93943	0.94062	0.94179	0.94295	0.94408	1.5	1.5
1.6	0.94520	0.94630	0.94738	0.94845	0.94950	0.95053	0.95154	0.95254	0.95352	0.95448	1.6	1.6
1.7	0.95543	0.95637	0.95728	0.95818	0.95907	0.95994	0.96080	0.96164	0.96246	0.96327	1.7	1.7
1.8	0.96407	0.96485	0.96562	0.96637	0.96711	0.96784	0.96856	0.96926	0.96995	0.97062	1.8	1.8
1.9	0.97128	0.97193	0.97257	0.97320	0.97381	0.97441	0.97500	0.97558	0.97615	0.97670	1.9	1.9
2.0	0.97725	0.97778	0.97831	0.97882	0.97932	0.97982	0.98030	0.98077	0.98124	0.98169	2.0	2.0
2.1	0.98214	0.98257	0.98300	0.98341	0.98382	0.98422	0.98461	0.98500	0.98537	0.98574	2.1	2.1
2.2	0.98610	0.98645	0.98679	0.98713	0.98745	0.98778	0.98809	0.98840	0.98870	0.98899	2.2	2.2
2.3	0.98928	0.98956	0.98983	0.99010	0.99036	0.99061	0.99086	0.99111	0.99134	0.99158	2.3	2.3
2.4	0.99180	0.99202	0.99224	0.99245	0.99266	0.99286	0.99305	0.99324	0.99343	0.99361	2.4	2.4
2.5	0.99379	0.99396	0.99413	0.99430	0.99446	0.99461	0.99477	0.99492	0.99506	0.99520	2.5	2.5
2.6	0.99534	0.99547	0.99560	0.99573	0.99585	0.99598	0.99609	0.99621	0.99632	0.99643	2.6	2.6
2.7	0.99653	0.99664	0.99674	0.99683	0.99693	0.99702	0.99711	0.99720	0.99728	0.99736	2.7	2.7
2.8	0.99744	0.99752	0.99760	0.99767	0.99774	0.99781	0.99788	0.99795	0.99801	0.99807	2.8	2.8
2.9	0.99813	0.99819	0.99825	0.99831	0.99836	0.99841	0.99846	0.99851	0.99856	0.99861	2.9	2.9
3.0	0.99865	0.99869	0.99874	0.99878	0.99882	0.99886	0.99889	0.99893	0.99897	0.99900	3.0	3.0
3.1	0.99903	0.99906	0.99910	0.99913	0.99916	0.99918	0.99921	0.99924	0.99926	0.99929	3.1	3.1
3.2	0.99931	0.99934	0.99936	0.99938	0.99940	0.99942	0.99944	0.99946	0.99948	0.99950	3.2	3.2
3.3	0.99952	0.99953	0.99955	0.99957	0.99958	0.99960	0.99962	0.99964	0.99964	0.99965	3.3	3.3
3.4	0.99966	0.99968	0.99969	0.99970	0.99971	0.99972	0.99973	0.99974	0.99975	0.99976	3.4	3.4
3.5	0.99977	0.99978	0.99978	0.99979	0.99980	0.99981	0.99981	0.99982	0.99983	0.99983	3.5	3.5
3.6	0.99984	0.99985	0.99985	0.99986	0.99986	0.99987	0.99987	0.99988	0.99988	0.99989	3.6	3.6
3.7	0.99989	0.99990	0.99990	0.99990	0.99991	0.99991	0.99992	0.99992	0.99992	0.99992	3.7	3.7
3.8	0.99993	0.99993	0.99993	0.99994	0.99994	0.99994	0.99994	0.99995	0.99995	0.99995	3.8	3.8
3.9	0.99995	0.99995	0.99996	0.99996	0.99996	0.99996	0.99996	0.99996	0.99997	0.99997	3.9	3.9

נספח ט' - 5

ט-IV: התפלגות t

עבור $\nu=17$, ההסתברות שהסטטיסטי, $\hat{t}$, יהיה קטן או שווה ל-2.898 היא 0.995.



ν	.60	.70	.80	.90	.950	.975	.990	.995	.999	.9995
1	.325	.727	1.376	3.078	6.314	12.71	31.82	63.66	318.3	636.6
2	.289	.617	1.061	1.886	2.920	4.303	6.965	9.925	22.33	31.60
3	.277	.584	.978	1.638	2.353	3.182	4.541	5.841	10.22	12.94
4	.271	.569	.941	1.533	2.132	2.776	3.747	4.604	7.173	8.610
5	.267	.559	.920	1.476	2.015	2.571	3.365	4.032	5.893	6.859
6	.265	.553	.906	1.440	1.943	2.447	3.143	3.707	5.208	5.959
7	.263	.549	.896	1.415	1.895	2.365	2.998	3.499	4.785	5.405
8	.262	.546	.889	1.397	1.860	2.306	2.896	3.355	4.501	5.041
9	.261	.543	.883	1.383	1.833	2.262	2.821	3.250	4.297	4.781
10	.260	.542	.879	1.372	1.812	2.228	2.764	3.169	4.144	4.587
11	.260	.540	.876	1.363	1.796	2.201	2.718	3.106	4.025	4.437
12	.259	.539	.873	1.356	1.782	2.179	2.681	3.055	3.930	4.318
13	.259	.538	.870	1.350	1.771	2.160	2.650	3.012	3.852	4.221
14	.258	.537	.868	1.345	1.761	2.145	2.624	2.977	3.787	4.140
15	.258	.536	.866	1.341	1.753	2.131	2.602	2.947	3.733	4.073
16	.258	.535	.865	1.337	1.746	2.120	2.583	2.921	3.686	4.015
17	.257	.534	.863	1.333	1.740	2.110	2.567	2.898	3.646	3.965
18	.257	.534	.862	1.330	1.734	2.101	2.552	2.878	3.611	3.922
19	.257	.533	.861	1.328	1.729	2.093	2.539	2.861	3.579	3.883
20	.257	.533	.860	1.325	1.725	2.086	2.528	2.845	3.552	3.850
21	.257	.532	.859	1.323	1.721	2.080	2.518	2.831	3.527	3.819
22	.256	.532	.858	1.321	1.717	2.074	2.508	2.819	3.505	3.792
23	.256	.532	.858	1.319	1.714	2.069	2.500	2.807	3.485	3.767
24	.256	.531	.857	1.318	1.711	2.064	2.492	2.797	3.467	3.745
25	.256	.531	.856	1.316	1.708	2.060	2.485	2.787	3.450	3.725
26	.256	.531	.856	1.315	1.706	2.056	2.479	2.779	3.435	3.707
27	.256	.531	.855	1.314	1.703	2.052	2.473	2.771	3.421	3.690
28	.256	.530	.855	1.313	1.701	2.048	2.467	2.763	3.408	3.674
29	.256	.530	.854	1.311	1.699	2.045	2.462	2.756	3.396	3.659
30	.256	.530	.854	1.310	1.697	2.042	2.457	2.750	3.385	3.646
40	.255	.529	.851	1.303	1.684	2.021	2.423	2.704	3.307	3.551
50	.255	.528	.849	1.298	1.676	2.009	2.403	2.678	3.262	3.495
60	.254	.527	.848	1.296	1.671	2.000	2.390	2.660	3.232	3.460
80	.254	.527	.846	1.292	1.664	1.990	2.374	2.639	3.195	3.415
100	.254	.526	.845	1.290	1.660	1.984	2.365	2.626	3.174	3.389
200	.254	.525	.843	1.286	1.653	1.972	2.345	2.601	3.131	3.339
500	.253	.525	.842	1.283	1.648	1.965	2.334	2.586	3.106	3.310
∞	.253	.524	.842	1.282	1.645	1.960	2.326	2.576	3.090	3.291

נספח ט' - 6

V-ט : התפלגות F

טבלת התפלגות F (עבור $\alpha=0.05$ ו- $\alpha=0.01$). עבור $\nu_1=10$ ו- $\nu_2=20$,
ההסתברות שהסטטיסטי $\hat{F}$ יהיה קטן מ-2.35 היא 95%.

מספר דרגות חופש במונה (ν_1)

מספר דרגות חופש במכנה (ν_2)
 $\alpha = 5\%$

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	15	20	24	30	40	60	120	∞
1	161	200	216	225	230	234	237	239	241	242	244	246	248	249	250	251	252	253	254
2	18.5	19.0	19.2	19.2	19.3	19.3	19.4	19.4	19.4	19.4	19.4	19.4	19.4	19.5	19.5	19.5	19.5	19.5	19.5
3	10.1	9.55	9.28	9.12	9.01	8.94	8.89	8.85	8.81	8.79	8.74	8.70	8.66	8.64	8.62	8.59	8.57	8.55	8.53
4	7.71	6.94	6.59	6.39	6.26	6.16	6.09	6.04	6.00	5.96	5.91	5.86	5.80	5.77	5.75	5.72	5.69	5.66	5.63
5	6.61	5.79	5.41	5.19	5.05	4.95	4.88	4.82	4.77	4.74	4.68	4.62	4.56	4.53	4.50	4.46	4.43	4.40	4.37
6	5.99	5.14	4.76	4.53	4.39	4.28	4.21	4.15	4.10	4.06	4.00	3.94	3.87	3.84	3.81	3.77	3.74	3.70	3.67
7	5.59	4.74	4.35	4.12	3.97	3.87	3.79	3.73	3.68	3.64	3.57	3.51	3.44	3.41	3.38	3.34	3.30	3.27	3.23
8	5.32	4.46	4.07	3.84	3.69	3.58	3.50	3.44	3.39	3.35	3.28	3.22	3.15	3.12	3.08	3.04	3.01	2.97	2.93
9	5.12	4.26	3.86	3.63	3.48	3.37	3.29	3.23	3.18	3.14	3.07	3.01	2.94	2.90	2.86	2.83	2.79	2.75	2.71
10	4.96	4.10	3.71	3.48	3.33	3.22	3.14	3.07	3.02	2.98	2.91	2.85	2.77	2.74	2.70	2.66	2.62	2.58	2.54
11	4.84	3.98	3.59	3.36	3.20	3.09	3.01	2.95	2.90	2.85	2.79	2.72	2.65	2.61	2.57	2.53	2.49	2.45	2.40
12	4.75	3.89	3.49	3.26	3.11	3.00	2.91	2.85	2.80	2.75	2.69	2.62	2.54	2.51	2.47	2.43	2.38	2.34	2.30
13	4.67	3.81	3.41	3.18	3.03	2.92	2.83	2.77	2.71	2.67	2.60	2.53	2.46	2.42	2.38	2.34	2.30	2.25	2.21
14	4.60	3.74	3.34	3.11	2.96	2.85	2.76	2.70	2.65	2.60	2.53	2.46	2.39	2.35	2.31	2.27	2.22	2.18	2.13
15	4.54	3.68	3.29	3.06	2.90	2.79	2.71	2.64	2.59	2.54	2.48	2.40	2.33	2.29	2.25	2.20	2.16	2.11	2.07
16	4.49	3.63	3.24	3.01	2.85	2.74	2.66	2.59	2.54	2.49	2.42	2.35	2.28	2.24	2.19	2.15	2.11	2.06	2.01
17	4.45	3.59	3.20	2.96	2.81	2.70	2.61	2.55	2.49	2.45	2.38	2.31	2.23	2.19	2.15	2.10	2.06	2.01	1.96
18	4.41	3.55	3.16	2.93	2.77	2.66	2.58	2.51	2.46	2.41	2.34	2.27	2.19	2.15	2.11	2.06	2.02	1.97	1.92
19	4.38	3.52	3.13	2.90	2.74	2.63	2.54	2.48	2.42	2.38	2.31	2.23	2.16	2.11	2.07	2.03	1.98	1.93	1.88
20	4.35	3.49	3.10	2.87	2.71	2.60	2.51	2.45	2.39	2.35	2.28	2.20	2.12	2.08	2.04	1.99	1.95	1.90	1.84
21	4.32	3.47	3.07	2.84	2.68	2.57	2.49	2.42	2.37	2.32	2.25	2.18	2.10	2.05	2.01	1.96	1.92	1.87	1.81
22	4.30	3.44	3.05	2.82	2.66	2.55	2.46	2.40	2.34	2.30	2.23	2.15	2.07	2.03	1.98	1.94	1.89	1.84	1.78
23	4.28	3.42	3.03	2.80	2.64	2.53	2.44	2.37	2.32	2.27	2.20	2.13	2.05	2.01	1.96	1.91	1.86	1.81	1.76
24	4.26	3.40	3.01	2.78	2.62	2.51	2.42	2.36	2.30	2.25	2.18	2.11	2.03	1.98	1.94	1.89	1.84	1.79	1.73
25	4.24	3.39	2.99	2.76	2.60	2.49	2.40	2.34	2.28	2.24	2.16	2.09	2.01	1.96	1.92	1.87	1.82	1.77	1.71
30	4.17	3.32	2.92	2.69	2.53	2.42	2.33	2.27	2.21	2.16	2.09	2.01	1.93	1.89	1.84	1.79	1.74	1.68	1.62
40	4.08	3.23	2.84	2.61	2.45	2.34	2.25	2.18	2.12	2.08	2.00	1.92	1.84	1.79	1.74	1.69	1.64	1.58	1.51
60	4.00	3.15	2.76	2.53	2.37	2.25	2.17	2.10	2.04	1.99	1.92	1.84	1.75	1.70	1.65	1.59	1.53	1.47	1.39
120	3.92	3.07	2.68	2.45	2.29	2.18	2.09	2.02	1.96	1.91	1.83	1.75	1.66	1.61	1.55	1.50	1.43	1.35	1.25
∞	3.84	3.00	2.60	2.37	2.21	2.10	2.01	1.94	1.88	1.83	1.75	1.67	1.57	1.52	1.46	1.39	1.32	1.22	1.00

מספר דרגות חופש במונה (ν_1)

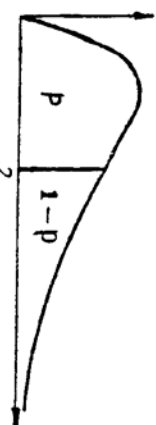
מספר דרגות חופש במכנה (ν_2)
 $\alpha = 1\%$

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	15	20	24	30	40	60	120	∞
1	4.052	5.000	5.403	5.625	5.764	5.859	5.928	5.982	6.023	6.056	6.106	6.157	6.209	6.235	6.261	6.287	6.313	6.339	6.366
2	98.5	99.0	99.2	99.2	99.3	99.3	99.4	99.4	99.4	99.4	99.4	99.4	99.4	99.5	99.5	99.5	99.5	99.5	99.5
3	34.1	30.8	29.5	28.7	28.2	27.9	27.7	27.5	27.3	27.2	27.1	26.9	26.7	26.6	26.5	26.4	26.3	26.2	26.1
4	21.2	18.0	16.7	16.0	15.5	15.2	15.0	14.8	14.7	14.5	14.4	14.2	14.0	13.9	13.8	13.7	13.6	13.5	13.5
5	16.3	13.3	12.1	11.4	11.0	10.7	10.5	10.3	10.2	10.1	9.9	9.8	9.7	9.5	9.4	9.3	9.2	9.1	9.0
6	13.7	10.9	9.78	9.15	8.75	8.47	8.26	8.10	7.98	7.87	7.72	7.56	7.40	7.31	7.23	7.14	7.06	6.97	6.88
7	12.2	9.55	8.45	7.85	7.46	7.19	6.99	6.84	6.72	6.62	6.47	6.31	6.16	6.07	5.99	5.91	5.82	5.74	5.65
8	11.3	8.65	7.59	7.01	6.63	6.37	6.18	6.03	5.91	5.81	5.67	5.52	5.36	5.28	5.20	5.12	5.03	4.95	4.86
9	10.6	8.02	6.99	6.42	6.06	5.80	5.61	5.47	5.35	5.26	5.11	4.96	4.81	4.73	4.65	4.57	4.48	4.40	4.31
10	10.0	7.56	6.55	5.99	5.64	5.39	5.20	5.06	4.94	4.85	4.71	4.56	4.41	4.33	4.25	4.17	4.08	4.00	3.91
11	9.65	7.21	6.22	5.67	5.32	5.07	4.89	4.74	4.63	4.54	4.40	4.25	4.10	4.02	3.94	3.86	3.78	3.69	3.60
12	9.33	6.93	5.95	5.41	5.06	4.82	4.64	4.50	4.39	4.30	4.16	4.01	3.86	3.78	3.70	3.62	3.54	3.45	3.36
13	9.07	6.70	5.74	5.21	4.86	4.62	4.44	4.30	4.19	4.10	3.96	3.82	3.66	3.59	3.51	3.43	3.34	3.25	3.17
14	8.86	6.51	5.56	5.04	4.70	4.46	4.28	4.14	4.03	3.94	3.80	3.66	3.51	3.43	3.35	3.27	3.18	3.09	3.00
15	8.68	6.36	5.42	4.89	4.56	4.32	4.14	4.00	3.89	3.80	3.67	3.52	3.37	3.29	3.21	3.13	3.05	2.96	2.87
16	8.53	6.23	5.29	4.77	4.44	4.20	4.03	3.89	3.78	3.69	3.55	3.41	3.26	3.18	3.10	3.02	2.93	2.84	2.75
17	8.40	6.11	5.19	4.67	4.34	4.10	3.93	3.79	3.68	3.59	3.46	3.31	3.16	3.08	3.00	2.92	2.83	2.75	2.65
18	8.29	6.01	5.09	4.58	4.25	4.01	3.84	3.71	3.60	3.51	3.37	3.23	3.08	3.00	2.92	2.84	2.75	2.66	2.57
19	8.19	5.93	5.01	4.50	4.17	3.94	3.77	3.63	3.52	3.43	3.30	3.15	3.00	2.92	2.84	2.76	2.67	2.58	2.49
20	8.10	5.85	4.94	4.43	4.10	3.87	3.70	3.56	3.46	3.37	3.23	3.09	2.94	2.86	2.78	2.69	2.61	2.52	2.42
21	8.02	5.78	4.87	4.37	4.04	3.81	3.64	3.51	3.40	3.31	3.17	3.03	2.88	2.80	2.72	2.64	2.55	2.46	2.36
22	7.95	5.72	4.82	4.31	3.99	3.76	3.59	3.45	3.35	3.26	3.12	2.98	2.83	2.75	2.67	2.58	2.50	2.40	2.31
23	7.88	5.66	4.76	4.26	3.94	3.71	3.54	3.41	3.30	3.21	3.07	2.93	2.78	2.70	2.62	2.54	2.45	2.35	2.26
24	7.82	5.61	4.72	4.22	3.90	3.67	3.50	3.36	3.26	3.17	3.03	2.89	2.74	2.66	2.58	2.49	2.40	2.31	2.21
25	7.77	5.57	4.68	4.18	3.86	3.63	3.46	3.32	3.22	3.13	2.99	2.85	2.70	2.62	2.53	2.45	2.36	2.27	2.17
30	7.56	5.39	4.51	4.02	3.70	3.47	3.30	3.17	3.07	2.98	2.84	2.70	2.55	2.47	2.39	2.30	2.21	2.11	2.01
40	7.31	5.18	4.31	3.83	3.51	3.29	3.12	2.99	2.89	2.80	2.66	2.52	2.37	2.29	2.20	2.11	2.02	1.92	1.80
60	7.08	4.98	4.13	3.65	3.34	3.12	2.95	2.82	2.72	2.63	2.50	2.35	2.20	2.12	2.03	1.94	1.84	1.73	1.60
120	6.85	4.79	3.95	3.48	3.17	2.96	2.79	2.66	2.56	2.47	2.34	2.19	2.03	1.95	1.86	1.76	1.66	1.53	1.38
∞	6.63	4.61	3.78	3.32	3.02	2.80	2.64	2.51	2.41	2.32	2.18	2.04	1.88	1.79	1.70	1.59	1.47	1.32	1.00

ט-VI: התפלגות χ^2 .

χ^2 , עבור $\nu=27$, ההסתברות שהסטטיסטי, χ^2 , יהיה קטן או שווה ל-16.151 היא 0.05.

$p \leq .50$



$p > .50$

ν	p .005	.01	.02	.025	.05	.10	.20	.25	.30	.50	.70	.75	.80	.90	.95	.975	.98	.99	.995	.999	p
1	.00393	.0157	.0268	.02982	.05093	.1058	.6642	.102	.148	.455	1.074	1.323	1.642	2.706	3.841	5.024	5.412	6.635	7.879	10.827	1
2	.0100	.0201	.0404	.0506	.103	.211	.446	.575	.713	1.386	2.408	2.773	3.219	4.605	5.991	7.378	7.824	9.210	10.597	13.815	2
3	.0175	.0357	.0715	.0878	.178	.352	.584	.713	.853	1.358	3.665	4.108	4.642	6.251	7.815	9.348	9.837	11.345	12.838	16.268	3
4	.0270	.0540	.1080	.1286	.237	.429	.675	.811	.949	1.358	4.878	5.385	5.989	7.779	9.488	11.143	11.668	13.277	14.860	18.465	4
5	.0375	.0750	.1500	.1754	.300	.540	.841	1.012	1.175	1.610	6.064	6.626	7.289	9.236	11.070	12.832	13.388	15.086	16.750	20.517	5
6	.0475	.0950	.1900	.2187	.375	.630	1.012	1.200	1.382	1.850	7.231	7.841	8.558	10.645	12.592	14.449	15.033	16.812	18.548	22.457	6
7	.0575	.1150	.2300	.2618	.450	.735	1.143	1.350	1.532	2.000	8.383	9.037	9.803	12.017	14.067	16.013	16.622	18.475	20.278	24.322	7
8	.0675	.1350	.2700	.3032	.500	.800	1.214	1.437	1.626	2.133	9.524	10.219	11.030	13.362	15.507	17.535	18.168	20.090	21.955	26.125	8
9	.0775	.1550	.3000	.3342	.550	.880	1.294	1.521	1.710	2.278	10.656	11.389	12.242	14.684	16.919	19.023	19.679	21.666	23.589	27.877	9
10	.0875	.1750	.3300	.3642	.600	.930	1.374	1.579	1.767	2.432	11.781	12.549	13.442	15.987	18.307	20.483	21.161	23.209	25.188	29.588	10
11	.0975	.1950	.3600	.3942	.650	.980	1.454	1.624	1.810	2.592	12.899	13.701	14.631	17.275	19.675	21.920	22.618	24.725	26.757	31.264	11
12	.1075	.2150	.3900	.4242	.700	1.030	1.534	1.679	1.850	2.756	14.011	14.845	15.812	18.549	21.026	23.337	24.054	26.217	28.300	32.909	12
13	.1175	.2350	.4100	.4442	.750	1.080	1.614	1.724	1.900	2.918	15.119	15.984	16.985	19.812	22.362	24.736	25.472	27.688	29.819	34.528	13
14	.1275	.2550	.4300	.4642	.800	1.130	1.694	1.799	1.970	3.072	16.222	17.117	18.151	21.064	23.685	26.119	26.873	29.141	31.319	36.123	14
15	.1375	.2750	.4500	.4842	.850	1.180	1.774	1.879	2.050	3.236	17.322	18.245	19.311	22.307	24.996	27.488	28.259	30.578	32.801	37.697	15
16	.1475	.2950	.4700	.5042	.900	1.230	1.854	1.959	2.130	3.400	18.418	19.369	20.465	23.542	26.296	28.845	29.633	32.000	34.267	39.252	16
17	.1575	.3150	.4900	.5242	.950	1.280	1.934	2.039	2.210	3.564	19.511	20.489	21.615	24.769	27.587	30.191	30.995	33.409	35.718	40.790	17
18	.1675	.3350	.5100	.5442	1.000	1.330	2.014	2.119	2.290	3.728	20.601	21.605	22.760	25.989	28.869	31.526	32.346	34.805	37.156	42.312	18
19	.1775	.3550	.5300	.5642	1.050	1.380	2.094	2.199	2.370	3.892	21.689	22.718	23.900	27.204	30.144	32.852	33.687	36.191	38.582	43.820	19
20	.1875	.3750	.5500	.5842	1.100	1.430	2.174	2.279	2.450	4.056	22.775	23.828	25.038	28.412	31.410	34.170	35.020	37.566	39.997	45.315	20
21	.1975	.3950	.5700	.6042	1.150	1.480	2.254	2.359	2.530	4.220	23.858	24.935	26.171	29.615	32.671	35.479	36.343	38.932	41.401	46.797	21
22	.2075	.4150	.5900	.6242	1.200	1.530	2.334	2.439	2.610	4.384	24.939	26.039	27.301	30.813	33.924	36.781	37.659	40.289	42.796	48.268	22
23	.2175	.4350	.6100	.6442	1.250	1.580	2.414	2.519	2.690	4.548	26.039	27.141	28.429	32.007	35.172	38.076	38.968	41.638	44.181	49.728	23
24	.2275	.4550	.6300	.6642	1.300	1.630	2.494	2.599	2.770	4.712	27.096	28.241	29.553	33.196	36.415	39.364	40.720	42.980	45.558	51.179	24
25	.2375	.4750	.6500	.6842	1.350	1.680	2.574	2.679	2.850	4.876	28.172	29.339	30.675	34.382	37.652	40.646	41.566	44.314	46.928	52.620	25
26	.2475	.4950	.6700	.7042	1.400	1.730	2.654	2.759	2.930	5.040	29.246	30.434	31.795	35.563	38.885	41.923	42.856	45.642	48.290	54.052	26
27	.2575	.5150	.6900	.7242	1.450	1.780	2.734	2.839	3.010	5.204	30.319	31.528	32.912	36.741	40.113	43.194	44.140	46.963	49.645	55.476	27
28	.2675	.5350	.7100	.7442	1.500	1.830	2.814	2.919	3.090	5.368	31.391	32.620	34.027	37.916	41.337	44.461	45.419	48.278	50.993	56.893	28
29	.2775	.5550	.7300	.7642	1.550	1.880	2.894	3.009	3.170	5.532	32.461	33.711	35.139	39.087	42.557	45.722	46.693	49.588	52.336	58.302	29
30	.2875	.5750	.7500	.7842	1.600	1.930	2.974	3.259	3.250	5.696	33.530	34.800	36.250	40.256	43.773	46.979	47.962	50.892	53.672	59.703	30

עבור $\nu > 100$, או ערכי ν ($\nu > 30$) שאינם מופיעים בטבלה, חשב: $Z_p = \sqrt{2\nu-1} - \sqrt{2\nu-1}$, ומוצא את p המתאים ל- χ^2 .

טבלה 5-2.

נספח י'. הוראות הפעלה של תוכנת SPC ותוכניות דגימה סטטיסטיות

הקדמה

להלן מובאות הוראות הפעלה של התוכנה לבקרת איכות סטטיסטית המצויה על התקליטון המצורף לספר זה. בגוף התוכנה מצויה אופציה לקבלת עזרה. התוכנה המצורפת לספר מובאת על פי רשיון שהתקבל מהחברה האמריקאית יצרנית תוכנה זאת (ראה מסך הפתיחה בכל אחת מהתוכניות המצורפות). להפעלת התוכנה רשום QUALITY.

א'. תרשימי בקרה למשתנים (לממוצע ולטווח)

1. מטרת התוכנית

תוכנית זאת מחשבת את גבולות הבקרה לצורך בניית תרשימי בקרה לממוצע ולטווח, בונה את תרשימי הבקרה המבוקש, ומאפשרת השמטת תצפיות חריגות כאשר הפרמטרים לחישוב גבולות הבקרה אינם ידועים, ונאמדים באמצעות מדגם תצפיות. בנוסף לכך מבצעת התוכנית ניתוח כושר התהליך, המאפשר לקבוע את פרופורציית הפריטים העומדים במפרט הטכני הנתון. על הרקע התיאורטי לבניית תרשימי בקרה ראה נספח ב'.

2. נתונים דרושים

- השם של תכונת האיכות המבוקרת.
- פרמטרים ידועים/בלתי ידועים.
- מספר תצפיות לקבוצה (מניחים כי בכל קבוצה מספר שווה של תצפיות ≥ 25).
- אם הפרמטרים ידועים: הממוצע, סטיית התקן.
- אם הפרמטרים אינם ידועים:
- מספר הקבוצות הנצפות (≥ 200)
- ערכי התצפיות
- גבול עליון וגבול תחתון של המפרט הטכני לצורך ניתוח כושר תהליך.

3. הוראות התוכנית

- ADD - הוסף קבוצה חדשה לנתונים בזכרון.
- CHANGE - שנה תצפית בקבוצה.
- DELETE - השמט קבוצה.
- DISCARD - סלק קבוצת תצפיות (חריגות) מתרשימי הבקרה. את הסיבה ניתן לרשום בתרשימי הבקרה. קבוצת תצפיות שהושמטו עדיין נמצאת בזכרון, וניתן להחזירה לתרשימי הבקרה (בניגוד להוראה הקודמת).
- EDIT - שנה את תאור התכונה או את גבולות המפרט.
- LIST - פרט תצפיות לפי מספר קבוצה, או את כל התצפיות.
- PROCESS - בצע ניתוח כושר תהליך.
- XBAR - ייצר תרשימי בקרה לממוצע. אם מופיעים חריגים בתרשימי ייקרא התרשימים: TRIAL CHART . רק לאחר השמטת כל התצפיות החריגות (באמצעות הוראות DISCARD) ייקרא התרשימים REVISED CHART
- R - ייצר תרשימי בקרה לטווח.
- REINSTATE - החזר הקבוצה שהושמטה לתרשימי הבקרה.

ב'. תרשימי בקרה לתכונות (לפרופורציה, למספר המופעים ליחידה, למספר המופעים)

1. מטרת התוכנית

תוכנית זאת מחשבת את גבולות הבקרה לצורך בניית תרשימי בקרה לתכונה, שהמופע שלה נמדד באחד משלושת האופנים הבאים:

- פרופורציית המופע, P (לדוגמה: פרופורציית הפגומים בתהליך הייצור).
- קצב המופע, U (לדוגמה: מספר הלקוחות המגיעים לתחנת שרות בשעה).
- מספר המופעים הכולל, C (לדוגמה: מספר התקלות הכולל בלוח מעגלים מודפסים).

2. נתונים דרושים

- בחר את סוג התרשים (U, P או C)
- שם תחנת הבדיקה
- פרמטר ידוע/בלתי ידוע (בלשון התוכנית הפרמטר ניקרא: STANDARD VALUE)
- אם הפרמטר ידוע:
 - עבור תרשים P : גודל הקבוצה, הפרופורציה הממוצעת
 - עבור תרשים U : גודל המדגם, ממוצע מופעים ליחידה
 - עבור תרשים C : מספר מופעים ממוצע כולל
- אם הפרמטר אינו ידוע:
 - עבור תרשים P : מספר הקבוצות לאומדן $P \geq 500$, מספר תצפיות בקבוצה, מספר המופעים בכל קבוצה.
 - עבור תרשים U : מספר הקבוצות לאומדן $U \geq 500$, מספר תצפיות בקבוצה, מספר המופעים בכל קבוצה.
 - עבור תרשים C : מספר הפריטים הנבחן, מספר המופעים בכל פריט.

3. הוראות התוכנית

- כמו בסעיף א', אך נוספו ההוראות הבאות:
- CHART - ייצר תרשימי בקרה לתכונות.
- TABLE - פרט את כל התצפיות.
- DES - שנה תאור תחנת הבדיקה.
- RESTART - התחל בעיה חדשה.

ג. תוכנית דגימה מתקנת לפי תכונות (בחינה מלאה של סדרות שנידחו)

(LOT - BY - LOT RECTIFYING SINGLE SAMPLING ACCEPTANCE PLANS)

1. מטרת התוכנית

תוכנית דגימה זאת מפרטת את גודל המדגם ואת קריטריון ההחלטה שלפיהם יוחלט אם לדחות סידרת פריטים או לקבלה, על סמך קיומה של תכונה מסויימת במדגם פריטים שנבדק. בדרך כלל אנו קובעים מפרט רצוי של הסידרה, ותוכנית הדגימה מבטיחה (ברמת ביטחון רצויה) כי דרישות אלו יתקיימו. בתוכנית זאת אנו מניחים כי כאשר בדיקת הקבלה הובילה להחלטה לדחות סידרה, נבדקים כל הפריטים ופריט שנמצא פגום מוחלף בתקין. באופן זה מובטח כי פרופורציית הפריטים הפגומים הממוצעת לסידרה יוצאת תהיה נמוכה כנדרש. התוכנית מוצאת, מבין כל תוכניות הדגימה הממלאות את הדרישה, את תוכנית הדגימה עבודה מספר הפריטים הממוצע שיבדק לסידרה (כולל פריטי הסדרות הדחיות שנבדקו) יהיה מינימלי.

לבסוף, שים לב כי תוכנית זאת אינה מבטיחה אותנו, ברמת ביטחון רצויה, מפני אחוז פגמים מסויים בסידרה בודדת. קריטריון כזה לבניית תוכנית דגימה ישמש בסעיף הבא.

2. רקע תיאורטי

יהיו :

n - גודל המדגם

N - גודל הסידרה

C - מספר הקבלה (מספר פריטים פגומים מקסימלי במדגם לצורך קבלת הסידרה)

P - פרופורציית הפגומים בתהליך

P_a - ההסתברות שסידרה תתקבל (במדגם יהיו לא יותר מ- C פריטים פגומים)

ברור כי לכל 1000 סדרות שיבדקו, 1000 P_a סדרות יתקבלו, ו- $(1 - P_a)$ 1000 סדרות יידחו.

מספר הפריטים הפגומים הכולל **בסדרות שהתקבלו** הוא: $1000 P_a [(N - n) P + 0]$

$(N - n) P$ - מספר הפגומים מבין פריטי הסידרה, שלא נכללו במדגם. הפגומים במדגם מוחלפים (בתקנים). מספר הפריטים הפגומים **בסדרות שנידחו** הוא 0, כיוון שסדרות אלו נבדקות בשלמותן.

מכאן שפרופורציית הפריטים הפגומים הממוצעת לסידרה יוצאת תהיה: $AOQ = P_a P (1 - n / N)$

(AOQ - Average Outgoing Quality).

על ידי ההשוואה: $AOQ = AOQL$, כאשר ה- $AOQL$ נתון על ידי המשתמש, ניתן למצוא את n ואת C

הדרושים ($AOQL$ - Average Outgoing Quality Limit).

מספר הפריטים הממוצע הנבדק לסידרה יהיה: $ATI = n + (1 - P_a) (N - n)$

(ATI - Average Total Inspection).

התוכנית מוצאת את נוהל הדגימה (n, C) שיתן ATI הנמוך ביותר עבור $AOQL$ נתון.

תוכניות דגימה מסוג זה הוצעו לראשונה, בצרף טבלאות מתאימות, על ידי:

Dodge, H.F. & H.G. Romig (1959). Sampling Inspection Tables - Single and Double Sampling. 2nd Edition. John Wiley, NY.

תוכנית זאת משתמשת בערכים מספריים הנתונים בטבלאות אלו. לבסוף, שים לב כי P_a מחושבת על פי ההתפלגות הפואסונית, המשמשת במקרה זה כקרוב להתפלגות הבינומית.

3. נתונים דרושים

- שם תחנת הבדיקה
- גודל הסידרה
- הערך של AOQL (בשבר עשרוני)
- פרופורציית הפגמים בתהליך (P)

4. הוראות התוכנית

- PLAN - ייצר את תוכנית הדגימה.
- PLOTOC - שרטט עקומת OC. שים לב, כי עקומה זאת מציינת את הסתברות הקבלה של סידרה כתלות בפרופורציית הפגמים בפועל באותה סידרה.
- PLOTAOQ - שרטט עקומת AOQ. עקומה זאת מציינת את פרופורציית הפגמים הממוצעת לסידרה יוצאת, כפונקציה של P.
- CHANGE - שנה נתונים.
- RESTART - התחל בעיה חדשה.

ד. תוכנית דגימה לא מתקנת לפי תכונות, עבור סיכון יצרן וסיכון צרכן של 5% ו-10%, בהתאמה. גירסה 1.

1. מטרת התוכנית

תוכנית זאת מייצרת תוכניות דגימה לפי תכונות, כאשר על המשתמש לספק שני פרמטרים:

- רמת האיכות הגבולית הרצויה לצרכן - AQL (Acceptable Quality Limit). זוהי רמת האיכות המקובלת על הצרכן כסבירה.
- רמת האיכות הגבולית לסידרה בודדת - LTFD (Lot Tolerance Fraction Defective). זוהי פרופורציית הפגמים המקסימלית בסידרה בודדת שהצרכן מוכן לקבל.

שים לב, כי בעוד שה-AQL מציין את רמת האיכות הכללית של תהליך הייצור, הרי ה-LTFD מתייחס לרמת האיכות הגבולית (הנמוכה ביותר) הנסבלת בסידרה בודדת. בפועל, מצפה הצרכן כי רמת האיכות של היצרן תהיה טובה מזאת הניתנת על ידי ה-AQL.

תוכנית זאת מציעה נוהלי דגימה שעבורם עקומת ה-OC עוברת דרך שתי הנקודות: $(AQL, 1 - \alpha)$, $(LTFD, \beta)$, כאשר α ו- β הם סיכון היצרן וסיכון הצרכן, בהתאמה. כיוון שתוכנית הדגימה ניתנת תמיד במספרים שלמים (n ו-C), לא ניתן להבטיח כי סיכון היצרן וסיכון הצרכן יהיו בדיוק 5% ו-10%, בהתאמה, כפי שמנסה התוכנית להשיג. לפיכך בכל הרצה של התוכנית מתקבלות 4 תוכניות דגימה, אשר סיכוני היצרן והצרכן שלהן קרובים לערכים המצויינים לעיל.

יצוין, כי בתוכנית זאת אין המשתמש חופשי לבחור הסיכונים כרצונו. בסעיף הבא מובאת תוכנית בה המשתמש רשאי לציין את α ו- β הרצויים ואז התוכנית מציעה מספר תוכניות דגימה, ובוחרת את זאת שעבורה סך כל ההפרש (באחוזים) בין הסיכונים המבוקשים ובין אלו של התוכנית הוא הנמוך ביותר.

2. נתונים דרושים

- שם תחנת הבדיקה
- גודל הסדרה
- AQL (בשבר עשרוני)
- LTFD (בשבר עשרוני)
- גודל המרווח המבוקש בו יעשה שימוש בשרטוט עקומת OC.

3. הוראות התוכנית

- PLANS - ייצר 4 תוכניות דגימה אפשריות.
- OCI - ייצר עקומת OC לתוכנית דגימה I (I = 1, 2, 3, 4).
- RESTART - התחל בעיה חדשה.
- CHANGE - שנה נתונים.

ה'. תוכנית דגימה לא מתקנת עבור סיכון יצרן וסיכון צרכן נתונים. גירסה 2.

1. מטרת התוכנית

תוכנית זאת מייצרת תוכניות דגימה, בדומה לתוכנית שבסעיף הקודם. ההבדלים העיקריים בין שתי הגירסאות:

א. גירסה 2 אינה מיצרת עקומות OC.

ב. גירסה 2 מיצרת שתי קבוצות של תוכניות דגימה:

קבוצה I - בה סיכון היצרן נשאר כמעט קבוע, ואילו סיכון הצרכן משתנה.

קבוצה II - בה סיכון הצרכן נשאר כמעט קבוע, ואילו סיכון היצרן משתנה.

ג. גירסה 2 "בוחרת" את תוכנית הדגימה הטובה ביותר במובן זה שהסטייה היחסית הכוללת מסיכון היצרן וסיכון הצרכן המבוקשים היא בערכה המוחלט מינימלית.

ד. גירסה 2 מאפשרת לבחור סיכון יצרן וסיכון צרכן כרצוננו.

2. נתונים דרושים

- AQL (באחוזים)
- סיכון יצרן (בשבר עשרוני)
- סיכון צרכן (בשבר עשרוני)
- LTPD (Lot Tolerance Percent Defective) באחוזים

3. הוראות התוכנית

עם קריאת התוכנית, התוכנית מדריכה את המשתמש לגבי הנתונים הדרושים.

1. תוכנית דגימה לפי משתנים, עבור מפרט בעל גבול יחיד או כפול (Lot by Lot Single Sample Design by Variables)

1. מטרת התוכנית

תוכנית דגימה לפי משתנים היא תוכנית שנועדה לבקר אם משתנה רציף כלשהוא (למשל: הקוטר של ציר המיוצר בחריטה, או הריכוז של חומר כימי מסויים בתהליך) מצוי בתוך תחום מסויים, שנקבע משיקולים טכנולוגיים.

קיימים שני סוגים של תוכניות דגימה לפי משתנים:

- תוכניות שנועדו לבקר את **פרופורציית** הפריטים הפגומים בתהליך (פרופורציית הפריטים שעבורם המשתנה הנבדק חרג מהתחום המותר).
- תוכניות שנועדו לבקר **פרמטר** מסויים של התהליך, בדרך כלל הממוצע (האם ממוצע התהליך חרג מהתחום המותר).

תוכנית זאת מייצרת תוכנית דגימה לפי משתנים, המיועדת לבדוק את פרופורציית הפגומים בתהליך (כאשר פריט מוגדר כפגום על פי ההגדרה שלעיל).

תחום ההשתנות המותר של המשתנה המבוקר יכול להיות מוגדר כבעל גבול יחיד (עליון או תחתון) או כבעל גבול כפול. לדוגמה: אם אסור שמשקל קופסת מזון יהיה נמוך מערך מסויים (נניח L), אזי תוכנית הדגימה תאפשר לקבוע אם פרופורציית הקופסאות שמשקלן נמוך מ- L הינו כנדרש, דהיינו: AQL. במקרה זה המפרט הוא בעל גבול אחד בלבד, גבול תחתון.

לצורך ביצוע נוהל הדגימה נדרשים שני מספרים: גודל המדגם, n , והערך הקריטי של הממוצע המדגמי של המשתנה הנבדק, $\bar{X}_{cr}$. אם הממוצע המדגמי, $\bar{X}$, יחרוג מהערך הקריטי - נדחה את סדרת הייצור (כאשר מוגדרים שני גבולות למשתנה הנבדק, יוגדרו בהתאם גם שני ערכים קריטיים לממוצע המדגם). להלן נניח כי אם הוגדרו שני גבולות לתחום ההשתנות המותר של המשתנה הנבדק, גבולות אלו מרוחקים במידה שווה מהממוצע הנומינלי (למשל: אם המשתנה הנבדק הוא קוטר של ציר, אשר קוטרו הנומינלי 25 מ"מ, אזי הגבולות המותרים יהיו (עבור d כלשהוא): $(25 - d, 25 + d)$).

2. רקע תיאורטי

יהיו L ו- U הגבול התחתון והגבול העליון, בהתאמה, לתחום ההשתנות המותר של המשתנה המבוקר. תהי σ סטיית התקן שלו. מאחר ועקומת OC של כל תוכנית דגימה אמורה לתת את הסתברות הקבלה של הסידרה כתלות בפרופורציית הפגומים, ניתן לקבוע את נוהל הדגימה על ידי קביעת שתי נקודות על עקומת ה- OC:

נקודה 1: $(AQL, 1 - \alpha)$ - כאשר α היא סיכון היצרן (קיימת הסתברות של $1 - \alpha$ לקבל את הסידרה, כאשר היא עומדת ברמת האיכות הנדרשת, AQL).

נקודה 2: $(LTFD, \beta)$ - כאשר β היא סיכון הצרכן (קיימת הסתברות של β לקבל את הסידרה, כאשר פרופורציית הפגומים היא גבולית, דהיינו: LTFD).

נוהל ההחלטה יתבסס על הממוצע המדגמי, $\bar{X}$. נניח, לצורך הפיתוח התאורטי, כי קיים גבול תחתון בלבד,

$$L, \text{ ונרשום את הערך הקריטי של הממוצע המדגמי באמצעות } L \text{ ו- } \sigma \text{ כלהלן: } \bar{X}_{cr} = L + k \sigma$$

(דהיינו אם $\bar{X} < \bar{X}_{cr}$ - תדחה הסידרה).

נספח יי - 7

כדי לקבוע את k חייבות להתקיים שתי דרישות:

א. ההסתברות כי המשתנה המבוקר יהיה גדול מ- L בתהליך ייצור תקין (כלומר: פרופורציית הפריטים בתהליך ייצור תקין) תהיה: $1 - AQL$.

ב. ההסתברות להחליט על קבלת הסידרה כאשר היא תקינה (הסתברות המאורע: $\bar{X} > \bar{X}_{cr}$) תהיה $1 - \alpha$.

בלשון סטטיסטית ניתן לרשום שתי דרישות אלו כלהלן, כאשר X הוא המשתנה הנבדק (משתנה אקראי):

$$\Pr (X > L) = \Pr [Z > (L - \mu) / \sigma] = 1 - AQL$$

$$\Pr (\bar{X} > \bar{X}_{cr}) = \Pr [Z > (L + k\sigma - \mu) / (\sigma / \sqrt{n})] = 1 - \alpha$$

כאשר μ הוא ממוצע התהליך, ו- Z הוא המשתנה הנורמלי סטנדרטי.

$$k = Z_{\alpha} / \sqrt{n} + Z_{1-AQL} \quad \text{משתי המשוואות האלו ניתן לקבל:}$$

כאשר Z_p הוא הפרקטיל ה- p של ההתפלגות הנורמלית סטנדרטית ($100p\%$ מההתפלגות נמצאת משמאל לערך זה).

$$k = Z_{1-\beta} / \sqrt{n} - Z_{LTFD} \quad \text{באופן דומה ניתן לקבל מהנקודה השנייה על עקומת ה- OC:}$$

משתי המשוואות האחרונות ניתן למצוא את n ואחר כך את k .

הפיתוח התיאורטי למקרה שקיימים שני גבולות לתחום ההשתנות המותר של המשתנה המבוקר (דהיינו: L ו- U) הוא דומה.

בתוכנית שלושה נוחלים חישוביים נפרדים:

I. מפרט גבול יחיד (עליון או תחתון), כאשר סטיית התקן של המשתנה (σ) ידועה (SSKNOWN).

II. מפרט עם גבול כפול (עליון ותחתון), כאשר σ ידועה (DSKNOWN).

III. מפרט עם גבול יחיד (עליון או תחתון), כאשר σ אינה ידועה (SSUNKNOWN).

תחת תנאים מסויימים של הנתונים המתקבלים מהמשתמש, התוכנית מסוגלת לקבוע אם תהליך הייצור תקין, וזאת בלא לבצע דגימה כלל. אך אם יש צורך בנוהל דגימה - התוכנית מספקת אותו באופן מפורט בלי שיהיה צורך בחישובים נוספים כלשהם.

לבסוף נציין, כי מאחר ו- n הוא מספר שלם, עקומת ה- OC אינה עוברת בדיוק דרך הנקודות $(1-\alpha)$ ו- β המבוקשות, ולכן יתכן שנוהל הדגימה המיוצר על ידי התוכנית מספק סיכוי יצרן וצרכן שהינם מקורבים לאלו המבוקשים.

3. נתונים זרושים

- תאור משתנה האיכות הנבדק.
- רמת איכות רצויה, AQL (בשבר עשרוני).
- סיכון היצרן, α (בשבר עשרוני).
- רמת איכות גבולית לסידרה, LTFD (בשבר עשרוני).
- סיכון צרכן, β (בשבר עשרוני).
- כאשר סטיית התקן ידועה: הערך של סטיית התקן, σ .
- כאשר סטיית התקן אינה ידועה: מספר התצפיות ($1000 \geq$) וערכי התצפיות.
- גבול (ות) המפרט (L ו/או U).
- למפרט בעל גבול כפול: פרופורציית הפגומים המירבית המותרת.
- לצורך שרטוט עקומת OC: גודל המרווח המבוקש בשרטוט.

4. הוראות התוכנית

- | | |
|--|-------------|
| תוכנית דגימה לגבול יחיד (סטיית תקן ידועה) | - SSKNOWN |
| תוכנית דגימה לגבול כפול (סטיית תקן ידועה) | - DSKNOWN |
| תוכנית דגימה לגבול יחיד (סטיית תקן בלתי ידועה) | - SSUNKNOWN |
| ייצר תוכנית דגימה בלי לשרטט עקומת OC | - PLAN |
| ייצר תוכנית דגימה עם שרטוט עקומת OC | - PLANOC |
| פרט תצפית בודדת כל פעם | - LIST |
| שנה תצפית אחת כל פעם | - CHANGE |
| הוסף תצפית | - ADD |
| השמט תצפית | - DELETE |
| שנה נתונים אחרים | - ALTER |

הערה: בחר אחת משלוש התכניות הנתונות (אחת משלוש ההוראות הראשונות לעיל) או בהוראת READ לפני השימוש בהוראות האחרות.

על המחבר

ד"ר חיים שור הוא מרצה בכיר במחלקה להנדסת תעשיה בפקולטה להנדסה באוניברסיטת ת"א. הוא בוגר ומוסמך הטכניון בהנדסת תעשיה וניהול ובחקר ביצועים, והשלים את עבודת הדוקטורט במחלקה למתמטיקה באוניברסיטת בר-אילן.

ד"ר שור הוא מחברו של הספר "שיטות כמותיות בתכנון ובקרה" (יצא בשיתוף המכון לפריון העבודה והייצור), מרצה תדיר בכנסים בינלאומיים בנושאי איכות, ופרסם מאמרים רבים בעתונות המקצועית הבינלאומית בנושאי איכות, יישומים סטטיסטיים וחקר ביצועים.

ד"ר שור משמש כיועץ ניהולי למפעלים ולארגונים למעלה מ־20 שנה, חוסמך כ"מהנדס איכות" על ידי האיגוד האמריקאי לבקרת איכות (A.S.Q.C) והוא חבר בכיר באיגוד זה.