

## אבטחת איכות לאורך זמן: האם אנחנו מקיימים את ההבטחה?

ד"ר אביגדור זוננשיין<sup>1</sup>, אבי הראל<sup>2</sup>  
רפא"ל, ת.ד. 2250, חיפה, טל: , דוא"ל: [avigdor@rafael.co.il](mailto:avigdor@rafael.co.il)  
ארגוליט, גבעון 6, חיפה, טל: 054-453-4501, דוא"ל: [avi.1@ergolight-sw.com](mailto:avi.1@ergolight-sw.com)

### תקציר

ההגדרה המקובלת כיום לאיכות מתייחסת אל התועלת שהמערכת מביאה ללקוח. בפועל, תהליכי אבטחת האיכות המקובלים עוסקים בפעילויות של אבטחת התועלת ליצרן, ומזניחים את התועלת ללקוח. לאחרונה, עולה הצורך להרחיב את מגוון הנושאים שמגדירים את האיכות של מערכת באופן שייצגו את כלל הגורמים המשפיעים על התועלת לעסק. המאמר מציג שיקולים בבחירת מאפייני האיכות הרלבנטיות ללקוח ספציפי, ואת ההשלכות שלהם על התכן ההנדסי.

מושג האיכות בשימוש מתייחס אל מגבלות של המשתמש להבין את אופן הפעולה של המערכת, לעקוב אחר מצבי המערכת, ולפעול באופן מדויק, על פי הנחיות היצרן. המתודולוגיה המקובלת של אבטחת איכות עוסקת בעיקר בשלבי התפעול הראשוני של המערכת, ואינה מספקת פתרון הולם לשלב התפעול השוטף, שהוא קריטי מבחינת איומים קיומיים, כגון איומים אקולוגיים.

איכות השימוש לאורך זמן נקבעת על ידי זמינות המערכת ועל ידי אמינות השימוש בה. על מנת להבטיח את מאפייני האיכות, צריך לשלב אותם בתהליך הפיתוח, והשילוב צריך להיות חלק מהמתודולוגיה של הנדסת מערכת. העקרונות לאבטחת איכות השימוש לאורך זמן מבוססים על תכן שהוא מונחה תפקיד, במקום הדרך המקובלת יותר כיום, תכן שהוא מונחה תכונות.

הפרקטיקה של אבטחת איכות השימוש עוסקת בדרך כלל בשלב התפעול הראשוני, אבל לא בשלב התפעול השוטף. בפרויקטים רבים, הלקוח בדרך כלל מרוצה מהמערכת בשלב התפעול הראשוני, אבל מתאכזב בהמשך מאיכות התפעול שלה. בפרויקטים אחרים, הנושאים של אסתטיקה שימושיות, שמישות ואמינות תפעולית אינם מטופלים באופן מקצועי, והתוצאה היא חוסר שביעות רצון של הלקוח כבר בשלב התפעול הראשוני.

הדרישות מהמערכת במונחים של מאפייני האיכות השונים כוללות ניגודים. מושג האיכות משתנה ע"פ הפרויקט וכן עם הנסיון שהלקוח רוכש בשימוש במוצר או בחוויות השירות. הדרך המוצעת לפתור את הניגודים הללו היא על ידי הגדרת מאפיינים בהתאמה לשלב התפעול.

### מבוא

באופן היסטורי, הדיסציפלינה של אבטחת איכות נוצרה כמענה לבעיה של התמקדות המפתחים בפונקציונליות, תוך הזנחה של מאפיינים הקשורים ליצור ולתפעול לאורך זמן, כגון אמינות ותחזוקתיות, שהם קריטיים למוניטין של היצרן ושל העסק. במשך הזמן, התחום של האבטחת איכות זכו להתמקצעות, כולל שימוש בטכניקות ובכלים יעודיים, כולל סימולציות, סטטיסטיקה וכיו"ב. ברבות הימים, עלה הצורך לטפל באופן מקצועי בנושאים קריטיים נוספים, כמו יעילות, תואמות, שירות ושימוש שאינם בליבה של הנדסת מערכת, ולכן הנושאים הללו כלולים בהגדרות השונות של מושג האיכות.

הצורך להרחיב את מגוון נושאי האיכות מתבטא בפעילות של ארגונים מובילים בעולם. לדוגמה, בכנס הבינ"ל לאיכות של שנת 2008 הציג מנהל אבטחת האיכות במוטורולה את הפעילות של קבוצת אבטחת האיכות בתחום של חווית המשתמשים. המאמר מציג שיקולים בבחירת מאפייני האיכות הרלבנטיות ללקוח ספציפי, ואת ההשלכות שלהם על התכן ההנדסי, כולל מיצוב וארכיטקטורת המערכת, וכן הממשק ותוכנת ההפעלה.

### מושג האיכות

ANSI/ASQC הגדיר את מושג האיכות של מוצר או שירות כ"סך כל התכונות והמאפיינים שמשפיעים על יכולתו לספק צורך מפורש או סמוי" (A3-1987 פסקה 2.1). הגדרה זו היא ישימה הן ליצרן והן לצרכן מכיוון שהיא הצהרתית, ואינה אופרציונלית, דהיינו, אינה מתייחסת אל אפשרויות המדידה של איכות. הגדרות אופרציונליות של איכות, המתאפשרות אל מדדי איכות, מכוונות אל הצרכים הספציפיים של קהל היעד. כך, למשל, אפשר לדבר על איכות של מוצר או שירות מנקודת מבט היצרן, או מנקודת מבט הצרכן.

### מושג האיכות לשירות היצרן

ISO 9000:2000 תרגם את ההגדרה הכללית מושג האיכות להגדרה אופרטיבית, הניתנת למדידה ולהערכה, ל"דרגה שבה קבוצה של מאפיינים עונה על דרישות". ההגדרה של ISO מספקת את צרכיהם של היצרנים ושל ספקי שירותים, והיא נוחה לישום. ההגדרה מאפשרת להם לבחור לעצמם את מאפייני האיכות בהם יעסקו. היצרן מתמקד ביעילות ובאמינות של תהליכי היצור, ולכן המאפיינים המועדפים עליו עוסקים באמינות, בדיקות ותחזוקתיות של רכיבים. ספק השירותים מתמקד בתפוקת העובדים, נותני השירות, ולכן הוא מעדיף למדוד ולהעריך זמני ביצוע. לאחר שהגדירו את מאפייני

האיכות לנוחותם, נוח ליצרן ולספק השירות לעבוד על פי דרישות פורמליות. הבעיה היא שמדדים אלו הם בעלי תוקף מוגבל, מהבחינה שלא ניתן להשתמש בהם לצורך חיזוי ההצלחה או הכשלון של מכירות המוצר או השירות לאורך זמן.

### אסטרטגיית האיכות של העסק

מושג האיכות מקבל משמעות אחרת כאשר הוא בא לענות על צרכי העסק. מבחינת העסק, החשיבות של מאפיינים כמו בדיקותיות ותחזוקתיות היא מועטת. לעומת זאת, איכות המערכת או השירות כפי שהם נתפסים על ידי הלקוח הם קריטיים להמשך קיום העסק. אבל, המשמעות של איכות זו שונה בתכלית מזו של היצרן. כאשר הלקוח אומר שמערכת סטיריאו היא איכותית, הוא מתכוון לכך שהצליל המופק מהמערכת הוא ערב לאוזן. כאשר המוכר של מערכת טלביזיה אומר שהיא איכותית, הוא מתכוון לכך שהמסך הוא ברזולוציה גבוהה, ושתכונות כמו צבע וקונטרסט יוצרות תחושה של תמונה שמייצגת את המציאות בצורה אמינה. באופן כללי, תפיסת האיכות מתייחסת לפונקציונליות, ולתכונות אחרות של המערכת שהן חשובות במיוחד למערכת.

ההגדרה של ANSI/ASQC לאיכות כוללת התייחסות לדרישות סמויות. מאחורי התייחסות זו מסתתרות ארבע הנחות יסוד:

1. ההוכחה של איכות מוצר או שירות היא המשך מכירות לאורך זמן
  2. המשך המכירות לאורך זמן נקבע על ידי שביעות רצון הלקוח מהמוצר או השירות
  3. שביעות רצון הלקוח מושפע בראש ובראשונה מהאופן בו המוצר או השירות עונים על ציפיותיו
  4. לא ניתן לחזות בשלב התכנון את ציפיות הלקוח, ולכן לא ניתן להתבסס על דרישות פורמליות בלבד.
- לפיכך, מנקודת הראות של העסק, המדד התקף ביותר הוא סטטיסטיקה של שביעות רצונו של הלקוח מהמוצר או מהשירות. הבעיה במדד זה היא שהערכת האיכות מתקבלת בשלב מאוחר מדי.

### אבטחת האיכות להלכה ולמעשה

כיום, תהליכי אבטחת האיכות אינם תומכים באסטרטגיה של העסק. מאפיינים עיקריים הקשורים לתפיסת האיכות על ידי הלקוח, כגון פונקציונליות, אסתטיקה, ביצועים, שימושיות, שמישות ואמינות תפעולית, אינם נכללים בדרך כלל בתחום ההתעסקות של אנשי אבטחת איכות.

### מושג האיכות בשימוש

להדגמת בעיית השימושיות, במאמר בכנס האיכות לפני שנתיים הצגנו את המקרה האבסורדי של בדיקת איכות למכונת ללא מנוע (הראל, 2007). ברור שדוגמא זו היא היפוטטית, ואינה נדרשת להתייחסות של אנשי אבטחת איכות, מכיוון שמדובר בפונקציה עיקרית של המערכת, בלעדיה למערכת אין זכות קיום. במובן המעשי, בעיית השימושיות מתייחסת אל גורמי הנחתה של התועלת למשתמש. למשל, במערכת סטראו ביתית, שהשליטה בה היא בעזרת תצוגה במוניטור של הטלביזיה, השיעבוד למוניטור הטלביזיה מהווה מגבלת שימושיות.

מושג האיכות בשימוש מוגדר בהקשר של מערכות עבורן השמישות היא קריטית לשביעות רצון הלקוח מהמערכת. עבור מערכות כאלה, קיימת חפיפה בין מושג השמישות לבין מושג האיכות בשימוש (Bevan, 1995). במערכות כאלו, המושג מתייחס אל מגבלות של המשתמש להבין את אופן הפעולה של המערכת, לעקוב אחר מצבי המערכת, ולפעול באופן מדויק, על פי הנחיות היצרן.

### שמישות לאורך זמן

בעיית השמישות לאורך זמן של מערכת טלביזיה ביתית הוצגה על ידי הראל (2007). בדוגמא זו, בעיית השמישות נובעת מכשל תכנון של השלט של הממיר הדיגיטלי. הכשל הוא של תכנון הפעלה באופן שמאפשר למשתמש לטעות. מורכבות הבעיה נובעת מכך שהמשתמש אינו מודע לטעות שלו, ומתלונן על תקלה במערכת. המשתמשים מתוסכלים מכך שהמערכת מדי פעם אינה פועלת, מסיבה בלתי ברורה להם, וספקי השירות נושאים בעלות של טיפול בתקלות סרק. לאחרונה עלתה המודעות של היצרנים וספקי השירות לסוג זה כשל מערכתי, כפי שלמדנו מההרצאת המבוא של מנהל אבטחת האיכות של מוטורולה בכנס האיכות הבינ"ל 2008.

### אמינות תפעולית וקיימות (sustainability)

הטכנולוגיה היא חרב פיפיות: הטכנולוגיה עשויה לתרום, וגם תורמת בפועל לאיכות החיים, אבל היא עלולה גם לגרום לאיום קיומי. דוגמאות לאיום הקיומי ראינו כבר במספר אסונות בעבר, כגון התאונה באסון הגרעיני בצ'רנוביל, התאונה במפעל הכימי בבהופל, התאונה האקולוגית באיי סילי בדרום מערב אנגליה, ועוד. ניתן לתאר תרחישים, בעיקר בתחום האנרגיה הגרעינית, בהם האיום הקיומי עלול לחרוג מה"מקומי" ולהפוך לגלובלי.

בניתוח הארועים בדיעבד, את מרבית התאונות הקטלניות ניתן היה למנוע על ידי מתן עדיפות לנושא האמינות התפעולית. בכל דוגמאות לעיל (צ'רנוביל, בהופל, איי סילי), היה מצב של טעויות מפעיל, שהמערכת לא מנעה אותן, וגם לא תמכה בתהליכי איתור והתאוששות מהמצבים החריגים.

אמינות השימוש זוהי בעצם בעייה של קשיים של המשתמש לפעול על פי הנחיות או ציפיות המפתחים, ויש לה השפעות במגוון של נושאים:

- מניעת תקלות תפעול במוצרים לשימוש יומיומי, כגון מערכות ביתיות ומערכות ציבוריות
- מניעת תאונות בתפעול מערכות הנדסיות, כולל חדרי בקרה של מפעלים כימיים, של כורים גרעיניים, של מתקני שיגור וכיו"ב,
- שיפור תפוקת מפעילים של מערכות בקרת יצור.

### ממדי האיכות לתועלת הלקוח

הגדרה אופרטיבית ותקיפה של מושג האיכות צריכה לאפשר חיזוי מכירות עוד בשלב הפיתוח, ולהשפיע על הפיתוח באופן שיבטיח את שביעות רצון הלקוח. הגדרה כזו מבוססת על מספר פרמטרים שהם ניתנים למדידה, ואשר נמצאים בקורלציה לשביעות רצון הלקוח. כך Garvin (1987) הגדיר מערך של שמונה מימדים שמאפשרים חיזוי של שביעות רצון הלקוח ממוצרים: ביצועים, תכונות, אמינות, התאמה למפרטים, אורך חיים, שירות, אסתטיקה, איכות נתפסת. באופן דומה, התקן ISO/IEC 9126-1 להערכת איכות תוכנה בנוי על מערך של ששה מימדים: פונקציונליות, אמינות, שמישות, יעילות, תחזוקתיות ותואמות.

### מדדי האיכות בפרספקטיבות השונות

התרשים הבא מציג את הקשרים בין מימדי איכות עיקריים מנקודות המבט של הספק ושל הלקוח:



### אמינות תפעולית

מדדי האיכות הנ"ל אינם כוללים התייחסות לבעיות התפעול שתוארו לעיל, כולל: שמישות לאורך זמן של מערכת טלביזיה ביתית, איומי קיימות בגין תאונות גרעיניות, תאונות בתחום התעשייה התחבורה והרפואה, ועוד. כל הבעיות הללו הן בגדר בעיות של "אמינות תפעולית". המושג של אמינות תפעולית מתייחס לשני סוגים של תקלות תפעול: טעויות משתמש וקשיים בהתגברות על מצבי תקלה.

### טעויות משתמש

חוק יסוד בתכנון למניעת טעויות משתמש הוא בעצם ישום של חוקי מרפי לתחום של תפעול מערכות:

**אם המשתמש יכול לטעות, במוקדם או במאוחר הוא יטעה!**

הסיבות לטעויות משתמש הן רבות ומגוונות, והן כוללות:

- חוסר הכרות עם פרטי מפרט הדרישות
- חוסר בקיאות בהוראות ההפעלה
- חוסר מודעות להנחות של המפתחים לגבי דרך התפעול, שאינן כלולות בהוראות ההפעלה
- קשיים במעקב אחר שינויים במצב המערכת

- קשיים בהתחשבות במצב המערכת במהלך התפעול
- פעילות פסיכומטורית אוטומטית, במהירות שעולה על מהירות השיפוט לפני ביצוע הפעולה.
- טעויות משתמש הן גורם מרכזי לחוסר שביעות רצון משתמשים (כגון, בתפעול מערכת אלקטרונית ביתית), להנחתה בתפוקת עובדים (כגון במרכזי שירות לקוחות) ולתאונות (כגון, תאונות אש ידידותיות).

הדרכים למניעת טעויות משתמש חורגות מהמנדט של הנדסת גורמי אנוש, מכיוון שהן מחייבות דרישות למניעת טעויות מצב ברמת מפרטי התוכנה ומפרטי המערכת.

### קשיים בהתגברות על מצבי תקלה

במרבית מצבי התקלה, המשתמש נמצא במצב שהוא בלתי מוכר לו. המשתמש צריך להבין את מצב המערכת, מבלי שהיתה לו הזדמנות להתנסות בה לפני כן. לצורך התגברות על התקלה, הוא צריך לדעת:

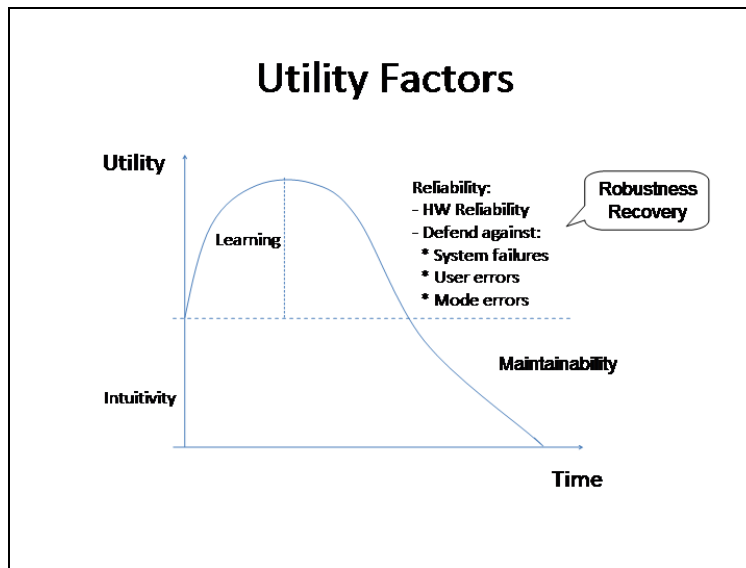
- להבין שהמערכת נמצאת במצב חריג
- לזהות את מצב התקלה
- לאבחן את הסיבות שגרמו למצב התקלה
- למצוא את הדרכים לתיקון התקלה.

אם הזמן שעומד לרשותו הוא מוגבל, מצב התקלה עלול להסתיים באסון. הדוגמאות לכך הן רבות, והן כוללות תאונות אויריות (כגון, איירבס 320 בטיסת AF 296), תאונות אקולוגיות (כגון, המיכלית Torrey Canyon באיי סילי), תאונות בתעשייה הכימית (כגון, במפעל ליצור MCI בבהופל), תאונות ביצור אנרגיה גרעינית (כגון, במפעל של TMI), תקלות ביצור אנרגיה חשמלית (כגון, נפילת המתח בניו יורק בשנת 1977) ועוד.

הדרך לסייע למפעיל להתמודד עם מצבי תקלה היא אבטחת איכות מערכת "עזרה למשתמש" שמוגדרת על פי תרחישים של מצבי תקלה.

### הקשר בין מאפייני האמינות לבין אורך חיי המערכת

התכונה של אורך חיי המערכת נקבעת על ידי הזמן בו התועלת שהלקוח מפיק מהמערכת היא חיובית. פונקצית התועלת ללקוח לאורך זמן מתוארת בתרשים הבא:



התועלת ללקוח נקבעת על ידי מאפיינים של תפעול המערכת, על פי שלבים:

- בשלב התפעול הראשוני, המאפיינים הדומיננטיים הם אלו שקשורים לשמישות במונח ה"קלאסי", כלומר, ליכולת המשתמש להבין בקלות את אופן התפעול של פונקציות בסיסיות. האיכות נקבעת על פי אינטואיטיביות השימוש במערכת
- בשלב ההתמקצעות, המאפיינים הקובעים הם אלו שקשורים ליכולת המשתמש ללמוד תהליכי תפעול של פונקציות תמיכה, וכן אלו שקשורים לתהליכים של רכישת כישורים פסיכומטוריים ("התמכנות" המשתמש). האיכות נקבעת על פי קלות הלמידה של כל פונקציות המערכת, כולל התמודדות עם תקלות
- בשלב התפעול השוטף, מאפייני האיכות הרלבנטיים לשלב זה מתייחסים אל טעויות משתמש, אל יכולתו לעקוב אחר שינויים במצב המערכת, אל יכולתו להתמצא במצבים חריגים, אל עמידות המערכת לטעויות ולתפעול

במצבים החריגים, אל אופן התמיכה באיתור ואבחון תקלות וכיו"ב. הגורמים המשפיעים על פונקציית התועלת למשתמש הוצגו על ידי Zonneshain & Harel (2009). האיכות נקבעת על פי מאפייני אמינות הרכיבים, חוסן המערכת בפני טעויות תפעול ומאפייני תחזוקתיות.

מהתרשים נראה שפונקציית התועלת מקבלת ערך מכסימום בשלב שלאחר הטמעת המערכת, כולל לימוד והתמחות באופן פעולתה, ולאחר מכן ערכה יורד, מסיבות שונות, כולל בעיות אמינות רכיבים, תחזוקתיות, בעיות אמינות תפעוליות, והופעה של מערכות מתחרות, חדשות יותר. המשמעות היא שאורך חיי המערכת הוא תכונה הנובעת ממספר תכונות, כולל אמינות קלאסית, תחזוקתיות ואמינות תפעוליות.

#### **אבטחת איכות השימוש לאורך זמן**

איכות השימוש לאורך זמן נקבעת על ידי זמינות המערכת ועל ידי אמינות השימוש בה. באופן "מסורתי", מבדקי השמישות עוסקים בשלבי התפעול הראשוניים, ואינם עונים על בעיית השמישות לאורך זמן. השמישות לאורך זמן נקבעת על ידי מניעה של טעות משתמשים, ועל ידי עמידות המערכת במצבי טעות שהם לכאורה בלתי צפויים.

#### **עקרונות אבטחת איכות השימוש במערכת לאורך זמן**

הקושי לאבחן בעיות באיכות השימוש נובע מכך שמצבי הטעות הם חריגים במערכת. מספר מצבי הטעות הוא פונקציה אקספוננציאלית של מספר משתני המצב המערכת, ולכן אין אפשרות מעשית לתכנן את התנהגות המערכת באופן פרטני לכל מצבי הטעות. העקרונות לאבטחת איכות השימוש לאורך זמן מבוססים על תכן שהוא מונחה תפקיד, במקום הדרך המקובלת יותר כיום, תכן שהוא מונחה תכונות (Zonneshain & Harel, 2009). עקרונות אלו כוללים:

- תכן לפשטות בתפעול, על ידי המנעות מהתניות שלא לצורך, ועל ידי עקביות בתפעול (תפעול שהוא בלתי תלוי במצב, ראה הראל, 2007)
- תיכון לצמצום מצבי טעות, על ידי הפרדה בין הפונקציות העיקריות לפונקציות משניות ונידוי הפונקציות המשתניות
- תיכון להתמצאות המפעיל במצבים החריגים, לאיתור תקלות ולהנחית המפעיל לפתרון התקלות
- סימולציה ובדיקות שמישות המערכת במצבים החריגים
- אמצעים למעקב אחר פעילות המשתמשים, לאיתור מצבים חריגים, לשחזור הפעילות במצבים החריגים ולדיווח.

#### **איכות בכח ואיכות בפועל**

בשלב הפיתוח מדדי האיכות עשויים לסייע להעריך עד כמה המערכת או השירות יהיו אטרקטיביים ללקוח. זאת, על ידי כימות של מאפייני איכות של פרטים מהם המערכת או השירות מורכבים. למשל, ניתן לחשב את הסיכוי לכשל של מוצר על ידי מכפלת הסיכוי לכשל של כל מרכיבי המוצר, ולחשב בדרך זו את אמינות המוצר על פי אמינות מרכיביו. כמו כן, ניתן לחשב את הסיכוי לכשל בתפעול המוצר על ידי מכפלת הסיכוי לטעות משתמש בכל אחד משלבי התפעול, ולחשב בדרך זו את אמינות התפעול על פי אמינות שלבי התפעול. אבל בכך אין להסתפק, מכיוון שבשלב הפיתוח אנחנו לא מכירים עדיין את כל גורמי הכשל, שמשפיעים על האיכות בפועל. האיכות בפועל יכולה לשמש לאינדיקציה לצורך רביזיה של המוצר או השירות, או של מרכיב שלהם.

#### **השפעת מאפייני האיכות על מיצוב המערכת**

המדד שמגדיר את איכות המערכת באופן שהוא בעל התוקף הנראה הגבוה ביותר הינו התועלת לאורך זמן. את פונקציית התועלת ניתן להגדיר באופנים שונים. אחד האופנים המקובלים הינו תרומת המערכת לרווחיות העסק לטווח הארוך. מאפיין התועלת מתקבל על ידי צירוף של תכונות בסיסיות יותר, שהן תומכות זו בזו באופנים מסויימים, אבל גם נוגדות זו את זו באופנים אחרים. כך, למשל, ברור שרווחיות העסק לטווח הארוך תלויה גם בשביעות רצון הלקוח גם במאפייני הצלחה של תכנית השיווק. מאפיינים מסויימים של תכנית השיווק, העונים על צרכי הלקוח, תורמים במידה רבה לרווחיות העסק. לעומת זאת, מאפיינים אחרים של תכנית השיווק, שמנסים לשנות את הרגלי הצריכה, עלולים לגרום לבריחת לקוחות ולירידה ברווחיות.

#### **דילמת המיקוד**

כאשר מתאימים את המערכת לצרכי הלקוח, התכן מותאם לניתוח תפקידיו. לעומת זאת, כאשר מתאימים את המערכת לצרכי השיווק, התכן מותאם לתכנית השיווק. במקרה הראשון, התכן הוא מונחה משתמש, ונמנע מהסחת המשתמש מתפקידו. במקרה השני, התכן הוא מונחה שיווק, ותורם להסחת המשתמש מתפקידו (למשל, על ידי אנימציות) לטובת מטרות השיווק. לפתרון דילמות כגון זו יש מספר גישות:

- פשרה (tradeoff): חיפוש ערכי ביניים, שיתאימו לצרכים של שני סוגי הלקוחות. הפתרון של פשרה הוא המועדף על ידי המפתחים, מכיוון שהוא פשוט למימוש: יש מערכת אחת מסוג one-size-fits-all, העונה על כל הצרכים, וכל לקוח צריך להתאים עצמו אליה. פתרון מסוג זה מתאים לשוק של לקוחות שחופש הבחירה שלהם מוגבל. פתרון זה אינו מתאים לשוק חופשי, בו הלקוח יכול לבחור את הפתרון האופטימלי עבורו. בשוק החופשי, משמעות הפתרון של פשרה היא one-size-fits-none.

- אופציות: נותנים ללקוח את האפשרות לבחור את האופציה המועדפת עליו. פתרון זה נוח במצבים בהם המפתח מתקשה להעריך את צרכי הלקוחות, ומגלגל את האחריות אליהם. במציאות, הלקוחות מתקשים לעתים להבין את האופציות העומדות לרשותם, ולבחור את האופציה המתאימה לצרכיהם.
- פילוח השוק (segmentation): מגדירים סוגים של לקוחות על פי מאפייני התנהגות ברכישה ובהפעלה, ומפתחים גירסא עבור כל סוג של לקוחות. פתרון זה הוא אופטימלי ללקוח שמוגדר על פי פילוח השוק, אבל הוא מחייב את הלקוחות שאינם מסווגים על פי הפילוח להסתגל לגירסא שעומדת לרשותם.

#### אופטימיזציה של תוכנית השיווק

את בעיית המיצוב על פי מאפייני איכות ניתן לנסח כבעיית אופטימיזציה, כאשר מאפיין האיכות מוגדר כתכונה הנובעת משתי תכונות בסיסיות:

- תכונה חיצונית, שמגדירה את האילוצים על התכן ההנדסיושייווקי (בדוגמא, צרכי הלקוח בהקשר של המערכת)
  - תכונה הנדסית, שמגדירה את דרגות החופש של התכן ההנדסיושייווקי (בדוגמא, תכנית השיווק)
- בעיית האופטימיזציה מנוסחת כבעיה של מקסימיזציה של התכונה הנובעת (בדוגמא, רווחיות לאורך זמן), וכאשר התכן ההנדסי צריך להבטיח ערך מכסימלי לתכונה הנובעת.

#### התאמת מאפיין האיכות לשיטת המיצוב

לפתרון דילמת המיצוב לעיל, עלינו לבחור בין שלשה מאפייני איכות:

- שמישות, משפיעה ביותר על האיכות של פתרון של פשרה
  - תחזוקתיות, משפיעה ביותר על האיכות של פתרון המבוסס על ריבוי אופציות
  - אמינות תפעולית, משפיעה ביותר על האיכות של פתרון המבוסס על סגמנטציה.
- מתכנן המערכת נדרש לבחור בין שלשה מאפייני איכות, ולהחליט איהו מהם הינו חשוב יותר מהאחרים לצורך פתרון דילמת המיצוב.

#### המשקל היחסי של מאפייני האיכות

המשקל היחסי של מאפייני האיכות אינו סטטי, והוא משתנה עם הנסיון שהלקוח רוכש בשימוש במוצר או בחווית השירות. ההגדרה הדינמית של מושג האיכות, במונחים של הלקוח, מאפשרת מובחנות של המאפיינים ושל התלות ביניהם, וכן אופטימיזציה של נקודת האיזון, ספציפית לכל שלב בחיי המערכת או השירות. למעשה, מרבית המגבלות של שימוש במאפייני האיכות ניתנות להסרה, על ידי הגבלת תוקף המדדים או שיטת המדידה לשלב מסוימים במהלך חיי הפרויקט.

1. בשלב הרכישה, הלקוח מתעניין בעיקר בפונקציות, בתכונות ובביצועים. אחד הפרמטרים המשפיעים על העניין שלו במוצר קשור לאיכות ההדגמה על ידי אנשי מכירות, והוא מושפע במידה רבה על ידי גימיקים, שאינם קשורים לפונקציות או לביצועים. עם הזמן הצרכים משתנים: קשיי תפעול ותקלות גורמים לעוגמת נפש, ומדברנים אותו לחפש חלופות.
2. התועלת למשתמש בשלב האיתחול נקבעת על פי רמת הביצועים של הפונקציה העיקרית, אסתטיקה ואינטואיטיביות בהפעלה של הפונקציה העיקרית.
3. התועלת למשתמש בשלב ההתמחות בתפעול נקבעת על פי התוספות, על פי תהליכי תפעול פונקציות תמיכה, ועל פי יכולת ההתמכנות של המשתמש (automatizability).
4. התועלת למשתמש בתפעול השוטף נקבעת על ידי משתני זמינות ושמישות. הגורמים המשפיעים על משתנים אלו הם גורמי אמינות, כולל אמינות קלאסית ואמינות תפעולית (מניעת טעויות, תפעול במצבים חריגים), וכן גורמי רמת השירות.

למאפייני האיכות יש חשיבות רבה בשלבים מסויימים של חיי המערכת, בחשיבות פחותה בשלבים אחרים, כמתואר בטבלה הבאה:

שלב בחיי המערכת	מאפיין האיכות
מכירות	פונקציות, תכונות, ביצועים, אסתטיקה
איתחול	שמישות: אינטואיטיביות
התמחות	שמישות: קלות למידה, התמקצעות
תפעול שוטף	זמינות: אמינות רכיבים, שירות, תחזוקתיות, עמידות בפני ארועים חריגים
	אמינות תפעולית: מניעת טעויות, שמישות במצבים חריגים

**בחירת מאפיין האיכות**

את מאפיין האיכות ראוי לבחור לאחר בחינה של האסטרטגיה העסקית של היצרן. הטבלה הבאה מדגימה את הדרך לבחירת שיטת מיצוב על פי האסטרטגיה העסקית של היצרן:

אסטרטגית העסק	מאפיין	שיטת מיצוב
מחיר ללא תחרות	מחיר	פשרה
יתרון באיכות נראית	פונקציות, תכונות, ביצועים, אסתטיקה	אופציות
הצלחת ההטמעה	שמישות בסיסית	פילוח
מוניטין ארוך טווח	אמינות, תחזוקתיות, חסינות, אמינות תפעולית	פילוח

**מודל האופטימיזציה של התכן ההנדסי**

בדומה לדיון לגבי התכן השיווקי (מיצוב המערכת על פי פלחי שוק), מאפייני האיכות משפיעים גם על התכן ההנדסי. גם כאן, מדובר ביחסי גומלין בין תכונות חיצוניות, כגון מאפייני שימוש וקשיים צפויים של המשתמש, לבין תכונות הנדסיות, כגון ארגון התכונות, סיבוכיות פונקציות הבקרה, תהליכי התפעול, מאפייני האינטראקציה, התצוגה והבקרה. תהליך אבטחת האיכות על פי מודל האופטימיזציה של התכן ההנדסי כולל את הפעילויות הבאות:

1. פילוח: הגדרת מצבי התכונה החיצונית
2. ביצוע תכן הנדסי לכל פלח בנפרד
3. אינטגרציה של פלחי התכן ההנדסי.

**השפעת מאפייני האיכות על התכן ההנדסי**

למאפייני איכות בתחום התפעול יש השפעה על התכן ההנדסי של המערכת הדומה להשפעת מאפייני התועלת על המיצוב. הטבלה הבאה כוללת דוגמאות של פילוח המאפיין החיצוני לצורך אופטימיזציה של תכונות נובעות חשובות:

תכונה נובעת	מאפיין חיצוני	מאפיין הנדסי	פילוח
רווחיות לאורך זמן	חופש הבחירה של הלקוח	התאמה לצרכי הלקוח	<ul style="list-style-type: none"> <li>• לקוח שמרני</li> <li>• לקוח מסתגל</li> </ul>
שליטת המפעיל	קצב הארועים	דינמיקת המידע במסך	<ul style="list-style-type: none"> <li>• מהיר</li> <li>• אקראי</li> <li>• סטטי</li> </ul>
שמישות של תהליך	תכיפות הצורך בהפעלת התהליך	עומס המידע המוצג למפעיל	<ul style="list-style-type: none"> <li>• תפעול שוטף</li> <li>• תפעול מזדמן</li> <li>• במצבים חריגים</li> </ul>
אמינות תפעולית	תכיפות הצורך בהפעלת התהליך	בקרת המפעיל (כגון מקשי קיצור)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• תפעול שוטף</li> <li>• תפעול מזדמן</li> </ul>

השורה הראשונה בטבלה מתמצתת את הדיון לעיל בנושא השפעת מאפייני האיכות על מיצוב המערכת.

**שיקולים בבחירת מאפייני האיכות**

בבחירת מאפייני האיכות יש לקחת בחשבון מספר שיקולים:

1. רלבנטיות המדדים למטרות: למשל, הממד של Garvin של התאמה למפרטים הוא רלבנטי לניהול הקשר עם קבלני משנה, אבל אינו רלבנטי להערכת שביעות רצון הלקוח.
2. מהימנות המדדים: למשל, האיכות הנתפסת, או מרכיביה (כגון, אסתטיקה) של מוצר נתפסת בשלב התפעול השוטף באופן שונה מאשר בשלב המכירות.
3. תלות הדדית בין המאפיינים: המאפיינים נוגדים זה את זה. לדוגמא, Barbacci ושות' (1995) הדגימו כיצד דרישות בטחון ואמינות נוגדים את הדרישה לביצועים. דוגמא נוספת היא של ניגוד בין ריבוי פונקציות ותכונות שהן חשובות לשלב המכירה, לבין הצורך בצמצום ובפשטות לצורך שיפור השמישות.

4. תלות של סיבה-תוצאה בין המאפיינים: מאפיינים שנשלטים בשלב התיכון משפיעים על מאפיינים אחרים, שהם תצפיתיים לשלב השימוש. לדוגמה, המדד של איכות נתפסת של Garvin הוא תצפיתי, והערכים הנצפים תלויים במדדים הנשלטים, כגון ביצועים, בדיקות, אמינות, ותחזוקתיות. המדדים התצפיתיים הם למעשה תכונות נובעות (emergent properties) של המדדים הנשלטים.
5. מינוחים מעורפלים, ולעתים סותרים: למשל, Nielsen (1993) הגדיר שימושיות (usefulness) בעזרת שני מאפיינים: שמישות (usability) ותועלת (utility), אבל יש חולקים על כך שמערכת שאינה שמישה עשויה להביא איזושהי תועלת.
6. ניגוד דרישות: הדרישות מהמערכת במונחים של מאפייני האיכות השונים כוללות ניגודים. ניתן לפתור את הניגודים הללו בדרך של פילוח על פי המאפיין החיצוני.

#### אינטגרציה עם הנדסת מערכת

על מנת להבטיח את מאפייני האיכות, צריך לשלב אותם בתהליך הפיתוח, והשילוב צריך להיות חלק מהמתודולוגיה של הנדסת מערכת. שילוב כזה קיים כיום לגבי מאפייני איכות תפעול ראשוני, בשגרה של בדיקות אלפא. כמו כן, תהליכי הבדיקות החוזרות (בדיקות רגרסיה) לפני שחרור גירסא, מבטיחים את איכות התפעול לאחר מימוש שינויים במערכת.

מגבלה עיקרית של התהליכים הללו היא שהם בודקים את תפקוד המוצר כיחידה עצמאית, שאמורה להפעול על פי המפרטים, ואינם בודקים את התפעול בקונטקסט האמיתי. ההנחה שמאחורי בדיקות תפעול על פי מפרטים היא שניתוח המערכת בוצע בהצלחה מלאה, והמפרטים מייצגים היטב את הדרישות מהמערכת. הנחה זו כמעט תמיד אינה עומדת במבחן המציאות. מנתחי המערכת, יהיו מוכשרים ככל שיהיו, אינם מסוגלים לחזות בשלב המפרטים את התנהגות המשתמשים עם המערכת, בתפעול בסביבה האמיתית שלהם.

במוצרים ומערכות המיועדים לשימוש הציבורי, מקובל כיום לקיים בדיקות שמישות עם משתמשים המייצגים את הציבור הרחב. בדיקות השמישות מתבצעות בשגרה אצל יצרני ציוד ביתי, טלפונים, תוכנות לבית ולמשרד וכיו"ב. הבעיה שנשארה פתוחה עד כה היא שתהליכי אבטחת האיכות בודקים בדרך כלל את התפעול הראשוני, ולא את התפעול לאורך זמן. כך, למשל, בבדיקות שמישות של השלט רחוק של הממיר הדיגיטלי, כאשר המשתמש מתבקש לפעול על פי ההוראות, הבודקים אינם עולים על הבעיות של המשתמשים בשימוש לאורך זמן (הראל, 2007).

#### הקצאת תפקידי אבטחת מאפייני האיכות

הטבלה הבאה מסכמת את תרומת מאפייני האיכות לשלבים במהלך חיי הפרויקט, ואת הקצאת תפקידי אבטחתם:

מאפיין איכות	לשלב הפיתוח	לשלב המכירות	לשלב ההטמעה	לשלב התפעול
התאמה למפרטים	ה. מערכת			
יצוריות, בדיקותיות	ה. איכות			
פונקציות, תכונות, ביצועים, תואמות, אסתטיקה		ה. מערכת		
שמישות בסיסית			ה. שמישות	
אמינות רכיבים, תחזוקתיות				ה. איכות
שירות				שיווק
אמינות תפעולית				ה. גורמי אנוש + ה. תוכנה + ה. מערכת

#### בין הכסאות

בדרך כלל, האחריות על בדיקות הפונקציונליות והביצועים מוטלת על אנשי הפיתוח העוסקים בתכן, ולא בבדיקות. בפרויקטים רבים, הנושאים של אסתטיקה שימושיות, שמישות ואמינות תפעולית אינם מטופלים באופן מקצועי,



והתוצאה היא חוסר שביעות רצון של הלקוח כבר בשלב התפעול הראשוני, בגין חוסר התאמה של משתנים אלו לצפיות הלקוח. בפרויקטים בהם הנושאים הללו מטופלים, הטיפול מתייחס בדרך כלל לשלב התפעול הראשוני, אבל לא לשלב התפעול השוטף. כתוצאה מכך, בפרויקטים הללו, הלקוח מרוצה מהמערכת בשלב התפעול הראשוני, אבל מתאכזב בהמשך מאיכות התפעול שלה (הראל, 2007).

### לסיכום

כיום, הפרקטיקה של אבטחת איכות מערכות ומוצרים עוסקת בעיקר במאפיינים אותם ניתן להעריך בשלב הפיתוח, כולל:

1. מאפיינים שהם משמעותיים לשלב היצור, כגון אמינות ובדיקות
  2. מאפיינים שהם משמעותיים לשלב התפעול, כגון אורך חיים ותחזוקתיות.
- לאחרונה, עולה הצורך להרחיב את מגוון הנושאים שמגדירים את האיכות של מערכת, כך שיתייחסו את מכלול התכונות שמשפיעות על האסטרטגיה של העסק. ההגדרה הדינמית של מושג האיכות, במונחים של הלקוח, מאפשרת מובחנות של המאפיינים ושל התלות ביניהם, וכן אופטימיזציה של נקודת האיזון, ספציפית לכל שלב בחיי המערכת או השירות. במיוחד, טיפול מקצועי בנושא התפעול השוטף עשוי לתרום להתמודדות עם איומים קיומיים, כגון אסונות אקולוגיים.

איכות השימוש לאורך זמן נקבעת על ידי זמינות המערכת ועל ידי אמינות השימוש בה. על מנת להבטיח את מאפייני האיכות, צריך לשלב אותם בתהליך הפיתוח, והשילוב צריך להיות חלק מהמתודולוגיה של הנדסת מערכת. העקרונות לאבטחת איכות השימוש לאורך זמן מבוססים על תכן שהוא מונחה תפקיד, במקום הדרך המקובלת יותר כיום, תכן שהוא מונחה תכונות.

הדרישות מהמערכת במונחים של מאפייני האיכות השונים כוללות ניגודים. הדרך המוצעת לפתור את הניגודים הללו היא על ידי בחירת מאפייני האיכות על פי אסטרטגיית העסק, ועל פי הרלבנטיות שלהם לשלב התפעול.

הנושא של טעויות משתמשים ותמיכה בתפעול במצבים חריגים הוא קריטי בהיבטים של בטיחות ותפוקה. היבטים אלו צריכים להיות במוקד העיסוק של הנדסת איכות. למרות זאת, אין כיום דיסציפלינה הנדסית שמטפלת באופן שיטתי בנושאים הללו. לפיכך, מומלץ לשפר את הפרקטיקות של הנדסת איכות, כך שהנושאים החשובים הללו יזכו לטיפול מקצועי ראוי.

### מקורות

1. הראל, א., 2007, מיגון מערכות בפני טעויות אנוש, הכנס הרביעי של INCOSE ISRAEL הרצליה <http://www.ergolight-sw.com/CHI/Company/Articles/HumanErrorsIncose07-1.doc>
2. הראל, א., 2007, מכונית ללא מנוע, איכות: כתב עת לאיכות ומצוינות של האיגוד הישראלי לאיכות, נובמבר <http://www.ergolight-sw.com/CHI/Company/Articles/1817InQualityJournal.htm>
3. הראל, א., 2007, אבטחת איכות תפעולית - בין הכסאות, פוסטר, הכנס הלאומי לאיכות <http://www.ergolight-sw.com/CHI/Company/Articles/OperationalQA.doc>
4. הראל, א., 2007, מיגון מערכות בפני טעויות מצב, פוסטר, הכנס הרביעי של INCOSE ISRAEL הרצליה <http://www.ergolight-sw.com/CHI/Company/Articles/ModeErrorPoster1.PPT>

1. Barbacci, M.R., Klein, M.H., Longstaff, T. & Weinstock, C., 1995. *Quality Attributes. Technical Report CMU/SEI-95-TR-021, ADA307888*. In Software Engineering Institute, Carnegie Mellon University.
2. Bevan, N. (1995) Usability is Quality in Use, *Proceedings of the 6th International Conference on Human Computer Interaction*, Yokohama, July. Anzai & Ogawa (eds), Elsevier
3. Garvin, D.A. (1987) "Competing on the Eight Dimensions of Quality." *Harvard Business Review* 65, no. 6 (November-December).
4. Nielsen J. (1993) *Usability Engineering*. Academic Press.
5. Zonnenshain, A. and Harel, A., 2009, Task-oriented System Engineering, *Incose International Symposium*, Singapore (<http://www.ergolight-sw.com/CHI/Company/Articles/TaskO-SE.doc>)