

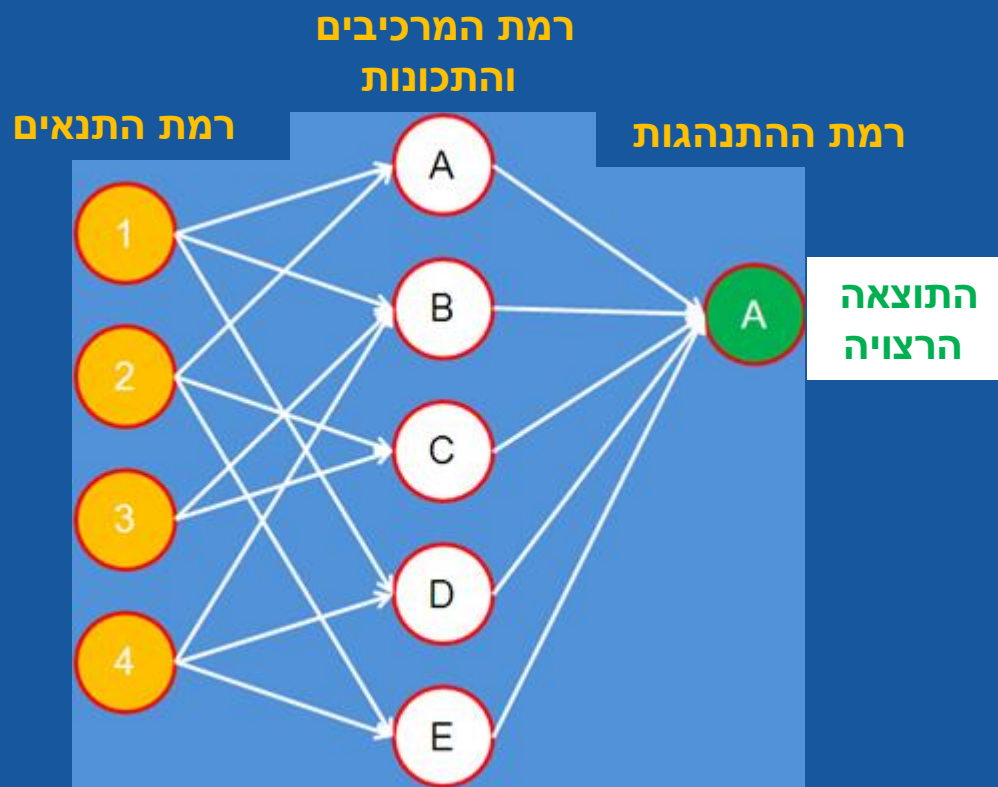
**למה כלי חיזוי כשלים אינם מתאימים
לתהליך זיהוי גורמי שורש לפתרון בעיות**

מנחם חורב

m_horev@evinatis.com

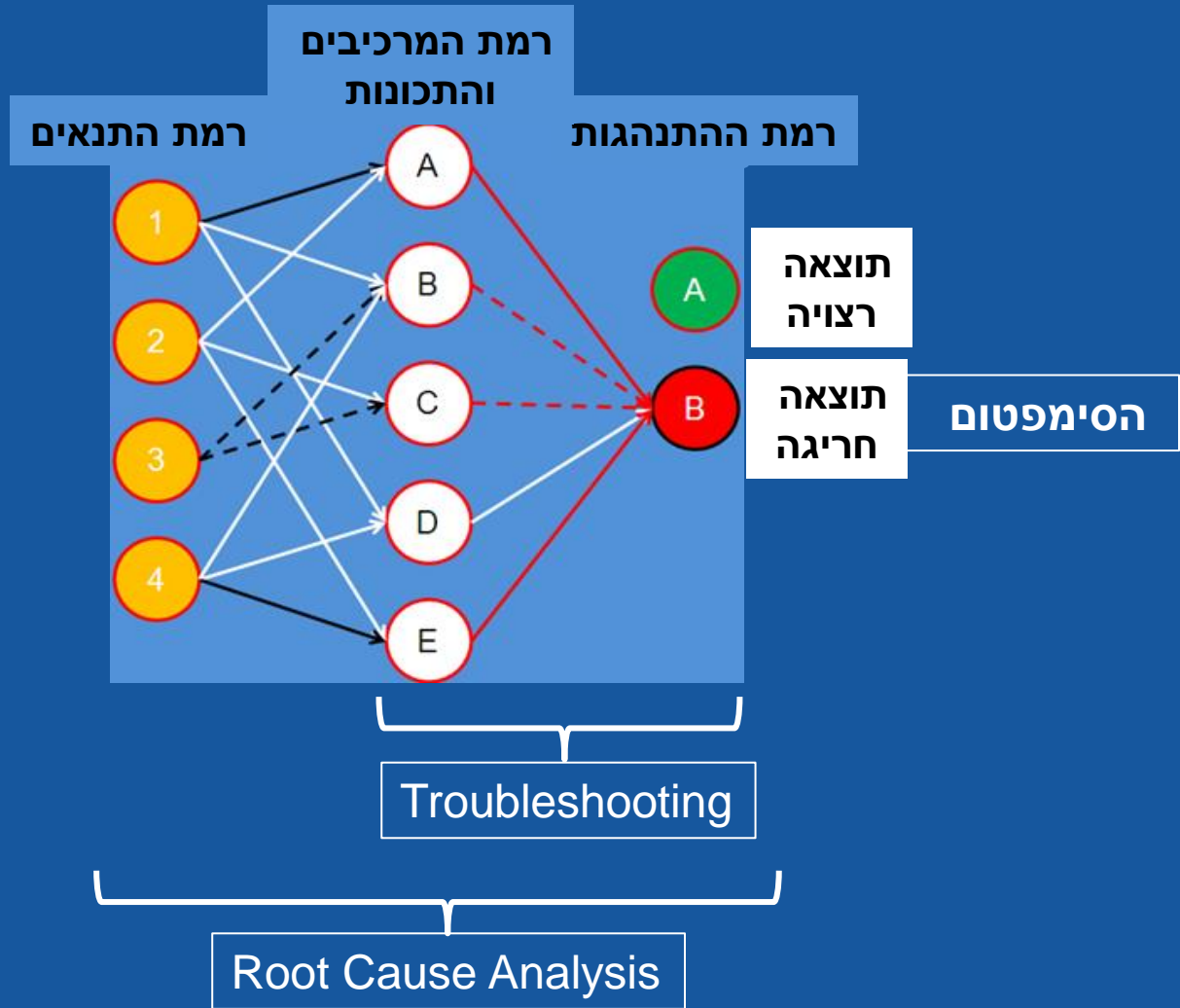
המצב הרצוי והצפוי !

"התנאים המתאימים ... התכונות הרצויות והמרכיבים תקינים... התוצאה הצפויה"



כל התנאים המסופקים יוצרים את האפקט הנדרש על תכונות ומרכיבי המערכת ולכן התוצר/ההתנהגות הצפוי/ה מתקבלת.

תקלה !



כלי חיזוי תקלות במערכות הנדסיות

עיקר הפיתוח של הכלים הנפוצים לחיזוי תקלות במערכות הנדסיות נעשה ע"י בואינג ונאסא.
שני הכלים המוכרים ביותר הם :

- **FMEA** - Failure Mode & Effect Analysis
ניתוח מנגנוני כשל והשפעתם
- **FTA** - Fault Tree Analysis
ניתוח (ע"י) עץ כשלים

בשיטות אלו מבוצע ניתוח היררכי מובנה לצורך זיהוי והערכה של מנגנוני כשל פוטנציאליים במרכיבי המערכת והערכת ההשפעה ומידת הסיכון הקיימים בהם.

שיטת FMEA מניחה שכשל מערכת נגרם בשל כשל מסוים ברכיב בסיסי כלשהו (לפחות אחד) מתוך מרכיבי המערכת.

שיטת הניתוח על פי FMEA - למידה מלמטה כלפי מעלה

פרוק (תיאורטי) של המערכת בצורה היררכית (מתת-מערכות דרך מכלולים ועד למרכיבים בסיסיים).

לגבי כל מרכיב :

• תאור כל מנגנון כשל (Failure Mode) שעלול להיגרם למרכיב.

- הערכת ההשפעה של כל מנגנון כשל כזה על ביצועי המערכת ע"פ -
- רמת החומרה (Severity) של השפעת מנגנון הכשל על המערכת.
- הערכת הסבירות (Occurrence) להופעת מנגנון הכשל.
- הערכת הדרך הקיימת לניטור הכשל (Detectability)

חישוב "מכפיל הסיכון" (Risk Priority Number) הנגרם למערכת ע"י כל מנגנון מזוהה.

שיטת FTA מנסה לתאר מסלולי כשל אפשריים המובילים לסימפטום יחיד. נדרש לייצר עץ כשל נפרד עבור כל סימפטום אפשרי.

שיטת הניתוח על פי FTA - למידה מלמעלה כלפי מטה

נקודת המוצא בראש ההיררכיה של עץ הכשל היא הסימפטום.

הגורמים האפשריים (וצירופיהם) המובילים אל הסימפטום מופיעים בפרוט הולך ומעמיק (מרמה לרמה בהיררכיה) עד לציון גורמי שורש ראשוניים העלולים להתחיל את שרשרת הכשל.

הקישור בין הרמות היררכיות בעץ הכשל מתבצע באמצעות סמלים לוגיים מיועדים המתארים כל צירוף גורמים אפשרי המוביל מכשל ברמה היררכית אחת לזו שמעליה.

כל מסלול המתאר צירוף אפשרי המוביל מגורם בסיסי (גורם שורש) ועד לתיבה העליונה נקרא "מחתך" (Cut-Set), ומובן מאליו שקיימים הרבה מחתכים היכולים להוביל לאותו סימפטום קריטי.

כמעט כל השיטות הנלמדות לאיתור מקורות כשל לצורך פתרון בעיות מתבססות על כלי חיזוי תקלות.

אבל ...

**האם חשיבה (היררכית) לחיזוי תקלות
זהה לחשיבה הנדרשת באיתור תקלות ?**

נהוג לחשוב שכן, אבל התשובה היא ... לא !

מהו ההבדל העקרוני?

בדרך החשיבה של חיזוי תקלות המטרה היא לנבא מה עלולה להיות השפעתו של שיבוש במכלול או במרכיב של המערכת על התנהגות המערכת בכללה. אם קיימים מספר שיבושים אפשריים המובילים לאותה התנהגות בלתי רצויה, מנסים לדרג סטטיסטית את הסיכוי להופעת כל אחד משיבושים אלו.

בחיזוי תקלות **לא מוגדר מסלול פעולה** כלשהו לזיהוי של כל שיבוש אפשרי.

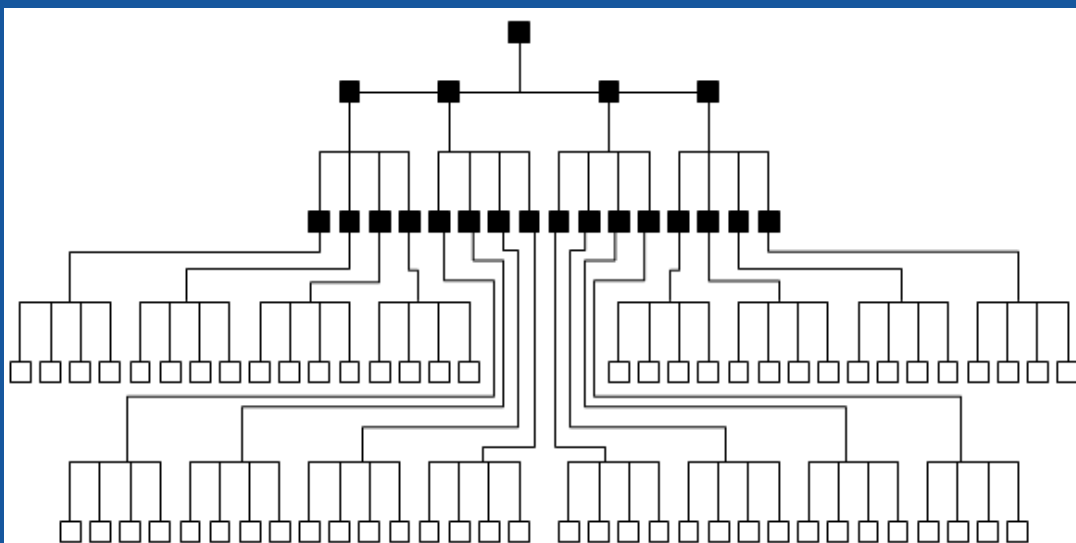
לעומת זאת ...

- באיתור גורמי שורש אנו חייבים **לאתר פעולות אימות מתאימות ולבצען** על מנת לאשש או להפריך גורמים אפשריים שונים.
- בחירת **סדר הפעולות ומידת חד המשמעיות של תוצאתן** קובעת את יעילות מסלול החקירה לזיהוי של השיבוש המסוים.

לכן...

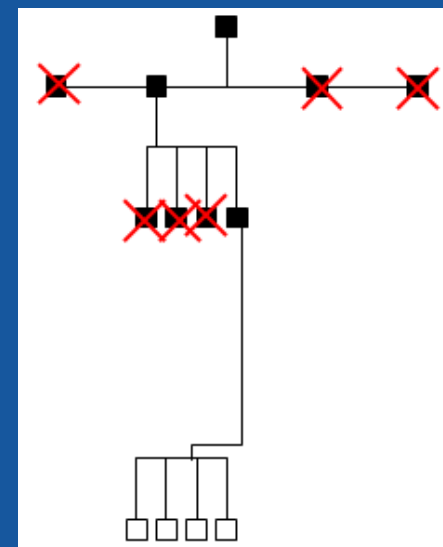
לעיתים קרובות התנאים המכתיבים את סדר הפעולות הרצוי לאיתור גורם שורש של סימפטום מובחן לא עוקבים אחרי הניתוח ההיררכי האופייני לכלי חיזוי תקלות, אלא יוצרים סדר היררכי שונה המוכתב ע"י מסלול של ביצוע פעולות ואיסוף מידע הנדרש לצורך אלימינציה או הצבעה על מערכות וגורמים מעורבים באופן ההולך ומתכנס לקראת יצירה של מודל כשל!

שימוש בחשיבה היררכית על פי חיזוי תקלות



תהליך כזה מוביל ליצירה של רשימה ארוכה של גורמים אפשריים לפני שנעשה מאמץ לצמצם את מרחב הגורמים המעורבים. למרות שזה נשמע יסודי וממצה, דרך חקירה כזו יכולה להיות איטית מאוד ולדרוש משאבים רבים (כח אדם, כסף, כלים).

חשיבה היררכית לאיתור תקלות



תהליך המוביל לזיהוי והגדרה הולכת וצרה של הגורמים והתנאים המעורבים. דרך עבודה זו ממקדת את המשאבים הזמינים במסלול יעיל יותר לאיתור הסיבות הסבירות ליצירת בעיה.

"בפתרון בעיות מסוג זה, הדבר הבולט הוא להיות מסוגל להסיק לאחור. זוהי יכולת שמושית ביותר ודי קלה, אבל אנשים בדרך כלל לא מתרגלים אותה ... על כל חמישים איש שיכולים להסיק סינטטית יש אחד שיודע להסיק אנליטית"

שרלוק הולמס / ארתור קונאן דויל



חשיבה אנליטית מול חשיבה סינטטית

חשיבה סינטטית

צירוף של רעיונות ונתונים למכלול מורכב.

חשיבה אנליטית

פרוק המכלול למרכיביו מתוך כוונה להבין את המרכיבים והקשרים שביניהם.

WordNet® 3.0, © 2006 by Princeton University

בהתייחסות למערכות הנדסיות

חשיבה סינטטית

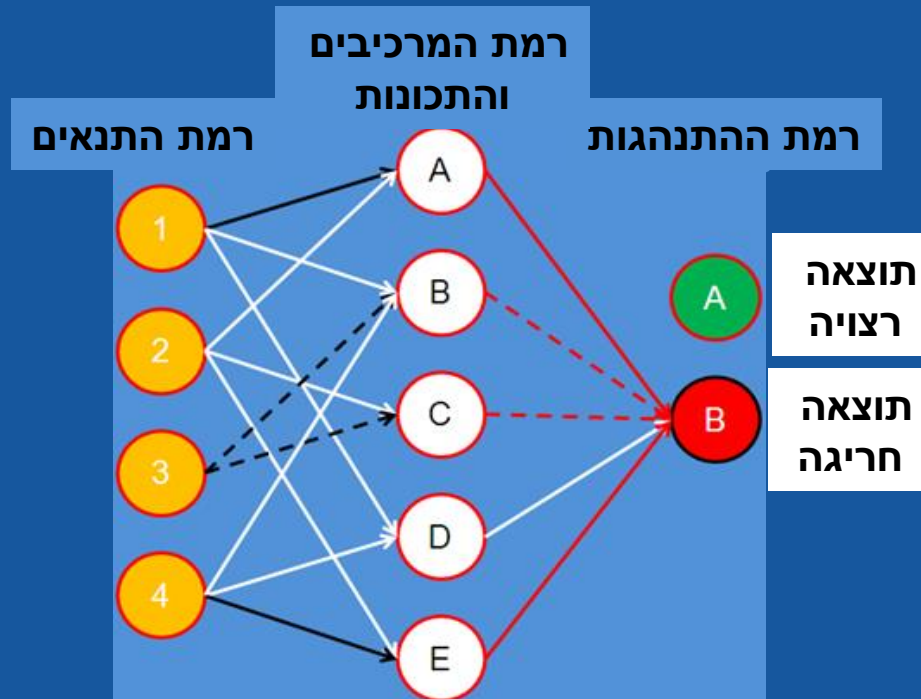
הסקה או ניבוי של תוצאה על בסיס נתונים ותנאים מסופקים.

חשיבה אנליטית

נתוח של תוצאה מובחנת כדי להסיק על התנאים שהובילו אליה.

חשיבה סינטטית

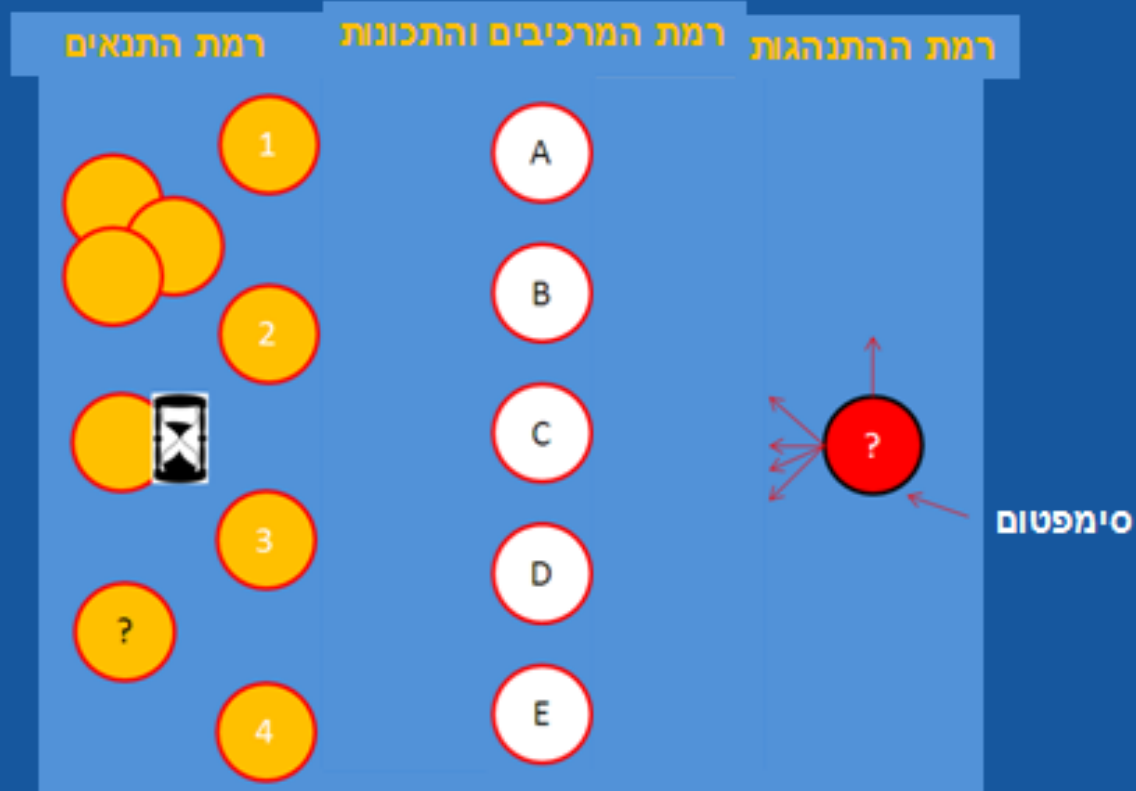
בחשיבה לפנינים (סינטטית) – בגלל התלות המיידית וההדדיות הידועה בין גורם לתוצאה, קל יחסית לעקוב ולהצביע על הקשר שבין התנאים, התכונות והמרכיבים, ולכן לחזות את ההשפעה של השינויים האלו על ההתנהגות הצפויה של המערכת או של התוצר שלה.



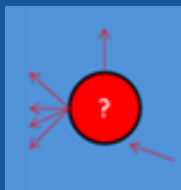
חיזוי תקלות, מורכב ככל שיהיה, מתבסס על חשיבה סינטטית!

חשיבה אנליטית

בחשיבה לאחור (אנליטית) - שינוי מסוים בהתנהגות (סימפטום) יכול להגרם מכמה שינויים שונים במרכיבים ו/או בתכונותיהם כאשר כל אחד מאלו יכול לנבוע ממספר תנאים שונים (או אפילו מצירופי תנאים).



חשיבה אנליטית – סיבוכים הנובעים מהסימפטום



סימפטום יכול להיות:

אמיתי או מדומה – האם הסימפטום אכן מעיד על בעיה ? או שאולי החיווי המעיד הוא הבעייתי ?

ייחודי או מרובה-גורמים – האם סימפטום אחד יכול לנבוע רק מגורם אפשרי אחד ? האם ייתכן מופע בו-זמני של מספר בעיות שונות המתבטאות בסימפטום דומה?

בעל הקשר ישיר או עלום – האם ניתן להסיק ישירות על קשר בין הסימפטום למרכיבים אפשריים במערכת, או שאין קשר סיבתי ישיר (או שאין אף הסבר אפשרי , או שיש אין-סוף הסברים אפשריים).

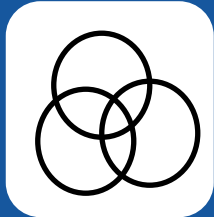
מיידית או מושהה – האם הסימפטום נוצר מיד לאחר פעולת הגורם שיוצר את הבעיה, או שאולי הסימפטום מופיע כתגובה מאוחרת ?

מגורם פנימי או חיצוני למערכת – האם הסימפטום (על תוצר המערכת) אכן נוצר מבעייה בתוך המערכת, או שייתכן שהסימפטום מופיע בגלל תנאים חריגים שהמוצר חווה לאחר שעזב את המערכת?

חשיבה אנליטית – מספר סיבוכים שכיחים נוספים

אפקט של צירוף תנאים

סמפטום אשר נובע מתגובה הדדית של מספר תנאים המתכנסים יחד (בחלל או בזמן) ליצירת הבעיה. האפקט של תגובה הדדית זו על תכונות ומרכיבי המערכת לא היה ידוע קודם לכן.



אפקט של תזמון

אפקט של תזמון (השהיה, העדר השהיה, חפיפה בתזמון) אשר לא זוהה כבעל משמעות קודם לכן מתברר כבעל משמעות. (או, תנאי מסוים שהשתנה במערכת גורם לרגישות לתזמון אשר לא הייתה קיימת קודם לכן).



אפקט לא מזוהה/לא מוכר נוסף למערכת

תנאי לא מוכר, בלתי מוחש או ללא ניטור כלל, השתנה או נוסף למערכת והשפיע על תכונות/מרכיבי המערכת. אפשרי גם, תנאי לא מוכר (מחוץ למערכת) המשפיע על התפקוד המוכר של המוצר.



חכמה לאחר מעשה

בסופו של תהליך אתור גורמי שורש אנו לעיתים קרובות מרגישים מטופש
"זה הרי כה ברור, איך לא יכולנו לראות את זה קודם?"

הסיבה האמיתית לתחושה זו נובעת מכך שכאשר יש בידינו את כל העובדות
אנו שופטים את התהליך מנקודת מבט של חשיבה סינטטית.

סיכום

השימוש בכלי חיזוי תקלות אינו אופטימלי לתהליכי איתור גורמי שורש לפתרון בעיה.

- כלי חיזוי תקלות לא מספקים מסלול פעולה תכליתי לזיהוי גורמי השורש.
- בדרך כלל השקעת הזמן הנדרשת למיפוי מלא ע"פ חיזוי תקלות מובילה לבזבז משאבים, לריבוי מטלות ולתסכול של צוות החקירה.
- לעיתים קרובות שימוש בכלי חיזוי תקלות מתעל את הצוות לתהליך ניסוי וטעייה (ניחוש ואכזבה) סדרתי של טיפול בגורמים אפשריים בתקווה לשנות חזרה את ההתנהגות .

איתור גורמי שורש יעיל מצריך חשיבה קוהרנטית ההולכת ומתכנסת ל"מודל כשל". שימוש בחשיבה אנליטית מתבסס על תהליך איפיון בעיה מסודר, הסקת מסקנות על בסיס הנתונים הנאספים, הגדרת נתונים חסרים ופעולות דרושות, ותהליכי אישוש והפרכה חד משמעיים !