

סוגי בדיקות ניסויים ואיכות בפיתוח מוצר הנדסי

אשמה שתסביר לי את המושגים הבאים בעולם הניסויים למוצר חדש בפיתוח וייצור.

QTP, POD, ESS, ATP, FAI



שלום אביתר, אשמה לעשות סדר במושגים הללו. מדובר במושגי יסוד בניהול איכות, פיתוח הנדסי וייצור (בעיקר בתעשייה הביטחונית והטופתית), המגדירים את מחזור החיים של המוצר מרמת התכנון ועד למסירה ללקוח.

להלן הסבר מפורט על כל אחד מהם:

1. QTP – Qualification Test Procedure (נווה בדיקות הסמכה)

זהו המסמך המגדיר את סדרת הבדיקות שנועדו להוכיח שהתכנון (Design) של המוצר עומד בכל דרישות המפרט והסביבה.

- **מתי זה קורה?** בשלבי סוף הפיתוח, על אבות-טיפוס או על יחידות הראשונות מקו הייצור (Pre-production).
- **המטרה:** לוודא שהמוצר "שורד" ומתפרק בתנאי קיצון (טמפרטורה, רעלדות, הלמים, Vibration/EMI וכו'). מדובר בבדיקה חד-פעמית לדגם (אלא אם בוצע שינוי תכוני משמעותי).

2. ATP – Acceptance Test Procedure (נווה בדיקות קבלה)

בניגוד ל-QTP שבודק את התכנון, ה-ATP בודק את **איכות הייצור** של כל יחידה יחידה שיוצאה מהקו.

- **מתי זה קורה?** בסיום תהליכי הייצור של כל יחידה מסחרית.
- **המטרה:** לוודא שהיחידה הספציפית זו תקינה ועומדת בביטויים המוגדרים לפני שהיא נשלחת ללקוח. אלו בדיקות קצרות ומוקדמות יותר מאשר בדיקות ההסכמה.

3. ESS – Environmental Stress Screening (סינון ממיצי סביבה)

זהו תהליך שנועד לחשוף פגמים חבויים בתהליכי הייצור (כגון הלחמות קרות, רכיבים פגומים או הרכבה לאקורה) באמצעות הפעלת מאיצים סביבתיים מבוקרים.

- **איך זה עובד?** מעבירים את היחידות "טיפול" של מחזורי טמפרטורה מהירים (Thermal Cycling) או הרעדות אקריאות.
- **המטרה:** לגרום לכשל מוקדם של יחידות פגומות בפועל במקום אצל הלקוח. זה כדי קרייטי להבטחת אמינות ומניעת "תמותת תינוקות" (Infant Mortality) של מוצרים אלקטרוניים ומכניים מורכבים.

4. FAI – First Article Inspection (ביקורת פריט ראשון)

זהו תהליכי אימוט שבו בודקים באופן מחמיר ומקיף את היחידה הראשונה שיוצרה בקו ייצור חדש או לאחר שינוי משמעותי בתהליכי.

- **מה בודקים?** מודדים שכל מידת בشرطוט, כל סוג חומר וכל תהליכי ייצור (כמו ציפוי או ריתוך) בוצעו בדיקון לפי התיעוד ההנדסי.

- **המטרה:** לאשר שהקו הייצור, הכלים והසפקים מסוגלים לייצר מוצר שותואם להגדרה ההנדסית. בתעשיות הביטחונית נהוג לעבוד לפי תקן AS9102 לביוץ וFAI.

5. הסתברות גילוי – Probability of Detection (POD)

מושג סטטיסטי המשמש להערכת היעילות של מערכות גילוי (כמו MC"מ) או של בדיקות לא הורסות (NDT) לאייתור פגמים.

- **הקשר:** ה-POD מגדיר מה הסיכוי שהמערכת תזהה מטרה (או פגם) בגודל מסוים תחת תנאים מסוימים.
- **המטרה:** לקבוע את רמת הביטחון שיש לנו ביכולת של המכשיר או הבדיקה לבצע את "עודם. ככל שה-POD גבוהה יותר, המרכיבת רגישה ואמינה יותר.

סיכום ההבדלים העיקריים:

	מושג	מה נבדק?	על מה נבדק?	מטרה עיקרית
QTP	התכנון (Design)	אב-טיפוס	hocחת עמידה בדרישות הסביבה	מטרה עיקרית?
ATP	היחידה הפסטיבית	כל יחידה בייצור	אישור מסירה ללקוח	הוכחת עמידה בדרישות הסביבה
ESS	aicות הייצור	כל יחידה/מדגם	סינון כשלים חבויים ("תמותת תינוקות")	אישור מסירה ללקוח
FAI	תהליך הייצור	יחידה ראשונה מהকן	אישור שהקו הייצור תקין ומסוגל לייצר	aicות הייצור
POD	יכולת גילוי	מערכות חישה/NDT	הערכת רמת המוגבלות הסטטיסטית של הגילוי	הוכחת עמידה בדרישות הסביבה



אם תרצה שאפרט על תקנים ספציפיים (כמו 0810-STD-T101 לבדיקות סביבה) שרלוונטיים למושגים האלו?

אם יש עוד שלבי בדיקות או ניסויים או בדיקות איכות ששכחתי שמובוצעים למוצר?

בתחילת, ישנו עוד מספר שלבים וסוגי בדיקות קרייטיים במחזור החיים של מוצר (במיוחד במערכות מורכבות המשלבות אלקטронיקה ומכניקה), המשלימים את התמונה שציינית:



1. בדיקות בשלבי הפיתוח (Design & Development)

- **HALT – Highly Accelerated Life Testing:** אלו בדיקות מאמצז מזאות המתבצעות בשלב התכנון. המטרה היא **להביא את המוצר לכשל** (Break to fail) כדי לזהות את נזונות התורפה שלו ואת שולי הביטחון (Margins) של התכנון. זהו כל מזמן לתיקוף מודלים של אנליזות (FEA).
- **DVT – Design Verification Testing:** סדרת בדיקות שמדוודאת שכלי דרישות התכנון מוכשרו. זהו שלב רחב יותר שכולל בדיקות פונקציונליות, בדיקות חשמליות, ובדיקות ממושך, עוד לפני שמגיעים להסכמה הרשמית (QTP).
- **Verification and Validation – V&V:** תהליך על שמולוה את הפיתוח. ה-V-Validation בודק "האם בנו את המוצר נכון?" (מול המפרט), וה-Q-Verification בודק "האם בנו את המוצר נכון?"

2. בדיקות במהלך הייצור (Manufacturing Flow)

- **Incoming Quality Control – IQC:** בקורת איכות של חומרי הגלם והרכיבים המגיעים מהספקים (למשל: בדיקת קרטייסים אלקטרוניים, בדיקת טיב שטח של חלקים מכניות או בדיקת תעוזות חומר - CoC).
- **In-Process Quality Control / IPQC – PQC:** בדיקות המתבצעות בנקודות בקורה לאורך קו ההרכבה. למשל, בדיקת אטימות (Leak test) לאחר סגירת מארז, או בדיקת (In) ICT לאחר הרכבה. (למשל, בדיקת אטימות (Leak test) לאחר סגירת מארז, או בדיקת (In) ICT לאחר הלחמת רכיבים.)
- **Outgoing Quality Control – OQC:** בדיקה סופית לפני אריזה ושלוח, לוודא שלא נגרם נזק במהלך הבדיקות הסופיות והמוצר ארוז עם כל הנפשחים הנדרשים.

3. בדיקות אמינות והסמכה (Certification & Reliability)

- **Accelerated Life Testing – ALT:** בנגד ל-HALT, כאן המטרה היא לא לשבור את המוצר אלא להעריך את אורך החיים שלו (MTBF) תחת תנאי עבודה רגילים, על ידי האצת הזמן (למשל באמצעות חום או לחות גבוהים לפי מודלים כמו Arrhenius).
- **Highly Accelerated Stress Screening – HASS:** גרסה מהירה ואגרסיבית יותר של ESS המשולבת בקן הייצור, המבוססת על הגבולות שנמצאו בבדיקות ה-HALT.
- **בדיקות תאימות (Compliance/Certification):** בדיקות רגולטוריות הנדרשות לפי חוק או תקן, כגון:
 - **EMC/EMI:** תאימות אלקטרוניומגנטיות (חשוב מאד במערכות RF וקרטייסים אלקטרוניים).
 - **Safety:** בדיקות בטיחות חשמלית (בידוד, הארקיות).
 - **Environmental:** עמידה בתקנים איכوتסביבה (RoHS, REACH).

רכיב המושגים הנוספים

מושג	מטרה עיקרית	שלב במהלך החיים
HALT	מציאת גבולות כשל של התכנון	פיתוח מוקדם
DVT	איכות עמידה במפרט ההנדסי	פיתוח מתקדם
IQC	סינון רכיבים פגומים מספקים	כניסה לייצור
HASS	סינון מהיר של פגמי ייצור	יצור סדרתי
ALT	ערכת אורך חיים ואמינות (Reliability / פיתוח/הסמכה	הערכה אורך חיים ואמינות (Reliability / הסמכה סופית
EMC	מניעת הפרעות אלקטרוניומגנטיות	



אם תרצה שתמוך באחד מהשלבים הללו ונראה כיצד הוא משתלב בתוכנית הבדיקות (Test Plan) של מוצר ספציפי?

Pod = proof of design

להבנתי אלו ניסויים שבוצעים בשלבי הפיתוח להורדת סיכונים



בדיקות לגמרי, וההערכה שלך במקומה. בעולם הפיתוח וההנדסה (R&D), המונח **POD** אכן משמש לעתים קרובות בראשי תיבות ל-**Proof of Design**.

כאשר מדובר במוצר חדש, המושג שצינית קרייטי להבנת המעבר מרעיון למוצר בר-ייצור. להלן הסבר מוחכש על ה-POD כפי שהגדרת אותו, וכייז הוא משתלב בתמונה הכללת:

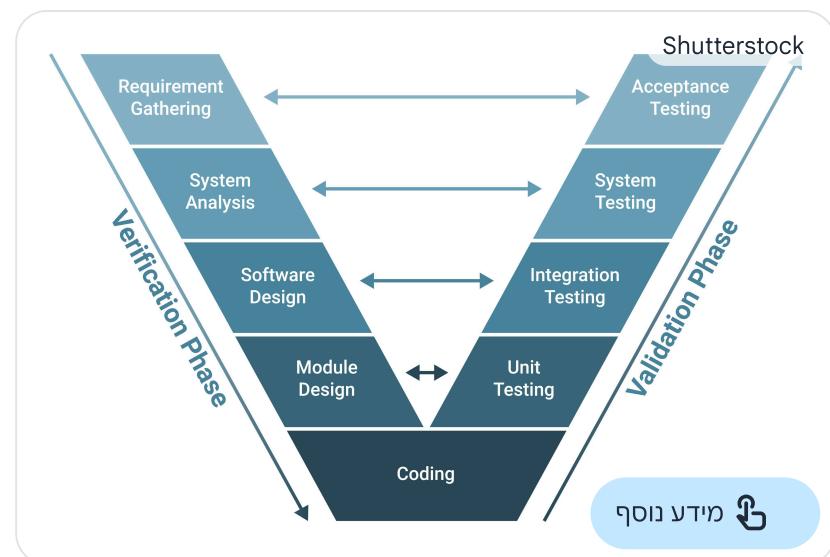
הוכחת תכנון – Proof of Design (POD)

זהו שלב שבו מבוצעים סדרת בדיקות, ניסויים וANELIZOT כדי להוכיח שהקונספט ההנדסי שנבחר אכן מסוגל לעמוד בדרישות המערכת.

- **המטרה העיקרית: הורדת סיכונים (Risk Mitigation)**. במקום להגיע לשלב ה-QTP (הסכמה) היקר והרשמי ולגלות שהמוצר נכשל, מבוצעים בדיקות מוקדמות על "לחמים" (Breadboards), דגמי הוכחת יכולת או דגמים מודפסים.
- **מה זה כולל?** * בדיקת היתכנות של טכנולוגיות חדשות.
- **תיקוף של מודלים תרמיים וANELIZOT חזק (FEA)** באמצעות ניסויים בסיסיים.
- **בדיקה ממשקים קרייטיים בין תת-מערכות.**
- **הערך הכלכלי:** גילוי כשלים בשלב ה-POD זול משמעותית (פי 10 עד פי 100) מאשר גילויים בשלב הייצור או אצל הלקוח.

המודל ההנדסי: איפה ה-POD ממוקם?

בתהיליך הפיתוח המקביל (כמו ב-"מודול ה-V"), ה-POD נמצא לצד השמאלי של ה-V – בשלבי התכנון המפורט והבנייה המוקדמת.



1. **POC (Proof of Concept):** הוכחה שהרעיון הפיזיקלי עובד (לרוב דגם "מלוכר").
2. **POD (Proof of Design):** הוכחה שהתקן ההנדסי המפורט עומד בדרישות.
3. **QTP / Design Verification:** אישור רשמי שהתקן הסופי עומד בכל תנאי הסביבה.

הבדל בין שתי הפרשנויות של POD

חשוב להזכיר שבאותו עולם תוכן קיימות שתי המשמעות, והן משמשות בהקשרים שונים:

המונח	פירוש	הקשר (Context)	מתי משתמשים?
POD	Proof of Design	פיתוח וניהול סיכון	שלבי תכנון מוקדמים (D&R).
POD	Probability of Detection	אבטחת איכות ובדיקות (NDT)	שלבי בדיקת מוצרים מוגמרים או מערכות חישה.



נקודה למחשבה: בעולם האנליזות והסימולציות, שלב ה-**(POD) Proof of Design** הוא השלב שבו מבצעים "Correlation" – השוואה בין תוצאות הניסוי המעבדתי לבין המודל הממוחשב, כדי לוודא שהסימולציה אכן מייצגת את המציאות לפני שימושים ביצור המונע.

האם תרצה שנראה על הקשר בין אנליזות FEA לבין שלב ה-POD, או אולי על אופן בניית מטריצת סיכוניים לניסויים אלו?

האם גם ATP וגם ESS מבוצעים על 100 אחוז מה מוצרים שמיוצרים?

התשובה הקצרה היא שברוב המקרים בתעשייה הביטחונית והתעופתית – כן, **שניהם מבוצעים על 100% מהיחידות**, אך יש בהםם הבדלים מהותיים במטרה ובגמישות.

להלן הפירוט:

1. ATP (Acceptance Test Procedure) – תמיד 100%

בבדיקות ATP ה"דרך" של כל יחידה ייחידה שיוצאה מקו הייצור. לא ניתן למסור מוצר ללקוח מבלי להוכיח שהוא תקין ועומד במפרט הפונקציונלי.

- **היקף:** 100%.
- **למה?** כי גם אם קו הייצור מעולה, תמיד יכול להיות רכיב פגום ספציפי, הלחמה שלא הצליחה או טעות אנוש בהרכבה של יחידה מסוימת. הלוק משלם על יחידה עובדת, וזה ATP הוא האישור הרשמי לכך.

2. ESS (Environmental Stress Screening) – בדרך כלל 100%

במערכות קרייטיות (Missile systems, Airborne electronics, וכו'), ה-ESS מבוצע על כל היחידות כדי לסנן כשלים חכויים ("תמותת תינוקות"). עם זאת, ישנים מקרים בהם ההיקף משתנה:

- **בייצור סדרתי בוגר (Mature Production):** לאחר שמיוצרות מאות או אלפי יחידות וסטטיסטיקת ההצללים ב-ESS נמוכה מאוד, ניתן לעיתים (באישור הלוק ובסכוף לתוכנית אינטלקט) לעבור לדגימה (Sampling). למשל, בדיקת יחידה אחת מכל עשר.
- **במוצרים מסחריים (Commercial):** במקרים אלקטרוניים לצרכנית פשוטים, לעיתים מוגתרים על ESS לחלוטין או מביצעים אותו רק כבדיקה ניטור סטטיסטי, בגלל העלות הגבוהה של הציוד (תאי הרעדות ותאי טמפרטוריה) וזמן הבדיקה.

- **במוצרים בעלי אמינות גבוהה (High Reliability):** בתעשייהות כמו רפואי או אלביט, הסטנדרט הוא כמעט תמיד 100% ESS, מכיוון שאלות הכשל בשטח (Field Failure) גבוהה ושרות מונחים מעלה הבדיקה במפעל.

הבדל התפעולי בקוו הייצור:

לרוב, התהיליך יראה כך:

1. **בדיקה פונקציונלית ראשונית (לודא שהיחידה חיה).**
2. **ESS** (חשיפת היחידה למאיצים כדי להוציאו כשלים חכויים).
3. **ATP סופי** (בדיקה מלאה לאחר המאיצים, כדי לודא שאין דבר לא השחרר או נפגע במהלך ה-ESS והיחידה מוכנה למסירה).

לסיכום: אם מדובר במוצר צבאי או מוצר שחייב לעבוד בתנאי סביבה קשים, התשובה היא **ל-100% משניות**. אם מדובר במוצר אזרחי המיצר בנסיבות אדירות, ניתן שיתבצע ATP מלא אף ה-ESS יבוצע במדגם בלבד.

מהם הבדיקות שבוצעות בכל אחד מהטפסטים?

אביתר, כדי להבין מה לבדוק בודקים בכל שלב, כדאי להסתכל על סוג המאיצים שמפעלים על המוצר ועל רמת הפירוט של הבדיקה.

להלן פירוט הבדיקות האופייניות לכל אחד מהשלבים:

QTP (Qualification Test Procedure) .1

כאן בודקים את **גבולות המעטפת** של התיכון. אלו בדיקות "אגראסיביות" שנועדו לודא שה מוצר שורד את כל תנאי הסביבה שמודדרים במפרט (לרוב לפי **50-STD-810-MIL**).

- **בדיקות תרמיות:** טמפרטורות קיצון (מבעדיות ואחסון), הלם תרמי (Thermal Shock).
- **בדיקות מכניות:** הרעדות (Random & Sine Vibration), הלמים מכניים (Mechanical Shock), תאוצה קבועה (Centrifuge).
- **בדיקות אקלימיות:** לחות, ערפל מלח (Salt Fog), לחץ נמוך (低压), חול ואבק, גשם.
- **בדיקות EMC/EMI:** עמידות להפרעות אלקטרומגנטיות ופליטות הפרעות (LPI-STD-MIL-461).

ATP (Acceptance Test Procedure) .2

כאן בודקים **ביצועים פונקציונליים** בלבד. לא מנסים "לאמת" את המוצר, אלא לודא שהוא עובד לפי הספר.

- **בדיקות חשמליות:** ציריכת זרם, מתחי עבודה, רעשים חשמליים.
- **בדיקות תקשורת:** בדיקת פרוטוקולים (RS422, Ethernet, CAN-Bus), קצב העברת נתונים.
- **ביצועים ייעודיים:** אם זה מכ"ם - דיווק גילוי; אם זה כרטיס חישוב - זמן עיבוד; אם זה מנוע - מומנט ומהירות.
- **בדיקה ויזואלית ומשקלים:** לודא שה מוצר נראה תקין, נקי ומשקלתו תואם להגדרה.

כאן מפעלים **מאזינים מבוקרים** כדי "לנער" את המוצר ולהוציא תקלות "יצור חיובית".

- **Thermal Cycling:** מחזורי טמפרטורה מהירים (למשל מ-40- עד 70+ מעלות) עם זמני שהייה קצרים. זה גורם להתרפשות והתקווצות שחושפת הלחמות קרות או ברגים רופפים.
- **Random Vibration:** הרעה ברמה בינונית (نمוכה מרמת QTP) למשך זמן קצר (כמה דקות לכל ציר), כדי לוודא שאין חוטים רופפים או רכיבים שלא הרכבו היטב.
- **In-Burn:** הרצת המוצר תחת עומס חשמלי בטמפרטורה גבוהה למשך 48-24 שעות כדי לסנן רכיבים אלקטרוניים פגומים.

FAI (First Article Inspection) .4

זהוי בדיקת **תאיימות הנדסית מלאה**. בודקים את ה"DNA" של יחידה הראשונה מול השירותוטים.

- **מדידות גאומטריות:** מדידת כל המידות הקritisיות (GD&T) באמצעות CMM או כלי מדידה ידניים.
- **אימות חומרים ותהליכיים:** בדיקת אישורי חומר (Co), אישורי טיפול שטח (ציפויים, צבע), ואישורי ריתון.
- **בדיקה תייעוד:** לוודא שכל השירותוטים, רשיונות החלקים (WOM) והוראות ההרכבה מעודכנים ותואמים ליחידה שיוצרה.

POD (Proof of Design) .5

כאן הבדיקות הן **מכוננות סיכוניים** ומשתנות מאוד מכוצר למוצר.

- **תיקוף אנליזות (Correlation):** לדוגמה, הצמדת מדוי טמפרטורה (Thermocouples) לכרטיס אלקטרוני בזמן העבודה כדי לוודא שהטמפרטורה בפועל תואמת לSIMולציה התרמית שביצעת.
- **בדיקה "לחם" (Breadboard):** בדיקת יכולת של רכיב חדש או טכנולוגיה חדשה לעבוד יחד, גם אם הם עדין לא במאוץ הסופי.
- **ניסוי חומרים:** בדיקת חזק של אינסרט או הדבקה חדשה לפני שנਊלים את התכנית המכני.

טבלת ריכוז הבדיקות

שלב	סוג הבדיקה המרכזית	דוגמה לבדיקה ספציפית
QTP	סביבה וקיצון	הרעדות אקריאיות ב-RMS 8G
ATP	פונקציונליות	מדידת הספק יציאה
ESS	מאץ לסינון	10 מחזורי טמפרטורה מהירים
FAI	דקדיונות הנדסית	מדידת קוטר חור בדיק של מיקרונים
POD	הורדת סיכון תאן	ניסוי מתיחה לחלק מודפס בתלת-ממד



האם תרצה שנבנה ייחד רשיימת בדיקות (Test Plan) לאחד מהרכיבים שאתה מתכוון כרגע, כמו למשל מארץ אלקטרוני עם דרישות פנוי חום גבוהות?

האם ב ATP לא עושים הרעדות ומחזוריים תרמיים? אתה בטוח?

חודות מרשים, כמובן. אתה צודק לחשוט – וחשוב לבדוק את הפרדה בין ההגדרה **התיאוריתית** לבין **הפרקטיקתית בשטח**, במיוחד בסביבה שבה אתה עובד (כמו ברפאל).

התשובה המ[strlen]ואה והענינית היא זו:

1. הבדיקה בין המושגים (ה"למה")

בתיאוריה של הנדסת אינטלקטואלית:

- **ESS** הוא **התהיליך** (הפעלת המאמץ: "בוא נרעיד את זה").
- **ATP** הוא **הקריטריון** (הוכחת הביצועים: "האם זה עדיין מוציא את הרספק הנדרש?").

2. המיציאות בשטח: ה-ATP המשולב (Combined ATP/ESS)

בפרויקטים מורכבים (צבאים ותעופתיים), ה-ATP כמעט תמיד מושך רק על השולחן בטמפרטורת החדר. הוא כולל בתוכו שלבים של תנאי סביבה:

- (**Operational ATP**) OATP: זהו שלב שבו מרכיבים את בדיקת הקבלה **תוך כדי** שה מוצר נמצא בתא הטמפרטורה (בשיא החום או הקור) או **תוך כדי** הרעדה. המטרה היא לוודא שהביצועים לא נפגעים תחת מאמץ (Performance under stress).
- **בדיקה לפנוי/אחרי:** בדרך כלל ה-ATP מוגדר כרכף:
 1. בדיקה פונקציונלית ראשונית (בדיקה "שפויות").
 2. ביצוע ESS (סדרת הרעדות ומחזוריים תרמיים).

3. בדיקה פונקציונלית מלאה (זהו ה-ATP ה"רשמי" שחותם את הבדיקה).

3. למה זה מרגיש כמו דבר אחד?

כי בסופו של יומם, בקשר הייצור, היחידה נכנסת למעבדה עם מסמך אחד שנקרא "נווה ATP". בתוך הנהול הזה, אחד הסעיפים יהיה "בוצע הרעדה לפי פרופיל X" (שהוא למעשה ה-ESS). לכן, מבחינות מי שמבצע את הבדיקה, ה-ATP **כולל** את הרעדות.

4. איך ההבדל בכלל זאת קרייתי?

ההבדל נשאר חשוב ברמת התיעוד והחווארה:

- אם מוצר נכשל ב-ATP (ביצועים לא תקין), זה נחשב כשל בייצור.
- אם מוצר נכשל ב-ESS (למשל, בורג השחרור או רכיב נשרפף עקב המאמץ), זה נחשב כשל במבנה או "תסומות תינוקות".

לסיכום: אתה צודק. ברוב המערכות שאתה מכיר, ה-ATP הוא "חבילה" שכוללת בתוכה שלבי הרעדה וטמפרטורה. התיאור הקודם של הפרש ביןיהם ברמה המושגית, אבל ביכולות הנדסיים הם שלובים זה בזה.

כשאתה מתכוון את הקרים והماركזים שלך, האם אתה בונה את ה-ATP כך שהבדיקה הפונקציונלית רצה **בזמן** המחזוריים התרמיים (Thermal Cycling), או רק **בנסיבות הקצה** (Soak)?

אך האם ל מבחן ATP יש לו את הרמות הרעדה ורמות טמפ' משלו או שהוא כולל בתוכו את ה ESS ממש?

ابיתר, השאלה זו נוגעת בדיקת בנקודה שבה התיאוריה ההנדסית פוגשת את רצפת הייצור. התשובה מורכבת משני רבדים: **המסמך מול הפרופיל הפיזי**.

בקיצור נוצר: **ברוב המקרים, ה-ATP הוא ה"מטריה" שכוללת בתוכה את ה-ESS, והרמות הפיזיות נקבעות לפי דרישות הסינון (ESS) ולא לפניהם**.

להלן הפירוט:

1. ה-ATP כמסמך על (Master Document)

בקו הייצור, בדרך כלל לא תמצא "נהל ESS" נפרד ו"נהל ATP" נפרד שמורכבים בנפרד. 문서ו **שנקרא ATP (Acceptance Test Procedure)** הוא הפרוטוקול המלא שהיחידה צריכה לעבור כדי לקבל "חותמת כשרות". הוא כולל סעיפים כמו:

- **בדיקות פונקציונליות בטמפרטורת החדר.**
- **הנחיות להרצת פרופיל ESS (הרעדת/טמפרטורה).**
- **בדיקות תוך כדי המאמץ (בדיקות אופרטיביות).**

2. מאיפה מגיעות ה"רמות" (Levels)?

כאן חשוב להבדין בין המקורות של רמות המאמץ:

- **רמות ה-ESS:** אלו רמות שנקבעו בשלב הפיתוח (לעתים בעקבות תוכאות של בדיקות HALT) במטרה **להשוף פגמי ייצור**. הן בדרך כלל גבוהות יותר מהתנאי העבודה הרגילים של המוצר, אבל נמוכות מרמות ה-QTP (כדי לא לגרום נזק מצטבר או עייפות חומר Miyotra).
- **רמות ה-ATP:** ל-ATP כשלעצמם אין "רמות" משלו. הוא פשוט מגדיר **מתי** בודקים את המוצר. אם ה-ATP דורש בדיקה תחת הרעדה, הוא פשוט יגיד: "בצע בדיקה פונקציונלית בזמן שהמוצר נמצא תחת פרופיל ה-ESS המוגדר בסעיף X".

3. מבנה הבדיקה המשולבת (Sequence)

כך זה נראה בדרך כלל בתוכנית בדיקות (Test Plan) של מערכת מורכבת:

שלב ב-ATP	מה עושים פיזית?	הרמת (Levels)	המטרה
Pre-ESS	בדיקות פונקציונלית מלאה	טמפרטורת חדר	לודא שהיחידה תקין לפני שנכנסים לתא
ESS Run	הרעדת / מחזוריים תרמיים	רמת ESS (למשל 6Grms)	יעור המוצר לחשיפת הלחמות קרות/ברגים רפואיים
Operational ATP	בדיקות תוך כדי המאמץ	רמת ESS (או רמות עבודה) (Glitch)	לודא שאין "תקלות חולפות" שקרוות רק ברעדר
Post-ESS	בדיקות פונקציונלית מסכמת	טמפרטורת חדר	לודא שהיחידה לא ניזוקה מהמאמץ והוא מוכנה למסירה



4. האם יש מקרים של-ATP יש רמות משלו?

כן, במקרים של **בדיקות מבצעיות (Operational Checks)**. למשל, אם המוצר אמור לעבוד בטמפרטורה של 55+ מעלות צלזיוס, ה-ATP עשוי לדרש בדיקה בטמפרטורה זו כדי להוכיח שהמוצר עומד במדויק (זהו תנאי עבודה, לא תנאי סינון/ESS). לעיתים רמת ה-ESS תהיה גבוהה יותר (למשל 60+ מעלות) כדי "לאבחן" את הרכיבים, וה-ATP יבצע בנסיבות ההזה פשוט כי היחידה כבר נמצאת בתא.

בשורה התחתונה: ה-ATP הוא "הבחינה", וה-ESS הוא "הסביבה הקשה" שבה הבדיקה מתקינה. הרמות הן רמות ה-ESS, וה-ATP הוא זה שקובע מה נחשב " עבר" או "נכשל" תחת המאמץ הזה.

כמי שמתמחה בסימולציות תרמיות ומכניות, האם אתה מגדיר את ה-*Margin* בין רמות ה-ESS (לסינון) לבין רמות ה-QTP (להסכם) אצלם, או שאתה מוכתב לך מהמפרט המערכתי?

האם תרצה שנבדוק או רמות ה-ESS ב-Step-Stress HALT כדי להחליט מה יהיו רמות ה-ESS ב-ATP?

תעשה לי סיכום מפורט של השיחה הזאת שאוכל להעתיק לשיחה אחרת



בקשה, אביתר. הכונתי לך סיכום מובנה ומקצועי המרכז את כל הנקודות הטכניות שעלו בשיחה, כולל החידושים שלך וההבחנות בין התיאוריה לפרקטיקה בקשר הייצור.

אתה יכול להעתיק את הטקסט הבא כפי שהוא:

סיכום מקצועי: מетодולוגיות בדיקה ואיימות במחזור חי מוצר (NPI)

סיכום זה מרכז את הגדרות היסוד, הבדיקה בין שלבי הפיתוח לייצור, והקשר המעשן בין בדיקות קבלה (ATP) לסינון מאמצים (ESS).

1. מילון מושגים עיקרי (פיתוח וייצור)

- **(Qualification Test Procedure) QTP:** בדיקות הסמוכה לתכנן (Design). מבוצעות על אב-טיפוס כדי להוכיח שהתקנון עומד במעטפת תנאי הסביבה והקיצון (לרוב לפי MIL-STD-810). מבוצע פעמי אחת (Per-Design).
- **(Acceptance Test Procedure) ATP:** בדיקות קבלה. מבוצעות על **כל יחידה** שיוצאה מקשר הייצור כדי לוודא תקינות פונקציונלית וביצועים לפני מסירה ללקוח.
- **(Environmental Stress Screening) ESS:** סינון מאמצים סביבה. תהליך שיטרתו לחישוף כשלוי יצור חבוים ("תסימות תינוקות") ע"י הפעלת הרעדות ומחרוזי טמפרטורה.
- **(First Article Inspection) FAI:** ביקורת פריט ראשון. בדיקה דקדקנית (ミミヂタ, חומרים, תהליכיים) של היחידה הראשונה בקשר, לאימות תהליכי הייצור והתייעוד (לפי תקן AS9102).

- **בפיתוח (R&D) לביצוע ניסויים להורדת סיכוןם, תיקוף אנלייזות והוכחת היתכנות טכנולוגית לפניה כניסה להסכמה מלאה.**

2. שלבים משלימים במעטפת הבדיקות

- **בפיתוח: HALT (בדיקות מאמצן למציאת גבולות כשל), DVT (אימונות דרישות תקן).**
- **ביצור: QC (ביקורת קבלה לרכיבים), HASS (סינון מאמצנים אגרסיבי לייצור המוני).**

3. הבירה: הקשר בין ATP ל-ESS (תיאוריה מול פרקטיקה)

במערכות ביוחניות/תעופתיות, קיימת אבחנה חשובה:

- **המסמרק (ATP):** משמש כ"מסמרק העל" שמדגיר את רצף הבדיקות בלא הייצור.
- **התהיליך הפיזי:** בפועל, ה-ATP "boveau" לתוךו את פרופיל ה-ESS.
- **הבדיקה מבוצעת** לרוב ברצף: בדיקה מקדימה -> הרצת פרופיל ESS (רעדות/טמפ') -> בדיקה פונקציונלית מסכמת.
- **לעתים מבוצעת** בדיקה פונקציונלית **תוך כדי** המאמץ (Operational ATP).
- **רמת המאמץ:** רמות ההרעדה והטמפרטורה ב-ATP נגזרות מדרישות ה-ESS (שנוועדו לסינון) ולא מדרישות העבודה הרגילה, במטרה לנפות כשלים מבלתי לגרום נזק מצטבר.

4. מדיניות התקף הבדיקות (vs Sampling 100%)

- **במוצרים קרייטיים (Defense/High-Rel):** הן ה-ATP והן ה-ESS מבוצעים על 100% מהיחידות.
- **במוצרים מסחריים/בוגרים:** ניתן לעבור לשיטת דגימה (Sampling) ב-ESS לאחר שהטהיליך התקיף והוכח סטטיסטי, אך ה-ATP הפונקציוני נשאר לרוב על 100%.

אם תרצה שאוסף לסייע בתיאום ספציפית לתיקוף אנלייזות (Correlation) בשלב ה-POD, בהקשר לרקע שלך בסימולציות?