ข้อมูลตัดปลายตามเวลา — อัตราความล้มเหลวคงที่จากการทดสอบที่หยุดที่เวลาคงที่

เมนู: ข้อมูลอายุ ▸ ประมาณฟังก์ชันความล้มเหลว ▸ ข้อมูลตัดปลายตามเวลา...

ภาค 1 — ฟังก์ชันนี้ทำอะไร

คำนวณอะไร คุณนำหน่วย **n** หน่วยเข้าทดสอบ และหยุดการทดสอบที่เวลาคงที่ **T** ที่กำหนดไว้ล่วงหน้า เมื่อถึงเวลานั้น **r** หน่วยล้มเหลวแล้วโดยรู้อายุเมื่อล้มเหลว อีก n − r หน่วยยังทำงานอยู่ ฟังก์ชันนี้ประมาณ**อัตราความล้มเหลวคงที่** λ̂ และ**เวลาเฉลี่ยจนถึงความล้มเหลว** (MTTF) ให้ช่วงความเชื่อมั่นไค-สแควร์ (χ^2) แบบสองด้านของทั้งสองค่า และบอกอายุที่หน่วยหนึ่งในสิบล้มเหลว กับระยะที่หน่วยทำงานได้ที่ความเชื่อถือได้เป้าหมายแต่ละระดับ ฟังก์ชันนี้นับเวลาทำงานของหน่วยที่ยังไม่ล้มเหลวด้วย แทนที่จะทิ้งไป

สิ่งที่ ReliaEn พิมพ์	สิ่งที่บอก
TTT = Σ t + (n − r)·T	เวลาทดสอบรวม: อายุที่ล้มเหลวรวมกับเวลาของหน่วยที่ยังไม่ล้มเหลว
λ̂ = r / TTT	จำนวนความล้มเหลวต่อหน่วยเวลาทำงาน
MTTF̂ = 1 / λ̂	อายุเฉลี่ยของหน่วย
ช่วงของ λ และ MTTF	ช่วงที่ครอบอัตราจริงและอายุเฉลี่ยจริง ที่ระดับความเชื่อมั่นของคุณ ขีดจำกัดบนของอัตราใช้องศาเสรี 2r + 2 ซึ่งเป็นกฎของการทดสอบที่หยุดที่เวลาคงที่
อายุ B10 และ **ช่วงบำรุงรักษา**	อายุที่หน่วย 10% ล้มเหลว และระยะทำงานนานที่สุดที่ยังคงความเชื่อถือได้เป้าหมายแต่ละระดับ ตั้งแต่ 95% ถึง 5%

จากข้อมูลใด อายุที่ล้มเหลว r ค่าในคอลัมน์เดียวของแผ่นงาน หนึ่งแถวต่อหนึ่งความล้มเหลว แต่ละค่ามากกว่า 0 และไม่เกิน T ส่วนจำนวนหน่วยที่ทดสอบ n และเวลาหยุด T พิมพ์ในแบบฟอร์ม ไม่ต้องพิมพ์หน่วยที่ยังไม่ล้มเหลวลงในแผ่นงาน n และ T นับหน่วยเหล่านั้นให้แล้ว

วิศวกรใช้เมื่อใด เมื่อทุกหน่วยเริ่มที่เวลา 0 ทุกหน่วยที่ยังไม่ล้มเหลวทำงานครบเวลา T และอัตราความล้มเหลวคงที่ตามอายุ (ไม่มีการสึกหรอและไม่มีความล้มเหลวช่วงแรก) เช่น การทดสอบความทนทาน การทดสอบรับรอง หรือช่วงเวลาสังเกตที่คงที่ในการใช้งานจริง

ไม่ควรใช้เมื่อ

สถานการณ์	ใช้แทน
ทุกหน่วยล้มเหลว	ข้อมูลอายุ ▸ ประมาณฟังก์ชันความล้มเหลว ▸ ข้อมูลสมบูรณ์...
การทดสอบหยุดที่ความล้มเหลวครั้งที่ r	ข้อมูลอายุ ▸ ประมาณฟังก์ชันความล้มเหลว ▸ ข้อมูลตัดปลายตามจำนวนความล้มเหลว...
หน่วยที่ยังไม่ล้มเหลวถูกถอดออกที่อายุต่างกัน	ข้อมูลอายุ ▸ การขึ้นกับเวลา ▸ การแจกแจงเอกซ์โพเนนเชียล... พร้อมคอลัมน์ที่ระบุข้อมูลที่ถูกตัดปลาย
อัตราอาจไม่คงที่	ข้อมูลอายุ ▸ การทดสอบความเหมาะสมของการฟิต...; ข้อมูลอายุ ▸ การขึ้นกับเวลา ▸ การแจกแจงไวบูลล์ (2P)...

ภาค 2 — ข้อมูลนำเข้าของตัวอย่าง

สถานการณ์. ปั๊มสิบตัวเริ่มการทดสอบความทนทานพร้อมกัน การทดสอบกำหนดให้หยุดที่ 500 ชั่วโมง ปั๊มสี่ตัวล้มเหลวระหว่างการทดสอบและอีกหกตัวยังทำงานอยู่เมื่อหยุด วิศวกรความเชื่อถือได้ต้องการอัตราความล้มเหลวและอายุเฉลี่ยของปั๊มพร้อมขอบเขตที่ตรงไปตรงมา

ข้อมูลนำเข้า	ค่า
อายุที่ล้มเหลว เป็นชั่วโมงทำงาน (r = 4)	130, 260, 350, 480

ไฟล์ในไฟล์ zip ของตัวอย่างพร้อมวิธีทำ	2-Time-Censored-Data/Example-1.csv — หนึ่งคอลัมน์ หัวคอลัมน์ Failure times 4 แถว
n — จำนวนหน่วยทดสอบทั้งหมด	10 — พิมพ์ในแบบฟอร์ม
T — เวลาสิ้นสุดการทดสอบ	500 — พิมพ์ในแบบฟอร์ม
ความเชื่อมั่น % (สองด้าน)	95 — ค่าที่แบบฟอร์มมีอยู่เมื่อเปิด

	A	B
1	130	
2	260	
3	350	
4	480	
5		

ข้อมูลตัวอย่างในแผ่นงาน

- ① คอลัมน์ A: อายุที่ล้มเหลว 4 ค่า หนึ่งค่าต่อแถว เป็นชั่วโมงทำงาน ปั๊มหกตัวที่ยังไม่ล้มเหลวไม่อยู่ในแผ่นงาน

ภาค 3 — วิธีใช้ ทีละขั้นตอน

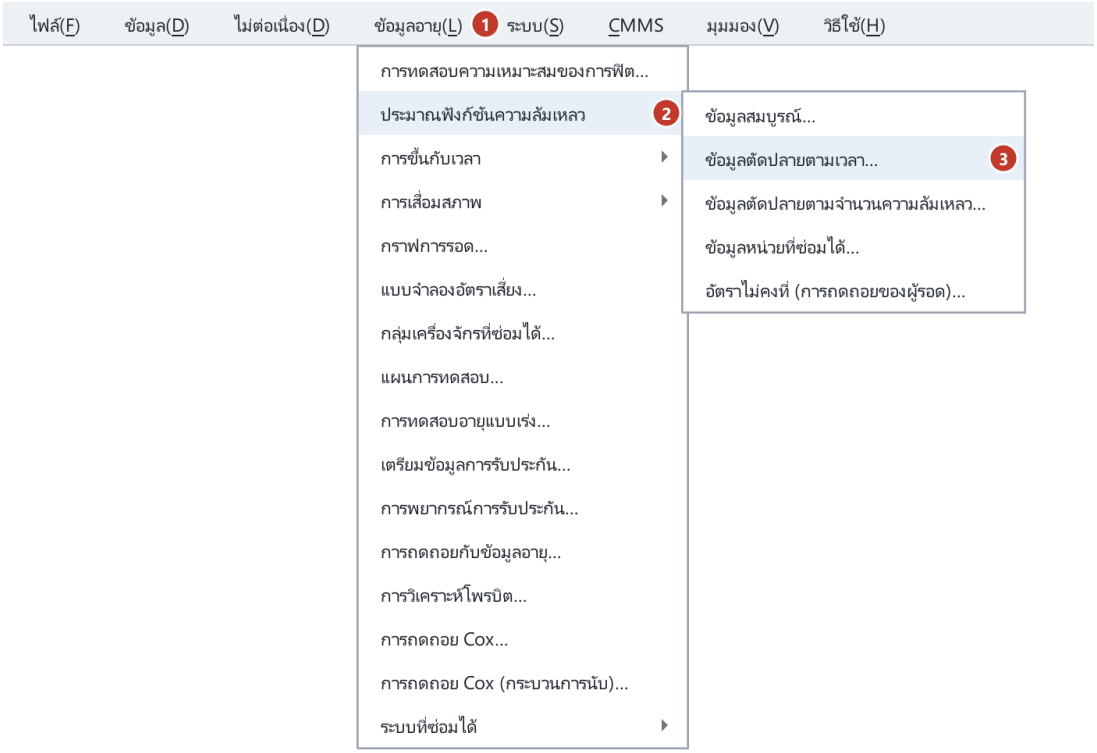
1. **ใส่อายุที่ล้มเหลวในคอลัมน์ A** คัดลอกค่า 4 ค่าของ Example-1.csv ที่อยู่ใต้หัวคอลัมน์ Failure times ลงในคอลัมน์ A ของแผ่นงาน เริ่มที่แถว 1 ป้อนเฉพาะความล้มเหลว

	A	B
1	130	
2	260	
3	350	
4	480	
5		

ขั้นตอนที่ 1 — อายุที่ล้มเหลวในคอลัมน์ A

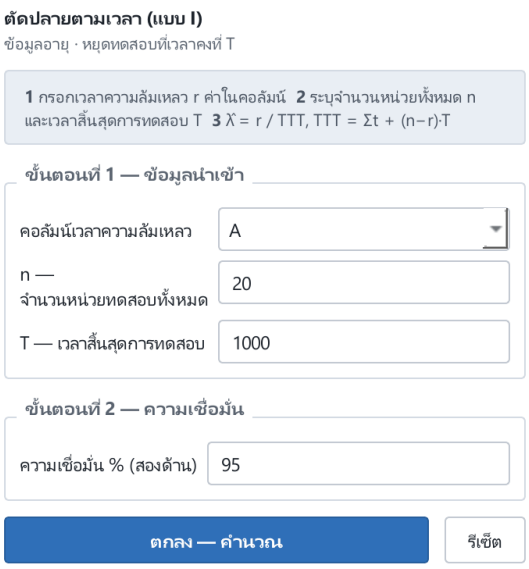
- ① คอลัมน์ A: อายุที่ล้มเหลว 4 ค่า ตั้งแต่ 130 ถึง 480

2. **เลือก ข้อมูลอายุ ▸ ประมาณฟังก์ชันความล้มเหลว ▸ ข้อมูลตัดปลายตามเวลา...** ในแถบเมนู แบบฟอร์ม ตัดปลายตามเวลา (แบบ I) เปิดขึ้นในแผงด้านซ้าย



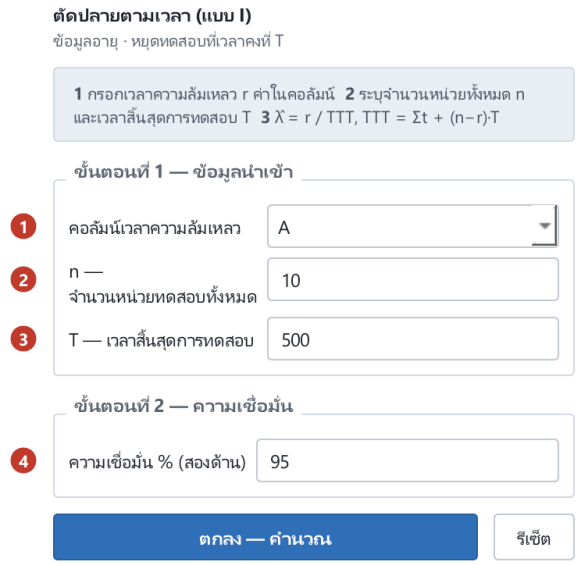
ขั้นตอนที่ 2 — เส้นทางเมนู

- ① ข้อมูลอายุ: เมนู
- ② ประมาณฟังก์ชันความล้มเหลว: เมนูย่อย
- ③ ข้อมูลตัดปลายตามเวลา...: รายการที่ต้องคลิก



ขั้นตอนที่ 2 — แบบฟอร์มเมื่อเปิด

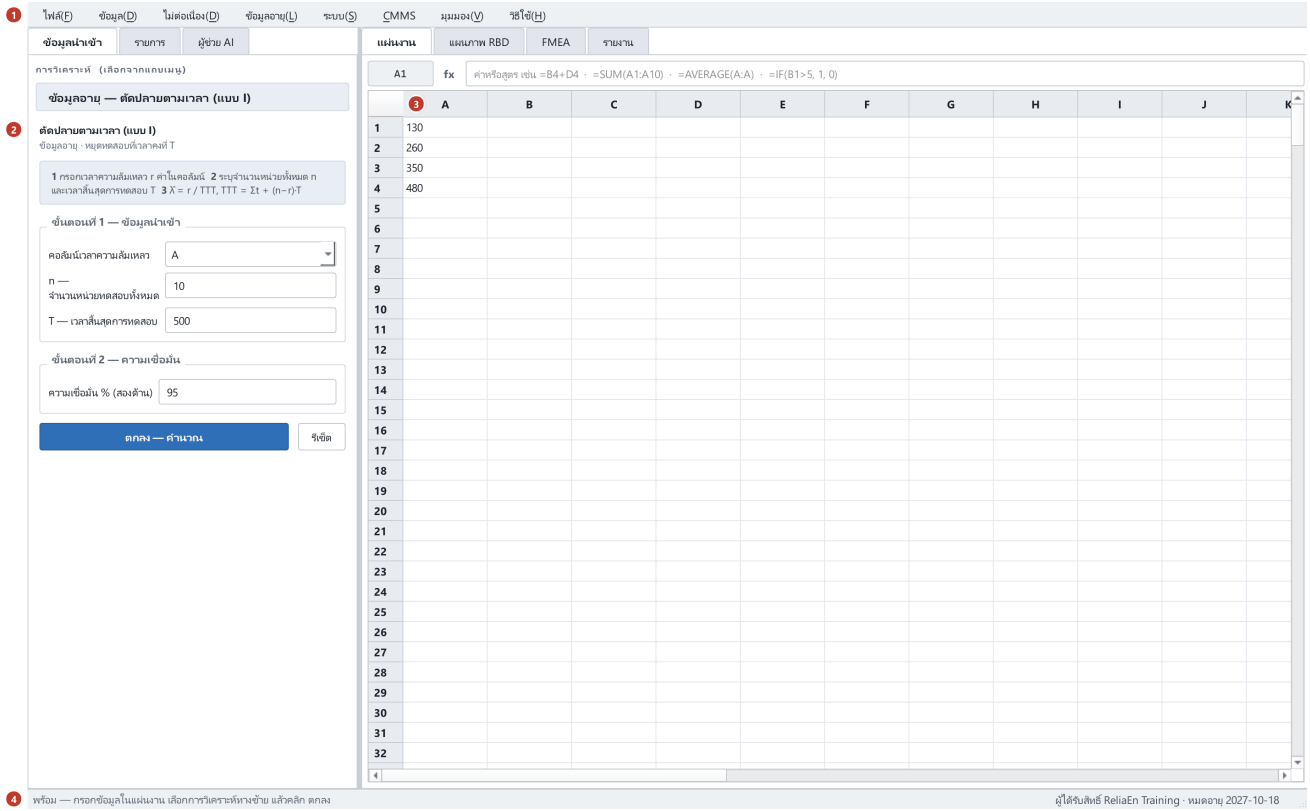
ขั้นตอนที่ 3 ถึง 6 ตั้งค่าสี่ช่องของแบบฟอร์ม ซึ่งมีเครื่องหมาย ① ถึง ④ ในภาพ:



ขั้นตอนที่ 3 ถึง 6 — แบบฟอร์มที่ตั้งค่าสำหรับตัวอย่างนี้

3. ① **ใน คอลัมน์เวลาความล้มเหลว เลือก A** นี่คือคอลัมน์ที่มีอายุที่ล้มเหลว
4. ② **ใน n — จำนวนหน่วยทดสอบทั้งหมด พิมพ์ 10** หน่วยทั้งหมดที่ทดสอบ รวมปั๊มหกตัวที่ยังไม่ล้มเหลว แบบฟอร์มเปิดขึ้นด้วยค่า 20
5. ③ **ใน T — เวลาสิ้นสุดการทดสอบ พิมพ์ 500** เวลาที่หยุดการทดสอบ แบบฟอร์มเปิดขึ้นด้วยค่า 1000
6. ④ **ตรวจว่า ความเชื่อมั่น % (สองด้าน) เป็น 95** ระดับความเชื่อมั่นของทุกช่วงในรายงาน ทั้งของอัตราและของอายุเฉลี่ย

7. **คลิก ตกลง — คำนวณ** ที่ท้ายแบบฟอร์ม (② ในภาพด้านล่าง) ReliaEn คำนวณและแสดงรายงาน



ขั้นตอนที่ 7 — หน้าต่างก่อนกดตกลง

- ① แถบเมนู: ไฟล์, ข้อมูล, ไม่ต่อเนื่อง, ข้อมูลอายุ, ระบบ, CMMS, มุมมอง, วิธีใช้
- ② แบบฟอร์มที่ตั้งค่าตามขั้นตอนที่ 3 ถึง 6 มี ตกลง — คำนวณ อยู่ที่ท้าย
- ③ คอลัมน์ A: อายุที่ล้มเหลว 4 ค่า
- ④ แถบสถานะ: พร้อม — กรอกข้อมูลในแผ่นงาน เลือกการวิเคราะห์ทางซ้าย แล้วคลิก ตกลง และ ผู้ได้รับสิทธิ์ ReliaEn Training · หมดอายุ 2027-10-18

ภาค 4 — รายงาน ทีละการ์ด

ข้อมูลอายุ — เอกซ์โพเนนเชียล (ตัดปลายตามเวลา (แบบ I))

`2026-10-30 13:37:38`

`λ̂ = r / TTT ; ขีดจำกัดความเชื่อมั่น χ²`

ส่วนหัวของรายงาน

- ชื่อเรื่อง ข้อมูลอายุ — เอกซ์โพเนนเชียล (ตัดปลายตามเวลา (แบบ I)) วันที่และเวลาที่คำนวณ และวิธีการในหนึ่งบรรทัด: λ̂ = r / TTT ; ขีดจำกัดความเชื่อมั่น χ²

ข้อมูลนำเข้า

1	ลักษณะข้อมูล	**ตัดปลายตามเวลา (แบบ I)**
2	n — หน่วยที่ทดสอบ	**10**
3	r — ความล้มเหลว	**4**
4	T — เวลาสิ้นสุดการทดสอบ	**500**
5	TTT — เวลาทดสอบรวม	**4220**
6	ระดับความเชื่อมั่น	**95% (สองด้าน)**

ข้อมูลนำเข้า

- ① ลักษณะข้อมูล ตัดปลายตามเวลา (แบบ I): ชนิดของข้อมูลที่ ReliaEn ใช้
- ② n — หน่วยที่ทดสอบ 10: หน่วยที่ทดสอบ ตามที่พิมพ์ในขั้นตอนที่ 4
- ③ r — ความล้มเหลว 4: จำนวนอายุที่ ReliaEn อ่านจากคอลัมน์ A ตรวจ r ก่อน: เซลล์ว่างถูกข้ามไป และ r จะน้อยกว่าจำนวนความล้มเหลวที่คุณป้อน
- ④ T — เวลาสิ้นสุดการทดสอบ 500: เวลาหยุดที่พิมพ์ในขั้นตอนที่ 5
- ⑤ TTT — เวลาทดสอบรวม 4220: อายุทั้งสี่ค่า (1,220 ชั่วโมง) รวมกับปั๊มที่ยังไม่ล้มเหลวหกตัว × 500 ชั่วโมง (3,000 ชั่วโมง) เวลาทดสอบส่วนใหญ่มาจากหน่วยที่ยังไม่ล้มเหลว
- ⑥ ระดับความเชื่อมั่น 95% (สองด้าน): ระดับที่ตั้งในขั้นตอนที่ 6

ผลลัพธ์

1	$\hat{\lambda} = r / TTT$	**0.000947867**
2	$MTTF\hat{} = 1 / \hat{\lambda}$	**1055**
3	CI 95% ของ λ	**[0.000258262, 0.00242692]**
4	CI 95% ของ MTTF	**[412.045, 3872.04]**
5	อายุ B10	**111.155**

ผลลัพธ์

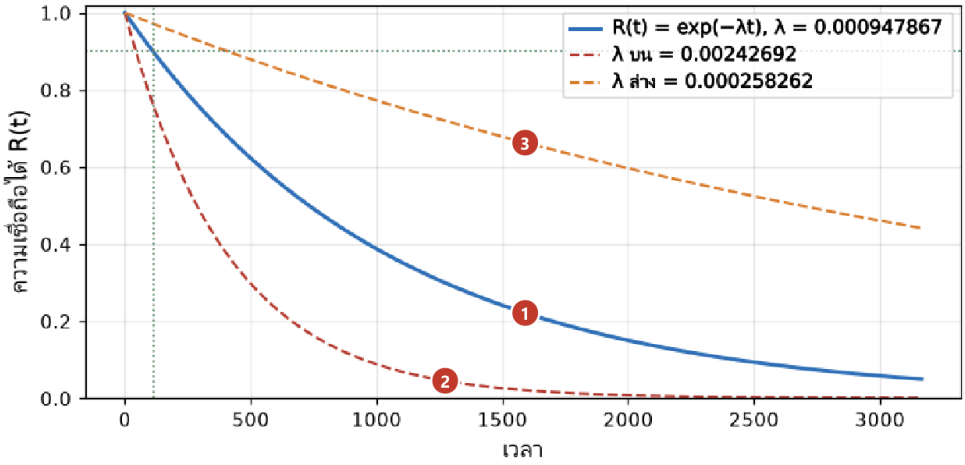
- ① $\hat{\lambda} = r / TTT$ 0.000947867: ความล้มเหลว 4 ครั้งใน 4,220 ชั่วโมง ประมาณ 0.95 ความล้มเหลวต่อ 1,000 ชั่วโมงทำงาน
- ② $MTTF\hat{} = 1 / \hat{\lambda}$ 1055: อายุเฉลี่ยของปั๊ม เป็นชั่วโมงทำงาน
- ③ CI 95% ของ λ [0.000258262, 0.00242692]: ช่วงที่ครอบอัตราจริงด้วยความเชื่อมั่น 95% ปลายบนใช้องศาเสรี 2r + 2 = 10 ปลายล่างใช้ 2r = 8
- ④ CI 95% ของ MTTF [412.045, 3872.04]: ข้อความเดียวกันสำหรับอายุเฉลี่ย ปลายแต่ละด้านเป็นส่วนกลับของปลายตรงข้ามของอีกช่วงหนึ่ง
- ⑤ อายุ B10 111.155: ปั๊มหนึ่งในสิบล้มเหลวภายในอายุนี้

การตีความ

1	แบบจำลองเอกซ์โพเนนเชียลประมาณอัตราความล้มเหลว λ = 0.000947867 ต่อหน่วยเวลา (MTTF = 1055) ด้วยความเชื่อมั่น 95% MTTF จริงอยู่ระหว่าง 412.045 และ 3872.04 คาดว่า 10% ของประชากรจะล้มเหลวภายใน t = 111.155 (B10) ใช้ขีดจำกัด χ^2 แม่นตรงตามชนิดการตัดปลาย (2r / 2r+2 dof)

การตีความ

- ① ประโยคของ ReliaEn: แบบจำลองเอกซ์โพเนนเชียลประมาณอัตราความล้มเหลว λ = 0.000947867 ต่อหน่วยเวลา (MTTF = 1055) ด้วยความเชื่อมั่น 95% MTTF จริงอยู่ระหว่าง 412.045 และ 3872.04 คาดว่า 10% ของประชากรจะล้มเหลวภายใน t = 111.155 (B10) ใช้ขีดจำกัด χ^2 แม่นตรงตามชนิดการตัดปลาย (2r / 2r+2 dof) อัตรา อายุเฉลี่ยและช่วงของมัน B10 และกฎ χ^2: องศาเสรี 2r ที่ขีดจำกัดล่างของอัตรา และ 2r + 2 ที่ขีดจำกัดบน



กราฟแบบโต้ตอบ

ความเชื่อถือได้เทียบกับเวลาทำงาน

- ① R(t) = exp(−λt), λ = 0.000947867: สัดส่วนของปั๊มที่ยังทำงานอยู่ ณ เวลาทำงานแต่ละค่า ที่อัตราที่ประมาณได้
- ② λ บน = 0.00242692: เส้นโค้งที่อัตราบน ซึ่งเป็นเส้นที่ระมัดระวังและลดลงเร็วที่สุด
- ③ λ ล่าง = 0.000258262: เส้นโค้งที่อัตราล่าง เส้นโค้งจริงอยู่ระหว่าง ② และ ③ ด้วยความเชื่อมั่น 95%

ช่วงบำรุงรักษา — เวลาทำงานเพื่อคงอยู่ที่หรือเหนือความเชื่อถือได้เป้าหมาย

1 แบบจำลอง: เอกซ์โพเนนเชียล(λ = 0.000947867) — ซ่อมบำรุงก่อนที่หน่วยจะสะสมเวลาทำงานเท่านี้ เพื่อรักษาความเชื่อถือได้ไว้ที่หรือเหนือเป้าหมาย

2 R เป้าหมาย	3 เวลาทำงาน t
95%	54.1
4 90%	111.2
85%	171.5
80%	235.4
75%	303.5
70%	376.3
65%	454.5
60%	538.9
55%	630.7
50%	731.3
45%	842.4
40%	966.7
35%	1,107.6
30%	1,270.2
25%	1,462.5
20%	1,698.0
15%	2,001.5
10%	2,429.2
5%	3,160.5

ช่วงบำรุงรักษา — เวลาทำงานเพื่อคงอยู่ที่หรือเหนือความเชื่อถือได้เป้าหมาย

- ① แบบจำลอง: เอกซ์โพเนนเชียล(λ = 0.000947867) — ซ่อมบำรุงก่อนที่หน่วยจะสะสมเวลาทำงานเท่านี้ เพื่อรักษาความเชื่อถือได้ไว้ที่หรือเหนือเป้าหมาย
- ② R เป้าหมาย: ความเชื่อถือได้ที่ต้องการคงไว้ ตั้งแต่ 95% ลงไปถึง 5%
- ③ เวลาทำงาน t: ระยะทำงานนานที่สุดที่ยังคงความเชื่อถือได้นั้น $t = -\ln(R) / \lambda$
- ④ แถว 90%: เพื่อคงความเชื่อถือได้ที่หรือเหนือ 90% ปั๊มทำงานได้ 111.2 ชั่วโมง ซึ่งคือ B10 ที่ปัดเศษ

การหาค่าเหมาะสมของการบำรุงรักษาเชิงป้องกัน — ไม่ใช้

1 β = 1 — แบบจำลองเอกซ์โพเนนเชียลไร้ความจำ: เครื่องที่ซ่อมบำรุงแล้วเหมือนกันทางสถิติกับเครื่องที่ซ่อมแล้ว การเปลี่ยนเชิงป้องกันจึงลดความล้มเหลวไม่ได้ (D23/D25) หากสงสัยการสึกหรอ ให้ฟิตแบบจำลองไวบูลล์แทน

การหาค่าเหมาะสมของการบำรุงรักษาเชิงป้องกัน — ไม่ใช้

- ① β = 1 — แบบจำลองเอกซ์โพเนนเชียลไร้ความจำ: เครื่องที่ซ่อมบำรุงแล้วเหมือนกันทางสถิติกับเครื่องที่ซ่อมแล้ว การเปลี่ยนเชิงป้องกันจึงลดความล้มเหลวไม่ได้ (D23/D25) หากสงสัยการสึกหรอ ให้ฟิตแบบจำลองไวบูลล์แทน ภายใต้อัตราคงที่ ปั๊มที่ใช้แล้วดีเท่ากับปั๊มใหม่ รายงานจึงไม่คำนวณอายุการเปลี่ยน

1 ผู้ได้รับสิทธิ์ ReliaEn Training · RL-2026-0017

ท้ายรายงาน

- ① บรรทัดสิทธิ์การใช้งาน ผู้ได้รับสิทธิ์ ReliaEn Training · RL-2026-0017: สิทธิ์การใช้งานที่ใช้สร้างรายงานนี้

ภาค 5 — วิธีตีความผลลัพธ์

การตัดสินใจ ค่าประมาณที่ดีที่สุดของอายุเฉลี่ยของปั๊มคือ 1055 ชั่วโมงทำงาน (λ̂ = 0.000947867 ความล้มเหลวต่อชั่วโมง) แต่ความล้มเหลวสี่ครั้งวางอายุเฉลี่ยไว้ได้เพียงระหว่าง 412.045 ถึง 3872.04 ชั่วโมง ที่ความเชื่อมั่น 95% สำหรับข้อผูกพัน เช่น อะไหล่เงินสำรองการรับประกัน หรือการอ้างความพร้อมใช้งาน ให้วางแผนด้วยปลายที่ระมัดระวัง คืออัตราบน 0.00242692 ต่อชั่วโมง ซึ่งบอกสิ่งเดียวกับอายุเฉลี่ยล่าง 412.045 ชั่วโมง λ̂ เป็นค่าที่น่าจะเป็นที่สุด ไม่ใช่คำสัญญา

ทำไมหน่วยที่ยังไม่ล้มเหลวจึงนับ ปั๊มหกตัวที่ยังทำงานอยู่ที่ 500 ชั่วโมงเป็นหลักฐานของอายุ: ปั๊มเหล่านี้ให้เวลาทดสอบ 3,000 ชั่วโมงจาก 4,220 ชั่วโมง ถ้าตัดออก อายุเฉลี่ยจะเหลือ 305 ชั่วโมง (1,220 / 4) และทำให้ปั๊มดูอายุสั้นกว่าความจริงมาก และเพราะการทดสอบหยุดที่เวลา ไม่ใช่ที่ความล้มเหลว ความล้มเหลวครั้งถัดไปอาจเกิดขึ้นในอีกครู่เดียว ขีดจำกัดบนของอัตราจึงเผื่อไว้ด้วยองศาเสรี 2r + 2 นี่คือเหตุที่การทดสอบนี้ใช้ฟังก์ชันนี้ ไม่ใช่ข้อมูลสมบูรณ์

ข้อมูลบอกได้มากแค่ไหน อัตราบนประมาณเก้าเท่าของอัตราล่าง ความกว้างของช่วงขึ้นกับจำนวนความล้มเหลว r ความล้มเหลวสี่ครั้งให้ช่วงที่กว้าง ถ้าช่วงกว้างเกินกว่าจะตัดสินใจได้ ให้ทดสอบนานขึ้นหรือนำหน่วยเข้าทดสอบมากขึ้น การคำนวณเพิ่มไม่ทำให้ช่วงแคบลง

ผลต่อการบำรุงรักษา ปั๊มหนึ่งในสิบล้มเหลวภายใน 111.155 ชั่วโมง (B10) ตาราง ช่วงบำรุงรักษา ให้ระยะทำงานนานที่สุดที่ยังคงความเชื่อถือได้เป้าหมายแต่ละระดับ คือ 111.2 ชั่วโมงสำหรับ 90% แถวเหล่านี้สมมติอัตราคงที่ ภายใต้อัตราคงที่ ปั๊มที่ใช้แล้วดีเท่ากับปั๊มใหม่ การเปลี่ยนปั๊มก่อนกำหนดจึงไม่ได้อะไรเลย รายงานบอกไว้ในการ์ดสุดท้าย ถ้าสงสัยการสึกหรอ ให้ทดสอบอัตราคงที่ (ข้อมูลอายุ ▸ การทดสอบความเหมาะสมของการฟิต…) หรือฟิตแบบจำลองไวบูลล์