ข้อมูลตัดปลายตามจำนวนความล้มเหลว — อัตราความล้มเหลวคงที่จากการทดสอบที่หยุดที่ความล้มเหลวครั้งที่ r

เมนู: ข้อมูลอายุ ▸ ประมาณฟังก์ชันความล้มเหลว ▸ ข้อมูลตัดปลายตามจำนวนความล้มเหลว...

ภาค 1 — ฟังก์ชันนี้ทำอะไร

คำนวณอะไร คุณนำหน่วย **n** หน่วยเข้าทดสอบ และหยุดการทดสอบ**ทันทีที่เกิดความล้มเหลวครั้งที่ r** ซึ่งกำหนดจำนวนไว้ล่วงหน้า คุณรู้อายุที่ล้มเหลว r ค่า อีก n − r หน่วยยังทำงานอยู่เมื่อความล้มเหลวครั้งสุดท้ายนั้นเกิดขึ้น ฟังก์ชันนี้ประมาณ**อัตราความล้มเหลวคงที่** λ และ**เวลาเฉลี่ยจนถึงความล้มเหลว** (MTTF) ให้ช่วงความเชื่อมั่นไค-สแควร์ (χ^2) แบบสองด้านของทั้งสองค่า และบอกอายุที่หน่วยหนึ่งในสิบล้มเหลว กับระยะที่หน่วยทำงานได้ที่ความเชื่อถือได้เป้าหมายแต่ละระดับ ฟังก์ชันนี้นับเวลาทำงานของหน่วยที่ยังไม่ล้มเหลวจนถึงความล้มเหลวครั้งสุดท้ายนั้นด้วย

สิ่งที่ ReliaEn พิมพ์	สิ่งที่บอก
t_r	จุดสิ้นสุดของการทดสอบ: อายุที่ล้มเหลวที่มากที่สุดที่คุณป้อน
TTT = Σ t + (n − r)·t_r	เวลาทดสอบรวม: อายุที่ล้มเหลวรวมกับเวลาของหน่วยที่ยังไม่ล้มเหลวจนถึง t_r
$\hat{\lambda}$ = r / TTT	จำนวนความล้มเหลวต่อหน่วยเวลาทำงาน
MTTF̂ = 1 / $\hat{\lambda}$	อายุเฉลี่ยของหน่วย
ช่วงของ λ และ MTTF	ช่วงที่ครอบอัตราจริงและอายุเฉลี่ยจริง ที่ระดับความเชื่อมั่นของคุณ ปลายทั้งสองใช้องศาเสรี 2r เพราะความล้มเหลวครั้งสุดท้ายถูกสังเกตครบถ้วน
อายุ B10 และ **ช่วงบำรุงรักษา**	อายุที่หน่วย 10% ล้มเหลว และระยะทำงานนานที่สุดที่ยังคงความเชื่อถือได้เป้าหมายแต่ละระดับ ตั้งแต่ 95% ถึง 5%

จากข้อมูลใด อายุที่ล้มเหลว r ค่าในคอลัมน์เดียวของแผ่นงาน หนึ่งแถวต่อหนึ่งความล้มเหลว แต่ละค่ามากกว่า 0 ส่วนจำนวนหน่วยที่ทดสอบ n พิมพ์ในแบบฟอร์ม แบบฟอร์มไม่มีช่องเวลาสิ้นสุดการทดสอบ: ReliaEn ใช้อายุที่มากที่สุดเป็น t_r ไม่ต้องพิมพ์หน่วยที่ยังไม่ล้มเหลวลงในแผ่นงาน n นับหน่วยเหล่านั้นให้แล้ว

วิศวกรใช้เมื่อใด เมื่อทุกหน่วยเริ่มที่เวลา 0 ทุกหน่วยที่ยังไม่ล้มเหลวทำงานจนถึงความล้มเหลวครั้งที่ r และอัตราความล้มเหลวคงที่ตามอายุ (ไม่มีการสึกหรอและไม่มีความล้มเหลวช่วงแรก) เช่น การทดสอบที่วางแผนว่า "หยุดเมื่อล้มเหลวครบสี่ตัว"

ไม่ควรใช้เมื่อ

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

ภาค 2 — ข้อมูลนำเข้าของตัวอย่าง

สถานการณ์. ปั๊มสิบตัวเริ่มการทดสอบความทนทานพร้อมกัน แผนคือหยุดการทดสอบทันทีที่ปั๊มตัวที่สี่ล้มเหลว ความล้มเหลวครั้งที่สี่เกิดที่ 480 ชั่วโมง และปั๊มหกตัวยังทำงานอยู่ วิศวกรความเชื่อถือได้ต้องการอัตราความล้มเหลวและอายุเฉลี่ยของปั๊มพร้อมขอบเขตที่ตรงไปตรงมา

ข้อมูลนำเข้า	ค่า
อายุที่ล้มเหลว เป็นชั่วโมงทำงาน (r = 4)	130, 260, 350, 480
ไฟล์ในไฟล์ zip ของตัวอย่างพร้อมวิธีทำ	2-Failure-Censored-Data/Example-1.csv — หนึ่งคอลัมน์ หัวคอลัมน์ Failure times 4 แถว
n — จำนวนหน่วยทดสอบทั้งหมด	10 — 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

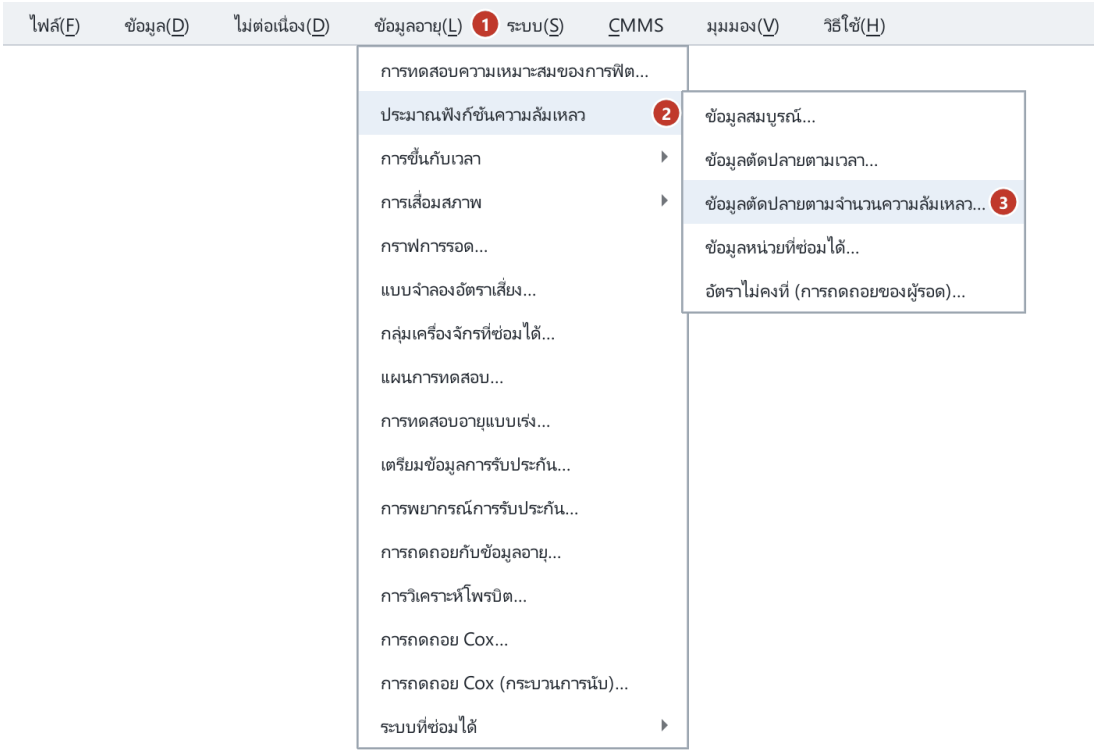
1. **ใส่อายุที่ล้มเหลวในคอลัมน์ A** คัดลอกค่า 4 ค่าของ Example-1.csv ที่อยู่ใต้หัวคอลัมน์ Failure times ลงในคอลัมน์ A ของแผ่นงาน เริ่มที่แถว 1 ป้อนเฉพาะความล้มเหลว

	A	B
1	130	
2	260	
3	350	
4	480	
5		

ขั้นตอนที่ 1 — อายุที่ล้มเหลวในคอลัมน์ A

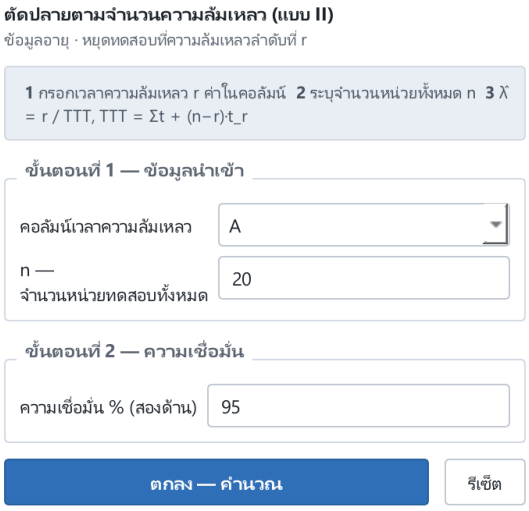
- ① คอลัมน์ A: อายุที่ล้มเหลว 4 ค่า ตั้งแต่ 130 ถึง 480

2. **เลือก ข้อมูลอายุ ▸ ประมาณฟังก์ชันความล้มเหลว ▸ ข้อมูลตัดปลายตามจำนวนความล้มเหลว...** ในแถบเมนู แบบฟอร์ม ตัดปลายตามจำนวนความล้มเหลว (แบบ II) เปิดขึ้นในแผงด้านซ้าย



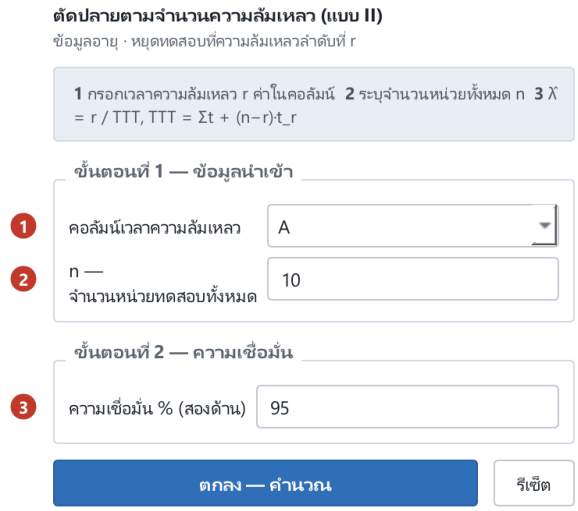
ขั้นตอนที่ 2 — เส้นทางเมนู

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



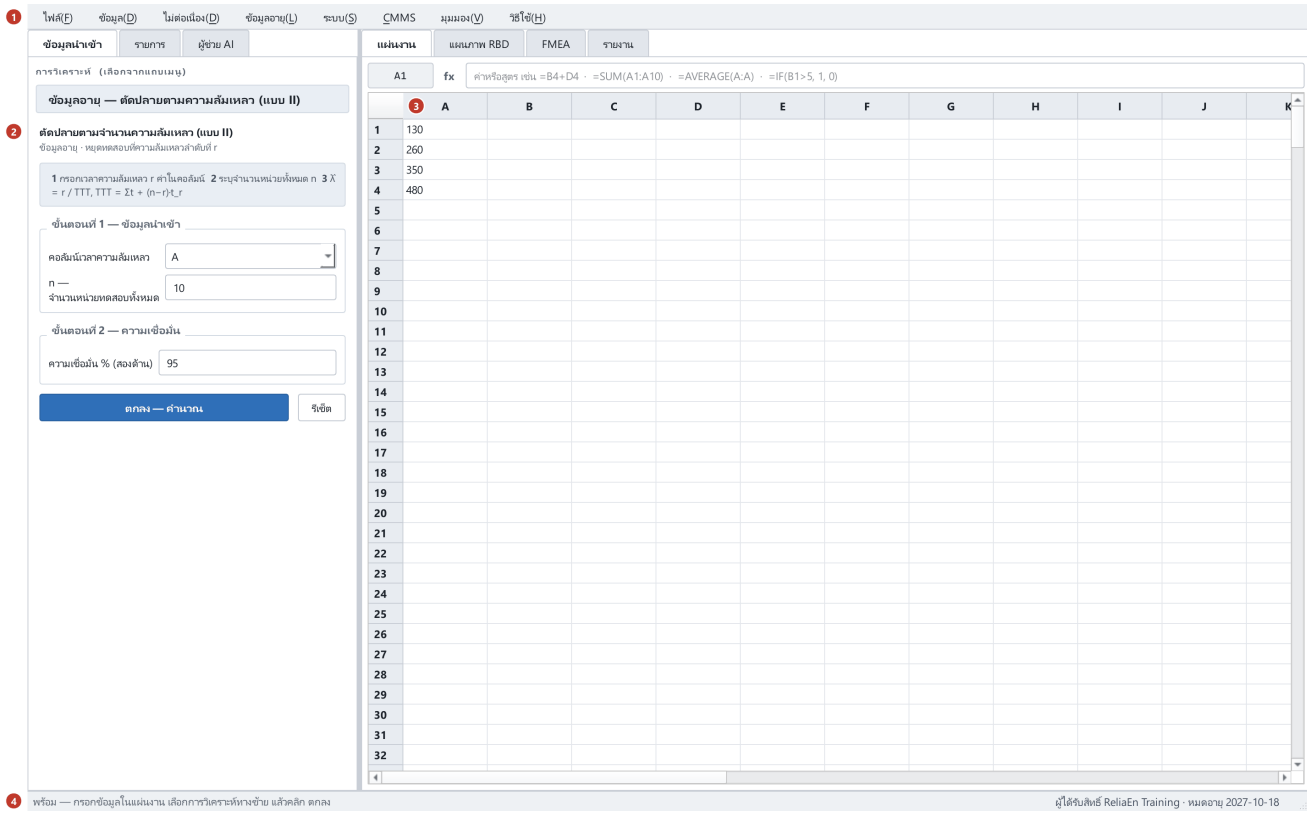
ขั้นตอนที่ 2 — แบบฟอร์มเมื่อเปิด

ขั้นตอนที่ 3 ถึง 5 ตั้งค่าสามช่องของแบบฟอร์ม ซึ่งมีเครื่องหมาย ① ถึง ③ ในภาพ:



ขั้นตอนที่ 3 ถึง 5 — แบบฟอร์มที่ตั้งค่าสำหรับตัวอย่างนี้

3. ① **ใน** คอลัมน์เวลาความล้มเหลว **เลือก** **A** นี่คือคอลัมน์ที่มีอายุที่ล้มเหลว
4. ② **ใน** **n — จำนวนหน่วยทดสอบทั้งหมด** **พิมพ์** **10** หน่วยทั้งหมดที่ทดสอบ รวมปั๊มหกตัวที่ยังไม่ล้มเหลว แบบฟอร์มเปิดขึ้นด้วยค่า 20
5. ③ **ตรวจว่า** ความเชื่อมั่น % (สองด้าน) **เป็น** **95** ระดับความเชื่อมั่นของทุกช่วงในรายงาน ทั้งของอัตราและของอายุเฉลี่ย
6. **คลิก** **ตกลง — คำนวณ** ที่ท้ายแบบฟอร์ม (② ในภาพด้านล่าง) ReliaEn คำนวณและแสดงรายงาน



ขั้นตอนที่ 6 — หน้าต่างก่อนกดตกลง

- ① แถบเมนู: ไฟล์, ข้อมูล, ไม่ต่อเนื่อง, ข้อมูลอายุ, ระบบ, CMMS, มุมมอง, วิธีใช้
- ② แบบฟอร์มที่ตั้งค่าตามขั้นตอนที่ 3 ถึง 5 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 (ตัดปลายตามความล้มเหลว (แบบ II))

2026-10-30 14:50:11

λ̂ = r / TTT ; ขีดจำกัดความเชื่อมั่น χ²

ส่วนหัวของรายงาน

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

ข้อมูลนำเข้า

1	ลักษณะข้อมูล	**ตัดปลายตามความล้มเหลว (แบบ II)**
2	n — หน่วยที่ทดสอบ	**10**
3	r — ความล้มเหลว	**4**
4	t_r — เวลาความล้มเหลวครั้งที่ r	**480**
5	TTT — เวลาทดสอบรวม	**4100**
6	ระดับความเชื่อมั่น	**95% (สองด้าน)**

ข้อมูลนำเข้า

- ① ลักษณะข้อมูล ตัดปลายตามความล้มเหลว (แบบ II): 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_r — เวลาความล้มเหลวครั้งที่ r 480: จุดสิ้นสุดของการทดสอบ คืออายุที่มากที่สุดในคอลัมน์ A
- ⑤ TTT — เวลาทดสอบรวม 4100: อายุทั้งสี่ค่า (1,220 ชั่วโมง) รวมกับปั๊มที่ยังไม่ล้มเหลวหกตัว × 480 ชั่วโมง (2,880 ชั่วโมง)
- ⑥ ระดับความเชื่อมั่น 95% (สองด้าน): ระดับที่ตั้งในขั้นตอนที่ 5

ผลลัพธ์

1	λ̂ = r / TTT	**0.00097561**
2	MTTF̂ = 1 / λ̂	**1025**
3	CI 95% ของ λ	**[0.000265821, 0.00213836]**
4	CI 95% ของ MTTF	**[467.648, 3761.93]**
5	อายุ B10	**107.995**

ผลลัพธ์

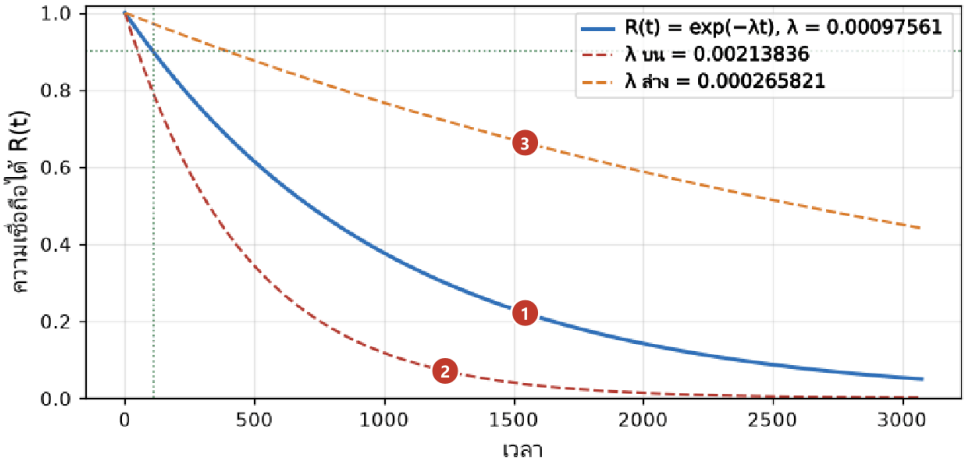
- ① λ̂ = r / TTT 0.00097561: ความล้มเหลว 4 ครั้งใน 4,100 ชั่วโมง ประมาณ 0.98 ความล้มเหลวต่อ 1,000 ชั่วโมงทำงาน
- ② MTTF̂ = 1 / λ̂ 1025: อายุเฉลี่ยของปั๊ม เป็นชั่วโมงทำงาน
- ③ CI 95% ของ λ [0.000265821, 0.00213836]: ช่วงที่ครอบอัตราจริงด้วยความเชื่อมั่น 95% ปลายทั้งสองใช้องศาเสรี 2r = 8
- ④ CI 95% ของ MTTF [467.648, 3761.93]: ข้อความเดียวกันสำหรับอายุเฉลี่ย ปลายแต่ละด้านเป็นส่วนกลับของปลายตรงข้ามของอีกช่วงหนึ่ง
- ⑤ อายุ B10 107.995: ปั๊มหนึ่งในสิบล้มเหลวภายในอายุนี้

การตีความ

1	แบบจำลองเอกซ์โพเนนเชียลประมาณอัตราความล้มเหลว λ = 0.00097561 ต่อหน่วยเวลา (MTTF = 1025) ด้วยความเชื่อมั่น 95% MTTF จริงอยู่ระหว่าง 467.648 และ 3761.93 คาดว่า 10% ของประชากรจะล้มเหลวภายใน t = 107.995 (B10) ใช้ขีดจำกัด χ² แม่นตรงตามชนิดการตัดปลาย (2r dof)

การตีความ

- ① ประโยคของ ReliaEn: แบบจำลองเอกซ์โพเนนเชียลประมาณอัตราความล้มเหลว λ = 0.00097561 ต่อหน่วยเวลา (MTTF = 1025) ด้วยความเชื่อมั่น 95% MTTF จริงอยู่ระหว่าง 467.648 และ 3761.93 คาดว่า 10% ของประชากรจะล้มเหลวภายใน t = 107.995 (B10) ใช้ขีดจำกัด χ² แม่นตรงตามชนิดการตัดปลาย (2r dof) อัตรา อายุเฉลี่ยและช่วงของมัน B10 และกฎ χ²: องศาเสรี 2r ที่ปลายทั้งสอง



กราฟแบบโต้ตอบ

ความเชื่อถือได้เทียบกับเวลาทำงาน

- ① R(t) = exp(−λt), λ = 0.00097561: สัดส่วนของปั๊มที่ยังทำงานอยู่ ณ เวลาทำงานแต่ละค่า ที่อัตราที่ประมาณได้
- ② λ บน = 0.00213836: เส้นโค้งที่อัตราบน ซึ่งเป็นเส้นที่ระมัดระวังและลดลงเร็วที่สุด
- ③ λ ล่าง = 0.000265821: เส้นโค้งที่อัตราล่าง เส้นโค้งจริงอยู่ระหว่าง ② และ ③ ด้วยความเชื่อมั่น 95%

ช่วงบำรุงรักษา — เวลาทำงานเพื่อคงอยู่ที่หรือเหนือความเชื่อถือได้เป้าหมาย

1 แบบจำลอง: เอกซ์โพเนนเชียล(λ = 0.00097561) — ซ่อมบำรุงก่อนที่หน่วยจะสะสมเวลาทำงานเท่านี้ เพื่อรักษาความเชื่อถือได้ไว้ที่หรือเหนือเป้าหมาย

2 R เป้าหมาย	3 เวลาทำงาน t
95%	52.6
4 90%	108.0
85%	166.6
80%	228.7
75%	294.9
70%	365.6
65%	441.6
60%	523.6
55%	612.8
50%	710.5
45%	818.5
40%	939.2
35%	1,076.1
30%	1,234.1
25%	1,421.0
20%	1,649.7
15%	1,944.5
10%	2,360.1
5%	3,070.6

ช่วงบำรุงรักษา — เวลาทำงานเพื่อคงอยู่ที่หรือเหนือความเชื่อถือได้เป้าหมาย

- ① แบบจำลอง: เอกซ์โพเนนเชียล(λ = 0.00097561) — ซ่อมบำรุงก่อนที่หน่วยจะสะสมเวลาทำงานเท่านี้ เพื่อรักษาความเชื่อถือได้ไว้ที่หรือเหนือเป้าหมาย
- ② R เป้าหมาย: ความเชื่อถือได้ที่ต้องการคงไว้ ตั้งแต่ 95% ลงไปถึง 5%
- ③ เวลาทำงาน t: ระยะทำงานนานที่สุดที่ยังคงความเชื่อถือได้นั้น t = −ln(R) / λ
- ④ แถว 90%: เพื่อคงความเชื่อถือได้ที่หรือเหนือ 90% ปั๊มทำงานได้ 108.0 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 1025 ชั่วโมงทำงาน (λ̂ = 0.00097561 ความล้มเหลวต่อชั่วโมง) แต่ความล้มเหลวสี่ครั้งวางอายุเฉลี่ยไว้ได้เพียงระหว่าง 467.648 ถึง 3761.93 ชั่วโมง ที่ความเชื่อมั่น 95% สำหรับข้อผูกพัน เช่น อะไหล่เงินสำรองการรับประกัน หรือการอ้างความพร้อมใช้งาน ให้วางแผนด้วยปลายที่ระมัดระวัง คืออัตราบน 0.00213836 ต่อชั่วโมง ซึ่งบอกสิ่งเดียวกับอายุเฉลี่ยล่าง 467.648 ชั่วโมง λ̂ เป็นค่าที่น่าจะเป็นที่สุด ไม่ใช่คำสัญญา

ทำไมชนิดของการทดสอบจึงสำคัญ ปั๊มหกตัวที่ยังทำงานอยู่เมื่อเกิดความล้มเหลวครั้งที่สี่ให้เวลาทดสอบ 2,880 ชั่วโมงจาก 4,100 ชั่วโมง ถ้าตัดออก อายุเฉลี่ยจะเหลือ 305 ชั่วโมง (1,220 / 4) และเพราะการทดสอบหยุดที่ความล้มเหลว จึงไม่มีสิ่งใดหลุดไปหลังจากนั้น ขีดจำกัดทั้งสองจึงใช้องศาเสรี 2r ถ้าอ่านความล้มเหลวสี่ครั้งเดียวกันนี้เป็นการทดสอบที่หยุดที่ 500 ชั่วโมงคงที่ จะได้ TTT 4220 และขีดจำกัดบนที่ใช้องศาเสรี 2r + 2 (บทที่ 2.3) ให้ระบุชนิดการทดสอบที่คุณทำจริง

ข้อมูลบอกได้มากแค่ไหน อัตราบนประมาณแปดเท่าของอัตราล่าง ความกว้างของช่วงขึ้นกับจำนวนความล้มเหลว r ความล้มเหลวสี่ครั้งให้ช่วงที่กว้าง ถ้าช่วงกว้างเกินกว่าจะตัดสินใจได้ ให้วางแผนการทดสอบครั้งถัดไปให้หยุดที่ความล้มเหลวครั้งที่หลังกว่านี้ การคำนวณเพิ่มไม่ทำให้ช่วงแคบลง

ผลต่อการบำรุงรักษา ปั๊มหนึ่งในสิบล้มเหลวภายใน 107.995 ชั่วโมง (B10) ตาราง ช่วงบำรุงรักษา ให้ระยะทำงานนานที่สุดที่ยังคงความเชื่อถือได้เป้าหมายแต่ละระดับ คือ 108.0 ชั่วโมงสำหรับ 90% แถวเหล่านี้สมมติอัตราคงที่ ภายใต้อัตราคงที่ ปั๊มที่ใช้แล้วดีเท่ากับปั๊มใหม่ การเปลี่ยนปั๊มก่อนกำหนดจึงไม่ได้อะไรเลย รายงานบอกไว้ในการ์ดสุดท้าย ถ้าสงสัยการสึกหรอ ให้ทดสอบอัตราคงที่ (ข้อมูลอายุ ▸ การทดสอบความเหมาะสมของการฟิต…) หรือฟิตแบบจำลองไวบูลล์