

โปรแกรมรีโบ-๔ และผลการคำนวณ



๔.๑ โปรแกรมรีโบ-๔

โปรแกรมนี้ถูกเขียนขึ้นเป็นภาษาฟอร์แทรน ๒ โดย G. Buffoni และ S. Lopez ชาวอิตาลีเพื่อใช้ตรวจสอบและติดตามการทำงานของ Italian Power Reactors ต่อมาได้มีการปรับปรุงเป็นภาษาฟอร์แทรน ๔ ซึ่งใช้ได้กับเครื่องคอมพิวเตอร์แบบ UNIVAC 1108 และแบบ IBM 7094 เวลาในการคำนวณสำหรับเครื่อง UNIVAC 1108 ของขั้นตอนแรกเป็น ๑ วินาที ขั้นตอนต่อไป ๐.๒ วินาที เครื่อง IBM 7094 ใช้เวลาคำนวณมากกว่าเครื่อง UNIVAC 1108 ถึง ๔ เท่า

โปรแกรมรีโบ-๔ ถูกนำไปใช้คำนวณค่าสภาวะวิกฤตและเบอร์นัทซ์ของเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์แบบใช้น้ำธรรมดา ซึ่งทำได้รวดเร็วและให้ผลที่เชื่อถือได้ วิธีการทางคณิตศาสตร์ที่ถูกนำมาใช้มาก คือ correlation method เช่น การคำนวณค่าภาคตัดขวางเฉลี่ยของนิวตรอนช้าบน Wigner-wilkins spectrum จากสมการที่อยู่ในรูปของ polynomial correlation ซึ่งเป็นฟังก์ชันของ ๓ ตัวแปร (ศึกษารายละเอียดได้จาก โปรแกรม TEMPEST) Parameters ซึ่งถูกคำนวณโดย correlation method

๑. ค่าภาคตัดขวางจุลภาคเฉลี่ยของนิวตรอนช้า ๒ กลุ่ม
๒. ค่าภาคตัดขวางมหภาคแบบริมูแวลและแบบทรานสปอร์ตของนิวตรอนเร็ว ๓ กลุ่ม
๓. ค่าดิสแอดแวนเตจแฟคเตอร์สำหรับ square cluster lattice
๔. ค่าปริมาณและพื้นที่ผิวของเชื้อเพลิงในการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์แคนคอฟ
๕. ค่าเรโซแนนซ์อินทิกรัลของ Pu-240

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้แก้ไขโปรแกรมรีโบ-๔ ภาษาฟอร์แทรน ๔ ส่วนที่เป็นตัวโปรแกรม (source program) เพียงบางส่วน เพื่อให้ใช้ได้กับเครื่องคอมพิวเตอร์ IBM 370/138 ของสถาบันบริการคอมพิวเตอร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ตัวโปรแกรมที่แก้ไขแล้วอยู่ในเทปแม่เหล็ก

(magnetic tape) DN2 แหล่งข้อมูล (library) อยู่ในเทปแม่เหล็ก DN 3 และ input data อยู่ในบัตร (card)

๔.๒ ลักษณะของข้อมูลที่ต้องการใช้ในการคำนวณ (input specifications)

รายละเอียดเกี่ยวกับแบบฟอร์มของข้อมูลที่จะนำมาใช้ในการคำนวณ ได้แก่

บัตรใบที่ ๑ (ฟอร์แมท 22 A3, I 6, 7x, I1)

TITLE = ชื่อโปรแกรม

ICAC = รหัสแสดงการเปลี่ยนแปลงในแหล่งข้อมูลถ้ามีค่า

0 = ไม่มีการเปลี่ยนแปลงของข้อมูลในแหล่งข้อมูล

1 = มีการเปลี่ยนแปลงข้อมูลในแหล่งข้อมูล

IEND = รหัสแสดงการสิ้นสุดของโปรแกรม ถ้ามีค่า

1 = สิ้นสุดการคำนวณของโปรแกรม

บัตรใบที่ ๒ (ฟอร์แมท 6 E 11.5) ถูกนำมาใช้เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงข้อมูลในแหล่งข้อมูล

H(45) = ค่าคงที่ที่ใช้เป็นตัวคูณของ $\sigma_f^{th}(U^{235})$ สำหรับนิวตรอนช้า

H(46) = ค่าคงที่ที่ใช้เป็นตัวคูณของ $\sigma_a^{th}(U^{235})$ สำหรับนิวตรอนช้า

H(47) = ค่าคงที่ที่ใช้เป็นตัวคูณของ $\sigma_f^{th}(Pu^{239})$ สำหรับนิวตรอนช้า

H(48) = ค่าคงที่ที่ใช้เป็นตัวคูณของ $\sigma_a^{th}(Pu^{239})$ สำหรับนิวตรอนช้า

CAC 35 = ค่าคงที่ที่ใช้เป็นตัวคูณของ $v(U^{235})$ สำหรับทั้งนิวตรอนเร็วและนิวตรอนช้า

CAC 39 = ค่าคงที่ที่ใช้เป็นตัวคูณของ $v(Pu^{239})$ สำหรับทั้งนิวตรอนเร็วและนิวตรอนช้า

บัตรใบที่ ๓ (ฟอร์แมท 5(I 3, E 11.5)) ข้อมูลมากกว่า ๕ ข้อมูลใช้บัตรเพิ่มขึ้น

K = รหัสตัวเลข มีค่าตั้งแต่ 1 ถึง 80

H(K) = ข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณ

บัตรใบที่ ๔ (ฟอร์มท 20 I 3)

KD1 = รหัสแสดงแบบการจัดตัวของ เชื้อเพลิงในเครื่องปฏิกรณ์ ถ้ามีค่า

1 = square regular lattice

2 = square cluster lattice

3 = hexagonal regular lattice

KD2 = รหัสแสดงชนิดของ เชื้อเพลิง ถ้ามีค่า

1 = $(\text{PuO}_2) - \text{UO}_2$

2 = $\text{UO}_2 - \text{ThO}_2$

KD3 = รหัสแสดงวิธีที่ใช้ในการคำนวณดีสแอดแวนเตจแฟคเตอร์ในวัสดุตัวหน้า
ถ้ามีค่า

1 = diffusion theory

2 = shock by shock theory (first flight
collision)

KD4 = รหัสแสดงจุดสิ้นสุดของการคำนวณ ถ้ามีค่า

1 = (time = H(58))

2 = ($k_{\text{eff}} = \text{H}(58)$)

3 = ($k_m = \frac{1}{T} \int_0^T k_{\text{eff}} dt = \text{H}(58)$)

KD5 = รหัสแสดงการพิมพ์ผลการคำนวณ ถ้ามีค่า

0 = พิมพ์ initial และ final results

N = พิมพ์ผลของขั้นตอนที่ N, 2N, 3N,

KD 6 = รหัสแสดงการ self expanded ของข้อมูล ถ้ามีค่า

1 = ไม่มี self expanded ของข้อมูล

2 = มี self expanded ของข้อมูล

KD 7 = รหัสแสดงการส่งผลการคำนวณไปยังโปรแกรม Quick ถ้ามีค่า

0 = ส่ง initial และ final results

N = ส่งผลของขั้นตอน N, 2N, 3N

ใช้สำหรับ package code เท่านั้น

บัตรใบที่ ๕ (ฟอร์แมท I 3, 4(2 I 3, E 11.5)) ถูกนำมาใช้เมื่อมี self expanding calculations คือเมื่อ KD 6 = 2

NSE = จำนวนข้อมูลที่ self expanded ≤ 4

ISE(K) = รหัสตัวเลขของข้อมูลที่ self expanded

NPSE(K) = จำนวนครั้งของข้อมูลที่ self expanded

PSE(K) = ค่าของข้อมูลที่เปลี่ยนแปลงเนื่องจาก self expanded มีหน่วยเดียวกับหน่วยของ H(K)

บัตรใบที่ ๖ (ฟอร์แมท 2 I 3, 3E 11.5)

KEVI = รหัสแสดงปัญหาที่จะคำนวณ ถ้ามีค่า

1 = คำนวณเบอ์นฮัท

2 = คำนวณเบอ์นฮัทและค้นหาค่าของข้อมูล

เพื่อให้การคำนวณสิ้นสุดที่ time = VIKE

3 = คำนวณค่าสภาวะวิกฤต

4 = คำนวณค่าสภาวะวิกฤตและค้นหาค่าของข้อมูล

เพื่อให้การคำนวณสิ้นสุดที่ $k_{eff} = VIKE$

IVAR = รหัสตัวเลขของข้อมูลที่ถูกเปลี่ยนแปลง

GUEVAR = ค่าการเปลี่ยนแปลงของข้อมูลที่ถูกสมมติขึ้นครั้งแรก

PREVAR = ค่าความแน่นอนที่ต้องการ เพื่อให้การคำนวณสิ้นสุดที่ค่า VIKE

VIKE = เวลาของการคำนวณที่ทำให้การคำนวณสิ้นสุดลง (KEVI = 2)

= ค่าสภาวะวิกฤตที่ทำให้การคำนวณสิ้นสุดลง (KEVI = 4)

บัตรใบที่ ๗ (ฟอร์มแมท 11 I 3) สำหรับ spent fuel

IFV(K) = รหัสตัวเลขของข้อมูลสำหรับไอโซโทปของเชื้อเพลิงที่เหลือน้อยและถูก recycled

บัตรใบที่ ๘ (ฟอร์มแมท 4(I 3, E 10.5) สำหรับ fuel make-up ถ้า $k < 4$

ใช้บัตร ๑ ใบ

IFA(K) = รหัสตัวเลขสำหรับไอโซโทปที่ k ใน fuel make-up

PERCFA(K) = น้ำหนักเป็นเปอร์เซ็นต์ของไอโซโทปที่ k ใน fuel make-up

๔.๓ JECL ที่ใช้

JECL ที่ใช้กับเครื่องคอมพิวเตอร์ IBM 370/138 ในการส่งงาน เป็นไปตามระบบของสถาบันบริการคอมพิวเตอร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยใช้ account no. ABKBDN

ลักษณะการส่งโปรแกรมโดยใช้เทปแม่เหล็ก DN 2 กับตู้เทปแม่เหล็ก '281' และเทปแม่เหล็ก DN 3 กับตู้เทปแม่เหล็ก '282'

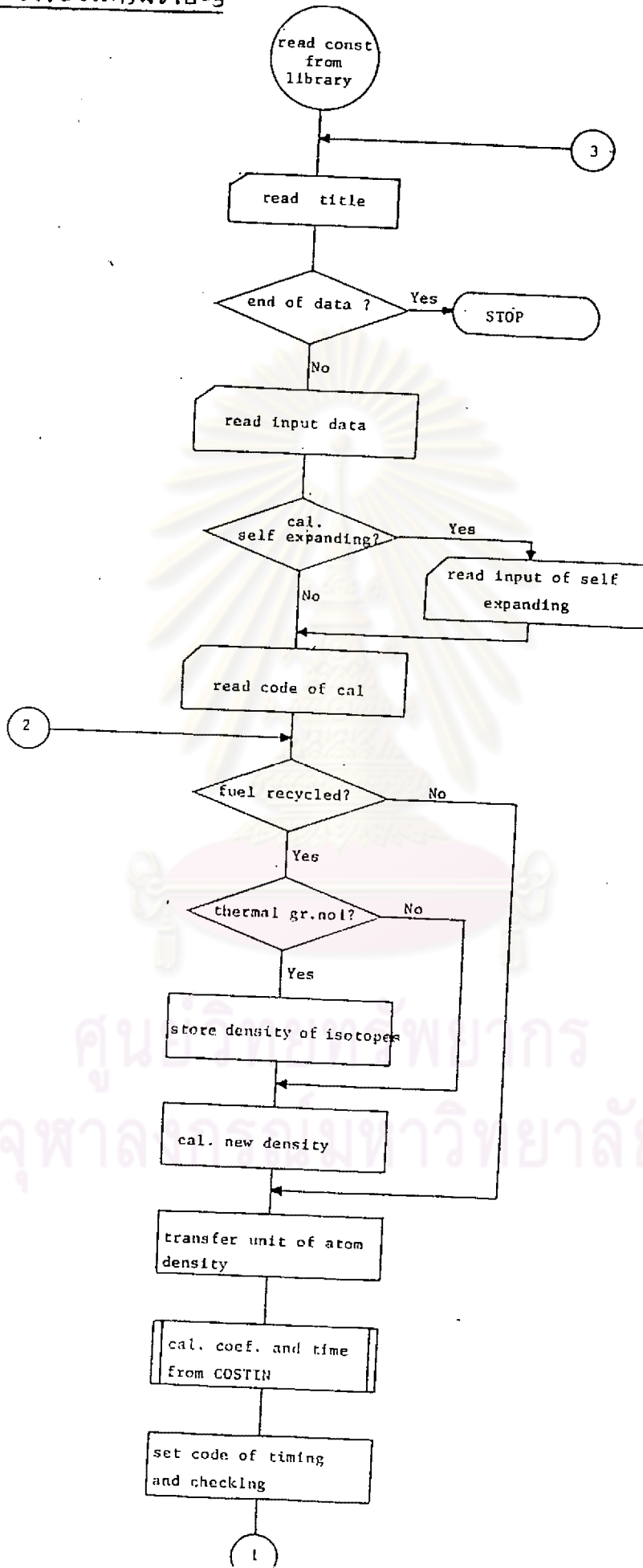
บัตรใบที่ เริ่มที่คอลัมน์ที่ ๑

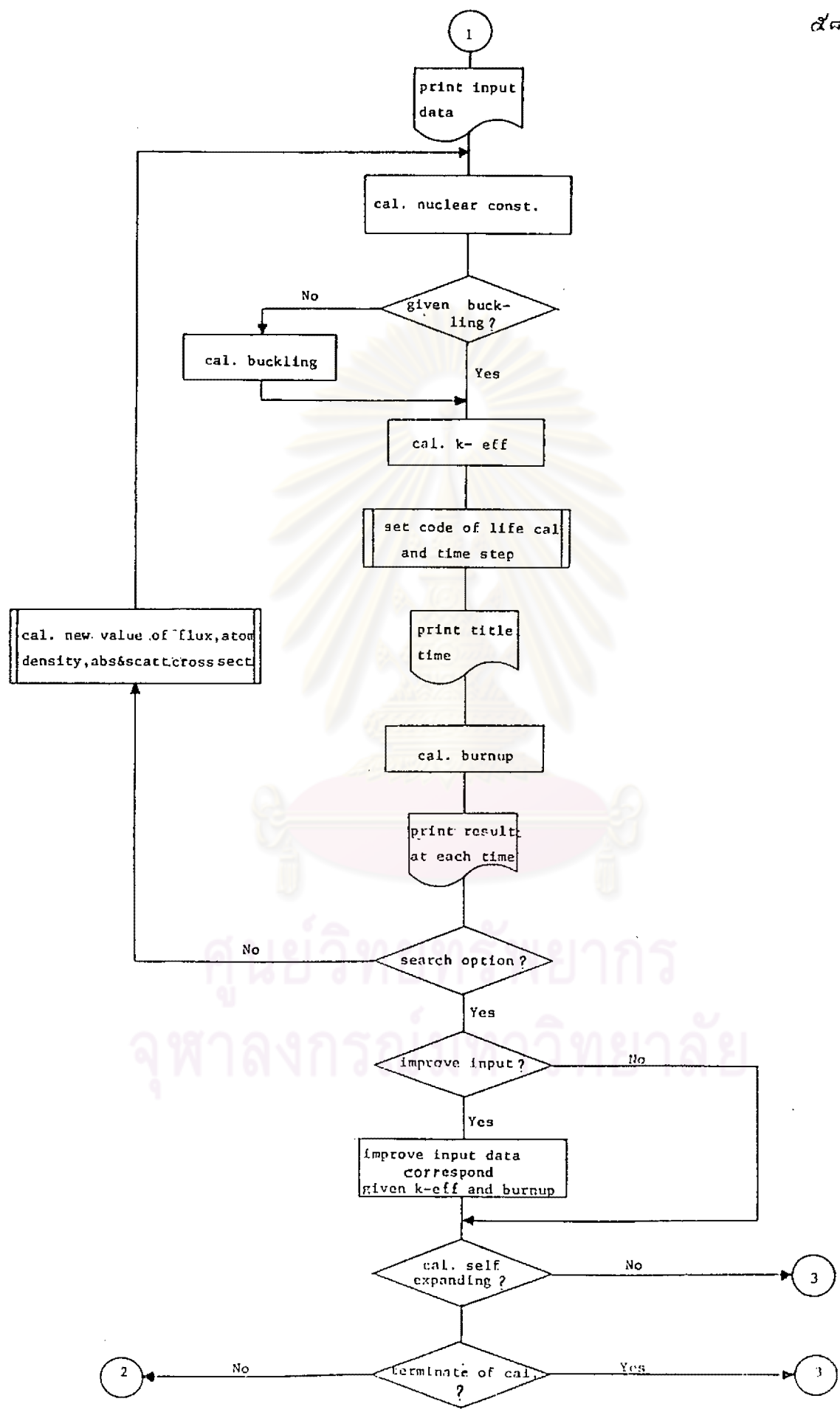
```

1  * $$ JOB JNM = ABKBDN59,CLASS = T
2  // JOB ABKBDN61
3  // PAUSE INPUT 'DN2 AT '281' AND 'DN3' AT '282'
4  // OPTION LINK
5  // ASSGN SYSIPT,X'282'
6  // EXEC FFORTRAN
7  /*
8  // EXEC LNKEDT
9  // ASSGN SYSOO6,X'282'
10 // ASSGN SYSIPT,X'006'
11 // EXEC
12
13 DATA
14
15
16
17
18
19
20
21 /*
22 /&
23 * $$ EOJ

```

ตู้เทป '281' สำหรับ ตัวโปรแกรม และตู้เทป '282' สำหรับแหล่งข้อมูล





๔.๔ ผลการคำนวณ

ข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณสำหรับกรณีที่ ๑, ๒ และ ๓ อยู่ในตารางที่ ๘

| ข้อมูล | PWR (กรณีที่ ๑) | BWR (กรณีที่ ๒) | BWR (กรณีที่ ๓) |
|---|--------------------|--------------------|--------------------|
| <u>Geometrical characteristics</u> | | | |
| สแควร์คลัสเตอร์แลตทิซ(square cluster lattice) | 15 x 15 | 7 x 7 | 7 x 7 |
| รัศมีของเม็ดเชื้อเพลิง (ซม.) | 0.4660 | 0.6355 | 0.6355 |
| ความหนาของวัสดุห่อหุ้มเชื้อเพลิง (ซม.) | 0.0617 | 0.0810 | 0.0810 |
| ความหนาของบ็อกซ์ (box: ซม.) | 0.0617 | 0.1000 | 0.1000 |
| จำนวนเม็ดเชื้อเพลิง | 157 | 764 | 764 |
| ความหนาของช่องว่าง (gap: ซม.) | 0.0170 | 0.0000 | 0.0000 |
| พิทช์ (pitch: ซม.) | 1.4300 | 1.8745 | 1.8745 |
| ความหนาของวัสดุผิวห่อหุ้มภายนอกบ็อกซ์(ซม.) | 0.0200 | 0.9590 | 0.9590 |
| ความสูงของแท่งเชื้อเพลิง | 365.7600 | 366.0000 | 366.0000 |
| <u>material characteristics</u> | | | |
| เชื้อเพลิง | UO ₂ | UO ₂ | UO ₂ |
| เอนริชเมนต์ (enrichment) ของ U-235(%) | 2.28 | 2.57 | 2.70 |
| เอนริชเมนต์ของ U-238(%) | 97.72 | 97.43 | 97.30 |
| ความหนาแน่นของ Zircoloy ที่ใช้เป็นวัสดุห่อหุ้มเชื้อเพลิง (กรัม/ซม. ^๓) | 6.55 | 6.50 | 6.50 |
| ความหนาแน่นของ Zircoloy ที่ใช้เป็นวัสดุทำบ็อกซ์ (กรัม/ซม. ^๓) | 6.55 | 6.50 | 6.50 |

| แบบของเครื่องปฏิกรณ์ ข้อมูล | PWR (กรณีที่ ๑) | BWR (กรณีที่ ๒) | BWR (กรณีที่ ๓) |
|--|--------------------|--------------------|--------------------|
| <u>thermal hydraulic characteristics</u> | | | |
| กำลังผลิตพลังงานของความร้อน | 2097 | 3293 | 3293 |
| ความหนาแน่นของวัสดุตัวระบายความร้อน (กรัม/ซม ^๓) | 0.711 | .480 | .480 |
| ความหนาแน่นของวัสดุตัวหน่วงภายนอกบ็อกซ์ (กรัม/ซม ^๓) | 0.711 | .770 | .770 |
| อุณหภูมิของเชื้อเพลิง (°ซ) | 1000 | 600 | 600 |
| อุณหภูมิเฉลี่ยของวัสดุตัวระบายความร้อน (°ซ) | 303 | 286 | 286 |

ตัวอย่างผลการคำนวณเครื่องปฏิกรณ์ LWR โดยใช้ข้อมูลจากตารางที่ ๘

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กรณีศึกษา 1. จำนวนเครื่องปฏิกรณ์ PWR

RIBOTS TEST CASE

VOLUMI NELLA BARRA DI COMBUSTIBILE IN CM³ (VOLUMES IN THE CELL IN CM.³)

| FUEL | GAP | CLAD | VOL. TOT. |
|----------|---------|---------|-----------|
| 249.5268 | 18.5377 | 72.8614 | 340.9258 |

VOLUMI NELL ELEMENTO DI COMBUSTIBILE IN CM³ (VOLUMES IN THE ASSEMBLY IN CM.³)

| FUEL | GAP | CLAD | REFRIGERANTE | BOX | VOL. TOT. |
|---------|--------|---------|--------------|--------|-----------|
| 56.1435 | 4.1710 | 16.3938 | 91.5785 | 1.9418 | 170.2286 |

VOLUMI NEL CORE IN CM³ (VOLUMES IN THE CORE IN CM.³)

| FUEL | GAP | CLAD | REFRIGERANTE | MOD. EST. | MOD. TOT. | BOX | VOL. CORE |
|---------|---------|---------|--------------|-----------|-----------|---------|-----------|
| 3.81453 | 0.65484 | 2.57383 | 14.37782 | 0.09920 | 14.47701 | 0.30487 | 26.82507 |

RAPPORTI VOLUMETRICI RELATIVI AD UNA CELLETTA (VOLUME RATIOS IN THE CELL)

| FUEL | GAP | CLAD | REFRIGERANTE |
|---------|---------|---------|--------------|
| 0.33362 | 0.02478 | 0.09742 | 0.54418 |

RAPPORTI VOLUMETRICI NEL CORE (VOLUME RATIOS IN THE CORE)

| FUEL | GAP | CLAD | REFRIGERANTE | MOD. EST. | BOX |
|---------|---------|---------|--------------|-----------|---------|
| 0.32959 | 0.02441 | 0.09595 | 0.53598 | 0.00370 | 0.01137 |

DENSITA ATOMICHE IN NUM. AT./CM²BARN (ATOM DENSITIES IN ATOM/CM²BARN)

| | AL | CR | FE | MN | NI | ZR |
|-----------|-------------|-------------|--------------|-------------|-------------|-------------|
| CLAD | 0.0 | 1.13911E-04 | -1.07911E-08 | 1.36434E-04 | 4.03650E-05 | 4.31249E-02 |
| BOX | 0.0 | 1.13911E-04 | -1.07911E-08 | 1.36434E-04 | 4.03650E-05 | 4.31249E-02 |
| | H | O | | | | |
| REFRIG. | 4.76370E-02 | 2.38185E-02 | | | | |
| MOD. EST. | 4.76370E-02 | 2.38185E-02 | | | | |

PESI (WEIGHTS)

| | |
|------------|--------------|
| CLAD | 16.8585663 T |
| MODERATORE | 10.2931557 T |
| BOX | 1.9968967 T |

RIBOT5 TEST CASE

TIME 0.0 DAYS

| DENSITA ATOMICHE IN NUM. AT./CM BARN E PESI IN KG DEGLI ELEMENTI NEL FUEL (ATOM DENSITY IN ATOM/CM BARN AND WEIGHTS IN KG. OF FUEL) | | | | | | | | | |
|---|------|------------|-------|-------|-------|-------|------------|--|--|
| U235 | U236 | U238 | PU239 | PU240 | PU241 | PU242 | C | | |
| 4.7448E-04 | 0.0 | 2.0082E-02 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 4.1114E-02 | | |
| 1.6318E 03 | 0.0 | 6.9939E 04 | 0.0 | C.0 | 0.0 | 0.0 | 9.6267E 03 | | |

SEZIONI MICROSCOPICHE VELOCI IN BARN (FAST MICRO. CROSS SECT. IN BARN)

| UNIV | U235A | U235F | U236A | U238A | PU239A | PU239F | PU240A | PU241A | PU241F | PU242A |
|---------|---------|---------|----------|---------|---------|---------|-----------|---------|----------|----------|
| 0.03031 | 4.16563 | 8.15897 | 10.54361 | 0.89130 | 6.91846 | 8.89531 | 258.13159 | 5.52451 | 17.45329 | 60.07069 |

SEZIONI MICROSCOPICHE DEI DUE GRUPPI TERMICI IN BARN (THERMAL MICRO. CROSS SECT. IN BARN)

| UNIT | U235A | U235F | PU239A | PU239F | PU240A | PU241F | H. TR | H. SC |
|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| 2.84772E-01 | 1.80009E 02 | 1.48410E 02 | 2.27025E 03 | 1.34563E 03 | 1.69486E 02 | 8.52839E 02 | 1.07854E 01 | 2.41291E 01 |
| UNIT | U235A | U235F | PU239A | PU239F | PU240A | PU241F | H. TR | H. SC |
| 6.35700E-01 | 4.01574E 02 | 3.40809E 02 | 8.63380E 02 | 5.83100E 02 | 1.95119E 02 | 7.59321E 02 | 2.55033E 01 | 3.69715E 01 |

COSTANTI A CINQUE GRUPPI (FIVE GROUP CONSTANTS)

| GRUPPO | D | SIGMA-A | SIGMA-P | SIGMA-F | NU-SIGMA-F | SIGMA-P | POIS BARRE | SIGMA-A TOT. |
|--------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|---------|------------|--------------|
| 1 | 2.12496E 00 | 1.99617E-03 | 4.61685E-02 | 1.48805E-03 | 3.95934E-03 | 0.0 | 0.0 | 1.99617E-03 |
| 2 | 1.04267E 00 | 0.0 | 1.19077E-01 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 3 | 9.16356E-01 | 2.95522E-02 | 6.01755E-02 | 4.61739E-03 | 1.13126E-02 | 0.0 | 0.0 | 2.95522E-02 |
| 4 | 6.49062E-01 | 3.50613E-02 | 3.14724E-01 | 2.23374E-02 | 5.47265E-02 | 0.0 | 0.0 | 3.50613E-02 |
| 5 | 3.49478E-01 | 7.84600E-02 | 4.17009E-02 | 4.94561E-02 | 1.21167E-01 | 0.0 | 0.0 | 7.84600E-02 |

COSTANTI A DUE GRUPPI (TWO GROUP CONSTANTS)

| GRUPPO | D | SIGMA-A | SIGMA-P | SIGMA-F | NU-SIGMA-F | SIGMA-P | POIS BARRE | SIGMA-A TOT. |
|--------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|---------|------------|--------------|
| 1 | 1.56732E 00 | 9.17339E-03 | 1.65782E-02 | 2.04127E-03 | 5.16321E-03 | 0.0 | 0.0 | 9.17339E-03 |
| 2 | 4.17119E-01 | 6.86613E-02 | 0.0 | 4.33332E-02 | 1.06166E-01 | 0.0 | 0.0 | 6.86613E-02 |

| K-EFF | K-INF | EPSILON | ETA*F | P | P-TOT | B**2 | TAU | L**2 | M**2 |
|---------|---------|---------|---------|---------|---------|------|-------|------|-------|
| 1.17410 | 1.19592 | 1.05451 | 1.54623 | 0.75427 | 0.64377 | 2.82 | 60.86 | 6.08 | 66.94 |

| MWD/TON | C-INIT. | C-INTEGR. | FATT.OMDG.1 | FATT.OMDG.2 | SEZ. 2200 PPF | ASS. SAT. GR4 | ASS. SAT. GR5 |
|---------|---------|-----------|-------------|-------------|---------------|---------------|---------------|
| 0.0 | 0.0 | 0.0 | 1.0359E 00 | 1.0744E 00 | 0.0 | 7.7406E-04 | 1.0588E-02 |

| DELTA-25 | DELTA-28 | RO-28 |
|------------|------------|------------|
| 8.7761E-02 | 3.1920E-02 | 1.8903E 00 |

FATTORI DI SVANTAGGIO PER I DUE GRUPPI TERMICI (DISADVANTAGE FACTORS FOR THERMAL GROUPS)

| CLAD | REFRIG. | BOX | MCD. EST | INT. BOX | F. PICCO |
|---------|---------|---------|----------|----------|----------|
| 1.04159 | 1.06526 | 0.81912 | 0.72127 | 1.03956 | 0.90961 |
| 1.07594 | 1.12909 | 0.92528 | 0.81663 | 1.07710 | 1.01067 |

RIBOT5 TEST CASE

TIME 20.0 DAYS

DENSITA ATOMICHE IN NUM.AT./CM BARN E PESI IN KG DEGLI ELEMENTI NEL FUEL

| U235 | U236 | U238 | PU239 | PU240 | PU241 | PU242 | C |
|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| 4.5925E-04 | 2.7218E-06 | 2.0073E-02 | 8.4054E-06 | 1.5253E-07 | 5.2647E-09 | 3.1413E-11 | 4.1114E-02 |
| 1.5794E 03 | 9.3895E 00 | 6.9908E 04 | 2.9342E 01 | 5.3513E-01 | 1.8547E-02 | 1.1112E-04 | 9.6267E 03 |

SEZIONI MICROSCOPICHE VELOCI IN BARN5

| UNIV | U235A | U235F | U236A | U238A | PU239A | PU239F | PU240A | PU241A | PU241F | PU242A |
|---------|---------|---------|----------|---------|---------|---------|-----------|---------|----------|----------|
| 0.03019 | 4.15436 | 8.13196 | 10.35406 | 0.88786 | 6.86545 | 8.83777 | 248.38156 | 5.50199 | 17.38214 | 59.82581 |

SEZIONI MICROSCOPICHE DEI DUE GRUPPI TERMICI IN BARN5

| UNIT | U235A | U235F | PU239A | PU239F | PU240A | PU241F | H.TR. | H.SC. |
|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| 2.84330E-01 | 1.79341E 02 | 1.47912E 02 | 2.25202E 03 | 1.33494E 03 | 1.69716E 02 | 8.46148E 02 | 1.07640E 01 | 2.41088E 01 |
| 6.35729E-01 | 4.01596E 02 | 3.40827E 02 | 8.63384E 02 | 5.83104E 02 | 1.95125E 02 | 7.59332E 02 | 2.55044E 01 | 3.69725E 01 |

COSTANTI A CINQUE GRUPPI

| GRUPPO | D | SIGMA-A | SIGMA-R | SIGMA-F | NU-SIGMA-F | SIGMA-P | PCIS BARRE | SIGMA-A_TCT. |
|--------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|---------|------------|--------------|
| 1 | 2.12496E 00 | 1.99529E-03 | 4.61685E-02 | 1.48740E-03 | 3.95760E-03 | 0.0 | 0.0 | 1.99529E-03 |
| 2 | 1.04267E 00 | 0.0 | 1.19077E-01 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 3 | 5.16356E-01 | 2.96704E-02 | 6.01755E-02 | 4.56167E-03 | 1.12160E-02 | 0.0 | 0.0 | 2.96704E-02 |
| 4 | 6.42907E-01 | 4.01034E-02 | 3.14745E-01 | 2.49874E-02 | 6.28069E-02 | 0.0 | 0.0 | 4.01034E-02 |
| 5 | 3.48898E-01 | 7.96936E-02 | 4.17249E-02 | 4.93134E-02 | 1.21489E-01 | 0.0 | 0.0 | 7.96936E-02 |

COSTANTI A DUE GRUPPI

| GRUPPO | D | SIGMA-A | SIGMA-R | SIGMA-F | NU-SIGMA-F | SIGMA-P | PCIS BARRE | SIGMA-A TOT. |
|--------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|---------|------------|--------------|
| 1 | 1.56865E 00 | 9.17438E-03 | 1.65106E-02 | 2.02209E-03 | 5.12747E-03 | 0.0 | 0.0 | 9.17438E-03 |
| 2 | 4.15514E-01 | 7.07232E-02 | 0.0 | 4.38017E-02 | 1.08193E-01 | 0.0 | 0.0 | 7.07232E-02 |

| K-EFF | K-INF | EPSILON | ETA*F | P | P-TOT | B**2 | TAU | L**2 | M**2 |
|---------|---------|---------|---------|---------|---------|------|-------|------|-------|
| 1.16142 | 1.18301 | 1.05449 | 1.52981 | 0.75437 | 0.64281 | 2.82 | 61.07 | 5.88 | 66.95 |

| MWD/TON | C-INIZ. | C-INTEGR. | FATT.CMOG.1 | FATT.CMOG.2 | SEZ.2200 PPF | ASS.SAT.GR4 | ASS.SAT.GR5 |
|------------|------------|------------|-------------|-------------|--------------|-------------|-------------|
| 5.8599E 02 | 5.6671E-01 | 4.6475E 01 | 1.0409E 00 | 1.0757E 00 | 6.0213E-04 | 1.2845E-03 | 1.4099E-02 |

| DELTA-25 | DELTA-28 | RO-28 |
|------------|------------|------------|
| 9.0483E-02 | 3.4183E-02 | 1.9475E 00 |

FATTORI DI SVANTAGGIO PER I DUE GRUPPI TERMICI

| CLAD | REERIG. | BOX | MCD. EST | INT. BOX | F. PICCO |
|---------|---------|---------|----------|----------|----------|
| 1.04603 | 1.07351 | 0.83050 | 0.73306 | 1.04448 | 0.91820 |
| 1.07703 | 1.13011 | 0.93003 | 0.82107 | 1.07831 | 1.01541 |

กรณีที่ 2. จำนวนเครื่องปฏิกรณ์ BWR

ROOTS TEST CASE

VOLUMI NELLA BARRA DI COMBUSTIBILE IN CM3

| FUEL | GAP | CLAD | VOL. TOT. |
|----------|---------|----------|-----------|
| 464.3674 | -0.0005 | 125.9194 | 590.2864 |

VOLUMI NELL ELEMENTO DI COMBUSTIBILE IN CM3

| FUEL | GAP | CLAD | REFRIGERANTE | BOX | VOL. TOT. |
|---------|---------|--------|--------------|--------|-----------|
| 22.7540 | -0.0000 | 6.1701 | 34.0915 | 1.9356 | 64.9511 |

VOLUMI NFL CORE IN M3

| FUEL | GAP | CLAD | REFRIGERANTE | MOD. EST. | MOD. TOT. | BOX | VOL. CORE |
|----------|----------|---------|--------------|-----------|-----------|---------|-----------|
| 17.38405 | -0.00002 | 4.71392 | 26.04588 | 15.31776 | 41.36366 | 1.47882 | 64.94040 |

RAPPORTI VOLUMETRICI RELATIVI AD UNA CELLETTA

| FUEL | GAP | CLAD | REFRIGERANTE |
|---------|----------|---------|--------------|
| 0.36109 | -0.00000 | 0.09791 | 0.54100 |

RAPPORTI VOLUMETRICI NEL CORE

| FUEL | GAP | CLAD | REFRIGERANTE | MOD. EST. | BOX |
|---------|----------|---------|--------------|-----------|---------|
| 0.26769 | -0.00000 | 0.07259 | 0.40107 | 0.23587 | 0.02277 |

DENSITA ATOMICHE IN NUM. AT./CMBARN

| | AL | CF | FE | MN | NI | ZF |
|------|-----|-----|-----|-----|-----|-------------|
| CLAD | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 4.29676E-02 |
| BOX | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 4.29676E-02 |

| | H | O |
|-----------|-------------|-------------|
| REFFIG. | 3.21600E-02 | 1.60800E-02 |
| MOD. EST. | 5.15900E-02 | 2.57950E-02 |

PESI

| | |
|------------|--------------|
| CLAD | 30.6404572 T |
| MODERATOPF | 24.2967072 T |
| BOX | 9.6123104 T |

PIBCT5 TEST CASE

TIME 60.0 DAYS

DENSITA' ATOMICHE IN NUM. AT. / CM³ E PESI IN KG DEGLI ELEMENTI NEL FUEL

| U235 | U236 | U238 | PU239 | PU240 | PU241 | PU242 | C |
|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| 5.3573E-04 | 6.4205E-06 | 2.1385E-02 | 1.4711E-05 | 5.0782E-07 | 3.5768E-09 | 4.2322E-10 | 4.3945E-02 |
| 3.6337E-03 | 4.3683E-01 | 1.4608E-05 | 1.0128E-02 | 3.5136E-00 | 2.4851E-01 | 2.9527E-03 | 2.0293E-04 |

SEZIONI MICROSCOPICHE VELOCI IN BARRS

| UNIT | U235A | U235F | U236A | U238A | PU239A | PU239F | PU240A | PU241A | PU241F | PU242A |
|---------|---------|---------|----------|---------|---------|---------|-----------|---------|----------|----------|
| 0.03145 | 4.33254 | 8.47679 | 10.64731 | 0.73477 | 7.14070 | 9.19696 | 248.40932 | 5.73187 | 18.10838 | 62.32527 |

SEZIONI MICROSCOPICHE DEI DUE GRUPPI TERMICI IN BARRS

| UNIT | U235A | U235F | PU239A | PU239F | PU240A | PU241F | H TP | H SC |
|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| 2.77201E-01 | 1.70357E-02 | 1.41579E-02 | 2.08985E-03 | 1.29978E-03 | 1.72530E-02 | 7.55697E-02 | 1.04231E-01 | 2.37867E-01 |
| UNIT | U235A | U235F | PU239A | PU239F | PU240A | PU241F | H TF | H SC |
| 6.26379E-01 | 3.94691E-02 | 3.34814E-02 | 8.63947E-02 | 5.81716E-02 | 1.93227E-02 | 7.56801E-02 | 2.51261E-01 | 3.66566E-01 |

COSTANTI A CINQUE GRUPPI

| GRUPPO | C | SIGMA-A | SIGMA-R | SIGMA-F | NU-SIGMA-F | SIGMA-P | PCIS BARRE | SIGMA-A TOT. |
|--------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|---------|------------|--------------|
| 1 | 2.32157E-00 | 1.73167E-03 | 4.39645E-02 | 1.29088E-03 | 3.43472E-03 | 0.0 | 0.0 | 1.73167E-03 |
| 2 | 1.13409E-00 | 0.0 | 1.15911E-01 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | C-C |
| 3 | 9.81389E-01 | 2.29212E-02 | 5.85290E-02 | 4.38027E-03 | 1.07888E-02 | 0.0 | 0.0 | 2.29212E-02 |
| 4 | 6.84053E-01 | 3.58617E-02 | 3.44349E-01 | 2.19481E-02 | 5.56924E-02 | 0.0 | 0.0 | 3.58617E-02 |
| 5 | 3.46777E-01 | 6.28639E-02 | 4.22186E-02 | 3.78955E-02 | 9.36202E-02 | 0.0 | 0.0 | 6.28639E-02 |

COSTANTI A DUE GRUPPI

| GRUPPO | D | SIGMA-A | SIGMA-F | SIGMA-F | NU-SIGMA-F | SIGMA-P | PCIS BARRE | SIGMA-A TOT. |
|--------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|---------|------------|--------------|
| 1 | 1.69952E-00 | 7.43998E-03 | 1.67299E-02 | 1.91417E-03 | 4.84560E-03 | 0.0 | 0.0 | 7.43998E-03 |
| 2 | 4.11808E-01 | 5.76576E-02 | 0.0 | 3.48207E-02 | 8.63053E-02 | 0.0 | 0.0 | 5.76576E-02 |

| K-EFF | K-INF | EPSILON | ETA*F | P | P-TOT | R**2 | TAU | L**2 | M**2 |
|---------|---------|---------|---------|---------|---------|------|-------|------|-------|
| 1.2218P | 1.23657 | 1.04943 | 1.49686 | 0.81554 | 0.69218 | 1.57 | 70.32 | 7.14 | 77.46 |

| MWD/TOM | C-INI2 | C-INTEGR. | FATT.OMOG.1 | FATT.OMOG.2 | SEZ.2200 PPF | ASS.SAT.GF4 | ASS.SAT.GR5 |
|------------|------------|------------|-------------|-------------|--------------|-------------|-------------|
| 1.3096F-03 | 4.3703F-01 | 3.0440E-01 | 1.1479E-00 | 1.3277E-00 | 1.4300E-03 | 1.3785E-03 | 1.5748E-02 |

| DELTA-25 | DELTA-2P | RO-28 |
|------------|------------|------------|
| 7.8215E-02 | 1.7809E-02 | 1.3308E-00 |

FATTORI DI SVANTAGGIO PER I DUE GRUPPI TERMICI

| CLAD | REFRIG. | BOX | MOD. EST | INT. BOX | F. PICCO |
|---------|---------|---------|----------|----------|----------|
| 1.06158 | 1.10906 | 1.30835 | 1.39272 | 1.06503 | 1.28399 |
| 1.10847 | 1.19481 | 1.67145 | 1.95988 | 1.11601 | 1.53195 |

กรณีที่ 3. จำนวนเครื่องปฏิกรณ์ BWR

RIROTS TEST CASE

VOLUMI NELLA BARRA DI COMBUSTIBILE IN CM³

| FUEL | GAP | CLAD | VOL. TOT. |
|----------|---------|----------|-----------|
| 464.3674 | -0.0005 | 125.9194 | 590.2864 |

VOLUMI NELL ELEMENTO DI COMBUSTIBILE IN CM³

| FUEL | GAP | CLAD | REFFRIGERANTE | BOX | VOL. TOT. |
|---------|---------|--------|---------------|--------|-----------|
| 22.7540 | -0.0000 | 6.1701 | 34.0915 | 1.9356 | 64.9511 |

VOLUMI NEL CORE IN M³

| FUEL | GAP | CLAD | REFFRIGERANTE | MOD. EST. | MOD. TOT. | BOX | VOL. CORE |
|----------|----------|---------|---------------|-----------|-----------|---------|-----------|
| 17.38405 | -0.00002 | 4.71392 | 26.04588 | 15.21778 | 41.36366 | 1.47882 | 64.94040 |

RAPPORTI VOLUMETRICI RELATIVI AD UNA CELLFITA

| FUEL | GAP | CLAD | REFFRIGERANTE |
|---------|----------|---------|---------------|
| 0.36100 | -0.00000 | 0.09791 | 0.54100 |

RAPPORTI VOLUMETRICI NEL CORE

| FUEL | GAP | CLAD | REFFRIGERANTE | MOD. EST. | BOX |
|---------|----------|---------|---------------|-----------|---------|
| 0.26769 | -0.00000 | 0.07259 | 0.40107 | 0.23587 | 0.02277 |

DENSITA ATOMICHE IN NUM. AT./CM³

| | AL | CF | FE | MN | NI | ZP |
|------|-----|-----|-----|-----|-----|-------------|
| CLAD | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 4.29676E-02 |
| BOX | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 4.29676E-02 |

| | H | C |
|-----------|-------------|-------------|
| REFRIG. | 3.21600E-02 | 1.60800E-02 |
| MOD. EST. | 5.15900E-02 | 2.57950E-02 |

PESI

| | |
|------------|--------------|
| CLAD | 30.6404572 T |
| MODERATORE | 24.2967072 T |
| BOX | 5.6123104 T |

PILOTS TEST CASE

TIME 60.0 DAYS

DENSITA' ATOMICHE IN NUM. AT./CMBARN'E PESI IN KG DEGLI ELEMENTI NEL FUEL

| U235 | U236 | U238 | PU239 | PU240 | PU241 | PU242 | C |
|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| 5.6455E-04 | 6.4680E-06 | 2.1357E-02 | 1.4370E-05 | 4.7503E-07 | 3.2860E-08 | 3.7043E-10 | 4.3946E-02 |
| 3.8292E 03 | 4.4006E 01 | 1.4669E 05 | 9.8935E 01 | 3.2868E 00 | 2.2830E-01 | 2.5844E-03 | 2.0294E 04 |

SEZIONI MICROSCOPICHE VELOCI IN BARNI

| UNIT | U235A | U235F | U236A | U238A | PU239A | PU239F | PU240A | PU241A | PU241F | PU242A |
|---------|---------|---------|----------|---------|---------|---------|-----------|---------|----------|----------|
| 0.03137 | 4.31139 | 4.44351 | 10.61649 | 0.73320 | 7.12223 | 9.17282 | 248.38789 | 5.71637 | 18.05940 | 62.15672 |

SEZIONI MICROSCOPICHE DEI DUE GRUPPI TERMICI IN BARNI

| UNIT | U235A | U235F | PU239A | PU239F | PU240A | PU241F | H TR | H SC |
|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| 2.76886E-01 | 1.70499E 02 | 1.41312E 02 | 2.08349E 03 | 1.23605E 03 | 1.72649E 02 | 7.51854E 02 | 1.04081E 01 | 2.37725E 01 |
| UNIT | U235A | U235F | PU239A | PU239F | PU240A | PU241F | H TR | H SC |
| 6.25239E-01 | 3.93845E 02 | 3.34079E 02 | 8.63927E 02 | 5.81497E 02 | 1.92993E 02 | 7.56434E 02 | 2.50800E 01 | 3.66182E 01 |

COSTANTI A CINQUE GRUPPI

| GRUPPO | C | SIGMA-A | SIGMA-R | SIGMA-F | NU-SIGMA-F | SIGMA-P | PCIS BARRE | SIGMA-A TOT. |
|--------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|---------|------------|--------------|
| 1 | 2.32155E 00 | 1.72939E-03 | 4.39646E-02 | 1.28919E-03 | 3.43020E-03 | 0.0 | 0.0 | 1.72939E-03 |
| 2 | 1.13408E 00 | 0.0 | 1.15911E-01 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 3 | 9.81385E-01 | 2.32311E-02 | 5.85290E-02 | 4.60062E-03 | 1.13273E-02 | 0.0 | 0.0 | 2.32311E-02 |
| 4 | 6.83154E-01 | 3.66831E-02 | 3.44558E-01 | 2.26913E-02 | 5.74480E-02 | 0.0 | 0.0 | 3.66831E-02 |
| 5 | 3.45755E-01 | 6.46049E-02 | 4.24315E-02 | 3.93740E-02 | 9.72176E-02 | 0.0 | 0.0 | 6.46049E-02 |

COSTANTI A DUE GRUPPI

| GRUPPO | C | SIGMA-A | SIGMA-R | SIGMA-F | NU-SIGMA-F | SIGMA-P | PCIS BARRE | SIGMA-A TOT. |
|--------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|---------|------------|--------------|
| 1 | 1.70029E 00 | 7.51039E-03 | 1.66846E-02 | 1.97345E-03 | 4.99036E-03 | 0.0 | 0.0 | 7.51039E-03 |
| 2 | 4.11599E-01 | 5.91559E-02 | 0.0 | 3.61184E-02 | 8.94564E-02 | 0.0 | 0.0 | 5.91559E-02 |

| K-FFF | K-INF | EPSILON | ETA*F | P | P-TOT | R**2 | TAU | L**2 | M**2 |
|---------|---------|---------|---------|---------|---------|------|-------|------|-------|
| 1.23426 | 1.24906 | 1.04936 | 1.51221 | 0.81568 | 0.68959 | 1.58 | 70.27 | 6.96 | 77.23 |

| MWD/TON | C-INIZ. | C-INTEGR. | FATT.OMOG.1 | FATT.OMOG.2 | SEZ.2200 PPF | ASS.SA1.GR4 | ASS.SA1.GR5 |
|------------|------------|------------|-------------|-------------|--------------|-------------|-------------|
| 1.3098E 03 | 4.2467E-01 | 2.9007E-01 | 1.1510E 00 | 1.3392E 00 | 1.4288E-03 | 1.4332E-03 | 1.6405E-02 |

| DELTA-2F | DELTA-2R | RG-2R |
|------------|------------|------------|
| 8.0144E-02 | 1.7401E-02 | 1.3653E 00 |

FATTORI DI SVANTAGGIO PPF I DUE GRUPPI TERMICI

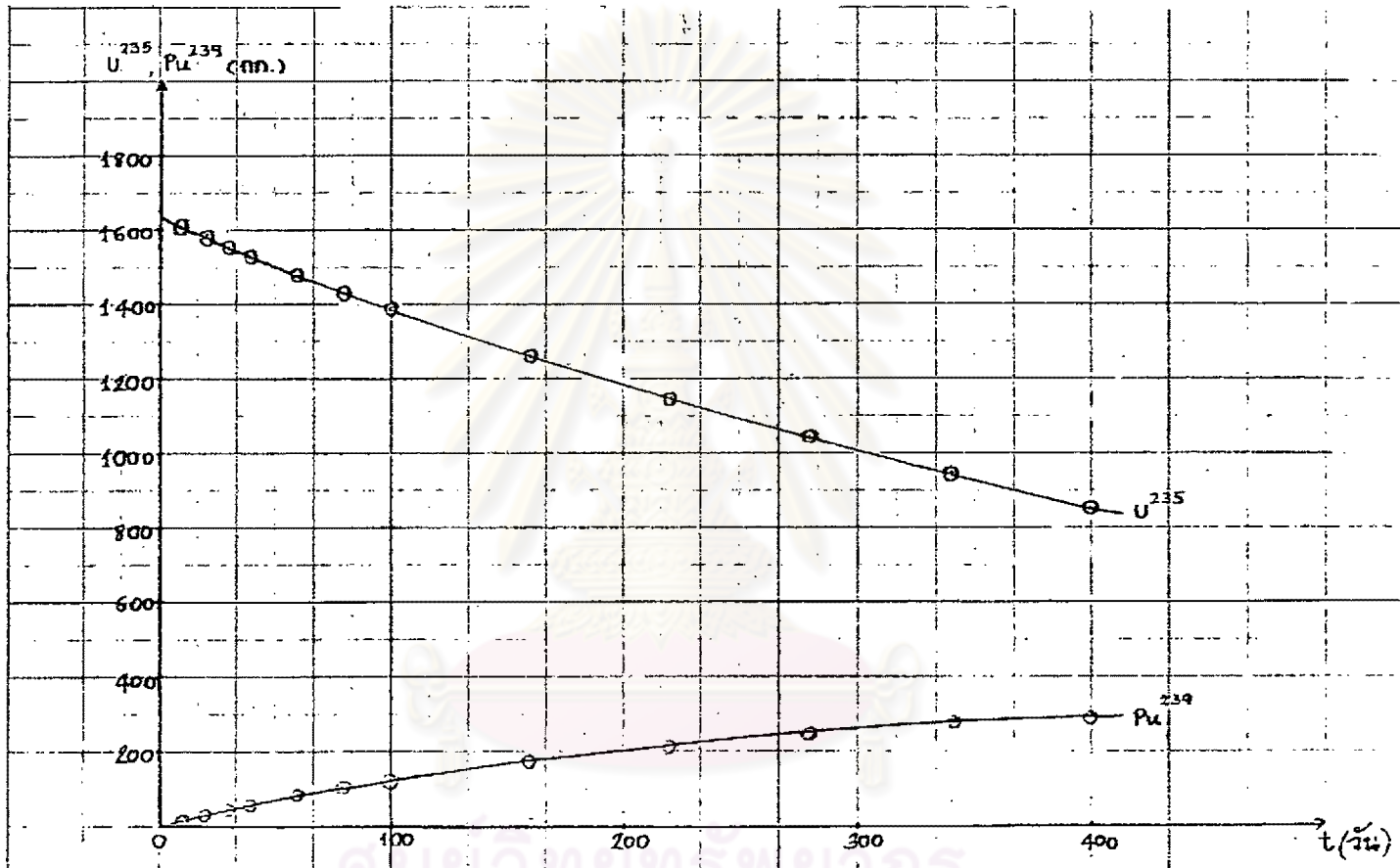
| CLAD | PEPFIG. | BCX | MOD-EST | INT-BCX | F-PICCO |
|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 1.06296 | 1.11177 | 1.21361 | 1.40038 | 1.06663 | 1.29665 |
| 1.11233 | 1.20214 | 1.69323 | 1.99305 | 1.12036 | 1.54440 |

PC

เขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเชื้อเพลิงของไอโซโทปต่างๆกับเวลา และระหว่างค่าเบรน์นอฟ (MWD/TON) กับเวลา จากผลการคำนวณของกรณีที่ 1 ซึ่งแสดงไว้ในตารางที่ ๕ โค้งรูปที่ ๑๐ และ ๑๑

ตารางที่ ๕ ปริมาณเชื้อเพลิงไอโซโทปต่างๆ และค่าเบรน์นอฟ ที่เวลา t ใดๆ ในเครื่องปฏิกรณ์แบบ PWR ซึ่งมีกำลังผลิตพลังงานความร้อน 2097 Mw:

| t (วินาที) | U^{235} (กก.) | Pu^{239} (กก.) | Pu^{240} (กก.) | Pu^{241} (กก.) | MWD/TON |
|------------|-----------------|------------------|------------------|------------------|----------|
| 0 | 1631.80 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0 |
| 10 | 1605.30 | 15.02 | 0.14 | 0.00 | 293.00 |
| 20 | 1579.40 | 29.34 | 0.53 | 0.02 | 586.00 |
| 30 | 1554.00 | 43.08 | 1.16 | 0.06 | 879.00 |
| 40 | 1529.20 | 56.22 | 2.00 | 0.14 | 1172.00 |
| 60 | 1480.80 | 80.79 | 4.18 | 0.42 | 1758.00 |
| 80 | 1434.20 | 103.27 | 6.94 | 0.91 | 2344.00 |
| 100 | 1389.20 | 123.88 | 10.16 | 1.62 | 2930.00 |
| 160 | 1262.60 | 175.41 | 21.70 | 5.27 | 4687.90 |
| 220 | 1147.30 | 215.82 | 34.76 | 10.80 | 6445.90 |
| 280 | 1041.70 | 247.69 | 48.49 | 17.71 | 8203.90 |
| 340 | 944.62 | 272.82 | 62.42 | 25.48 | 9961.90 |
| 400 | 855.34 | 292.57 | 76.33 | 33.62 | 11720.00 |



รูปที่ ๑๐ ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเชื้อเพลิงของไอโซโทป ^{235}U และ ^{239}Pu กับเวลา

