

עקרונות בטיחות וקריטריונים לתיכנון של תחנות כוח גרעיניות

מ' גזית

טכת תשמ"ב - ינואר 1982

English title and abstract included



LEGAL NOTICE

This publication is issued by the Nuclear Research Centre - Negev, Israel Atomic Energy Commission. Neither the Nuclear Research Centre - Negev, nor its contractors, nor any person acting on their behalf or on behalf of the Israel Atomic Energy Commission

make any warranty or representation, express or implied, with respect to the accuracy, completeness, or usefulness of the information contained in this publication, or that the use of any information, apparatus, method or process disclosed in this publication will not infringe upon privately owned rights, or

assume any liability with respect to the use of, or for damages resulting from the use of any information, apparatus, method or process disclosed in this publication.

Mention of commercial products, their manufacturers, or their suppliers in this publication does not imply or connote approval or disapproval of the products by the Nuclear Research Centre - Negev or by the Israel Atomic Energy Commission.

הודעה משפטית

מסמך זה מתאריך מאור על ידי הקריה למחקר גרעיני - נגב, התעדה לאנרגיה אטומית של ישראל.

הקריה למחקר גרעיני - נגב והפעלים מסמכה או בשמה, או מטעם התעדה לאנרגיה אטומית של ישראל או בשמה

אינם אחראים או ערבים, אחריות או שירות כלשהי, במפורש או שלא במפורש, לדיוק, לשלמות ולשייטת של המידע הכלול במסמך זה או לכן שהשימוש בכל מידע, מכשיר, שיטה או תהליך הודון במסמך זה לא יפגע בזכויות פרטיות של אחרים.

הינם מקבלים על עצמם כל התחייבות בין ה' שימוש או סקי השימוש בכל מידע, מכשיר, שיטה או תהליך הודון במסמך זה.

הזיון של מוצרים מסחריים, של יצרנים או של ספקים במסמך זה אין משמעו אישור המוצרים על ידי הקריה למחקר גרעיני - נגב או על ידי התעדה לאנרגיה אטומית של ישראל.

This publication and more information about its subject matter may be obtained at the following address:

Scientific and Technical Information Department
Nuclear Research Centre - Negev
P. O. Box 9007
84 180 Beer-Sheva, ISRAEL

ניתן להשיג את המסמך הזה וכן מידע נוסף בנושא המסמך על ידי פניה למסמכת:

יחידת המידע
הקריה למחקר גרעיני - נגב (קמ"מ)
9007 מ"ד
באר שבע 84 180

עקרונות בטיחות וקריטריונים לתיכנון של תחנות כוח גרעיניות

מ' גזית

טבח חשמ"ב - ינואר 1982

תקציר

מוצגים עקרונות הבטיחות והקריטריונים לתיכנון של תחנות כוח גרעיניות מנקודת מבט של מהנדס כורים. התיכנון, הכניה וההפעלה של תחנות כוח גרעיניות יבוצעו לפי עקרונות וקריטריונים אלה על-מנת שיובטח, במידה מתקבלת על הדעת, שהאפשרות לשיחרור רדיואקטיביות כתוצאה מתקלה כלשהי תצומצם ככל האפשר.

SAFETY PRINCIPLES AND DESIGN CRITERIA FOR NUCLEAR POWER STATIONS

Menashe GAZIT

January 1982

ABSTRACT

The criteria and safety principles for the design of nuclear power stations are presented from the viewpoint of a nuclear engineer. The design, construction and operation of nuclear power stations should be carried out according to these criteria and safety principles to ensure, to a reasonable degree, that the likelihood of release of radioactivity as a result of component failure or human error should be minimized.

<u>עמוד</u>	<u>תוכן העניינים</u>
1	1 הקרמה
1	1.1 רקע
3	1.2 הגדרות
4	1.3 שיקולי תיכנון בסיסיים
4	2 הקריטריונים לשיחרור רדיואקטיביות
6	3 ררכים למניעת תקלות, הגבלת תוצאותיהן והחגכרות עליהן
8	4 הגדרת מצבי ההפעלה של תג"ר
8	4.1 הפעלה רגילה
9	4.2 תקלה מזערית
10	4.3 תקלה בינונית
10	4.4 תקלה חמורה
11	4.5 תקלה מלחמתית
12	5 סיווג בטיחותי לציוד
12	5.1 כללי
13	5.2 ציור מכני והידראולי
13	5.3 ציור חשמלי וציוד בקרה
14	5.4 העמידות של ציור ברעירות אדמה
14	6 חקנים ואבטחח איכות
15	הבעת תודה
16	נספח 1 דוגמה לתקנים המשמשים לתיכנון תחנת כוח גרעינית
17	סימוכין

1 הקדמה1.1 רקע

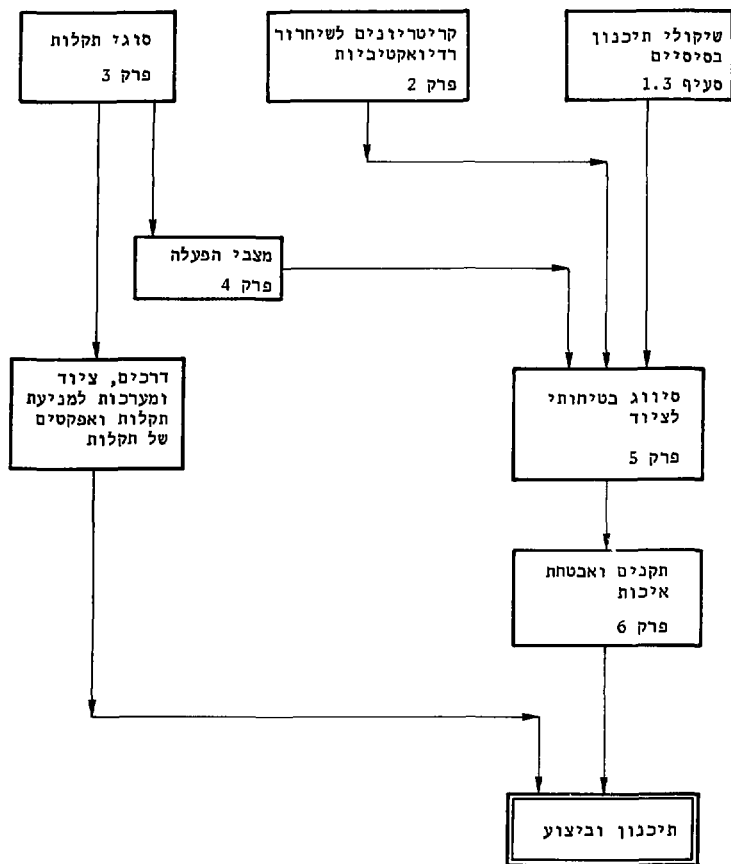
תיכנון ובניה של תחנות כוח גרעיניות מבוצעים, בדרך כלל, במסגרת נוקשה של כללים מקובלים. כללים אלה מוטלים על המכצע במגמה להשיג בטיחות מרבית בשלב ההפעלה של הכור ותחנות הכוח.

עקרונות התיכנון, הבניה וההפעלה של תחנת כוח גרעינית צריכים להבטיח, במירה מתקבלת על הדעת, שהאפשרות של שיחרור רדיואקטיביות כלשהי כתוצאה מתקלה בצידוד, אירוע חיצוני או שגיאת אנוש, תהיה מועטה ככל האפשר.

בעבודה זו נעשה ניסיון לרכז את עיקרי הכללים (criteria) המקובלים, במטרה לתת בידוי העוסקים בנושא, בשלבים מוקדמים אלה של פרויקט התג"ר, כלי ראשוני מתאים לעבודה, ובעיקר חומר למחשבה.

העקרונות המוצגים כאן מבוססים על שילוב של עקרונות תיכנון אמריקאיים^(1,2), קנדיים⁽³⁾ ואחרים, אך אינם מהווים העתק מושלם של אף אחת מהמערכות הללו, והם מבוססים בעיקר על הרעיון המקובל של "הגנה לעומק". כאשר יוחלל במימוש תג"ר יהיה צורך לגבש מערכת עקרונות מפורטת יותר. מערכת זו אשר תיכתב, ככל הנראה, על-ידי אגף הרישוי בוא"א - תביא בחשבון את סוג הכור שייבחר ומקור רכישתו. בשלב זה אין צורך להיצמד למערכת מפותחת קיימת ולא לפרט יותר מדי בנושאים ספציפיים, כגון אבטחת האיכות, וכדומה. מיוחד במינו הוא הנושא של תקלה מלחמתית, הקשור בעבודות אחרות הנעשות כיום בארץ תחת הכותרת: "מיגון". נושא זה הובא כאן לצורך השלמת התמונה אך הוא ראוי לטיפול מעמיק, נפרד. במיוחד יש להקדיש יותר מחשבה להגדרת תקלה מלחמתית ולחישוב הסיכונים הכרוכים בה.

בצידוד 1 ניתן לראות את אופן היישום של עקרונות הכטיחות במהלך התיכנון והביצוע.



קריטריונים אחידים של שיחזור רדיואקטיביות לאטמוספירה נקבעו לפי כללים בין-לאומיים, בכדי להגן על הציבור. קריטריונים אלה מפורטים בפרק נפרד.

שיקולי התיכנון הבסיסיים נקבעו בהתאם לאופי המיתקן, כדי להבטיח אי חריגה מהקריטריונים הללו. שיקולים אלה מפורטים בסעיף 1.3.

סוגי התקלות השונים (נדונים בפרק מיוחד), אופיין ועוצמתן, קובעים את "מצבי ההפעלה" האפשריים של תחנת כוח. לפי שלושת הגורמים הנ"ל מבוצע סיווג של הציוד לרמות בטיחות מתאימות (בהמשך). כמהלך התיכנון והביצוע מיושמים התקנים וכללי אבטחת האיכות המתאימים, על-מנת לקבל את הציוד החיוני לבטיחות המיתקן ברמת האיכות הרצויה.

סוגי התקלות השונים האפשריים מכתיבים פתרונות שונים של בחירת ציוד וסידורו, האמורים למנוע תקלות או להקטין את האפקטים שלהן.

1.2 הגדרות

תקלה בודדת

תקלה בודדת (Single Failure, SF) פירושה אירוע הגורם לאובדן היכולת של רכיב לבצע אח פעולותיו הבטיחותיות.

תקלה משותפת

תקלה משותפת (Common Mode Failure, CMF) פירושה אירוע הגורם לאובדן היכולת של מספר רכיבים בעת ובעונה אחת לבצע את פעולותיהם הבטיחותיות, כתוצאה מסיבה או אירוע יחיד.

תקלת שרשרת

תקלת שרשרת (Cross-Link Failure, CLF) פירושה אירוע הגורם לאובדן היכולת של רכיב אחד או יותר לבצע את פעולותיהם הבטיחותיות כתוצאה מתלות הדדית ביניהם, או כתוצאה של השפעה משנית מתקלה בודדת או משותפת.

1.3 שיקולי תיכנון בסיסיים

על-מנת להשיג את מירב הבטיחות מהמערכות של תחנת כוח גרעינית, חייבות אלה לאפשר בכל זמן את ביצוע הפעולות הבאות:

- (א) עצירת הכור ושמירתו במצב עצור לפרק זמן כלתי מוגבל. הכור חייב להישאר עצור גם לאחר הורדת הלחץ, קירור המים ורעיכת מוצרי הביקוע בולעי הניוטרונים.
 - (ב) פינוי החום השיורי מהכור. יש להבטיח את קיומו של מאגר חום מתאים ותמידי.
 - (ג) שמירת מחסום בפני שיחרור רדיואקטיביות לסביבה, כגבולות המותרים.
- פעולות אלה תבוצענה על-ידי שילוב של פעולות אוטומטיות וירניות, בהתאם לנסיבות. מכיון שהכור ממשך לייצר אנרגיה בכמות רבה גם אחרי עצירתו - יש להביא בחשבון, בזמן התיכנון, תקלות העלולות לקרות גם במהלך ההתאוששות שאחרי תקלה שהביאה לעצירתו.

2 הקריטריונים לשיחרור רדיואקטיביות

- להלן מוגדרות ארבע קטגוריות של שיחרור רדיואקטיביות לסביבה (ראה טבלה 1):
- (א) שיחרור דגיל (קטגוריה 1);
 - (ב) שיחרור מרבי המותר במיקרה של תקלה בינונית (קטגוריה 2);
 - (ג) שיחרור מרבי המותר במיקרה של תקלה חמורה (קטגוריה 3);
 - (ד) שיחרור מרבי המותר במיקרה של תקלה מלחמתית (קטגוריה 4).
- הערכים המופיעים בטבלה הם דוגמה בלבד, ודרוש עור לברוק אותם. כך גם יש לבדוק באם ניתן לצמצם את ערכי השיחרור הקשורים בתקלה מלחמתית לערכים המקובלים בתקלות חמורות "קונבנציונאליות".
- קביעת הקריטריונים לשיחרור צריכה להיות מלווה בארגון מערך חירום עם אמצעי התערבות, פק'לים מתאימים ורמות פעולה שנקבעו מראש.

טבלה 1 השיחרור המרבי המותר במסגרת תקלות שונות (דוגמה).
 $W.B.eq.D =$ המנה האחידה על כל הגוף.

המנה המרבית לאוכלוסיה	המנה האישיית המרבית	השיקולים המטאורולוגיים להערכת סיכונים	הקטגוריה
	$W.B.eq.D = 500 \text{ mrem/y}$	לפי שיקולי תדירות ומנות שיחרור	1
$W.B.eq.D = 10^4 \text{ man}\times\text{rem}$	$W.B.eq.D = 500 \text{ mrem/y}$	לפי מזג האוויר הגרוע ביותר בעת התקלה	2
$Thyroid = 10^4 \text{ man}\times\text{rem}$	$Thyroid = 3000 \text{ mrem/y}$	או מצב F לפי פסקוויל	
$W.B.eq.D = 10^6 \text{ man}\times\text{rem}$	$W.B.eq.D = 25 \text{ rem}$	לפי מזג האוויר הגרוע ביותר בעת התקלה	3
$Thyroid = 10^6 \text{ man}\times\text{rem}$	$Thyroid = 250 \text{ rem}$	או מצב F לפי פסקוויל	
$W.B.eq.D = 10^6 \text{ man}\times\text{rem}$	$W.B.eq.D = 25 \text{ rem}$	לפי מזג האוויר הגרוע ביותר בעת התקלה	4
$Thyroid = 10^6 \text{ man}\times\text{rem}$	$Thyroid = 250 \text{ rem}$	או מצב F לפי פסקוויל	

3 דרכים לזניעת תקלות, הגבלת תוצאותיהן והתגברות עליהן

ההגנה מפני תקלות בודדות נעשית בעיקר על-ידי הקפדה על איכות הציוד, ריבוי מערכות ושימוש במערכות בטיחות מיוחדות.

הגורמים לתקלות משותפות הם בדרך כלל חיצוניים, וההגנה, בנוסף להקפדה על איכות ועל שימוש במערכות הבטיחות, נסמכת על הפרדה והצבה של ציוד מסוגים שונים.

ההגנה מפני התפתחות של תקלת שרשרת נסמכת על הפרדה, על מחסומים בפני התפשטות התקלה, וכמובן על מערכות בטיחות מיוחדות.

האמצעים המבטיחים מניעת תקלות, הגבלת תוצאותיהן והתגברות עליהן הם:

(א) הגדרה מתאימה של איכות ציוד - qualification, כולל שימוש בסטנדרטים מתאימים ואבטחת איכות;

(ב) ריבוי או "גודש" מערכות או ציוד המשמשים לאותה מטרה - redundancy, כולל מערכות לגיכוי: back-up systems;

(ג) הפרדה בין פריטי ציוד כפולים - separation;

(ד) הקמת מחסומים בפני התפשטות תקלה - barriers;

(ה) הצבת ציוד מסוגים שונים לביצוע אותה משימה - diversity;

(ו) תכנון מערכות בטיחות מיוחדות - Special Safety Systems (SSS).

מערכות אלו כוללות:

1. שתי מערכות עצירה נפרדות לכור;

2. מערכת קירור חירום;

3. המאטם ומערכתיו;

4. מספר מערכות חירום לאספקת חשמל.

שילוב כל האמצעים הנ"ל בתיכנונה של תחנת כוח גרעינית מבטיח הגנה נאותה לציוד ולסכיבה. שיטה זו מכונה "הגנה לעומק".

בטבלה 2 ניתן לראות פירוט של האמצעים, ומקובלים להתגברות על תקלות כפי שהם מיושמים לגבי סוגים שונים של תקלות.

טבלה 2 האמצעים למניעה והתגברות על תקלות שונות.

האמצעי	סוג התקלה		
	SF - בודדת	CMF - משותפת	CLF - שרשרת
Special Safety Systems	+	+	+
Qualification	+	+	+
Redundancy	+		
Separation		+	+
Barriers			+
Diversity		+	

בעת החיכוך יובא בחשבון גם שילוב של מאורעות המתרחשים במקביל, כתוצאה מגורמים שונים (simultaneous failures) לדוגמה:

- (א) אחת משהי מערכות העצירה של הכור אינה בפעולה, ובמקביל 2 מוטות כיסחון במערכת העצירה השנייה אינם בפעולה; ערוץ אחד של רכיבים אקטיביים במערכת השנייה אינו בפעולה; והגורם הרגיש ביותר למתן אות העצירה לכור, בתקלה נתונה, אינו מגיב.
- (ב) ערוץ מיכשור אחר של מערכת קירור החירום, כולל רכיבי ההפעלה שלו אינו בפעולה.
- (ג) ערוץ מיכשור אחד של מערכת המאטם, כולל רכיבי ההפעלה שלו אינו בפעולה;
- (ד) ערוץ מיכשור אחד של מערכת פינוי החום השיורי, כולל רכיבי ההפעלה שלו אינו בפעולה;
- (ה) ערוץ מיכשור אחד של מערכת לאספקת חשמל חירום, כולל רכיבי ההפעלה שלו אינו בפעולה.
- הנחות הכשל הללו מבוססות על כך כי הערוצים הנ"ל של ציוד כוללים את כל הרכיבים, החל מהחיישנים (sensors) ועד לרכיבי ההפעלה (actuators) של תת-מערכת, כולל כל הרכיבים האקטיביים השייכים לערוץ.

4 הגדרת מצבי ההפעלה של תג"ר

מצבי ההפעלה השונים של תחנת הכוח הגרעינית (plant conditions), כפי שניתן לצפות אותם מראש, משמשים כבסיס לתיכנון המערכות השונות. מצבי ההפעלה מסווגים לפי שיקולים סטטיסטיים ובהתאם לכמויות הצפויות של רדיואקטיביות העלולות להשתחרר כתוצאה מתקלות שונות. האירועים הקשורים למצבי ההפעלה השונים והמפורטים בסעיפים הבאים מהווים "תקלות בסיס לתיכנון". קיימים אירועים נוספים, מהם חמורים מאד, אשר מפאת נדירותם לא נהוג להתחשב בהם, לרוגמה: שבר במיכל הלחץ של הכור. המצבים המוגדרים להלן, למעט נושא התקלה המלחמתית, מתאימים למצבים I, II, III ו-IV בסימוך 1, בסדר זה.

4.1 הפעלה רגילה

Normal Operation (NOP), זהו המצב הרצוי.

תנאי שיחזור: קטגוריה 1.

מצב זה מתאים למצב המוגדר בסימוך 3 כ-"Normal".

דוגמות לאירועים הקשורים במצב של הפעלה רגילה:

הנעת הכור.

עצירת הכור.

כור במצב של קריטיקליות, בלי עומס.

עבודה בעומס חלקי, או מלא.

פריקה וטעינה של הדלק.

פגם ביחידת דלק מוגדרת.

עבודה עם ציוד מוגדר שאינו תקין.

4.2 תקלה מזערית

מצב זה, Accident 1 (AC-1), כולל תקלות אשר סכיר שתקרינה פעמים ספורות בשנה, חגרומנה לכל היותר לעצירת הכור, וניתן יהיה לחזור ולהפעיל אותו מיד אחרי תיקון התקלה. מצב זה כולל מיקרים של צורך בהפעלת חלק ממערכות הבטיחות המיוחדות (SSS).

תנאי שיחרור: קטגוריה 1.

מצב זה מתאים למצב המוגדר בסימוך 3 כ-"Upset";

דוגמות לאירועים הקטורים במצב תקלה מזערית:

שגיאה כודדת של מפעיל.

הוצאה של קבוצת מוטות בקרה בלתי מתאימה.

נפילת מוט בקרה.

תקלה כודדת של אלמנט בקרה.

אי התאמה בין הספק הכור לדרישות העומס של הטורבינה.

שינוי בעומס בגלל פעולה לא נכונה של רכיב אקטיבי במערכת הקיטור.

דליפה קלה כנערכת הקיטור.

איבוד חלקי של קירור הליבה.

קירור בלתי מתאים של המאט.

הפחתת לחץ בגלל פעולה לא נכונה של רכיב אקטיבי (ככור מסוג PWR).

איבוד מי הזנה.

איבוד קירור המעבה.

דליפה בצינורות מחולל הקיטור.

תקלה כודדת כאחת ממערכות החשמל.

איבוד מתח חיצוני.

דילול בלתי מתאים של תמיסת הבורון.

4.3 תקלה בינונית

מצב זה, Accident 2 (AC-2), כולל תקלות אשר עלולות לקרות פעמים ספורות במשך חייה תחנת הכוח, ועוללות לגרום לעצירת הכור לפרקי זמן ממושכים. מצב זה, בררר כלל, יצריך הפעלה של מערכות הבטיחות המיוחרות (SSS).
 תנאי שיחרור: קטגוריה 2.
 מצב זה מתאים למצב המוגדר במקור 3 כ-"Emergency".

דוגמות לאירועים הקשורים בתקלה בינונית:
 סדקים במערכת הקירור או רליפה המצריכה הפעלה של מערכת קירור החירום של הכור.
 שבר קטן במערכת הצינורות המשנית.
 טעינה לא נכונה של הדלק.
 שליפה לא מתאימה של קבוצת מוטות בקרה.
 שגיאה: תוכנית המפקחת על מהלך מוטות הבקרה.
 עליה לא מוסכרת כריאקטיביות של הכור.
 אובדן מלא, או חלקי (הפרעה לזרימה), של מי הקירור של הכור.
 מאורעות חיצוניים בעוצמה שאינה עולה על העמידות המתוכננת של המיתקן, כגון:
 הצפה, סופה, רעידות אדמה, שריפה, וכו'.

4.4 תקלה חמורה

מצב זה, Accident 3 (AC-3), כולל תקלות אשר נדרר כלל אין צופים שתקרינה, אך מתחשבים בהן בכל זאת בגלל התוצאות החמורות העוללות לנבוע מהן. מצב זה ידרוש תמיד הפעלה מלאה של מערכות הבטיחות המיוחרות (SSS).
 תנאי שיחרור: קטגוריה 3.
 מצב זה מתאים למצב המוגדר בסימוך 3 כ-"Fetited".

דוגמות לאירועים הקשורים בתקלה חמורה:
 שבר גדול בצינורות המכילים את מי הקירור (LOCA), כולל שבר מלא של הצינור הגדול ביותר במערכת הקירור.
 תזוזה של הדלק, כולל התמוטטות הליבה ופיזור הדלק.

שבר גדול בצנרת מישנית (צנרת הקיטור).
 בעילה של רוטור משאבה ראשית.
 מאורעות חיצוניים כגון: התרסקות מטוס על הכור, שיחרור חומרים כימיים רעילים,
 אובדן זמינות של מאגר החום העיקרי. תופעות טבע ואירועים חיצוניים אחרים
 בעוצמה העולה על העמידות המתוכננת של המיתקן.

4.5 תקלה מלחמתית

זהו מצב מיוחד, Accident 4 (AC-4), שאינו מנותח בדרך כלל במקומות אחרים מחוץ
 לישראל. במצב זה יש להביא בחשבון תקלות חמורות אשר תדרושנה הפעלה של מערכות
 הבטיחות המיוחדות (SSS). עם זאת יש להביא בחשבון שחלק ממערכות אלה תצאנה מכלל
 פעולה.
 תנאי שיחרור: קטגוריה 4.

דוגמות לאירועים הקשורים במצב תקלה מלחמתית:

השתלטות אויב על חדר בקרה ראשי.

הרס מערכות הקירור החיצוניות.

פגיעה במאטם ובחלק ממערכות הבקרה והקירור שבתוכו.

הרס חדר בקרה ראשי.

הערה: תקלה מלחמתית היא מצב המחייב דיון מפורט ומעמיק החורג ממסגרת מסמך זה.

עם זאת ראוי להדגיש כאן מספר נקודות:

(א) אופי התקלה ועוצמתה הם פונקציה של נשק היחוס או של צורת התקיפה שצריך

להגדיר מראש. כמו-כן, צריך להגדיר מראש את רמת הסיכון שמוכנים להטיל

על האוכלוסייה במיקרה מיוחד זה של מלחמה.

(ב) אפשר שתוצאות התקיפה לא תהיינה חמורות ובמיקרה זה ניתן להכליל את התוצאות

של התקיפה במסגרת מצבי הפעלה שדונו.

(ג) יש להביא בחשבון שתקלה כזו, הבאה בעקבות תיכנון "חכם" וביצוע רב עוצמה,

יכולה לגרום אחריה תוצאות וסיכונים העולים על הסיכונים המקובלים במקומות

אחרים בעולם.

כנגד סיכונים גדולים יותר מאלה צריך ואפשר להתגונן. חישוב עוצמת הסיכונים הללו והצעת הפתרונות להתגוננות הם באחריות המחכן, במסגרת התיכנון העקרוני של תחנת הכוח הגרעינית. צריך להביא בחשבון גם שיטות התגוננות בלתי קונבנציונאליות, לדוגמה: תכניות חירום מפורטות ומתוחכמות, יותר מהמקובל בעולם לאוכלוסיה, מיקלוט מיוחד וכו'.

5 סיווג בטיחותי לצידוד

5.1 כללי

- יש לסווג ולטפל במערכות ובציוד הקשורים בבטיחות בנפרד משאר מערכות תחנת הכוח. מערכות וציוד הקשורים בבטיחות מאופיינים על-ידי אחד או יותר מן האופיינים הבאים:
- (א) מערכות וציוד אשר כשל שלהם עלול לגרום באופן ישיר לשיחרור מוצרים רדיואקטיביים בכמות העולה על המותר לפי הקריטריונים שבטבלה 1.
- (ב) מערכות וציוד אשר כשל שלהם עלול לגרום לאובדן האפשרות לעצור את הכור עצירה בטוחה ועל-ידי כך לגרום באופן בלתי ישיר לשיחרור רדיואקטיביות כנ"ל.
- (ג) מערכות וציוד אשר כשל שלהם עלול לגרום לאובדן האפשרות לפנות את האנרגיה התרמית של הכור אל מאגר חום נתון, ועל-ידי כך לגרום באופן בלתי ישיר לשיחרור רדיואקטיביות כנ"ל.
- (ד) מערכות וציוד אשר כשל שלהם עלול לפגום באפשרות הטיפול בתקלה או בהגבלת תוצאותיה של תקלה הכרוכה בשיחרור רדיואקטיביות.
- כל המערכות והציוד הנכללים בקטגוריות הנ"ל יסומנו בסימן NS (Nuclear Safety).

5.2 ציור מכני והיראולי

ציור מכני והיראולי סומן בכתיחותי (NS) יסווג לפי 3 דרגות:

דרגת בטיחות 1 - Safety Class 1 (SC-1)

דרגת בטיחות 2 - Safety Class 2 (SC-2)

דרגת בטיחות 3 - Safety Class 3 (SC-3)

דירוג זה נעשה בהתאם להשלכות העוללות להיות בציור על שיחרור חומרים רדיואקטיביים ומידת הסיכון הכרוכה בכך.

SC-1: ציור אשר תקלה בו עשויה לגרום לשיחרור מרבי של רדיואקטיביות, עקב

הרס של אלמנטים ראשיים בכור (כגון מיכל הכור, משאבות ראשיות וכו').

כלומר - עלול להיווצר מצב הפעלה AC-3 (תקלה חמורה).

SC-2: ציור אשר שייך לתחום הלחץ של מערכת הקירור הראשית ואינו כלול ב-SC-1,

ואשר תקלה בו עלולה להפריע למהלך פינוי החום מהליבה ולשיחרור רדיואקטיביות

למאטם. כלומר - עלול להיווצר מצב הפעלה AC-2 (תקלה בינונית).

SC-3: ציור שאינו שייך ל-SC-1 או SC-2 אך תקלה בו עלולה לגרום לשיחרור

רדיואקטיביות לאטמוספירה או לתקלה כפינוי החום השיורי. כלומר - גם

כאן עלול להיווצר מצב AC-1 או AC-2.

סימוך 1 מהווה את הבסיס לדירוג זה, ואילו סימוך 4 נותן את כללי התיכנון והייצור

של המערכות והדרכיכים השונים של התג"ר.

5.3 ציור חשמלי וציור בקרה

ציור חשמלי וציור בקרה הקשור בכתיחות יסומן בסימן IE ויתוכנון, בדרך כלל,

לפי תקנים של IEEE (ראה פרק 6).

כל הציור החשמלי בתחנה יסווג לפי הסוגים 1, 2, ו-3 להלן.

Class 1: כולל ציור ומערכות הקשורים לתהליכים הזקוקים לאספקת חשמל תמידית

(non-interruptible).

Class 2: כולל ציוד ומערכות הקשורים לתהליכים היכולים לסבול הפסקות חשמל קצרות.

Class 3: כולל ציוד ומערכות הקשורים לתהליכים היכולים לסבול הפסקות חשמל ארוכות.

5.4 העמידות של ציוד ברעידות אדמה

מבין הגורמים החיצוניים לתקלות מתחשבים במיוחד כחשפעה הצפויה של רעידות אדמה על גבי המבנים והציוד. מבנים וציוד הקשורים בבטיחות הכור והחייבים להישאר כשירים גם אחרי רעידת אדמה יסווגו כ-Seismic Class ויתוכננו כהתאם. הכללים לתיכנון כזה מפורטים בהנחיות שבסימוך 5: RG-1.64 ; RG-1.61 ; RG-1.48 ; RG-1.29. הנוסחות המשמשות לתיכנון מצויות ב-ASME Code (סימוך 4).

6 תקנים ואבטחת איכות

אין אפשרות להתחייב מראש לעבוד בהתאם לתקן זה או אחר בטרם נקבע סוג תחנת הכוח והטכנולוגיה אשר לפיה היא תיוצר. רק לאחר שיהיה ברור איזו תחנת כוח מתכוונים לבנות - ייקבעו התקנים המחייבים ואז כל הציוד והמערכות הקשורים בבטיחות יתוכננו וייוצרו לפיהם.

דוגמה לתקנים אשר ישמשו לתיכנון תג"ר מצויה בנספח 1. התקנים המפורטים בנספח 1 ישמשו לתיכנון, במלואם או בחלקם, בהתאם לנסיבות. בעת התיכנון יצוייך כאיזו מידה הוא עונה לתקן הנדרון ומה הן הסיבות לאי ההתאמות, במידה ויהיו כאלה.

כל המערכות והציוד חייבים לעמוד בביקורת איכות במהלך התיכנון והביצוע. המערכות והציוד הקשורים בבטיחות הכור יסווגו כחייבים בביקורת איכות מרבית, בדרך כלל לפי העקרונות המופיעים בנספח B של סימוך 2.

הבעת תודה

הריני מבקש להביע את תודתי ל-י' גונן, על ההערות המועילות אשר העיר במהלך הכנתה של עבודה זו, ואשר מצאו את ביטויין, כך אני מקווה, בניסוחה הסופי.

נספח 1 דוגמה לתקנים המשמשים לתיכנון החנת כוח גרעינית

ANSI; ת"י; CNA	עקרונות ותיכנון כללי:
ANSI N45.2	אבטחת איכות:
ASME ;ANSI ;API ;TEMA	ציוד מכני והידראולי:
IEEE; NEMA	ציוד חשמל ובקרה:
ACI	מכנים:

Referencesסימוכין

1. *Nuclear Safety Criteria for the Design of Stationary Pressurized Water Reactor Plants*, ANSI N18.2 - 1973 and N18.2a - 1975, American National Standards Institute, New York.
2. *Licensing of Production and Utilization Facilities*, 10 CFR50, United States Nuclear Regulatory Commission.
3. D. G. Hurst and F. C. Boyd, *Reactor Licensing and Safety Requirements*, 72-CNA-102, Atomic Energy Control Board, Canada.
4. *ASME Boilers and Pressure Vessels Code*, Sec. III, The American Society of Mechanical Engineers, New York.
5. *Regulatory Guides, Division 1: Power Reactors*, US Atomic Energy Commission, Directorate of Regulatory Standards.
6. מ' גזיח, מערכות ובעיות אופיניות בתכנון ת"כ גרעיניות, חברת החשמל לישראל בע"מ, חיפה, 1975.



בתוצאת מה"ל - פרסומים