

הקשר בין מערכת חירום בחשמל ואסונות מקומיים וגלובליים

מזה זמן רב דנים מומחי הבטיחות בהתנהגות האדם במצבי חירום בכלל, ותיפקוד מערכות החשמל במצבי החירום, בפרט. אחד מהפתרונות להפחתת ממדי אסונות הוא ניהול מערכת החשמל במצבי קיצון כמו: שריפות, אסונות טבע, אירועי פעילות חבלנית עוינת (פח"ע) וכד'



איור 1: תחנת הכוח הגרעינית בפקושימה - מבט כללי לפני האסון

התחממו רצועות הזפת שעל הגג, ובעקבות זאת ניצתה שריפת ענק אשר כילתה כליל את המתחם.

כיצד התרחשה השריפה, למרות אמצעי הבטיחות במקום? ככל הידוע מערכת ההתרעה זיהתה עשן בשעה 05:45 בבוקר. שתי דקות מאוחר יותר כבר התקבלה התרעה על האש בתחנת הכיבוי בנתניה. ראש המשמרת של אותו הלילה וארבעה כבאים הגיעו למקום בתוך זמן סביר. באותם רגעים היו שם שני אנשים מטעם חברת השמירה של איקאה, שהיו אמונים גם על מערכת כיבוי האש.

באתר של עיתון 'הארץ' (יניב קובוביץ, 4.3.2011) דווח כי בבדיקת התנהלות כיבוי השריפה בסניף רשת איקאה בנתניה עלה חשד, שהחלטה מוטעית של צוות הכיבוי שהגיע ראשון לזירה אחראית לתוצאה ההרסנית של שריפת כל המבנה על תכולתו. צוות הכיבוי שהגיע ראשון לזירה הורה, ככל הנראה, להפסיק את זרם החשמל ואת עבודת הגנרטורים, הנחיה שגרמה לניתוק משאבות המים של המערכת האוטומטית לכיבוי האש במקום.

מאת ד"ר אלכס טורצקי

לפני כחצי שנה פקד את יפן אסון טבע שבמהלכו נפגעו גם כורים גרעיניים. בישראל, להבדיל, עלה בלהבות באותה התקופה סניף 'איקאה' בנתניה. המשותף לשני המקרים הללו - האסון ביפן והשריפה במתחם 'איקאה' בנתניה - היה תיפקודה של מערכת החשמל ומערכת גיבוי החשמל (קרי: הגנרטורים) במצב חירום ותרומתן להחמרת האירוע.

אסון מקומי - שריפת 'איקאה'

בתאריך 5.2.2011 פרצה שריפת ענק בסניף 'איקאה' שבנתניה. השריפה נגרמה דווקא במזג אוויר גשום. הגשם חדר, ככל הנראה, אל מיתקני התאורה שבגג המבנה. כתוצאה מהקצר החשמלי

הכותב הוא מהנדס חשמל, מדריך חשמל ארצי בתחום הנדסה ותורת הבטיחות של המוסד לבטיחות ולגיהות

נוהל חירום חשמל

נוהל חירום חשמל נועד לתת מענה להתפתחות מצבים בלתי שגרתיים הגורמים ללחץ ולהתנהגות לא צפויה של עובדים ומנהלים, לשליטה במערכת החשמל.

מצב חירום יכול להיווצר כתוצאה משריפה; דליפת חומרים מסוכנים; פגיעה במבנה, בציוד, בתהליך או בשטח העבודה; סיכון בריאותי לא צפוי וכל חריגה אחרת משגרה סביבתית.

מצב מערכת החשמל במסגרת חירום מפעלי חייב לתת מענה ושליטה בטיפול בנפגעים, טיפול נאות במניעת נזקים ותוך כדי הפחתת נזק לייצור ולסביבה. את הנוהל מכינים מראש בהשתתפות גורמי בטיחות, חשמלאים ומנהלים.

כתובת לדוגמת נוהל חירום (חשמל) באינטרנט:

http://www.osh.org.il/uploadfiles/d_1899_nohal_herum.pdf

במתחם בפוקושימה ביפן המצב היה מסובך ביותר

לכשל של הפעלת גנרטור יש השלכות גם באסון של רעידות האדמה שפגעו ביפן. ב-11 במרץ 2011 התרחשה בצפון יפן רעידת אדמה בעוצמה 9 בסולם ריכטר. צוותי החירום שנשלחו למקום האסון הצליחו לחבר את הכורים (ראו איור 1) להספקת החשמל אחרי 10 ימים לאחר ההשבתה. בזמן ההשבתה - מערכת קירור המוטות, שהכילו חומר גרעיני, לא פעלה - בשל השבתת הגנרטורים לשעת חירום, שנועדו לספק מי קירור, שנפגעו על ידי גלי צונאמי בגובה שלא נצפה ולא נלקח בחשבון כאשר תכננו והתקינו את מערכת הגנרטורים. סכמת פעולה כללית של כור גרעיני ראו באיור 2. מצב לא תקין של השבתת מערכת הקירור גרם להיווצרות קיטור גרעיני והתפוצצות מיכל מי קיטור.

מה זו השבתת התכה גרעינית?

השבתת מערכות הקירור של כור גרעיני גורמת לעלייה מסוכנת בטמפרטורה ובלחץ שבתוך ליבת הכור. כאשר הטמפרטורה עולה על $1,900^{\circ}\text{C}$ מתחיל תהליך התכה של מוטות הדלק המצופים זירקוניום. המוטות, המונחים בתוך ליבת הכור, פולטים בתהליך זה גם מימן שהצטברותו עלולה להוביל לפיצוצים - בדומה לאלה שכבר אירעו בשני כורים בפוקושימה. (איור 5).

עלייה נוספת של הטמפרטורה עלולה להוביל להתכת בסיס ליבת הכור, לדליפה מסיבית של קרינה רדיואקטיבית וליזיה מסוכן של יוד 121 וצזיום 137. חשש אחר הוא שרעש משנה נוסף באזור, יוביל לקריסה כוללת של ליבות הכורים - דבר שעלול לגרום לאסון גרעיני של ממש. עם זאת, חשוב להדגיש שפיצוץ בכור גרעיני - על אף השלכותיו הקשות - אינו פיצוץ אטומי.

עקרון הפעולה של כור BWR - Boiling Water Reactor

כור כזה מייצר חשמל באמצעות קיטור שמסובב טורבינות (איור 3). הקיטור נוצר כאשר מוטות של דלק גרעיני מושרים בתוך מים והם מחממים את המים והופכים אותם לקיטור. הריאקציה הגרעינית של ביקוע, מבוקרת באמצעות מוטות הבקרה (מוטות המכילים חומר הבולע נויטרונים, לדוגמה: בורון) השולטים באופן אוטומטי על הספק הכור. כאמור, בריאקציה זו נוצר בין השאר חום רב, המחמם את מי הכור, הנמצאים בלחץ גבוה (כ- 70°C אטמוספירות) עד כדי רתיחה (איור 2). בשל הלחץ הגבוה בכור, הרתיחה מתחוללת בטמפרטורה גבוהה של כ- 300°C . הקיטור, הנמצא בלחץ וטמפרטורה גבוהים, זורם מהמיכל לעבר הטורבינה. במעבר של הקיטור דרך הטורבינה הוא מביא לסיבוב הגנרטור המפיק חשמל. ביציאה מהטורבינה לחץ הקיטור יורד משמעותית וחלקו אף

באתר של משרד הפנים מצאנו כי: "הוועדה לחקירת גורם השריפה קבעה כי היא נגרמה כתוצאה מכשל חשמלי בקופסת חיבורים של תאורת השילוט החיצוני על גג המבנה".

ועדה נוספת לבדיקת תפקוד מערכות בטיחות האש, מצאה שרשרת של כשלים שהביאו לכך שמערכות בטיחות האש לא מנעו שריפה כוללת של המבנה.

ממימצאי הבדיקה עולה, בין היתר, כי רכזת הזיכרון של המשאבות נעלמה במהלך פעולות כיבוי השריפה. רכזת זיכרון, בדומה ל"קופסה שחורה", נותנת אינדיקציה לחוקרים/בודקים לכבאות לגבי סדר הפעולה של המשאבה בשריפה וכן לגבי טיפול ותחזוקה טרם השריפה ועד עשר שנים אחורה. בנוסף, נפגעה קשות מהשריפה גם רכזת הגלאים, ולא ניתן היה לשחזר את נתוני התפשטות השריפה מול הפעלת המערכות השונות.

מה לעשות עם הגנרטור בשעת חירום

כל מי שלמד, ולו גם מעט, על בטיחות אש זוכר ששיננו באוזניו כי בשעת שריפה חייבים לנתק את החשמל, כולל מערכות גיבוי בחירום, כדי למנוע התחשמלות של הצוות העוסק בכיבוי. יחד עם זאת, מתברר שלכל כלל יש גם יוצאים מהכלל ושישנם גנרטורים שייעודם שונה, ושאותם אסור להשבית. זה כולל גם מערכות אל-פסק (UPS).

בעיקרון, לגנרטור חירום ישנם שני ייעודים. האחד נועד לשמש במבני תעשייה/מסחר/ציבור וכו' כגיבוי לצרכים החיוניים שלהם, כלומר: לספק חשמל למערכות השונות, בשעת הפסקת חשמל. הסוג השני הוא גנרטור שנועד לתמוך בעת שריפה במערכות כיבוי האש.

במקרה הראשון, כאשר הגנרטור משמש כגיבוי למערכות חשמל, יש לנתק את הגנרטור ולטפל לפי הנחיות נוהל חשמל במצב חירום (ראו בהמשך). במקרה השני - כאשר הגנרטור נועד לגבות מערכות כיבוי אש - אסור לכבותו בעת שריפה.

כיצד אפשר לדעת איזה גנרטור נועד למה, ומתי מותר לכבות את המיתקן? התשובה: מהנדס החשמל של החברה הוא זה שמחליט לגבי ייעודו של הגנרטור והנוהל המוכן מראש.

ולכן: במבנה בו הגנרטור מספק מתח למערכות חירום - הניתוק מצריך מחשבה תחילה ושיקול דעת מורכב, תוך הכרת כל המערכות הקריטיות במבנה, מצב התפתחות השריפה ומיקומה. ניתוק חשמל יעשה ע"י קצין המשמרת/מנהל האירוע בלבד, בהתאם להנחיות נוהל חירום חשמל.

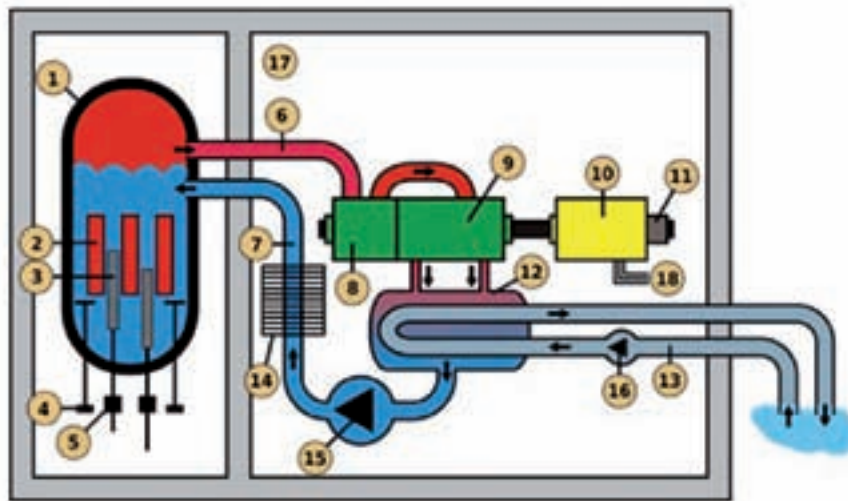
ניתוק הגנרטור, ולו גם בטעות, מקשה על החזרתו לפעולה. מכבי אש יחד עם הממונה על הבטיחות ומהנדס החשמל של האתר, חייבים להיות שותפים להכנת נוהל חירום - חשמל. חשוב לשתף גם את מכבי האש בתרגיל כיבוי אש בארגון, על מנת לוודא שהנהלים ברורים לכולם. כך שגם אם מהנדס החשמל או הממונה על הבטיחות נעדרים בעת אירוע אמת - צוות כיבוי אש שתורגל במקום, ידע בדיוק איזה מערכות גיבוי יש לנתק ואילו מערכות משמשות למערך הכיבוי.

מהו הלקח של מערך הבטיחות

- את נושאי בטיחות וחירום חשמל יש לשלב בשלב תכנון המיתקן ומערכת החשמל.
- יש להקפיד לבצע בדיקה תקופתית לתקינות מערכת חירום החשמל.
- יש להכין ולהפעיל נוהל חירום - חשמל.
- יש להדריך את העובדים ואת צוותי החירום לגבי התנהגותם בהפעלת נוהל חירום - חשמל.

מרכיבים של תחנה גרעינית לפי איור 2:

10. גנרטור	1. מיכל לחץ של הכור
11. עירור (הגברת האנרגיה)	2. מוטות הדלק הגרעיני
12. מעבה	3. מוטות בקרה
13. זרם קירור המעבה (מעגל שני)	4. משאבות ערכוב
14. קדם חימום	5. מערכת הנעת מוטות הבקרה
15. משאבת הזנת מים לכור	6. קיטור בלחץ
16. משאבת זרם קירור המעבה	7. מי הזנה לכור
17. מעטפת בטון	8. טורבינת לחץ גבוה
18. ככלי חשמל	9. טורבינת לחץ נמוך



איור 2: עקרון הפעולה של תחנת כוח גרעינית

מתעבה. הקיטור ממשיך לזרום לעבר מעבה, המעבה אותו לפאזה מימית באמצעות מעגל מי קירור משני, המפנה את החום מהמעבה לסביבה, לדוגמה: לים. מים אלה נשאבים על ידי משאבת ההזנה ומוזרמים חזרה אל ליבת הכור דרך מחמם ראשוני.

התפוצצות הכור

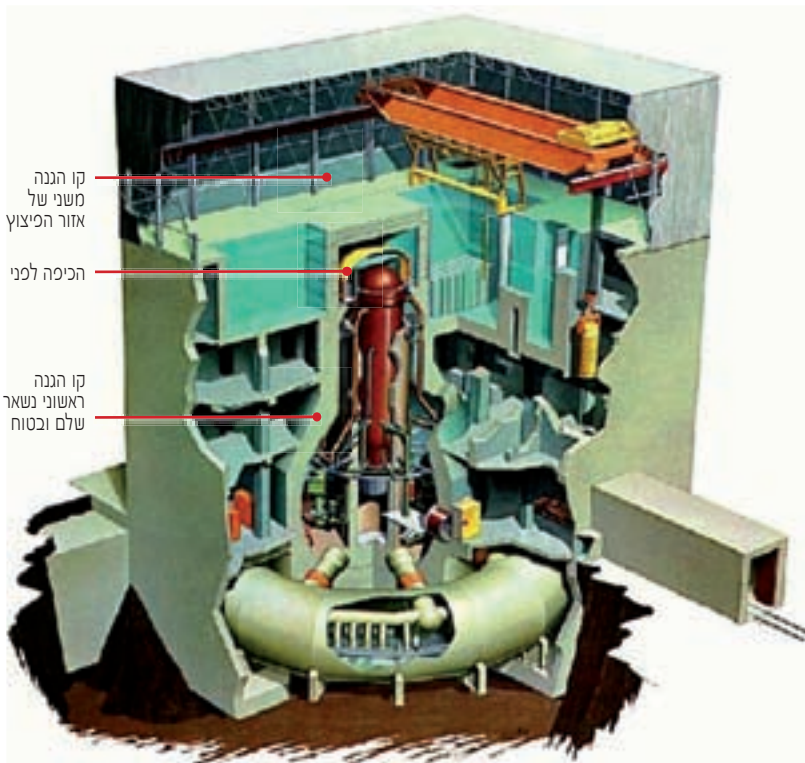
המתחם בפוקושימה (Fukushima) הוא מתחם ענק (איור 1) שכלל שש תחנות כוח גרעיניות שסיפקו 4.7 גיגה וואט חשמל. בפוקושימה 1' המצב היה הקשה ביותר: שניים מתוך שלושת הכורים סבלו מהתכה חלקית וכבר אירעו בהם פיצוצים שגרמו לדליפת קרינה לאוויר הפתוח. דווח שגם בכור השלישי בפוקושימה אירעו תקלות במערכת הקירור. במיתקן פוקושימה 2' היו בעיות קירור שאיימו על יציבותם של שלושה כורים גרעיניים, אולם נראה שהמצב שם היה פחות חמור. העיר ספגה מכה קשה כאשר גלי הצונאמי הציפו את תחנת הכוח של העיר. כתוצאה מכך הגנרטורים לא פעלו.

הכור בפוקושימה כבה באופן אוטומטי הודות לפעולת מוטות הבקרה, שהיו עשויים מבורון (Boron) אשר קולטים את הניוטרונים המשתחררים בתהליך של הביקוע הגרעיני. מוטות הבורון אשר מוחזרים לליבת הכור בולעים את הניוטרונים והם מווסתים את רמת הפעילות של הכור במצב נורמלי של הפעלת הכור. הם יכולים להפחית את רמת הפעילות של הכור מ-100% ועד 7%. על פי מאמר שפורסם באינטרנט על ידי Barry Brook שכותרתו:

Fukushima Nuclear Accident – A Simple and Accurate Explanation (מחודש מרץ 2011),

רמת הפעילות הנמוכה של 7% נובעת מהתפרקות רדיואקטיבית של תוצרים אחרים בתהליך כמו צזסיום (Cesium) ויוד (Iodine). רמת פעילות זאת הולכת ופוחתת באופן טבעי אם מצליחים לשמור על קירור ליבת הכור.

בעת רעידת האדמה פעילות הכורים הופסקה מיידית באופן אוטומטי. נשארה רק הפעילות השארית של 7% שהמשיכה לשחרר חום. היות והכור נותק מכל מקורות החשמל, כולל מקורות חשמל עצמיים, נכנסו לפעולה גנרטורי חירום. בשעה הראשונה לאחר רעידת האדמה ועד שהגיעו גלי הצונאמי היפנים ביצעו פעולות לצינון מוטות הדלק כדי למנוע את התכת הכורים. המטרה המרכזית היתה לתקן את מערכות הקירור. הכור המשיך להתקרר בעזרת המשאבות שהופעלו על ידי חשמל מהגנרטור. אבל גלי הצונאמי החריגים והבלתי צפויים



איור 3: תרשים של ריאקטור BWR

בגובהם שטפו את האתר והשביתו את פעולת הגנרטורים. אז נכנסו לפעולה סוללות חירום שהמשיכו לספק חשמל למשאבות במשך 8 שעות נוספות. לאחר 8 שעות הן נגמרו ולא ניתן היה יותר להמשיך בקירור הכור. כפועל יוצא מכך, נאלצו עובדי התחנה להשתמש במי ים (מצב שנמשך כ-10 שעות), אבל הכור החל להתחמם ונוצרו אדים. המפעילים שחררו את לחץ האדים, שהכילו מעט מאוד חומר רדיואקטיבי. בהמשך, ירידת מיפלס המים בליבת הכור הביאה לעליית הטמפרטורה ולהתחממות מוטות ה-Zircaloy (שהיא סגסוגת של צירקוניום), שהובילה לתגובה עם המים ולתהליך חימוץ שהוביל לשחרור גז מימן. ריאקציה זאת היתה ידועה למתכנני הכור אבל הם לא ידעו מהו נפח גז המימן שישתחרר בעת תאונה. גז המימן שנוצר היה בכמות גדולה והוא הגיב עם החמצן באוויר ונוצר פיצוץ. הפיצוץ גרם להרס של מחצית מהמבנה וכיפת המגן של הכור עפה החוצה (איור 4).

הטכנאים במיתקן הצליחו לחבר מחדש את כבלי החשמל בששת הכורים, והצליחו להפעיל את המשאבה באחד מהם בניסיון לקרר את מוטות הדלק המתחממים, אך הדליפות והסכנות עדיין לא חלפו.

מה המשמעות של שימוש במיילים?

המשמעות היא שעם סיום המשבר הנוכחי, יושבתו הכורים בפוקושימה, ככל הנראה לתמיד, שכן הצפת הליבות במיילים מלוחים ובתרכובות שונות הכוללות את המתכת בור, גורמות לקורוזיה קשה שלא תאפשר את תדלוקם של הכורים בעתיד. בעולם כולו משביתים כיום כורים שגילם מעל 40 שנה.

רמות הגנה לפי הוועדה לאנרגיה אטומית:

מהן רמות ההגנה, בפני דליפת חומר רדיואקטיבי לסביבה, כתוצאה מאסון טבע, שהיו בכורים היפניים?

הכור תוכנן עם מספר רמות הגנה למניעת פיזור של חומר רדיואקטיבי (איור 3):

- מוטות הדלק עטופים במעטפת העמידה עד לטמפרטורה של $1,300^{\circ}\text{C}$. הגנה זו עלולה להיפגע בהיעדר קירור מספיק למוטות.
- מיכל הכור בעובי 150 מ"מ עשוי פלדה בלתי מחלידה (פל"ב"ם).
- המאטם הראשוני, העוטף את המיכל ומערכות הבטיחות סביבו עשוי פל"ב"ם בעובי 25 מ"מ.
- המאטם המשני, הכולל את הטורבינה, את המעבה ואת מערכות העזר בכור – פרט לליבה ומערכות הבטיחות – עשויים מבטון מזוין בעובי של כשני מטרים.
- מטעמים אלה מותקנים מיכלים במבנה "מרובע" חיצוני (איור 5), העשוי בטון מזוין בעובי של כחצי מטר. מבנה זה, היוצר סביבת עבודה נוחה למערכות הכור, נהרס בוודאות. כעת המבנה אינו משמש כמאטם, הכולא את המוצרים הרדיואקטיביים.

גם אם כל רמות ההגנה האלה נפגעו יש אמצעים להגנה על האוכלוסייה ולהפחתתה של תוצאות התאונה.

הכורים בישראל

ההספק של כורי המחקר של הוועדה לאנרגיה אטומית בישראל, נמוכים באופן משמעותי, פי 50 ויותר מהספקו של כור כוח אופייני. משמעות הדבר היא כי כמות החומר הרדיואקטיבי, הנמצאת בכור מחקר היא פחות מ-2% מזו הנמצאת בכור כוח. ולכן כמות החום שיש לסלק מהכור לאחר הפסקת פעילותו אף היא קטנה באותו יחס. עובדות אלה הופכות את כורי המחקר בישראל לבטוחים מטבעם יותר מאשר כורי כוח.

הכורים בישראל, כמו בעולם כולו, מצוידים במערכות בטיחות והגנה התואמות את גודל הכור והסיכון שהוא יוצר ואת שכיחות רעידות האדמה בישראל. ■



איור 4: מסגרת בלימה (כיפת מגן) אחרי האסון



איור 5: מבנה חיצוני של כור. בלוק 1 אחרי הפיצוץ

לפרטים נוספים:
מחוז באר שבע והדרום

טל': 08-6276389
פקס: 08-6275129
דוא"ל: beersheva@osh.org.il

המוסד לבטיחות ולגיהות מחוז באר שבע והדרום מודיע על
קורס ממונים על הבטיחות

■ הקורס יפתח ב־30.11.2011 בבית יציב בבאר שבע ■ משך
הקורס 36 ימי לימוד במתכונת של יום בשבוע ■ לפורשי צה"ל:
ניתן לשלם מ"סל פרישה" ■