



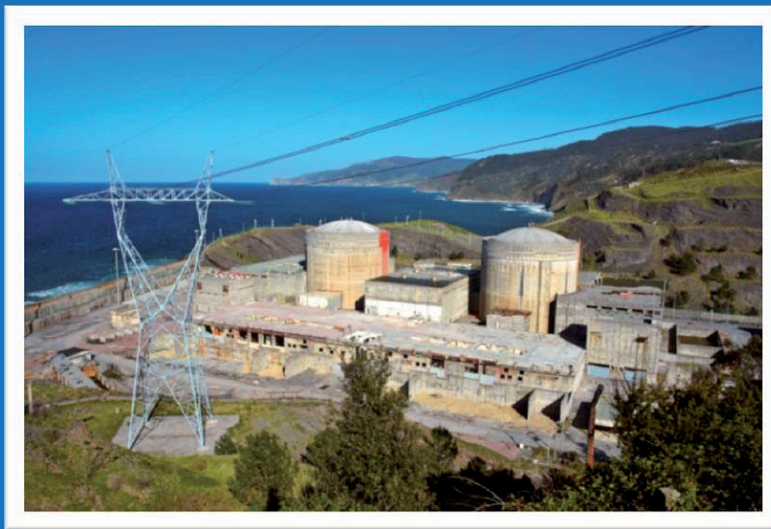
הטכניון
מכון טכנולוגי לישראל



מוסד שמואל נאמן
למחקר מתקדם במדע וטכנולוגיה

סיכום והמלצות דיון פורום האנרגיה מס' 22
מוסד שמואל נאמן, הטכניון

תחנת כוח גרעינית בישראל



22

14.11.2011

אודות מוסד שמואל נאמן

מוסד שמואל נאמן שהוקם בטכניון בשנת 1978 ביוזמת מר שמואל (סם) נאמן הוא מכון למחקר מתקדם במדע וטכנולוגיה העוסק במגוון רחב של נושאים בתחום הפיתוח הכלכלי, חברתי ומדעי-טכנולוגי של מדינת ישראל. פעילות המחקר מתרכזת בתשתיות הפיזיות, המדעיות-טכנולוגיות, תעשייתיות ותשתיות ההון האנושי הקובעות את חוסנה הלאומי של מדינת ישראל. במוסד מבוצעים מחקרי מדיניות וסקירות, שמסקנותיהם והמלצותיהם משמשים את מקבלי החלטות במשק על רבדיו השונים. מחקרי המדיניות נעשים בידי צוותים נבחרים מהאקדמיה, מהטכניון ומוסדות אחרים ומהתעשייה. לצוותים נבחרים האנשים המתאימים, בעלי כישורים והישגים מוכרים במקצועם. במקרים רבים העבודה נעשית תוך שיתוף פעולה עם משרדים ממשלתיים ובמקרים אחרים היוזמה באה ממוסד שמואל נאמן וללא שיתוף ישיר של משרד ממשלתי. בנושאי התוויית מדיניות לאומית שעניינה מדע, טכנולוגיה והשכלה גבוהה נחשב מוסד שמואל נאמן כמוסד למחקרי מדיניות המוביל בישראל.

עד כה ביצע מוסד שמואל נאמן מאות מחקרי מדיניות וסקירות המשמשים מקבלי החלטות ואנשי מקצוע במשק ובממשל. סקירת הפרויקטים השונים שבוצעו במוסד מוצגים באתר האינטרנט של המוסד. בנוסף מוסד שמואל נאמן מסייע בפרויקטים לאומיים דוגמת המאגדים של משרד התמ"ס - מגני"ט בתחומים: ננוטכנולוגיות, תקשורת, אופטיקה ותקשורת, כימיה, אנרגיה, איכות סביבה ופרויקטים בעלי חשיבות חברתית לאומית. מוסד שמואל נאמן מארגן גם ימי עיון מקיפים בתחומי העניין אותם הוא מוביל.

יו"ר מוסד שמואל נאמן הוא פרופ' זאב תדמור וכמנכ"ל מכהן פרופ' משה משה. המוסד פועל במסגרת תקציב של הקרן שהותיר שמואל נאמן להטמעת החזון לקידומה המדעי-טכנולוגי, כלכלי וחברתי של מדינת ישראל.

כתובת המוסד: מוסד שמואל נאמן, קרית הטכניון, חיפה 32000

טלפון: 04-8232329, פקס: 04-8231889

כתובת דוא"ל: info@neaman.org.il, כתובת אתר האינטרנט: www.neaman.org.il

תחנת כוח גרעינית בישראל

סיכום והמלצות דיון

פורום האנרגיה של מוסד שמואל נאמן

הטכניון

מיום 14.11.2011

נערך ע"י:

פרופ' גרשון גרוסמן

טל גולדרט

פברואר 2012

אין לשכפל כל חלק מפרסום זה ללא רשות מראש ובכתב ממוסד שמואל נאמן מלבד לצורך ציטוט של קטעים קצרים במאמרי סקירה ופרסומים דומים תוך ציון מפורש של המקור.

הדעות והמסקנות המובאות בפרסום זה הן על דעת המחבר/ים ואינן משקפות בהכרח את דעת מוסד שמואל נאמן

רשימת משתתפי הפורום:

פרופ'	אילון אופירה	מוסד שמואל נאמן
ד"ר	ארביב אברהם	אגף מחקר ופיתוח, משרד התשתיות הלאומיות
	בית הזבדי אדי	אגף שימור אנרגיה, משרד התשתיות הלאומיות
	גולדרט טל	מוסד שמואל נאמן
ד"ר	גלברג סטיליאן	המשרד להגנת הסביבה
פרופ'	גרוסמן גרשון – יו"ר	מוסד שמואל נאמן והפקולטה להנדסת מכונות, הטכניון
	גרינברג יערה	מוסד שמואל נאמן
ד"ר	ולד שלמה	מדען ראשי – משרד התשתיות הלאומיות
ד"ר	ונגר אריה	אדם טבע ודין
ד"ר	גזית-יערי נעמה	פקחית קרינה ומדריכה ב- CTBTO
	טבצ'ניק דנה	אדם טבע ודין
	טברון ברק	חברת החשמל
	מרואני דן	חברת החשמל
ד"ר	סבו יעקב	הוועדה לאנרגיה אטומית
	פרנק גדעון	מנכ"ל הוועדה לאנרגיה אטומית לשעבר
ד"ר	רזניק לייב	חברת החשמל
ד"ר	שווגראוס יבגני	אוניברסיטת בן גוריון
ד"ר	שטרן אלי	מנהל מרכז להערכות סיכונים, אוניברסיטת תל אביב
	שלאין אפרים	מנהל אגף בכיר בתשתיות, משרד הפנים

הבעת תודה

המחברים מודים למרצים על המידע שהציגו ולכלל משתתפי הפורום על תרומתם לדיון הפתוח.

<u>עמוד</u>	<u>תוכן העניינים</u>
5	פרק 1 : הקדמה
6	פרק 2 : רקע
7	פרק 3 : מידע בנושא תחנת כוח גרעינית
20	פרק 4 : דיון
29	פרק 5 : סיכום והמלצות
30	פרק 6 : מקורות

נספחים

31	נספח 1 : תוכנית פרום אנרגיה : תחנת כוח גרעינית בישראל, 14.11.2011
----	---

פרק 1: הקדמה

מוסד שמואל נאמן למחקר מתקדם במדע וטכנולוגיה, במסגרת פעילותו בתחום האנרגיה, מקיים מפגשי "פורום אנרגיה" המוקדשים לדיון בנושאים בעלי חשיבות לאומית בתחום. בפורום האנרגיה מתקיים דיון ממוקד בנושאים מוגדרים, בהשתתפות צוות מומחים המוזמנים לפי הנושא. המטרה היא להתרכז בשאלות רלבנטיות ומוגדרות, לתאם בין הגורמים ולהגיע להמלצות על דרכי פעולה לקידום הנושא, שניתן להציגן בפני מקבלי החלטות.

המפגש הדרן בנושא תחנת כוח גרעינית בישראל התקיים ב- 14 בנובמבר 2011 בטכניון, והשתתפו בו מומחים בתחום מהיבטיו השונים, וכן נציגים של הממסד הממשלתי והציבורי. המשתתפים בפורום, שנבחרו בקפידה עקב מומחיותם, מהווים, ללא ספק, קבוצה ייחודית ובעלת ידע מקצועי ראשון במעלה בתחום האנרגיה ומשק החשמל, והאנרגיה הגרעינית בפרט.

בחלקו הראשון של המפגש הציגו חלק מן המשתתפים מצגות בנושא תחנת כוח גרעינית בישראל על היבטיו השונים. מצגות המשתתפים אשר אושרו על ידם לפרסום נמצאות באתר מוסד שמואל נאמן: <http://www.neaman.org.il/> (אירועים). בחלק השני התקיים דיון פתוח על המידע שהוצג ועל המסקנות האופרטיביות שיש להפיק ממנו.

תמצית הדיונים מסוכמת בדו"ח להלן, וכמו בדיונים הקודמים, הוא יוגש למקבלי החלטות במטרה להביא אל סדר היום את החסמים והפעולות הנדרשות וכן תובנות לגבי האפשרות של הקמת תחנת כוח גרעינית במדינת ישראל בעתיד, והפעולות אשר עשויות להידרש לליווי הקמתה של תחנה כזו.

פרק 2: רקע

נושא הקמת תחנת כוח גרעינית (תג"ר) נמצא על סדר היום של משק האנרגיה בישראל עוד משנות ה-70 של המאה שעברה. כחלק מן ההחלטה לגוון את "סל הדלקים" של המדינה, בעקבות משבר האנרגיה של מלחמת יום הכיפורים וחרם הנפט שהוטל אז על ישראל ובעלות בריתה, נשקלה גם האפשרות של תחנת כוח גרעינית. בניגוד למעבר לייצור חשמל מנפט לפחם שהיה טבעי (אם כי לא פשוט) ליישום, הנושא הגרעיני מורכב בהרבה. רגישות הנושא עקב מצבה הפוליטי של ישראל, החשש מפיגועי טרור והעובדה שישראל לא חתמה על האמנה למניעת הפצת הנשק הגרעיני (NPT) – כל אלה הקשו על קבלת החלטה להקים תחנת כוח גרעינית בישראל. בחברת החשמל פועל משנות ה-70 צוות תג"ר, שתפקידו לעקוב אחר התפתחות הטכנולוגיה הגרעינית בעולם והתאמתה למשק החשמל בישראל. נבחר אתר שנמצא מתאים (באזור שיבטה שבנגב המערבי) ועבר את תהליכי הרישוי. מעבר לכך - אין בינתיים החלטה להקים.

חשמל מכורים גרעיניים מיוצר בעולם כבר מן התקופה שלאחר מלחמת העולם השנייה. כיום פועלים כ-440 כורים ב-30 מדינות, בתפוקה כוללת של כ-380 GWe, ועוד כ-60 כורים נמצאים בהקמה ב-14 מדינות. בשנת 2010 יוצרו מכורים גרעיניים 2630 מיליארד קו"ט"ש המהווים כ-14% מכלל החשמל בעולם [1]. הכורים מן הדור הראשון (כורי שנות ה-60) פינו מקומם לכורי הדור השני, המהווים כ-90% מן הכורים המופעלים כיום בעולם באופן מסחרי. כיום נבנים ומוקמים כורי הדור השלישי, המכילים שיפורים ניכרים לעומת הדור השני, בעיקר מבחינה בטיחותית, עקב לקחי התאונות הגרעיניות שהתרחשו. לקראת 2030 צפויים להיכנס כורי הדור הרביעי - הנמצאים כיום רק בפיתוח, על בסיס מספר קונספטים טכנולוגיים עם שיפורים מרחיקי לכת בכלכליות, בבטיחות, בהקטנת הפסולת ובצמצום הסכנה של שימוש לצרכים צבאיים.

בעקבות שתי התאונות הגרעיניות החמורות - Three-Mile Island (1979) וצ'רנוביל (1986) – נוצרה בציבור בעיית תדמית קשה לאנרגיה הגרעינית שגרמה לצמצום רב בהקמת תחנות גרעיניות חדשות, עד כדי עצירה מוחלטת במדינות מסוימות. התאונה בפוקושימה, יפן בתחילת שנה זו חידדה את הנושא עוד יותר, למרות שניתוח יסודי של האירועים מצביע דווקא על האיתנות של הטכנולוגיה. נושא הקבילות הציבורית, יחד עם היבטים נוספים של הטכנולוגיה, יידון בפרום זה.

פרק 3: מידע בנושא תחנת כוח גרעינית בישראל

בחלק זה של הדו"ח ניתנת תמצית המידע שהוצג ע"י חלק מן המשתתפים, כל אחד לפי בחירתו ומומחיותו. קבצי המצגות שהוכנו ע"י הדוברים מוצגים, כאמור, באתר של מוסד נאמן (<http://www.neaman.org.il>). מטבע הדברים, קיימת חפיפה מסוימת בין הדוברים השונים, אולם עורכי הדו"ח החליטו להביאם כאן כפי שהוצגו ובאותו סדר (ראה תכנית הפורום בנספח 1). מידע זה חשוב ומהווה בחלקו בסיס לדיון הפתוח שהתקיים לאחר מכן, כפי שמובא בפרק 4.

ד"ר שלמה ולד, המדען הראשי, משרד התשתיות הלאומיות

חשיבות האנרגיה הגרעינית בתמהיל האנרגיה של ישראל

בעיתון כלכליסט, אשר התפרסם ביום כינוס הפורום, הופיעה כתבה אודות הסכמי יצוא גז טבעי למזרח אסיה, וכן ציטוט מפיו של פרופ' שישנסקי, כי "לישראל אינטרס מובהק ליצוא גז". לנוכח ציטוטים אלו, והמגמה המסתמנת כי יתכן מצב שבו 20% מעתודות הגז של ישראל ייוצאו למדינות כגון דרום קוריאה, אין מנוס מההכרה כי לגורמים מסוימים במדינת ישראל חשוב יותר השיקול הכלכלי והרווח הכספי, מאשר הדאגה לביטחון האנרגטי. לדעתי אין הצדקה ליצוא של גז. מדינה צריכה להיות חסינה מבחינת אספקת מקורות אנרגיה, מתוך הבנה ברורה כי חשמל אינו מותרות אלא חובה קיומית, וחיינו תלויים בו. חייבים לזכור ולהבין כי קרוב ל-60% מהעלויות של כל מוצר במשק, ואפילו הפשוט ביותר כגון מזון בסיסי, הם אנרגיה (ואיני כולל בכך אנרגיה ישירה מהשמש לצרכי חקלאות). אנו תלויים יותר ויותר בייצור ובתעשייה, וחשמל ואנרגיה הם גורם הכרחי לקיום שני מגזרים אלו.

החשמל בחברה המודרנית הוא מרכיב מרכזי בתעשייה ובכלל, בחיי היום יום. במדינת ישראל כיום משק החשמל מבוסס באופן רשמי על 40% גז ו-60% פחם. מי שמכיר את הנתונים מהשטח יודע כי כבר היום אנו חורגים מהיחס הזה, והופכים להיות תלויים יותר ויותר בגז. במערכות גז, בניגוד למערכות פחם, תקלה בודדת עלולה להשבית תחנה שלמה. בפחם צריך רצף של תקלות כדי שתתרחש עצירה בייצור. יש מדינה אחת בלבד בעולם, אשר מתקרבת בשיעור השימוש בגז למדינת ישראל – וזו סינגפור, אשר בה יש שלוש מערכות אספקת גז מקבילות המגבות זו את זו. גם עם מערכות אלו יש שם הפסקות חשמל הגורמות נזק כה גבוה, עד שאנשי הממשל מודים כי אם היו מתמחרים את הנזק, הוא היה שווה בערכו לבנייה של תחנה פחמית שלמה, שהייתה אולי מונעת את התקלות. בישראל יש הישענות מוגזמת על גז, ואנו צופים כי תוך כמה שנים נגיע לשיעור ייצור חשמל מגז סביב 60% מהמשק. ישראל צפויה לצרוך בשנים הבאות 20 BCM של גז לשנה (אשר שווי-ערך לייצור של 100 TWh חשמל לשנה). כמות זו, על פי התחזית של רשות הגז, תתחלק בין 15 BCM לייצור חשמל ו-5 BCM נוספים לכוח וחום. בממוצע, אנו צפויים לייצר אם כך 70 TWh לשנה של חשמל ממקורות הגז. כל זה יבוא, כמובן, על חשבון הפחם.

נסתכל על מקור אנרגיה אחר – האנרגיה המתחדשת – אם ניקח את השטחים שכבר אותרו כזמינים ליישום של תחנות כוח מאנרגיות מתחדשות, ומדובר על שטח של 300 או אפילו 600

קמ"ר, ואם נניח כי התחנות יצליחו לפעול ביעילות הקרובה ל- 50%, וגם אם נעריך את פוטנציאל הרוח (אשר נבדק בימים אלו באמצעות סקר רוחות) בשיעור מקסימלי, נוכל אולי להגיע לייצור של 2 GW חשמל משמש ורוח. לפוטנציאל אופטימי זה נוכל להוסיף גם ייצור חשמל מפסולת, וגם כאן, אם נניח לשם הדיון יישום מקסימלי ומיצוי הפוטנציאל; נוכל להגיע בסיכומו של דבר במדינת ישראל לסך הכל אנרגיה מתחדשת - 75 TWh לשנה. זה המקסימום שנוכל לצפות לו מאנרגיה מתחדשת, אשר מחירה, נכון להיום פי שלוש עד חמש מכל אנרגיה אחרת.

גם אם נכליל עלויות חיצוניות, וגם אם נניח שיפור יעילות וכדומה, הצריכה היום עומדת על כ- 55 TWh לשנה. 5% מזה ניתן ללא בעיה לייצר מאנרגיה מתחדשת. אבל ברגע ששיעור האנרגיות המתחדשות בסל הדלקים עולה מעל 10% - נידרש לגיבוי כה משמעותי, עד שלא יהיה כדאי מבחינה סביבתית להגיע לרמות הזיהום הכרוכות בכך (למקרה שאין שמש, למשל).

עבודות מראות שאנרגיות מתחדשות ברמות גבוהות מדי מביאות דווקא לעליה בפליטות גזי חממה ולא לירידה, בשל הקמת תחנות גיבוי (Spinning Reserve). ללא שיטת אגירה אין סיכוי לאנרגיה מתחדשת בשיעור של מעל 10% בשנת 2020, וגם ביעד ממשלה זה, לדעתי, לא ודאי שנעמוד. לפי יעד זה אנו צריכים להתקין מדי שנה 0.8 TWh של תחנות סולאריות.

אם נסתכל על הצריכה העתידית, היא עולה על פי קצב הגידול של ה GDP המתוקן לכושר קניה, (GDP ppp) והממוצע הוא סביב 3% לשנה. אם נייצר את כל האנרגיה הזו מגז, נצרוך כ- 20 BCM בשנה, ואז ניתן לראות בקלות כי כל הגז של מדינת ישראל – העתודות הידועות נכון להיום - יספיק ל- 30 שנה, וזאת בתנאי שלא ניצא. בשנת 2050 או 2060 לא יהיה לנו יותר גז. חשוב לזכור כי למרות התחושה כי אנו מעצמת גז, בסך הכל הגז שלנו שעליו ניתן לסמוך לא מספיק להרבה שנים, וזה לפני שהבאנו בחשבון ייצוא, כמו שנכתב בעיתונים.

מכל האמור לעיל ברור כי לא חשוב מה שנעשה, בקצב גידול כזה – החל משנת 2050 אנו מוכרחים לתכנן מקור אנרגיה אחר פרט לגז ושמש, וזה עוד לפני ההכרה בחשיבות שבמגוון המקורות. לא יהיה מנוס מכך. אילו מקורות אנרגיה עשויים להיות אפשריים? מקור שאינו פולט פד"ח, מקור זמין ומבוסס על טכנולוגיה ידועה. בעולם התשתיות, מתקנים אשר יפעלו בעוד 20 שנה מוכרים וידועים כבר היום. לא יהיה משהו חדש שאנחנו לא מכירים. יש רק פיתרון אחד העונה על כל הקריטריונים, וזה הגרעין. אספקת ביקושים היא כורח ואין פה בחירה - זה הכרח קיומי.

ד"ר אלי שטרן, מנהל המרכז להערכת סיכונים, אוניברסיטת תל אביב

בטיחות תחנות כוח גרעיניות – נקודות למחשבה בעקבות תקרית פוקושימה

במבט לאחור על האסון בפוקושימה, ברצוני לבחון את האסון מנקודת מבט מקצועית, של ניהול והערכת סיכונים. אמנם מדובר באסון אנושי כבד, אבל הבשורות הטובות הן שמלימוד המקרה והשתלשלות האירועים יש לקחים שניתנים ליישום.

בארצות הברית הוקמה בשנות ה-80 קרן (superfund), שמטרתה, עם הקמתה, הייתה ניקוי פסולת שפוזרה ברחבי המדינה לאורך השנים. על פי שיטות העבודה וניהול התקציבים של קרן זו, נקבע באורח חד משמעי שהחלטות: אילו אתרים אכן יהיו מיועדים לניקוי, לפי אילו סדרי עדיפויות ומה יהיה גובה ההשקעה התקציבית בכל אתר – תעשינה תוך התבססות על הערכות הסיכונים (Risk Assessment Based), ושיטות ניהול סיכונים אופטימאליות.

מתקרית פוקושימה, ניתן להפיק מספר לקחים:

לקח ראשון – תקריות בסיס תכנון ולעומתן תקריות שחורגות מהתכנון

התכנון כנגד תקלה מסוימת חייב להיות מבוסס, בין היתר, על ההסתברות להתרחשות התקלה. חייבים לחשב מהו הסיכוי שהתקלה תתרחש וכמובן כמה עולה להתגונן בפניה. ברור כי עלויות גבוהות מאוד אשר מיושמות להתגוננות בפני תקלה שההסתברות שלה נמוכה מאוד (ומטבע הדברים, תוצאותיה יחסית חמורות), לא יותירו משאבים כספיים להתגוננות בפני תקלות סבירות יותר (אמנם – פחות חמורות). לפי הגישה האמריקאית, שהייתה נהוגה בשנות ה-70 וה-80 של המאה הקודמת - כל מה שעלול לקרות בהסתברות קטנה מ- 10^{-7} או אפילו 10^{-6} , איננו נכלל בתכנון. במילים אחרות – תקריות אשר מוכח בעליל שההסתברות לאירוען קטנה מערכים אלו – אין מתכננים כנגדן, דהיינו הן נחשבות כתקריות חורגות מתכנון.

דוגמאות לכך הן נפילת מטוס על תחנת כוח גרעינית בארצות הברית, שהסתברותה מוערכת כפחותה מ- 10^{-7} /שנה לא נחשבה בעבר כתקרית שיש למגן את תחנת הכוח כנגדה. לעומת זאת, באירופה, שבה הייתה היסטוריה של התרסקויות רבות של מטוסים צבאיים (בעיקר "סטארפיטר") נפילת מטוס על תחנת כוח גרעינית נחשבה כתקרית בסיס תכנון שחייבה את מתכנני התחנה להתגונן בפניה.

באשר לתקרית פוקושימה, נראה בעליל שספק רב אם הייתה הצדקה שלא לתכנן את היחידות באתר התחנות הגרעיניות כנגד צונאמי גבוה בהרבה מזה שכנגדו תוכננו בפועל. יש לזכור כי בפוקושימה הכורים עמדו היטב ברעידת האדמה למרות שהייתה מעל לרמה שאליה תכננו (9.1 לעומת 7.9 בסולם ריכטר). בין היתר, הופסקה באורח אוטומטי מייד הריאקציה הגרעינית (מוטות הבקרה "נפלו" כמתוכנן). כתוצאה מרעידת האדמה הייתה הפסקת חשמל טוטאלית בצפון יפן, וגם בה התחנה עמדה בכבוד רב, וזה לא טריוויאלי. דהיינו, משאבות מי הקירור אמנם חדלו מלספק קירור אך מיד נכנסו לפעולה תקינה גנראטורי דיזל, אשר פעלו כמתוכנן במשך כמה דקות והפעילו את משאבות מי הקירור באורח תקין, וגם נתון זה אינו מובן מאליו. בסופו של דבר, הגיע הצונאמי ושטף את הגנראטורים, ומשם הידרדר המצב. גובה חזית המים בצונאמי היה כ-14-15 מטר. הגנראטורים הוצבו על סוללות אשר תוכננו לצונאמי שגובהו 7.8 מטר. מהתבוננות מדוקדקת בהיסטורית הצונאמי ביפן, אנו למדים כי לפי ניהול סיכונים נכון המתכננים היו אמורים לתכנן את הגנראטורים כך שיוכלו לעמוד מול צונאמי גם בגובה כזה, משום שזה אינו מקרה נדיר ביפן. סטטיסטיקה של ההיסטוריה ביפן מגלה כי בין השנים 1802-1965 אירעו ביפן עצמה חמישה אירועי צונאמי בחזית מעל 6.5 מטר, ופעם אחת – אף בגובה של כ-15 מ' כלומר

היו גלים כה גבוהים בעבר, וגובה של 15 מטר הוא בהחלט תקרית שכנגדה היה ראוי לתכנן. המסקנה היא כי היה כאן מעין כשל תכנוני, והלקח העיקרי הוא: תשומת לב מיוחדת למה שאמור להיות מוגדר כתקריות בסיס תכנון – ואולי אף החמרות מתבקשות בנושא זה – בעיקר כאשר התוצאות של התקרית הנדונה עלולות להיות חמורות במיוחד.

לקח שני – בטיחות אינהרנטית (Inherently Safe)

חיבים לזכור כי רק מה שאין לך, לא ידלף. למרות האמירה הזו, התעשייה בכלל והתעשייה הכימית בפרט, "אוהבות" מאגרים גדולים של דלק וחומרים מסוכנים שאינם תמיד נדרשים לצורכי התהליכים היומיומיים, ויש לשאוף לצמצום עד כמה שניתן, על מנת לצמצם סיכון לתקריות. בתכנון תחנות כוח גרעיניות של הדורות החדשים, אנו שואפים, לדוגמה, לתכנן את המערכות הקריטיות באופן שימנע את התכת הדלק מסיבות פיזיקליות טהורות דהיינו – אמצעי בטיחות הנדסיים פסיביים, שאינם תלויים בחשמל, בפעילות חרום אנושית וכיו"ב. כלומר, גם אם יתרחש אובדן טוטאלי של קירור, הדלק יהיה עשוי מחומרים כאלו ובנוי כך, שגם אם יקרה הגרוע מכל, לא תושג – מסיבות פיזיקאליות – תרמודינמיות טמפרטורת ההתכה של הדלק. הקו המנחה צריך להיות שאמצעי המיגון הקריטיים, האמורים למנוע תקריות חמורות לא יהיו תלויים – ככל שאכן ניתן בהנדסה חיצונית או בנוהלי חרום כלשהם.

לקח שלישי – עיבוי מאטמים

זהו נושא קריטי, ואפילו בפקושימה, ששם האיטום לא היה טוב, עדיין עצם קיומו של האיטום מנע אסון מיידי וכבד הרבה יותר. אפילו הימצאותם של קירות הסובבים את "חלל המאטם" שלא זו בלבד שהם מהווים מחסום פיזי – ולו גם חלקי – כנגד פליטת מזהמים רדיואקטיביים לסביבה, אלא גם שעליהם עשויה להתעבות הלחות האדירה המכילה איזוטופים – כל אלו עשויים לעכב ואף למנוע חלקית לפחות יציאה של זיהום החוצה. זה בא לידי ביטוי בתכנונים מדהימים שניתן לראות כבר היום באירופה (כגון תחנות כוח EPWR עם מאטם כפול, בתכנון משותף צרפתי - פיני (מאטמים עם שתי שכבות בטון נפרדות בעוביים של כ 1.3 מ' ו 0.7 מ' !)

לקח רביעי – בריכות אחסון דלק מוקרן

בפקושימה, כמו בתחנות בארה"ב, הדלק המוקרן (ה"משומש") אוחסן בבריכות קירור הצמודות לבניין הכור ואף מצויות בתוכו (מקרה פוקושימה). זהו כמובן משגה, שכן מדובר בתוספת סיכון מיותרת. סיטואציה מוזרה זו נגרמה בין היתר משיקולים, שבמידה ומתרחשת תקלה משמעותית של התכה, ממילא הדלק המשומש בטל בששים מול כלל הזיהום. מצד שני, אם תהיה בעיה של אובדן קירור בדלק המוקרן עצמו, לפחות הוא נמצא בתוך המאטמים ויהיה קל לתקן את הבעיה אם לא תהיה מלווה בתקרית מזוירית. התקרית הוכיחה שאסטרטגיית – בקנה מידה לאומי - עדיף לרכז דלק מוקרן מכל התחנות במקום מוגן היטב אחד, כדוגמת אחסון גיאולוגי עמוק בפורמציות גיאולוגיות מתאימות במעבה האדמה ולא לפזר אותו באורח בלתי מוגן יחסית,

בתחנות הכוח עצמן. יש לציין שה"ירוקים" מנעו כל השנים פתרון גיאולוגי כזה בארה"ב, בטענה שיתכן שאינו מספיק בטוח.

לקח חמישי – פיצוץ מימן

תהליך זה לא נחשב כבעיה אקוטית בתכנונים ישנים, אולם בפוקושימה, בפועל, היה גורם משמעותי מאוד. פיצוץ מימן, שנוצר לרוב בריאקציות צירקוניום – מים (ב-1200 מ"צ) גרמו לסדקים במאטמים ואף לנזקים חמורים בדפנות בריכות הדלק המוקרן. היום מדברים על שיפור משמעותי בנושא תכנון לוכדני מימן, מה שעשוי להיות קריטי בתקריות מסוימות.

ברק טברון, אגף תכנון, פיתוח וטכנולוגיה, חברת החשמל

היבטי שילוב תג"ר במשק החשמל

הצוות בו אני חבר, לבדיקה וקידום של הקמת תחנת כוח גרעינית (תג"ר), הוקם בשנות ה-70 ובזמנו היה גדול ופעיל. כיום הצוות מונה רק שלושה מהנדסים בחצי משרה, ואנו עוסקים בעיקר בהתעדכנות במה שקורה בעולם כיום בתחום התחנות הגרעיניות.

חברת החשמל היא האחראית על אספקת החשמל במדינת ישראל, שהיא כידוע מבודדת מבחינה אנרגטית באזור. חברת החשמל מחויבת לגוון מקורות אנרגיה, על מנת להעלות את הביטחון האנרגטי, ולדאוג לעצמאות אנרגטית.

כאשר מדברים על תג"ר, חשוב לזכור כי טעינת ליבה של כור גרעיני מספיקה לתפעול מלא של שנה וחצי, ולחומר הדלק עצמו יש זמן אחסון ארוך מאוד. זה מאפשר ביטחון לאורך זמן, ואי תלות באספקת דלק מיידית. על פי הידוע כיום, מקורות האורניום בעולם צפויים להספיק ליצירת חשמל עולמית ל-60 השנים הקרובות לפחות. לאורך השנים אנו רואים יציבות מתמשכת במחירי הדלק, וממילא, בתג"ר מרכיב הדלק מהווה רק כרבע מכלל עלות היצור, מה שמבטיח שגם אם יהיו שינויים משמעותיים במחיר הדלק, לא נראה שנוי משמעותי במחיר החשמל עצמו. בנוסף, יש תמריץ סביבתי לייצור חשמל מתחנה גרעינית, אשר עשוי להגביר את היתרון הכלכלי. בזמן פעולת הכור אין פליטת מזהמים מקומיים, ואף לא גזי חממה.

חסרונותיה של תחנת הכוח הגרעינית כוללים בעיקר עלויות הקמה גבוהות. עלות הקמת התחנות הולכת ועולה (זה נכון גם עבור תחנות פחם וגז), אבל זה עשוי להשתנות ואנו צופים שתהיה אולי ירידה במחירים אם יהיה רנסנס של האנרגיה הגרעינית בעולם, ותהיה התרחבות בניה של תחנות גרעיניות.

חיסרון נוסף בהיבט הסביבתי הוא החשש מפני זיהום רדיואקטיבי במקרה של תקלה חמורה. חשוב לזכור כי בכל טכנולוגיה יש סיכון לתקלה, ומתוך היכרות עם הטכנולוגיה והכרת הסיכונים, אנו חושבים שזה סיכון סביר שניתן לקחת אותו. יש גם חששות מדלק משומש מוקרן, אולם ברור

כי מדינת ישראל תערוך חוזים הכוללים החזרה של הדלק המשומש לספק, ולא רק מסיבות סביבתיות.

חסמים אפשריים בהקמת תחנות כוח גרעיניות בישראל הם:

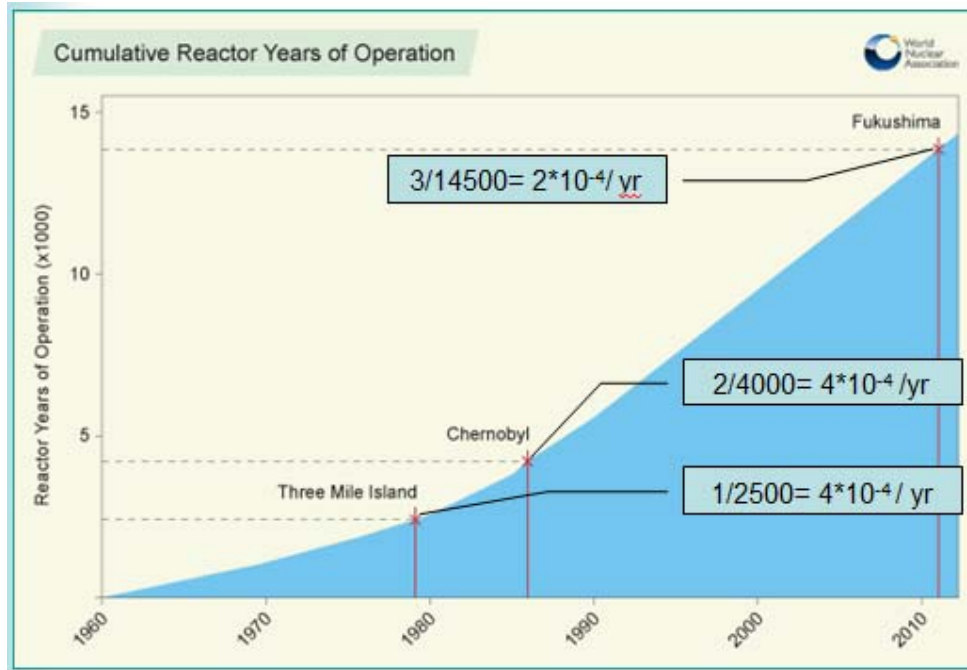
חסם מדיני – על מנת לאפשר רכישה של טכנולוגיה והקמת כור גרעיני בארץ, נדרשת חתימת ישראל על NPT (Nuclear Non-Proliferation Treaty). לעומת זאת, לאחרונה נחתם הסכם מול הודו, למרות שהיא אינה חתומה על האמנה. זה מהווה תקדים ואולי ניתן יהיה לעבור חסם זה.

חסם כלכלי – עלויות הקמה גבוהות, כאמור.

חסם טכנולוגי – בהיבט של מחסור בכוח אדם מקצועי. זוהי בעיה בעולם וכמובן גם בארץ. חסר דור חדש של מומחים בתחום זה.

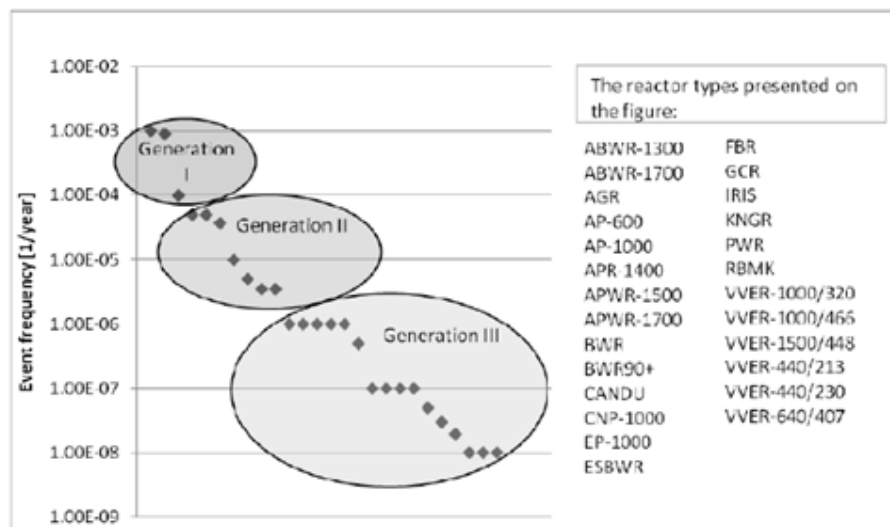
חסם משמעותי נוסף הוא נושא של קבילות ציבורית ושיקולי ביטחון, שהם בעלי משמעות רבה במדינת ישראל.

בנושא בטיחות הכורים הגרעיניים, שהוא נושא בעל השפעה רבה על חסם הקבילות הציבורית, חשוב לציין כי עד כה אירעו ברחבי העולם 3 תקלות חמורות בכורים גרעיניים, במשך תקופה של 15,000 שנות פעולה מצטברות – ומהתבוננות על הנתונים ברור כי יש מגמת שיפור. מספר ההפסקות המאולצות נמצא גם הוא במגמת שיפור (ראה איורים 1 ו-2 להלן). המשמעות מנתונים אלו היא שרמת הבטיחות עולה בהתמדה, וכורי הדור השלישי הנמצאים כיום בהקמה כוללים גם שיפורים משמעותיים מאוד, כגון מאטם כפול, אי תלות באספקת חשמל חיצונית ועוד.



איור מספר 1 – שיעור תקלות משמעותיות בתג"ר (World Nuclear Association)

Reduction in design estimates of the large release frequency between reactor generations over the past five decades



Source: IAEA (2004).

איור מספר 2 – שיעור תקלות בכורים מדורות שונים

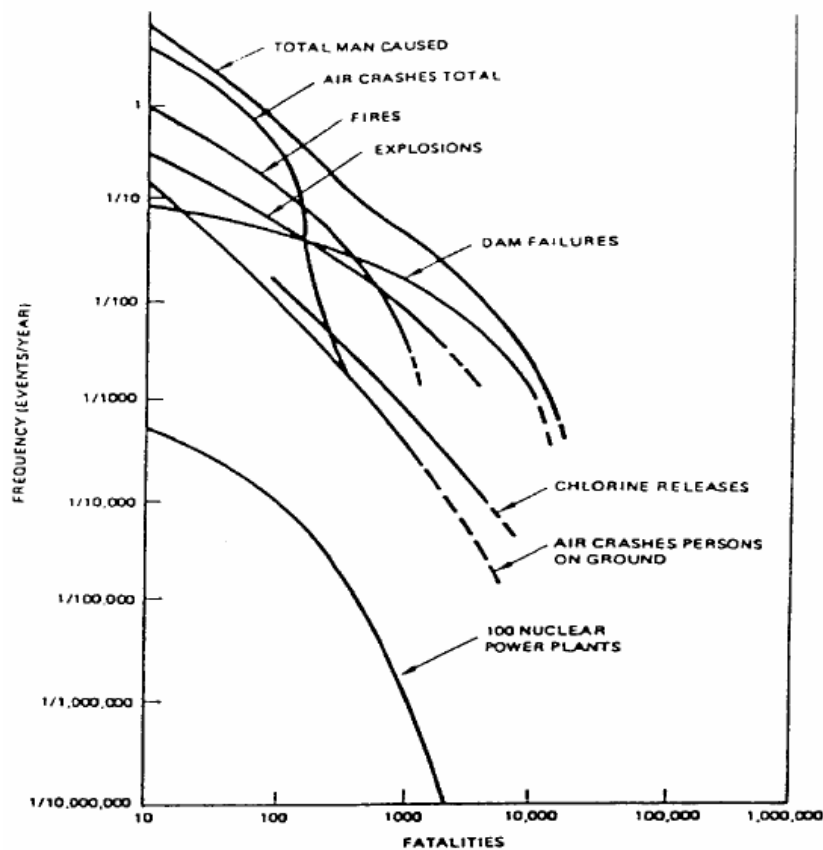
הטבלה הבאה כוללת השוואה בין תקלות בתחנות כוח שונות, כאשר אנו רואים שמספר הנפגעים בתקלות חמורות בתחנות כוח שונות גבוה הרבה יותר מאשר בתחנות גרעיניות, בהן התקלות בעלות השלכות כלכליות משמעותיות, אבל פחות נפגעים בנפש.

Summary of severe* accidents in energy chains for electricity 1969-2000

Energy chain	OECD		Non-OECD	
	Fatalities	Fatalities/TWy	Fatalities	Fatalities/TWy
Coal	2259	157	18,000	597
Natural gas	1043	85	1000	111
Hydro	14	3	30,000	10,285
Nuclear	0	0	31	48

Data from Paul Scherrer Institut, in OECD 2010. * severe = more than 5 fatalities

איור 3 מציג השוואה של רמת סיכון מתחנה גרעינית בהשוואה לאירועי סיכון אחרים, הכוללים שריפות, תאונות אווירית וכדומה. הסיכון להיפגע מתאונה בתחנת כוח גרעינית נמוך בסדרי גודל.



איור 3: רמת סיכון מתחנה גרעינית בהשוואה לאירועי סיכון אחרים

נכון הוא שמדינת ישראל נמצאת באזור עוין, אבל בכורים מדור 3 קיימות כבר תוספות הממגנות גם מפני אירועים חיצוניים. התחום הזה עבר פיתוח משמעותי ביותר, אחרי אירועי 11.9.

בעניין מציאת אתר להקמת תג"ר – נערך סקר מקיף אשר החל כבר בשנות ה-70, בפקוח צוות מומחים בינ"ל אשר בחן את כל האפשרויות, ונמצא אתר מתאים העונה לדרישות השונות באזור שיבטה בנגב.

סוגית קירור התחנה, הממוקמת באזור פנימי במדינה ולא ליד מקור מים אינו מהווה מכשול, ויש תקדימים לקירור רטוב גם ללא מקור מים סמוך בארה"ב, וכמו כן קיימת אופציה של קירור יבש. זו אופציה אפשרית מבחינה טכנולוגית אבל יקרה יותר. מבדיקה שנערכה בזמנו מול רשות המים, מדובר על כמויות מים שניתן לעמוד בהן, גם באזור הנגב.

מבחינת חח"י ניתן לסכם כי הסיכון לאוכלוסייה ולסביבה העלול להיגרם משילוב תג"ר מדור שלישי הינו נמוך יחסית, ולעומת זאת שילוב של תחנת כוח כזו יהווה תרומה משמעותית למדינה ולחיזוק הביטחון האנרגטי, ואף יחסוך עלויות. לחח"י יש אתר מתאים ואם נגיע לכור מדור 4 יפחת הסיכון עוד יותר, וגם הכלכליות תעלה.

אפרים שלאין, מנהל אגף בכיר בתשתיות, משרד הפנים

היבטי תכנון סטטוטורי וסוגיות תחנת כוח גרעינית

באיור 4 להלן מתואר המבנה הארגוני של מוסדות התכנון והבניה:



איור 4 : המבנה הארגוני של מוסדות התכנון והבניה

המועצה הארצית פועלת באמצעות וועדות משנה, ולצידה שתי וועדות ייעודיות: ולקחש"פ – הוועדה לשמירה על קרקע חקלאית; ולחו"ף - הוועדה לשמירה על הסביבה החופית.

במקביל, עובדת הוועדה לתשתיות לאומיות, אשר אינה כפופה למועצה הארצית ואינה מעבירה תכניות דרך רשויות הרישוי והרשויות המקומיות, אלא בראיה ארצית.

חשוב להבין כי מדינת ישראל מרושתת כולה בתכניות מתאר, והיא אולי המדינה הצפופה בעולם. התכניות נבנות נדבך על גבי נדבך והתוצאה היא שכל שטח המדינה למעשה ממופה ומוקצה לטובת ייעוד כלשהו. כאשר באים בבקשה להקים מתקן או מבנה חדש, ובפרט תשתיות, יש צורך להקצות קרקע לנושא ולרוב זה על חשבון הקצאה שהוגדרה לשימוש אחר, ואז יש להסיט את השימוש למקום חליפי או לבטל אותו.

כאשר מתכננים תחנת כוח, ובפרט תחנת כוח גרעינית, קימות מספר שאלות אשר יש לתת עליהן מענה לפני שמקצים מקום ומשנים ייעוד של קרקע –

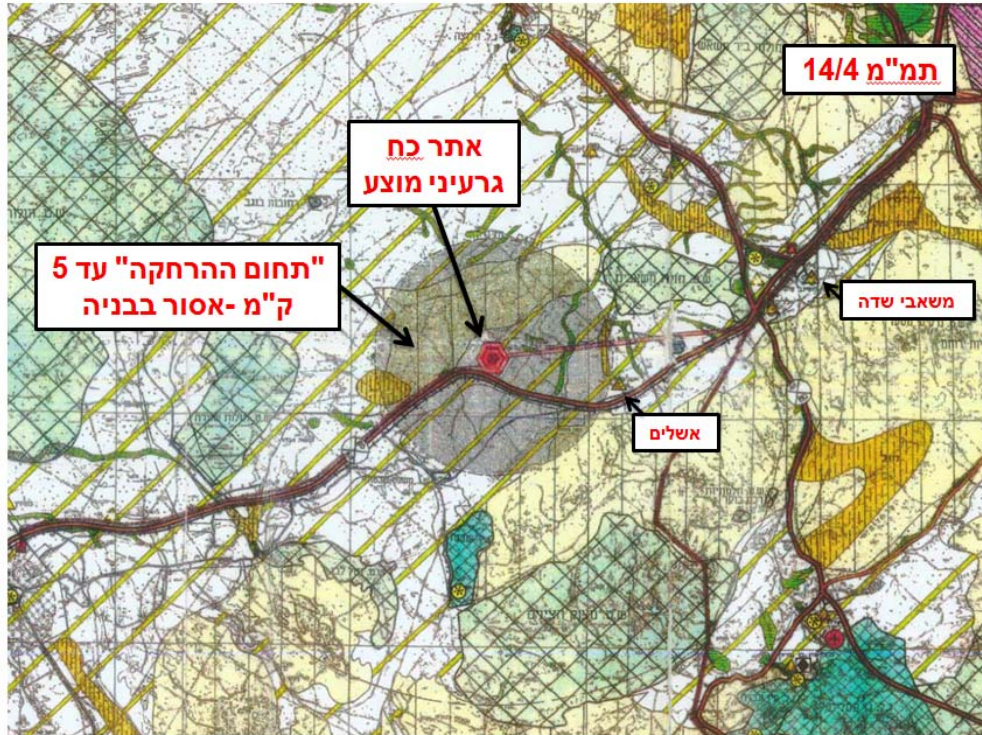
א. מדוע כור גרעיני? מה חשיבותו לסל הדלקים של מדינת ישראל ולאן הוא מתפתח? כמה חשמל נוכל להפיק ומה תהיה יעילות ניצול השטח? תחנת כוח גרעינית תספק כמות חשמל מסוימת – האם זה שווה את הוויתור על השטח? אולי כדאי יותר (מבחינת ראיית שימושי השטח) להתקין עוד שתי תחנות מחז"מ במקום?

ב. אולי עדיף להוביל מהלך של ביזור? אם אין צורך בתחנה פחמית ויש אפשרויות אחרות – מדוע לא לבנות תחנות קטנות יותר, ולאפשר בכך פינוי של שטח החוף, וכך נפתור גם את בעיית קווי הולכת החשמל. חייבים לזכור כי קווי הולכה, ובפרט אלו הנושאים מתח עליון זקוקים לשטח רב מאוד, והוא בעייתי להקצאה כבר כיום, ובמיוחד אם יהיו עוד תחנות מרוחקות.

ג. יש לבחון חלופות – מהי הטכנולוגיה המועדפת לכור יחיד? האם יש להעדיף כור אחד או כורים קטנים מרובים? חלופות לאיתור מקום – מה עדיף ובאילו אזורים בארץ? מעבר לכך, בתכנון המפורט והטכנולוגיה של התחנה ודאי יש חלופות.

כמו בכל דיון על הקמה של תשתיות, הציבור רוצה לדעת מהו הסיכון החמור ביותר הנלווה להקמה של תחנת כוח. מה יקרה עם הפסולת? מהו רדיוס הבטיחות הנדרש סביב התחנה, והאם ניתן לנצל שטח זה להקמה של תחנות כוח סולאריות? יש הכרח לבצע תסקיר השפעה על הסביבה – וזה רק המסמך. חייבים לבצע הליך הערכת השפעות סביבתיות מתמשך, כפי שנדרש – וחייבים להגדיר הליך כזה במדויק. לאחר מכן – חייבים לדאוג גם להליך בקרה. עד כה המקרה היחיד שבו בוצע הליך כזה בארץ היה במדידות הרעש של כביש 6.

איתור שטח לתחנת כוח גרעינית בתמ"מ



איור 5: איתור שטח לתחנת כוח גרעינית בתמ"מ

חברת החשמל כבר פעלה מול משרד הפנים והציעה מיקום אפשרי לתחנת כוח גרעינית. המיקום שחברת חשמל מציעה כבר מסומן במערכת התכנונית, ונשמר עבור יעוד זה.

כיום באזור יישוב בדואי באר חייל. למרות הקמת היישוב במיקום זה, השטח עדיין רשום כמיועד להקמת תחנת כוח גרעינית, וזה רק מוכיח כי כפי שאמרנו - אין שטח ריק במדינה. מקום שאינו מנוצל, עלול לשמש למשהו אחר, לא בהכרח מאושר ועל פי חוק.

ד"ר סטיליאן גלברג, המשרד להגנת הסביבה

השוואה בין פחם לגרעין

מטרתי במצגת זו היא להשוות עניינית בין תחנת כוח גרעינית לבין תחנת כוח פחמית, ולהזכיר כי למרות שהמונח "תג"ר" מהלך אימים על חלק גדול מהציבור, יש הרבה יותר תקלות בתחנות כוח שאינן גרעיניות ואותן לא מזכירים.

מבחינת התפיסה הציבורית, יש לתחנת כוח גרעינית תדמית של רמת סיכון גבוהה.

הבהרה מספר 1 – מקור אנרגיה שאינו יציב, ושאינו מספק אנרגיה לפחות 8000 שעות בשנה, אינו יכול להיות בסל בסיס לייצור חשמל.

הבהרה מספר 2 – כור גרעיני אינו פצצה גרעינית, וההשוואה ביניהם אינה רלוונטית. אין שום קשר בין השניים.

במדינת ישראל, צריכת הפחם לנפש גבוהה מאוד – ומגיעה בממוצע לכ- 600 ק"ג פחם בחודש למשפחה של 4 נפשות.

המספרים הבאים משווים בין חשיפה השנתית לקרינה הנובעת מהפעלת תחנות פחמיות לבין החשיפה העלולה להיגרם כתוצאה מהפעלת תחנות גרעיניות, בתפוקה כוללת של 5000 MWe :

תחנה פחמית	כור גרעיני	
13,000,000	125	כמות דלק (טון)
1,300,000	125	כמות פסולת (טון)*
34	כ-123	אורניום 238 בפסולת (טון)
83	אין	תוריום בפסולת (טון)
2450	24	חשיפה לקרינה man rem /y

* הפסולת של תחנת כוח פחמית מגיעה כולה ומיד לסביבה, מקצתה דרך הארובות של התחנה ורובה כאפר פחם שנכנס בתהליך הייצור של חומרי בניה. הפסולת הגרעינית מאוכסנת באופן מבוקר כך שהציבור אינו נחשף אליה.

בתקריט פוקושימה, סך החשיפה מכלל הפליטה במהלך האסון היא שוות ערך לחשיפה הנגרמת ממגורים בסמיכות לתחנת כוח פחמית במהלך 61 שנות הפעלתה. הכור בפוקושימה פעל עד לאסון במשך 32 שנה. כלומר גם אם במקום כורים גרעיניים שנפגעו היו פועלות באופן תקין תחנות כוח פחמיות התושבים היו נחשפים לקרינה מייננת ולחומרים רדיואקטיביים.

רמות הזיהום ליד תחנת כוח גרעינית נמוכות מאוד ביחס לתחנות כוח פחמיות בכל הקשור למזהמי אוויר. עבור שני סוגי התחנות, חישובי עלויות וזיהום הנובעים מהכרייה של פחם או של אורניום לא נלקחו בחשבון, שכן שניהם לא רלוונטיים לישראל.

מה היה רוצה הציבור? הציבור מעוניין להבטיח כי הכורים יהיו בטוחים בכל מצב, עם עדיפות לפיזור של כורים קטנים. רצוי מאוד שהפסולת הגרעינית לא תישאר בישראל וכמובן, שהשכנים לא יקימו כורים גרעיניים.

בפועל למעשה כל הדרישות האלו הן מובנות מאליהן. כיום קיימים כורים בטוחים בכל מצב, קטנים ושאינם דורשים תחזקה. הפסולת ממילא אינה יכולה להישאר בישראל וחייבים להשלים עם העובדה שעל מה שקורה אצל השכנים אין לנו שליטה.

יתרון נוסף הקיים בהתקנה של מספר רב של כורים קטנים הוא שניתן לפזר את מיקומם של הכורים גיאוגרפית על פני שטח המדינה, ובכך להתמודד גם עם בעיית הולכת החשמל. יש דוגמאות ברחבי העולם לכורים כאלו, עם קירור אינהרנטי, פשוטים להתקנה ושאינם דורשים כמעט תפעול, כאשר מכניסים מים מצד אחד של המתקן, ובצד השני יוצא קיטור. הכורים אינם מסחריים, אמנם, בשלב זה, אבל יש ניסוי שבוצע בהצלחה, ויש כבר הזמנות לכורים כאלו.

פרק 4: דיון

בחלק השני של הפורום התקיים דיון פתוח על המידע שהוצג ועל המסקנות האופרטיביות שיש להפיק ממנו. על מנת למקד את הדיון, הוצגו מראש מספר שאלות כדלקמן:

- מהם החסמים העומדים בפני הקמת תכנת כוח גרעינית בישראל?
- עד כמה מובהק הצורך בהקמת תחנת כוח גרעינית בישראל?
- אילו סיכונים – גם כלליים וגם מיוחדים לישראל – כרוכים בתחנת כוח גרעינית?
- מה ניתן ללמוד מן הניסיון בעולם לגבי תחנת כוח גרעינית בישראל?

דברי המשתתפים מובאים כאן בסדר בו נשמעו וללא עריכה. בפרק הבא ניתן סיכום ומוצגות מסקנות מדברים אלה.

גדעון פרנק: אחת הדוגמאות לחסמים להקמת תחנת כוח גרעינית הוא דווקא הגז הטבעי. מדינת ישראל עומדת להיות מעצמת גז. תחנות כוח המבוססות על מחז"מ (מחזור משולב) ניתן לקנות ולהקים בפשטות ובמהירות, כי טכנולוגית ייצור חשמל מגז מתפשטת במהירות בכל רחבי העולם, ותחנות אלה הולכות והופכות להיות אמינות, זולות וניתנות להקמה מהירה יחסית. הבעיה היחידה היא צנרת הגז, שבמקרה של מדינת ישראל אינה מספקת. זהו מקרה קלאסי של חוסר אחריות, כי מי שמכיר את מבנה הצנרת כיום יודע שיש מקומות שבהם פגיעה תוביל לעצירה מוחלטת של הזרימה בכל רחבי הארץ. במדינות אחרות המבססות את משק החשמל שלהן על גז יש מבנה רשת מסוג אחר לחלוטין, כאשר הרשת היא טבעתית ויש קווי גיבוי לקווים הראשיים. הבעיה היא בעיית תכנון. המקור לבעיות אלו הן בעיות רגולציה קשות, שעליהן קשה מאוד להתגבר ואלו חסמים שקשה מאוד לפתוח. תחת התנאים הללו, אין אפשרות לחשוב על מרכזיות הגז במשק החשמל שלנו ברצינות, כי אין לנו רשת. אני מסיק מכך שהחסם האמיתי הוא חוסר בגרות של מערכת הרגולציה במדינת ישראל. בלי להצביע על נקודת כשל ספציפית, אני יכול לקבוע כיום כי מערכת הרגולציה בארץ אינה מפותחת מספיק. זה החסם האמיתי. במחאה הציבורית ששטפה את מדינת ישראל בקיץ שעבר היו גם כמה קולות קטנים שדיברו על רמת השירות הממשלתי הנדרשת כדי להתקדם.

חוסר הבשלות הזו הוא הסיכון הגדול ביותר לכל מערכות התשתית. אם לא יהיה פה טיפול נמשך לקיים ימי עיון ובכל יום יגידו שאולי תהיה התקדמות עוד 20 שנה.

אני חושב שמבחינת תחנת הכוח הגרעינית עצמה, ראינו כאן הצגה הוגנת ומאוזנת. בתחנות כוח כאלו יש חיסרון אדיר שהוא מחיר הקמה גבוה מאוד, ולעומת זאת מחיר דלק אפסי. המשמעות היא שגם אם מחיר הדלק יעלה, זה כמעט שלא יבוא לידי ביטוי במחיר החשמל המיוצר. אינני מודאג ממצאי האורניום על פני כדור הארץ שכן ההיסטוריה מלמדת כי כמויות האורניום על פני כדור הארץ והמחיר נראים כמו שיני מסור – ברגע שהמחיר עולה מספיק מחפשים יותר במרץ, מוצאים מרבצים חדשים ואז המחיר יורד. בנוסף, יתרון גדול הוא שרובו של האורניום נמצא במדינות יציבות פוליטית כמו אוסטרליה או קנדה.

נכון הוא שלישראל יש בעיה פוליטית לקנות כור גרעיני, אבל בעיה פוליטית ניתן לפתור בקלות, על ידי החלטה. חשוב להבין שאמנם ראינו את המחסום הזה נפתר מול הודו, אבל ישראל אינה הודו ונמצאת במצב פוליטי שונה לחלוטין. למרות זאת, אין זה אומר שלא יפתחו חלונות של אפשרויות חלופיות. זה יכול לקרות, וצריך להישאר כל הזמן עם האצבע על הדופק בנושא הזה, שאינו תלוי בזמן כמו פיתוח טכנולוגי.

החסם האחרון עליו אני רוצה להצביע הוא יכולת הכור הגרעיני לעמוד בפני נזקי מלחמה, שכן האזור שלנו בעייתי באופן יחסי למקומות אחרים. גם אם נוצר מצב של שלום אזורי, לא ניתן לסמוך על תקופת שלום שלא תופר פתאום. העניין פה הוא מיוחד, וחשבו עליו כבר בשנות ה-70. מאז כבר דובר על תכנונים הנדסיים מיוחדים שיביאו לוודאות שהכור לא יהפוך להיות אסון סביבתי. זה כנראה יעלה את מחירו של הכור. במקרה של כורים קטנים טמונים אני מעריך שנעלה את רמת הבטיחות, ואפילו לא נראה עליה במחיר כי מלכתחילה כורים אלו מתוכננים להיות מוגנים בצורה אבסולוטית. כאשר יהיו כורים כאלו זמינים בשוק, צריך יהיה לחשוב על זה.

בעיה אחרונה – קבילות ציבורית – הבעיה היא קשה אבל הציבור מתוחכם ועשוי להפתיע את הפוליטיקאים. האסון בפוקושימה שם את הבעיה על השולחן, ומצד שני הוכיח שוב – כורים גרעיניים לא הורגים. הם מזהמים שטחים, וזה אכן קרה בצ'רנוביל ובפוקושימה (הרבה פחות), אבל בתקלה המפורסמת ב-3-מייל-איילנד לא היה זיהום כלל. זו בעיה פסיכולוגית ממדרגה ראשונה. אני צופה שהיפנים ינקטו באמצעי קיצון, אבל חשוב לזכור שכולנו חיים תחת השפעה יומיומית של קרינה; אין חיים ללא קרינה. הבעיה היא בעיה של מידתיות והיא לא פשוטה. גוף האדם סיגל לעצמו מספיק מנגנוני הגנה מפני נזקי קרינה, אבל כשאוספים אינפורמציה רפואית קלינית, מדעית ורצינית, מגלים שמתחת לרמה מסוימת של קרינה לא נגרם נזק רפואי. ברמה גבוהה מאוד – ברור שיש נזק. ברמת ביניים יש בעיקר היסטריה. כולנו חיים ברמת רקע מסוימת. ביפן אחרי האסון רמת הרקע עלתה פי 4 ואילו בפנילנד וקולורדו חיים אנשים באופן מתמיד ברקע כזה, בלי שום בעיה. אבל העניין הפסיכולוגי בעייתי מאוד. כאשר קורית תקלה, והתושבים נדרשים לחזור לבית שהייתה בו רמה 5 ועכשיו יש בו רמה 20, זה גורם לתחושות קשות גם אם לא מבוססות רפואית. במקרה של יפן הניסיון לנקות את הכל – יעלה מיליארדים, אבל אין להם ברירה כי ברור להם שאין חיים ללא הכורים הללו. אני משוכנע שבבוא העת, הקבילות הציבורית בישראל תהיה תלויה מאוד במה שקורה בימים אלו ויקרה עוד בעתיד בפוקושימה.

ד"ר אריה ונגר: אחרי מלחמת יום כיפור התקבע בצבא נוהל איפכא מסתברא. חייב להיות מישהו שיציג את העמדה המנוגדת, למרות שעמדתי האישית אינה בהכרח קיצונית לשלילה. אני רוצה לקחת תפקיד זה ולהעלות מספר נקודות מזווית ראייה אחרת.

יתרונותיו של הכור הגרעיני ברורים, אבל למרות זאת אני חושב שצריך להיות ברור שיש גם חשש, המבוסס לא רק על תחושת סיכון אלא יש גם סיכון ממשי. אני מבין שהפיצוץ של פוקושימה שונה מהירושימה ונגסקי, זו לא פצצה, אבל מצד שני כור כוח גרעיני אינו נטול סיכון לחלוטין. ההרצאה ששמענו בנוגע לניהול סיכונים היא אולי חכמה בדיעבד. קשה לדעת מהו אסון בלתי סביר ומהו אסון שיש להתכונן אליו. רק העתיד יגיד לנו אם יש תרחישים נוספים המחכים לאסון הבא, שאחריו יופקו עוד לקחים שלא נכנסו לבסיס התכנון. לעולם לא נוכל להתעלם מחשש כזה.

חשש נוסף רלוונטי לישראל הוא שקבלת החלטה על הקמת תחנת כוח גרעינית ביחד עם תגליות הגז יקטינו את תחושת הצורך בהתייעלות אנרגטית או בקידום אנרגיות מתחדשות, כאשר בתחומים אלו ממילא אין סיכוי גבוה שנעמוד ביעדי 20% ו-10% (בהתאמה) עד שנת 2020. אני חושש שאם יוחלט על הקמה של תחנת כוח גרעינית הם ירדו לחלוטין מסדר היום.

שאלה נוספת ששווה לשאול היא: האם עכשיו? אם אנו מניחים שלמדינת ישראל יש גז שיכול לספק את צרכיה עד שנת 2060 (בהנחה שלא יפנו חלק ממנו לייצוא) - מדוע עלינו לעסוק בזה עכשיו? למה לא לכוון לעוד 10 שנים או 15 שנה? אפילו החלטה אסטרטגית בנושא זה עכשיו תסכן פרויקטים של התייעלות, ואולי יש יסוד סביר להניח שבעוד מספר שנים הבטיחות תעלה, ויהיו כורים טובים יותר. ככל שאנו ממתינים יותר יהיו עוד שנות ניסיון של הפעלה של כורים חדישים ולא אנחנו נהיה שפני הניסיון. מדינת ישראל היא מדינה קטנה, ואין לנו מקום לניסיונות. אני חושש שכמו במקרים רבים במדינה, עלולים להיות עיגולי פינות בענייני בטיחות בגלל רצון לחסוך ואסור לתת לזה לקרות – תחת האיום חיצוני והגודל הפיזי הקטן של המדינה עלינו להבטיח את רמת הבטיחות הגבוהה ביותר האפשרית, ללא קשר למחיר.

בנושא הכללי של דילמת האנרגיה - יש לתת מענה למספר בעיות – ביטחון אספקה, מחיר סביר, צמצום סיכונים, צמצום פגיעה – מתכנני התשתית במדינה חייבים למצוא תמהיל דלקים שיהיה הכי פחות רע. אני משוכנע שאם מסבירים לציבור את כל הדילמות בצורה ברורה, ההכרעה בין האפשרויות השונות תהיה בסופו של יום ערכית, כשנצטרך לבחור בין ערכי כלכלה, סביבה, ביטחון אנרגטי וכדומה. בהחלטות מעין אלו למומחים אין יתרון משמעותי לעומת אדם סביר והגייוני שחשוף לכל העובדות. אני חושב שיהיה נכון יותר לייצר מנגנון של שיתוף, לא לרמה של משאל עם, אבל חייבים להסביר את הדילמות, היתרונות והחסרונות והאפשרויות העומדות בפנינו, ולייצר שיתוף והכרעה בפורומים גדולים, כך שהחלטה לא תיפול בחדרי חדרים - מה שיגרום לציבור רחב עוד יותר להיות בחשש.

ד"ר אלי שטרן: חשוב לזכור כי הפקת לקחים היא תמיד לאחר מעשה – אבל הלקחים העיקריים הם האצת תהליכי חשיבה שכבר היו לפני כן; הנושאים עלו לדיון כבר לפני שנים, והאסון רק מאיץ את הפקת הלקחים. בעיה נוספת היא הפסולת הגרעינית – ברור לכולם שאחסנה בתוך הכור אינה נכונה ואינה בטוחה, ולכן הגיעו לפתרון של הטמנה עמוקה באזורים מרוחקים. בזמנו, הארגונים הירוקים בארצות הברית מנעו המשך ההטמנה הזו, ובזה למעשה הנציחו פתרון שהוא בעייתי הרבה יותר, ולא נכון. היום חוזרים להטמנה כפתרון ביניים, שיאפשר שליפה של הפסולת וטיפול בה או הטמנתה מחדש כאשר ימצא פתרון נכון ומתאים יותר.

בנושא הרגולציה – אכן יש לנו בעיה בתחום זה, אבל כשיש אקדח מול הרקה, פתאום דברים זזים. ראו דוגמת מתקני התפלה. ברגע שהוגדרה בעיה לאומית נמצאה הדרך והרגולטורים פעלו במהירות של מנת לאפשר את הקמת המתקנים. בתוך זמן קצר מאוד קודמה גם מציאת הקרקעות וגם סוגיית הקידום הטכנולוגי.

ד"ר שלמה ולי: נושא חלקן של ההתייעלות האנרגטית והאנרגיות המתחדשות בתוך סל הדלקים העתידי של מדינת ישראל – כבר נמצא על השולחן ובעבודה כל היום במשרד התשתיות

הלאומיות. אין בליבי חשש שעיסוק בנושא התחנה הגרעינית יביא לעצירה או האטה בטיפול בתחומים אלו. אנו עוסקים בנושא הגרעין היום, בדיוק מכיוון שאנו יודעים שמהלכים מהסוג הזה לוקחים הרבה שנים, וכדאי שנתחיל לדבר על זה כבר עכשיו אם אנחנו רוצים שמשוהו יזוז במהלך השנים הבאות. יש לטפל עכשיו במכשולים הרגולטוריים כדי שכאשר תהיה הזדמנות להקמת תחנת כוח גרעינית נוכל לנצל אותה.

אני צופה כי רמת עצימות האנרגיה לנפש תלך ותעלה עם השנים משום שהתנאים על פני כדור הארץ וקצב ההתרבות של בני האדם לא מאפשרים קיום ללא צריכת אנרגיה. אפילו בתחום המזון – לא נצליח להשיג מזון ללא דשנים וחומרי הדברה. שני חומרים אלו מיוצרים על ידי תעשייה עתירת אנרגיה. בנוסף, שינוי אקלימי ועליה של מעלה אחת בלבד תקטין את יעילות התחנות הגזיות, ובנוסף אני צופה שגם צריכת החשמל למיזוג תעלה. בישראל אין ציוויליזציה בלי מיזוג אויר. ברור לכולם כי הוצאת המיטב מהאנרגיה היא שאיפה שאין לנו אפשרות להתקדם בלעדיה. בנושא אנרגיות מתחדשות – חובה עלינו לגוון את סל הדלקים – לא נוכל להישען על שום דלק בפני עצמו בלבד. אפילו אם תהיה לנו אגירה וכל האמצעים יעמדו לרשותנו – לעולם לא נוכל להגיע ליותר מאשר 35% אנרגיה מתחדשת מתוך הסל כולו. מנקודת המבט של משרד התשתיות, זו כבר רכבת שנוסעת ולא תיעצר.

מניסיוני בעבר – ההתנגדויות לכור הגרעיני בארה"ב בשנות ה-80 היו מופנות אל שיטת הבקרה על הבנייה, ולא על עצם הקמתו של הכור. ברור שכאשר יש מכרז, והמתמודדים זוכים על פי הצעת המחיר הזול ביותר, זה נותן לקבלן מוטיבציה לרמות, או לפחות לחסוך במשאבים ולעגל פינות. למרות שההתנגדות עצמה הייתה מבוססת על הרצון להביא לבקרה הדוקה על הבנייה, בפועל פורסמו התנגדויות המתארות את הפרויקט כאילו מניחים פצצה גרעינית ליד בתיים של התושבים, כאשר המתנגדים בפועל – מדענים מכובדים – רק רצו שיישמו קודם תנאים רגולטורים נאותים, ולא התנגדו להקמת הכור עצמו.

בנוגע לדאגה הביטחונית, זהו נושא שאין מה לדון בו בהרחבה, שכן ממילא אנו לא יודעים מה יהיה פה המצב הביטחוני בעוד 60 שנה של עבודת הכור.

בכורים מהדור החדש טווחי הביטחון סביב הכור, שפעם היו מוגדרים בקילומטרים, מוגדרים היום בטווחים של 800 מטר למקרה הגרוע ביותר. הלכנו דרך ארוכה, והמודעות והמעורבות הגוברת של הציבור מקובלת, ואיתה גם החשש, אבל אנו חייבים להבין שאנרגיה אינה מותרות אלא חובה קיומית.

ד"ר יעקב סבו : אני עוסק בנושא כבר קרוב ל-40 שנה, וכבר אז מדינת ישראל הייתה קרובה מאוד לרכישה והקמה של כור כוח גרעיני. הייתה כבר חתימה בראשי תיבות על הסכם להקמה של שני כורים (שיירכשו מארה"ב) בניצנים. אם זה היה קורה אז, היום לא היה דיון, זה היה מובן מאליו.

הנושא הפך לפוליטי אחרי התקלה ב 3-מיייל-אייילנד. מאז, תמיכה או אי תמיכה בכורים גרעיניים מייצגת עמדה פוליטית. ימני – בעד הקמה של כור, שמאלני – נגד.

הקבילות הציבורית היא אבן הנגף המרכזית. אם הנושא הוא פוליטי, תהיה לנו בעיה גדולה. נכון לעכשיו אין לנו דחיפות בגלל המצאות הגז, וזה יקשה מאוד להעביר את ההחלטה.

הוועדה לאנרגיה אטומית מפעילה שני כורי מחקר, כך שיש לנו ידע טכנולוגי וחשוב לשמר אותו ליום שבו כן נרצה להקים כורים. כבר היום אנו מצהירים כי כל סטודנט שילמד הנדסה גרעינית מובטחת לו עבודה כאן בארץ.

ד"ר שלמה ולד: משרד התשתיות הבטיח מלגות לסטודנטים בתחום הזה. כמה הגישו בקשה? אף אחד.

גדעון פרנק: למען הדיוק ההיסטורי, השתלשלות העניינים הייתה כזו שההודים פוצצו פצצה לצרכי שלום, כלומר ביצעו עבודות עפר על ידי פיצוץ פצצה גרעינית. מאותו רגע ואילך החליטה ארצות הברית לאסור מכירה של כורים למדינה שאינה חתומה על ה NPT. הפיצוץ ההודי הזה הוא זה שלמעשה עצר את הפרויקט.

אפשרויות קניה של כורים שקיימות כיום הן מהצרפתים, רוסים, דרום קוריאנים וקנדים. הטכנולוגיה הרוסית היא מתקדמת, לא הכי מתקדמת אבל די משביעת רצון. הם לא מוכרים מחוץ לרוסיה יותר מדי אבל בהחלט עושים מאמצי שיווק. זה יכול להצליח. אחד הכורים הראשונים שהם מכרו היה בפינלנד, והכור, שנמצא כמובן בהפעלה פינית, הוא מהטובים שיש. כנ"ל בהונגריה. מבחינה טכנולוגית – ובחומרים – הם מאוד חזקים.

ד"ר שלמה ולד: בנישת הכורים הקטנים יש לרוסים טכנולוגיה מצוינת, ובפרט בכורים שאינם מקוררים במים – הם היום בראש.

גדעון פרנק: חשוב להזכיר גם את תחום הנעת הצוללות – אלה כורים המקוררים בעופרת ובהם הרוסים כיום מתקדמים יותר מהאמריקאים.

ד"ר שלמה ולד: זהו הבסיס לכורים העתידיים של דור רביעי.

ד"ר סטיליאן גלברג: לגבי יכולת וסיכויי הקבלה של הציבור – הציבור אוהב שוויוניות, ומסיבה זו יש קושי באופן כללי עם הקמה של תשתיות. זה מתחיל אפילו בהצבה של ספסל מתחת לבית. כאשר רוצים למקם משהו שהתועלת ממנו היא נחלת הכלל, ההתנגדות היא מאוד גבוהה. דוגמא לכך ניתן לראות בהקמה, בזמן שיא, של שלוש רשתות סלולריות. עכשיו מקימים עוד שתיים. הכמויות של תשתיות הנלוות לפרויקטים כאלו הן עצומות. מרביתן הוקמו בין לילה, ללא שיתוף וגילוי נאות לציבור. בנושא הזה חסר שיח ציבורי – וחייבים להוציא את הנושא מהמגרות ולהביא לציבור את הנתונים בשקיפות. כאשר מסבירים ומונים בפני הציבור את היתרונות – הציבור מוכן לקבל ואפילו לעשות ויתורים. חשוב להבהיר כי דווקא בגלל שיש גז יש דחיפות בהקמה של תחנה נוספת מבוססת דלק שונה, כדי לגוון את הסל. אי אפשר להיות תלוי בגז לחלוטין.

גדעון פרנק: ברור שאי אפשר להפריד אנרגיה גרעינית מכלל משק האנרגיה – תמיד צריך להביא את כל האפשרויות בחשבון והן תלויות זו בזו. חייבים להבהיר שאין מדינה ללא חשמל, ושהחשמל איננו ברור מאליו. ללא חשמל – אין לנו חיים. זה כל כך חיוני, שנוטים לשכוח את זה.

כאשר בוחנים אלטרנטיבות – הנטייה היא לקפוץ מקיצוניות אחת לשנייה. חייבים לזכור כי גם אם נפעל עכשיו יעבור זמן רב עד שתהיה פה אנרגיה גרעינית. צריך להתכונן לזה.

בינתיים, אין מדינה שאני מכיר שמקיימת משק חשמל המבוסס על 80% גז. כבר היום אנחנו נשענים על יותר מ-40% גז, ובלי לשים לב נגיע ל-80% מהר מאוד. מדינה לא יכולה להתקיים על דלק אחד, אפילו אם הוא שלה, וקיים בשפע. אי הקמתה של תחנה D כתחנת פחם הוא חוסר אחריות לאומית. יש לנו הדגמות ברמה יומיומית כמעט של פיצוצים בצינור הגז, שרק מוכיחים לנו מה יכול לקרות. מדינת ישראל היא מעצמת גז, ותראו איזה התנגדויות ציבוריות אנו רואים סביב נושאים בסיסיים כגון הבאת הגז לארץ – הרי ברור שלא ניתן לאפשר כניסת גז אחת בלבד. כמות ההתנגדויות והבעיות הנערמות סביב כניסה אחת, והאמצעים הננקטים, לא מאפשרת פיתוח ואחר כך גם רוצים שיהיה חשמל זול. זו הדוגמה של התנהגות פופוליסטית ולא נכונה של הממשלה שגוררת אחריה את הציבור. אי ההחלטה בתחנה D הוא דוגמה מובהקת. התחנה לא הוקמה, אנו מתבססים על גז שזרימתו אינה קבועה ומובטחת ובינתיים אנחנו שורפים סולר בכל הטורבינות הללו. זה מזהם ועולה פי 4.

חשוב מאוד לבחון את החלופות השונות, וזה קריטי כמו גם בנושא הגרעין. יש לבחון יתרונות וחסרונות, ללמוד מה קרה בפוקושימה, להבין ולקבל את העובדה שיש רגישות בנוגע לקרינה וזה מפחיד ללא קשר למהות הסיכון. צריך ללמוד את הנתונים ולהבין מה קרה שם.

ניצול אנרגטי נכון הוא חשוב ויש רק דרך אחת לדעת לגרום להתייעלות וחיסכון – העלאת מחיר החשמל. אין פטנט אחר. בדומה לניסיון במשק המים. לארגונים הירוקים אני רוצה להזכיר כי האדם הוא חלק מהסביבה והצרכים שלו הם גם חלק מהסביבה. יתרונותיה של אנרגית הגרעין ברורים וחזקים, ולשמחתנו ניתן ללמוד מהעבר ולראות מה קורה במקרה הכי גרוע, וזה הרבה פחות גרוע מפיצוץ של סכר או קריסה של כור.

טיפול בדלק מוקרן – מכור של 1000MW יוצאים כ-25 טון דלק לשנה. אין בעיה לאחסן אותם בכל דרך שרוצים ולא צריך להגזים באמצעי הבטיחות. אנו צריכים לטפל בדלק כך שיאוחסן במצב בטוח לשלושים שנה, ואז נוכל להוציא ולטפל בו באמצעות פתרונות שיהיו אז. כאשר הדלק המוקרן מרוכז, אין בעיית אחסנה, כל זמן שמתנהלים נכון ועל פי הכללים. הטכנולוגיה קיימת, וסביר להניח שגם תשתכלל עם הזמן, ולכן אין טעם להגזים.

פרופ' גרשון גרוסמן: לגבי השיח הציבורי, ייתכן שהוא קיים במידה מסוימת אבל אולי לא כמו שהיינו רוצים. הבעיה היא שמדובר בטכנולוגיה מסובכת, ורוב האנשים אינם מבינים בה מספיק. אם יש שיח ציבורי – צריך לייצר אותו כך שמי שמבין ידבר ומי שאינו מבין – ימנע מלדבר.

ד"ר סטיליאן גלברג: חשוב להבין את המשמעויות הרפואיות האמתיות. אנשים מקבלים בקופת חולים הפניה לבדיקת CT, שנחשבת יקרה ולכן קשה לקבל אליה הפניה. במהלך בדיקת CT כלל גופי סופג הגוף קרינה ששווה לקרינה שספג מי שישב בהירושימה במרחק קילומטר וחצי ממוקד הפיצוץ. אני חושב שכאשר מסבירים בתקשורת, הציבור אינטליגנטי ויכול להבין בסופו של דבר מי הדובר, מי מקצועי יותר ומי פחות. הבעיה היא חוסר התקשורת. כאשר לא מדברים ולא

מייצרים שיח ציבורי הפרויקט כולו נתפס כמשהו סודי ולכן זה מפחיד. החברות הסלולרית עשו את אותה שגיאה – התקינו אנטנות באישון לילה – ובהסתר. כאשר מקיימים שיח ציבורי ועושים דברים לאור היום - זה נותן לציבור תחושה של ביטחון. כאשר מטפלת בנושא הממשלה – ולא חברות פרטיות – יש תחושה טובה יותר כי הציבור מאמין שיש פחות אינטרס של רווח וחיסכון, ולכן אולי יבצעו את כל הבדיקות ויעמדו בכל התקנים הנדרשים, בלי לעגל פינות. בצרפת, הרשויות המקומיות עומדות בתור ומייחלות שיקימו בשטחן כור גרעיני, כי זה מגיע עם הטבות. כאשר הדיון פתוח וכל הנתונים על השולחן, וברגע שאין תחושה של הסתרה, הנטייה שלך להתנגד יורדת.

אדי בית הזבדי: מה שקורה זה שבפועל מי שמדבר מול הציבור עלול להיות דווקא מי שלא יודע, ולא מי שידע. תופעה דומה ראינו בנורות CFL, ובדיון סביב ההשפעה הבריאותית שלהן. אנו רואים שעיקר התקשורת עוסקת בהשפעות רפואיות, שאינן רלוונטיות כלל.

גדעון פרנק: הסברה ציבורית היא בעיה כבדה ומשמעותית מאוד. אני לא יודע אם יש מומחה שיכול להסביר משמעויות וסיכונים של קרינה לציבור הרחב, ויש לחשוב על זה בצורה מובנית ומקצועית. ראשית צריך להבין ממה מפחדים, ואז לחשוב איך אומרים את האמת בצורה יעילה ביותר.

אריה ונגר: הניסיון שלנו מראה כי מי שמנסה להסביר טכנולוגיה – יכשל. אין טעם להיכנס לתוכן ההנדסי אלא יש לדבר על הדילמה הערכית. את זה הציבור יכול להבין – ואת מכלול השיקולים הללו צריך לשקלל יחד. האזרח הפשוט חייב להגיע עם עצמו לתובנה מה הוא מוכן לסכן, עבור מה, וכדי להשיג מה. זה בסיס הדיון וזו צריכה להיות ההכרעה. העולם המודרני מתאפיין בריבוי ערוצים, המידע זמין כמעט לכל אחד, ויש אנשים שמבינים ויש כאלו שלא, ולכולם יש מה להגיד. הדיון בסופו של דבר הוא הכרעה ערכית ולא טכנית. לכן זה לא שיח של מומחים.

ד"ר נעמה גזית-יערי: ההסברה הערכית היא פן אחד, אבל חייבים להסביר גם את הצד המדעי. אנו הגענו למצב שאנו לא מסבירים מדע – למרות שיש לכך חשיבות רבה בעולם מתקדם טכנולוגית. זה הכרחי כדי לקשר בין המדע לבין הציבור. אם יתקיים קשר כזה, ויהיה יותר ידע בציבור, תהיה פחות בורות. אי אפשר להשאיר את הדיון רק סביב הפן הערכי.

אפרים שלאין: אני רוצה להתייחס למה שנאמר בנוגע לתשתיות הגז. תשתית הגז תוכננה מראש ככניסה ימית, שאמורה הייתה להיות מרובת אתרים, ישירות לתחנות הכוח של חברת חשמל. התכנית הארצית היא למבנה טבעת והיא תמומש בהדרגה. חברת חשמל צרכה כמעט את כל הגז שמקורו בקידוח מרי B, ולא נראה היה שיהיו עודפים המצריכים צנרת נוספת. רק עם הגילויים האחרונים עלתה המוטיבציה להקמת צינור מזרחי לאורך כביש 6.

אם יש פרויקט המהווה דוגמה להובלה של משרד התש"ל זה נושא קידום תשתית הגז. הגז מבוסס כיום על רשת. אנו מתכננים שלא יהיה אתר אחד, אלא פיזור בכל הארץ. הגז אמור להגיע לחשמל, לתעשייה ולגורמים אחרים והפיזור הזה נותן יתרון יחסי של הגז. עלינו למצוא אתר כניסה חופי נוסף. הטעות בבחירת המיקום לאתר הראשון הייתה שהפרויקט הופקד בידי חברה

פרטית, וגם אם זה נעשה בתום לב, בעיני הציבור זה נתפס בצורה שלילית. אין ספק כי אתר אחד גדול, גרעיני, שונה מהותית מביזור של אתרים קטנים מופעלים בגז בכל הארץ.

סיכון בדומה לזה הנובע מכניסה של שתי נקודות גז, עשוי לנבוע גם מריבוי קווי הולכה של חברת החשמל, אבל הציבור אינו מודע לכך. כבר היום לא ניתן להעביר קו ברמות מנשה כדי לא לפגוע בנוף, וזו דוגמה לכך ששיקול סביבתי גובר על ביטחון האספקה. צריך להקים פורום של אנשים מקצועיים שיכולים לדבר מדעית ולהסביר ולתקשר את הנושא בצורה נכונה. עלינו לזכור כי בסיס הדיון הוא של משרד התשתיות, אשר בכוחו גם לרתום את המערכות האחרות. אפשר לקחת דוגמה שלילית מתחום ה-PV, שבו לא היינו ערוכים לתת את השירות לחדירה הטכנולוגית. אסור שניפול שוב במקום הזה. כל אחד מבעלי העניין בנושא זה צריך להתכונן כך שברגע שנרצה לקדם את זה נהיה כולנו מוכנים.

דבר נוסף לגבי הנושא הערכי – חשוב לזכור כי בנושא התחנה הפחמית – מרבית ההשגות שהיו היו בעניין הערכי. לא היו השגות על התחנה עצמה, אלא על פליטות גזי חממה ממנה. מקרה זה מוכיח כי כאשר מסבירים את המשמעויות של ביטחון אנרגטי, זה לא עובר בצורה משמעותית מספיק לציבור. מצד שני, המשרד עצמו הוא ששומט את הקרקע מתחת לרגליו, בזה שלא היה החלטי, והחליף את התכניות המקוריות לתכניות לתחנה דו-דלקית. משרד התשתיות חייב לסמן מטרה ולהוביל את הפרויקט אליה, ולהתגבר על הקשיים הפוליטיים. זהו תפקידו של המשרד הממשלתי משום שגוף עסקי או פרטי לא יוכל להתמודד עם פרויקט מסוג זה, שהתקשורת איננה אוהבת אותו.

פרופ' גרשון גרוסמן: אבקש לדבר על המצב של צרפת וגרמניה: שתיהן מדינות נאורות ומתקדמות טכנולוגית; בצרפת רוב תשתית החשמל מבוססת כורים גרעיניים, ואילו בגרמניה לא רק שלא מקימים חדשים אלא סוגרים כורים קיימים.

ד"ר סטיליאן גלברג: נפגשתי עם המקביל שלי מהמשרד לאיכות הסביבה בגרמניה, ולמדתי ממנו על הבדלים מהותיים בין גרמניה לצרפת. בצרפת יש מדיניות קבועה וקשיחה, אשר עובדים על פיה. בגרמניה אין הנחיות ומדיניות. או שיש חוק, או שאין כלום. דוגמה קלאסית – יומיים אחרי אסון פוקושימה – נחקק חוק הקובע שכל דבר שמגיע מיפן חייבים לבדוק. כלומר אם נוחת מטוס, קודם בודקים את המטוס, לפני שמורידים ממנו נוסעים. אחר כך בודקים את הנוסעים, ואת המטען. הנוהל הזה נמשך עד שמישהו נזכר לבטל את החוק.

בגרמניה כורים גרעיניים הם נושא פוליטי – יש תחרות בין המפלגות השונות מי יהיה יותר אנטי. בצרפת, לעומת זאת, ברור לכל שזה צורך חיוני והם גאים שיש להם רכבת חשמלית והכל חשמלי כי החשמל נקי. יש בגרמניה מפלגת ירוקים חזקה, שמציגה את הכורים הגרעיניים כמו פצצות גרעיניות. מבחינתם זה אותו הדבר. הממשלה שם החליטה שאין בעיה לסגור את הכורים, ולפנות לאנרגיות חלופיות. אגב, בנושא קווי הולכה הבעיה אצלנו פחות משמעותית מאשר שם מכיוון שהם הגדירו טווח של 300 מטר מקו הולכה למבנה הקרוב ביותר. בעיניהם זה לא קשור לשדה מגנטי או לסכנה, אלא עניין של נראות. יש אומרים בגרמניה שגם אם יקימו טורבינות רוח לא יצליחו להעביר את החשמל ממקום למקום בגלל המגבלה הזו. מצד שני, שלא כמו אצלנו, להם יש

שכנים לרשת החשמל. לכן מה שקורה בפועל זה שבגרמניה אמנם לא יהיו כורים גרעיניים אבל בסופו של דבר הם יקנו חשמל מצרפת. ההבדל הוא דווקא בגרמניה שכל כך מסודרים, הכל מוסדר בחוק והחוקים הם פוליטיים, הם נמצאים במצב של איסור מוחלט. בצרפת פוליטיקאים לא יתערבו.

גדעון פרנק: בצרפת יש הערצה למדע וטכנולוגיה. זה מקדם מאוד את האינטרס. זו תרבות אחרת, וידרשו לנו 200 שנה כדי להגיע למסורת הזו. כאשר יש מפלגות ירוקות שתפסו עמדות שלטון אתה מוצא החלטות שקשה מאוד להבין. באוסטריה יש כור מוכן שמעולם לא הופעל. מצד שני בארצות הברית שמו להם למטרה להיות מעצמת גז. הפקת גז מפצלי שמן מזיקה עד מאוד לסביבה, אבל עושים זאת בכל זאת. הם הציבו לעצמם יעדי זמנים קצרים מאוד, ולכן הם עושים זאת, למרות שהטכנולוגיה הקיימת כיום נחותה. זה עניין של סדרי עדיפויות.

פרק 5: סיכום והמלצות

חשיבותם של העצמאות האנרגטית והביטחון באספקת אנרגיה נובעים מן ההכרה כי חשמל הינו חובה קיומית ומהווה מרכיב מרכזי בחיי מדינה מודרנית, בייצור ובתעשייה ואפילו בתחום המזון הבסיסי. במדינת ישראל כיום משק החשמל מבוסס באופן רשמי על 40% גז ו- 60% פחם, אך כבר היום חורגים מן היחס הזה, והופכים להיות תלויים יותר ויותר בגז. השימוש בפחם לייצור חשמל מקנה ביטחון באספקה, אולי יותר מכל מקור אחר, אך כרוך בזיהום סביבתי ניכר. עתודות הגז של ישראל, בהתחשב בצריכה העתידית, יספיקו לפי תרחישים שונים עד לשנת 2050 או 2060 (וזאת בתנאי שלא ניצא גז). מקורות האנרגיה המתחדשת – שמש ורוח – בהתחשב בשטחים המוגבלים שניתן להקצות להם, יספיקו לכל היותר לייצור 75 TWh לשנה, וזאת במחיר - נכון להיום - פי שלוש עד חמש מכל אנרגיה אחרת. על סמך נתונים אלה - החל משנת 2050 חייבים לתכנן מקור אנרגיה אחר פרט לגז ואנרגיות מתחדשות, וזאת עוד לפני ההכרה בחשיבות שבמגוון המקורות. אנרגיה גרעינית היא מקור זמין ומבוסס על טכנולוגיה ידועה, ללא זיהום אוויר לסוגיו השונים. נתונים שהוצגו בפורום על ההשלכות הסביבתיות של גרעין לעומת פחם מראים יתרון ברור לגרעין.

קיימות מספר בעיות בסיסיות שיש להתגבר עליהן במסגרת היערכות לקראת הקמת תחנה גרעינית בישראל. הבעיות העיקריות קשורות ברגולציה קשה הגורמת עיכוב לשנים, ובקבילות ציבורית. גילוי מאגרי הגז ליד חופי ישראל נותן מרווח נשימה של כמה עשרות שנים לטפל בבעיות אלה. עד אז יהיה יותר ניסיון, וטכנולוגית כורים יותר מתקדמת ויותר בטיחותית.

המלצות

1. חשוב להמשיך ולקיים מעקב יסודי אחר התפתחות הטכנולוגיה הגרעינית בעולם והשלכותיה על הקמה אפשרית של תחנת כוח גרעינית בישראל: אולי כורי הדור הרביעי? מספר רב של כורים קטנים עם קירור אינהרנטי, שניתן לפזר על פני שטח המדינה, ובכך להתמודד גם עם בעיית הולכת החשמל?
2. חשוב להמשיך ולקיים מעקב אחר התפתחויות רלבנטיות במישור המדיני, כגון ההסכם שנחתם מול הודו, למרות שאינה חתומה על האמנה למניעת הפצת הנשק הגרעיני (NPT)
3. למרות חלון הזמן שנפתח עם גילויי הגז האחרונים, המאפשר דחיית ההחלטה על הקמת תחנה גרעינית למספר שנים, יש להתחיל את הטיפול בבעיות הרגולציה בהקדם, עקב פרק הזמן הארוך הנדרש לכך. רק כך יובטח כי כאשר תהיה הזדמנות – נהיה ערוכים ונוכל לנצל. כחלק מכך יש הכרח לבצע תסקיר השפעה על הסביבה ולאחר מכן – לדאוג גם להליך בקרה.
4. יש להקדיש מאמץ רב לחינוך הציבור ושקיפות כלפי הציבור לגבי יתרונותיה ובעיותיה של הטכנולוגיה הגרעינית. הציבור רוצה לדעת מה מכלול הסיכונים הנלווים להפעלה של תחנת כוח? מה יקרה עם הפסולת? חשוב להביא את הנושא לדיון ציבורי כבר עכשיו, ולהדגיש מדע לעומת מיתוס.
5. יש להכשיר כוח אדם מקצועי בתחום הגרעיני, החסר מאד היום בארץ.

פרק 6 : מקורות

1. ההתאחדות הבינלאומית לאנרגיה גרעינית – World Nuclear Association

<http://www.world-nuclear.org/info/inf17.html>

נספח 1 – תכנית פורום אנרגיה: תחנת כוח גרעינית בישראל

פתיחה	13:10-13:00
ד"ר שלמה ולד, המדען הראשי – משרד התשתיות הלאומיות	13:20-13:10
חשיבות אנרגיה גרעינית בתמהיל הדלקים העתידי של ישראל	
ד"ר אלי שטרן, מנהל המרכז להערכות סיכונים, אוניברסיטת ת"א	13:30-13:20
בטיחות תחנות כוח גרעיניות בעולם ובישראל - נקודות למחשבה בעקבות תקרית פוקושימה	
מר ברק טברון וד"ר לייב רוזניק – חברת החשמל	13:40-13:30
היבטים של שילוב תחנה גרעינית במשק האנרגיה	
מר אפרים שלאין, מנהל אגף בכיר בתשתיות, משרד הפנים	13:50-13:40
היבטי תכנון סטטוטורי וסוגיות תחנת כוח גרעינית	
ד"ר סטיליאן גלברג, המשרד להגנת הסביבה	13:50-14:00
השוואה בין פחם לגרעין	
הפסקה	14:00-14:20
דיון פתוח, תוך התמקדות בשאלות הבאות:	17:00-14:20
<ul style="list-style-type: none">מהם החסמים העומדים בפני הקמת תחנת כוח גרעינית בישראל?עד כמה מובהק הצורך בהקמת תחנת כוח גרעינית בישראל?אילו סיכונים – גם כלליים וגם מיוחדים לישראל – כרוכים בתחנת כוח גרעינית?מה ניתן ללמוד מן הניסיון בעולם לגבי תחנת כוח גרעינית בישראל?	
סיום	17:00



מוסד שמואל נאמן למחקר מתקדם במדע ומטכנולוגיה
הטכניון – מכון טכנולוגי לישראל
טל. 04-8292329, פקס 04-8231889
קרית הטכניון, חיפה 32000
www.neaman.org.il