

אנרגיה וסביבה | 11/22

תחנת כוח גרעינית בישראל

סיכום והמלצות דיון פורום אנרגיה 52

פרופ' גרשון גרוסמן
נעמה שפירא

מוסד שמואל נאמן
למחקר מדיניות לאומית





מוסד שמואל נאמן
למחקר מדיניות לאומית

תחנת כוח גרעינית בישראל

סיכום דיון והמלצות
פורום האנרגיה של מוסד שמואל נאמן
מיום 14/06/2022

פרופ' גרשון גרוסמן

נעמה שפירא

נובמבר, 2022

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 המחברת ואינן משקפות בהכרח את דעת מוסד שמואל נאמן.

רשימת משתתפי הפורום

ד"ר אזולאי אהוד – לשעבר, משרד האנרגיה ונציג ישראל לסוכנות הבין-לאומית לאנרגיה אטומית
פרופ' אילון אופירה – עמיתת מחקר בכירה, ראש תחום אנרגיה וסביבה, מוסד שמואל נאמן
פרופ' אליאס עזרא – הפקולטה להנדסת מכונות, הטכניון
מר בן יאיר משה – ראש אגף בכיר הנדסה, רשות החשמל
ד"ר גלברג סטיליאן – ראש אגף מניעת רעש וקרינה, המשרד להגנת הסביבה
פרופ' גלעד ארז – ראש היחידה להנדסה גרעינית, אוניברסיטת בן-גוריון
פרופ' גרוסמן גרשון – הפקולטה להנדסת מכונות, הטכניון, וראש פורום האנרגיה, מוסד שמואל נאמן
ד"ר דובי חן – הקריה למחקר גרעיני (קמ"ג), חבר ועד האגודה לגרעין
ד"ר ולד שלמה – לשעבר, מדען ראשי, משרד האנרגיה
פרופ' חורב שאול – המרכז לחקר מדיניות ואסטרטגיה ימית, אוניברסיטת חיפה
ד"ר טברון ברק – חברת נגה, ניהול מערכת החשמל בע"מ, חבר ועד האגודה לגרעין
ד"ר יער אילן – הקריה למחקר גרעיני (קמ"ג), נשיא אגודות הגרעין בישראל
ד"ר לונינסקי יורם – מלווה מחקר, משרד האנרגיה
ד"ר קולין אסף – הוועדה לאנרגיה אטומית
מר רביב רן – מרכז השל
ד"ר רייסין תמיר – ראש אגף אנרגיה גרעינית, יחידת המדען הראשי, משרד האנרגיה
ד"ר שטרן אלי – מנהל מרכז להערכות סיכונים, אוניברסיטת תל אביב
גב' שפירא נעמה – חוקרת בצוות אנרגיה וסביבה, מוסד שמואל נאמן

הבעת תודה

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

תוכן העניינים

3	רשימת משתתפי הפורום.....
5	תקציר מנהלים.....
7	1. הקדמה.....
8	2. רקע.....
10	3. מידע: תחנת כוח גרעינית בישראל.....
17	4. דיון.....
26	5. סיכום והמלצות.....
28	נספח 1: תוכנית פורום האנרגיה.....

תקציר מנהלים

חשמל מכורים גרעיניים מיוצר בעולם כבר מן התקופה שלאחר מלחמת העולם השנייה ובאופן מסחרי החל משנות ה-50 של המאה הקודמת. נכון לסוף שנת 2021, פועלים בעולם 437 כורי כוח (כורים לייצור חשמל) בכ-30 מדינות, בתפוקה כוללת של כ-380 ג'יגה-ואט חשמל, שהיו אחראים לייצור של כ-10% מכלל ייצור החשמל בעולם. עד כה נצברו בעולם מעל 19,000 שנות ניסיון בהפעלה של כורי כוח. כיום נבנים ומוקמים כורי הדור השלישי ושלוש וחצי, המאופיינים בשיפורים ניכרים לעומת הדור השני, בעיקר מבחינה בטיחותית, עקב לקחי התאונות הגרעיניות שהתרחשו בעבר.

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 תמהיל הדלקים של המדינה, בעקבות משבר האנרגיה של מלחמת יום הכיפורים וחרם הנפט שהוטל אז על ישראל ובעלות בריתה, נשקלה גם האפשרות של הקמת תחנת כוח גרעינית. מחויבותה של מדינת ישראל להפחתת פליטות גזי חממה, בעקבות אשרור הסכם פריז ב-2016, מציפה שוב את הרעיון של שילוב אנרגיה גרעינית בתמהיל הדלקים המקומי, אך בשלב זה רק כרעיון לבחינה, לצד רעיונות אחרים, כגון מימן וטכנולוגיות לתפיסת פחמן, ללא קביעת יעדים ממשיים.

על אף היתרונות הסביבתיים והשיפורים הבטיחותיים, עדיין מדובר על נושא מורכב וסבוך עם השלכות פוליטיות, ואתגרים טכנוניים, תפעוליים, כלכליים, מימוניים, משפטיים וציבוריים משמעותיים, בעיקר כיוון שמדובר על תחום הכרוך בהתחייבות ארוכת טווח.

לצורך גיבוש עמדה לאומית בנושא יש לבצע בחינה מעמיקה של היבטים השונים הכרוכים ברכישת, הקמת והפעלת תחנת כוח גרעינית בישראל, תוך התייחסות לתנאי הסף הנדרשים לביצוע פרויקט לאומי מסדר גודל כזה, ולקבל החלטות תוך ראייה המתכללת את כל השיקולים המפורטים להלן:

1. **היבטים פוליטיים** – יש לבצע בדיקה של התנאים הפוליטיים והגאופוליטיים באזורנו והתאמתם לניהול פרויקט לאומי רב שנים.
2. **היבטים טכניים** – יש לבצע בחינה מעמיקה של היבטים ביטחוניים, בטיחותיים ותפעוליים, תוך התייחסות לטכנולוגיות שונות וחלופות מיקום. יש לתת את הדעת לנושאים של ניהול חומרי גלם גרעיניים, דרישות הגנה למתקן, וחיבור לרשת החשמל.
3. **היבטים טכנוניים** – יש לבצע בחינה מחודשת למיקומים אפשריים לתחנת כוח גרעינית בישראל, כולל במרחב הימי.

4. **היבטים כלכליים** – יש לבחון את הכלכליות של חלופות שונות לייצור חשמל בראייה לטווח הארוך, תוך התייחסות להשקעות הנדרשות ברשת החשמל. בנוסף, מומלץ לבחון מודלים כלכליים אפשריים למימון פרויקט של הקמת תחנת כוח גרעינית, שכן נדרשת השקעה ראשונית גבוהה מאוד עם החזר השקעה ארוך.
5. **היבטים משפטיים** – יש לנתח הצורך בגוף חקיקה משמעותי שיטפל בכל הנושאים שקשורים לתחנת כוח גרעינית, כולל חקיקה שתומכת ביצירת/קביעת גוף רגולטורי והגדרת סמכויותיו.
6. **היבטים סביבתיים** – יש לבחון את הרעיון של שילוב אנרגיה גרעינית בתמהיל הדלקים ביחס לחלופות דלות פחמן אחרות, ובהן אנרגיה סולארית בדו-שימוש, תוך התייחסות להיבטים של ביזור ודרישות רשת החשמל, היבטים כלכליים, והיבטים של טיפול בפסולת לאורך ובסוף חיי הפרויקט.
7. **היבטים ציבוריים** – יש להמשיך ולהרחיב את הבחינה של קבילות ציבורית לנושא תחנת כוח גרעינית, תוך התייחסות לחלופות יישום מגוונות (ביזור, שימוש במרחב הימי ועוד), ותוך נקיטת פרקטיקות שונות לצורך גיוס תמיכה.

בנוסף, לצורך קידום הנושא של תחנת כוח גרעינית בישראל, יש להשקיע במחקר ופיתוח, ובהכשרת כוח אדם מקצועי:

- מומלץ לבצע שימוש במשאבים ובכוח האדם הקיים בארץ לחיזוק והרחבה של תוכניות להכשרת כוח אדם אקדמי מקצועי בהנדסה גרעינית. בנוסף, ראוי לגייס חוקרים ישראלים מתחום ההנדסה הגרעינית אשר משולבים במוסדות מחקר ואקדמיה בחו"ל כמנחים ומרצים לתקופות מוגבלות בארץ כדי שיעניקו מניסיונם למשתלמים חדשים.
- מומלץ להשקיע באופן מושכל את תקציבי המחקר הקיימים במשרד האנרגיה כדי לקדם הקמת מוקדי ידע אקדמיים שיתמקדו בפיתוח ושימור ידע בתחומי התכן, התפעול והבטיחות של כורי כוח גרעיניים. ראוי לשלב מוקדי ידע אלו כחלק מהפעילות האקדמית במוסד ובכך להעניק לסטודנטים ולחוקרים כלים להמשך התפתחותם המדעית בארץ.
- מומלץ להשקיע בהקמת מערכות ניסוי מתקדמות בהנדסת כורים, שהינן יקרות מטבען, בעיקר במוסדות אקדמיים (ולא במכוני מחקר מסווגים) כדי שישמשו סטודנטים, משתלמים וחוקרים מהארץ ומהעולם, ברמות שונות וללא הגבלות כלשהן.
- על משרד האנרגיה והוועדה לאנרגיה אטומית בישראל לפעול לעידוד שיתוף פעולה מרבי של מרכזי המחקר הלאומיים עם האקדמיה בארץ במטרה לפתוח את המחקר לביקורת ולפרסום בין-לאומי.

1. הקדמה

מוסד שמואל נאמן למחקר מדיניות לאומית, 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 רלוונטיות 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 ליוני 2022 באופן מקוון. השתתפו בו מומחים בתחום מהיבטיו השונים, וכן נציגים של הממסד הציבורי. המשתתפים בפורום, שנבחרו בקפידה הודות למומחיותם, מהווים, ללא ספק, קבוצה ייחודית ובעלת ידע מקצועי ראשון במעלה בתחום.

בחלקו הראשון של המפגש הציגו חלק מהמשתתפים מצגות בנושא הדיון על היבטיו השונים. מצגות המשתתפים אשר אושרו על ידם לפרסום נמצאות באתר מוסד שמואל נאמן: <http://neaman.org.il/Energy-Forum-Meetings>. בחלק השני התקיים דיון פתוח על המידע שהוצג ועל המסקנות האופרטיביות שיש להפיק ממנו. בפני משתתפי הדיון עמדו מספר שאלות, שהוכנו מראש, כמפורט בתוכנית הפורום (נספח 1).

תמצית הדיונים מסוכמת בדו"ח להלן, וכמו בדיונים הקודמים, הוא יוגש למקבלי ההחלטות במטרה להביא אל סדר היום את מכלול השיקולים, האתגרים וההזדמנויות בנושא של תחנת כוח גרעינית בישראל.

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 תמהיל הדלקים של המדינה, בעקבות משבר האנרגיה של מלחמת יום הכיפורים וחרם הנפט שהוטל אז על ישראל ובעלות בריתה, נשקלה גם האפשרות של הקמת תחנת כוח גרעינית. מחויבותה של מדינת ישראל להפחתת פליטות גזי חממה, בעקבות אשרור הסכם פריז ב-2016, מציפה שוב את הרעיון של שילוב אנרגיה גרעינית בתמהיל הדלקים המקומי, אך בשלב זה רק כרעיון לבחינה, לצד רעיונות אחרים, כגון מימן וטכנולוגיות לתפיסת פחמן, ללא קביעת יעדים ממשיים¹.

בניגוד למעבר בייצור חשמל מנפט לפחם ולגז מחצבי שהיה טבעי (אם כי לא פשוט) ליישום, מעבר לאנרגיה גרעינית מורכב בהרבה. רגישות הנושא עקב מצבה הפוליטי והגאופוליטי של ישראל, החשש מפיגועי טרור והעובדה שישראל לא חתמה על האמנה למניעת הפצת הנשק הגרעיני (Treaty on the Non-Proliferation of Nuclear Weapons – NPT) – כל אלה מקשים על קבלת החלטה להקים תחנת כוח גרעינית בישראל. בחברת החשמל פעל משנות ה-70 צוות תג"ר, שתפקידו לעקוב אחר התפתחות הטכנולוגיה הגרעינית בעולם והתאמתה למשק החשמל בישראל. במסגרת העבודה של צוות זה, נבחר אתר שנמצא מתאים (באזור שיבטה שבנגב המערבי) וקיבל את הסכמת הרישוי דאז שהוא מתאים להקמת תג"ר. אך נכון לשנת 2022, טרם התקבלה בישראל החלטה על הקמת תג"ר.

חשמל מכורים גרעיניים מיוצר בעולם כבר מן התקופה שלאחר מלחמת העולם השנייה ובאופן מסחרי החל משנות ה-50 של המאה הקודמת. נכון לסוף שנת 2021, פועלים בעולם 437 כורי כוח (כורים לייצור חשמל) בכ-30 מדינות, בתפוקה כוללת של כ-380 ג'יגה-ואט חשמל, כאשר 96 מתוכם פועלים בארה"ב ועוד 56 בצרפת, שבה אנרגיה גרעינית מהווה כ-70% מייצור החשמל². בשנת 2021 יוצרו מכורים גרעיניים 2653 טרה-ואט שעה המהווים כ-10% (2019) מכלל ייצור החשמל בעולם³. 56 כורים נוספים נמצאים כיום בשלבים שונים של הקמה ב-19 מדינות, כאשר רובם מוקמים בסין, הודו ורוסיה. איחוד האמירויות ובלרוס הן המדינות האחרונות שלראשונה הקימו תג"ר בשטחן (newcomers) וטורקיה,

¹ משרד האנרגיה (2021). מפת הדרכים למשק אנרגיה דל פחמן עד שנת 2050. https://www.gov.il/he/departments/publications/reports/energy_121021

² IAEA (2022). Nuclear Power Reactors in the World. https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/RDS-2-42_web.pdf

³ IEA (2022). Energy Statistics Data Browser. Electricity generation by source. <https://www.iea.org/data-and-statistics/data-tools/energy-statistics-data-browser?country=WORLD&fuel=Energy%20supply&indicator=ElecGenByFuel>

מצרים ובנגלדש סיימו את שלב הרכש והחלו בבנייה. הכורים מן הדור הראשון (כורי שנות ה-60) פינו מקומם לכורי הדור השני, המהווים כ-90% מן הכורים המופעלים כיום בעולם באופן מסחרי. כ-70% מכורי הכוח בעולם הם מסוג כור מים בלחץ (PWR), 95% מהם מקוררי מים, ו-99% הם כורים תרמיים. עד כה נצברו בעולם מעל 19,000 שנות ניסיון בהפעלה של כורי כוח. כיום נבנים ומוקמים כורי הדור השלישי ושלוש וחצי, המאופיינים בשיפורים ניכרים לעומת הדור השני, בעיקר מבחינה בטיחותית, עקב לקחי התאונות הגרעיניות שהתרחשו בעבר. לקראת 2030 צפויים להיכנס לפעולה כורי הדור הרביעי – הנמצאים כיום בשלבי פיתוח אחרונים, על בסיס מספר קונספטים טכנולוגיים עם שיפורים מרחיקי לכת בכלכליות, בטיחות, בהקטנת כמות הפסולת ובצמצום הסכנה של שימוש בדלק המוקרן לצרכים צבאיים.

בנוסף, פועלים כיום בעולם כ-220 כורי מחקר ביותר מ-50 מדינות למטרות שונות כגון מחקרים אקדמיים ומדעיים, הכשרה ואימון, ייצור איזוטופים רפואיים, פורנזיקה גרעינית, מניעת פרוליפרציה ותמיכה במחקר ופיתוח של טכנולוגיות גרעין חדשות. בנוסף, כורים גרעיניים משחקים תפקיד מרכזי בהנעה של כלי שיט, כגון צוללות, נושאות מטוסים ושוברות קרח, וההערכה היא כי כיום פועלים כ-160 כלי שיט המונעים על ידי כ-200 כורים⁴.

בעקבות שתי התאונות הגרעיניות החמורות – אי שלושת המיילים (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 2011 חידדה את הנושא עוד יותר, למרות שניתוח יסודי של האירועים מצביע דווקא על האיתנות של הטכנולוגיה לעומת חולשת הרגולטור וכשלים מובנים בחקיקה, בתרבות הארגונית ובמבנה שוק האנרגיה ביפן. לראיה, יפן כיום מתניעה מחדש את רוב כורי הכוח שלה (לאחר התאמות שנגזרות מלקחי פוקושימה) מתוך החלטה לשמר את הביטחון הלאומי על ידי גיוון סל מקורות האנרגיה שלה.

על רקע משבר האנרגיה באירופה, גם מדינות כמו גרמניה אשר כיוונו לתהליך של סגירת כורים גרעיניים, שוקלות כעת את צעדיהן מחדש⁵. בנוסף לכך, אנרגיית גרעין מהווה אלמנט חשוב בייצור חשמל מופחת פליטות. נושא הקבילות הציבורית, יחד עם היבטים נוספים של הטכנולוגיה והישימות שלה במדינת ישראל, יידונו בפורום זה.

⁴ World Nuclear Association (2022). Nuclear Power in the World Today. <https://www.world-nuclear.org/information-library/current-and-future-generation/nuclear-power-in-the-world-today.aspx>

⁵ <https://www.dw.com/en/germanys-love-hate-relationship-with-nuclear-power/a-62712589>

3. מידע: תחנת כוח גרעינית בישראל

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

פרופ' ארז גלעד – ראש היחידה להנדסה גרעינית, אוניברסיטת בן-גוריון
תחנת כוח גרעינית בישראל – חסמים, הזדמנויות וטכנולוגיות מתקדמות

שתי המדינות האחרונות שהקימו תחנות כוח גרעיניות בפעם הראשונה בשנים האחרונות הן איחוד האמירויות ובלארוס, והן קיבלו הרבה תמיכה מהסוכנות הבין-לאומית לאנרגיה אטומית (IAEA) ולמעשה פעלו על פי התוכנית שזו הכתיבה להן. תהליכים אלו חושפים את **האתגרים** שבהם נתקלת מדינה שרוצה להקים תחנת כוח גרעינית בפעם הראשונה. מדינה נדרשת לגבש עמדה לאומית ולקבל החלטות בנושא. זה נושא מורכב וסבוך עם השלכות פוליטיות, כאשר האתגר המרכזי בו שהוא כולל **התחייבות ארוכת טווח**. בנוסף, במדינות דמוקרטיות מאתגר לגייס את **דעת הקהל** לטובת הנושא. ישנם גם אתגרים חוקיים – צריך לייצר **גוף חקיקה** משמעותי שיטפל בכל הנושאים שקשורים לתחנת כוח גרעינית, כולל חקיקה שתומכת ב**גוף רגולטורי** וקובעת את סמכויותיו. כמו כן, חשוב מאוד לטפל בנושאים של **בטיחות וביטחון**, וזה גם תורם לביסוס דעת קהל חיובית. **מימון** פרויקט של תחנת כוח גרעינית גם הוא מאתגר, שכן נדרשת השקעה ראשונית מאוד גבוהה, והחזר ההשקעה הוא בדרך כלל רק לאחר 10-15 שנה – מודל כלכלי לא טריוויאלי לחלוטין. כמו כן נדרשת השקעה בפיתוח **משאבי אנוש** וכוח אדם מקצועי, התייחסות ל**בניהול חומרי גלם** גרעיניים, לפני ואחרי ההקרנה, ול**פסולת גרעינית**.

השאלות שאיתן מדינה צריכה להתמודד אם היא רוצה להקים כוח גרעיני בפעם הראשונה הן – איך בכלל מתחילים את התהליך המורכב? איך מגייסים תמיכה ציבורית? איך ניתן לדעת אם יש ברשותנו כוח אדם מתאים למשימה (מהנדסים, טכנאים, משפטנים, אנשי רפואה)? איך משיגים מימון? איך מטפלים בפסולת הגרעינית? איך מוצאים אתר להקמת תחנת כוח גרעינית? כמה התחנה תהיה בטוחה, והאם יש ביכולתנו לטפל בתקלות, אם יקרו? איך מפתחים ספקים ומפעילים לתחנה? איך מתאימים את התשתית לתחנה כזאת? איך מוצאים ואיך מייצרים כוח אדם מתאים?

הסוכנות הבין-לאומית לאנרגיה אטומית מגדירה 19 תחומים שבהם כל מדינה שמקימה תחנת כוח גרעינית בפעם הראשונה תתקל באתגרים מהותיים. מעבר למה שהוזכר לעיל, יש למשל גם התייחסות לשינויים הנדרשים כדי לשלב תחנת כוח גרעינית ברשת החשמל המקומית.

באופן כללי, מדינה שמחליטה להיכנס לתהליך צריכה לפתח מסוגלות או יכולת (competence building), והרעיון הוא שמדינה צריכה לפתח את הממשל שלה, את כל הארגונים מסביב (למשל, תעשייה ואוניברסיטאות), וכן אינדיבידואלים (מהנדסים, טכנאים וכדומה), כדי שתהיה להם את היכולת לתחזק תחנת כוח גרעינית בצורה בטוחה ובת-קיימה.

באחריות הממשל, גם בתחילת הדרך וגם בהמשך, נמצא הנושא של טיפול בפסולת גרעינית, דלק מוקרן ומעורבות התעשייה בנושאים אלו. ובנוסף, הנושא של מסגרת חקיקתית, מימון הגופים שעוזרים בתכנון ראשוני ומימון הרגולטור, וכן מעורבות ותכנון הנושא של כוח אדם מומחה.

תמיכה ציבורית מהווה מרכיב חיוני להצלחה של תחנות כוח גרעיניות במדינות דמוקרטיות, ומדינות כגון גרמניה ודרום קוריאה החליטו לסגת משימוש בחשמל גרעיני כתוצאה מהחלטות פוליטיות ודעת קהל. תמיכה ציבורית דורשת למעשה קונצנזוס רחב בספקטרום הפוליטי, נדרש חיבור של הקהילה הטכנולוגית עם אנשי ממשל, פוליטיקאים ומחוקקים, ונדרשת תקשורת טובה עם הציבור. מדיניות ברורה וקבלת החלטות שקופה יכולות לסייע לקבלת תמיכה ציבורית.

רגולטור עצמאי ומקצועי, שעובד לטובת הציבור, בצורה שקופה ותוך זמינות לציבור, הוא תנאי הכרחי להצלחה של תוכנית אזרחית להפקת חשמל גרעיני. דוגמאות מהפעילות של הרגולטור האמריקאי כוללות: אסיפות ציבוריות, אתר אינטרנט ייעודי, פעילות במדיה חברתית, כנסים, ועוד – פעילויות שהרגולטור עושה על מנת להגביר את המקצועיות, השקיפות והחיבור לציבור, ואת אמון הציבור בפעולותיו.

תחום משאבי אנוש מהווה אתגר משמעותי, במיוחד בפעם הראשונה שמקימים תחנה גרעינית – איך להכשיר כוח אדם ולשמר את רמתו המקצועית. יש לאתר את המקצועות והכישורים הנדרשים בשביל פרויקט כזה, הן בשלב ההקמה והן בשלב התפעול, ולבנות תוכנית שתבטיח את ההכשרות המתאימות. כמו כן, נדרש תיאום בין הממשל, המוסדות להשכלה גבוהה, מוסדות מו"פ, תעשייה וכדומה.

ישנם מספר שלבים המוגדרים על ידי הסוכנות הבין-לאומית לאנרגיה אטומית לצורך התחלת פרויקט של הקמת תחנת כוח גרעינית. מדינת ישראל צריכה להשתמש בהנחיות האלה, כאשר בכל שלב יש לבחון את הייחודיות של ישראל ולייצר פתרון ייעודי הולם; אך במה שמשותף עם מדינות אחרות, צריך וכדאי ללמוד מהניסיון שלהן. ראוי לציין כי האחראית הראשית והבלעדית על בטיחות התג"ר לאורך כל תקופת בנייתו, הפעלתו וסגירתו היא המדינה בה היא מוקמת – היינו מדינת ישראל.

ד"ר שלמה ולד – לשעבר, המדען הראשי במשרד האנרגיה

האם כורים מודולריים קטנים יכולים להיחשב כמקור בר-קיימה בחזון האנרגיה הירוקה הישראלית העתידית?

חלק מהנושאים שפרופ' גלעד הזכיר כבר טופלו ונמצאים בשלבים מתקדמים. בשנת 2011 התקבלה הצעת מחליטים בנושא שימור היכולת של ישראל להקים אנרגיה גרעינית בעתיד, ולכן גם הוקם, בתוך לשכת המדען הראשי של משרד האנרגיה, אגף מיוחד שנועד לפתח את היכולת הזאת. האגף כינס ועדה של כל בעלי העניין בישראל – משרדי האוצר והגנת הסביבה, חברת חשמל, הוועדה לאנרגיה אטומית, וגופים אזרחיים. הוועדה הוציאה דו"ח (גרסתו המעודכנת ביותר אושרה ב-2013) שקבע למעשה את ההתנהלות של האגף הייעודי.

לטעמי, הדיון האם רוצים אנרגיה גרעינית כבר הוכרע, אך אני רוצה להצביע על שלוש סוגיות שיש לתת עליהן את הדעת: התמיכה הציבורית בנושא; המגבלות החלות על ישראל ברכישת חומרים וציוד בשל אי החתימה על האמנה למניעת הפצת נשק גרעיני; ותפיסת ההפעלה של רשתות חשמל מודרניות אשר אינה מבוססת עוד על העדפה לגודל, אלא על ביזור ורשתות חכמות.

מבין כל האפשרויות להקמה של תחנת כוח גרעינית בישראל, האפשרות שנותנת את המענה הטוב ביותר לסוגיות שהוזכרו לעיל הינה כורים מודולריים קטנים (Small Modular Reactors – SMR's). כורים אלו יכולים להיחשב כאנרגיה ירוקה, מה שיתרום מאוד לנושא של תמיכה ציבורית, והמאפיינים שלהם מאפשרים להתגבר גם על מגבלות האמנה למניעת הפצת נשק גרעיני, וגם על הסוגיה של מיקום הכורים.

חזון האנרגיה הירוקה מכוון לכך שכל שרשרת האספקה, ממקורות האנרגיה הראשוניים ועד לשימוש הסופי על ידי הצרכן, היא בת-קיימה, כלומר, פליטה מינימלית של גזי חממה, ופגיעה מינימלית בבריאות המעורבים (ללא פליטת חומרים מזהמים ורעילים), טביעת רגל סביבתית מינימלית, מניעת התדלדלות משאבי טבע חיוניים, כולל עפרות נדירות, ושימור שירותי המערכת האקולוגית להווה ולדורות הבאים.

האם אנרגיה גרעינית יכולה להיחשב כאנרגיה ירוקה? אנרגיה גרעינית לא עונה לאף אחד מן הקריטריונים באופן מלא – אמנם בשלבי הפקת החשמל מתקיים אפס פליטת גזי חממה, אך בזמן כריית חומרי הגלם, כגון אורניום, לא ניתן כיום להבטיח איפוס כזה. עבודה בכור גרעיני לא מהווה פגיעה בריאותית, זהו מקום נקי מאוד שלא נופל מאתרים של אנרגיה מתחדשת, אך בשלב הפקת הדלק, כריית האורניום והטיפול בפסולות לא ניתן להבטיח אפס פגיעה בריאותית. כך גם לגבי טביעת הרגל הסביבתית ומשאבי הטבע הנדרשים – למרות שאין מחסור בחומרי גלם למשך אלפי שנים קדימה, לא ניתן לייחס לכורים גרעיניים אפס פגיעה. ישנה אי הסכמה לגבי ההערכה הכמותית של הפגיעה הצפויה ולכן גם אי הסכמה לגבי מעמד האנרגיה הגרעינית כאנרגיה ירוקה. לטעמי, זהו לא מחסום אמיתי כי

ניתן לשכנע, לפחות את רוב הציבור, שאנרגיה גרעינית, שמוקמת ומופעלת בצורה נכונה, יכולה להיות פתרון סביבתי טוב מאוד, שיכול להשלים את הנושא של אנרגיות מתחדשות. האיחוד האירופי, החליט השנה (2022) כי אנרגיה גרעינית וגז מחצבים הינם חשובים להשגת יעדי האקלים והסביבה, ויסייעו בתהליך המעבר מדלקים מאובנים מוצקים ונוזליים, ולפיכך הם נכללים ברשימת הפעילויות הכלכליות הזכות להטבות מס כהשקעות מקיימות, בדומה לאנרגיות מתחדשות⁶.

נושא הבטיחות – חילופי הדורות של כורים גרעיניים מסתמכים על הגדרות הבטיחות של הכורים. כל התאונות הגדולות שקרו (אי שלושת המיילים, צ'רנוביל ופוקושימה) היו בכורים מדור 2 לכל היותר. כל הכורים שבונים ומפעילים כיום הם מדור 3 ו-3.5, וברקע נמצאים כורי דור 4. בדור 2 הסתמכו בעיקר על הגנה מפני סיכונים הסתברותיים, אך בדורות 3 ו-4 הכניסו הרבה מבחני עקה (stress tests) שנדרשים לעמוד בהם, ומבחינים אלו הם משני כללי משחק מבחינת בטיחות, ולכן אין מה להשוות את הכורים החדשים לכורים שהיו מעורבים בתאונות בעבר. כורי דור 4 כבר בנויים בפילוסופיה של עמידות עקרונית מפני תקלות, כלומר, המבנה ההנדסי של הכור מבטיח שלא יהיה כשל מערכתי בכור כתוצאה מכל תאונה שהיא. גם הבקרה בכורים אלו היא פאסיבית, כלומר, בני אדם לא יכולים לגרום בהתערבות שלהם לתקלה גרעינית.

בטכנולוגיות של כורי דור 4 יש גם שיפור ה**יעילות** – גם מבחינת מיצוי הדלק הגרעיני (כורים מהירים-דוגרים), וכן השימוש בנוזל הקירור ובמעברי החום, מאפשרים להגיע לטמפרטורות הרבה יותר גבוהות מאשר בכורי אורניום מועשר ומים בלחץ. המשמעות היא שכור קטן מאפשר זמני הפעלה וכיבוי קצרים, שימושים משניים חכמים, ושילוב ברשת חכמה.

מאפיינים – כורים קטנים מיוצרים מראש במפעל מרכזי ומסופקים ללקוח לאתר ההפעלה כשהם מוכנים לשימוש. הם יכולים לספק היקף קטן של מגה-ואט מותקן (ממספר מגה-ואטים ועד 300 מגה-ואט), מה שאידיאלי לישראל – ניתן להקים אותם בבסיסים צבאיים, להטמין אותם בעומק של 100 מטר, וכמעט לשכוח מהם, עד שצריך להחליף את הדלק. הכורים כוללים בתוכם את כל הדלק וכל הפסולת למשך מספר שנים. זה גם עוזר להתגבר על מגבלות האמנה למניעת הפצת נשק גרעיני – ניתן להגדיר את הכור כאקס-טריטוריאלי למקום שהוא נמצא, הדלק ניתן ומוחזר ליצרן, כך שאין נגיעה למחזור הדלק. ניתן לעבוד עם הסוכנות הבין-לאומית לאנרגיה אטומית על יצירת טווחי בטיחות שהינם ייעודיים לכורים מסוג זה – כורים כאלה ניתן לשים יחסית קרוב לאזורי מגורים, כאשר הם בתוך מחנה צבאי סגור המוגן פיזית. בכורים מדור 4 גם אם תהיה תקלה או פגיעה פיזית כתוצאה מחבלה לא ייגרם אסון גדול.

⁶ https://ec.europa.eu/info/publications/220202-sustainable-finance-taxonomy-complementary-climate-delegated-act_en

יתרונות לכורים מודולריים קטנים: גודל קטן יחסית למקורות תרמיים אחרים; **השקעה הונית** יחסית **נמוכה**; יכולת הצבה **במגוון אתרים**; תכונות **בטיחות** משופרות, יתרון בהקניית **ביטחון פיזי** למערכת; יכולת ניצול **קו-גנרציה** (ייצור משולב של חשמל וחום); **פשטות** הפעלה ותחזוקה (כמעט אוטומטי); **עקיבה אחר העומס** – על ידי העברת אנרגיה לשירותים משניים ולפתרונות אי-חרטה, כגון התפלה, אגירה, ייצור מימן ועוד; **אצירת הדלק והפסולת בתוך הכור** למשך כל זמן הפעולה – אספקת הדלק, הטיפול והפסולת על ידי היצרן, באתרו המרכזי; **אפשרות להתגברות על מגבלות האמנה למניעת הפצת נשק גרעיני**.

בשנים האחרונות מספר כורים גרעיניים קטנים קיבלו הרשאה מכל מיני מוסדות בארה"ב, קנדה, רוסיה (שם כבר יש כור קטן שעובד בים הארקטי), דרום קוריאה וסין. לעומת זאת, גרמניה שהייתה שחקנית ראשית בתחום לא נמצאת בין השחקנים הנוכחיים.

דוגמה – כור גרעיני קטן של 225 מגה-ואט מותקן תופס 60 דונם בלבד, בעוד שכדי לספק את אותה אנרגיה באמצעות אנרגיה סולארית נדרש שטח של 97 אלף דונם, ובאמצעות אנרגיית רוח נדרש שטח של 240 אלף דונם. דוגמה נוספת היא לכור גרעיני קטן שנועד להיות בתחתית הים – ניתן לשים אותו בתחומי המים הטריטוריאליים של ישראל.

בניתוח כלכלי של כור גרעיני קטן ניתן להגיע למחיר של 55 דולר למגה-ואט-שעה (Levelized Cost of Electricity – LCOE), שזה מחיר נמוך ממחיר הפקת חשמל מגז טבעי ומתחרה באנרגיה סולארית אם כוללים את הנושא של אגירה. מדובר על כורים שמתוכננים ל-60 שנות עבודה, עם אפשרות הפעלה ב-99.95% מהזמן בשנה – אין לזה מתחרים בטכנולוגיות אחרות. יש כיום תכנונים של 70 כורים גרעיניים קטנים מסחריים, שצפויים להתחיל לפעול החל מ-2027. לטעמי, לשם צריך לכוון גם במדינת ישראל בעתיד.

ד"ר אילן יער – הקריה למחקר גרעיני (קמ"ג), נשיא אגודות הגרעין בישראל אנרגיה גרעינית במשק האנרגיה העתידי בישראל

ביטחון אנרגטי משמעותו לפי הסוכנות הבין-לאומית לאנרגיה (IEA): "זמינות ללא הפרעה של אנרגיה במחיר סביר לכל חלקי האוכלוסייה"⁷. כדי לבסס את היעד הזה במשק האנרגיה יש להתבסס על מקורות אנרגיה מגוונים ומאוזנים, מאגרי דלקים לשימוש בשעת חירום, שוק אנרגיה תחרותי, וקישור לרשת החשמל של מדינות אחרות.

תמהיל הייצור ב-OECD מתאפיין בגיוון רב – גז טבעי מהווה כרבע מהייצור ולצידו קיים ייצור באמצעות פחם (כ-30%), גרעין (כ-20%), תחנות כוח הידרואלקטריות ואנרגיות מתחדשות, כגון רוח וסולארי (כ-25%). בישראל לעומת זאת, תמהיל מקורות האנרגיה לייצור חשמל⁸, בשנת 2021, הינו 69% גז טבעי, 23% פחם ו-8% אנרגיות מתחדשות – מרוח יש הספק קטן מאוד משיקולים של חיל אוויר ושמירה על ציפורים, הספק מועט מבימוסה, ועיקר ההספק מגיע מאנרגיה סולארית (98% מהספק האנרגיות המתחדשות), שמהווה כ-17% מההספק המותקן, אך כאמור רק כ-8% מהייצור בפועל, בשל הזמינות החלקית של מקור אנרגיה זה (רק כ-20-30% בשנה). בשנת 2020 התקבלה החלטת ממשלה 465 בעניין קידום אנרגיה מתחדשת במשק החשמל⁹ ובה עודכנו יעדי ייצור החשמל באנרגיות המתחדשות ל-30% בשנת 2030, עם יעד ביניים של 20% בשנת 2025. כאמור, אנחנו מאוד רחוקים מיעד זה, וגז טבעי יהיה המקור המרכזי לייצור חשמל בישראל בעשרות השנים הבאות. בישראל, אין מקורות אנרגיה מתחדשים כמו כוח הידרואלקטרי או גרעיני לצורך ייצור חשמל לעומס הבסיס (base load) והיכולת להגברת הגיוון בשוק האנרגיה הישראלי היא מוגבלת. ניתן לבנות עוד תחנות המבוססות על אנרגיה סולארית, וזה אכן קורה, אך כדי שניתן יהיה לשלב אנרגיה סולארית כעומס בסיס חייבים להקים מערכת אגירת אנרגיה יעילה בעלת קיבולת גבוהה ליחידת שטח; ניתן לפתח מקורות חדשים, כגון אנרגיית גלים, ובהחלט צריך לעודד ולתמוך ברעיונות כאלה; וניתן לבנות תחנות כוח גרעיניות, לטעמי זה יכול לקרות לקראת 2050 ולהתבסס על כורים מדור 4.

מבחינת **הביטחון האנרגטי** בישראל – כאמור, מרבית ייצור החשמל מתבסס על גז, שמסופק דרך שלושה צינורות ומספר מועט של אסדות הפקה, לכן מדובר על משק פגיע. כמו כן, יש מלאי מוגבל של גז טבעי ופחם לשעת חירום, שגם דורש נפחי אחסון גדולים. בנוסף, ישראל היא אי אנרגטי, שכן רשת החשמל אינה מחוברת לשום מדינה אחרת; זה מצב מאוד חריג בעולם, ואולי ניתן לנצל את הסכמי אברהם כדי לפעול לאיזון צריכת האנרגיה באמצעות חיבור כזה. תחנות כוח סולאריות שממוקמות

⁷ <https://www.iea.org/topics/energy-security>

⁸ <https://www.gov.il/he/departments/general/dochmeshek>

⁹ https://www.gov.il/he/departments/policies/dec465_2020

מערכ הסעודית ועד למרוקו יכולות לספק חשמל במשך 17-16 שעות ביממה, מה שמאפשר שילוב טוב יותר של אנרגיית השמש בתמהיל הייצור.

דוגמאות לתחנות כוח גרעיניות מהעולם – כורים גדולים עם הספק של מעל אלף מגה-ואט חשמל, מדור 3-3.5 מוקמים בארה"ב, סין, קוריאה ואיחוד האמירויות. כורים קטנים, שד"ר ולד הרחיב עליהם בהרצאתו, בהם ניתן לשלב באותו אתר מספר יחידות להפקת חשמל בהיקף משמעותי יותר של כ-300 מגה-ואט. כיוון שתהליך הקמת כור אורך כ-30 שנה, כורי דור 4 בטכנולוגיות שונות הם אופציה מאוד מעניינת, שכן סביר מאוד להניח שעד לשנת 2050 הם יהיו חלק מתמהיל הכורים בעולם. כורים אלה מאופיינים ביעילות ייצור חשמל גבוהה; יצירה ולכידה של חום לשימוש ביישומים תרמיים אחרים, כגון, ייצור מימן; בטיחות מובנית – בזמן תקלה הכור מכבה את עצמו ואין סכנה של פליטת חומרים רדיואקטיביים לסביבה; ונפח מופחת של פסולת רדיואקטיבית. היעילות והבטיחות המובנית של כורים אלו תוכל להוביל לעתיד בטוח יותר באנרגיה גרעינית.

היתרונות העיקריים של תחנות כוח גרעיניות – זמינות גבוהה של אספקת חשמל; צפיפות אנרגיה גדולה ליחידת שטח; ביטחון אנרגטי (ניתן לאחסן דלק גרעיני לשנים רבות בנפח קטן); דלק לא פוסילי, ללא זיהום סביבתי מפעולת התחנה. **החסרונות** המרכזיים – סכנה לסביבה במקרה של תקלה משמעותית במתקן (רוב התקלות יכולות להיות מטופלות בתוך המתקן עצמו); צורך לאחסן דלק גרעיני מוקרן בסיום מחזורי ההקרנה (פחות בעייתי אם הדלק מוחזר למדינה שייצרה אותו).

הסוכנות הבין-לאומית לאנרגיה אטומית מציגה מפת דרכים לבניית כור כוח ראשון במדינה – בשלב הראשון נדרשים לקבל החלטת ממשלה להקמת כור גרעיני; בשלב הבא, נדרשים לאתר מיקום להקמת התג"ר, לבחון ולאשר אותו, להקים מסגרת רגולטורית (גוף רישוי לתג"ר), ולקבל החלטות נוספות לקידום הנושא. אנחנו יכולים לפעול בשלב הזה, בלי שום קשר לסוג הכור שישמש בהמשך, בהשקעה מינימלית של משאבים (אנרגיה וכסף), כאשר היתרון הוא בעצם ההתקרבות וקיצור הזמנים להגעה לשלב השלישי שכולל את הבנייה וההפעלה של תחנת כוח גרעינית.

4. דיון

לאחר מצגות המשתתפים התקיים דיון פתוח על המידע שהוצג, ועל המסקנות האופרטיביות שיש להפיק ממנו. הדיון התמקד בשאלות:

- 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?
- איזה סוג תחנת כוח גרעינית (טכנולוגיה ותכן) מתאים לישראל לאור תמונת החסמים, ההזדמנויות והאיזמים?
- כיצד משתלב רעיון הגרעין עם רעיונות אחרים לגיוון מקורות האנרגיה בישראל (מנהרת הימים, חיבור כבל חשמל ימי לאירופה)?

דברי המשתתפים מובאים כאן בסדר בו נשמעו וללא עריכה, לאחר שעברו ביקורת על ידי אומריהם.

פרופ' עזרא אליאס: לפני כ-50 שנה נדונה בישראל בגלוי האפשרות לרכוש כור גרעיני לייצור חשמל. בשנות ה-80 אף הושקעו משאבים רבים לאישור אתר מתאים, לפיתוח קשרים עם צרפת, גרמניה וארה"ב ולהכשרת כוח אדם מקומי שיוכל לקדם את המשימה. בשנת 2007 עלה הנושא שוב לזמן קצר לחדשות ומאז, כנהוג במחזורינו, הידלדלו המשאבים, מרבית כוח האדם שהוכשר פנה לדרכו והתוכנית הדרמטית הפכה ל"משאלת לב" של מעטים.

החידושים האחרונים בטכנולוגיית האנרגיה והמודעות הגוברת להשפעה השלילית על הסביבה של שימוש בדלק פוסילי מהווים כיום הזדמנות לדיון מחודש בצורך להקמת תחנה גרעינית בישראל. מרווח הזמן שהוענק לנו עם גילוי מאגרי הגז בחופי הארץ מאפשר דיון ללא לחצים כלכליים דחופים. דיון על אנרגיה גרעינית לצורכי שלום ראוי שייניב המלצה באם להותיר את המצב כפי שהוא או לפעול בצורה מושכלת לממש את "משאלת הלב" לכדי פרויקט לאומי.

לאחרונה, נטלה על עצמה מהסוכנות הבין-לאומית לאנרגיה אטומית בווינה לנסח נוהל מקיף שיאפשר למקבלי ההחלטות במדינות המתפתחות לקבל החלטה מושכלת לפני שייכנסו לפרויקט גרעיני. פרופ' ארז גלעד הציג בצורה תמציתית את עיקרי ההנחיות למדינות דומות לישראל. על סמך ניסיון שנצבר קובעת מהסוכנות הבין-לאומית לאנרגיה אטומית שידרשו 1-3 שנים כדי לעבור ממצב של "משאלת לב" בו נמצאת ישראל כיום למצב של מדינה המתחייבת לפתח אנרגיה גרעינית לצורכי שלום. כמי שמאמין שאנרגיה גרעינית תשמש בעתיד לייצור חשמל בארץ, אני ממליץ להתמקד בשנים הקרובות

בצעדים שיקדמו אותנו ליום בו תוכל ישראל להכריז על מוכנותה לשילוב תחנה גרעינית בסל האנרגיה המקומי.

כדאי לציין, שהסתמכות על יעצי חוץ (כפי שנעשה למשל בסעודיה) לא תוכל להבטיח לאורך זמן קיום פרויקט גרעיני בארץ. יהיו אלה המדענים המקומיים שיאלצו לספק לציבור ולמקבלי ההחלטות תשובות ברורות במגוון נושאים טכנולוגיים וחברתיים הקשורים לשימוש בטוח באנרגיה גרעינית לכל אורך חיי הפרויקט. ללא הפניית המשאבים הקיימים ליצירת מוקדי ידע, שימשכו גם כוחות מדעיים מהעולם, נמשיך לדשדש ולסמוך על רצונם הטוב של מוסדות בחו"ל להכשיר עבורנו את הדורות הבאים.

ד"ר שלמה ולד: אי אפשר לסנכרן את כל המערכות ואי אפשר לתזמן את כל הפעילויות לפי מה שאנחנו רוצים. אכן צריך לקבל החלטה ברורה בנושא ולהצהיר עליה, וגם להקים גופים רגולטוריים מתאימים. כבר לפני עשר שנים עבדו במשרד האנרגיה לפי תוכנית העבודה כפי שהסוכנות הבין-לאומית לאנרגיה אטומית הציעה. אלא שלא תמיד הדברים סונכרנו, על אף שהיו תקנים במשרד לא הצלחנו לאייש אותם. בנוסף, קשה לקבל תקציבים כאשר אופק הפעילות הוא רחוק. גם מתוך הקהילה המדעית, שנראתה כשותפה טבעית ונכונה, לא זכינו לשיתוף פעולה מלא, ולא הצלחנו לקדם פרויקטים חשובים שהיו מקרבים אותנו לאפשרות להצהיר על המסוגלות והיכולת של המדינה לפתח פרויקט כזה. צריך להתקדם בכל מיני ערוצים, ולכן בזמנו ניסינו במשרד האנרגיה לקדם מה שניתן, למשל, תמיכה ציבורית, בחינת תחומי ביטחון וסוגי טכנולוגיות, אבל אכן אין תוכנית סדורה שמתקדמת לפי לוחות זמנים.

ד"ר חן דובי: לגבי כורים מודולריים קטנים, לטעמי לא נכון להיכנס לזה ללא טכנולוגיה מוכחת. נכון להיום, זאת לא טכנולוגיית מדף – סוגים שונים נמצאים בשלבים שונים של פיתוח, ומדברים על כניסה לפעילות בסביבות 2027, ולא נכון להינעל על משהו שכרגע לא קיים. צריך גם לזכור שאנחנו לא בחזית הטכנולוגיה, אנחנו לא מסוגלים לעזור ולהשתתף בפיתוח של טכנולוגיה כזו, גם במונחים של כוח אדם, גם במונחים של תשתית מדעית וגישה למערכות חישוביות מתקדמות. מי שעוסק בפיתוח כורים נמצא בפער של 30-40 שנה, וזה לא פער שייסגר ביומיים והוא גם לא ייסגר באמצעות החלטה, הוא ייסגר בתהליך. ולכן, בהקשר של בחירת סוג הכור צריך לדעתי להיות מאוד שמרניים, וללכת על משהו מוכר שעובד באופן רציף.

ד"ר סטיליאן גלברג: חלק מהדברים שהוזכרו על ידי הדוברים הקודמים כבר בוצעו. החוק שאמור להסדיר את העיסוק בתחום של הקרינה המייננת, קיבל את האישור של ועדת שרים לחקיקה. החוק כולל סעיף שקשור לרישוי של תחנות כוח גרעיניות וקובע את סמכות האישור בידי המשרד להגנת הסביבה ולא בידי הוועדה לאנרגיה אטומית, כדי שיהיה נוח יותר לקבל את האישור של הגופים הבין-לאומיים.

אכן נעשתה עבודה מעמיקה לקביעת תוכנית העבודה והלוואי שנצליח לאמץ את כל הדברים שמצוינים בה, כולל חינוך בנושא של כורים גרעיניים. חלק גדול מהחשש מהנושא נובע מבורות. יש כ-16 אלף שנות הפעלה של כורים גרעיניים, כאשר התקלות נבעו או מטיפשות או מאיתני הטבע, אך לא היה כשל בבטיחות הכורים.

לדעתי, העתיד, בוודאי של ישראל שהיא מדינה צפופה וקטנה, הוא בכורים הקטנים. למשל, רומניה, מדינה לא מפותחת במיוחד, כבר הזמינה ארבעה כורים כאלה. כורים קטנים גם יכולים לפתור את הבעיה של הולכת החשמל שהיא בעיה קריטית בישראל, שכן קשה למצוא שטחים להעברת קווי מתח על ומתח עליון. מכאן, שזה הזמן להתחיל להתכונן לקליטת הכורים האלה, עד שאנחנו נכין כל מה שצריך, מבחינה רגולטורית ומבחינת הסברה והדרכה, כבר בטח לא נהיה ראשונים. רוב הציבור כיום, גם אנשים של איכות הסביבה, מבינים את המשמעות של אי-שימוש בכורים גרעיניים, גם מבחינת תפיסת קרקע וגם מבחינת ההשפעות האחרות של המתקנים. כולם מבינים, בוודאי עובדי המדינה, את החשיבות של אנרגיית הבסיס – שהיא אנרגיה שמיוצרת כל הזמן. אי אפשר להסתמך רק על התוספות, וכורים גרעיניים עדיפים על גז טבעי ופחם כאנרגיית בסיס. למרבית קהילת הגנת הסביבה ברור שאין כמעט אופציה אחרת.

ד"ר ברק טברון: בשנות ה-70 וה-80 מדינת ישראל החליטה על הקמה של כור גרעיני, היו מגעים בנושא, והוקמה מנהלת רחבה. יש ניסיון עם זה וצריך לשמור על הגחלת ואולי קצת להגדיל אותה כדי שהמנהלת תהיה מוכנה לפעול ברגע שתהיה החלטה בנושא, ובתקווה במהרה. מדינת ישראל פעלה לאיתור אתר לתחנת כוח גרעינית, ולאחר עבודה מאומצת, התקבל אישור מהוועדה לאנרגיה אטומית שאכן אותר מיקום כזה, וזה מהווה עוד צעד חשוב, כאשר תתקבל החלטה. לדעתי, נדרשת החלטה אמיצה להתקדם בנושא של תחנת כוח גרעינית, וזאת החלטה מדינית, החלטה של הממשלה. ברגע שתתקבל החלטה אנחנו נוכל להתקדם בתהליך. באופן יחסי למדינות אחרות בעולם, יש לנו תשתית מסוימת בתחום. אבו דאבי התחילו עם פחות מאיתנו וכבר יש להם שני כורים בפעולה ושני כורים בשלבים אחרונים של בנייה.

פרופ' ארז גלעד: בהנחה שמדינת ישראל מחליטה להקים תחנת כוח גרעינית, ולא כל כך משנה איזה סוג של כור, ישנן מספר הזדמנויות למו"פ בישראל בהקשר הזה. אנחנו לא כל כך חזקים בנושאים של שרשרת האספקה (fuel cycle & supply chain) – כרייה, העשרה ועד טיפול בפסולת; עיצוב כורים מדור 3 ו-4; חדרי בקרה וחומרה לצורך תפעול; ייצור רכיבים לכור; ובנייה. ניתן לעשות פרויקטים קטנים אך לא משהו משמעותי. עם זאת, אנחנו כן יכולים להשתתף בפיתוח של נושאים אחרים עם ערכים מוספיים שישראל יכולה להביא בתחומים – גילוי קרינה וניהול רדיואקטיביות; הגנה פיזית על הכור (ביטחון), גם נגד איומים ייחודיים לאזור שלנו; רגולציה; משאבי אנוש; אחסון דלק מוקרן.

למשל, בנושא של הגנה פיזית, משרד האנרגיה מממן מזה מספר שנים מחקרים בנושא של מיגון פיזי, חקר פגיעות של תחנות כוח גרעיניות לאיומים של נשק חוזר, ולכן יש לישראל יכולות, אקדמיות וטכנולוגיות, שיאפשרו לה לעשות מו"פ משמעותי בהקשר של מיגון כורים גרעיניים מפני מגוון רחב של איומים. בנושא של דלק מוקרן, יש בישראל לא מעט ידע וניסיון בהקשר של הנדסת חומרים, כימיה, הנדסה כימית, קורוזיה ונזקי קרינה, וגם בהם ניתן להיכנס לפרויקטים של מו"פ. כך גם בנושא של ביטחון, בוודאי בהקשרים של סייבר ו-non-proliferation, ובנושא של ניהול רדיואקטיביות – גילוי קרינה, ניהול וגילוי של חומרים רדיואקטיביים.

ד"ר אילן יער: לא טוב לדבר רק על כורים גרעיניים, צריך לבחון את כל משק האנרגיה עם כורים גרעיניים בתוכו. במשרד האנרגיה יש תוכנית למשק האנרגיה ב-2050¹⁰, שאנרגיה גרעינית מופיעה כאחת האופציות שם, רק צריך לממש אותה. נדרש לבחון אפשרויות רבות, לא רק כור בישראל, אלא גם כור בין-לאומי, או בישראל או בים, מחוץ למים הטריטוריאליים של ישראל. יש כורים כאלה היום, בכל נושאת מטוסים יש 2-3 כורים בהספק של כ-500 מגה-ואט, צריך רק להחנות אחת מול חיפה ולחבר ככל לחוף, ואז אין בעיה של כור במדינת ישראל. אפשר לקבל אנרגיה מכור שיוקם במדינה שכנה, למשל ירדן או מצרים, על סמך אינטרסים משותפים. אלו אופציות שעוזרות לישראל לעקוף את הבעיה העיקרית.

הבעיה העיקרית, שבגינה נסגרות מחלקות להנדסה גרעינית ואנחנו לא מצליחים לקדם את הרעיון, היא אי-החרגה ממגבלות ה-NSG (Nuclear Suppliers Group). מגבלות אלה חלות על ישראל בגלל שאנחנו לא חתומים על האמנה למניעת הפצת נשק גרעיני, ועד שלא נוחרג ממגבלות אלו לא ישתפו אותנו במידע, ולא ימכרו לנו כור גרעיני. יש דברים שאפשר לעשות בינתיים, וכדאי לבחור אותם בתבונה – איתור מקום מתאים (החומר לגבי אתר שבטה קיים אצל כל הגורמים הרלוונטיים), וחיזוק הרגולטור, שכן הרגולטור הקיים לא בנוי לתמוך בנושא של תחנות כוח גרעיניות; צריך אולי רגולטור אחר שישב תחת משרד אחר.

יש תקדים, שאמנם הודו גם כן לא חתומה על האמנה למניעת הפצת נשק גרעיני, אך כן הוחרגה ממגבלות ה-NSG. אנחנו אמנם לא במשקל הסגולי של הודו, ולא בגודל שלה, אבל אני לא יודע אם מדינת ישראל ביקשה בכלל החרגה כזו, וכרגע זה מונע התקדמות בתחום. העבודה שנעשתה בשנות ה-60-90 נעשתה על סמך תוכנית עם חברת Westinghouse שהתכוונה למכור לנו כור גרעיני; במציאות הנוכחית לא ניתן להתקדם מעבר לכמה צעדים מינוריים.

ד"ר תמיר רייסין: תוכנית העבודה שהוכנה לצורך קידום הנושא של תחנות כוח גרעיניות ב-2013, תקפה כמעט במלואה גם כיום. אמנם צריך לקדם את נושא המנהלת, אך לפני כן צריך לקבל החלטת

¹⁰ https://www.gov.il/he/departments/publications/reports/energy_121021

ממשלה, או לפחות הצהרה שמדינת ישראל בוחנת הקמת תחנת כוח גרעינית במסגרת תמהיל מקורות האנרגיה שלה לעשורים הבאים כחלק ממדיניות של ביטחון אנרגטי ואיפוס פליטות. מנהלת לא תקום אם אין אשרור והצהרה של הממשלה שהולכים בכיוון הזה.

המגמה להגבלת פליטות גזי החממה, כפי שהשתקפה מוועידת גלזגו, רק הולכת ומחמירה, ולכן התחום של אנרגיה גרעינית רק הופך להיות רלוונטי יותר, וזאת כבר לא שאלה של אם רוצים, אם זה טוב או לא, זה הופך להיות הכרחי – בלי הקמת תחנת כוח גרעינית יהיה מאוד קשה לספק חשמל במדינת ישראל לקראת 2050-2060, גם אם כל המדינה תהיה מכוסה במערכות אנרגיה סולארית, ואני לא חושב שמישהו רוצה את זה.

מבחינת מיקום לתחנת הכוח, העדכון האחרון הוא שאושרו הקריטריונים המעודכנים לטווחי הבטיחות לאוכלוסייה מסביב לכורים, על ידי היחידה לרישוי ובטיחות (רשב"ט) ובברכת הוועדה לבטיחות גרעינית (בטג"ר). אנחנו הולכים לשבת מול מנהל התכנון על המיקום של שבטה-רוגם, שזה האתר שממליצים עליו היום, בכדי שהוא יופיע בתמ"א המעודכנת של המדינה. יש צוותים משותפים של משרד האנרגיה והוועדה לאנרגיה אטומית כבר כחצי שנה, עם מפגשים תקופים בראשות שרת האנרגיה וראש הוועדה לאנרגיה אטומית, שדנים בין היתר בנושאים המדיניים, ובוחנים אפשרויות להתגבר על המגבלות של האמנה למניעת הפצת נשק גרעיני ושל ה-NSG.

חן רביב: אני רוצה להציב סימני שאלה ולהראות את התמונה כפי שהיא נראית מכיוון מדעי האקלים. תחנות כוח גרעיניות הן פתרונות של המאה ה-20 – פתרונות מאוד נקודתיים, שלא מתייחסים לסיכונים ולהשפעות המערכתיות, ומניחים שאנחנו, כיום, יודעים הכל וזה מספיק כדי לקחת סיכונים ולנטר אותם. ציינו פה לפניי שכל התקלות קרו בגלל אסונות טבע או טיפשות אנושית, וישראל אינה נקייה מסיכונים של שני הגורמים האלה, ואני בטוח שכל המשתתפים יסכימו איתי על זה. בספק אם נוכל לחסוך זאת ולהקים כור בטוח לגמרי.

כאשר מסתכלים על ניתוחים מעודכנים של האתגרים של החברה האנושית לא נמצא שם רק את משבר האקלים. משבר האקלים הוא תמרור אזהרה שמנסה לשנות את המקום שאליו אנחנו הולכים. אם נבחן את מודל הגבולות הפלנטריים (planetary boundaries) של Rockström באוניברסיטת שטוקהולם¹¹, שהינו מודל שמקובל על רוב מדעני האקלים, נבין שהניסיון לפתור את משבר האקלים כיחידה נפרדת, בלי להסתכל על שאר ההשלכות נידון לכישלון, כי המערכת יותר מורכבת מאשר היבט אחד שלה.

¹¹ <https://www.stockholmresilience.org/research/planetary-boundaries.html>

עוד ציינו לפניי שמדינת ישראל הולכת להישאר עם גז טבעי עוד עשרות שנים קדימה. לדעתי, לדבר על מדיניות גרעין במדינת ישראל זה להבטיח את ההישארות של משק הגז, כלומר, להיות חלק ממי שמדרדר את העולם אל מעבר לרף של 2-1.5 מעלות התחממות ממוצעת. אם אלה הן הכוונות צריך להצהיר עליהן בגלוי ולהתייחס למשמעויות המדעיות של זה, כפי שהן מוכרות בקונצנזוס המדעי.

כאשר מדברים על פתרון שיגיע תיכף, ב-2040-2050, הוא למעשה מהווה את האליבי המרכזי של הרבה מאוד גופים לא לפתח את החלופות האמיתיות שנמצאות מתחת לידיים של כיסוי סולארי שאפשר לעשות בתוך השטחים המבונים. יש תוכנית שמציגה את האפשרות הזאת¹² – אפשרות קשה ומסובכת, יקרה אך לא בטוח שיותר מהחלופה הגרעינית, אך האפשרות המקיימת. לא מומלץ לבנות תלי תילים של דברים שאנחנו לא יודעים מה יקרה איתם; ראינו כבר בעבר שגם ליפנים וגם לגרמנים היו גם דליפות וגם אסונות, וספק אם אנחנו יודעים לנהל מערכות יותר טוב מהם. אולי אצלנו זה לא יקרה, אבל צריך לחשוב בכל זאת גם על האפשרות שדברים לא יתנהלו כשורה. שווה לבחון עוד פעם את המדיניות הזאת.

פרופ' שאול חורב: יש להגדיר את הצורך באנרגיה גרעינית. לאנרגיה גרעינית יש יתרונות וחסרונות, כאשר החיסרון המרכזי הוא בנושא של הפסולת, בעוד שלגבי האתגרים האחרים אני מאמין שיש מענה, כפי שאפשר ללמוד ממדינות כגון צרפת. יש לבחון האם אנרגיה גרעינית, שהיא נקייה לעומת גז טבעי, יכולה לסייע להשגת היעדים שהוגדרו במדינה, ואין אפשרות אחרת להשיגם?

הסוגיה המדינית – טרם כניסתי לתפקיד ראש הוועדה לאנרגיה אטומית היה לנו מקרה שבו ניסו לשחזר את התקדים ההודי, אך המענה היה שהמקרה ההודי הוא ייחודי ולא יחזור. ארה"ב פעלה נחרצות לטובת הודו בנושא, ולא בטוח שהיא תעשה אותו דבר כלפי ישראל. בלי תמיכה של ארה"ב ובלי תמורה בעדה לא יהיה סיכוי למהלך כזה. המערכה שאנחנו מנהלים מול איראן לא מסייעת לנו לקבל תמיכה כזו.

סוגיית המיקום – בזמנו, הגיעה אלינו התנגדות מראשי יישובים סביב שבטה. להערכתי לא יוכלו להקים תחנת כוח גרעינית בשטח ישראל, זה לא יעבור את ההתנגדות הציבורית. פתרונות מסתמנים בעולם הם למשל כור גרעיני על אי מלאכותי צף בים (דובריה), כמו שעשו ברוסיה, כאשר נדרשו להקמת תחנת כוח גרעינית באיזור הארקטי שלה. תחנת כוח גרעינית במרחב הימי של ישראל יכולה לתת פתרון לנושא הזה.

¹² https://www.nzo.org.il/files/ugd/7f3643_716613de17c74aa6896435c875622b5f.pdf

ד"ר אלי שטרן: אני רוצה להתייחס להיבט הציבורי מנקודת מבט בטיחותית – ישראל מדינה קטנה, ולכן ההיבטים של מיקום ופגיעות הכור מהווים אבן נגף להשגת הסכמה ציבורית לכור גרעיני, וזה נכון גם למקרה של כורים מודולריים קטנים.

הכורים מהדור החדש אכן משתדלים להיות בטוחים לחלוטין (inherently safe), על אף שיש ויכוח עד כמה הצליחו בזה. המשמעות של בטוחים לחלוטין היא שכורים אלה עמידים גם בפני טעויות אנושיות וגם בפני תופעות טבע. מבחינה פיזיקלית, גם אם כל מי הקירור ילכו לאיבוד ולא יהיה שום קירור חיצוני, עדיין הדלק לא יגיע למצב של התכה. ואם אכן תוגשם השאיפה שהדלק הנוכחי לא יכול להינתך, פירוש של דבר שלא תיתכן בכור גרעיני תקרית חמורה מהסוג של צ'רנוביל או פוקושימה. מבחינת שכנוע הציבור בבטיחות של כורים אלו, ההבדל בין התכה לאי-התכה בתקרית חמורה, הוא הבדל תהומי. כלומר, אם נצליח להראות את הדבר הזה זה יכול מאוד לעזור לקבל תמיכה ציבורית לכור גרעיני בישראל.

אלא שלדעתי, הבעיה העיקרית, בהקשר של מדינת ישראל, היא התנהגות תחנת הכוח הגרעינית במקרה של פגיעה עוינת. ניתן לטעון שהכור לא מוגן מספיק, הוא יכול להיפגע ואז הדלק יתפזר לסביבה ויצור סיכונים לא מבוטלים. ולכן, כדי להשלים את מערך השכנוע הציבורי נדרש להראות שגם במצב של פגיעה חיצונית עוינת, לא תיתכן פליטה של חומרים רדיואקטיביים מתוך הדלק. אם יוכיחו את הדבר הזה, כולל עבודות שקשורות למיקום ולפיזור, זה יכול לסייע לקבל הסכמה ציבורית.

לדעתי, פסולת גרעינית היא בעיה משנית ופתירה ואינה מהווה אבן נגף לאנרגיה גרעינית. בייחוד, עם הגישה הנוכחית שמטפלת בפסולת במיטב הידע הקיים ומבטיחה את היכולת להוציא את הפסולת ולהמשיך לטפל בה אם בעתיד יתגלו דרכי טיפול טובות יותר (retrievability).

ד"ר חן דובי: משק האנרגיה לא ישתנה – אנחנו צריכים אנרגיה, החיים שלנו תלויים בה. לגבי תמהיל הדלקים, צריך לבדוק מה הכי זול ומה הכי בטוח, צריך לשקול את הדברים בצורה מדעית ומסודרת כדי להגיע להחלטה לגבי מקורות האנרגיה העתידיים בישראל.

אמנם רומניה מזמינה כורים מודולריים קטנים, אך ההבדל הוא שרומניה היא מדינה גרעינית – יש להם כבר שני כורים שפועלים, ומבחינה הזאת אנחנו נמצאים אחריהם. מה שהם יכולים, אנחנו עדיין לא. קשה לנו להתייחס לזה ככה, אך זו המציאות.

להתייחס לפוקושימה וצ'רנוביל כאירועים דומים, זה לא נכון. תוצאות האירוע בפוקושימה, מבחינת ההשלכות הסביבתיות והפגיעות בנפש, הן מצומצמות מאוד, אם לא זניחות, ביחס לצ'רנוביל. האירוע הוגדר כאירוע חמור בגלל שהייתה התכה של הדלק, אך לא הייתה פריצה מקרוסקופית של המיכל, בניגוד לצ'רנוביל שם נפרצה מעטפת ההגנה של הכור, תוך הפצת חומרים רדיואקטיביים לסביבה. בפוקושימה הייתה תקלה, תקלה חמורה, אך לא אסון גרעיני.

ד"ר אהוד אזולאי: למרות דברים שנאמרו פה, יש שיתוף פעולה טוב מאוד בין משרד האנרגיה לוועדה לאנרגיה אטומית, בכמה תחומים. בתחום הרישוי, למרות שברור לכולם שכאשר תקום תחנת כוח גרעינית יצטרך לקום גוף עצמאי וגדול יותר לרישוי, היום כל נושא האישור הוא תחת הוועדה והיא מסייעת, כולל בקשרים עם גופים בין-לאומיים. חלק גדול מהפרויקטים שהוזכרו נעשים במימון ובשיתוף פעולה טכנולוגי עם מומחים של הסוכנות הבין-לאומית לאנרגיה אטומית, שתרמו הרבה מאוד ועזרו לעדן את הקריטריונים הדמוגרפיים. אנחנו גם בשיג ושיח איתם לגבי הקריטריונים הגאולוגיים, ואני מעריך שגם שם יהיו הקלות רבות לגבי מיקום אפשרי לתחנת כוח גרעינית.

יש אכן בעיה מדינית, ונבדק בעבר וממשיך להיבדק הרעיון של כור צף. הבעיה עם קונספט כזה הוא שלא ניתן להבטיח את רציפות אספקת האנרגיה, שכן בזמני מתיחות יכול להיות שהכור לא יישאר במקומו. דברים כאלה צריכים להילקח בחשבון. אפשרות נוספת שהועלתה, היא כור גרעיני על אי צף; זה יכול להיות פתרון, אך לפי המחקרים הראשוניים, הרגליים של אי צף לא עומדות בקריטריונים הגאולוגיים לבטיחות הכורים. צריך לבדוק את זה יותר לעומק, כי אם זה עובד זה יכול להיות פתרון מצוין - משחרר ממגבלות האמנה למניעת הפצת נשק גרעיני, משחרר ממגבלות של אוכלוסייה.

לעניין דעת הציבור, אני רוצה להזכיר מחקר שבוצע לפני כמה שנים במימון משרד האנרגיה שבדק מה חושב הציבור בנושא¹³. המחקר נערך ללא ביצוע הסברה כלשהי, והציבור לא מבין את הנושא לעומקו, אלא מדבר ופועל לפי תחושות בטן. אך למרות המתודולוגיה, התוצאות היו מפתיעות - כ-37% מאוכלוסיית המדינה אמרו שתחנת כוח גרעינית זה בהחלט פתרון מתאים לישראל. בתור נקודת התחלה, למי שלא מכיר את האלטרנטיבות ואת הנזקים שלהן, זאת נקודה מצוינת. כמובן שהאחוז ירד למתחת ל-10% כאשר שאלו אם יהיו מוכנים להקמת התחנה בסמוך למקום המגורים של הנשאל. מכאן, שנדרשת הסברה, כזאת שכוללת גם הסברה לגבי האלטרנטיבות, גם אלו שנחשבות נקיות, למשל, לגבי פגיעה בשטחים פתוחים בשל הקמת תחנות כוח סולאריות. לא צריך לשלול לגמרי את הפתרון היבשתי, אך צריך לשקול זאת ברצינות, כי גם אם ניתן יהיה להתמודד עם מגבלות האמנה למניעת הפצת נשק גרעיני, עם דעת הציבור יהיה קשה יותר להתמודד.

פרופ' ארז גלעד: הדיון אם צריך חשמל סולארי או גרעיני זה דיון של המאה ה-20, זה העבר. ההווה והעתיד, זה גם זה וגם זה. לפני הכנס בגלזגו, הנשיאה של האיחוד האירופי אמרה שהחזון ארוך הטווח למשק האנרגיה האירופי הוא אנרגיה גרעינית כעומס בסיס (הספק אמין ורציף של אנרגיה), והשלמה שלו באמצעות אנרגיות מתחדשות, שהן פחות יציבות אך המחיר שלהן נמוך. הם רואים בגז טבעי שלב מעבר לעבר המצב הזה. היום הדיון אינו סולארי או גרעיני אלא שילוב של שני מקורות האנרגיה האלה. גם אם נבחן מכרות של ניקל או קדמיום אשר משמשים לייצור רטורים של טורבינות רוח, נתקשה

¹³ <https://magazine.isees.org.il/?p=24604>

להגדיר זאת כאנרגיה ירוקה או נקייה לחלוטין. מצד שני, האירופאיים בהחלט מגדירים את האנרגיה הגרעינית כאנרגיה בת-קיימה, ובתור שכזו היא חלק מהתמהיל העתידי. כדי לאפשר השקעות באנרגיה גרעינית, הם גם פועלים לאחרונה להשוות את נושא המיסוי של אנרגיה גרעינית למיסוי על אנרגיות מתחדשות¹⁴.

מציאת אתר – אזור החירום (Emergency Planning Zone – EPZ) בכורים מודולריים קטנים, האזור שאותו צריך לנהל במקרה של תקלה גרעינית, זה גדר תחנת הכוח. זאת ההגדרה לפי הרגולטור האמריקאי, שכן הכורים האלה הם באמת קטנים, ובאמת בטוחים. יש בעיה אמיתית של הנגשה והסברת הנתונים והמספרים לציבור, אך צריך להימנע מקבלת החלטות על בסיס של רגשות, אמונות, תחושות ופחדים.

פסולת גרעינית – אני מסכים שפסולת לא מהווה בעיה משמעותית. ראשית, את הפסולת מכורי דור 3 אפשר לשרוף במאיצים ובכורי דור 4, ושנית, כמות הפסולת היא מאוד קטנה, ובנוסף, יש היום גם פתרונות לאחסון ארוך טווח במבנים גאולוגיים, גם בארה"ב וגם בצפון אירופה (סביר שלא יינתן אישור להשאיר את הפסולת בישראל).

פרופ' שאול חורב: כשמדברים על איים מלאכותיים, יש נטייה לחשוב שמדברים על מילוי של חול או קרקע, אך גם אסדת כריש למשל היא אי מלאכותי – פלטפורמה שלא מחוברת בשום צורה לאדמה. המעמד המשפטי שלה הוא כשל אי מלאכותי, שדורש כמובן אבטחה. אסדת לווייתן שעומדת על רגליים 10 ק"מ מהחוף יצרה המון התנגדות ציבורית, לעומת אסדת כריש. קיימות כיום בעולם תחנות כוח על איים מלאכותיים. ההגנה הנדרשת היא אותה הגנה כמו ביבשה, אולי אפילו יותר קל להגן עליה שם, וגם הנזק הסביבתי הצפוי ממנה הוא קטן יותר. לדעתי, מיקום ביבשה הוא בעייתי לא בגלל הסיכון אלא בגלל ההתנגדות הציבורית, ואי מלאכותי יכול לתת מענה לכך.

¹⁴ https://ec.europa.eu/info/publications/220202-sustainable-finance-taxonomy-complementary-climate-delegated-act_en

5. סיכום והמלצות

בתקופה האחרונה, עקב הדאגה הגוברת מפני ההתחממות הגלובלית, מתעורר מחדש העניין באנרגיה גרעינית כאחד התחליפים לזו המבוססת על דלקים מאובנים. נשאלת מחדש, וביתר שאת, השאלה **האם אנרגיה גרעינית יכולה להיחשב כאנרגיה ירוקה?** חזון האנרגיה הירוקה מכוון לכך שכל שרשרת האספקה, ממקורות האנרגיה הראשוניים ועד לשימוש הסופי על ידי הצרכן, היא בת-קיימה, כלומר, מינימום פליטה של גזי חממה, מינימום פגיעה בבריאות המעורבים, טביעת רגל סביבתית מינימלית, מניעת התדלדלות משאבי טבע חיוניים, כולל עפרות נדירות, ושימור שירותי המערכת האקולוגית להווה ולדורות הבאים. אנרגיה גרעינית לא עונה לאף אחד מן הקריטריונים באופן מלא (אין אנרגיה שעונה על כולם), אך ניתן לשכנע, לפחות את רוב הציבור, שאנרגיה גרעינית, שמוקמת ומופעלת בצורה נכונה, יכולה להיות פתרון סביבתי טוב מאוד, שיכול להשלים את התרומה של אנרגיות מתחדשות להקטנת הפגיעה בסביבה.

חילופי הדורות של כורים גרעיניים משמעותיים ביותר מבחינת הבטיחות של הכורים. כל התאונות הגדולות שקרו (אי שלושת המיילים, צ'רנוביל ופוקושימה) היו בכורים מהדור השני לכל היותר. כל הכורים שנבנים ומופעלים כיום הם מהדור השלישי (3 ו-3.5), וברקע נמצאים בפיתוח כורי הדור הרביעי, אשר מתוכננים בפילוסופיה של עמידות עקרונית מפני תקלות, שעל פיה המבנה ההנדסי של הכור מבטיח שלא יהיה כשל מערכתי בכור כתוצאה מכל תקלה או תאונה. גם הבקרה בכורים אלו היא פאסיבית, כלומר, בני אדם אינם יכולים לגרום בהתערבות שלהם לתקלה גרעינית.

על אף היתרונות הסביבתיים והשיפורים הבטיחותיים, עדיין מדובר על נושא מורכב וסבוך עם השלכות פוליטיות, ואתגרים תכנוניים, תפעוליים, כלכליים, מימוניים, משפטיים וציבוריים משמעותיים, בעיקר כיוון שמדובר על תחום הכרוך בהתחייבות ארוכת טווח.

לצורך גיבוש עמדה לאומית בנושא יש לבצע בחינה מעמיקה של היבטים השונים הכרוכים ברכישת, הקמת והפעלת תחנת כוח גרעינית בישראל, תוך התייחסות לתנאי הסף הנדרשים לביצוע פרויקט לאומי מסדר גודל כזה, ולקבל החלטות תוך ראייה המתכללת את כל השיקולים המפורטים להלן:

1. **היבטים פוליטיים** – יש לבצע בדיקה של התנאים הפוליטיים והגאופוליטיים באזורנו והתאמתם לניהול פרויקט לאומי רב שנים.
2. **היבטים טכניים** – יש לבצע בחינה מעמיקה של היבטים ביטחוניים, בטיחותיים ותפעוליים, תוך התייחסות לטכנולוגיות שונות וחלופות מיקום. יש לתת את הדעת לנושאים של ניהול חומרי גלם גרעיניים, דרישות הגנה, וחיבור לרשת החשמל.

3. **היבטים תכנוניים** – יש לבצע בחינה מחודשת למיקומים אפשריים לתחנת כוח גרעינית בישראל, כולל במרחב הימי.
4. **היבטים כלכליים** – יש לבחון את הכלכליות של חלופות שונות לייצור חשמל בראייה לטווח הארוך, תוך התייחסות להשקעות הנדרשות ברשת החשמל. בנוסף, מומלץ לבחון מודלים כלכליים אפשריים למימון פרויקט של הקמת תחנת כוח גרעינית, שכן נדרשת השקעה ראשונית גבוהה מאוד עם החזר השקעה ארוך.
5. **היבטים משפטיים** – יש לנתח הצורך בגוף חקיקה משמעותי שיטפל בכל הנושאים שקשורים לתחנת כוח גרעינית, כולל חקיקה שתומכת ביצירת/קביעת גוף רגולטורי והגדרת סמכויותיו.
6. **היבטים סביבתיים** – יש לבחון את הרעיון של שילוב אנרגיה גרעינית בתמהיל הדלקים ביחס לחלופות דלות פחמן אחרות, ובהן אנרגיה סולארית בדו-שימוש, תוך התייחסות להיבטים של ביזור ודרישות רשת החשמל, היבטים כלכליים, והיבטים של טיפול בפסולת לאורך ובסוף חיי הפרויקט.
7. **היבטים ציבוריים** – יש להמשיך ולהרחיב את הבחינה של קבילות ציבורית לנושא תחנת כוח גרעינית, תוך התייחסות לחלופות יישום מגוונות (ביזור, שימוש במרחב הימי ועוד), ותוך נקיטת פרקטיקות שונות לצורך גיוס תמיכה.

בנוסף, לצורך קידום הנושא של תחנת כוח גרעינית בישראל, יש להשקיע במחקר ופיתוח, ובהכשרת כוח אדם מקצועי:

- מומלץ לבצע שימוש במשאבים ובכוח האדם הקיים בארץ לחיזוק והרחבה של תוכניות להכשרת כוח אדם אקדמי מקצועי בהנדסה גרעינית. בנוסף, ראוי לגייס חוקרים ישראלים מתחום ההנדסה הגרעינית אשר משולבים במוסדות מחקר ואקדמיה בחו"ל כמנחים ומרצים לתקופות מוגבלות בארץ כדי שיעניקו מניסיונם למשתלמים חדשים.
- מומלץ להשקיע באופן מושכל את תקציבי המחקר הקיימים במשרד האנרגיה כדי לקדם הקמת מוקדי ידע אקדמיים שיתמקדו בפיתוח ושימור ידע בתחומי התכן, התפעול והבטיחות של כורי כוח גרעיניים. ראוי לשלב מוקדי ידע אלו כחלק מהפעילות האקדמית במוסד ובכך להעניק לסטודנטים ולחוקרים כלים להמשך התפתחותם המדעית בארץ.
- מומלץ להשקיע בהקמת מערכות ניסוי מתקדמות בהנדסת כורים, שהינן יקרות מטבען, בעיקר במוסדות אקדמיים (ולא במכוני מחקר מסווגים) כדי שישמשו סטודנטים, משתלמים וחוקרים מהארץ ומהעולם, ברמות שונות וללא הגבלות כלשהן.
- על משרד האנרגיה והוועדה לאנרגיה אטומית בישראל לפעול לעידוד שיתוף פעולה מרבי של מרכזי המחקר הלאומיים עם האקדמיה בארץ במטרה לפתוח את המחקר לביקורת ולפרסום בין-לאומי.

נספח 1: תוכנית פורום האנרגיה

13:00 פתיחה – פרופ' גרשון גרוסמן

13:10 פרופ' ארז גלעד, היחידה להנדסה גרעינית, אוניברסיטת בן-גוריון

תחנת כוח גרעינית בישראל – חסמים, הזדמנויות וטכנולוגיות מתקדמות

13:20 ד"ר שלמה ולד, לשעבר, המדען הראשי במשרד האנרגיה

האם כורים מוזולריים קטנים יכולים להיחשב כמקור בר-קיימה בחזון האנרגיה הירוקה הישראלית העתידית?

13:30 ד"ר אילן יער, נשיא האגודות הגרעיניות בישראל

אנרגיה גרעינית במשק האנרגיה העתידי בישראל

14:00 דיון פתוח, תוך התמקדות בשאלות:

- 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?
- איזה סוג תחנת כוח גרעינית (טכנולוגיה ותכן) מתאים לישראל לאור תמונת החסמים, ההזדמנויות והאיזומים?
- כיצד משתלב רעיון הגרעין עם רעיונות אחרים לגיוון מקורות האנרגיה בישראל (מנהרת הימים, חיבור ימי לאירופה)?

מפגשי פורום האנרגיה של מוסד נאמן (www.neaman.org.il)

2021	פורום האנרגיה ה-51: אתגר רשת החשמל – הולכה, ניצול אופטימלי של משאבי הרשת וייצור מקומי פורום האנרגיה ה-50: דו-שימוש בקרקע חקלאית לייצור חשמל פוטו-וולטאי פורום האנרגיה ה-49: שילוב מימן במשק האנרגיה
2020	פורום האנרגיה ה-48: אנרגיה בעיר חכמה
2019	פורום האנרגיה ה-47: מערכות פוטו-וולטאיות משולבות אגירה לייצור חשמל מאנרגיית השמש פורום האנרגיה ה-46: הפקת אנרגיה מפסולת
2018	פורום האנרגיה ה-45: חסמים וזרזים להקמת מתקני ייצור חשמל פרטיים בישראל פורום האנרגיה ה-44: שיקולים סביבתיים, כלכליים וביטחוניים במיקום אסדת הטיפול בגז ממאגר לויתן פורום האנרגיה ה-43: הסרת הבידוד האנרגטי מעל ישראל פורום האנרגיה ה-42: היבטים פסיכולוגיים והתנהגותיים של חיסכון באנרגיה
2017	פורום האנרגיה ה-41: רכב היברידי וחשמלי פורום האנרגיה ה-40: גז טבעי לתחבורה בישראל פורום האנרגיה ה-39: מיקרוגרید ורשת חשמל חכמה בעידן של ייצור מבוזר ואנרגיות מתחדשות
2016	פורום האנרגיה ה-38: צעדים ליישום לאחר אישור מתווה הגז בישראל פורום האנרגיה ה-37: ביטחון באספקת אנרגיה בישראל פורום האנרגיה ה-36: התייעלות אנרגטית בישראל: שדרוג מערכות
2015	פורום האנרגיה ה-35: אגירת אנרגיה בייצור חשמל פורום האנרגיה ה-34: ייצור משולב של חום וחשמל פורום האנרגיה ה-33: הרפורמה במשק החשמל בישראל
2014	פורום האנרגיה ה-32: ניצול מיטבי של הגז הטבעי המקומי, לרבות סוגיית הייצוא פורום האנרגיה ה-31: ביומסה לאנרגיה בישראל
2013	פורום האנרגיה ה-30: חשמל מאנרגיה סולארית בישראל פורום האנרגיה ה-29: עיר חכמה פורום האנרגיה ה-28: תחבורה יבשתית בת קיימא: היבטי אנרגיה וסביבה פורום האנרגיה ה-27: רשת חשמל חכמה כמנוע צמיחה לתעשייה בישראל
2012	פורום האנרגיה ה-26: ניצול פצלי שמן בישראל פורום האנרגיה ה-25: משק האנרגיה בישראל - חזון 2028 פורום האנרגיה ה-24: אנרגית שמש לבנייני מגורים בישראל
2011	פורום האנרגיה ה-23: ניצול אנרגית הרוח בישראל פורום האנרגיה ה-22: תחנת כוח גרעינית בישראל פורום האנרגיה ה-21: שיפוץ אנרגטי של בניינים פורום האנרגיה ה-20: מערכות פוטו-וולטאיות מחוברות-רשת למגזר הביתי והמסחרי
2010	פורום האנרגיה ה-19: חיסכון באנרגיה במערכות תאורה פורום האנרגיה ה-18: מיזוג אוויר סולארי בישראל פורום האנרגיה ה-17: השלכות חדירת גז טבעי למשק האנרגיה של ישראל פורום האנרגיה ה-16: רשת חשמל חכמה
2009	פורום האנרגיה ה-15: התייעלות אנרגטית ברשויות המקומיות בישראל פורום האנרגיה ה-14: רכב חשמלי והיברידי פורום האנרגיה ה-13: תחנות כוח סולאריות בישראל
2008	פורום האנרגיה ה-12: אנרגיה במשק המים פורום האנרגיה ה-11: בנייה חסכונית באנרגיה פורום האנרגיה ה-10: השפעות בריאותיות וסביבתיות של השימוש בגז טבעי בישראל פורום האנרגיה ה-9: מקומה של ישראל בשוק הביואתנול העולמי
2007	פורום האנרגיה ה-8: ניהול ביקושים ואספקה פורום האנרגיה ה-7: בידולקים להפקת אנרגיה פורום האנרגיה ה-6: חיסכון במערכות מיזוג אוויר פורום האנרגיה ה-5: צורכי המחקר באנרגיה חלופית בישראל פורום האנרגיה ה-4: אנרגיית השמש להפקת חום פורום האנרגיה ה-3: הפקת אנרגיה מפסולת
2006	פורום האנרגיה ה-2: מערכות משולבות ליצירת חום וחשמל (קוגנרציה) פורום האנרגיה ה-1: חשמל ממערכות פוטו-וולטאיות



neaman.org.il

מוסד שמואל נאמן למחקר מדיניות לאומית | קריית הטכניון,
חיפה 3200003 | טל. 04-8292329 | info@neaman.org.il

אנרגיה וסביבה