

כנס הרצליה
השנתי העשירי
על מאזן החוסן והביטחון הלאומי

הרצליה 2010 HERZLIYA

The Tenth Annual
Herzliya Conference

נייר עבודה

31 בינואר - 3 בפברואר, 2010

משק החשמל של ישראל לקראת שנת 2030

סיכום דיון מכין לקראת כנס הרצליה 2010

מחבר:

אורי סלונים

המרכז הבינתחומי הרצליה
בית ספר לאודר לממשל, דיפלומטיה ואסטרטגיה
המכון למדיניות ואסטרטגיה

משק החשמל של ישראל לקראת שנת 2030

סיכום דיון מכין לכנס הרצליה העשירי 2010

מחבר: אורי סלונים

יו"ר צוות החשיבה

נחמה רונן, מנכ"ל אל"ה; יו"ר ממ"ן

מתאמי צוות החשיבה ועורכי הנייר

אורי סלונים, עמית מחקר, המכון למדיניות ואסטרטגיה

חברי הצוות

יוסי אבו, ראש תחום רגולציה, דלק אנרגיה

יוסי אברמוביץ', מנכ"ל, ערבה פאוור

ד"ר אדריאן ביאנו, סמנכ"ל פיתוח וטכנולוגיה, חברת החשמל

שמואל בכר, עמית מחקר, המכון למדיניות ואסטרטגיה

פרופ' לאה בם, מדענית ראשית, התעשייה האווירית; המועצה הלאומית למחקר ופיתוח

ד"ר עודד ברוש, עמית מחקר בכיר, המכון למדיניות ואסטרטגיה

ד"ר יצחק ברזין, ראש המכון למדיניות אנרגיה מתחדשת, המרכז הבינתחומי הרצליה

ד"ר סטיליאן גלברד, ראש אגף זיהום קרינה וזיהום סביבתי, המשרד להגנת הסביבה

ד"ר רוני דיין, מנכ"ל המועצה הלאומית למחקר ופיתוח

ד"ר שלמה ולד, מדען ראשי, המשרד לתשתיות לאומיות

ד"ר עמית מור, מנכ"ל אקו אנרג'י

עמיר מקוב, יו"ר מכון הסביבה והאנרגיה (לשעבר מכון הנפט)

ורה מיכלין, עמית מחקר, המכון למדיניות ואסטרטגיה

תא"ל (מיל.) עוזי עילם, לשעבר ראש הוא"א, עמית מחקר בכיר, INSS; חבר דירקטוריון עי"ט (העמותה הישראלית להגנה בפני טילים)

המסמך שלהלן מסכם את עיקרי הדברים שעלו בדיון ואת המסקנות הנובעות ממנו. אין הוא כולל את כל אשר נאמר בו ועל כן אין הוא מייצג בהכרח את דעתם של כל המשתתפים בדיון ואת הנהלת הכנס.

משק החשמל של ישראל לקראת שנת 2030

סיכום דיון מכין לכנס הרצליה העשירי 2010

הדיון התקיים ב-29 בדצמבר, 2009

מחבר: אורי סלונים

סיכום מנהלים

מבנה מערכת החשמל הלאומית של ישראל המתוכננת לשנת 2030 הוא אחת המשימות הקשות והמורכבות ביותר העומדות בפני גורמי התכנון כיום. מדובר בתחום הדורש החלטה ותחילת ביצוע בהווה של פרויקטים גדולים מאד, יקרים ובעלי גמישות מוגבלת להתאמות ושינויים. פרויקטים אלה, שראשיתם כאמור בהווה, אמורים להיות מושלמים בטווח הזמן הבינוני ולהשפיע על הטווח הארוך. פרויקטים בתחום זה דורשים גישה תכנונית ייחודית, כזו המוגדרת כמתאימה לסביבה בעלת רמת אי-ודאות גבוהה, שתתאים למספר גדול של תרחישים עתידיים אפשריים ושתבטיח עלות חרטה נמוכה.

תכנון משק החשמל ברבע הראשון של המאה העשרים ואחת מחייב שקלולם של אילוצים נוספים, חדשים, הקשורים בניסיון העולמי לצמצום רמת הפליטה של גזי חממה לאטמוספירה ובצמצום ההשפעה הסביבתית (זיהום קרקע ומים, זיהום אוויר וכדומה) של ייצור החשמל.

נייר זה נועד להציג עבור הקורא את מערכת השיקולים המאפיינת את תהליך התכנון של משק החשמל, תוך הצגת הנסיבות המיוחדות לישראל, במרכזן נושא בטיחות האספקה וכן היותה "אי אנרגטי" העומד בפני עצמו. הנסיבות הביטחוניות והפוליטיות עדיין אינן מאפשרות למערכת הישראלית להיות מחוברת למערכות החשמל של מדינות שכנות, ובכך מצמצם עוד יותר מרחב הטעות והסיכון של מתכנני משק החשמל. גם אם בעתיד תשתכנה הנסיבות ותתאפשר קישוריות שכזו הרי שהיא אינה ניתנת כרגע לשקלול בהנחות התכנוניות.

בחלקו השני של הנייר יוצגו מקורות אפשריים לייצור חשמל לנוכח התחזיות הצופות הכפלה בביקוש עד לשנת 2030. בטווח הביניים, העשור הקרוב, יתבסס המשך פיתוח משק החשמל על אחד משני המקורות העיקריים כיום: פחם וגז. מקור נוסף להרחבת היצע החשמל בטווח הבינוני הוא התייעלות אנרגטית, הן בצד הצריכה (בעיקר באמצעות חיסכון וביזור אנרגיה – הסטת הצריכה משעות הנחשבות שעות שיא בביקוש) והן בצד הייצור וההולכה. אנרגיה גרעינית נראית כמענה האסטרטגי לטווח הארוך.

לאור המאפיינים הייחודיים של תכנון משק האנרגיה הלאומי, אנרגיות מתחדשות עדיין אינן נתפשות כמרכיב חשוב בתמהיל המקורות שאיפיון את משק החשמל העתידי. עלות החשמל המיוצר ממקורות אלה¹ עדיין לא הגיעה לרמה תחרותית המאפשרת, בנסיבות המאפיינות את ישראל, שילובן כמרכיב מרכזי בייצור החשמל. כמו כן, קיימים עדיין חסמים טכנולוגיים מהותיים (בתחום יכולת האגירה, בתחום הניצולת וכדומה) המונעים ממקורות אלה להיחשב אמנים.

נייר זה מתבסס על דיון שהתקיים במרכז הבינתחומי בהרצליה ב-29 בדצמבר, 2009, כהכנה למושב בנושא משק החשמל של ישראל בשנת 2030, שיתקיים במסגרת "כנס הרצליה העשירי". אחת התובנות העיקריות שעלו בדיון היא הסכמה רחבה, בקרב כל הגורמים הממלכתיים הקשורים בתכנון משק האנרגיה העתידי אשר השתתפו בדיון² (משרד התשתיות, המשרד להגנת הסביבה וחברת החשמל), על הצורך לפתח בישראל מערכת כורי כוח.

המומחים שנכחו בדיון הציעו לנסות ולמצות את האפשרויות להגדיל את כמות החשמל ממקורות קיימים (באמצעות הרחבה מוגבלת של ייצור בגז ובפחם, יעול השימוש בחשמל ותוספת ממקורות אנרגיה מתחדשים), וזאת על מנת לדחות את תחילת השימוש באנרגיה זו ככל הניתן, עד שתבשלה טכנולוגיות חדשות המכונות "טכנולוגיית כורים דור רביעי". טכנולוגיות אלה נחשבות בטוחות יותר ובעלות השפעה סביבתית קטנה יותר, גם מבחינת כמות הפסולת הגרעינית אותה הן מייצרות. טכנולוגיה זו צפויה להיות מבצעית לקראת שנת 2030. בכל מקרה, פרויקט הקמת כור כוח או מערכת של מספר כורים מחייבת היערכות נרחבת, כשהמועד הריאלי הקרוב ביותר לתחילת פעילותו של כור בארץ היא שנת 2020.

¹ אין הכוונה לדלקים לא-פוסיליים שמשמשים בתחבורה. דלקים אלה עדיין אינם משמשים תחליף לדלקים פוסיליים בתהליך ייצור החשמל.
² משרד האוצר הוא גורם רלוונטי שנעדר מדיון זה. רשימת משתתפי הדיון מופיעה בסוף המסמך.

ישראל אינה מסוגלת לבצע פרויקט מסוג כזה בעצמה ועליה לייבא ידע וציוד. ככלל, כור כוח הוא בגדר "מוצר מדף" המוקם ומתופעל על-ידי אחד היצרנים הבודדים הפועלים בשוק זה. על מנת לאפשר פעילותן בארץ של אחת משתי החברות, על ישראל להגיע להסדר שיעקוף את אי-חברותה במשטר האמנה למניעת תפוצה של נשק גרעיני (ה-NPT), בדומה להודו, שמדינות אחדות חתמו עמה על הסכמים לשת"פ גרעיני בתחום זה על אף שאיננה חברה ב-NPT (הרחבה על כך בהמשך).

לכל הפעולות הנ"ל נדרשת גישה מערכתית בהכונה ממשלתית, בנוסף לתכנון ותיאום בין גופים רבים ושונים. כורי כוח דורשים פעולות הכנה נרחבות וכך גם פעולות דוגמת העלאת שיעור הייצור של חשמל אלטרנטיבי ל-10% מכלל הייצור. במקרה זה נדרשת גם תוכנית ממשלתית למחקר ופיתוח (מו"פ) ייעודי בתחום. בהקשר זה ניתן לציין כי טכנולוגיה ישראלית לייצור חשמל או דלק ממקורות חליפיים היא בעלת פוטנציאל לשמש מנוף לכלכלה כולה.

תודה לכל אנשי המקצוע שהשתתפו בדיון והקדישו מזמנם ומניסיונם לסייע במיפוי ובתיאור השיקולים והמשמעויות הקשורים בסוגייה אסטרטגית זו. תודה מיוחדת לד"ר שלמה ולד, המדען הראשי של משרד התשתיות הלאומיות, לד"ר אדריאן ביאנו, סמנכ"ל פיתוח משאבים אסטרטגיים בחברת החשמל, ולד"ר עודד ברוש מהמכון למדיניות ואסטרטגיה, על שקראו את טיוטת הנייר, העירו הערותיהם וסייעו בהשלמת כתיבתו של מסמך זה. נייר זה אינו מבטא את עמדתם או דעתם של משתתפי הדיון או של הארגונים אליהם הם משתייכים. כל הנאמר בנייר הוא על אחריות מחבר המסמך.

א. עקרונות לתכנון משק החשמל

אנרגיה היא תחום קיומי בעל השפעה מכרעת על חיינו כפרטים וכחברה. העלויות הישירות של מרכיב האנרגיה במוצרים קיומיים, דוגמת מזון או מים, מגיעות כיום ל-60% מעלות הייצור הכוללת. נסיבות אלה מאפשרות מרחב טעות מצומצם ביותר, כשמחסור באנרגיה משמעו השבתה של המשק ופגיעה של ממש בחיי היום-יום של תושבי המדינה. תחום זה דורש השקעות עצומות המתבססות על הערכה ותכנון ארוך-טווח של כמה עשורים קדימה.

המתודולוגיה שבאמצעותה מתבצע תכנון משק החשמל חייבת לכלול מקדמי סיכון רבים, ובתוך כך להתבסס על מספר עקרונות יסודיים:

1. עמידות (robustness): התכנון חייב להתאים לשורה ארוכה של תרחישים הנוגעים לביקוש ולתנאי ייצור. ההנחות התכנוניות חייבות לכלול שורה ארוכה של תנאים סביבתיים עתידיים, בהם קיצוניים ביותר, כשעל התוכניות המוצעות להיות מודולאריות דיין על מנת לספק מענה טוב למספר גדול ככל האפשר של תרחישים. מבחן העמידות כולל מספר מרכיבים:

א. עמידות אספקה: תמהיל מקורות האנרגיה המוצע בתוכנית צריך להתייחס להיבטים של אמינות ובטיחות אספקה. התכנון חייב לכלול תמהיל מקורות בו כשל מערכתי של ממש (השבתה של מעל 30% מכושר הייצור) יהיה תוצר של צירוף נסיבתי בעל הסתברות נמוכה מאד.

ב. מוצקות טכנולוגית: הטכנולוגיות המשולבות בתוכנית, לטווח של העשור הקרוב, חייבות להיות טכנולוגיות מוכחות. לא ניתן להתבסס בתכנון על טכנולוגיות פוטנציאליות או על כאלה הנמצאות בשלבי פיתוח. יחד עם זאת, התכנון חייב לאפשר שילוב עתידי של טכנולוגיות שצפויות שתשלנה מאוחר יותר.

ג. זמינות משאבים: מלבד מימון, תכנון תשתיות אנרגיה מחייב תשומת לב לשורה של מרכיבים ייחודיים, דוגמת זמינות קרקע לביצוע התוכנית; מרכיב קריטי בתכנון של תחנות כוח סולאריות, הדורשות משאבי שטח עצומים ביחס להספק.

ד. התאמה לנורמות משתנות ולתקני השפעה סביבתית: התכנון חייב לקחת בחשבון התאמה לתקנים סביבתיים עתידיים ולתפישה ציבורית של הפתרונות המוצעים. כך, למשל, על רקע היבטים סביבתיים, מתפתחת מגמה הכוללת שלילת השימוש בפחם, הן על רקע הזיהום הסביבתי שגורמות תחנות כוח המופעלות בפחם והן על רקע נמות גזי החממה הנפלטים לאוויר בתהליך הייצור.

2. "פוליסת ביטוח": הפתרון העמיד מתבסס על ניתוח תחזיות ומניח בדרך-כלל מרווח טעות של כסטיית תקן אחת, בין האסטרטגיה שנבחרה כמאפשרת ביצועים טובים במספר גדול של סימולציות לבין קריטריון השוואה מחמיר שעלול להתקיים לבסוף בפועל. ואולם, במערכות קריטיות כמערכת האנרגיה, יש לדרוש, מעבר לנתונים שחושבו במסגרת הפתרון העמיד, שולי ביטוח נוספים, למשל, בתחזית הצריכה או במרכיבים של תמהיל הדלקים. הגדרת הגבולות של "פוליסת הביטוח" הנבחרת מתבססת על הנדבך השלישי של עקרונות קביעת המדיניות והוא ה"א-ח"רטה".

3. מדיניות אי-חרטה:³ גם אם ההנחות שנלקחו בחשבון בעת התכנון, בהן "תרחיש הגרוע מכל", המתחייבות מתכנון אל-כשל, תתבררנה כמוטעות ניתן יהיה לנצל את המתקנים ואת כושר הייצור העודף לצרכים אחרים, למשל להתפלה, או בעתיד לייצור מימן לצרכים תחברתיים.

על-פי כל התחזיות, עד לשנת 2030 הביקוש לחשמל בישראל יכפיל עצמו לעומת הרמה שבה הוא נמצא כיום. מדובר על תוספת של 10,000 מגה-וואט⁴ ליכולת הייצור המותקנת כיום. ברור לכל, כי משק החשמל של שנת 2030 לא יוכל להתבסס על הרחבה של המצב הקיים, וכי נדרשות התאמות לאילוצים שונים, בעיקר שינוי בזמינות/מחיר של דלקים פוסיליים ושינוי באפשרויות הייצור מבחינת תקני פליטה של גזי חממה. לטווח זה ידרש תמהיל חדש של מקורות לייצור חשמל, שיקלו שימוש במקורות אנרגיה מתחדשים ובאנרגיה גרעינית וכן אסטרטגיות לייעול השימוש והייצור. היכולת לשנות את תמהיל מקורות הייצור בעשור הקרוב מוגבלת מאד.

בעשור הקרוב תתמקד החשיבה התכנונית בשאלת הקמתה של יחידת ייצור פחמי נוספת, הגדלת כושר הייצור בגז, בחיסכון ובייעול הצריכה/ייצור וכן בשילובן של טכנולוגיות לייצור אנרגיה ממקורות "ירוקים" דוגמת רוח ואנרגיה סולארית. בקרב אנשי המקצוע שהשתתפו בדיון התקבע קונצנזוס ביחס להכרח לפתח יכולת לייצור חשמל באמצעות אנרגיה גרעינית. הוצע כי המעבר לשימוש באנרגיה זו יידחה ככל הניתן, באמצעות מיצוי מקסימלי של שיטות לייעול הייצור והצריכה ושיטות ייצור ממקורות מתחדשים, וזאת עד שתבשלה טכנולוגיות כורים מתקדמות (כורים דור IV)⁵ הנחשבות בטוחות ונקיות יותר מאלה הזמינות כיום.

ב. ייעול הצריכה והנהגת "רשת חכמה"

בהשוואה למדינות מתקדמות בעולם, רמת ניצול האנרגיה בישראל היא נמוכה. ייעול ניצול האנרגיה מתבצע הן בצד הצרכן והן בצד הייצור. בצד הצרכן מתבצעת התייעלות בשימוש ובאמצעות צעדים לשימור אנרגיה (דוגמת הסברה להגברת בידוד מבנים, ניקוי מסנני מזגנים וכדומה) וכן צעדים לעידוד הומוגניות של הביקוש, למשל באמצעות הנהגת תעריפים משתנים לשעות שונות ביממה. הומוגניות של הביקוש מאפשרת הנמכה של הרף העליון לביקוש חשמל (מכונה בשיח המקצועי "גילוח שיאי הביקוש"), שמשמעה הקטנה של ההשקעה בפיתוח תשתיות ייצור חדשות ואמצעי לגישור על הפער הצפוי בעשור הקרוב בין העלייה בביקוש לחשמל לבין קצב הפיתוח של תשתית הייצור.

אמצעי נוסף לגישור על הפער האמור הוא בנייה של תשתית הולכה המכונה "רשת חכמה" (Smart Grid). רשת מסוג זה מאפשרת מיתוג של אספקת החשמל בהתאם לביקושים, לגביהם מבוצע ניטור ברזולוציה גבוהה. הרשת מבצעת אינטגרציה של כלל יכולות הייצור הקיימות במערכת בכל רגע נתון, כולל מתקני ייצור אנרגיה חלופית (רוח, PV's, תרמו-סולארי וכדומה), וכך גם לגבי הביקושים ומיקומם הגיאוגרפי. הרשת מבצעת התאמה בין צריכה לייצור והיא מבוססת על ארכיטקטורה מודולארית שמתאימה לכל מצב נתון תמהיל מקורות שונה, בהיקף, בסוג ובמיקום. הישענות על גישה זו לניהול הייצור ולמיתוג האספקה מאפשרת המרה של המשך פיתוח תחנות כוח גדולות, בעלות גמישות הפעלה נמוכה יחסית, במערכת מבוצרת של יחידות ייצור בינוניות וקטנות מסוגים שונים. היבט נוסף לשימוש ב"רשת חכמה" הוא ביטחוני, אפשרות ביזור הייצור מגדילה את שרידותה הכוללת של המערכת. מערכת במבנה זה תוכל לספק חשמל ולתעדף את חלוקתו גם אם ייפגעו חלק ממתקני הייצור.

יש לציין, כי נושא ה"רשת החכמה" הוא תחום בעל פוטנציאל כלכלי רב. ביחס לשוק האמריקני מוערך הפוטנציאל הכלכלי של התחום בכ- 10 מיליארד דולר, וביחס לשוק האירופי הוא מוערך ב-10 מיליארד אירו. ישראל עשויה לשמש בתחום זה מובילה עולמית בפיתוח טכנולוגיה ומוצרים. הנהגת רשת חכמה בארץ תקדם מאד את פיתוחן של טכנולוגיות אלה בישראל ותשמש מנוף להובלה בשוק העולמי.

³ "חרטה במובן המקובל בכללה: הפער שבין ביצועי התכנון/אסטרטגיה הנבחרים לבין האסטרטגיה שבדיעבד היתה נבחרת אילו היה עומד לרשות המתכנן מידע מושלם.

⁴ כושר הייצור הנוכחי של חברת החשמל עומד על 9,900 מ"ו. תחנות הכוח בחדרה מסוגלות לייצר 2,590 מ"ו ובאשקלון 2,250 מ"ו חשמל. שאר הייצור מתבצע בתחנות קטנות-בינוניות המופעלות בגז, כשהיקף הייצור בכל אחת מהן נע בין 450 ל-660 מ"ו. התחנות הוותיקות בחיפה, בתל אביב ובאשדוד מייצרות 426 מ"ו, 428 מ"ו ו-1,439 מ"ו בהתאמה. הנתונים לקוחים מתוך: סטיבן פופר, קלוד בר-רבי, ג'יימס גריפין, תומאס לייט, אנדי מין, קית קריין (2009). *גז טבעי ועתיד האנרגיה בישראל: קבלת החלטות בטווח הקצר מנקודת מבט אסטרטגית*. RAND: סנטה מוניקה, קליפורניה. http://www.rand.org/pubs/monographs/2009/RAND_MG927.hebrew.pdf

⁵ ראו בהמשך פסקאות העוסקות באנרגיה גרעינית.

ג. פחם וגז

פחם הוא כיום מקור האנרגיה העיקרי של מדינת ישראל. כ-50% מהחשמל מיוצר כיום בתחנות פחמיות, 45% מיוצר באמצעות גז טבעי, וכל היתר באמצעות סולר ומזוט. המשך פיתוח יכולת הייצור בפחם הוא שאלה הממוקדת למעשה בבנייתה של תחנת כוח פחמית נוספת באשקלון. לטווח הארוך ברוך, כי ההכפלה הנדרשת ביכולת ייצור החשמל לא תוכל להתבסס על הפחם.

מבין כל אמצעי ייצור החשמל, תחנת הכוח הפחמית היא המתקן בעל ההשפעה הסביבתית הגדולה ביותר. תחנות אלה הן מפעלי ענק התופסים שטחים גדולים, בעלי ארובות גבוהות הנראות ממרחקים, והדורשות שטחים היקפיים גדולים לאחסון פחם ולטיפול באפר פחם. הקמת תחנות פחם נוגדת את עקרונות ביזור הייצור והקניית גמישות להיקפו. לתחנת כוח פחמית יש גם השפעה גדולה על איכות האוויר ברדיוס גדול מאד, וכן היא גורמת לבעיה סביבתית נוספת הנובעת מכמויות האפר העצומות הנוצרות בתהליך שריפת הפחם. תחנות הכוח הפחמיות בחדרה ובאשקלון מייצרות 1.2 מיליון טון אפר פחם מדי שנה. מדובר בחומר מזעזע, הכולל גם מרכיבים רדיו-אקטיביים, שהטיפול בו ופינויו נחשבים בעיה של ממש. על מנת לצמצם את ממדי הזיהום שיוצרות תחנות הכוח הפחמיות הקיימות של חברת החשמל יידרש סכום של 2.5 מיליארד דולר. סכום זה ישמש להסבת יחידות הייצור הפחמיות ולהתאמתן לדרישות ולתקינה המחמירות של השוק האירופי והאמריקני בתחום זיהום האוויר.

מעבר לשאלת הזיהום מתעוררת ביחס לנושא הפחם (וגם הגז) שאלת פליטת גזי חממה. תכנון משק החשמל העתידי חייב לקחת בחשבון תרחישים שונים של רמה מותרת לפליטה של גזי חממה. מלבד הצהרתו של הנשיא פרס בוועידת קופנהגן, לפיה מדינת ישראל תפחית עד 20% מרמת הפליטה כיום, עדיין לא התקבלה החלטה רשמית של הממשלה בנושא. נראה שישראל לא תוכל להוסיף ולהימנות על המדינות המתפתחות, מהן תידרש רמה נמוכה יותר של קיצוץ בפליטת גזי חממה. ישראל תידרש, ככל הנראה, לעמוד ברמות אליהן יתחייבו המדינות המפותחות.

הצבת רף בתחום רמת הפליטה של גזי חממה יוצרת אילוצים חדשים עבור המתכננים של משק החשמל העתידי. ייצור חשמל בהיקף כפול מזה הנעשה כיום תוך שמירה או אף הפחתה משמעותית של פליטות גזי חממה הוא בעיה של ממש. אנרגיות ודלקים חליפיים יחד עם ניהול מתוחכם יותר של הייצור וההולכה ויעול השימוש לא יצליחו להביא לעמידה ביעד זה. מכאן שתתחייב פנייה ליצור של אנרגיה גרעינית (ראו הרחבה להלן).

לעומת פחם, השימוש בגז ממתן במעט את ההיבטים הסביבתיים של הייצור. תחנות כוח המופעלות בגז הן קטנות יותר מבחינת השטח שהן תופסות, והן אינן מצריכות שטחי תמך דוגמת אלה הנדרשים לייצור פחם. תחנות הגז מתאימות לארכיטקטורת רשת מודולארית, השואפת למקם מוקדי ייצור סמוך לצרכנים. רמת הזיהום של תחנות אלה נמוכה מזו של תחנה פחמית אך יחד עם זאת תחנות המופעלות בגז, כמו כל התחנות הפועלות על דלקים פוסייליים, פולטות כמויות נכבדות של גזי חממה.

ישראל היא אחת המדינות המובילות בעולם כיום בשיעור היחסי של ייצור חשמל בגז. היקף הייצור החשמל בגז עומד על 40%, והוא צפוי לגדול ל-50% עקב הקמת יחידות ייצור חדשות המופעלות בגז טבעי עד שנת 2014, או לגדול לכ-60% מהייצור אם יוחלט שלא להקים תחנת כוח פחמית נוספת.

הישענות אסטרטגית על גז כמקור עיקרי לייצור אנרגיה יש בה בעיות תכנוניות ותפעוליות משמעותיות. ככלל, ייצור חשמל באמצעות גז נחשב אמין פחות מייצורו באמצעות פחם. מערכות ייצור מבוססות גז יכולות להגיע למצב אי-פעילות כתוצאה מצירוף מספר תקלות קטן ששכיחותן אינה זניחה. מדובר בעיקר בתקלות מהן סובלת מערכת צינורות ההזנה של גז בלחץ גבוה לתחנות. מערכת זו רגישה לדליפות, לירידות לחץ, להתלקחות ובפרט לאירועים ביטחוניים. יחד עם זאת, הגדלת שיעור השימוש בגז לייצור חשמל בישראל נהנית מתמיכה לאור גילויים של שדות גז משמעותיים למול חופי ישראל. האיזור הראשון בו התגלה גז, בשנת 1999, היה מול חופי אשקלון. היקפם המוערך של שדות "ים תטיס" הוא כ-32 מיליארד מטרים מעוקבים (ממ"ק). בשנים האחרונות התגלו שדות גז משמעותיים יותר בעומק הים, "גלית" ו"תמר", המוערכים כשדות בגודל של 207 ממ"ק.⁶ ההפקה משדות אלה צפויה להתחיל לא לפני שנת 2015. הצריכה הנוכחית של גז בישראל עומדת על 5 ממ"ק. בקצב זה צפוי שדה "ים תטיס" להתרוקן תוך 4 שנים. השדה המתרוקן יוסב לשמש מאגר בו יאוחסן גז שיזרם אליו מהשדות הצפוניים, "גלית" ו"תמר". הנחת צנרת תת-ימית שתקשר בין השדות תפחית במידה מסוימת סיכוי כשל אספקה היה ואחד מצינורות ההזנה ייפגע.

מבחינה אסטרטגית, הגברת הישענות על ייצור חשמל בגז תחייב, במקביל לשימוש בגז הישראלי, פיתוח של תשתית לייבוא גז (טבעי או במצב נוזלי). כבר כיום מחוברת ישראל בצינור לשדות גז הנמצאים מול חופי אל-עריש (פרויקט EMG). צינור זה הוא בעל קיבולת של 7 ממ"ק בשנה. בנוסף, קיימת אפשרות טכנית-גיאוגרפית להניח צנרת שתתחבר לקווי הגז המגיעים מאיזור הקווקאז לתורכיה או לצנרת הגז

⁶ אבי בר-אלי, "שדה תמר עשיר יותר מהציפיות". הארץ, 13.8.09.

המגיעה לירדן מאיזור המפרץ הפרסי. כמו כן, קיימת אפשרות לייבוא גז נוזלי באוניות. אפשרות זו מחייבת הקמת מסופי פריקה ועיבוי⁷ בעלות גבוהה ועם סיכונים סביבתיים וביטחוניים גדולים.

שקלול ההיבטים לעיל ומחויבות הממשלה לאספקת חשמל סדירה עד 2020 מובילים לכך שאין פתרון ממשי אחר מאשר המשך פיתוח בפחם (לפחות פרויקט נוסף אחד לקראת 2015) תוך דגש על עמידה בתקנים מחמירים לפליטות מזהמים ובשילוב יחידות חדשות מוסקות בגז.

ד. אנרגיה גרעינית

במקביל להתנגדות להרחבת השימוש בפחם הופך הגרעין למקור אנרגיה לגיטימי במדינות רבות בעולם, כולל מדינות שעד לפני שנים ספורות שללו לחלוטין שימוש בו. מדינות רבות עוסקות בתכנון ובהקמה בפועל של תשתית גרעינית לייצור אנרגיה, פעילות שקיבלה את הכינוי "רנסנס גרעיני". למעשה, שימוש באנרגיה גרעינית נתפש כפתרון אסטרטגי יחיד להתמודדות עם הביקוש הגדל לאנרגיה מצד אחד ועם תקנות פליטת גזי חממה מאידך. כבר כיום תופסת אנרגיה גרעינית נתח משמעותי במשק החשמל במספר מדינות, כשהמובילה בהן היא צרפת, שם תופסת אנרגיה גרעינית נתח של כ-80% מכלל ייצור החשמל במדינה, באמצעות 60 כורי כוח. בארה"ב מספקים 100 כורי כוח כ-20% מכלל ייצור החשמל במדינה. שיעורים דומים של חשמל מופקים באנרגיה גרעינית במדינות תעשייתיות מובילות אחרות, כמו בריטניה, ספרד, יפן וגרמניה.

הטכנולוגיה לייצור אנרגיה גרעינית התקדמה מאד בתחום הבטיחות וניהול הסיכונים הכרוכים בה, אך קפיצת מדרגה של ממש, בכל הקשור לתהליך ייצור האנרגיה בכורים, צפויה ליהפך זמינה לקראת שנת 2025 לערך. אז צפויה תחילת פעולתם של כורים המכונים "כורי דור רביעי". כורים אלה נשענים על עקרונות הנדסיים המקנים בטיחות פסיבית אימננטית (להבדיל ממנגנוני בטיחות שהפעלתם תלויה בהוראת טכנאי או בחיזוי המתווך באמצעות חיישן אלקטרוני – שני גורמי הפעלה המועדים לתקלות). כמו כן, כורים אלה מתוכננים לפעול בטמפרטורה גבוהה מאד, קרוב ל-1,000 מעלות צלזיוס, גורם המשפר משמעותית את ניצולת הדלק הגרעיני ובכך קטנה כמות הפסולת הגרעינית. יתר על כן, כורים מסוג זה יכולים לייצר אנרגיה ממאגרים קיימים של פסולת גרעינית וכן להניב מוצרי לוואי כמימן.

הצורך בפניה לאופציה הגרעינית הוא כמעט קונצנזוס בקרב מומחים בארץ בתחום האנרגיה. מבחינה פורמלית, ההחלטה על ייצור אנרגיה גרעינית בישראל התקבלה כבר באמצע שנות ה-70 של המאה שעברה ע"י ממשלת רבין הראשונה, כלקח ממשבר הנפט. הוועדה לאנרגיה אטומית וחברת החשמל הקימו צוותי עבודה ייעודיים, ואף החלו להתנהל מגעים עם ממשלת צרפת בנוגע לאספקת דלק גרעיני ולהעברה חזרה של הפסולת. נבחר אף אתר בנגב, שבטה, בו תוקם התחנה.⁸ משרד האוצר התנגד אז לקידום התוכנית ובמקומה נבחרה האופציה הפחמית. בשנים האחרונות חלה התעוררות מחודשת של העיסוק בנושא, כשמבחינתה של חברת החשמל התחלת שימוש באנרגיה גרעינית היא הנחה תכנונית תקפה. החברה מקצה משאבים וזמן למחקר ולפיתוח של הנושא. בהקשר זה מכשירה חברת החשמל מהנדסי חשמל-גרעין במסגרת המחלקה להנדסה גרעינית שבאוניברסיטת בן גוריון. במסגרת התוכנית צפויה הכשרתם של 40 מהנדסים, ב-5 השנים הקרובות.

בהיותה מדינה שאינה חתומה על האמנה למניעת תפוצה של נשק גרעיני (ה-NPT), לכאורה אינה יכולה לקבל טכנולוגיה ומוצרים הקשורים בגרעין. ישראל לא תוכל לפתח אנרגיה גרעינית באופן עצמאי, והיא נזקקת לסיוע בידע, בציוד ובתחום התפעול והבטיחות. הודו היא מדינה שהצליחה להגיע להסכם בילטרלי עם ארצות הברית המאפשר לה ליהנות מגישה לידע ולציוד גרעיני אזרחי בלא להיות חתומה על אמנת ה-NPT. הודו התחייבה במסגרת ההסכם לפתוח את כל מתקניה הגרעיניים האזרחיים לביקורת של הסוכנות הבינלאומית לאנרגיה אטומית (סבא"א, IAEA), תנאי שחייב אישור של הסוכנות להסכם.

חשוב לציין, שגם קודם להסכם כבר פעלו בהודו כ-17 כורי כוח, שהוקמו במהלך שנות ה-90 של המאה הקודמת, והם אחראים לייצור 4,120 מ"ו, כ-5% מכלל ייצור החשמל במדינה. כורים אלה נבנו בעיקר בסיוע רוסי⁹ ובאמצעים שפותחו בהודו באופן עצמאי. העלות של ייבוא ידע, דלק גרעיני ופיתוח עצמאי היתה גבוהה מאד עבור הודו מאחר שלא התבצעה דרך ארגון ספקיות הגרעין (Nuclear Suppliers Group-NSG). אי-חברותה ב-NPT מנעה ממנה השגה של דלק וטכנולוגיה גרעינית במחירים תחרותיים שהיו מאפשרים לה להפוך את הגרעין למרכיב מרכזי בתמהיל המקורות לייצור חשמל.

⁷ ניתוח מלא של אפשרויות יבוא גז לישראל נמצא ב: פופר, בר-רבי, גריפין, לייט, מין, קרין (2009).

⁸ החשיבה הקיימת כיום אינה מתייחסת בהכרח לתחנה גרעינית אחת גדולה אלא מתייחסת לתוכנית הכללית מספר כורי כוח בעלי הספק ייצור בינוני של החל מ-500 מ"ו חשמל.

⁹ אספקת הציוד והדלק הגרעיני מרוסיה התבססה על הסכם בילטרלי הדומה במרכיביו למאפייני הפיקוח הנדרשים במסגרת ה-NPT.

גיבוש ההסכם היה תהליך מדיני ופוליטי מורכב שארך 3 שנים (2005-2008), מאחר שסתר עקרונות תפוצה גרעינית, כרסם בתוקפה של ה-NPT ואף התנגש עם החקיקה האמריקנית. אחד הטיעונים העיקריים שבהם השתמשו פקדי הממשל לשכנע את המערכת הפוליטית האמריקנית, את סבא"א ואת הקהילה הבינלאומית לקבל את ההסכם היו צרכי הדחופים של הודו בתחום החשמל, והרצון לצמצם ייצור באמצעות פחם. לאחר החתימה עם ארה"ב, חתמה הודו על הסכם במתכונת דומה גם עם צרפת. ישנם רבים בישראל הרואים את ה"מודל ההודי" כמתאים להחלה גם על המקרה הישראלי. יחד עם זאת, בחינה מקרוב של הנסיבות הפוליטיות והאיזורים מטיל ספק על תפישה אופטימית זו.

אם יוקמו בישראל כורי כוח במהלך העשור הקרוב לא יהיו אלה כורים פרי פיתוח והקמה ישראליים. כורי כוח הם בגדר "מוצר מדף" אותו תקמה ותפעלנה אחת מהיצרניות הגדולות של כורים אלה, כגון חברת Areva הצרפתית או חברת Westinghouse האמריקנית. במודל ההפעלה של כורים מסוג זה מקבלת חברת החשמל, או גורם ייצור חשמל אחר, קיטור להפעלת הטורבינות אך אינה עוסקת בתפעול השוטף. עם זאת, מובן שהכורים מיועדים להפעלה שוטפת על-ידי כוח אדם ישראלי מיומן.

ה. אנרגיות מתחדשות

בקרב אנשי המקצוע קיים ויכוח בנוגע למקום שיכולה לתפוס אנרגיה ממקורות חלופיים בסל המקורות הלאומי. עבור משרד התשתיות וחברת החשמל מקורות אלה יכולים לסייע במילוי הפערים בין הדרישה הגדלה לחשמל והזמן הנדרש לפיתוח תשתית ייצור אסטרטגית. אנרגיות מתחדשות אינן נחשבות מבחינתם מקור מוביל לייצור חשמל, אך יחד עם זאת הם פועלים לקידום החלטת הממשלה לפיה תוך עשור ייוצרו 10% של החשמל ממקורות אנרגיה חלופיים. על-פי דעה זו, אנרגיה ממקורות חלופיים (שמש ורוח) אינה יציבה דיה מבחינת אמינות אספקה וכן אינה תחרותית מבחינת המחיר. בטווח הקרוב והבינוני לא צפויה הוזלה משמעותית במחיר החשמל שמקורו באנרגיה מתחדשת לעומת חשמל ממקורות פוסיליים. בעיה מהותית נוספת המונעת הפיכתם של מקורות מתחדשים (ללא דלקים אלטרנטיביים – biomass fuels) למרכיב אסטרטגי בייצור היא בעיה טכנולוגית הנוגעת לחוסר יכולת לאגור אנרגיה זו ולהשתמש בה בהתאם לרמות הביקוש.

לצד תפישה זו, קיימת עמדה הרואה דווקא אפשרות לשימוש באנרגיות מתחדשות בהיקפים משמעותיים. עמדה זו נתמכת בהתרחבות המואצת של שימוש בפתרונות לייצור חשמל ואנרגיה (לחימום, למשל) ממקורות חליפיים באירופה ובארה"ב¹⁰, ובהערכה לפיה עד שנת 2015 ישתוו מחירי קילו-וואט שעה פוסילי וקילו-וואט שעה אנרגיה מתחדשת, גורם שיקנה תמריץ משמעותי לשימוש מוגבר באנרגיות אלה.

הדיון באנרגיות מתחדשות חייב לכלול התייחסות לנושא הדלקים האלטרנטיביים, דלק שמקורו שומנים צמחיים וחומר ממוחזר. לשימוש בדלקים אלה יתרונות סביבתיים רבים: בהיותם מיוצרים מצמחים, הפחמן המשתחרר מהם בתהליך השריפה הוא אותו פחמן שספחו מהאוויר שבו גדלו. יחד עם זאת, קיימות שאלות אקולוגיות וכלכליות רבות בנוגע לשימוש נרחב בדלקים מסוג זה, בעיקר השפעתם על החקלאות ועל מחירי המזון. בהקשר זה יש לציין פיתוח אפשרויות לגידולים שתכליתם ייצור דלק שאינם מתבססים על שימוש במים מתוקים, דוגמת גידול אצות.

גם בתחום ה-biomass קיימים שורה של חסמים המונעים מדלקים אלה לשימוש מרכזי משמעותי במשק החשמל, בראשם היכולת להבטיח ייצור תעשייתי בהיקפים גדולים מאד. המעבר משלב בדיקת ההיתכנות והוכחת הרעיון לשלב שימוש מסחרי רחב היקף בשיטות אלטרנטיביות לייצור חשמל הוא בעיה קריטית המשותפת לתחום כולו. פתרונות שיצליחו להתמודד עם בעייתיות זו טמון בהם פוטנציאל כלכלי עצום. בהקשר זה, מדיניות מו"פ ישראלית שתצליח לפרוץ חסמים אלה עשויה להפוך את תחום האנרגיה המתחדשת למנוף צמיחה של ממש.

ו. סיכום

הצירוף של עלייה דרמטית בביקושים לחשמל יחד עם אילוצים ומגבלות סביבתיים מציבים אתגר קשה למתכנני משק החשמל של שנת 2030. צירוף זה אינו מאפשר המשך פיתוח של מקורות הייצור הקיימים.

תמהיל הפתרונות המוצע להתמודדות עם אילוצים אלה כולל פיתוח של תחנה פחמית נוספת, הרחבה של תשתית הייצור בגז, פיתוח תשתית לייצור חשמל מאנרגיה חלופית ובטווח הבינוני והארוך הישענות אסטרטגית על אנרגיה גרעינית. לצדם של צעדים אלה להגדלת

¹⁰ נתונים מפורטים על התרחבות השימוש במקורות, היקף ההשקעות וצעדים לקידום מדיניות ממשלתית בנושא, נמצאים למשל באתר הארגון הבינלאומי לאנרגיה מתחדשת: www.irena.org.

הייצור ישנם צעדים בהם ניתן להגדיל את ההיצע, ללא השקעה בפיתוח מקורות חדשים, באמצעות יעול השימוש בחשמל, ניהול טוב יותר של רשתות ההולכה וחיסכון.

לכל הפעולות הנ"ל נדרשת גישה מערכתית בהכוונה ממשלתית. נדרש תכנון ותיאום בין גופים רבים ושונים. כורי כוח מצריכים פעולות הכנה נרחבות וכך גם פעולות דוגמת העלאת שיעור הייצור של חשמל אלטרנטיבי ל-10% מכלל הייצור. במקרה זה נדרשת גם תוכנית ממשלתית למו"פ ייעודי בתחום. בהקשר זה ניתן לציין כי קיים פוטנציאל טכנולוגי ישראלי לייצור חשמל מדלק ממקורות חלופיים; לפריצת דרך בעלות ייצור מערכות פוטוולטאיות לניצול אנרגית השמש; לצמצום משאבי הקרקע ולהגדלת הנצילות של תחנות כוח קיטוריות המנצלות אנרגית השמש; וכן לייצוא מערכות מתחכמות להפיכת רשתות החשמל לחכמות.