

כנס הרצליה
השנתי העשירי
על מאזן החוסן והביטחון הלאומי

הרצליה 2010 HERZLIYA

31 בינואר - 3 בפברואר, 2010

The Tenth Annual
Herzliya Conference

משק החשמל של ישראל

לקראת שנת 2030

מסמך מסכם

מחבר: אורי סלונים

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

המסמך משקף את דעתם של הכותבים בלבד

משק החשמל של ישראל

לקראת שנת 2030

א. עיקרי הדברים

קביעת מבנה מערכת החשמל הלאומית של ישראל 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 ולשינויים. 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-וודאות גבוהה, שתתאים למספר גדול של תרחישים עתידיים אפשריים ושתבטיח עלות חרטה נמוכה.

תכנון משק החשמל ברבע הראשון של המאה העשרים ואחת מחייב שקלול 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. הנסיבות הביטחוניות והפוליטיות המאפיינות את הסביבה בה נמצאת ישראל מצמצמות עוד יותר את מרחב הטעות של המתכננים. ישראל מוגדרת כ"אי-אנרגטי" ואינה יכולה להניח תכנונית אפשרות של קישוריות לרשתות חשמל של מדינות שכנות.

נייר זה נועד להציג לקורא 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. הנייר מציג את הפרמטרים ואת מערכת המושגים הקשורה בדיון זה ומסכמת עבור הקורא את הנושא כפי שהוצג בכנס הרצליה האחרון ובדיונים שקדמו לו¹. הנייר מציג ומנתח את הדיון המתנהל בארץ לנוכח התחזיות הצופות הכפלה בביקוש עד לשנת 2030. בטווח הביניים, העשור הקרוב, יתבסס המשך פיתוח משק החשמל על המקורות העיקריים כיום: פחם וגז. מקור נוסף להרחבת היצע החשמל בטווח הבינוני הוא התייעלות אנרגטית, הן בצד הצריכה, בעיקר באמצעות חיסכון וביזור אנרגיה באמצעות הסטת הצריכה משעות הנחשבות שעות שיא בביקוש, והן בצד הייצור וההולכה. אנרגיה גרעינית נראית כמענה האסטרטגי לטווח הארוך. בכתבת הנייר נעשה מאמץ להתמקד בהיבטים תכנוניים מקצועיים, ולבודד את הדיון מהיבטים פוליטיים וכלכליים-פוליטיים. היבטים אלה הם חלק גדול מהשיח בנוגע לעתיד משק החשמל, לאור המגבלות הרגולטוריות שהוטלו על חברת החשמל ביחס להמשך צמיחתה בשוק החשמל וכן לנוכח תגליות הגז המשמעותיות מול חופי ישראל.

לצד השיח הציבורי בנושא רגולציה ומקום הגז, מתקיים דיון ער בנוגע למקומן של אנרגיות מתחדשות במשק החשמל. במסגרת דיוני ההכנה ובמסגרת הכנס זכו מקורות אנרגיה אלה לאזכור דל, לעומת הבולטות להם הזכרים בשיח הכללי. אנרגיות מתחדשות עדיין אינן נתפשות כמרכיב חשוב בתמהיל המקורות שיאפיין את משק החשמל העתידי. עלות החשמל המיוצר ממקורות אלה² עדיין לא הגיעה לרמה תחרותית המאפשרת, בנסיבות המאפיינות את ישראל, שילוב כמרכיב מרכזי בייצור החשמל. כמו כן, קיימים עדיין חסמים טכנולוגיים מהותיים, למשל בתחום יכולת האגירה ובתחום הניצולת, המונעים ממקורות אלה להיחשב אמינים.

אחת התובנות העיקריות שעלו בדיון היא הסכמה רחבה, בקרב כל הגורמים הממלכתיים הקשורים בתכנון משק האנרגיה העתידי אשר השתתפו בדיון (משרד התשתיות, המשרד להגנת הסביבה וחברת החשמל), על הצורך לפתח בישראל מערכת כורי כוח. לנוכח הגידול הצפוי בביקוש לחשמל³ הציעו המומחים שנכחו בדיון לנסות ולמצות את האפשרויות להגדיל את כמות החשמל ממקורות קיימים, באמצעות הרחבה מוגבלת של ייצור בגז ובפחם, ייעול השימוש בחשמל ותוספת ממקורות אנרגיה מתחדשים. זאת, על מנת לדחות את תחילת השימוש באנרגיה גרעינית ככל הניתן, עד שתשלנה טכנולוגיות חדשות המכונות

¹ פרק זה הוא הרחבה ועדכון לנייר עבודה שהוכן לקראת כנס הרצליה ינואר 2010. גרסתו הראשונה של הנייר התבססה על דיון מקדים שהתקיים בתאריך 29.12.09 במרכז הבינתחומי הרצליה, בו השתתפו מומחים מתחום האנרגיה. אנו מבקשים להודות שוב לכל אנשי המקצוע שהשתתפו בדיון והקדישו מזמנם ומניסיונם לסייע במיפוי ובתיאור של השיקולים והמשמעויות הקשורים בסוגיה 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, לד"ר עודד ברוש ולעידן לוי מהמכון למדיניות ואסטרטגיה, על שקראו את טיוטות הנייר בגרסאותיו השונות, והעירו את הערותיהם. נייר זה אינו מבטא את עמדתם או דעתם הדיון או של הארגונים אליהם הם משתייכים. כל הנאמר בנייר הוא על אחריות המחבר.

² אין הכוונה לדלקים לא-פוסיליים משמשים בתחבורה (אתנול, ביו-דיזל). דלקים אלה אינם משמשים תחליף לדלקים פוסיליים בתהליך ייצור החשמל.

³ יש לציין בהקשר זה כי על רקע המשבר הכלכלי העולמי החמור של שנת 2008 נרשמה, לראשונה, בארץ ובעולם ירידה בביקוש לחשמל. משמעותה של ירידה זו, במיוחד אם היא חלק ממגמה אסטרטגית של מספר שנים, עדיין נתונה לדיון ומחלוקת ואין לה עדיין ביטוי בהנחות התכנוניות של משק החשמל העתידי.

"טכנולוגיית כורים דור רביעי". טכנולוגיות אלו נחשבות בטוחות יותר ובעלות השפעה סביבתית קטנה יותר מבחינת כמות הפסולת הגרעינית אותה הן מייצרות ואורך החיים שלהן, וכן צפויים להבטיח ניצולת ותפוקה גבוהים יותר. טכנולוגיה זו צפויה להבשיל לשימוש מסחרי 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.

ישראל אינה מסוגלת לבצע פרויקט מסוג זה 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 פעילות של יצרנים אלו בארץ, 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)⁴.

לכל הפעולות האלה נדרשת גישה מערכתית בהכוונה ממשלתית, בנוסף לתכנון ולתיאום בין גופים רבים ושונים. במקרה זה נדרשת גם תוכנית ממשלתית למחקר ופיתוח (מו"פ) ייעודי בתחום. הכוונה והשקעה ממשלתית במו"פ נדרשים גם לצורך העלאת משקל האנרגיה המתחדשת בסך מקורות הייצור. הממשלה קבעה כי מקורות אלה יתרמו כ-10% מסך כושר הייצור המותקן. בהקשר זה ניתן לציין כי טכנולוגיה ישראלית לייצור חשמל או דלק ממקורות חליפיים היא בעלת פוטנציאל לשמש מנוף לכלכלה כולה.

ב. עקרונות לתכנון משק החשמל⁵

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 ועל תכנון ארוך-טווח של כמה עשורים קדימה.

מושג מפתח בתכנון משק החשמל הוא "עמידות" (Robustness), שמשמעותה היא כי התכנון הנבחר חייב להתאים לשורה ארוכה של תרחישים הנוגעים לביקוש, לזמינות דלקים ולתנאי ייצור. ההנחות התכנוניות חייבות לכלול שורה ארוכה של תנאים סביבתיים עתידיים, בהם קיצוניים ביותר, ועל התוכניות המוצעות להיות מודולאריות דיין על מנת לספק מענה טוב למספר גדול ככל האפשר של תרחישים. מבחן העמידות כולל מספר מרכיבים:

מאפיין תכנוני נוסף הוא "עמידות אספקה". משמעו של מושג זה הוא כי תמהיל מקורות האנרגיה המוצע בתוכנית צריך להתייחס להיבטים של אמינות ושל בטיחות 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. כמו כן, 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 שצפוית שתבשלנה מאוחר יותר. יש לשים לב לשורה של מרכיבים ייחודיים, דוגמת זמינות קרקע לביצוע התוכנית; מרכיב קריטי בתכנון של תחנות כוח סולאריות, הדורשות משאבי שטח עצומים ביחס להספק.

אין להתעלם בתכנון משיקולים של 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 כמות גזי החממה הנפלטת לאוויר בתהליך הייצור. בשנות ה-80, במיוחד לאחר אסון צ'רנוביל, נחשבה האנרגיה הגרעינית מקור בלתי לגיטימי וישנן מדינות, דוגמת אוסטרליה ושוודיה, ששללו באמצעות חקיקה את בנייתם של כורים חדשים.

התכנית הנבחרת כתוצאה משקלול סך היבטים אלה מניחה 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 כמערכות האנרגיה, יש לדרוש, מעבר לנתונים שחושבו במסגרת הפתרון העמיד, שולי ביטחון

⁴ קיימת כמובן גם האפשרות כי ישראל תיכנס למשטר האמנה או שהאמנה במתכונתה הנוכחית תבוטל.

⁵ פרק זה מבוסס על סקירה מאת הד"ר שלמה ולד, המדען הראשי של משרד התשתיות הלאומיות, כפתיחה לדיון הכנה בנושא "משק החשמל של ישראל 2030", שהתקיים במרכז הבינתחומי הרצליה ב-29.12.09.

נוספים, למשל, בתחזית הצריכה או במרכיבים של תמהיל הדלקים. הגדרת הגבולות של "פוליטת הביטוח" הנבחרת מתבססת על הנדבך השלישי של עקרונות קביעת המדיניות והוא ה"א-י-ח"רטה".

מדיניות אי-ח"רטה⁶ מבטאת גידור בפני מצב בו ההנחות שנלקחו בחשבון בעת התכנון, בהן "תרחיש הגרוע מכל", המתחייבות מתכנון אל-כשל, תתבררנה כמוטעות. במקרה זה ניתן יהיה לנצל את המתקנים ואת כושר הייצור העודף לצרכים אחרים, למשל להתפלה, או בעתיד לייצור מימן לצרכי תחבורה.

על-פי כל התחזיות, עד לשנת 2030 יוכל הביקוש לחשמל בישראל לעומת הרמה שבה הוא נמצא כיום. מדובר בתוספת של 10,000 מגה-וואט⁷ 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 ובמחיר של דלקים פוסיליים ושינוי באפשרויות הייצור מבחינת תקני פליטה של גזי חממה. לטווח זה יידרש תמהיל חדש של מקורות לייצור חשמל, שיכלול שימוש במקורות אנרגיה מתחדשים ובאנרגיה גרעינית וכן אסטרטגיות ליעול 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 והייצור 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 מקסימאלי של שיטות ליעול הייצור והצריכה ושיטות ייצור ממקורות מתחדשים, וזאת עד שתבשלה טכנולוגיות כורים מתקדמות (כורים דור IV) הנחשבות יעילות, בטוחות ונקיות יותר. מאלה הזמינות כיום.

ג. פליטת גזי חממה כשיקול תכנוני

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 וכן לכלול בתחשיבים אפשרות הנהגתם של היטלי פליטה. למרות הצהרתו של הנשיא פרס בוועידת קופנהגן, לפיה מדינת ישראל תפחית עד 20% מרמת הפליטה כיום, עדיין לא התקבלה החלטה רשמית של הממשלה בנושא. מדינות אירופה הכריזו על יעדים שאפתניים בתחום צמצום פליטת גזי חממה החורגים מעבר לנדרש מהן במסגרת אמנת קיוטו. האיחוד האירופי מוביל בחקיקה הקטנה של פליטת גזי חממה בשיעור של 20% ביחס לפליטות בשנת 1990 תוך שאיפה להגיע עד שנת 2050 לצמצום של 50%. גם ארה"ב, שעד כה נמנעה מלאשרר את פרוטוקול קיוטו, מתקדמת, מאז תחילת כהונתו של הנשיא אובמה, לקראת חקיקה יעודית. מספר מדינות בארה"ב כבר יזמו חקיקה מקומית בנושא. גם סין הצהירה כי תפחית עד שנת 2025 כ-45% מפליטת גזי חממה ביחס לרמות הפליטה של שנת 2005. צירופה של ישראל לארגון ה-OECD יחייב אותה לתקני הפליטה המתקדמים וכנראה גם המחמירים ביותר. ישראל לא תוכל להוסיף ולהימנות עם המדינות המתפתחות, מהן תידרש רמה נמוכה יותר של קיצוץ בפליטת גזי חממה, אלא 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 לייצור של אנרגיה גרעינית (ראו הרחבה להלן).

⁶ "ח"רטה" במובן המקובל בכלכלה: הפער שבין ביוצעי התכנון/אסטרטגיה הנבחרים לבין האסטרטגיה שבדיעבד הייתה נבחרת אילו היה עומד לרשות המתכנן מידע מושלם.
⁷ כושר הייצור הנוכחי של חברת החשמל עומד כיום 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 גרפיין, 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

ד. ייצור חשמל באמצעות פחם

בדומה לרוב מדינות העולם 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 כולל שני היבטים, האחד נוגע באופן ממוקד בשאלת בנייתה של תחנת כוח פחמית נוספת באשקלון, המכונה "תחנה D", והאחר נוגע להמשך תפעולן של התחנות הקיימות.

מבין כל אמצעי ייצור החשמל, תחנת הכוח הפחמית היא המתקן בעל השפעה 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. שינוע הפחם לתחנה מחייב הקמתה בשטחי חוף יקרי ערך והקמת מסוף פריקה ימי. לתחנת כוח פחמית יש גם השפעה גדולה על איכות האוויר ברדיוס גדול מאד, והיא 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 מזהם, הכולל גם מרכיבים רדיו-אקטיביים, שהטיפול בו ופינויו נחשבים בעיה של ממש.

תחנות מוסקות בפחם משמשות לרוב ייצור החשמל בעולם כך שבעיות סביבתיות וכלכליות הנוגעות לתפעולן הן בעלות משמעות אסטרטגית למשק האנרגיה העולמי. משאבים ותשומת לב רבה מוקדשים למציאת פתרונות שיאפשרו המשך הפעלתן של תחנות אלה בכפוף למגבלות ולאילוצים סביבתיים. מאמצים אלה מכוונים לשני תחומים המשולבים זה בזה: הגברת הניצולת של שריפת הפחם וצמצום פליטת המזהמים שיוצרת פעילותן של תחנות הכוח הפחמיות.

בעשור האחרון פותחו מספר שיטות ליעול תהליך שריפת הפחם, הן מבחינת ניצולת אנרגטית והן מבחינת צמצום משמעותי של פליטת מזהמים, אך בלא מענה לבעיית גזי החממה. מדובר במתקנים לסינון תוצרי הלוואי של השריפה, ובמתקנים המשלבים העלאה של ניצולת השריפה תוך נטרול מזהמים הנוצרים בה. חברת החשמל נמצאת בשלבים אחרונים לקראת הקמתם של מתקני "סליקה" בשתיים מיחידות הייצור של התחנה בחדרה. מדובר במתקנים המבצעים הפחתה של עד 90% מכמות תחמוצות הגופרית הנוצרות בתהליך השריפה הקונבנציונאלי⁸. החברה מתכננת הפעלת מתקני "סליקה" בכל התחנות המוסקות בפחם וכן הרחבת המהלך להתקנה של מערכות סינון ונטרול פליטות גם ביחס לתחמוצות חנקן. חברת החשמל מעריכה כי התקנת מערכות סינון, שיביאו את פליטת המזהמים מתחנות הכוח הפחמיות לרמה המותרת בתקנים הנהוגים באירופה ובארה"ב, תעלה כ-2.5 מיליארד דולר.

לצד מערכות ה"סליקה" הגיעו לבשלות בעשור האחרון טכנולוגיות להגדלת הניצולת ולצמצום הזיהום של תהליך שריפת הפחם באמצעות "גזיפיקציה" (IGCC או IGHT). מדובר במתקנים המבצעים המרה של הפחם מתצורתו הגולמית לתערובת גזים ע"י גריסתו וחימומו בסביבה רווית קיטור וחמצן תוך סילוק מזהמים, ושימוש בתערובת הגזים הנקייה להפקת חשמל בתהליכים בעלי ניצולת גבוהה. יתר על כן, הצמדת יחידות גזיפיקציה לתחנות פחם מאפשרת הפקת תוצרי לוואי ממזהמים כגון תרכובת גופרית ומתכות כבדות, שהם בעלי ערך כלכלי בפני עצמם. יתרון נוסף של תהליך זה הוא השימוש בתהליך "מחזור משולב"⁹. תהליך המבוסס על גזיפיקציה ועל מחזור משולב, מעלה את ניצולת תחנת הכוח מ-37% ל-47% ובתנאים מסוימים אף מעבר לכך.¹⁰ יש לציין כי בתכנית הפיתוח של חברת החשמל נכללים מרכיבים הכלולים במתקני IGCC, דוגמת שדרוג מטחנות פחם, החלפת מבערים ושינויים בהזנת האוויר לתנורים.

⁸ מדובר בתהליך Flue Gas Desulfurization (FGD), בו תערובת של מים וגיר סופחת את הגופרית הדו-חמצנית הנוצרת בשריפת הפחם. התהליך דורש כמויות גדולות יחסית של מים ושל אבן גיר.

⁹ ראה הסבר בחלק העוסק בייצור חשמל בגז.

¹⁰ נושא רמת הניצולת - היחס בין האנרגיה המשתחררת בתהליך הייצור והחשמל המופק בפועל - היא בעיה משותפת לכל אופני ייצור החשמל המבוססים על המרה תרמית (פחם, גז, גרעין). תהליכים אלה פולטים חום שיויר רב. מערכות ייצור בגז מטיפוס "מחזור משולב" הן דוגמה לניצול חום זה לייצור קיטור המניע טורבינה משנית המייצרת חשמל גם היא. בתחנות מחזור משולב מגיעה הניצולת לרמה של עד 51%-56%.

ה. ייצור חשמל באמצעות גז טבעי

לעומת פחם, השימוש בגז ממתן במעט את ההיבטים הסביבתיים של הייצור. תחנות כוח המופעלות בגז קטנות יותר מבחינת השטח שהן תופסות, הן אינן מצריכות שטחי תמך דוגמת אלה הנדרשים לייצור פחם ואין צורך לבנותן בשטחי חוף. תחנות הגז מתאימות לארכיטקטורת רשת מודולארית, השואפת לבזר את מוקדי הייצור ולמקמם בסמוך לצרכנים. רמת זיהום האוויר של תחנות אלה נמוכה בכ-45% מזו של תחנה פחמית, ותמהיל המזהמים הוא בעל השפעות סביבתיות פחותות. יחד עם זאת תחנות המופעלות בגז, כמו כל התחנות הפועלות על דלקים פוסיליים, פולטות כמויות נכבדות של גזי חממה, אם כי במידה פחותה מתחנות פחמיות.

ישראל היא אחת המדינות המובילות בעולם כיום בשיעור היחסי של ייצור חשמל בגז. היקף ייצור 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.

אחד האמצעים להתמודדות עם סיכון משמעותי זה היא הגברת היתירות באמצעות הקמתה של מערכת הולכה מקבילה. מומחים רבים טוענים כי פתרון זה איננו מענה מספק כנגד הסיכונים האסטרטגיים הכרוכים בהישענות כה כבדה על שימוש בגז. אם יאומץ מתווה הגברת הישענות על ייצור באמצעות גז, יש לשים לב להתאמה בין קצב פיתוח תשתית הייצור ובין קצב ההקמה של מערכת צינורות לחץ גבוה לגיבוי.

הגדלת שיעור השימוש בגז לייצור חשמל בישראל נהנית מתמיכה לאור גילויים של שדות גז משמעותיים למול חופי ישראל. האזור 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.¹¹ ההפקה משדות אלה צפויה להתחיל לא לפני שנת 2015. הצריכה הנוכחית של גז בישראל עומדת על 5 מיליארד ממ"ק בשנה. בקצב זה צפוי שדה "ים תטיס" להתרוקן בתוך 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 סיכוני 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 נזלי. כבר כיום מחוברת ישראל בצינור לשדות גז הנמצאים מול חופי אל-עריש (פרייקט EMG). צינור זה הוא בעל קיבולת של 7 ממ"ק בשנה. בנוסף, קיימת אפשרות טכנית-גיאוגרפית להניח צנרת שתתחבר לקווי הגז המגיעים מאזור הקווקז לתורכיה או לצנרת הגז המגיעה לירדן מאזור המפרץ הפרסי. קיימת גם אפשרות לייבוא גז נזלי באוניות. אפשרות זו מחייבת הקמת מסופי פריקה ועיבוי¹² בעלות גבוהה ועם סיכונים סביבתיים וביטחוניים גדולים.

ו. אנרגיה גרעינית

במקביל להתנגדות להרחבת השימוש בפחם, הופך הגרעין למקור אנרגיה לגיטימי במדינות רבות בעולם, כולל מדינות שעד לפני שנים ספורות שללו לחלוטין את השימוש 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, והמובילה 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. סה"כ פועלים

¹¹ אבי בר-אלי, "שדה תמר עשיר יותר מהציפיות". הארץ, 13.8.09.

¹² ניתוח מלא של אפשרויות יבוא גז לישראל נמצא ב: פופר, בר-רבי, גריפין, לייט, מין, קריין (2009).

בעולם כ-440 כורי כוח שמייצרים יחד כ-370 ג'יגה וואט חשמל, שהם 15% מכוח הייצור העולמי. עפ"י נתוני סבא"א נמצאות היום בבנייה כ-52 יחידות כוח שיופעלו באמצעות אנרגיה גרעינית.

הטכנולוגיה לייצור אנרגיה גרעינית התקדמה מאד בתחום הבטיחות וניהול הסיכונים הכרוכים בה, ולהתקדמות זו הייתה השפעה חיובית על האטרקטיביות של בניית כורים. יחד עם זאת, עלות ההקמה של כורים מודרניים (מכונה "כורים דור 3" או "דור 3 פלוס"), התבררה כגבוהה מאד ביחס לציפיות, ועפ"י תחשיבים מסוימים מדובר אף בעלות המטילה בספק את כדאיותם הכלכלית. ישנו קושי של ממש להעריך את עלות ההקמה והתפעול של כורים מהדור הנוכחי. תהליכי התכנון והאישור של כורים הוא תהליך ארוך ומורכב. במדינות המערב הוא עשוי להתארך אף למעלה מעשור, אף במסגרת נטייה להאיץ פיתוח אנרגיה גרעינית. תכנית הסופית של הכור עשויה להיות שונה לחלוטין מהתכנית שהוגשה לרשויות הפיקוח במקור, באופן שייקר מאד את עלויות ההקמה והתפעול. בנוסף, קשה להעריך את משמעותם הכלכלית של מגבלות על פליטת גזי חממה והיטלים או מסים הקשורים בהם. הטכנולוגיה ושדרוג רמת הבטיחות הכלולה בדור הנוכחי של הכורים ייקרה מאד את עלות הקמתם ותפעולם. ישנם מומחים המצינים כי ה"רנסנס הגרעיני" מזכיר במאפייניו את סוף שנות ה-70, תקופה שהתאפיינה בפנייה לאנרגיה גרעינית שדעה לאחר מספר שנים, בעיקר על רקע שינוי בתחשיב הכלכלי לנוכח דרישות רגולציה חדשות שנבעו מהלך רוח ציבורי שלילי. מומחים אלה מצינים כי בארה"ב ישנן מספר דוגמאות עכשוויות לחברות שמשכו בקשותיהם לאישור הקמתם של כורים חדשים למרות קיומה של תכנית תמריצים ממשלתית ולמרות הרפורמה לקיצור תהליך מתן הרישיונות¹³. במקרה האמריקאי נחשבות החברות העוסקות בהפעלת כורים גרעיניים לחברות בסיכון הזכות לדירוג אשראי נמוך.

בנפרד מהשיקולים הכלכליים המאפיינים את משק האנרגיה, מתקיים במקביל מאמץ ניכר לפיתוח הדור הבא של הכורים: כורים דור 4. מדובר בקפיצת מדרגה של ממש, בכל הקשור לתהליך ייצור האנרגיה בכורים. כורים "דור 4" יעשו שימוש בטכנולוגיות שונות להעלאה של ניצולת הדלק הגרעיני, לצמצום כמות הפסולת הגרעינית¹⁴ ולקיצור משך זמן מחצית החיים שלה, לשיפור בטיחות הפעלתם ולצמצום עלויות הקמתם. מאמצי הפיתוח של כורי "דור 4" (ישנם כ-6 טיפוסים שונים של כורים המשתייכים למשפחה זו), מושקעים בטכנולוגיה המבוססת על תהליך בטמפרטורות גבוהות מאד (בסביבות ה-1000 מעלות צלסיוס, לעומת כ-300 מעלות בכורים המסחריים כיום) ובטכנולוגיה המכונה "כורים מהירים". תהליך המו"פ של כורים אלה שם דגש על עקרונות הנדסיים המקנים בטיחות פסיבית אימננטית, להבדיל ממנגנוני בטיחות שהפעלתם תלויה בהוראת טכנאי או בחייו המתוון באמצעות חיישן אלקטרוני – שני גורמי הפעלה המועדים לתקלות. העיצוב הנדסי של כורים מסוג זה נחשב פשוט יותר מבחינת מורכבותו הטכנית והתפעולית באופן המקטין את הבלאי ואת צרכי התחזוקה, מצמצם את השימוש ברכיבים מועדים לתקלות כגון צנרת מסובכת וחלקים נעים ומקטין את עלויות ההקמה. הטמפרטורה הגבוהה בהם מתוכננים לפעול כורים אלה תשפר משמעותית את ניצולת הדלק הגרעיני וכך תקטן כמות הפסולת הגרעינית¹⁵. יתר על כן, הטמפרטורה הגבוהה בה יפעלו הכורים מאפשרת ניצולם להפקת מימן באופן יעיל ונקי יותר מהשיטות הנהוגות כיום¹⁶. היבט זה משמעותי במיוחד אם יתפתח שוק של תאי דלק מימניים, בתחום הרכב למשל.

הצורך בפנייה לאופציה הגרעינית הוא כמעט קונצנזוס בקרב מומחים בארץ בתחום האנרגיה¹⁷. מבחינה פורמאלית, 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, להקמת התחנה¹⁸. משרד האוצר התנגד אז לקידום התוכנית ובמקומה נבחרה האופציה הפחמית. בשנים האחרונות חלה התעוררות מחודשת של העיסוק בנושא, ומבחינתה של חברת החשמל התחלת שימוש באנרגיה גרעינית היא הנחה טכנית 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.

¹³ מטבע הלשון "רנסנס גרעיני" נוצר בארה"ב לאחר שהנשיא בוש פרסם בשנת 2002 תכנית לייצור כורי כוח. תכנית זו כללה תמריצים כלכליים, מסוג מענק ומסוג הקלות מס, וכן כוונה לקצר תהליכי אישור ורגולציה. ישנן מספר דוגמאות לחברות שהגישו בקשות להקמת כורים חדשים במסגרת התכנית אך נסוגו מכונתן זו.

¹⁴ כורי הכוח הפועלים כיום בעולם מייצרים מדי שנה פסולת גרעינית בהיקף של 12,000 טון.

¹⁵ כורים דור 3+ כוללים חלק ממאפייני כורי הדור הרביעי, בעיקר בכל הקשור לניצולת אנרגטית ובטיחות פסיבית, אך הם אינם פועלים בטווח הטמפרטורות המיועד לפעילותם של הכורים המתקדמים. כור ראשון הקרוב במאפייניו לכורי הדור הרביעי נמצא בבנייה בסין. מדובר בכור מטיפוס PBMR המשלב פשוטות הנדסית ובטיחות פסיבית. הכור עתיד לפעול בטמפרטורה גבוהה מזו הנהוגה כיום בכורים אך עדיין נמוכה מהטמפרטורות בהם יפעלו כורי הדור הרביעי.

¹⁶ כיום, רוב המימן לתעשייה מופק מגז טבעי בתהליך הפולט כמויות ניכרות של גזי חממה. הטמפרטורות הגבוהות בהן יפעלו כורי דור IV יאפשרו הפקה של מימן ממים בתהליכי High-Temperature Electrolysis או Hybrid thermochemical-electrochemical cycle שתוכל להתחרות כלכלית בשיטה הנהוגה כיום. יתר על כן, הפקת המימן תוכל להתבצע בשעות שפל בצריכת החשמל ולאפשר בכך ניצול מיטבי של הכור.

¹⁷ יש לסייג קביעה זו ולציין כי מחקר שביצע תאגיד RAND (ראה הערת שוליים מס' 2) קובע כי משק החשמל העתידי של ישראל צריך להסתמך על שימוש בגז. מומחי RAND לא ראו לנכון לכלול את הגרעין בתחשיביהם על רקע הנהחה כי במקרה הישראלי יוכלו כורים לתרום פחות מ-5% מסך הייצור.

¹⁸ החשיבה הקיימת כיום אינה מתייחסת בהכרח לתחנה גרעינית אחת גדולה אלא מתייחסת לתוכניות הכלולות מספר כורי כוח בעלי הספק ייצור בינוני של החל מ-500 מ"ו חשמל.

על המומחים בתחום מקובל כי ישראל לא תוכל לפתח אנרגיה גרעינית באופן עצמאי, בעיקר משיקולי עלות, והיא נזקקת לסייע בידע, בציוד ובתחום התפעול והבטיחות. בהיותה מדינה שאינה חתומה על האמנה למניעת תפוצה של נשק גרעיני (ה-NPT), לכאורה ישראל אינה יכולה לקבל טכנולוגיה ומוצרים הקשורים בגרעין. ואולם, אין בכך להוות חסם מוחלט. הודו היא מדינה שהצליחה להגיע להסכם בילטרלי עם ארצות הברית המאפשר לה ליהנות מגישה לידע ולציוד גרעיני אזרחי בלי 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) בהתאם לפרוטוקול המחמיר (Additional Protocol), 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 בתחילה בעיקר על בסיס כורי מים כבדים קנדיים (CANDU), שהועתקו ויוצרו לאחר מכן בהודו באופן עצמאי. בעשור האחרון המשיכו ההודים לפתח את תחום האנרגיה הגרעינית בעיקר בסיוע רוסי בהקמת כורי כוח מואטי מים קלים מדגם VVER¹⁹. העלות של ייבוא ידע, דלק גרעיני ופיתוח עצמאי הייתה 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 שמנעו ממנה להפוך את הגרעין למרכיב מרכזי בתמהיל המקורות לייצור חשמל.

גיבוש ההסכם היה תהליך מדיני ופוליטי מורכב שארך 3 שנים (2005-2008), מאחר שסתר את העקרונות הבסיסיים של המשטר הבינ"ל למניעת התפוצה הגרעינית, כרסם בתוקפה של אמנת NPT ואף התנגש עם החקיקה האמריקנית בתחום זה. אחד הטיעונים העיקריים שבהם השתמשו פקידי הממשל לשכנע את המערכת הפוליטית האמריקנית, את סבא"א ואת הקהילה הבינלאומית לקבל את ההסכם, היו צרכיה הדחופים של הודו בתחום החשמל, והרצון לצמצם את ייצורו באמצעות פחם. שיקולים נוספים נגעו לחיזוק האחיזה האמריקאית באזור. לאחר החתימה עם ארה"ב, חתמה הודו על הסכם במתכונת דומה גם עם צרפת, ולמעשה קיבלה היתר פעילות במסגרת חברות ה-NSG. ישנם רבים בישראל הרואים את ה"מודל ההודי" כמתאים להחלה גם על המקרה הישראלי. יחד עם זאת, בחינה מקרוב של הנסיבות הפוליטיות והאזוריות מטיל ספק בתפישת אופטימית זו.

אם יוקמו בישראל כורי כוח במהלך העשור הקרוב לא יהיו אלה כורים פרי פיתוח והקמה ישראליים. כורי כוח הם בגדר "מוצר מדף". 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.

2. ייעול הצריכה והנהגת "רשת חכמה"

צד הצריכה וההולכה הוא היבט משלים לייצור. בנוסף לייעול הייצור באמצעות שיפור הניצולת ניתן להגיע להגדלה משמעותית של היצע החשמל באמצעות ייעול הצריכה והעברת החשמל לצרכנים. בצד הצרכן מתבצעת התייעלות בשימוש ובאמצעות צעדים לשימור אנרגיה, דוגמת הסברה להגברת בידוד מבנים וניקוי מסנני מזגנים וכדומה²⁰, וכן צעדים לעידוד הומוגניות של הביקוש, למשל באמצעות הנהגת תעריפים משתנים לשעות שונות ביממה. הומוגניות של הביקוש מאפשרת הנמכה של הרף העליון לביקוש חשמל, המכונה 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 תשתיות הייצור.

אמצעי נוסף לגישור על הפער האמור הוא התייעלות אנרגטית של מקטע ההולכה על ידי המשך הרחבת "מוביל החשמל הארצי"²¹ ובנייה 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

¹⁹ אספקת הציוד והדלק הגרעיני מרוסיה התבססה על הסכם בילטרלי הדומה במרכיביו למאפייני הפיקוח המדרשים במסגרת ה-NPT.

²⁰ שכיחותם הגבוהה בארץ של חודי שמש למשל משמעה חיסכון של 3%-4% בביקוש הארצי לחשמל.

²¹ "מוביל החשמל הארצי" היא שדרת רשת ההולכה במתח עליון בישראל, ומכונה גם "קו 400 קילו-וולט". השימוש במתח כה גבוה מאפשר העברת כמויות אנרגיה גדולות למרחקים ארוכים בהפסדי אנרגיה נמוכים, כך שאחוז גבוה יותר מההספק המיוצר מגיע לצרכנים. כמו כן, מאפשר פרויקט זה מימוש של "רשת חכמה" בפריסה ארצית.

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. כיום מתנהלים בארץ מספר פרויקטים למחקר ופיתוח של טכנולוגיות לשיפור יעילות ייצור החשמל והזלתו, בין היתר ביחס לטורבינות רוח ומערכים סולאריים וכן טכנולוגיות העוסקות ביעול וניהול הצריכה²². הנהגת רשת חכמה בארץ תקדם מאד את פיתוחן של טכנולוגיות אלה בישראל ותשמש מנוף להובלה בשוק העולמי.

ו. אנרגיות מתחדשות

בקרוב אנשי המקצוע שהשתתפו בדיוני הכנס קיימת כמעט תמימות דעים בנוגע למקום שיכולה לתפוס אנרגיה ממקורות חלופיים בסל המקורות הלאומי. משרד התשתיות וחברת החשמל אינם רואים במקורות אלו גורם מוביל בתמהיל מקורות הייצור העתידי. יחד עם זאת אין להתעלם ממשמעויות רגולטוריות ומתוכניות תמריצים ממשלתיות הנגזרות מהחלטה, לפיה בתוך עשור ייוצרו 10% של החשמל ממקורות אנרגיה חלופיים, ומהשוק העולמי הכולל של אנרגיות אלה. גורמי תכנון רואים במקורות המתחדשים פוטנציאל לסיוע במילוי הפער בין הדרישה הגדלה לחשמל והזמן הנדרש לפיתוח תשתית ייצור אסטרטגית.

המשקל המשני המוקנה לאנרגיות המתחדשות מתבסס על הערכה לפיה אנרגיה ממקורות חלופיים הרלוונטיים לישראל - שמש ורוח - סובלת מרמות נמוכות מאד של נצילות, אינה יציבה דיה מבחינת אמינות אספקה מפאת שינויים בעוצמת השמש והרוח, דורשת שטחי קרקע גדולים מאד, באופן אבסולוטי וביחס לאנרגיה המופקת מהציוד המותקן בהם, ואינה תחרותית מבחינת המחיר. על הערכה זו מתווספת הערכה לפיה עד שתתרחש פריצת דרך טכנולוגית משמעותית²³, לא צפויה הזדלחה 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.

למרות הנאמר לעיל לא ניתן להתעלם מההתרחבות המשמעותית של תחומים אלה בשנים האחרונות. בשלוש השנים האחרונות כמחצית מתוספת כושר ייצור החשמל בארה"ב מתבססת על אנרגיה רוח²⁴. במספר מדינות בעולם, בעיקר אירופה, המקורות המתחדשים תורמים ל-20% עד 30% מסך ייצור האנרגיה, למשל בגרמניה ובספרד. ישנן הערכות לפיהן סך ההשקעה בעולם בפרויקטים שונים הקשורים לאנרגיה מתחדשת מגיעה כיום לכ-750 מיליארד דולר. השקעות אלה מתפלגות בין פרויקטים ליעול הייצור של אמצעים קיימים, הפיכת הייצור ממקורות קיימים ל"נקי" יותר²⁵, פיתוח של מקורות וטכנולוגיות של אמצעי ייצור חדשים, ופיתוח מערכות לניהול טוב יותר של הייצור, ההולכה והצריכה.

במקומות שונים בעולם מתקיימים כיום ניסויים לשימוש בטכנולוגיות ובאקולוגיה ברת-קיימא בהיקף נרחב יחסית. פרויקט מצ'דר-סיטי שלצד האמירות אבו-ט'אבי הוא דוגמה ליניווי שזכה. בפרויקט זה הושקעו עד כה כ-22 מיליארד דולר להקמת עיר (eco-city) המיועדת למגורים של 50,000 איש ובעלת "חתימה" סביבתית נמוכה, שאפת לאפס²⁶. פרויקטים שאפתנים פחות ובהיקפים קטנים יותר מוקמים בסין (Dongtan שליד שנגחאי) ובדרום קליפורניה.

²² אפילו התקנים ברמת הצרכן הביתי המזהים מכשירי חשמל המסוגלים לפעול ברמת מתח נמוכה מזו אותה מספקת הרשת (נורות תאורה למשל) מאפשרים ברמה הלאומית חיטון ניכר ויעול האספקה.

²³ תאים פוטו-וולטאים למשל מתבססים על עיצוב וטכנולוגיה בת 50 שנה. טכנולוגית PV היא בעלת ניצולת נמוכה מאד, כ-12% לערך.

²⁴ Ron Pernick, Clint Wilder, Dexter Gauntlett, Trevor Winnie. *Clean Energy Trends*. Clean Edge (April 2010) www.cleanege.org

²⁵ הכוונה בעיקר לפיתוח שיטות לשימוש ואגירת הפחמן הנפלט בתהליך הייצור ממקורות פוסיליים. שיטות אלה מכונות CCS (Carbon Capture and Storage). מדובר על רעיונות לפיהם יאגרו פליטות הפחמן וידחסו למאגרי נפט שהתרוקנו או לשימוש בפחמן בייצור בטון (תהליך ייצור הבטון אחראי לכ-15% מכלל פליטת גזי החממה בעולם).

²⁶ <http://www.masdar.ae/en/home/index.aspx>

בנוסף לאלה ישנה היערכות בקרב יצרניות מובילות בעולם להשתתפות בפרויקט ה-Desert Tech שבמסגרתו אמורות לקום בצפון אפריקה חוות אנרגיה תרמו-סולארית האמורות להגיע להספק יצור בהיקף של 15% מצריכת החשמל של אירופה בשנת 2050. החוות יקושרו לאירופה בקווי הולכה בטכנולוגיה מתקדמת (HVDC, מתח גבוה ישיר) המצמצמים את איבוד האנרגיה הנגרם מהמרחק.

הדיון באנרגיות מתחדשות חייב לכלול התייחסות לנושא הדלקים האלטרנטיביים המופקים מצמחים ומחומר ממוחזר. לשימוש בדלקים אלה יתרונות סביבתיים רבים: בהיותם מיוצרים מצמחים, הפחמן המשתחרר מהם בתהליך השריפה הוא אותו פחמן שספחו מהאוויר בתהליך גדילתם. יחד עם זאת, קיימות שאלות אקולוגיות וכלכליות רבות בנוגע לשימוש נרחב בדלקים מסוג זה, בעיקר באשר להשפעתם על החקלאות ועל מחירי המזון. בהקשר זה יש לציין פיתוח אפשרויות לגידולים שתכליתם ייצור דלק שאינם מתבססים על שימוש במים מתוקים, דוגמת גידול אצות. דלקים אלה אמורים להחליף את הדלקים הפוסיליים המשמשים לתחבורה ולכן הם בעלי חשיבות משנית לדיון בנושא ייצור החשמל.

ז. 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 ושיפור הנצילות של תשתית הייצור בגז, פיתוח תשתית לייצור חשמל מאנרגיה חלופית ובטווח הבינוני והארוך הישענות אסטרטגית על אנרגיה גרעינית. לצדם של צעדים אלה להגדלת הייצור ישנם צעדים בהם ניתן להגדיל את ההיצע, ללא השקעה בפיתוח מקורות חדשים, באמצעות ייעול השימוש בחשמל, ניהול טוב יותר של רשתות ההולכה וחיסכון.

לכל הפעולות האלה נדרשת גישה מערכתית בהכוונה ממשלתית ונדרש 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 בטכנולוגיות פוטוולטאיות לניצול אנרגיית השמש; לצמצום משאבי הקרקע ולהגדלת הנצילות של תחנות כוח קיטוריות המנצלות אנרגיית השמש; וכן במערכות מתוחכמות לבקרת רשתות חשמל חכמות. הצלחות במו"פ בתחומים אלו ישאו פירות הן בפיתוח משק החשמל בישראל והן כמנוף ליצוא טכנולוגיות ומוצרים.