

סוגיות שימור האנרגיה בישראל היבט מדעי-מתודולוגי

ד"ר י' סוסנובסקי, רו"ח י' ארייב

(בשנת 2008 כמעט 70% ממשקי הבית החזיקו במחשב) מסייעת למגמה זו: למשל, מצטמצם מספר הנסיעות, הקשורות למקום העבודה או הגעה למוסדות שירות שונים.

כתוצאה מכך, הגברת האפקטיביות האנרגטית התרחשה בעיקר הודות לתמורות מבניות "טבעיות" בכלכלה. הפוטנציאל הקיים לשימור אנרגיה, המבוסס על גורמים נוספים, טרם נלמד בצורה מספקת ומעמיקה.

בארץ נשמר הקצב המואץ בהפקת וצריכת החשמל (תרשימים 3 ו-6), אשר נתחו בצריכת האנרגיה הסופית עומד על יותר מ-30% ומהווה את אחד השיעורים הגבוהים בעולם; תחנות הכוח צורכות מעל מחצית האנרגיה הראשונית. לכך יש השלכות כלכליות ואקולוגיות שליליות, המורגשות יותר ויותר. היקפי הפליטות המזיקות נותרות גבוהות, על אף ההוצאות המשמעותיות להגנת הסביבה (בשנת 2007 מעל 7 מיליארד ש"ח); מניעת ההשלכות של זיהום הסביבה באמצעות פליטות תחנות כוח פחמיות מהוות מעל 40% מהוצאות הפקת החשמל [3]; פליטות CO₂ ליחידת אנרגיה ראשונית נצרכת עולות משמעותית על הממוצע העולמי וממוצע מדינות OECD (עיין בטבלה 1), בשל דומיננטיות הפחם בהרכב הדלקים בתחנות הכוח.

גם חוקרי Rand Corporation [4] הגיעו למסקנה על הכרח ההאטה בקצב גידול משק החשמל כבעיה מרכזית בכלכלת הארץ. ביולי 2010 משרד התשתיות הלאומיות הציג תוכנית אב להגברת

1. אפקטיביות ניצול אנרגיה ושימור אנרגיה בישראל. ניתוח מגמות

העצמות האנרגטית בכלכלת ישראל (דהיינו, צריכת האנרגיה הראשונית ליחידת תמ"ג) נמוך כעת מהממוצע במדינות OECD (הארגון לשיטתן ופיתוחן כלכלי) [1]:
ב-5-6 השנים האחרונות, אפילו נוכח הצמיחה הכלכלית המתמדת, נצפית התמתנות בקצב גידול בצריכת האנרגיה הראשונית (תרשימים 1 ו-3).

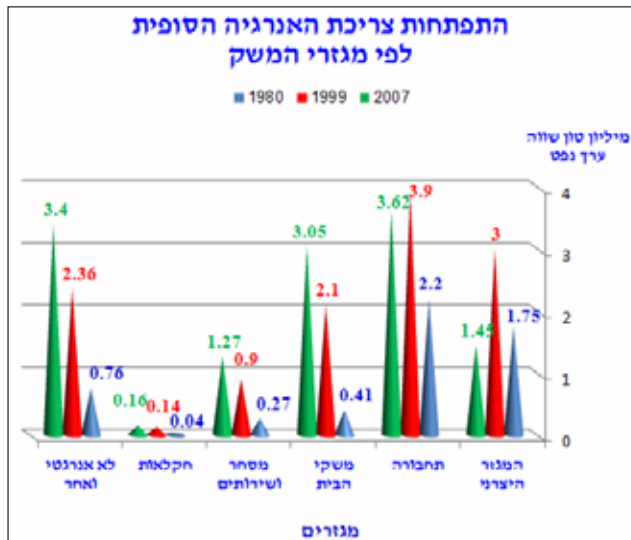
ניתוח ההרכב והגורמים (תרשימים 4 ו-5) מצביע על תפקידם המכריע במגמה זו של הרכב חיובי בתמ"ג של ישראל והתפתחותם בקצב מואץ של מגזרים חוסכי אנרגיה (מסחר ושירותים, תעשיית עילית) [2]. המגזר היצרני אחראי ל-11% בלבד מצריכת האנרגיה הסופית - הממד הנמוך ביותר מבין המדינות המפותחות. במשך העשור שלפני שנת 2008 צריכת האנרגיה הסופית בארץ גדלה פי 1.8; מתוך כך במגזר היצרני היא צומצמה פי 2, בתחבורה ירדה ב-10%, במשקי בית עלתה פי 1.6 ובמסחר ושירותים פי 1.4 (תרשימים 2). זוהי גם תוצאתן של תמורות מבניות עמוקות בתוך המגזרים: במגזר היצרני (תעשייה ובינוי) התפתחו בקצב נמרץ טכנולוגיות עילית, אשר דחקו תעשיות עתירות אנרגיה; בתחבורה עלה פלח של סוגים חוסכי אנרגיה בכלי רכב - משאיות עם מנוע דיזל, מכוניות עם צריכת דלק סגולית נמוכה יותר. גם חדירה מהירה של מחשוב לכל תחומי החיים

טבלה 1. מדדי אנרגיה ואקולוגיה סגוליים במדינות נבחרות בשנת 2008:

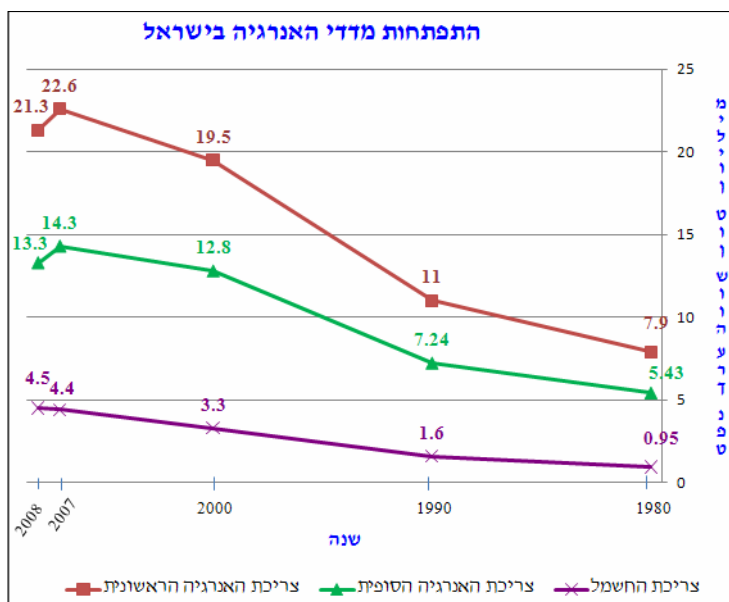
מדינה, אזור	מדד	צריכת החשמל לתושב, קוט"ש	צריכת אנרגיה ראשונית, toe ל-\$ תמ"ג במחירי שנת 2000	פליטות CO ₂ , טון ל-toe אנרגיה ראשונית
העולם	2,782	0.19	2.40	
מדינות OECD	8,456	0.16	2.33	
המזרח התיכון	3,384	0.36	2.51	
ישראל	7,053	0.12	2.87	
איטליה	5,656	0.11	2.44	
דנמרק	6,462	0.11	2.55	
פינלנד	16,351	0.21	1.60	
צרפת	7,703	0.15	1.38	
גרמניה	7,148	0.14	2.40	
יפן	8,072	0.14	2.32	

כ-4/5 מצריכת האנרגיה במגזר מיוחסת לתחבורה יבשתית. על אף התפתחותה המואצת של הרכבת, חלקה בהובלת מטען והיסעים נותר נמוך וצריכת הדלק שלה עומדת על לא יותר מ-1.5% מתוך המגזר. ב-30 השנים האחרונות היקף הובלת המטען בארץ באמצעות הרכבת כמעט לא עלה; כנראה, בתנאי ישראל יעילות השינוע באמצעות משאיות וציי רכבים, אשר מבטיחים הגעה ללקוח הסופי במינימום פריקות וטעינות, גבוהה יותר. היקף ההיסעים עלה בתקופה זו יותר מפי 10, אך עדיין נמוך מהספק האוטובוסים. חישבונו מדידים ממוצעים של עלות האנרגיה הראשונית לקילומטר-נוסע עבור סוגי תחבורה שונים: תחבורה ימית פנימית - 1.00, אוטובוס - 1.10, רכבת דיזל - 1.50, רכבת תחתית וטרוליבוס (אוטובוס חשמלי) - 1.75, רכב פרטי - 3.25 (עבור רכבת דיזל שימשו נתוני [7], טבלה

היעילות במשק האנרגיה עד שנת 2020 [5], אשר הביאה בחשבון פעילויות לצמצום צריכת החשמל בארץ ב-20%. לאחר החקיקה בכנסת בסוף שנת 1989 של "חוק מקורות האנרגיה" [18], זאת התוכנית הממלכתית הראשונה, אשר ייעודה הוא שימור האנרגיה המהותי בטווח זמן בינוני. בהתחשב בפוטנציאל הכלכלי של שימור האנרגיה (כלומר, ההשקעות המתוכננות לתקופה זו ביחס לחסכון הצפוי), קיים צידוק סביר, שכצעד ראשון התוכנית מוגבלת לתחום צריכת החשמל על בסיס יישומן של פעילויות דחופות, אפקטיביות ביותר ובעלות החזר השקעה מהיר, אשר חלקן כבר מתממשות בשנים האחרונות (כגון: החלפת נורות ליבון, הגבלת מכירת מוצרי חשמל ביתיים עם יעילות אנרגטית נמוכה וכד').



תרשים 1



תרשים 2

תוצאת יישומה חייבת להביא לחסכון של כ-2/3 מגידול הביקוש לחשמל עד שנת 2020 בקצב קיים. החלק העיקרי מהחסכון נעוץ בפעילויות במגזרים בעלי ריכוז תודות לשימור האנרגיה: 47.2% במשקי הבית, 29.6% במסחר ושירותים, 17.2% במגזר היצרני. הוצאות הצרכנים לחשמל ייחסכו תוך עשור בכ-38 מיליארד ש"ח. צמצום הצורך בהרחבת הספקן של תחנות הכוח משמעותו חסכון השקעות במשק החשמל של כ-4.25 מיליארד \$. פליטת CO2 יוקטנו ב-72 מיליון טון; לפי הסכמי קיוטו, יתקבלו מענקים בסך 1.1 מיליארד €.

הוצאות הממשלה למימוש התוכנית נאמדות בכ-2 מיליארד ש"ח. חסרים נתוני הוצאות ממקורות מימון אחרים. לשם השוואה, בתוכנית שימור האנרגיה של רוסיה נתח התקציב המרכזי ותקציבי הרשויות המקומיות ביחד מהווה רק 7.3% מסך ההוצאות [6]. מקור המימון העיקרי לתוכנית חייב להתבסס על קרן לתמרוץ כלכלי ליעילות אנרגטית, הנוסדת על חשבון גביית 1% נוסף בתעריף החשמל (כ-200 מיליון ש"ח לשנה) או מימון תקציבי מתאים. בתקציב המדינה לשנים 2011-2012 מעוגן תקצוב רלבנטי למשרדים מובילי הביצוע.

לאור זאת, לפי הערכתנו, ימומש כשליש מפוטנציאל שימור האנרגיה לטווח זמן בינוני. במקביל למימוש תוכנית זו, נדרש לגבש בהקדם האפשרי תוכנית אב ארוכת טווח לשימור אנרגיה, אשר תקיף את כלל תחומי ייצור וצריכת משאבי האנרגיה והדלקים, ולגשת ליישומה.

2. אומדן פוטנציאל שימור האנרגיה

בהקשר לתוכנית שימור האנרגיה, שהוזכרו לעיל, נחוץ לאמוד פוטנציאל שימור האנרגיה במגזרים צורכי האנרגיה המשמעותיים ביותר, אשר אינם נכללים בתוכנית זו.

2.1. תחבורה

מגזר התחבורה צורך כמעט שליש מהדקלים הנוזליים ואחראי לעיקר הפליטות המזהמות, ביניהן מעל 90% מפחמן חד-חמצני.

[24.5], עבור יתר סוגי התחבורה - נתוני [8, עמ' 374].

כמו כן, ידועים לכל היתרונות של התחבורה הציבורית מבחינה אקולוגית וניצול התשתיות. עם זאת, בהיסעים שולט הרכב הפרטי. על פי נתוני סקר הלשכה המרכזית לסטטיסטיקה מלפני יותר מ-20 שנה, מספר נוסעי הרכב הפרטי עלה פי 3 על מספר נוסעי האוטובוס. מאז צי כלי הרכב ומרחק הנסיעה המצרפי באמצעותו גדלו בכ-40%, בעוד שמדדים דומים של קווי האוטובוס הסדירים עלו בכ-9% בלבד; שיעור התושבים, המסתייעים באוטובוס, הצטמצם מהותית, כפי שעולה מהנתונים האחרונים בגוש דן [9].

להערכתנו, הכוונה של 10% מזרם הנוסעים, המשתמשים כיום ברכב פרטי, לתחבורה ציבורית (אוטובוס) מאפשרת לצמצם את צריכת האנרגיה בכ-15%, תוך הגדלת צי האוטובוסים בכ-1% בלבד. שימוש יעיל בכלי רכב נתקל בקשיים כתוצאה מעיכובים בפיתוח תשתיות הכבישים: תוך 30 שנה שטח הכבישים התרחב ברבע ואילו אורכם בחמישית בלבד.

בהנחיית ראש הממשלה מתגבשת תוכנית אסטרטגית לפיתוח מגזר התחבורה; ננקטים אמצעי תמרוץ רב-גוני של האוכלוסיה לשימוש רחב בתחבורה ציבורית, בין היתר באמצעות הוזלה משמעותית של כרטיסי "חופשי חודשי" ונסיעות בקווי הפריפריה. למטרות אלה יועדו כ-600 מ' ש"ח. ביוזמת עיריית תל אביב מוקמים חניונים לכלי תחבורה בכניסה לעיר, על מנת להסיע את הנכנסים חנם באוטובוסים מיוחדים; כמו כן, העיר מפתחת תשתית לשימוש רחב באופניים.

2.1.1. בסוף ינואר 2011 הממשלה אישרה גיבוש של תוכנית שאפתנית לפיתוח טכנולוגיות, אשר מקטינות שימוש בנפט בתחבורה בכל העולם, במטרה לערער את המונופול הקיים של מדינות מפיקות נפט [10, 11].

כיוונים טכניים עיקריים של החלפת הנפט בתחבורה ידועים: סוגי דלק אלטרנטיביים, מקורות אנרגיה מתחדשים, רכבים חשמליים, שיפור בכלי תחבורה קיימים. בארץ מעל 50 חברות מפתחות פתרונות שונים לסוגיה זו. מוצע לנצל את ניסיונה המוכח של ישראל בפרויקט "יוזמה", אשר הודות לה פרח ההיי-טק הישראלי בשנות ה-90. העלויות ההכרחיות בשלבים הראשונים, עד הפקת רווחי היזמים, יסובסדו ממערכת קרנות הון ממשלתיות. ליישום התוכנית יופנו כ-1.5 מיליארד ש"ח מתקציבי העשור הקרוב. סכום זה יוכפל על חשבון השתתפות מדינות נוספות וקרנות הון סיכון פרטיות. היעד הוא למשוך השקעות נוספות, לרבות מדינות זרות, בסכום כולל העולה על 10 מיליארד ש"ח.

מטרת התוכנית היא בעיקר טכנו-גיאופוליטית; עם זאת, יישומה ימריץ משמעותית את התפתחותם של המדע והטכנולוגיה העולמיים ובמקביל ישפיע בראש ובראשונה על שימור האנרגיה וניצול משאבי טבע יעיל בישראל.

2.1.1.1. הכיוון המתקדם ביותר בזמננו הוא פרויקט המעבר של כלי רכב פרטיים לתדלוק חשמלי, אשר הותאם במיוחד לתנאי ישראל. המכוניות החשמליות מונעות מסוללות נטענות, המבטיחות נסיעה

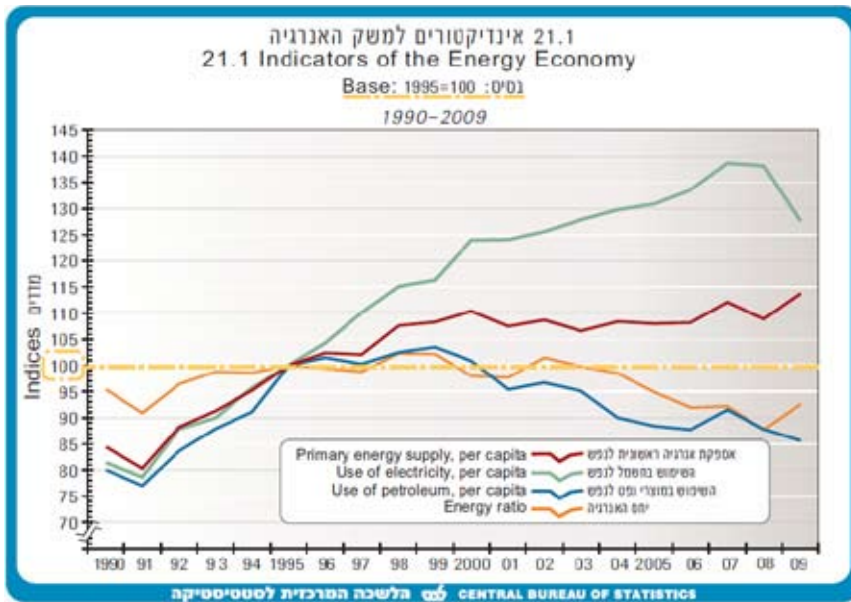
רציפה במרחק של כ-185-160 ק"מ (מרחק נסיעה יומי ממוצע של מכונית פרטית עומד על כ-46 ק"מ); עד סוף השנה מתוכנן להקים בכל הארץ רשת תחנות טעינה לסוללות. עד שנת 2020 צפוי מספר המכוניות החשמליות להגיע לרבע או אף חצי מצי כלי הרכב הקיים. המחירים המאמירים לדלקים הנוזליים (כיום בישראל מחירים גבוהי פי 1.5 מאשר מחיר החשמל בהיקף תואם) והורדת המכס לעומת הרכבים עם מנוע בעירה פנימית מסייעים לקידומו המוצלח של הפרויקט. טעינת הסוללות בעת ירידת הביקוש לחשמל מאפשרת לרכוש חשמל בתעריף מועדף; מונח כי בעל הרכב החשמלי ישלם לחברה Better Place בגין סוללה מלאה 20% פחות, מאשר בגין מילוי המיכל בדלק נוזלי. על פי הפרסומים, יותר מ-200 אלף משפחות מוכנות כבר עכשיו לרכוש רכב חשמלי.

השימוש באנרגיה ראשונית לקילומטר נסיעת רכב חשמלי נמוכה פי 2 לערך, מאשר הרכב המסורתי. לפי אומדננו, בעת החלפה היפותטית של כל צי הרכבים הקיים תצומצם צריכת הנפט בכ-1/5 ובערך באותו שיעור יגדל הצורך בדלקים לתחנות כוח בארץ. טכנולוגיה להטענה מרכזית של סוללות בזמן היעדר ביקוש לחשמל מאפשרת, להערכת מומחי חברת החשמל, לספק במלואו ביקוש נוסף לחשמל ללא הגדלת ההספק הקיים של התחנות.

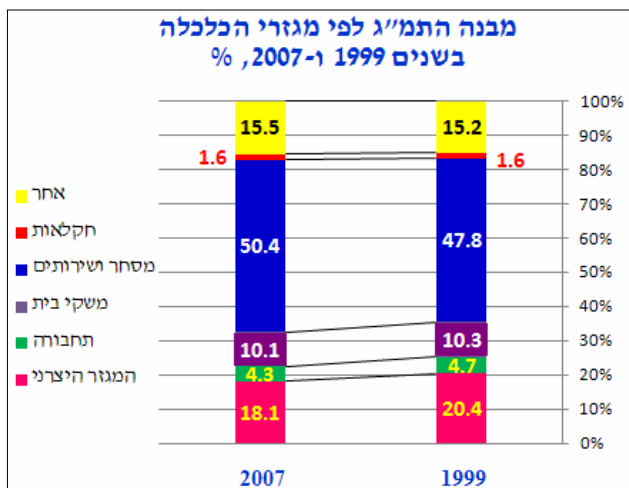
היתרון הבלתי מעורער של הרכב החשמלי הוא יכולת שימוש במגוון רחב של מקורות אנרגיה ראשונית להפקת חשמל. יוזמי חשמול הרכבים בישראל כורכים את היקפו עם התפתחות מואצת בארץ של משקי האנרגיה הסולרית ואנרגיית הרוח. הגדלת נתח הגז הטבעי ושימוש בטכנולוגיות מודרניות מאפשרים לצמצם את צריכת הדלק הסגולית בתחנות כוח ב-20% ויותר, דבר אשר גם הוא מעצים את יתרונו היחסי של הרכב החשמלי. הסבה לחשמל של התחבורה הציבורית מאפשרת, כפי שתואר לעיל, להגביר את האפקטיביות האנרגטית שלה, לצמצם עומסים אקולוגיים, לשדרג את נצילות תשתית הכבישים.

2.2. הגברת עמידות המבנים בשינוי טמפרטורות

מערכות חימום, אוורור ומיזוג במבנים צורכות כשליש מהחשמל בארץ. לפי תחשיבי התוכנית הלאומית [5], המעבר בבינוי ושיכון לתקנים מודרניים של עמידות בטמפרטורות מוריד את צריכת החשמל במערכות אלה בכ-20%. בפריסה למצבת הבניינים הקיימים הפוטנציאל הטכני של שימור האנרגיה מוערך בכ-7-6 מסך צריכת האנרגיה בארץ. עם זאת, ישראל מתעכבת משמעותית, לעומת המדינות המובילות, במימוש כיוון שימור אנרגיה זה; ואף יותר מכך - הפיגור הולך ומתעצם. בפרט, המעבר לתקנים מודרניים בבינוי ושיכון מתוכנן רק לשנת 2015, לפיכך עד שנת 2020 החסכון בחשמל יגיע לכ-0.2% בלבד מצריכת החשמל. החלטה זו מוסברת ע"י השקעות גבוהות (כ-3% מעלות הבניה) ותקופת החזר השקעה ארוכה (כ-32 שנה) נוכח רמת תעריפי החשמל הנוכחית. לשם תמרוץ הבניה "הירוקה" המחברים מציעים להגדיל שיעור הלוואה בנקאית ולהקטין מס רכישה עבור מבנים בעלי עמידות גבוהה (קטגוריות A ו-B) לטמפרטורות; כנ"ל לגבי תמרוץ קבלני הבניה; האצת הכרה בעלויות בניה "ירוקה" לצורך מס, מסלולים מועדפים לאישורים סטטוטוריים וכד'.



תרשים 3



תרשים 4

לחימום מים בדירות בכ-80%. לפי אומדננו, בשנת 2006 בישראל פריסתם הקיפה כ-65% ממשקי הבית. קיימות אפשרויות להרחבת השימוש בהם במגזר הביתי, בפרט באמצעות הגבלת חלוקת הדירות והסבת מבני משרדים ותעשייה לדירות סטודיו, המושכרות לרוב ללא ציוד בדודי שמש ותנורי גז. מימוש פוטנציאל אנרגטי נוסף של דודי שמש ניתן להשיג גם באמצעות מילוי פונקציות נוספות: במכוונות כביסה מודרניות עם חיבור למקור מים חמים חסכון החשמל מגיע לכ-72% [15], כנ"ל במכוונות שטיפת כלים.

אפשרויות משמעותיות נעוצות בשימוש בדודי שמש במסחר ושירותים, בפרט בבתי חולים ומוסדות הבראה. כ-30% מהאנרגיה בתעשייה ומסחר נצרכים בתהליכי חימום בטמפרטורות נמוכות ובינוניות (עד 160 מעלות) [16]. הגברת הפיתוח וההטמעה של ציוד וטכנולוגיות מתאימים תאפשר לצמצם צריכת אנרגיה ראשונית בארץ בכ-6%.

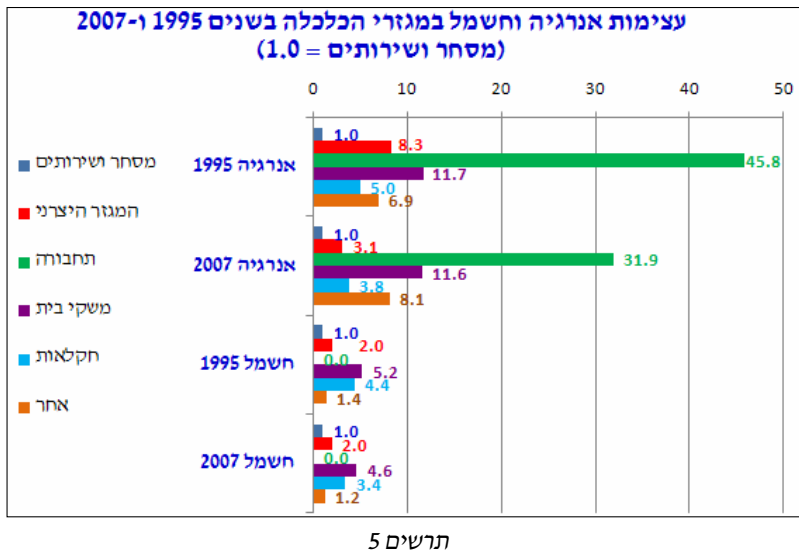
יש לזכור כי הפוטנציאל העיקרי לשימור האנרגיה בתחום זה טמון במצבת המבנים הקיימת. בתוכנית הלאומית מתוכנן ביצוע שיפוץ יסודי ובינוי מחדש, הכולל בידוד תרמי של גגות בבנייני השלטון המקומי בעלי 2-3 קומות; הנ"ל יאפשר לצמצם הוצאה על החשמל לחימום, אורור ומיזוג בכ-20% במבנים אלה (כ-0.8% מסך צריכת החשמל בארץ). לשם השוואה, ברוסיה, בה משקי הבית ומגזר השירותים צורכים כ-36% מהאנרגיה הסופית (בישראל 38%), חוק שימור האנרגיה משנת 2009 [12] מחייב רמת יעילות אנרגטית בבניה חדשה ובתקופת האחזקה; יעדה של תוכנית שימור האנרגיה [6] הוא צמצום במשך 10 שנים של צריכת האנרגיה הסגולית: במבנים הציבוריים ואלה המשמשים את מגזר השירותים - פי 2, בבנייני מגורים - פי 1.5; כל זאת באמצעות שיפוץ יסודי, בידוד תרמי של מבנים ודירות, הכנסת דרישות חדשות בבניוי. חסכון האנרגיה כתוצאה מפעילויות אלה מוערכת בכ-6.6% מסך חסכון המשאבי הדלק והאנרגיה בארץ.

לאור זאת, נראה אקטואלי יישום המלצותיה של ועדת מדענים-עולים "לחקור ולאמת בידוד תרמי של בנייני מגורים ומבני תעשייה ישנים וחדשים, בהתחשב בניסיון האירופי ומאפייני אקלים של ישראל" [13]. במסגרת התוכנית להגברת מוכנות המבנים לרעידות אדמה, אשר מיושמת בארץ, ניתנים תמריצים לשיפוץ בנייני מגורים נמוכי קומות, תוך הוספת 1-2 קומות ואבזור במעלית. הגיוני לשלב במערכת קריטריונים לתמרוץ גם דרישות לבידוד תרמי של אותם המבנים.

2.3 מקורות אנרגיה חדשניים ומתחדשים

מדינות האיחוד האירופי מתכננות עד שנת 2020 להשיג יעד של 20% בנתחם של מקורות אנרגיה מתחדשים בהפקת החשמל ו-10% בנתח ביו-דלקים בהרכב הדלקים הנוזליים. על פי החלטת ממשלת ישראל נתח מקורות מתחדשים בהפקת חשמל יגיע עד שנת 2020 ל-10%. בפועל מדד זה עמד בשנת 2009 על 0.12% בלבד. במטרה לתמרץ מפיקי חשמל פרטיים, נקבעו תעריפים מוגדלים (פי 4 ביחס לקיימים) למסירת אנרגיה מתחדשת לרשת המרכזית. פעילויות אלה תורמות לקידום מתקני ייצור מבוזרים; ניתן להניח גידול דינמי בהפקת אנרגיה מתחדשת החל משנת 2014. על פי התחזית לשנת 2020, הספק מתקנים אלה יגיע לכ-20% מהספק תחנות הכוח המרכזיות ויורכב מכמעט 60% מתקנים סולריים מסוגים שונים, עד שליש - מתקני רוח, כ-7% - הפקת ביו-גז וביו-מסה [14, 15].

2.3.1. ישראל, יחד עם קפריסין, כבר עשורים רבים תופסת מקום מוביל בעולם בשימוש בדודי שמש בתהליכי חימום בטמפרטורות נמוכות. בהשוואה לדודי חשמל, הם מצמצמים את צריכת החשמל



2.3.2. ניצול פסולת.

בשנת 2008 במאזן האנרגיה של דנמרק סעיף זה עמד על 15.6% (מתוך כך כחמישית יובאה), בפינלנד - 22%, בישראל - 0.045%. אפילו בהתחשב בתשלובת איתנה של תעשיית העץ במדינות הצפון, דוגמת פינלנד, ההבדל עצום. מחזור פסולת, במקביל לשיקום הסביבה, תורמים לחסכון בחומרי גלם, אשר בהפקתם ועיבודם מושקעים משאבים רבים, כולל אנרגיה, או מצמצמים הוצאות ליבוא פריטים אלה, גם אם הדבר אינו משתקף באופן ישיר במאזן האנרגיה בארץ. דוגמאות להמחשה: שימוש באפר פחם מתחנות כוח, אשר ניתן למחזור באופן מלא ושימוש בייצור מלט ובטון, וכמו כן בתור מילוי בסלילת כבישים; מחזור צמיגים. עם הקמתה של החברה הלאומית לאיסוף ועיבוד של כל סוגי הפסולת ניכרת התקדמות בשיפור איסוף ומחזור של מיכלי פלסטיק, נייר, קרטון, סוללות. בערים מסוימות נוקטים צעדי מיון נוספים של פסולת ביתית על ידי הדיירים. אולם סוגים רבים של פסולת ביתית, בינוי ושיפוץ, מיכלי זכוכית, שקיות פלסטיק וכד' עדיין אינם ממוחזרים. ישנן הזדמנויות לשיפור משמעותי באיסוף סוגים שונים של פסולת עירונית, המותנה ביוזמת הרשויות המקומיות והציבור. נדרשת העצמה בלימוד הניסיון המתקדם בארגון עבודה זו, בעבודת מחקר ושימוש בטכנולוגיה עולמית מתאימה.

האנרגיה משנת 1989, אשר בבירור התיישן [20]. בחוק החדש יש לקבוע הוראות בתחומי שימור האנרגיה ויעילות אנרגטית, ובפרט לסמן מקורות לקרן לעידוד שימור האנרגיה ולהסדיר יחסים עם חוקים אחרים בתחום. לדוגמה, חוק אוויר נקי, אשר נחקק בשנת 2008 [19], מנחה על הקמת הקרן למימון פעולות הכלולות בו; המקורות העיקריים של הקרן יורכבו מקנסות ליחידים ולתאגידים, שביצעו עבירה על החוק. בינתיים, המקור המשמעותי ביותר של זיהום האוויר טמון במשק האנרגיה, כולל מרכיבי הניידים (תחבורה). הגיוני לאחד מקורות אלה. החוק צריך גם להציב דרישות מחייבות כלפי המעורבים בניהול משאבי טבע ובהן ידע מוכח בניצול משאבים יעיל.

3. פעילויות מערכתיות

3.3. תמורות בהתנהגות הצרכנים

גורם זה אחראי בארה"ב בשלביה הראשונים של התנועה לשימור האנרגיה (שנים 1972-1984) לכשליש מסך חסכון האנרגיה, כאשר במשקי הבית והשירותים חלקו הגיע אף עד כ-80% [8, עמ' 171-170]. נראה כי על ישראל עוברת כעת תקופה דומה.

3.3.1. תמריץ חזק לחיפוש פתרונות אפקטיביים בכל תחומי הפעילות נוצר ע"י מחירים גבוהים למשאבי אנרגיה ראשונית, במיוחד אם אלה ממוסים ברמה גבוהה, כפי שקורה בגרמניה [15]. המציאות בישראל מוכיחה זאת לגמרי: מחירים גבוהים לדלקים נוזליים מתמרצים את הצרכנים לרכוש סוגים חסכוניים באנרגיה של כלי תחבורה ולנצל אותם ביעילות. עם זאת, צריכת החשמל עולה בהתמדה, בעיקר במשקי הבית, במסחר ובשירותים הציבוריים (תרשים 6). תעריפי החשמל בישראל נמוכים מאשר במרבית מדינות אירופה. מתוך ההוצאות החדשיות הממוצעות לאחזקת דירה, נתח הסעיפים לשנת 2009 הינו כדלהלן: טלפון ותקשורת - 40%, ארנונה - 24%, חשמל - 22%, גז - 5%, מים - 9% (לפי נתוני חברת החשמל). מצב זה אינו מעודד שימור אנרגיה ושימוש במקורות אנרגיה חלופיים. נוכח היחס הקיים בין תעריפי החשמל והגז הביתי, הצרכן הביתי יעדיף שימוש בחשמל בתור מקור אנרגיה להכנת מזונותיו; החלפת תנורי גז בתנורי

3.1. גוף סטטוטורי לניהול שימור האנרגיה

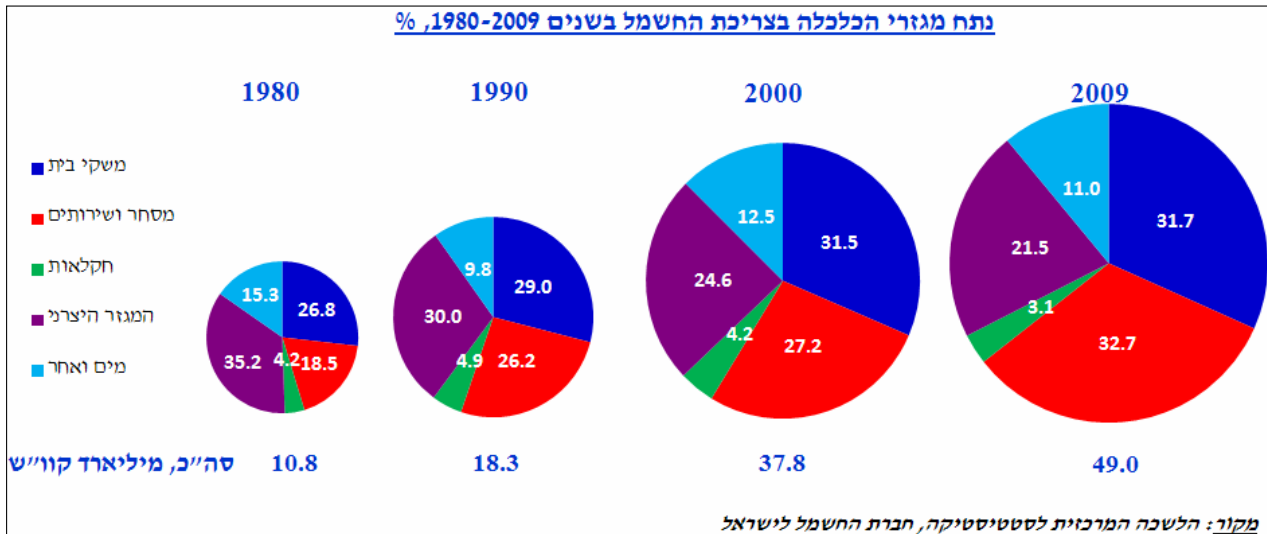
בתוכנית הלאומית [5] פורטה המלצה ממסמך [15] על הקמתה של רשות לאומית מוסמכת לשימור אנרגיה: במקום מדור קיים במשרד התשתיות הלאומיות עם 5 אנשים הוצע להגדיל תקנים ל-20 ולהרחיב משמעותית את תפקידיו. הנ"ל מניח יסודות להתרחבות הפעילות בתחום שימור האנרגיה לכל משק האנרגיה הארצי, לביצוע מחקר מקיף בכלכלת אנרגיה במטרה לשפר את ניתוח העתודות, לניצול שלם יותר של שיטות השפעה על התנהגות הצרכנים.

בהתחשב בתפקידה העולה של המועצה הלאומית לכלכלה, אשר נוסדה בשנת 2006, בביסוסן המדעי של דרכי פיתוח כלכלת הארץ, נראה הגיוני להטיל עליה מלאכת תיאום של פיתוח ויישום תוכניות ארציות בעלות חשיבות אסטרטגית, אשר ביניהן ללא ספק נכללות תוכניות ניצול משאבים ובפרט אנרגיה ומים. הדבר ישפר את רמת המערכתיות בשיקולים של מנהיגי המדינה ויאפיץ את קבלת החלטות הנחוצות, החל מאופן המימון, אשר עד כה עמדו בגדר המכשול העיקרי בפני פיתוח ויישום התוכניות.

3.2. סביבה משפטית

קיימת חשיבות רבה לגיבוש חוק שימור האנרגיה המקיף והעונה לדרישות עדכניות, במקום תיקונים בלתי נמנעים בחוק מקורות

נתח מגזרי הכלכלה בצריכת החשמל בשנים 1980-2009, %



תרשים 6

אנרגיה בביתם. למשל, בבתי ספר דניים אין קורס מיוחד לשימור אנרגיה, אולם שאלות אלה שובצו במערכי שיעור רבים, כך שבתודעת כל ילד סוגיות שיפור אקולוגי וצמצום ההשפעות הסביבתיות השליליות נקשרות אורגנית עם צריכה יעילה של אנרגיה. באופן תדיר ניתן לשים לב למקרה, בו הילד עם חזרתו מבית הספר מעביר שיעורים מעשיים לחסכון האנרגיה להוריו, תוך כדי מילוי מטלות הבית שלו [22, עמ' 55-52].

בישראל רק מורים בודדים נלהבים מכיוון עבודה זה. בתור אחד המכשולים הרציניים להרחבה והעלאת האפקטיביות של חברות שירותי אנרגיה (ESCO - Energy Service Company) בארץ נחשבים היעדר הכשרה מתאימה ומודעות חלשה של צרכנים [21]. למלא פער זה ניתן באופן חלקי באמצעות הקמתן מחדש של השתלמויות מנהלי אנרגיה במכללות ופרסום חומרי לימוד לשכבות אוכלוסיה שונות, תוך שימוש בספרות עולמית ועבודות בארץ. תפקיד חשוב בהפצת המידע משחקים מרכזי אנרגיה ליד הרשויות המקומיות בעלי אופי מלכ"רי מובהק. בחו"ל היצרנים גאים לראות את תוצרתם במרכזים אלה, אשר ממליצים עליה בתור משמרת אנרגיה. ראוי להקים מחדש ולהרחיב רשת מרכזים כאלה בארץ, אשר פעלו מתוקף החוק משנת 1989.

נדרשת מעורבות פעילה של משרד החינוך ומדענים מובילים בארץ בגיבוש תוכניות ארוכות טווח לחינוך כלכלי ואקולוגי של האוכלוסיה, כחלק אינטגרלי של תוכניות משולבות לשימור אנרגיה וניצול משאבים יעיל.

3.4. מחקרים בתחום כלכלת אנרגיה

מימוש אפקטיבי של מדיניות ממשלתית מועדפת לשימור אנרגיה, בהתחשב באופי מערכת של הבעיה הגלובלית של "Energy - 4E" (Ecology - Economics - Energy conservation) מתבסס על ניתוח מעמיק ומקיף בכלים של כלכלת אנרגיה, שימוש במידע עולמי, ניטור מתמיד של ההתפתחויות במשק. הנ"ל מצריך רמה מתאימה של סטטיסטיקה אנרגטית.

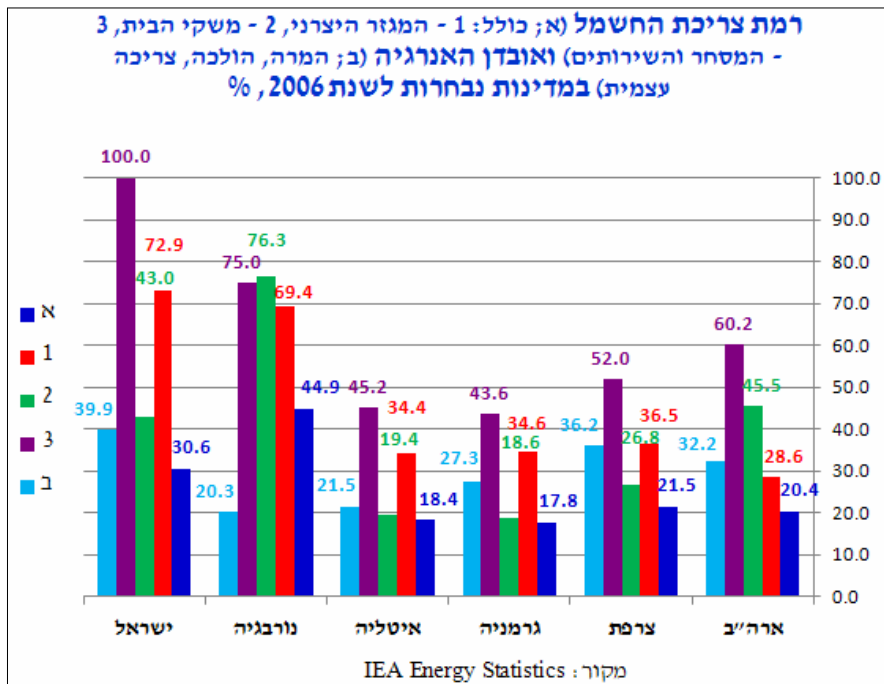
חשמל מתעכבת רק בגלל מחירים הגבוה של האחרונים. ראוי לציין כי במסגרת מחאות הציבור האחרונות, המתקיימות בארץ ביוזמת מעמד הביניים כנגד יוקר המחיה, סוגיות עלות האנרגיה (למעט החשמל) והמים כמעט אינן עולות. חוקרי Rand Co., אשר למדו גם סוגיה זו, מניחים שיש להעלות את תעריפי החשמל בישראל לפחות פי 1.3 [4]. לדעתנו, בתור צעד ראשון מומלץ לגבש את מדרג תעריפי החשמל גם עבור הצרכן הפרטי, על מנת לעודד שימור אנרגיה. בטווח הארוך גיבוש מערכת של תעריפי האנרגיה, תוך התחשבות ביעילות היחסית שלהם.

3.3.1.1. במוסדות מתוקצבים, בעלי מוטיבציית צרכן נמוכה מאוד לשימור האנרגיה, מתאים בתור צעד ראשון יישום ביקורות אנרגיה תקופתיות, כפי שנהוג במספר מדינות וביניהן רוסיה. בטווח ארוך יותר יוגדרו מטלות מחייבות לחסכון אנרגיה, אשר במקביל להן יש להקים במגזר זה קרנות לתמרוץ שימור האנרגיה, בהתאם להצעת החוק משנת 2004 [20].

3.3.2. חינוך להתנהגות כלכלית ואקולוגית בקרב האוכלוסיה.

מבצעי תעמולה תקופתיים לחסכון מים וחשמל ע"י האוכלוסיה ללא ספק תורמים לשימור המשאבים. אולם נתונים רבים מעידים על חדירה איטית של תובנות ניצול משאבים יעיל לתודעת הציבור. ההתנהגות הרווחת בקרב חלק ניכר מהאוכלוסיה ניתן לאפיין בתור "צרכני": את חובתם הם רואים רק בתשלום חשבונות בגין השירותים הנצרכים במועד. רק כמחצית מהצרכנים מוכנים ליזום שינויים במצב הקיים בניצול אנרגיה ותנאים אקולוגיים, היתר משאירים זאת לאחריות הממשלה [21]; להשוואה, ביפן מעל 70% מהצרכנים מבינים צורך בהשתתפותם האישית לשינוי המצב.

נדרשת מערכת אחודה, אשר תשלב בהרמוניה הכשרת צוותי המפעלים ליישום טכנולוגיות משמרות אנרגיה עם לימוד האוכלוסיה לחסכון אנרגיה באופן כללי בחיי יומיום. במדינות המפותחות כבר מגיל צעיר מסגלים לילדים הרגלים של כיווני חשיבה לשיפור אקולוגי וצמצום צריכת האנרגיה, החל מדוגמאות פשוטות של חסכון משאבי



תרשים 7

בתרגום לערכים מוחלטים מדד זה עולה על חמישית מסך הפקת החשמל בתחנות כוח - נתון שמעלה פקפוק.

קצב הגידול והרמה שהושגה בחשמול (אשר הגדרנו אותה כנתח החשמל בסך צריכת האנרגיה הסופית) בישראל גבוה מהותית, מאשר במדינות המפותחות, שאינן בעלות מקורות מתחדשים או גרעיניים ממשמעותיים (תרשימים 7 ו-8). גורם זה אחראי, לפי אומדננו, על כמחצית מגידול צריכת האנרגיה הראשונית בארץ ברבע המאה האחרון; הנ"ל הביא לגידול מואץ בהפסדי אנרגיה בתהליכי המרה והכבדה בעומסים אקולוגיים.

רמת החשמול הגבוהה בארץ מוסברת במידה משמעותית על ידי גורמים אובייקטיביים: דומיננטיות במגזר היצרני של טכנולוגיות עילית, התפתחות המחשוב והבניה לגובה רב, גידול בהצטיידות משקי הבית, המסחר והשירותים במזגנים.

יחד עם זאת, קיימות אפשרויות מסוימות לריסונה באמצעות ניצול ישיר של אנרגיה ראשונית בתהליכים, בהם מושגת נצילות אנרגטית גבוהה יותר ביחס לחשמל, כולל אפשרויות השימוש בגז טבעי שנמצא בתחומי ישראל. בפרויקטים אסטרטגיים לפיתוח מגזרי המשק הישראלי בטווח ארוך (מים, תחבורה וכד') יש להעדיף טכנולוגיות משמרות אנרגיה בעת הבחירה בין האלטרנטיבות.

נלמדו מעט מדי אפשרויות הפיתוח בארץ של הפקת חום מרכזית וקוגרציה - הפקה משולבת של חשמל וחום.

סיכום

המגמות הנוחות במדדי כלכלת האנרגיה בארץ משקפים בעיקר את השפעתם של גורמים מבניים "טבעיים", בדגש על מגזרי הייצור והתחבורה, וכן את התפתחותם המואצת של ענפים בעלי יעילות

3.4.1. בתור כלי אפקטיבי לאיתור פוטנציאל שימור האנרגיה נציין השוואת בינלאומיות. נפוצה ביותר ההשוואה בין מדינות דומות לפי תנאי אקלים ומבנה המשק (למשל, ישראל ואיטליה). עבור המדינות המפותחות בחצי הכדור הצפוני פותחו מדדים אקלימיים, המתחשבים בהשפעת הטמפרטורה הממוצעת בינואר על עצימות אנרגטית של התמ"ג [23]. ביחס לישראל נדרש להשתמש בנתוני הטמפרטורות הקיצוניות הן בחורף והן בקיץ.

אפקטיבית גם השוואה בין תמהיל מאזני האנרגיה ותזרים משאבי האנרגיה והדלק [25, 24].

3.4.2. חיזוי הצרכים במשאבי אנרגיה.

תחזיות הצרכים בארץ בסוגי משאבי אנרגיה נבחרים, גם אלה המשתמשות בשיטות מודרניות לבניית מודלים כלכליים ומתמטיים [26], ככלל מפריזים לעומת הנתונים בפועל, היות שבקושי מתחשבים בהשפעת התמורות המבניות, התקדמות טכנולוגית ושינוי בהתנהגות הצרכנים. נראה מוצדק להשתמש בשיטת "החשבון הישיר", אשר נבדק מעשית בתכנון בברה"מ. ביחס למשק האנרגיה, היא מבוססת על נתוני צריכת האנרגיה הסגולית בסוגים עיקריים של מוצרים, עבודות, שירותים והתאמתם בתקופת התכנון בהתחשב בגורמים שונים. נדרש לפרט סטטיסטיקה בתחום צריכת האנרגיה, בראש וראשונה - לפי פונקציות עיקריות בבינוי, משקי בית, מסחר ושירותים. צרכים אקטואליים נוספים הינם: שיפור מידע בדבר מבנה צריכת החשמל לפי סוגי המרה (כוח, אור, טכנולוגיה); אומדן החשמל הנצרך ע"י מחשבים ואמצעי תקשורת; היקף שימוש בשליטה בתדר זרם חילופין, אשר מאפשרת לחסוך כ-20% חשמל במוצא [27].

[28]

3.4.3. ניתוח תמהיל מאזן האנרגיה בארץ.

פרקים רבים במסמך זה נותרים מעין "כתמים לבנים", כאובייקטים לאופטימיזציה ושימור אנרגיה. בפרט, יצוא מוצרי נפט מהווה כמעט רבע מהיקף יבוא נפט ומוצריו וכמעט שליש מצריכה עצמית. 13.5% מצריכת מוצרי נפט סופית משמשת למטרות שאינן אנרגטיות. סך הכל סעיף זה ר"ת מגזרי כלכלה שלא ניתן לפלחם" מגיע ל-40% מצריכה סופית של מוצרי נפט.

בהתחשב בצפי להרחבת תחומי השימוש בדודי שמש, מתעצם תפקידו של שיפור מתודולוגיית החישוב של היקף אנרגיית החום, המופקת באמצעותם, וצריכתה בפועל. חוסר סבירות במתודולוגיה הקיימת נראית בעין בניתוח מאזני האנרגיה: בשנת 2008 נתח מקור זה באנרגיה ראשונית היווה כ-4.8% לעומת כ-3.4% בשנים קודמות;

החשמל לשנים 2010-2010". המשרד לתשתיות לאומיות, ישראל - 07.2010. <http://www.mni.gov.il/INR/rdorlys/BB267560-F9a3-48d2>

6. The Russian Federation State Program "Energy Conservation and Energy Efficiency Increase until 2020". 27.12.2010, 2,446 pp. (rus)

7. הירחון הסטטיסטי לישראל, מס' 61-2010. http://www.cbs.gov.il/reader/shnatonenew_site.htm

8. M.P.Kovalko, S.P.Denisyuk. "Energy conservation as a priority trend of the Ukrainian governmental policy." Kiev - (1998, 512 pp. (ukrain

9. "הרפורמה בתחבורה הציבורית בגוש דן". <http://www.zman.com/news/2011/05/30/102593.html>

10. The National Economic Council. The National initiative to Develop Technologies that Reduce the Global Use of Oil in Transportation (Summary). <http://www.pmo.gov.il/NR/rdonlyres/3F8EEC29-9E4A-4DD3-8467-A9F084C7FF25/0/OilsubstitutesSummaryofRecommendations.pdf>

11. "חפירה תחת מגדל". <http://www.kommersant.ru/Doc/1565302>

12. Russian Federation Law on 23.11.2009. № 261-F3 "On Energy Conservation and Energy Efficiency /Increase". <http://base.garant.ru/12171109>

13. החלטת הוועידה לבעיות מדעיות ויישומיות בישראל לכבוד 20 שנות העליה ועל שם יורי סטרן ז"ל. באר שבע, 12.2010. (רוסית).

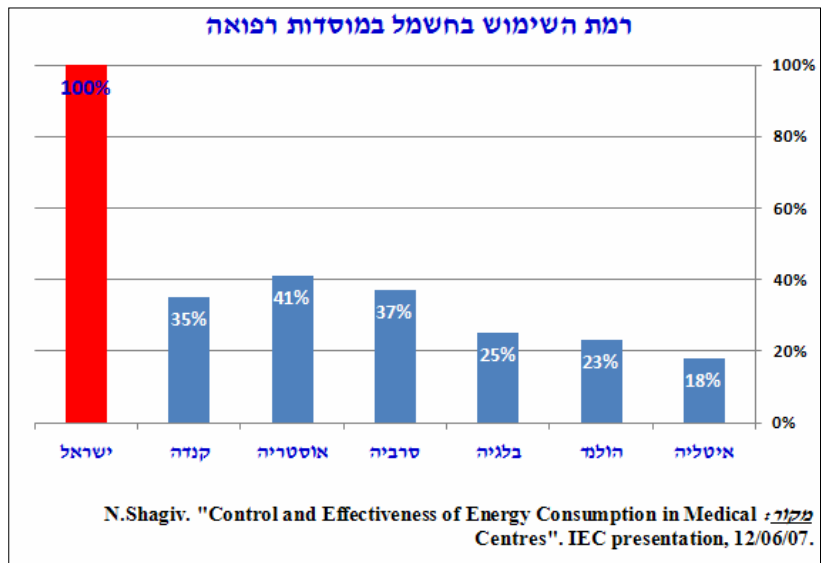
14. כנסת ישראל, מרכז המחקר והמידע. "אנרגיה מתחדשת ככלי לפיתוח אזורי לאור החלטת הממשלה מס' 4450". 24.01.2011. <http://knesset.gov.il/mni/data/pdf/m02785.pdf>

15. "הממשלה אישרה תוכנית לקידום הפקת חשמל ממקורות מתחדשים", 17.07.2011. <http://www.pm.gov.il/PMO/Communication/Spokesman/2011/07/spokeelect170711.htm>

16. G. Grossman. "Solar Energy for Generation of Process Heat". Haifa - 26.02.2007.

17. "תוכנית אב למשק האנרגיה בישראל עד שנת 2025". תמצית ותוכנית חומש. www.mni.gov.il/heb/units/energy_tochnit_av2/shtm

18. "חוק מקורות האנרגיה". 31.12.1989. #1290.



תרשים 8

אנרגטית גבוהה.

התוכנית הלאומית להגברת האפקטיביות האנרגטית וצמצום צריכת החשמל לשנים 2010-2020 מהווה צעד חשוב ראשון בדרך לניצול פוטנציאל לשימור האנרגיה בארץ, בהתבסס על יישום הפעילויות הטכנולוגיות והארגוניות הדחופות ובעלות היעילות המירבית, אשר אינן מצריכות תקופות ארוכות והשקעות רבות. מימושה יאפשר לנצל כשליש מפוטנציאל שימור האנרגיה בארץ, הנאמד בלפחות 30% מצריכת האנרגיה הראשונית כיום. הוצג הכרח בגיבוש תוכנית שימור אנרגיה משולבת לטווח ארוך, המקיפה את כל ענפי המשק ומניחה שכלול מתאים במערכת ניהול ממלכתי בתחומי צריכת האנרגיה וניצול משאבים יעיל. אוששו המלצות בכיווני שכלול מסוימים בעבודה זו.

ביבליוגרפיה

1. Key World Energy Statistics 2010 http://www.iea.org/textbase/nppdf/free/2010/key_stats_2010.pdf – International Energy Agency Publications.
2. Ya. Sosnovsky, E. Ar'yev. Energy Conservation and Sustainable Development in Israel. In the monograph: Sustainable Development in Israel – Jerusalem, 2010, PP. 170-192 (rus) –<http://www.ecost.org.il>
3. י.צ. וולדוקס. "האוצר מחשב מחדש את עלותה של אנרגיה מתחדשת". מוסף לעיתון "חדשות השבוע" - סקירת The Jerusalem Post, 24.02.2011, עמ' 21 (רוסית).
4. Steven W. Popper. Gas and Israel's Energy Future Near Term Decisions from Strategic Perspective. - Monograph, 2009, 186 pp. www.rand.org/pubs/technical_monographs/MG927
5. התוכנית הלאומית להגברת היעילות האנרגטית וצמצום צריכת

יעקב סוסנובסקי - עמית מחקר בכיר, ד"ר לכלכלה מ-Ural Polytechnic Institute (יקטגינבורג, רוסיה, 1971). בשנים 1989-1997 השתתף בגיבוש תוכנית אב ארצית לפיתוח מואץ של תחומי חשמל ואלקטרוניקה בברה"מ, תוכנית אב ארצית לשימור אנרגיה באוקראינה, תוכנית אב מחוזית לשימור אנרגיה וניצול יעיל של משאבי הטבע בזפּורז'יה. החל מספטמבר 2000 בישראל. משנת 2001 משמש כיועץ שלא מן המניין בסוגיות שימור האנרגיה בעמותת ECOST, ירושלים; בשנים 2002-2003 - חבר מועצת מומחים לבעיות אנרגיה במשרד התשתיות הלאומיות. כיוון המחקר העיקרי: שיטות מערכתיות לניהול משאבים. מחבר המונוגרפיות "ניתוח תפקודים ועלויות" (1986, בשיתוף), "חשמל ואלקטרוניקה לאור שימור המשאבים" (1999), "שימור האנרגיה: ניסיון עולמי ופרקטיקה בישראל" (2008), "יסודות שימור האנרגיה" (2009), עשרות פרסומים בנושא בכתבי עת ולקטים מדעים.

יבגני ארייב - כלכלן, רו"ח, בוגר אוניברסיטת חיפה (2003). מתמחה במערכות מידע לניהול תקציב במלכ"רים. מחבר (בשיתוף) של 8 פרסומים בסוגיות אפקטיביות ניצול אנרגיה בישראל.

19. "חוק אוויר נקי". מס' 2174. 31.07.2008.
20. הצעת חוק שימור אנרגיה במוסדות ציבור. 2443104-2004.
21. A. Mor, Sh. Saroussi. "Energy Efficiency and Renewable Energy". http://www.planbleu.org/publishings/atelier_energie/il_National_Study-Final.pdf, 2007.
22. "The Ukrainian Industry: the Ways towards Energy Efficiency". Dan Post Grafik -Denmark, 1995, pp.52-55.
23. A.E. Kontorovich, A.M. Korzhubayev. "Power Engineering in the World Community Sustainable Development". <http://www.auditorium.ru>.
24. Subhes C. Bhattacharyya. "Energy Economics". Concepts, Issues, Markets and Governance. Springer-Verlag, London - 2011, 720 pp.
25. י. סוסנובסקי. "יסודות שימור באנרגיה". ישראל - 2009, 90 עמ'.
26. G. Considine. "An Energy Demand Forecasting Model for Israel and the Marker Potential for Natural Gas." Draft Final Report. The Pennsylvania State University, 2003, 38 pp.
27. W.I. Radin, F.I. Kovalev. "Electricity Saving Problems in the Alternative Power Electric Drive". Izvestiya of the USSR Academy of Science – Power engineering and Transport - 1991 #35, pp. 50-56.
28. Ya. Sh. Sosnovsky. "Power Electronics and Resources Conservation". Zaporozhye, Ukraine. Alpha-Omega Publishing - 1999, pp. 52-66.
29. "Energy Efficiency" - Kommersant Business Guide. 15.09.2009, #170. www.Kommersant.Ru (rus).