

מענה לבקשת התייעצות

# הפסקת השימוש בפחם במשק החשמל בישראל



נובמבר 2019

14 בנובמבר 2019  
ט"ז בחשוון התשנ"פ  
סימוכין : 00899919

לכבוד  
ד"ר יובל שטייניץ  
שר האנרגיה

**הנדון: מענה לבקשת התייעצות בנוגע לקביעת עקרונות מדיניות הפחתה או הפסקה של שימוש בפחם למעט במצבי חירום**  
סימוכין: שר האנרגיה: לש\_45\_2019 מיום 7 באפריל 2019

**רקע**

1. במכתב שבסימוכין ביקשת את עמדת רשות החשמל בעניין יעקרונות מדיניות להפחתת השימוש בפחם ליצור חשמל, עד כדי הפסקת כלל השימוש בשגרה בפחם עד לשנת 2028. זאת, בכפוף לקיום יתירות באספקת גז טבעי למשק בישראל באמצעות חיבורם של שלושה מאגרי גז טבעי, אשר כל אחד מהם יחובר למערכת ההולכה הארצית של הגז הטבעי בתשתית נפרדת, לשם הבטחת שרידות החשמל, אמינות, יעילות וזמינות אספקת החשמל.
2. להלן מפורט מענה הרשות.

**חלופות המדיניות שנבחנו**

3. לבקשתך, נבחנו חלופות להפחתה משמעותית עד כדי הפסקת השימוש בפחם:
  - א. **הסבת התחנות הפחמיות לשימוש בגז טבעי** - בחלופה זו יידרש שימוש מועט בפחם לשם בדיקה שגרתית של התחנות.
  - ב. **הקמת תחנות כוח חדשות המופעלות בגז טבעי ושימור של התחנות הפחמיות**. גם בחלופה זו יידרש שימוש מועט בפחם לשם בדיקה שגרתית של התחנות.
  - ג. **הקמת תחנות כוח חדשות המופעלות בגז טבעי וגריטה של התחנות הפחמיות הקיימות**. חלופה זו תביא להפסקה מלאה של השימוש בפחם.

4. חלופה של הקמת מתקנים סולאריים עם אגירה חלף התחנות הפחמיות נשקלה גם היא. אולם נמצא כי אף שמתקנים אלו עשויים להיות בעתיד כדאיים יותר ממתקני יצור בגז, השימויות של חלופה זו כתחליף מלא לכל ההספק הפחמי מוערכת בשלב זה כנמוכה מאוד לאור ההיקף הגדול שיידרש כדי לספק תחליף לפחם. לאור זאת, לא כללנו במרחב הדיון חלופה של החלפת מלוא ההספק הפחמי במתקנים סולאריים עם אגירה.
5. כלל החלופות הושוו לחלופת המשך מדיניות הפחתת השימוש בפחם הנהוגה כיום. בחלופה זו, תופסק עבודתן של יחידות 1-4 בשנת 2022 בהתאם להחלטת הממשלה, ובמקומן יוקמו מח"זמים. היחידות הנותרות ימשיכו לפעול בהתאם למדיניות הפחתת השימוש בפחם עליה החליט שר האנרגיה. קרי, היחידות הפחמיות יופעלו במינימום תפעולי, והעומס בתחנות יעלה רק כאשר לא קיימת יכולת יצור זמינה בגז. מדיניות זו, ככל שתמשך, צפויה להפחית את חלקו של הפחם מכ- 30% מתמהיל הדלקים כיום, לכ-15% בלבד מתמהיל הדלקים בעתיד ובהתאם לכך גם להביא להפחתה ניכרת בפליטות גזי החממה ובפליטות המזהמים במשק החשמל.

#### שיטת הניתוח

6. הבחינה התמקדה בניתוח עלות תועלת של הפחתה נוספת בהיקף פליטות גזי החממה ופליטות המזהמים המקומיים, בהשוואה להמשך המדיניות הנוכחית ביחס ליחידות 1-4 והפחתת השימוש בפחם. בניתוח נכללו העלויות הישירות של כל אחת מהחלופות, כמו גם עלויות עקיפות הנובעות מזיהום ומפגיעה בביטחון האנרגטי.
7. העלויות העודפות הישירות של כל חלופה, הוערכו לפי המרכיבים הבאים:
- א. ההשקעות הנדרשות מחברת החשמל ליישום כל חלופה;
  - ב. השפעת החלופות על ההשקעות הנדרשות להקמת הספק חדש;
  - ג. עלות הדלקים;
  - ד. עלות התפעול;
  - ה. שווי הקרקע המתפנה;

- ו. העלות השקועה (sunk cost) של התחנות הפחמיות ושל המתקנים להפחתת פליטות חושבה, אולם לא נכללה בחישוב העלות העודפת, משום שהיא זהה בכל החלופות ולכן איננה משפיעה על הניתוח.
8. ניתוח העלויות נעשה מנקודת הראות של צרכן החשמל, לפיכך המיסים על הדלקים (בלו, מס רווחי נפט "מס ששינסקיי") ותמלוגים) כמו גם מרכיבים עקיפים אחרים לא נוכו מהחשבון.
9. בניית התועלות הבחנו בין הפחתת פליטות מזהמים מקומיים לבין הפחתת פליטות גזי חממה: באשר להפחתת המזהמים המקומיים, כימתנו את התועלת שבהפחתת הזיהום בכל חלופה ושיקללנו חיסכון זה כחלק אינטגרלי מהניתוח. לעומת זאת, לאור השונות הגבוהה בהערכות של התועלות הנובעות מהפחתה של פליטת גזי חממה, חישבנו את כמות הפחתת גזי החממה בכל חלופה ואת העלות העודפת שתידרש למימוש ההפחתה. כך, מקבלי החלטות יוכלו להשוות בין עלות ההפחתה לבין התועלות הצפויה, בעת ההחלטה על המדיניות.
10. אופק הזמן של הניתוח נקבע עד לשנת 2045, שכן שנה זו מייצגת אומדן לממוצע סיום אורך החיים ההנדסי של המתקנים.
11. בנוסף, בחנו גם את ההשפעה של אימוץ החלופות השונות על הביטחון האנרגטי, באמצעות כימות העלות הצפויה למשק בהינתן פגיעה ממושכת באספקת הגז בשנה מייצגת בעתיד. ניתוח זה מאפשר לתמחר את התרומה של שימור יכולת היצור בפחם בחירום בכפוף להנחות שונות על סבירות תרחיש החירום.
12. לבסוף, סקרנו את השפעת החלופות על הגמישות התפעולית של המשק.
13. בנספחים לעבודה סקרנו תחומים חיצוניים למשק החשמל אשר מושפעים ממדיניות הייצור הפחמי. משמעויות אלו לא נכללו בניתוח הכלכלי של החלופות אך נוספו לעבודה על מנת לאפשר תמונה רחבה ככל האפשר של משמעויות המדיניות הצפויה:
  - א. מדיניות השבת פסולת לאנרגיה – השפעת מדיניות הפחם על יישום מדיניות המשרד לצמצום הטמנת פסולת באמצעות השבת אנרגיה מפסולת.
  - ב. אפר הפחם - השפעת מדיניות הפחם על השימוש באפר פחם לתעשיית המלט והבטון.

14. בגיבוש ההמלצות לעבודה שקלנו גם שיקולי מדיניות רחבים יותר, הנוגעים לשימות החלופות ולהשפעתן על אמינות ההספקה במשק החשמל בעתיד.

**מדיניות יצור חשמל מפחם במדינות המערב**

15. מהסקירה שערכה הרשות עולה כי:

- א. **מדינות רבות במערב שוקלות בימים אלו את עתיד התחנות הפחמיות ומפרסמות כוונות ותוכניות להפחתה ואף הפסקת השימוש בפחם.** לאחרונה, הצטרפה גם סין - צרכנית הפחם הגדולה מבין מדינות העולם - למגמה זו, והיא מאטה את קצב גידול השימוש בפחם.
- ב. **מספר מדינות גורטות תחנות פחמיות לפני תום החיים הכלכליים** - לדוגמה הולנד, אוסטריה ודנמרק.
- ג. **חלק מהמדינות אשר הצהירו על גריטת הפחם, עשו זאת בתום החיים הכלכליים של התחנות הפחמיות** - למשל, באנגליה, באירלנד, בפורטוגל, בצרפת ובארה"ב תחנות נגרטות לאחר כ- 50 שנות הפעלה. בגרמניה, הגיל הממוצע של התחנות הפחמיות הנגרטות הוא כ- 40 שנה.
- ד. **לרוב, מדינות בהן קיים חשש לביטחון האנרגטי ממשיכות להפעיל תחנות פחמיות ואינן מסבות או סוגרות את התחנות** - כך למשל, ביפן נמשכת הפעלת תחנות פחמיות לאור סגירת התחנות הגרעיניות והתלות ביבוא גז מעבר לים. גם במדינות מזרח אירופה, בהן קיים חשש לרציפות אספקת הגז, מסתמנת מגמה של המשך שימוש בפחם.
- ה. **הסבה לגז היא נדירה יחסית** - ההסבה בוצעה בכמה עשרות יחידות ייצור בארה"ב, בעיקר באזורים בהם מחיר הגז נמוך יחסית וכמו כן בשני מחוזות בקנדה (אלברטה וסקצ'ואן).
- ו. **באף אחת מהמדינות שנסקרו לא מצאנו מדיניות של שימור תחנות פחמיות** - במדינות בהן קיים חשש לביטחון האנרגטי (כגון יפן) ניתנה, כאמור, עדיפות להמשך הפעלת התחנות הפחמיות תוך הגבלת היצור בהן.

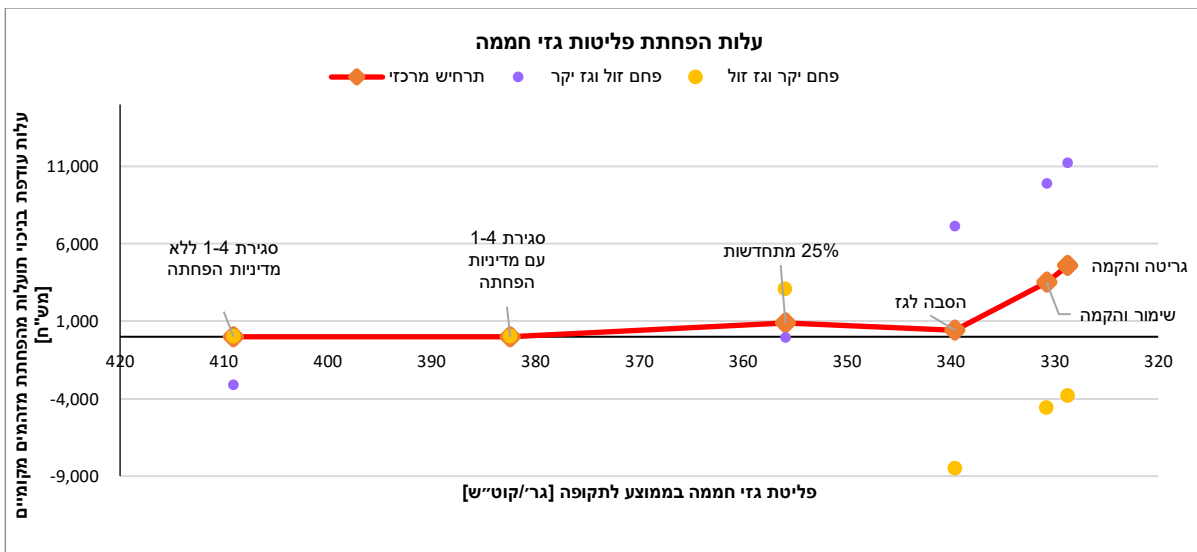
1. בהודו, ברוסיה צפוי גידול בשימוש בפחם. לאור הגידול הצפוי בשימוש בפחם במדינות אלו, סך השימוש בפחם ליצור

חשמל בעולם צפוי להישאר קבוע.

### העלות והתועלת בחלופות להפסקת השימוש בפחם

16. תרשים 1 מסכם העלות העודפת של כל חלופה ביחס להמשך המדיניות הנוכחית. העלות כוללת את העלויות הישירות המפורטות לעיל, בניכוי התועלת מהפחתת המזהמים המקומיים. העלויות מוצגות בהשוואה לפליטות גזי החממה הצפויות במוצע לקוטי"ש בכל חלופה.

#### תרשים 1 – עלות עודפת של הפחתת גזי חממה



### מסקנות

#### 17. מדיניות הפחם שגובשה בשנים האחרונות מבטיחה למשק תועלת גבוהה בעלות נמוכה:

- התקנת הסולקנים, ההחלטה להפסיק את היצור ביחידות 1-4 באתר אורות רבין ומדיניות הפחתת השימוש בשאר התחנות הפחמיות הביאו לירידה ניכרת הן בפליטות גזי החממה והן בפליטות המזהמים המקומיים במשק החשמל.
- המשך המדיניות הנוכחית של הפעלה מינימלית של היחידות הפחמיות אינו צפוי להטיל עלות עודפת משמעותית על משק החשמל ביחס להעמסה כלכלית של מתקנים אלו. זאת משום שהעלייה המשמעותית בבלו על הפחם, והצפי לירידת מחיר הגז של חברת החשמל,

עשויים להקנות ממילא עדיפות לייצור בגז בתחנות קיימות, על פני העלאת עומס בתחנות פחמיות.

18. **בין החלופות להפסקת השימוש בפחם, ניכרת עדיפות משמעותית לחלופת ההסבה על פני**

**חלופות השימור והגריטה :**

א. משק החשמל חשוף לסיכון משמעותי של פגיעה או כשל טכני בהפקת הגז. אמנם גם התחנות הפחמיות עשויות להיפגע בתרחיש חירום, אולם הבטחת כושר יצור בפחם בחירום מקנה למשק יתירות ביחס לתרחיש בו המשק תלוי בייצור בגז בלבד. לעניין זה, שימור התחנות הפחמיות מקנה לכאורה למשק ביטוח לתרחיש של פגיעה אפשרית בהספקת הגז, אולם הניסיון הקיים בעולם בשימור הוא דל יחסית, ובפועל הזמינות של תחנות פחמיות בשימור להפעלה בחירום עלולה להיות נמוכה. לעומת זאת, ההתכנות של מעבר לשימוש בפחם בחירום בתחנה פחמית שהוסבה לגז מוערכת כגבוהה יחסית.

ב. זאת ועוד, הביקוש לחשמל בישראל צפוי להמשיך לצמוח בשנים הבאות כתוצאה מגידול האוכלוסייה, שימוש ברכב חשמלי וצמיחה כלכלית. המצאי המוגבל של הקרקע להקמת תחנות כוח חדשות. שימוש במצאי המוגבל של הקרקע לשם החלפת התחנות הפחמיות עשוי לצמצם עוד את הקרקע הזמינה להקמת תחנות כוח חדשות במענה לגידול בביקוש, ובכך לסכן את אמינות האספקה בעתיד.

ג. במשק החשמל נדרש היקף נרחב של השקעות בשנים הבאות, לשם הקמת הספק חדש במענה לגידול בביקוש, רכישת תחנות חברת החשמל, פיתוח הרשת ועמידה ביעדי האנרגיה המתחדשת. חלופות השימור והגריטה מחייבות השקעה הונית גבוהה באופן ניכר לעומת חלופות ההסבה ולכן חלופות אלו עשויות להקשות על מימוש יעדים אחרים במשק.

ד. יתרון נוסף של ההסבה נוגע לגמישות של חלופה זו לשינויים הצפויים במשק החשמל בעתיד. חלופת ההסבה מתאפיינת בהשקעה הונית נמוכה יחסית בטווח הקצר (ובהתייקרות של יצור האנרגיה בשנים הבאות). לעומת זאת, הקמה של תחנות חדשות חלף התחנות הפחמיות מתאפיינת בהשקעה הונית גבוהה מאוד בטווח הקצר וחסכון בדלקים ובתפעול



לאורך השנים הבאות. לכן, במציאות עתידית שבה מיתקנים סולאריים עם אגירה עשויים להוות תחליף לתחנות המופעלות בגז, חלופת ההסבה מאפשרת לקבל החלטות מעודכנות באשר לתחנות המוסבות, ללא עלות שקועה משמעותית.

ה. יתר על כן, מהניתוח הכלכלי עולה כי העלות השולית של הפחתת גזי חממה באמצעות הסבת התחנות היא נמוכה בהשוואה למגוון ההערכות של התועלת הצפויה מהפחתה זו. חלופות השימור והגריטה מאפשרות אמנם הפחתה נוספת של גזי החממה מעבר להפחתה הצפויה באמצעות ההסבה, אולם העלות השולית של הפחתה נוספת זו גבוהה באופן ניכר בהשוואה לטווח רחב של הערכות התועלת. כלומר, ההפחתה הנוספת שמאפשרות חלופות השימור והגריטה ביחס להסבה איננה מצדיקה את ההשקעה הנוספת הנדרשת למימוש חלופות אלו.<sup>2</sup>

ו. לשם הזהירות, הנחנו הנחות מקלות ביחס לעלות ולנצילות הצפויה של מתקני יצור חדשים בגז, ומצאנו כי גם תחת הנחות מקלות אלו, מסקנות העבודה נותרו ללא שינוי. בנוסף, בחנו תרחיש מחמיר של מחיר פחם גבוה יותר. מצאנו שגם תחת הנחות אלו, חלופת ההסבה עדיפה על פני חלופות הגריטה והשימור.

19. ככל שיוחלט להקים הספק חדש בגז חלף התחנות הפחמיות, עולה מהניתוח כי כדאי לשמר את התחנות הפחמיות רק ככל שהסבירות המוערכת לתרחיש של פגיעה ממושכת בהספקת הגז בשל מלחמה או אסון טבע היא משמעותית.

## המלצות

20. לאור האמור במסמך זה, הרשות סבורה כי ראוי לשקול בחיוב הסבה הדרגתית של 6 היחידות הפחמיות לשימוש בגז טבעי, ולהימנע לעת עתה מגריטה של תחנות אלו.

21. מוצע ליישם את ההסבה לפי העקרונות המפורטים להלן:

א. לאור הניסיון המוגבל בעולם ועל מנת למזער את הסיכון לפגיעה באמינות האספקה במשק החשמל, מוצע כי לאחר הסבת היחידות הראשונות (אחת או שתיים), ובטרם יוסבו עוד יחידות, תבוצע הערכה של תוצאות ההסבה ושל העלויות בפועל.

<sup>2</sup> העלות השולית של הפחתת גזי חממה נוספים באמצעות גריטה/שימור של התחנות מעבר להפחתה אותה ניתן להשיג באמצעות ההסבה היא כ 160-180 ש"ח לטון, בהשוואה לעלות חיצונית של 130 ש"ח בלבד לפי הערכת המשרד להגנת הסביבה.

ב. **ביצוע ההסבה יותנה בהסכם גז ראוי ליחידות המוסבות על ידי חברת החשמל**, אשר ימנע לכל הפחות את התייקרות ההפעלה בהשוואה להפעלת הפחם כיום, וזאת כדי למנוע את התייקרות התעריף לצרכן.

ג. **תבוצע בחינה פרטנית של התאמת קיבולת צינור הגז הימי ליישום מדיניות ההסבה**, על מנת להבטיח קיבולת זמינה למשק בהתאם לגידול בביקוש ולהסכמי הייצוא. זאת לאור ההערכה שחלופת ההסבה מגדילה במידה מסוימת את צריכת הגז הצפויה של משק החשמל ביחס לכמות שתוכננה במסגרת עבודת הצוות המקצועי לבחינה תקופתית של המלצות הוועדה לבחינת מדיניות הממשלה בנושא משק הגז הטבעי בישראל, והיא צפויה להגדיל גם את הביקוש השעתי לקיבולת הספקת גז.

**22. מהעבודה שבוצעה עולה, כי הגדלת יעד האנרגיות המתחדשות תוביל להפחתה נוספת של פלטות גזי החממה ולהפחתה מסוימת של פליטות המזהמים המקומיים ותתרום תרומה משמעותית לביטחון האנרגטי. כל זאת ללא עלות עודפת משמעותית. לאור האמור, הרשות ממליצה כי כצעד משלים להסבת התחנות הפחמיות, תיבחן גם הגדלת יעד האנרגיה המתחדשת לשנת 2030.**

23. למכתב זה מצורפת עבודת ניתוח מפורטת אשר הוכנה ע"י ד"ר נורית גל, מיכאל תואתי, גל לבנט ואיתי גוטגליק, בסיוע אנשי מקצוע נוספים מרשות החשמל ומהממשלה.

24. אני עומד לרשותך להבהרות נוספות ככל שיידרש.

בברכה,



ד"ר אסף אילת  
יו"ר הרשות

## תוכן העניינים

| פרק   | עמוד |
|---|------|
| 1. דלקים ופליטות במדיניות הנוכחית                 | 11   |
| 2. תמהיל הדלקים בחלופות להפסקת השימוש בפחם        | 18   |
| 3. עלות הדלקים                                    | 21   |
| 4. פליטות לפי חלופת מדיניות                       | 23   |
| 5. עלות יישום החלופות על ידי חברת החשמל           | 29   |
| 6. השפעת המדיניות על תוכנית הפיתוח של מקטע הייצור | 31   |
| 7. ביטחון אנרגטי                                  | 35   |
| 8. ערך הקרקע והעלות השקועה של המתקנים             | 38   |
| 9. ניתוח עלות תועלת                               | 42   |
| 10. משמעות תפעולית של חלופות מדיניות הפחם         | 45   |
| נספח א השפעת המדיניות על השבת אנרגיה לפסולת       | 49   |
| נספח ב אפר הפחם                                   | 54   |

## פרק 1 – דלקים ופליטות במדיניות הנוכחית

### כללי

1. פרק זה מפרט את צעדי המדיניות שננקטו עד היום ואת השפעתם על תמהיל הדלקים ועל הפחתת הפליטות.

### מדיניות הפחתת הפליטות והצעדים שנעשו עד כה ליישומה

2. מדיניות הפחתת פליטות גזי החממה קיבלה תוקף בהחלטת ממשלה בשנת 2015<sup>3</sup>, בה נקבע יעד להפחתת הפליטות ל- 7.7 טון לנפש לשנה בשנת 2030.

3. מדיניות צמצום פליטות המזהמים המקומיים נקבעה בשנת 2008 בחוק אוויר נקי. החוק קובע יעדים לפליטות ומטיל חובה על מפעלים ותחנות כוח להצטייד בהיתר פליטה המבוסס על הטכנולוגיות המתקדמות הקיימות.

4. בשנים האחרונות בוצעו מגוון צעדים להפחתת פליטות גזי החממה ופליטות המזהמים המקומיים במשק החשמל:

#### א. החלטות בנושא אנרגיה מתחדשת:

- (1) ביולי 2011 קיבלה הממשלה את החלטה 3484, במסגרתה אושררו יעדי האנרגיה המתחדשת לשנת 2020 והוגדרו מכסות לייצור חשמל באנרגיות מתחדשות.
- (2) באוקטובר 2014, התקבלה החלטה 2117 במסגרתה נוספו 340 מ"ו למכסת הייצור החשמל בטכנולוגיה פוטו-וולטאית, צומצמו מכסות הרוח והביוגז והוחלט להמיר שני רישיונות ייצור מטכנולוגיה תרמו-סולארית לטכנולוגיה פוטו-וולטאית.
- (3) בספטמבר 2015, במסגרת החלטת ממשלה 542, נקבע יעד של 17% ייצור חשמל מאנרגיה מתחדשת בשנת 2030 ויעד להתייעלות אנרגטית.
- (4) בנובמבר 2017, לאחר הליך התייעצות עם רשות החשמל, הנחה שר האנרגיה להוסיף מכסה בהספק של 1,600 מ"ו להקמת מתקנים סולאריים על מנת להבטיח עמידה ביעדי הממשלה ליצור אנרגיה מתחדשת בשנת 2020.

<sup>3</sup> החלטת ממשלה 542 מיום 20.9.2019

**ב. פרויקט הפחתת הפליטות ("סולקנים") :**

- 1) ב-2011, בהוראת שר האנרגיה, נקבע כי ייעשו הפעולות הנחוצות על מנת להביא להתקנתם ההדרגתית של מתקנים להפחתת פליטות באתרי היצור הפחמיים, על מנת להפחית את פליטות המזהמים המקומיים. היתרי הפליטה הותאמו למועד התקנתם של מתקנים אלו.
- 2) עקב עיכובים בפרויקט, ועל מנת לעמוד בהנחיות היתר הפליטה, הופחת העומס ביחידות הייצור באורות רבין במהלך שנת 2016.
- 3) פרויקט הפחתת הפליטות הסתיים באתר אורות רבין ונמצא בעיצומו ביחידות באתר רוטנברג.

**ג. מדיניות הפחתת הייצור בפחם :**

- 1) **החלטה על הפחתת 15% מהיצור הפחמי** – החלטת שר האנרגיה מדצמבר 2015, קבעה הפחתה של 15% בשימוש בפחם ליצור החשמל ביחס לייצור בשנת 2015. מדיניות זו הפחיתה את יצור החשמל מפחם מכ- 29 TWh בשנת 2015 לכ- 24 TWh בשנת 2016.
- 2) **היתרי הפליטה ליחידות הפחמיות** – במסגרת היתרי הפליטה שניתנו בספטמבר 2016 לתחנות הפחמיות על ידי המשרד להגנת הסביבה, הוגבל הייצור פחמי בכל היחידות עד השלמת הקמת המתקנים להפחתת פליטות. ההיתרים קבעו יעד של 24.3 TWh ליצור חשמל מפחם.
- 3) **ביטול פרויקט D** - בשנת 2017, לאחר הליך היוועצות עם רשות החשמל<sup>4</sup>, החליט שר האנרגיה לבטל את פרויקט D ולא להקים תחנת כח פחמית נוספת בישראל. התחנה, בהספק מותקן של 1,460 מ"ו, תוכננה במקור כתחנת כוח נוספת לטובת הגדלת ההספק בישראל ובשנת 2010, על רקע תגליות הגז, הוחלט לשנות את הפרויקט לקונפיגורציה של תחנה דו-דלקית (פחם וגז).
- 4) **מדיניות הפעלה מינימאלית של יחידות ייצור פחמיות** – מדיניות שר האנרגיה מ-2017 קובעת עקרונות הפעלה לפיהם בכל זמן תינתן עדיפות לייצור חשמל בגז טבעי על פני ייצור פחמי. עקרונות מדיניות אלו הביאו לעבודה בעומס מינימלי בתחנות

<sup>4</sup> עתיד פרויקט D בתוכנית הפיתוח – המלצת רשות החשמל. סימוכין: 00873316  
<sup>5</sup> עקרונות מדיניות בנושא הפעלה מזערית של יחידות ייצור פחמיות, 12 בנובמבר 2017

הפחמיות במשך מרבית שעות השנה. העומס ביחידות הפחמיות עולה מעבר לעומס המינימום רק ככל שלא ניתן לייצר את יתרת העומס הנדרש ביחידות הפועלות בגז טבעי. המדיניות הביאה להפחתת היצור בפחם מ- 22 TWh בשנת 2017 ל 20.8 TWh בשנת 2018.

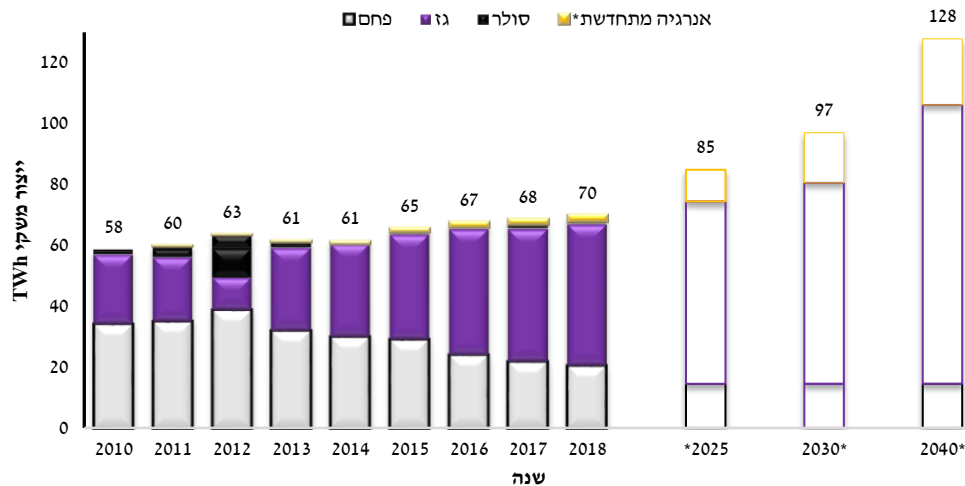
(5) **החלטת הממשלה בנוגע ליחידות 1-4 באורות רבין** – החלטת הממשלה 4080 משנת 2018 קובעת כי יחידות 1-4 באורות רבין יפסיקו לפעול עד יוני 2022 וחלף יחידות אלו יוקמו על ידי חברת החשמל באתר זה 2 תחנות כח מסוג מחז"מ. לפי ההחלטה, שר האנרגיה יבחן את היקף ואופן שימור היחידות. יחידות 1-4 הן היחידות הוותיקות ביותר מקרב היחידות הפחמיות ולא הותקנו בהם אמצעים להפחתת פליטות. סגירתן הצפויה תפחית את נתח הייצור הפחמי ל 14.3 TWh בשנה בלבד, בהנחה שהיחידות הנותרות ימשיכו לפעול לפי מדיניות ההפעלה המינימאלית.

(6) **הצטרפות לאמנת PPCA** – בדצמבר 2018, במסגרת וועידת האקלים ה 24 בפולין, ישראל הצטרפה לקואליציה העולמית לצמצום השימוש בפחם.

### תמהיל הדלקים במשק החשמל בחלופת המשך מדיניות ההפחתה

5. תרשים 2 מציג את התפתחות תמהיל הדלקים במשק החשמל משנת 2010 ועד היום. הגרף מציג גם את תמהיל הדלקים הצפוי בישראל בתרחיש המשך מדיניות ההפחתה עד לשנת 2040. מהגרף ניתן לראות כי צעדי המדיניות שנעשו עד כה הביאו משנת 2015 לצמצום של כשליש מהיצור הפחמי (הפחתה של כ- 10 TWh ביצור אנרגיה מפחם).

תרשים 2 – תמהיל הדלקים בתרחיש המשך מדיניות ההפחתה

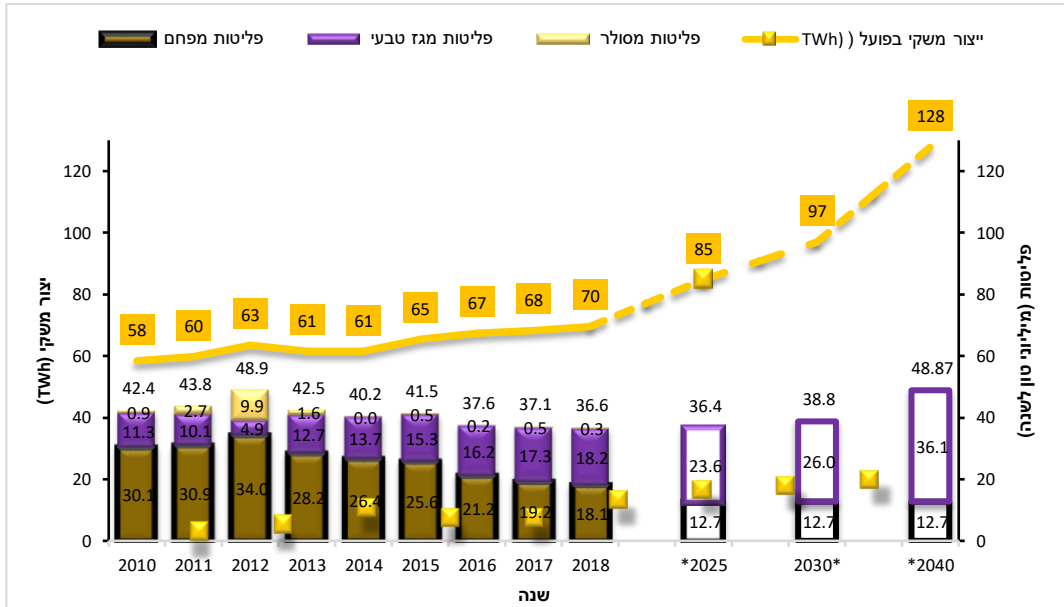


6. במבט קדימה, מסתמן כי חלקו היחסי של הפחם צפוי להמשיך לרדת, אף שהיצור בפחם צפוי להישאר ברמה קבועה, אם תימשך המדיניות הנוכחית:
- א. לפי מדיניות ההפחתה הנוכחית, השימוש בפחם יגיע לערכו המינימלי (כ-14.3 TWh) בשנת 2022, לאחר סגירת יחידות 1-4, וישמר בערך קבוע לאחר מכן.
- ב. יצור חשמל מאנרגיה מתחדשת צפוי לגדול באופן ניכר ולעמוד בשנת 2030 ביעד של 17% שקבעה הממשלה.
- ג. היצור בגז צפוי להמשיך לגדול. בהנחה שהביקוש צפוי לגדול בקצב של כ-2.7% לשנה.
- ד. לאור הגידול הצפוי ביצור החשמל, חלקו היתסי של הפחם בסל הדלק צפוי לקטון מכ-30% כיום לכ-15% בשנת 2030 וכ-11% בלבד בשנת 2040.

פליטות CO<sub>2</sub> מייצור חשמל בחלופת המשך מדיניות ההפחתה

7. תרשים 3 מציג את השפעת צעדי המדיניות שנקטו עד כה על הפחתת פליטות גזי החממה. מהגרף ניתן לראות כי צעדים אלו הביאו לירידה של כ-12% בפליטות גזי החממה בין השנים 2015-2018, אף שייצור החשמל המשיך לגדול בשנים אלו בקצב מצטבר של כ-7%.

תרשים 3 - פליטות CO<sub>2</sub> מייצור חשמל בתרחיש המשך מדיניות ההפחתה

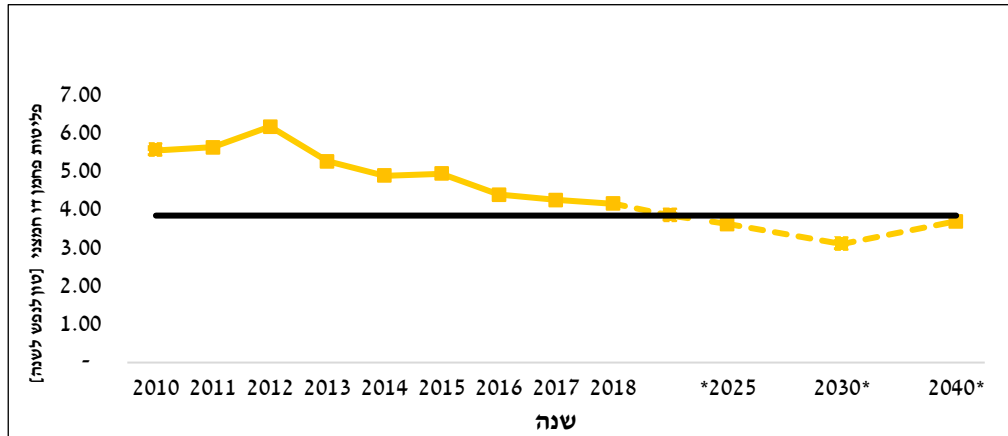


8. הקף פליטות גזי החממה בשנת 2025 צפוי להישמר ברמתו הנוכחית על אף הגידול בביקוש, כתוצאה מהחלטת הממשלה על הקמת מחז"מים חלף יחידות 1-4 באתר אורות רבין.
9. מבט רחוק יותר קדימה, לשנים 2030-2040, מלמד כי היקף הפליטות צפוי לגדול, כתוצאה מהגידול בביקוש המחייב הגדלה של השימוש בגז לייצור חשמל.
10. תרשים 4 מציג את התפתחות הפליטות לנפש, במשק החשמל. מהגרף ניתן לראות כי המדיניות העקבית של הפחתת הפחם בשנים האחרונות הביאה לירידה בפליטות לנפש במשק החשמל. כתוצאה מכך, כבר בשנת 2025, פליטות משק החשמל ירדו מתחת למחצית מיעד הפליטות שנקבע לישראל בהחלטת הממשלה<sup>6</sup>, כלומר חלקו היחסי של החשמל יהיה נמוך מחלקו בפליטות בעת קביעת היעד.

6 בחישוב הפליטות לנפש התייחסנו לקצב גידול אוכלוסיה של 1.86% בהתאם לתחזית הלמ"ס.  
 7 יעד הפליטות לשנת 2030 הינו 7.7 טון לנפש, ומשק החשמל צפוי לרדת בשנת 2025 מתחת למחצית מיעד זה.



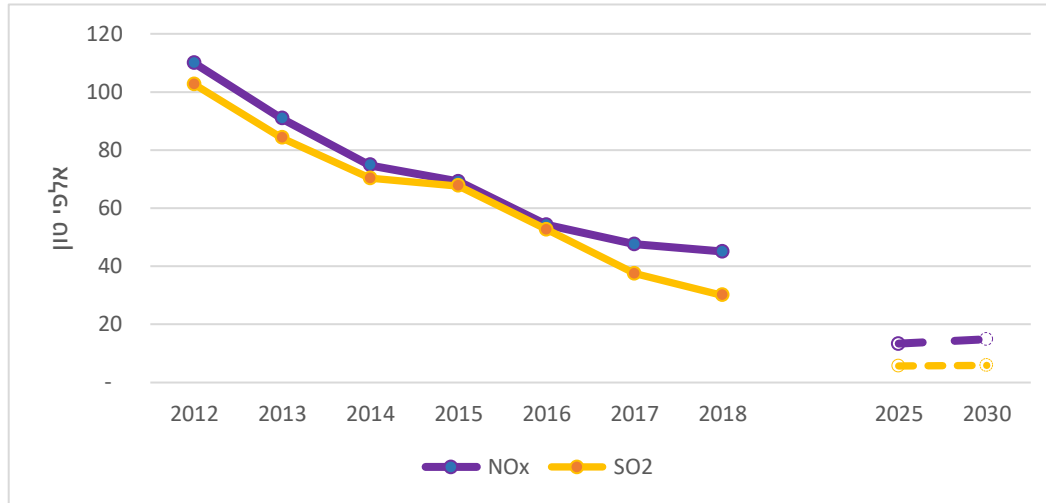
תרשים 4 - פליטות CO<sub>2</sub> לנפש מיצור חשמל



הפחתת פליטות מזהמים מקומיים מייצור חשמל במדיניות הקיימת

11. תרשים 5 מציג את הירידה בזיהום מקומי משנת 2012 ועד היום. ניתן לראות כי גם בפליטות המזהמים המקומיים חלה ירידה משמעותית בעקבות צמצום השימוש בפחם ליצור חשמל ובעקבות התקנת המתקנים להפחתת פליטות ביחידות הפחמיות.
12. בשנים הבאות צפויה ירידה נוספת בפליטות המזהמים המקומיים במתווה של המשך המדיניות הנוכחית, זאת עקב השלמת התקנת המתקנים להפחתת פליטות והקמת מחז"מים באתר אורות רבין. כך, עד שנת 2030, פליטות SO<sub>x</sub> ו- NO<sub>x</sub> צפויות לפחות בכ- 70%-80% ביחס לפליטות המזהמים בשנת 2018.

תרשים 5 – פליטות מזהמים מקומיים מיצור חשמל



מקור: דו"ח מצב משק החשמל 2018 ועיבודי הרשות

## פרק 2 - תמהיל הדלקים בחלופות להפסקת השימוש בפחם

כללי

1. פרק זה סוקר את תמהיל היצור ואת כמות הדלק שתידרש בכל אחת מחלופות המדיניות שנבחנו, בהשוואה לחלופה של המשך מדיניות ההפחתה הנהוגה כיום.

### תמהיל הדלקים

2. טבלה 1 מסכמת את תמהיל היצור הצפוי בחלופות המדיניות להפחתת השימוש בפחם בשנים 2020-2045. החישוב נעשה בהנחה של המשך גידול ביקוש בקצב של כ- 2.7% לשנה, בהתאם לתרחיש הביקוש המרכזי שנקבע במפת הדרכים שפירסמה הרשות למקטע הייצור למשק החשמל. פרוט היצור בכל שנה בכל אחת מהחלופות מפורט באקסל המצורף למסמך זה.

3. מהטבלה ניתן לראות כי תמהיל יצור החשמל דומה בכל החלופות להפסקת השימוש בפחם. בחלופת ההסבה ובחלופת השימור נדרש שימוש מצומצם בפחם על מנת להבטיח את המשך יכולת השימוש בפחם לאורך זמן. נתח השימוש בפחם בחלופת הגריטה נובע מהמשך השימוש בפחם עד למועד הקמת ההספק החדש.

### טבלה 1 - תמהיל היצור לפי חלופת מדיניות

| הקמה וגריטה | הקמה ושימור | הסבה לגז | 25% מתחדשות | סגירת 1-4 עם הפחתת פחם | סגירת 1-4 ללא הפחתת פחם | פחם*            | תמהיל היצור בשנים 2020-2045 [ % מסך הייצור] |
|-------------|-------------|----------|-------------|------------------------|-------------------------|-----------------|---|
| 2%          | 3%          | 3%       | 13%         | 13%                    | 18%                     | גז              |   |
| 82%         | 82%         | 82%      | 65%         | 72%                    | 66%                     | אנרגיה מתחדשת** |   |

הערות:

\* השימוש בפחם בחלופת השימור ובחלופת ההסבה נובע מהצורך להפעיל את התחנות הפחמיות במשך מספר שעות בשנה לצורך שימור ותחזוקה.

השימוש בפחם בחלופת הגריטה נובע ממשך הזמן עד לגריטה.

\*\* הנתונים מתייחסים למוצק על פני כל התקופה ולכן אחוז האנרגיה המתחדשת נמוך מהיעד.

### כמות דלקים ליצור חשמל

4. טבלה 2 מציגה את כמות הדלקים אשר ישמשו ליצור החשמל בשנים 2020-2045. הטבלה מחושבת בהתאם לנתוני הנצילות המפורטים בנספח לפרק זה.
5. מהטבלה ניתן לראות כי השימוש בגז בחלופת ההסבה גבוה ביחס לחלופות האחרות, כתוצאה מהנצילות הנמוכה של התחנות המוסבות. לעומת זאת, בחלופת 25% מתחדשות כמות הגז הנדרשת למשק פוחתת משום שחלק מהיצור בגז מוסט ליצור אנרגיה מתחדשת בעוד שכמות הפחם נותרת קבועה.

### טבלה 2 - שימוש בגז ובפחם ליצור חשמל בשנים 2020-2045

| הקמה וגריטה | הקמה ושימור | הסבה לגז | 25% מתחדשות | סגירת 1- 4 עם מדיניות הפחתת שימוש בפחם | סגירת 1- 4 ללא מדיניות הפחתת שימוש בפחם |                     |
|-------------|-------------|----------|-------------|--|---|---------------------|
| 22          | 27          | 28       | 134         | 134                                    | 189                                     | פחם<br>[מיליון טון] |
| 446         | 444         | 462      | 356         | 395                                    | 366                                     | גז [BCM]            |

## נספח – נתוני נצילות

## טבלה 3 – נצילות יחידות

| נושא                                  | ערך    | מקור   |
|---------------------------------------|--------|--|
| נצילות תחנה פחמית HHV                 | 36.68% | מחושב לפי היחס בין סך צריכת הפחם במשק לבין סך האנרגיה שיוצרה בפחם  |
| נצילות תחנה מוסבת HHV                 | 37.98% | ההפרש ביחס ליחידה פחמית מבוסס על הערכת חח"י לשיפור הצריכה העצמית ביחידה מוסבת  |
| נצילות ממוצעת של יחידות גז קיימות HHV | 46.2%  | מחושב לפי היחס בין סך השימוש בגז טבעי לבין סך האנרגיה שיוצרה מגז טבעי בשנים 2017-2018  |
| נצילות בפועל של מחז"ם חדש HHV         | 54%    | מחושב לפי נצילות עתידית LHV של 65% המבטא שיפור של 2% ביחס ליחידות המתקדמות ביותר הידועות כיום, עם הפחתה בגין טמפרטורה, עבודה בעומס 90-100% והזדקנות.   |
| נצילות בפועל של פיקר חדש HHV          | 37.6%  | מחושב לפי נצילות עתידית LHV של 43%, המבטא שיפור של 2% ביחס ליחידות המתקדמות ביותר הידועות כיום, עם הפחתה בגין טמפרטורה. לאור שעות ההפעלה המוגבלות של הפיקר, לא הנחנו ירידה בנצילות בשל הזדקנות של המתקן. |

\*הערה: היחס בין נצילות HHV לנצילות LHV הוא 1.11

## פרק 3-עלות הדלקים

### כללי

1. פרק זה מסכם את עלות הדלקים ואת עלות התפעול המשתנה בכל אחת מהחלופות.

### שיטת הניתוח

2. לצורך הניתוח מפינו טווח אפשרי של מחירים לכל אחד מהדלקים ובחנו 3 תרחישים אפשריים

ליחס מחירי הדלקים: תרחיש מרכזי ושני תרחישי רגישות.

3. התרחיש המרכזי:

א. מחיר הפחם בטווח הארוך נקבע לפי [תחזית הבנק העולמי](#)<sup>8</sup> – 60 דולר לטון. למחיר זה

נוספה עלות הובלה (10 דולר לטון) ובלו (102 ש"ח לטון).

ב. מחיר הגז בטווח הארוך נקבע כ- 4.7 דולר/MMBTU בהתאם לרמת המחירים המוכרת

כיום. לעלות היצור בגז נוסף גם עלות הזרמה לפי תעריפי רשות הגז ובלו (17 ש"ח לטון).

ג. לעלות יצור האנרגיה נוספו עלויות משתנות:

(1) עלות יצור משתנה בפחם – מחושבת לפי העלות המוכרת לחח"י

(2) עלות יצור משתנה ביחידה מוסבת – מחושבת לפי הערכת חח"י

(3) עלות יצור משתנה ביחידת גז – מחושבת לפי העלות המוכרת ליצרנים פרטיים

בחלטה משייבה 914. העלות משקללת עלות יצור משתנה של מחז"ם ושל פיקר

לפי יחס של 15% ליצור בפיקר.

4. תרחיש פחם זול וגז יקר:

א. מחיר פחם - 40 דולר לטון

ב. מחיר גז – 5 דולר ל MMBTU

5. תרחיש פחם יקר וגז זול:

א. מחיר פחם - 80 דולר לטון

ב. מחיר גז – 4 דולר ל MMBTU

6. בתרחיש של 25% מתחדשות תמחרנו גם את העלות של תוספת יצור האנרגיה המתחדשת:

<sup>8</sup> תחזית הבנק העולמי לטווח הרחוק נתמכת גם בתחזית דומה של סוכנות האנרגיה של ארצות הברית (Annual Energy EIA Outlook 2019)

- א. הנחנו כי מתקני האנרגיה המתחדשת יוקמו בתמהיל של מתקני גגות קטנים, גגות ומאגרי מים גדולים ומתקנים קרקעיים. החלק היחסי של כל מרכיב בתמהיל נקבע לפי הערכה ראשונית של השטח הזמין מכל סוג.
- ב. לפי תחזית בלומברג, עד שנת 2030 צפויה ירידה של כ 31%-41 במחירי המתקנים הסולאריים<sup>10</sup>.
- ג. למחר זה נוספה עלות הקמת הרשת למתקנים קרקעיים. עלות זו מוערכת בכ 1.1 אג' לקוט"ש והיא חלה על מתקנים קרקעיים בלבד המהווים כשליש ממצאי המתקנים לעתיד.
- ד. מכאן שהמחיר המשוקלל של המתקנים הנוספים צפוי לפחות מכ- 1125.9 אג' במוצע כיום, לכ- 16.8 אג' קוט"ש בעתיד.

#### העלות העודפת של הדלקים

7. טבלה 4 מציגה את העלות העודפת של הדלקים בכל אחד מהתרחישים, ביחס לתרחיש של סגירת 1-4 והמשך מדיניות הפחתה. ערכים שליליים בטבלה מבטאים חיסכון ביחס לעלות הדלקים במדיניות ההפחתה.

טבלה 4 – עלות דלקים עודפת לפי חלופה (מיליון ₪)

| גריטה והקמה | שימור והקמה | הסבה לגז | 25% מתחדשות | סגירת 1-4 עם מדיניות הפחתת שימוש בפחם | סגירת 1-4 ללא מדיניות הפחתת שימוש בפחם |                       |
|-------------|-------------|----------|-------------|---------------------------------------|--|-----------------------|
| -3,769      | -3,733      | 2,289    | 3,461       | -                                     | -                                      | תרחיש מרכזי           |
| 2,873       | 2,658       | 9,010    | 2,528       | -                                     | -3,131                                 | תרחיש פחם זול, גז יקר |
| -12,181     | -11,821     | -6,668   | 5,638       | -                                     | -                                      | תרחיש פחם יקר, גז זול |

<sup>10</sup> התייחסנו למחיר המופחת כמחיר מייצג לכל התקופה אף שהוא עשוי להיות נמוך יותר בשנים 2030-2045 וגבוה יותר לפני 2030. המחיר המופחת מתייחס לתוספת האנרגיה שתידרש מעבר ליעד של 17% בשנת 2030 ולכן הוא חל על כמות קטנה יותר בשנים 2020-2030 וכמות גבוהה יותר בשנים 2030-2040 (ראו גליון תמהיל ייצור).

<sup>11</sup> ממוצע זה משקלל 37 אג' למתקני גגות קטנים (המחיר המוצמד שווה הערך למחיר הבלתי-מוצמד שקבעה הרשות למתקנים אלו), 23.3 אג' למתקני גגות גדולים ומאגרי מים ו- 18.18 אג' קוט"ש למתקנים קרקעיים)

## פרק 4 - פליטות לפי חלופת מדיניות

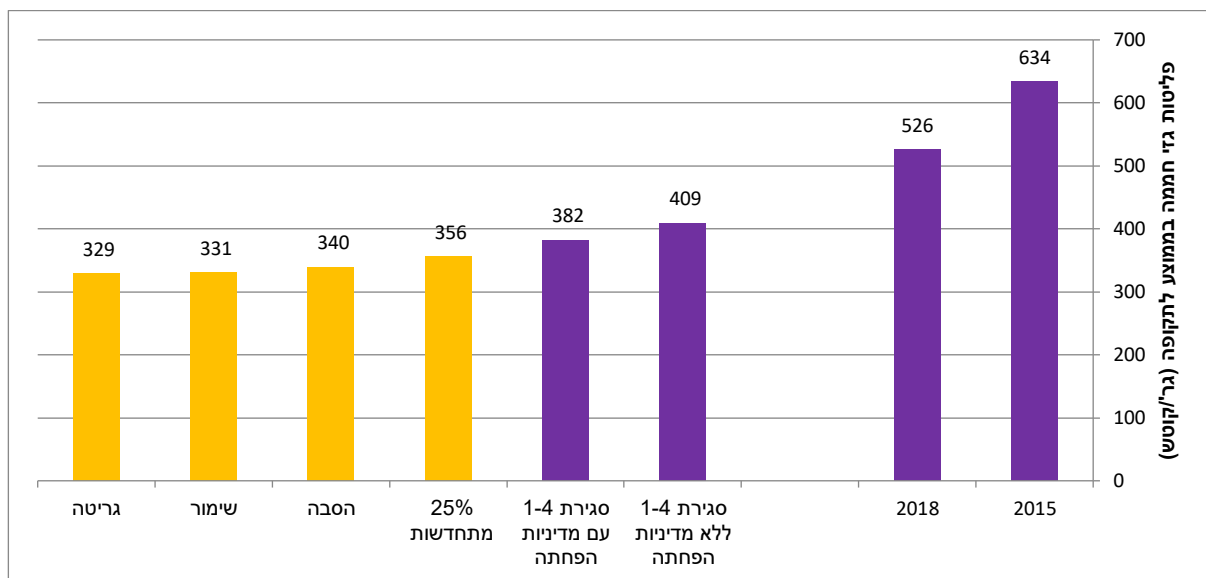
כללי

1. פרק זה סוקר את פליטות גזי החממה ופליטות המזהמים המקומיים בחלופות להפסקת השימוש בפחם.

### השפעת החלופות על פליטות גזי החממה ופליטות מזהמים

25. תרשים 6 מציג את פליטות גזי החממה הצפויות בכל חלופה בממוצע לקוט"ש במשק. מהתרשים ניתן לראות כי מדיניות ההפחתה הביאה מאז שנת 2015 לירידה משמעותית בפליטות גזי החממה לכל קוט"ש מיוצר בתוך שנים ספורות. המשך המדיניות הקיימת, בדגש לסגירת יחידות 1-4 והגידול הצפוי באנרגיה מתחדשת צפויים להביא להפחתה משמעותית נוספת מכ 630 גר"/קוט"ש בשנת 2015, לכ- 400 גר"/קוט"ש בממוצע בלבד בשנים 2020-2045.

### תרשים 6 - פליטות גזי חממה בממוצע לקוט"ש לפי חלופה

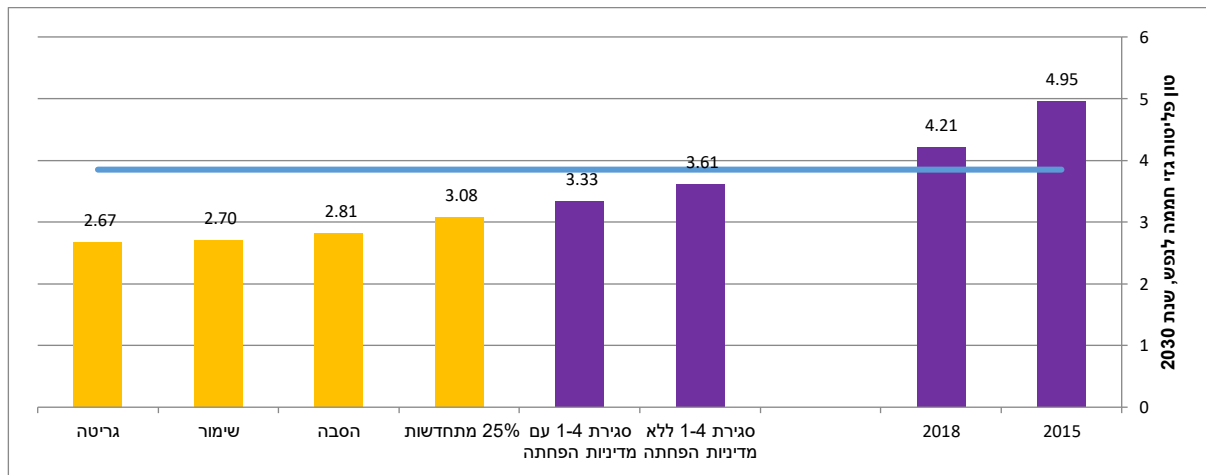




26. צעדי המדיניות הנשקלים כעת צפויים להביא להפחתה נוספת של כ 40-50 גר"/קוט"ש. חלופת האנרגיה המתחדשת צפויה להביא לכמחצית מההפחתה הצפויה בחלופות של מדיניות הפסקת השימוש בפחם.

27. תרשים 7 מציג את השפעת החלופות במונחי טון לנפש בשנת 2030. ניתן לראות כי המדיניות הנוכחית הביאה להפחתת הפליטות לנפש מתחת למחצית יעד הפליטות לנפש בהחלטת הממשלה. חלופות המדיניות מפחיתות עוד את הפליטות לנפש עד כשליש מיעד הפליטות לנפש בהחלטת הממשלה.<sup>12</sup>

### תרשים 7 – פליטות גזי חממה לנפש, 2030



\*הערה: הקו הכחול מבטא מחצית מיעד הפליטות לנפש שקבעה הממשלה

<sup>12</sup> בעת קבלת החלטת הממשלה (2015), משק החשמל תרם כמחצית מפליטות גזי החממה לנפש.

28. תרשימים 8-10 מציגים את פליטות המזהמים הצפויים בכל חלופת מדיניות. מקדמי הפליטות

חושבו כדלקמן:

א. פליטות יחידות פחמיות לאחר התקנת סולקנים ופליטות יחידות פחמיות מוסבות לגז

לאחר התקנת סולקנים – חושבו לפי הפליטות הממוצעות של היחידות בהן הותקנו סולקנים, בשנים 2018-2019.

ב. פליטות ממוצעות של יחידות יצור בגז – חושבו לפי היחס בין סך הפליטות של יחידות

אלו בשנת 2017 לפי נתוני המפל"ס חלקי סך היצור בגז במשק החשמל באותה שנה. המקדמים מפורטים באקסל המצורף לעבודה.

29. מהתרשימים ניתן לראות כי המשך יישום המדיניות הנוכחית צפוי להביא להפחתה משמעותית

של הפליטות ביחס לפליטות המזהמים בשנת 2015 (מסומן בעמודות סגולות בתרשימים)

כתוצאה מסגירת יחידות 1-4 והתקנת הסולקנים. לאור הערכים הנמוכים הצפויים מהמשך

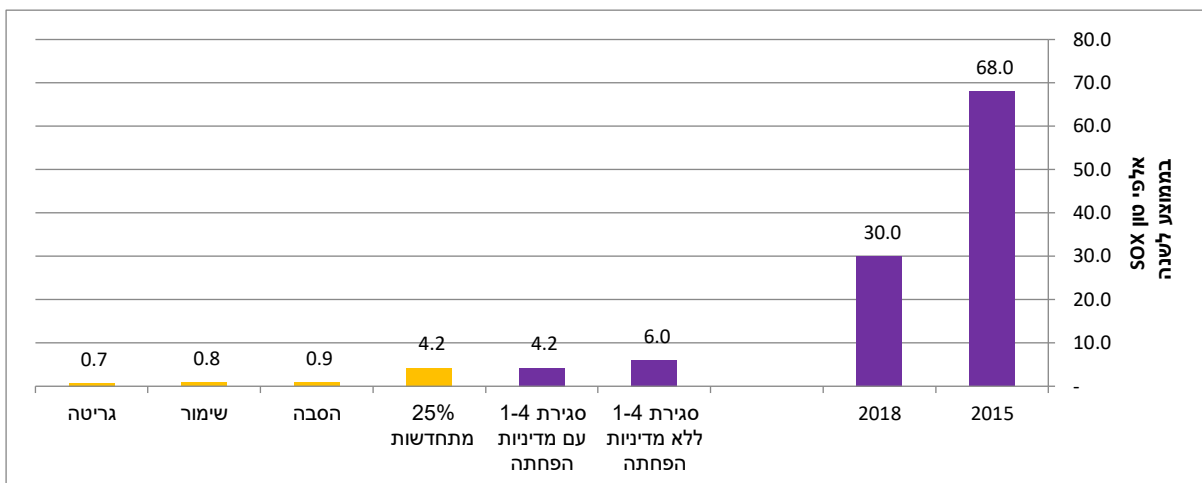
יישום המדיניות הנוכחית, ההפחתה הנוספת הצפויה מהפסקת השימוש נמוכה ביחס לתרומה

שהושגה עד כה. התרומה של חלופת האנרגיה המתחדשת להפחתת המזהמים המקומיים

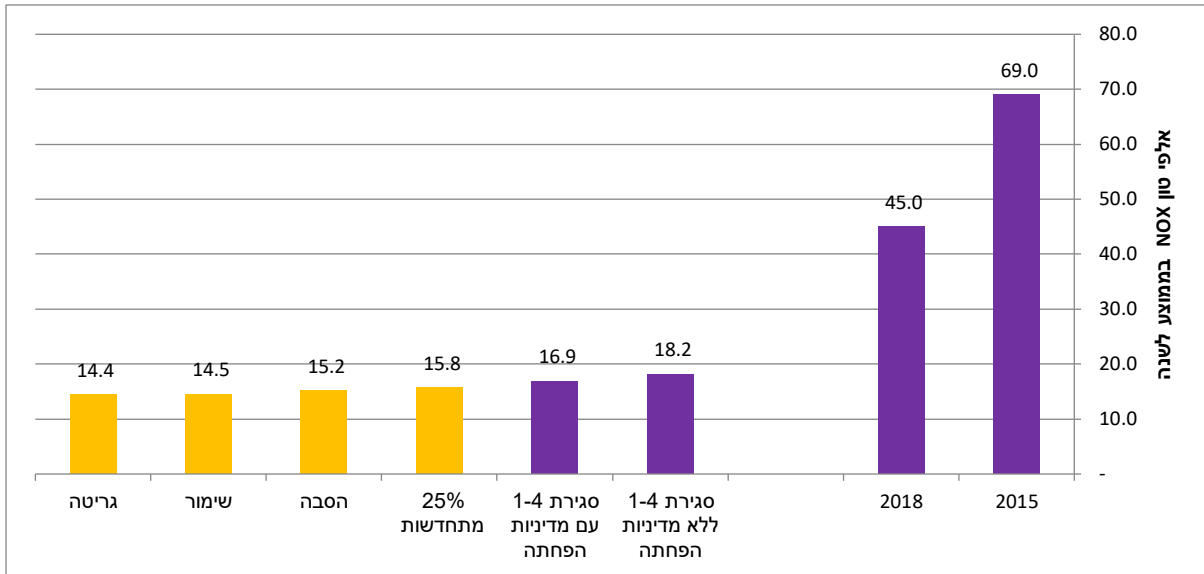
נמוכה בהשוואה לחלופות של הפסקת השימוש בפחם, משום שהיא משמרת את היצור בפחם

בהתאם למדיניות הקיימת.

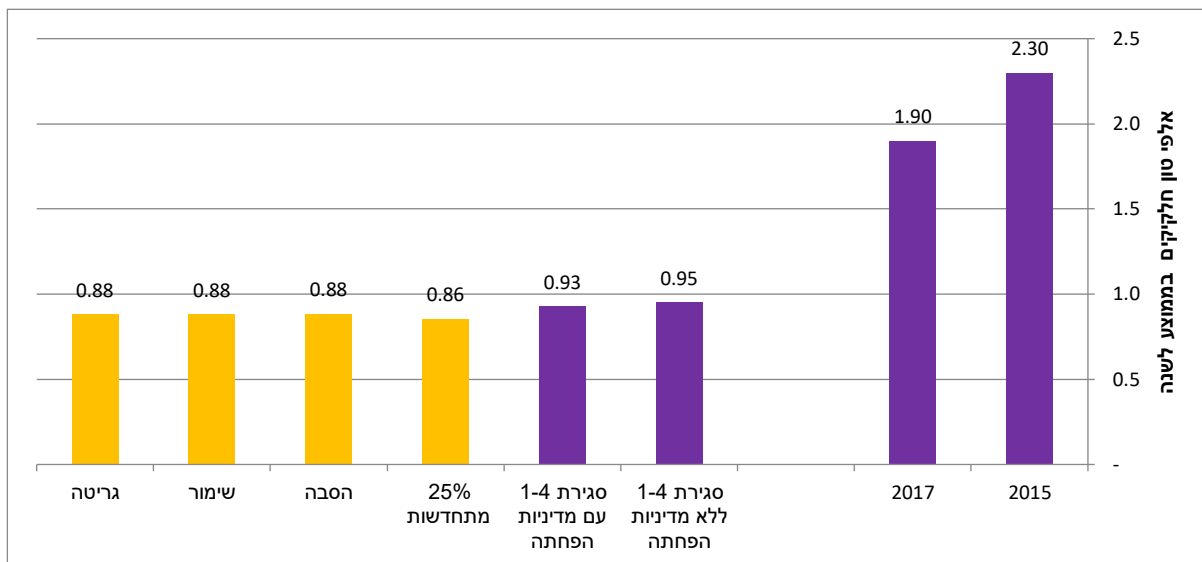
#### תרשים 8 - פליטות SO<sub>x</sub> במוצע לקוט"ש לפי חלופה



תרשים 9 - פליטות NO<sub>x</sub> במוצע לקוטי"ש לפי חלופה



תרשים 10 - פליטות חלקיקים במוצע לקוטי"ש לפי חלופה



## נספח לפרק 4 - הערך הכלכלי של הפחתת הפליטות

### הערך הכלכלי של הפחתת מזהמים מקומיים

1. לצורך הניתוח נעזרנו בעלות החיצונית של הפחתת גזי חממה בהתאם לפרסומי המשרד להגנת הסביבה, בהתאם לעדכון מיולי 2019 (טבלה 5):

טבלה 5 – עלות חיצונית של פליטות מזהמים מקומיים

| עלות חיצונית לפי הגנ"ס<br>(עדכון מיום 16.7.2019) |                 |
|--|-----------------|
| ש"ח לטון   | מזהם            |
| 46,260   | SO <sub>2</sub> |
| 26,791   | NO <sub>x</sub> |
| 92,623   | חלקיקים         |

### הערך הכלכלי של הפחתת גזי חממה

2. בשונה מפליטות מזהמים מקומיים, קיימת שונות רחבה של הערכות לערך הכלכלי של הפחתת גזי חממה. בפרט, מתקיים דיון ציבורי בעולם, האם על מדינות לשקלל את מלוא הערך של ההפחתה (הגישה המקובלת באירופה) או רק את החלק היחסי של ההשפעה על המשק המקומי (הגישה המקובלת כיום בארה"ב).
3. הערכות הקיימות לעלות החיצונית של הפחתת פליטות גזי חממה:
- א. מודל פארטו מ-2008, עליו התבסס בעבר תחשיב העלויות החיצוניות של המשרד להגנת הסביבה, המליץ לקבוע את מחיר CO<sub>2</sub> על בסיס העברת תועלת של מחיר אשרת פליטה במנגנון הסחר בפליטות האירופאי.
- ב. מודל הגנ"ס מ-2012, אשר נמצא בשימוש כיום על ידי הגנ"ס, ממליץ לקבוע את מחיר CO<sub>2</sub> על בסיס ממוצע בין עלות הנזק לפי האיחוד האירופאי לבין עלות הנזק לפי ארה"ב. יצוין כי בימים אלה אגף כלכלה ותקינה במשרד הגנ"ס החל בעבודה חדשה לעדכון הבסיס של העלויות החיצוניות.<sup>13</sup>

<sup>13</sup> עדכון ערכי העלויות החיצוניות של מזהמי האוויר וגזי החממה ל-1.1.19, תמצית העדכון

ג. מודל חברת CE Delft, אשר חלקים ממנו נמצאים בשימוש כיום על ידי הגני"ס, מבצע ניתוח נרחב של מגוון רחב של החלטות מדיניות ומחקרים בתחומים שונים על מנת לשערך עלויות של מפגעים חיצוניים רבים (מזיהום אוויר ועד למפגעי רעש ואור). המודל בוחן, בהקשר של התחממות גלובלית, גם השלכות עתידיות דוגמת השפעת ההתחממות על הגירת אוכלוסייה, פגיעה במגוון ביולוגי ועוד.

ד. המודל העדכני של ה-EPA האמריקאי, משנת 2018, ממליץ לקבוע את מחיר CO<sub>2</sub> תוך התחשבות בנזק הנגרם מהתחממות הגלובלית לארה"ב בלבד. זאת, על בסיס הנחייה Circular-A4 משנת 2003, בהתאם לצו נשיאותי 12866 בנוגע לניתוח השלכות רגולציה – הקובעת כי לא ניתן לחשב את העלות של מדיניות גלובלית שכן קובעי המדיניות במדינות אחרות אינם נמצאים תחת אחריות הממשל האמריקאי.

4. התוצאה היא מנעד רחב מאוד לתמחור טון זיהום (טבלה 6):

טבלה 6 - מודלים להערכת העלות החיצונית לטון פליטות CO<sub>2</sub>

| מודל                   | מחיר טון גזי חממה | שנת המודל | קריטריון   |
|------------------------|-------------------|-----------|------------|
| מודל EPA <sup>14</sup> | 6\$               | 2018      | מודל פארטו |
| מודל הגני"ס            | 36.3\$            | 2019      | מודל פארטו |
| מודל CE Delft          | 63.8\$            | 2018      | מודל פארטו |

14 EPA, 2017. [Regulatory Impact Analysis for the Review of the Clean Power Plan](#)

## פרק 5 – עלות יישום החלופות ע"י חברת החשמל

### כללי

1. פרק זה מפרט את עלויות הישירות של חברת החשמל ביישום החלופות.
2. הנחנו כי חלופת ההסבה תיושם בהדרגה לאורך השנים 2022-2026 ואילו חלופות הגריטה והשימור ייושמו בהדרגה בין השנים 2024 – 2028, שכן משך הזמן שידרש לאישורים ולהקמת מתקני גז חדשים הוא ארוך יותר ביחס למשך הזמן שידרש ליישום ההסבה.
3. העלויות מתייחסות ל- 6 היחידות הנותרות אחרי סגירת 1-4 והן מבוססות על הערכות חברת החשמל בעיבוד רשות החשמל.
4. העלויות כוללות את עלות פרישת עובדים, לפי הערכות חברת החשמל. בהתאמה לכך, החיסכון הצפוי מצמצום מספר העובדים נכלל בעלות התפעול הקבועה בכל חלופה.

### חלופת הסבה לגז

1. טבלה 7 מפרטת את עלות ההסבה.<sup>15</sup>

### טבלה 7 – עלות פרויקט ההסבה

| הסבה לגז     |  |
|--------------|--|
| עלות ליחידה: |  |
| 2.0          | הוספת FGR ומערך מובילים (מליוני \$)              |
| 9.5          | התאמת מערכת הבקרה והחשמל, החלפת ציוד (מליוני \$) |
| 16.5         | הסבת דוודים לגז (מליוני \$)                      |
| 5.0          | קטליסט (מליוני \$)                               |
| 6.9          | עלות PRMS (מליוני \$)                            |
| 22.0         | עלות להחלפת משחנים (מליוני \$)                   |
| <b>61.9</b>  | <b>סך עלות ליחידה (מליוני \$)</b>                |
| 371.7        | סך עלות ל 6 יחידות (מליוני \$)                   |
| 1,338        | עלות ל 6 יחידות (מליוני ש"ח)                     |
| 166          | עלויות פרישת עובדים (מליוני ש"ח)                 |
| <b>1,504</b> | <b>סך עלות ל 6 יחידות נומינלי (מליוני ש"ח)</b>   |
| <b>1,299</b> | <b>סך עלות ל 6 יחידות מהוון (מליוני ש"ח)</b>     |

<sup>15</sup> עלות ההסבה מתייחסת לחלופה המלאה כולל עלות הסבת המשחנים. חלופה זו נבחרה משום שהיא משמרת את מלוא ההספק של התחנות. ללא הסבת המשחנים תידרש הקמת הספק חליפי בעלות גבוהה באופן ניכר.

### חלופת שימור והקמה

2. טבלה 8 מסכמת את ההשקעה הנדרשת לשימור היחידות הפחמיות.

#### טבלה 8 – השקעה ראשונית בשימור

| עלות השימור |   |
|-------------|---|
| 98          | עלות השקעה בשימור 2 יחידות - חד פעמי (מלש"ח)              |
| 147         | עלויות פרישת עובדים ל 2 יחידות                            |
| 245         | סה"כ עלות שימור והקמה ל 2 יחידות                          |
| 734         | השקעה כוללת בשימור ל-6 יחידות (מלש"ח)                     |
| <b>597</b>  | <b>השקעה כוללת בשימור ל-6 יחידות מהוון ל 2019 (מלש"ח)</b> |

### חלופת גריטה והקמה

3. טבלה 9 מסכמת את ההשקעה הנדרשת לגריטת היחידות הפחמיות

#### טבלה 9 – עלות גריטה

| עלות גריטה |   |
|------------|---|
| 111        | עלות גריטת 2 יחידות (מלש"ח)                             |
| 266        | עלויות פרישת עובדים ל 2 יחידות                          |
| 377        | סה"כ עלות גריטה והקמה ל 2 יחידות                        |
| 1,132      | עלות גריטה כוללת ל 6 יחידות (מלש"ח)                     |
| <b>920</b> | <b>עלות גריטה כוללת ל 6 יחידות מהוון ל 2019 (מלש"ח)</b> |

## פרק 6 - השפעת המדיניות על תכנית הפיתוח של מקטע הייצור

### כללי

1. פרק זה בוחן את ההשפעה הצפויה של מדיניות הפחם על תכנית הפיתוח של מקטע הייצור במשק החשמל. הפרק מתמקד בהקף ההספק הנוסף שיידרש למשק כתוצאה מיישום המדיניות וכן בעלות הצפויה של הקמת הספק זה.
2. הניתוח בפרק זה מבוסס על סימולציה<sup>16</sup> שבוצעו על ידי היחידה לתכנון, פיתוח וטכנולוגיה (תפ"ט)<sup>17</sup> בחברת החשמל, לבקשת רשות החשמל.

### הנחות עבודה לסימולציה

3. הסימולציה בוצעה בכפוף להנחות העבודה המפורטות להלן:
  - א. אנרגיה מתחדשת – 17% (נתח מתחדשות גדל בהדרגה עד 2030 ולאחר מכן נשמר יציב), למעט חלופת מדיניות של 25% מתחדשות, בה הנחנו כי נתח האנרגיה המתחדשת יגדל בהדרגה עד ל 25% ב 2030, וישמר ברמה זו עד תום התרחיש.
  - ב. קיבולת גז – הנחנו כי לא קיימת מגבלת קיבולת לאספקת הגז.
  - ג. תכנית הפיתוח –
    - 1) יחידות 1-4 באורות רבין יסגרו<sup>18</sup> ובמקומן יוקמו שני מחז"מים בהתאם להחלטת הממשלה.
    - 2) יחידות 3-4 ברידינג יודממו בשנת 2024 ובמקומן יוקמו שני מחז"מים בהספק של 900 מ"ו.
    - 3) המתקנים הקיימים המתוכננים לקום על פי המכסות שפירסמה הרשות יקומו במועד המתוכנן.
  - ד. משטר הפעלה:
    - 1) בתרחיש המשך מדיניות ההפחתה, יחידות ייצור פחמיות יופעלו במשטר Must Run בעומס מינימלי של 300 מ"ו ביחידות הפחמיות הגדולות. היחידות יועמסו בעומס גבוה יותר רק אם לא קיימות יחידות זמינות אחרות בגז.

<sup>16</sup> ההרצות בוצעו באמצעות תוכנת EGEAS  
<sup>17</sup> סימוכין 794/16/2019 מתאריך 04/06/2019  
<sup>18</sup> לפי החלטת הממשלה, תיבחן אפשרות לשימור היחידות



(2) יחידות ייצור פחמיות מוסבות לגז יופעלו במשטר Must Run בעומס מינימלי של 240 מ"ו. היחידות יועמסו בעומס גבוה יותר בהתאם לכדאיות כלכלית.

### האם מתקנים פוטו וולטאיים עם אגירה יכולים להוות תחליף לתחנות הפחמיות?

4. לפי תחזיות של רשות החשמל ושל המשרד להגנת הסביבה, מתקן פוטו וולטאי עם אגירה של 4 שעות ביחס לגודל החיבור עשוי להוות תחליף יעיל להקמת הספק קונבנציונלי, ללא עלות עודפת, כבר בעתיד הקרוב.
5. על אף זאת, לא ניתן להערכתנו להסתפק במתקנים פוטו וולטאיים עם אגירה כתחליף להספק של תחנות פחמיות, לאור ההקף הגדול של ההספק ושל האנרגיה המיוצרת במתקנים אלו. לשם המחשה נציין כי החלפת התחנות הפחמיות במתקני אנרגיה מתחדשת תחייב הקמה של כ 8000 מגהוואט<sup>19</sup> סולארי וכושר אגירה של כ 12,800<sup>20</sup> מגהוואט-שעה. אגירת אנרגיה בהיקף זה במתקנים סולאריים היא מאתגרת מאוד ליישום, אף שהניתוחים הכלכליים מצביעים על הכדאיות הכלכלית של האגירה במתקנים סולאריים.
6. לאור זאת, הנחנו כי יידרש הספק קונבנציונלי בגז להחלפת התחנות הפחמיות ודנו בנפרד בהגדלת יעד הייצור של האנרגיה המתחדשת ובשילוב אגירה במתקנים אלו בעתיד.

### ההספק הנדרש למשק החשמל

7. טבלה 10 מסכמת את תוספת ההספק הנדרש למשק עד שנת 2040 בכל חלופת מדיניות ביחס להספק הנדרש למשק בחלופת המשך המדיניות הקיימת. הטבלה מתייחסת להפרש ההספקים בלבד ולפיכך לא מפורט בה ההספק הנדרש בשל הגידול הביקוש.

<sup>19</sup> ההספק הסולארי הנדרש להחלפת הפחם מחושב בהנחה שהפחם מייצר כ 14 TWh בשנה, וכל KW פוטוולטאי ייצר כ 1750 KWh בשנה.

<sup>20</sup> הקף האגירה שידרש על מנת להשתמש במתקנים הסולאריים כתחליף הספק מחושב בהנחה שההספק הסולארי (8000 MW) יתחבר לרשת ביחס של 2.5 MW ל 1 MVA, ולכל KVA תדרש יכולת אגירה של כ 4 KWh.

טבלה 10 – תוספת הספק חדש נדרש לפי חלופה

| מדיניות קיימת         | 25% מתחדשות | הסבה לגז | שימור והקמה | גריטה והקמה |
|-----------------------|-------------|----------|-------------|-------------|
| -                     | -           | -        |             | +3,660      |
| תוספת הספק נדרשת (MW) |             |          |             |             |

8. בחלופות בהן נגרטות או משומרות היחידות הפחמיות נדרשת תוספת הספק של כ-3660 מגה וואט, אף שההספק הנגרט הוא כ-3400 מגהוואט. תוספת ההספק נדרשת משום שההספק הפועל בגז טבעי מתאפיין בירידת הספק בגז, בעוד שהספק התחנות הפחמיות נותר קבוע.

9. בסימולציה נבחנה חלופת 22% מתחדשות ונמצא כי ההספק הקונבנציונאלי הנדרש זהה להספק הנדרש בחלופת מדיניות ההפחתה. כלומר, הגידול באנרגיה המתחדשת איננו חוסך הספק למשק. לאור זאת, הסקנו כי גם בחלופה של 25% מתחדשות ההספק הנדרש למשק יהיה זהה להספק הנדרש בחלופת הבסיס. מצב זה עשוי להשתנות ככל שבעתיד יתאפשר שילוב אגירה במתקנים פוטו וולטאיים.

10. לפי תוצאות הסימולציה, כ-30-35% מההספק הנוסף הנדרש למשק, הוא במחזור פתוח ("פיקר"). להערכתנו, אחוז המתקנים במחזור פתוח מתוך כלל ההספק עשוי להיות גבוה אף יותר. הסיבות לכך:

א. הסימולציה מחשבת את העלות המינימלית של ההספק אשר יבטיח את אמינות הספקת החשמל בעתיד. בחישוב זה מובאים בחשבון עלות ההקמה והנצילות של המתקנים.

ב. בפועל, השילוב של מתקני יצור במחזור פתוח בהיקף גדול, צפוי להגדיל באופן ניכר את הצורך במתקנים גמישים אותם ניתן להתניע בפרק זמן קצר ולהעלות את העומס במהירות.

11. למרות זאת, בהעדר ניתוח מפורט של הצורך במתקנים במחזור פתוח השתמשנו באחוז המחושב לפי תוצאות הסימולציה שבוצעה על ידי תפ"ט (35%).

### עלות ההספק הנדרש למשק החשמל

12. ניתוח העלויות מתייחסת לפער ההספק ביחס לחלופת המשך מדיניות ההפחתה. לפיכך,

התמקדנו בעלות ההספק העודף ולא ניתחנו את מלוא עלות ההספק הנדרשת למשק.

13. הנחנו כי ההספק הנוסף יקום בהתאמה למועדים בהם יבוצעו פעולות הגריטה/שימור, קרי בהדרגה על פני השנים 2024-2028.

14. הנחנו כי ההספק הנוסף יקום ע"י יצרנים פרטיים, בתמהיל של כ 65% מחז"ים ו 35% פיקר. עלות ההספק נקבעה לפי הנחה שהקמת המתקנים בהליך תחרותי תביא להפחתה של כ 10% ביחס לעלות המוכרת בהסדרת הרשות מישיבה 914.

15. העלות העודפת של הקמת ההספק החדש מחושבת לפי תזרים התשלום על ההון להספק הנוסף במהלך השנים 2020-2045, בהנחה שהתשלומים יפרסו על פני 25 שנה והריבית המשוקללת על ההון תהיה כ 4%.

16. הנחנו כי עלות התפעול של מתקני היצור החדשים תהיה גם היא נמוכה בכ 10% ביחס לעלות התפעול המוכרת בהסדרת הרשות מישיבה 914. עלות התפעול של המתקנים הקיימים נקבעה לפי העלות המוכרת כיום למתקנים אלו.

## פרק 7 – ביטחון אנרגטי

### כללי

1. פרק זה בוחן את השפעת חלופות מדיניות הפחם על הביטחון האנרגטי של משק החשמל. בפרט, נבחנת בפרק השפעת החלופות על עלות אספקת החשמל בתרחיש של פגיעה ממושכת באספקת הגז הטבעי.
2. לצורך הניתוח הגדרנו תרחיש ייחוס ובחנו את עלות הדלקים הצפויה למשק החשמל בהינתן התרחיש. המודל הכלכלי המצורף לעבודה זו מאפשר לקבוע סבירות לתרחיש ולבחון את כדאיות שימור התחנות הפחמיות ביחס לרמת הסבירות שנבחרה.

### תרחיש הייחוס

3. תרחיש הייחוס אשר ביחס אליו נבחנו החלופות הינו הפסקת אספקת גז טבעי למתקני ייצור החשמל בישראל למשך תקופת זמן של שנה. תרחיש זה מדמה אירוע חמור אשר עשוי להיגרם עקב פגיעה פיזית בתשתיות הולכת הגז או באסדות הגז עצמן, שמקורה באירוע טבע או בפגיעה מכוונת.
4. הנחנו כי התרחיש מתקיים בשנת 2030 כשנה מייצגת במחצית תקופת הניתוח.
5. תרחיש זה נבחר מהשיקולים הבאים:
  - א. התרחיש חמור אך עדיין נמצא במתחם הסבירות.
  - ב. משך הזמן לתיקון פגיעה קשה באסדה מוערך בכשנה ולכן אין חשיבות לבחינת תרחישים בהם הפסקת אספקת הגז ממושכת יותר.
6. הנחות עבודה נוספת לתרחיש הייחוס:
  - ג. שנת 2030 נבחרה כשנה מייצגת לבחינת החלופות. סך הביקוש החזוי בשנה זו עומד על 97 TWh. מתוך ביקוש זה, על פי יעדי הממשלה, הייצור מאנרגיות מתחדשות יעמוד על 16.5 TWh שהם כ-17%.

- ד. לצורך הניתוח הנחנו כי יחידות 1-4 באתר אורות רבין ישומרו לאחר הקמת המח"זמים באתר, אף שטרם התקבלה החלטה סופית בעניין זה. הנחה זו זהה בכל החלופות ולכן איננה משפיעה על הניתוח.
- ה. הנחנו כי בעת חירום, יוסרו מגבלות הפעלת יחידות בפחם כך שהן יועמסו באופן מקסימלי על מנת להחליף שריפת סולר ככל הניתן. הנחה זו מאפשרת לייצר בשנת החרום כ-10.1 TWh ביחידות 1-4 ועוד כ-25.3 TWh ביתר היחידות<sup>21</sup>. בהשוואה ל-14.3 TWh בלבד שיווצרו בפחם בשנה בה קיימת אספקת גז תקינה.
- ו. הנחנו כי בחודש הראשון של התרחיש האוניה המגזזת לא תפעל, מחשש לפגיעה, אולם ביתר השנה היא תפעל ותספק כ-15,000 MMBTU בממוצע בשעה. כתוצאה מכך, יתאפשר ייצור של כ-16.7 TWh בגז נוזלי על פני שנת התרחיש.
- ז. מחירי הפחם והסולר בשנת התרחיש נקבעו לפי [תחזית ארוכת טווח של הבנק העולמי](#).

טבלה 11 – עלות דלקים עודפת בתרחיש הפסקת הספקת גז

| גריטה והקמה | שימור והקמה | הסבה לגז | 25% מתחדשות | מדיניות קיימת |  |
|-------------|-------------|----------|-------------|---------------|--|
| 23,069      | 18,040      | 17,697   | 14,853      | 17,583        | עלות הדלקים בשנת תרחיש החרום [מלש"ח]                                     |
| 5,486       | 457         | 114      | -2,730      | -             | עלות עודפת נומינלית מעבר לעלות תרחיש החרום בהמשך המדיניות הקיימת [מלש"ח] |
| 3,963       | 330         | 83       | -1,972      | -             | עלות עודפת מהוונת לשנת 2019 [מלש"ח]                                      |

7. בחישוב עלות הדלקים הנחנו כי ניתן יהיה לשוב ולפעול בפחם באופן הבא:
- א. **הסבה לגז** – המעבר לשימוש מלא בפחם מתוכנן להתבצע תוך יממה אחת. עם זאת, קיים סיכון טכנולוגי כי המעבר יימשך עד שבוע.
- ב. **שימור היחידות** – המעבר לשימוש מלא בפחם מתוכנן להתבצע תוך חודש. עם זאת, קיים סיכון טכנולוגי כי המעבר יימשך עד חצי שנה.

<sup>21</sup> ככל שיוחלט לשמר את יחידות 1-4, יתווסף ייצור פחם בכל החלופות ויפחת בהתאמה הייצור בסולר. לכן, הפער בין החלופות לא צפוי להשתנות.

- ג. בפועל יתכן כי משך הזמן שידרש כדי לשוב ולפעול בפחם לאחר שימור או הסבה יהיה ממושך יותר ועלות יצור הדלק בחלופות אלו תגדל בהתאמה.
8. ניתן לראות כי בחלופות ההסבה והשימור העלות למשק גבוהה מעט ביחס למדיניות הקיימת, כתוצאה מפרק הזמן הנדרש עד להפעלה מחדש של היחידות בפחם. עלות זו עשויה להתייקר ככל שהחזרה לשימור בפחם תתקל בקשיים. לעומת זאת, בחלופת הגריטה, המשק נושא בעלות עודפת של כ 4 מיליארד ש"ח, בערך נוכחי, מעבר לעלות הדלקים בתרחיש חרום במדיניות הנוכחית, כתוצאה מהצורך להשתמש בסולר ללא אפשרות לחזור לשימוש בפחם.
9. מהטבלה עולה גם כי הגדלת נתח האנרגיה המתחדשת ל 25% מסל הדלקים מקנה למשק ביטחון אנרגטי, משום שהיא מצמצמת את השימוש בסולר בתרחיש החרום. התרומה של האנרגיה המתחדשת בתרחיש החרום מוערכת בכ- 2 מיליארד ש"ח בערך נוכחי.
10. בקובץ המצורף למסמך זה ניתן לבחון את השינוי הצפוי בעלות תרחיש זה בהינתן סבירויות שונות להתרחשות התרחיש.

## פרק 8 – ערך הקרקע והעלות השקועה של המתקנים

### כללי

1. פרק זה סוקר את אתרי תחנות הכוח הפחמיות ואת המשמעות הכלכלית של אתרים אלו לאור חלופות מדיניות הפחם.
2. הפרק מתמקד בשני משתנים כלכליים עיקריים:
  - א. הערך הכלכלי של ההשקעות שנעשו בתחנות הכוח ובמתקנים להפחתת פליטות, כפי שהוא מתבטא בעלות ההון הבלתי מפוחתת. ערך זה הוא עלות שקועה אשר לא תיכלל בניתוח עלות הפחתת הפליטות.
  - ב. הערך הכלכלי של הקרקע. ערך זה נכלל בניתוח עלות החלופות.

### ערך הפחת הנותר של המתקנים

3. טבלה 12 מפרטת את הערך הבלתי מפוחת של תחנות הכוח הפחמיות ושל מתקני הפחתת הפליטות. הערך מחושב ביחס לשנת 2022, בה עשוי להיות מיושם לראשונה שינוי המדיניות. פחת מתקני היצור מבוסס על נתוני התעריף. פחת מתקנים להפחתת פליטות מבוסס על הערכה ראשונית של רשות החשמל. ערך הפחת יקבע בהמשך על ידי מליאת הרשות.

טבלה 12 - הערך הבלתי מפוחת של אתרי הפחם בשנת 2022

| ערך פחת נותר בשנת 2022 [מיליארדי ש"ח] |   |                      | שנת סוף חיים כלכליים | יחידה          |
|---------------------------------------|---|----------------------|----------------------|----------------|
| סה"כ ערך פחת נותר                     | פחת נותר של מתקני הפחתת הפליטות (הערכה ראשונית) | פחת נותר מתקני היצור |                      |                |
| יקבע לאחר החלטת המליאה                | יקבע לאחר החלטת המליאה                          | 0.8                  | 2045                 | אורות רבין 5-6 |
|                                       |   | 2.2                  | 2040                 | רוטנברג 1-2    |
|                                       |   | 0                    | 2049                 | רוטנברג 3-4    |

|  |  |   |  |      |
|--|--|---|--|------|
|  |  | 3 |  | סה"כ |
|--|--|---|--|------|

### הערך הנותר של הקרקע

4. אתרי התחנות הפחמיות ממוקמים סמוך לים. ככל שיוחלט להפסיק את השימוש באתרים ליצור חשמל, הם עשויים לשמש להקמת תשתיות חיוניות אחרות. למרות זאת, הניתוח בפרק זה מתמקד במשמעות של הקרקע למשק החשמל בלבד.
5. שטח האתרים המשמשים את יחידות הפחם הוא כ-2400 דונם. לצורך הניתוח הנחנו כי בחלופת הגריטה יתפנה שטח של כ-700 דונם<sup>22</sup>. ביתר החלופות השטח ימשיך לשמש את התחנות.
6. ערך הקרקע מוערך בכמיליון ש"ח לדונם, על בסיס הערכות שמאי למתקן ההתפלה בשורק. מכאן שערך הקרקע המתפנה בחלופת הגריטה הוא כ-700 מליון ש"ח.

<sup>2222</sup> יתר השטח ניתן ליעול כבר כיום ולכן אינו מייחד את אחת מהחלופות. השטח המתפנה חושב לפי מקדם שמרני של כ-5 מ"ז לדונם.



## טבלה 13 – אתר אורות רבין - מאפיינים

| אורות רבין     |   |
|----------------|---|
| הקמה           | יחידות 1-4 הוקמו בתחילת שנות ה-80 ולפי החלטת הממשלה הן צפויות לעבור גריטה בשנת 2022, במקומן יוקמו באתר מחז"מים בהספק של כ-1200 מ"ו. יחידות 5 ו-6 הוקמו בשנות ה-90 והן מתוכננות לפעול עד שנת 2045  |
| הספק באתר      | סה"כ 2500 מ"ו :<br>יחידות 1-4 בהספק של 350 מ"ו האחת<br>ויחידות 5-6 בהספק של 550 מ"ו האחת.   |
| סולקנים        | ביחידות הוקמו סולקנים שהחלו לפעול בשנת 2017   |
| שטח            | יחידות ייצור  |
|                | אחסון   |
|                | נוספים  |
|                | סך שטח  |
| מיתוג והשנאה   | 104 דונם לכלל היחידות.<br>229 דונם לאחסון פחם.<br>70 דונם עבור השנאה ו-70 דונם עבור מתקן התפלה.<br>כמו כן, שטח נמלי עבור אניות פחם ושטחים פתוחים לצמצום השפעות הסביבתית של שריפת הפחם והתקנת מתקנים להפחתת פליטות   |
| חיבור לגז טבעי | 1,150 דונם<br>האתר מחובר לרשת 161 ק"ו.<br>כל קווי המתח העליון מהאתר מחוברים לתחמ"ג קיסריה   |
| מיכלי דלק      | קיים חיבור T לצינור הגז הימי. מתוכננת תחנת PRMS שתוקם בסמוך לגדר המערבית של האתר שתאפשר תוספת לצינור גז נוסף.   |
| תשתיות נלוות   | 5 מיכלי גיבוי למזוט – 2 בנפח 50,000 טון, 2 בנפח 30,000 טון ואחד בנפח 10,000 טון (מיועד להסבה למים נטולי מלחים).<br>4 מיכלי סולר בנפח כולל של 5,000 טון  |
| אפשרויות פיתוח | מתקן התפלה של 127 מלמ"ש. כיום מי הרכז (תמלחת) של מתקן ההתפלה נמהלים עם מי הקירור המושבים של יחידות 1-4.<br>התמ"א הנוכחית ישנה ולא מפורטת – כיום מקודמת תמ"א מפורטת רק למחז"מים החדשים ולמתקנים נלווים עבורם.<br>ברביע הצפון מזרחי של מחלף קיסריה קיים שטח נוסף בהיקף 111 דונם המשמש אחסנה פתוחה של חח"י. השטח נכלל במסגרת התכנית לשני המחז"מים אך ייתכן ויוכל לשמש לפיתוח נוסף. |

טבלה 14 - אתר רוטנברג- מאפיינים

| רוטנברג              |   |   |
|----------------------|---|---|
| הקמה                 | יחידות 1 ו-2 הוקמו בתחילת שנות ה-90 והן מתוכננות לפעול עד שנת 2040<br>יחידות 3 ו-4 הוקמו בתחילת שנות ה-2000 והן מתוכננות לפעול עד שנת 2049  |   |
| הספק חשמל            | 2160 מ"י סה"כ :<br>יחידות 1-2 בהספק של 550 מ"י האחת.<br>יחידות 3-4 בהספק של 520 מ"י האחת (קיים אישור סטטוטורי ל-550).<br>שתי טורבינות גז (מופעלות בסולר) בהספק של 20 מ"י האחת.                    |   |
| סולקנים              | ביחידות 1-2 הוקמו סולקנים שהחלו לפעול בשנת 2018-2019<br>ביחידות 3-4 הוקמו סולקנים באופן חלקי, שכן מדובר בתחנות חדישות יותר שחלק מאמצעי הסולקנים כבר מותקנים בהם. הם יתחילו לפעול בשנת 2020 ו-2021 |   |
| שטח                  | יחידות ייצור  | 295 דונם לכל היחידות.                                 |
|                      | אחסון   | 461 דונם למאגר הפחם, 81 דונם לאחסנה.                  |
|                      | נוספים  | 140 דונם למבני עזר, 49 דונם להשנאה, 38 דונם לאתר דלק. |
|                      | סך שטח  | 1,456 דונם  |
| מיתוג והשנאה         | האתר כולל שטח למיתוג והשנאה וחיבור לשני קווי 400  |   |
| חיבור לגז טבעי       | האתר אינו מחובר לגז טבעי. הולכת הגז הטבעי מגיעה למכלול קצא"א הסמוך לאתר.<br>בימים אלו מקודמת תכנית לחיבור לרשת הגז.   |   |
| מיכלי דלק            | מיכל מזוט בנפח 15,000 טון, מיכל מזוט קל בנפח 4,000 טון מזוט ו-2 מיכלי סולר בנפח של 1,000 טון.<br>טורבינות הגז מחוברות ל-2 מיכלי סולר בנפח של 1,500 טון האחד.                                      |   |
| תשתיות נלוות         | נמל פריקת אניות פחם   |   |
| אפשרויות פיתוח       | במסגרת האתר תוכנן "פרויקט D" – יחידה פחמית נוספת בהספק 1,460 מ"י על בסיס 51 דונם.<br>הפרויקט נגזו אך יש עברו ייעוד מתארי של "שטח לפיתוח עתידי" במסגרת תמ"א 10/א                                   |   |
| אפשרויות שימוש בקרקע | באתר כ-450 דונם המשמשים עבור אחסנה, מבני עזר ולוגיסטיקה וסביר להניח כי ניתן יהיה להקים מחז"מים גם באתר זה, בדומה לאורות רבין.   |   |

## פרק 9 – ניתוח עלות תועלת

### כללי

1. פרק זה מסכם את העלויות ואת התועלת בכל אחת מהחלופות שנבחנו.
2. העלויות והתועלות הונו לפי שיעור ריבית של 3.30%.

### סיכום עלות החלופות

3. טבלה 15 מסכמת את עלות החלופות בהתאם לפרוט בפרקים הקודמים.

#### טבלה 15 – עלות עודפת ביחס לעלות המדיניות הנוכחית (מהוון)

| גריטה והקמה | שימור והקמה | הסבה לגו | מתחדשות 25% | סגירת 1-4 עם מדיניות הפחתה | סגירת 1-4 ללא מדיניות הפחתה |                      |                             |
|-------------|-------------|----------|-------------|----------------------------|-----------------------------|----------------------|-----------------------------|
| 920         | 597         | 1,299    | -           | -                          | -                           | עלויות חח"י          | עלויות עודפות ישירות        |
| 9,554       | 9,554       | -        | -           | -                          | -                           | עלות הקמה            |                             |
| -1,338      | 639         | 271      | -           | -                          | -                           | עלות תפעול קבועה     |                             |
| -700        | -           | -        | -           | -                          | -                           | ערך קרקע             |                             |
| -3,769      | -3,733      | 2,289    | 3,461       | -                          | -                           | תחיש מרכזי           | דלקים                       |
| 2,873       | 2,658       | 9,010    | 2,528       | -                          | -3,131                      | תחיש פחם זול, גז יקר |                             |
| -12,181     | -11,821     | -6,668   | 5,638       | -                          | -                           | תחיש פחם יקר, גז זול |                             |
| 3,963       | 330         | 83       | -1,972      | -                          | -                           |                      | עלת ביטחון אנרגטי           |
|             |             |          |             |                            |                             |                      | הסתברות תחיש:               |
|             |             |          |             |                            |                             |                      | 100%                        |
| 8,630       | 7,387       | 3,942    | 1,489       | -                          | -                           | תחיש מרכזי           | סך עלויות עודפות לפי תחישים |
| 15,272      | 13,779      | 10,663   | 556         | -                          | -3,131                      | פחם זול וגז יקר      |                             |
| 217         | -701        | -5,016   | 3,666       | -                          | -                           | פחם יקר וגז זול      |                             |

4. טבלה 16 מסכמת את תרומת החלופות להפחתה נוספת של פליטות גזי חממה ושל פליטות מזהמים מקומיים, ביחס לפליטות הצפויות במדיניות הקיימת. חלקה השני של הטבלה מפרט את העלות העודפת של כל חלופה, בניכוי התועלת מהפחתת המזהמים המקומיים.<sup>24</sup>

<sup>23</sup> שיעור זה מוזכר בספרות המקצועית לקביעת שיעור היוון החברתי בישראל. ראה לדוגמה: <http://milkeninnovationcenter.org/wp-content/uploads/2016/11/103-HB-F-W-Assa.pdf>  
<http://www.sviva.gov.il/subjectsEnv/Economy/Documents/Social-discount-rate.pdf>

<sup>24</sup> התועלת מהפחתת מזהמים מקומיים חושבה בהתאם למקדמי העלות החיצונית המפורטים בפרק הפליטות

טבלה 16 – עלות עודפת בניכוי התועלת מהפחתת מזהמים מקומיים

| עלות עודפת ביחס למדיניות נוכחית בניכוי תועלת מהפחתת מזהמים מקומיים (מהוון) [מלש"ח] |             |         |             |                            |                             |   |
|--|-------------|---------|-------------|----------------------------|-----------------------------|---|
| גריטה והקמה  | שימור והקמה | הסבה לז | מתחדשות 25% | סגירת 1-4 עם מדיניות הפחתה | סגירת 1-4 ללא מדיניות הפחתה |   |
| -96  | -92         | -76     | -44         | -                          | 51                          | שינוי בפליטות גזי חממה לכל התקופה ביחס למדיניות קיימת (מהוון) [מליון טון] |
| -61  | -59         | -58     | 0           | -                          | 33                          | SO <sub>2</sub>   |
| -43  | -41         | -29     | -19         | -                          | 23                          | NOx   |
| -1   | -1          | -1      | -1          | -                          | 0                           | חלקיקים   |
| -4035  | -3886       | -3523   | -609        | -                          | -                           | תועלת מהפחתת זיהום מקומית לפי נתוני הג"ס [מש"ח]                           |
| 4595   | 3501        | 419     | 880         | 0                          | 0                           | עלות נטו בניכוי תועלת מהפחתת מזהמים מקומיים - תרחיש מרכזי [מש"ח]          |
| 11237  | 9892        | 7141    | -53         | 0                          | -3131                       | עלות נטו בניכוי תועלת מהפחתת מזהמים מקומיים - פחם זול וגז יקר [מש"ח]      |
| -3817  | -4587       | -8538   | 3056        | 0                          | 0                           | עלות נטו בניכוי תועלת מהפחתת מזהמים מקומיים - פחם יקר וגז זול [מש"ח]      |

11. טבלה 17 מסכמת את העלות השולית של הפחתת טון גזי חממה. החישוב בוצע כדלקמן:

א. חישובנו את העלות העודפת של כל חלופה ביחס להמשך המדיניות הקיימת, וניכינו ממנה

את התועלת של הפחתת המזהמים המקומיים באותה חלופה.

ב. חלקנו את העלות העודפת המנוכה של חלופת ההסבה בהקף הפליטות של גזי החממה

שחלופת ההסבה צפויה לחסוך. יחס זה מבטא את העלות השולית של הפחתת פליטות

גזי חממה באמצעות הסבה.

ג. חישובנו את העלות העודפת של חלופת השימור/גריטה מעבר לעלות חלופת ההסבה,

בניכוי התועלת של הפחתת המזהמים המקומיים בכל חלופה. חילקנו עלות זו בכמות

הפליטות הנוספת שחלופה זו צפויה לחסוך בהשוואה לפליטות שיחסכו באמצעות

ההסבה. יחס זה מבטא את העלות השולית של הפחתת פליטות נוספות באמצעות

הגריטה מעבר להפחתה שניתן להשיג באמצעות ההסבה.

12. מהטבלה עולות התובנות הבאות:

א. מהניתוח עולה בברור כי ההשקעה הנדרשת בהסבת התחנות הפחמיות מצדיקה את

התועלת הצפויה מהפחתת המזהמים המקומיים והפחתת גזי החממה. שכן, העלות

השולית של הפחתת הפליטות באמצעות ההסבה (5.5 ש"ח לטון) היא נמוכה בהשוואה

לכל אחת מהערכות המקובלות לעלות החיצונית של הפליטות.

ב. חלופות הגריטה והשימור (הקמת יחידות יצור חדשות בגז חלף התחנות הפחמיות)

מציעות הפחתה גבוהה יותר הן של המזהמים המקומיים והן של גזי החממה, אולם

המימוש של הפחתה נוספת זו כרוך בהשקעה גבוהה באופן ניכר ובחשיפה של המשק לסיכון. מהניתוח עולה כי היחס בין ההשקעה העודפת של חלופות הגריטה/שימור לבין התועלת שבהפחתה הנוספת הצפויה בחלופות אלו, גבוהה מטווח הערכים הסביר של התועלת בהפחתת הפליטות. קרי, העלות השולית של הפחתה נוספת של הפליטות באמצעות גריטה או שימור היא גבוהה יותר מהעלות החיצונית של הפליטות כפי שחושבה על ידי המשרד להגנת הסביבה (כ- 200 ש"ח, בהשוואה לכ- 130 ש"ח לטון בחישוב המשרד להגנת הסביבה).

ג. בתרחיש של פחם יקר וגז זול, הכדאיות של ההסבה משתפרת באופן משמעותי ומבטאת חיסכון למשק, ואילו העלות השולית של הפחתת הפליטות באמצעות גריטה מעבר להפחתה אותה ניתן להשיג באמצעו הסבה, גבוהה באופן מובהק בהשוואה לחישוב המשרד להגנת הסביבה.

### טבלה 17 – עלות שולית להפחתת גזי חממה

| עלות שולית להפחתת גזי חממה           |                    |                  |                                      |                    |                  |                                      |                           |                  |
|--------------------------------------|--------------------|------------------|--------------------------------------|--------------------|------------------|--------------------------------------|---------------------------|------------------|
| תרחיש פחם יקר וגז זול                |                    |                  | תרחיש פחם זול וגז יקר                |                    |                  | תרחיש מרכזי                          |                           |                  |
| עלות שולית להפחתת גזי חממה [ש"ח/טון] | הפחתה [מיליון טון] | תוספת עלות [מ"ח] | עלות שולית להפחתת גזי חממה [ש"ח/טון] | הפחתה [מיליון טון] | תוספת עלות [מ"ח] | עלות שולית להפחתת גזי חממה [ש"ח/טון] | הפחתה פליטות [מיליון טון] | תוספת עלות [מ"ח] |
| -112.0                               | -76                | -8538            | 93.7                                 | -76                | 7141             | 5.5                                  | -76                       | 419              |
| 246.3                                | -16                | 3951             | 171.5                                | -16                | 2752             | 192.1                                | -16                       | 3082             |
| 241.7                                | -20                | 4721             | 209.8                                | -20                | 4097             | 213.8                                | -20                       | 4176             |

13. הערה מתודולוגית לניתוח: לשם הזהירות, הקלנו לאורך הניתוח בהנחות הנוגעות להקמת

מתקני יצור חדשים בגז (הנחנו שיפור עתידי בנצילות של מתקני יצור חדשים, הפחתנו את עלות ההקמה ואת עלות התפעול ביחס לעלויות המוכרות כיום ופרסנו את עלויות ההון על פני 25 שנה אף שכיום העלות נפרסת על פני 20 שנה). מצאנו שגם תחת הנחות אלו, ההסבה כדאית למשק ואילו ההשקעה הגבוהה יותר בגריטה או בשימור איננה מצדיקה את התועלת הנוספת. קל וחומר שתחת הנחות סבירות (מקלות פחות) ביחס להקמת מתקנים חדשים, ההסבה עדיפה על פני הגריטה והשימור.

## פרק 10 - משמעות תפעולית של חלופות מדיניות הפחם

כללי

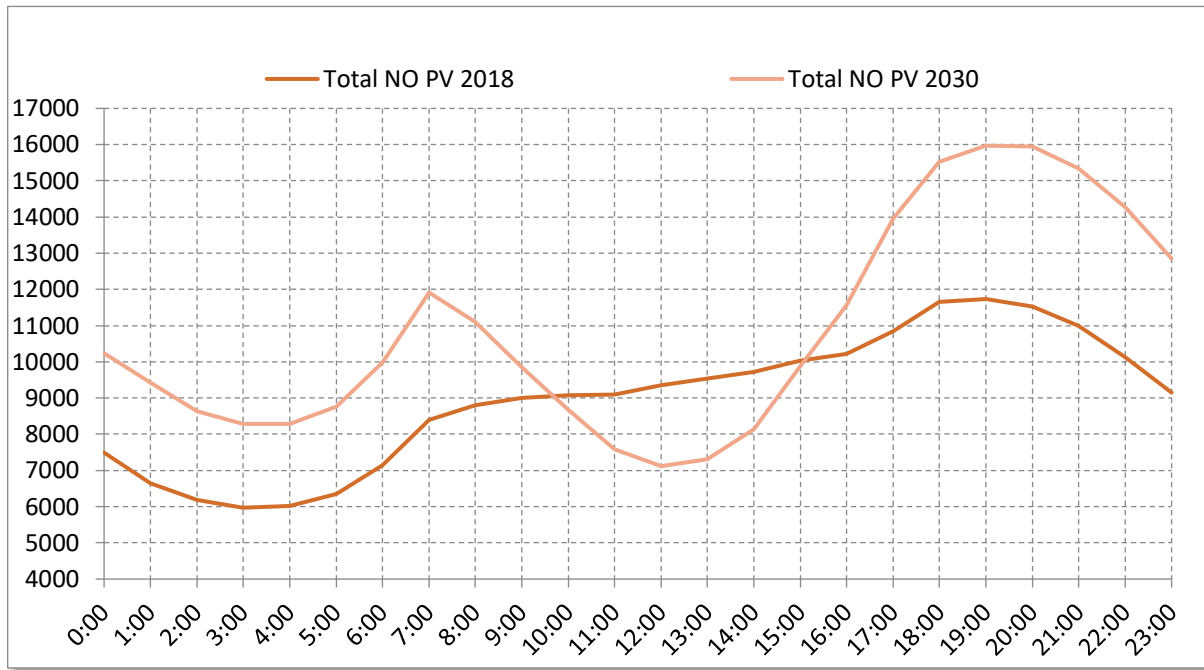
1. פרק זה סוקר את המשמעות התפעולית של מדיניות הפסקת השימוש בפחם.
2. הפרק מבוסס על בחינה שנערכה על ידי יחידות מנהל המערכת בחברת החשמל בשנת 2017.<sup>25</sup>

### גמישות מערכתית

3. גמישות מערכתית מוגדרת כיכולת של מנהל המערכת להתמודד עם שינויים בעומס. הגמישות נמדדת על פי מספר קריטריונים:
  - א. משך זמני ההתנעה
  - ב. קצב עליית/ירידת העומס
  - ג. מגבלות על מספר התנעות היחידה בשנה
  - ד. היכולת של מתקני היצור לפעול בעומסים נמוכים
4. על פי חישובי יחידות מנהל המערכת, כיום במשק ישנם כ-6,000 מו"ט מותקן בעלי גמישות טובה, המהווים כ-32% מההספק המותקן במשק.
5. במשק בו קיים אחוז משמעותי של אנרגיה מתחדשת, עולה הצורך בתגובה גמישה של יתר המתקנים שכן יכולת השליטה באנרגיה המיוצרת פוחתת. זאת בפרט כאשר עיקר האנרגיה המתחדשת מתרכז באנרגיית שמש (כפי שקיים ומתוכנן בישראל).
6. בזמני שיא של ייצור אנרגיה מתחדשת מהשמש – צהרי היום – נדרש כיבוי של כמות גדולה של תחנות. לעומת זאת, ככל שמתקרב הערב, נדרשת התנעה של מספר גדול של יחידות כדי לייצר את כמות החשמל הנדרשת למשק. תופעה זו, אשר זכתה לכינוי עקומת הברווז (Duck Curve), דורשת היערכות והתמודדות מערכתית.

<sup>25</sup> סימוכין של מנהל המערכת - 088-000874-2017

תרשים 11 – ביקוש מנוכה אנרגיה מתחדשת ("עקומת הברווז") ב-2018 למול תחזית  
2030



\*חישובי מנהל המערכת

7. על פי חישובי מנהל המערכת, כבר ב-2020 צפויים 98 ימים במהלך השנה בה יהיה צורך בתוספת הספק של עד 3000 מ"ו בפרק זמן קצר – אשר ידרשו גמישות גבוהה מצד יכולות הייצור המשקיות.

תפקיד היחידות הפחמיות במתן שרותי גמישות מערכתית

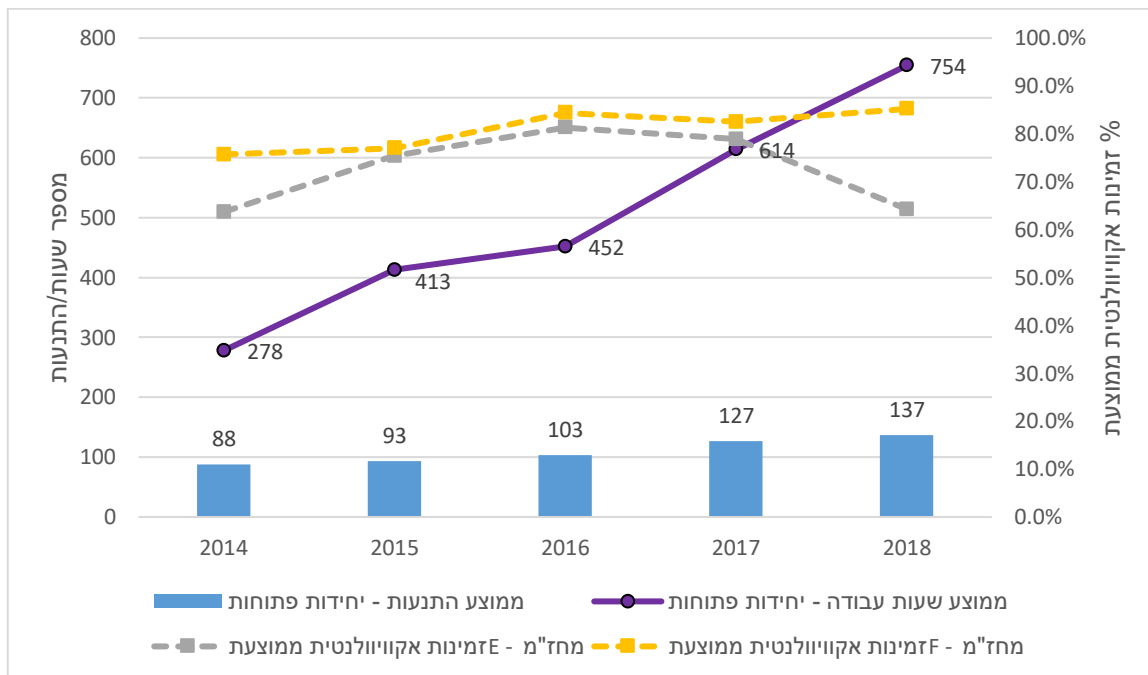
8. יחידות פחמיות מתאפיינות בגמישות גבוהה. אמנם, משך ההתנעה של יחידות אלו ארוך מאוד ולא ניתן לכבות ולהתניע אותן בתדירות גבוהה. עם זאת, כאשר הן פועלות, ניתן להעלות את העומס ביחידות אלו בקצב מהיר יחסית.

9. כך, כאשר היחידות הפחמיות פעלו כבשגרה, יכולת התגובה של משק החשמל לעלייה בביקוש עמדה על 65 מ"ו לדקה, כאשר היחידות הפחמיות תרמו כ-30 מ"ו לדקה.

### השפעת מדיניות הפחתת השימוש בפחם על הגמישות במשק החשמל

10. הגבלת השימוש ביחידות הפחמיות מובילה לכך שהיחידות הפחמיות פועלות במינימום טכני ולכן אינן משתתפות ברוב ימות השנה בתגובה לעלייה/ירידה של העומס המשקי.
11. כתוצאה מכך, יכולת התגובה של משק החשמל פחתה והיא עומדת כיום על כ-50 מ"ו לדקה בלבד.
12. הירידה בגמישות המשקית זו מובילה להתנעה מוקדמת של מחז"מים ו/או שימוש מוגברת ביחידות מסוג "פיקר". כתוצאה מכך, מתייקר יצור החשמל וגדל היקף הפליטות.
13. תרשים 12 מציג את ההשפעה של הפחתת השימוש בפחם. ניתן לראות כי לאורך השנים, ובמיוחד מאז שנת 2016 בה החלה מדיניות הפחתת השימוש בפחם, ההסתמכות של מנהל המערכת על היחידות הפתוחות והגמישות הולכת ועולה הן בהיבט מספר התנעות והן בהיבט שעות פעילות.

תרשים 12 - התפתחות השימוש ביחידות גמישות





### השפעת חלופות המדיניות על הגמישות התפעולית

14. היחידות הפחמיות, מהמינימום הטכני ומעלה, מוגדרות כיחידות בעלות גמישות טובה. לעומת זאת, יחידות מסוג מחז"מ מוגדרות כיחידות בעלות גמישות נמוכה מאוד-נמוכה, משום שיחידות אלו מתאפיינות בזמני התנעה ארוכים ובקצב נמוך בעלייה/ירידה בעומס. לאור זאת:

- א. חלופת ההסבה – משמרת את הגמישות במשק החשמל.
- ב. חלופות השימור והגריטה – מפחיתות את הגמישות של משק החשמל ומחייבות הקמת יחידות גמישות (כגון מתקנים במחזור פתוח) על מנת לשפר את הגמישות.
- ג. חלופת הגדלת האנרגיה המתחדשת משמרת את הגמישות של היחידות הפחמיות כיום, עם זאת בחלופת זאת הצורך בגמישות גדל ביחס למצב כיום, לאור הגידול באנרגיה המתחדשת.

## נספח א' – השפעת מדיניות הפחם על השבת אנרגיה מפסולת

### רקע

1. פרק זה מנתח את המשמעות של החלופות האפשריות לעתיד הפחם בישראל ליישום מדיניות הטיפול בפסולת, לאור ההתכנות של שריפת פסולת בתחנות כוח פחמיות.

### הפסולת בישראל כיום

2. בישראל כיום מיוצרים כ-5.4 מיליון טון פסולת בשנה, וכמות הפסולת צפויה להמשיך לגדול בהתאם לגידול האוכלוסייה. כתוצאה מכך, בשנת 2030 צפויה כמות הפסולת לגדול לכ-6.7 מיליון טון.
3. כיום, כ-80% מהפסולת מוטמנת באמצעות כ-13 מטמנות מאושרות לקליטת פסולת עירונית. השטח הנדרש להטמנה ל-20 שנה הקרובות, בהינתן המשך מתווה ההטמנה הקיים, מוערך על ידי המשרד להגנ"ס בכ-4,000-2,500 דונם. על פי תחזית זו, יתרת נפח ההטמנה בישראל תספיק עד שנת 2024. מכאן החשיבות של קבלת החלטות כעת על אופן הטיפול בפסולת בעתיד.

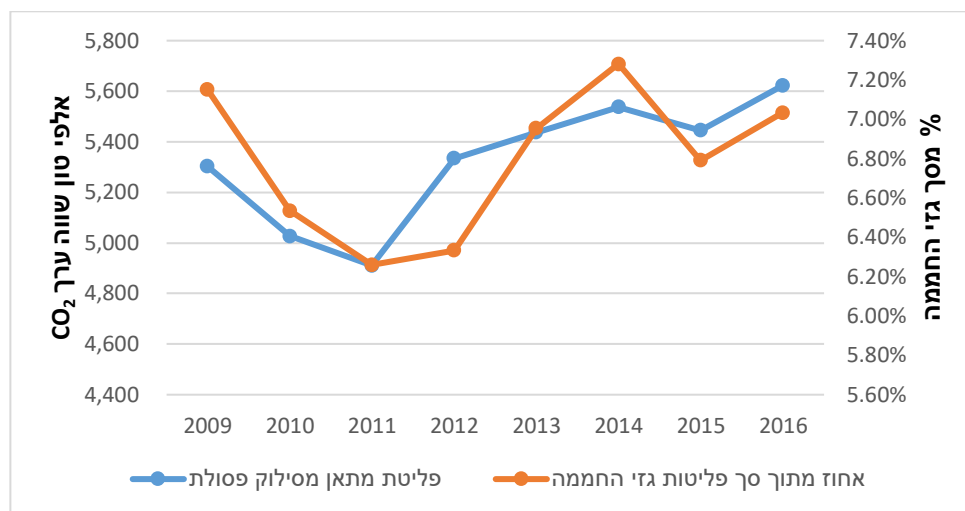
### פליטות מהטמנת פסולת

4. הגז העיקרי הנפלט מהטמנת פסולת הינו גז מתאן (כ-60%) והמשני הינו פחמן דו חמצני (כ-40%)<sup>27</sup>. ההשפעה של פליטות המתאן על ההתחממות הגלובלית גבוהה פי 25 לעומת CO<sub>2</sub> ולכן הניתוח בפרק זה מתמקד בפליטות מתאן בלבד מהטמנת פסולת.

<sup>26</sup> מסמך מדיניות לקידום הקמת מתקנים להשבת אנרגיה מפסולת עירונית בישראל, משרד הגני"ס, 2018  
<sup>27</sup> הטמנה של טון פסולת מובילה לכ-297 ק"ג פחמן דו חמצני ושווה ערך מתאן

5. תרשים 13 מתאר את התפתחות פליטות המתאן שמקורן בהטמנת פסולת מוצקה:

תרשים 13 – פליטות מהטמנת פסולת



6. מהתרשים ניתן לראות כי הקמת מתקן איסוף המתאן הראשון בישראל בשנת 2009 הביאה לירידה בפליטות המתאן. עם זאת, הפליטות גדלות בהתמדה משנת 2011 כתוצאה מהגידול בכמות הפסולת המיוצרת והמוטמנת בישראל.
7. עוד עולה מהגרף כי, בממוצע, הטמנה אחראית ל-6.78% מגזי החממה בישראל.

מדיניות המשרד להגנת הסביבה לצמצום הטמנת הפסולת

8. המשרד להגנת הסביבה (הגני"ס) מוביל אסטרטגיה של מזעור ההטמנה בטיפול בפסולת על מנת למזער את זיהום הקרקע, פליטת המזהמים וההשלכות החיצוניות של הובלת הפסולת. לפי אסטרטגיה זו, עד שנת 2030, 51% מהפסולת תמוחזר, 23% מהפסולת תשמש ליצור אנרגיה ("השבה") ו-26% מהפסולת בלבד תשלח להטמנה.
9. המשך הפרק מנתח את המשמעות של החלופות לעתיד הפחם על יישום מרכיב ההשבה במדיניות זו. לצורך הניתוח הנחנו כי מרכיב המיחזור ימומש באופן דומה בכלל החלופות.

**חלופות להשבת פסולת לאנרגיה**

10. מקובל בעולם להתייחס לשני נתיבים אפשריים להשבת פסולת לאנרגיה :

א. הקמת מפעלי SRF/RDF (Solid Recovered Fuel/Refuse Derived Fuel) המעבדים פסולת עירונית לכדי חומר גלם המשמש תחליף לפחם ומיועד להישרף בתחנות פחמיות<sup>28</sup> ;

ב. הקמת מפעלי פל"א (פסולת לאנרגיה) השורפים פסולת עירונית בתחנות חשמל ייעודיות לאחר מיון וסינון.

11. החלופות הנדונות בעבודה זו באשר להפחתת הפליטות במשק החשמל מתבטאות בין

השאר גם בישימות הנתיבים האפשריים להשבת הפסולת לאנרגיה :

א. חלופת ה-SRF ניתנת ליישום רק בתרחיש בו תישמר בישראל יכולת ייצור פחמית.

שכן, בחלופת ההסבה לגז לא ניתן לשלב שריפת פסולת/SRF בתחנה פחמית. עם זאת,

הקף הפסולת אותה ניתן לשרוף בתחנה פחמית מוגבל לכ- 5% מהדלק המוזן למתקן.

לפיכך, גם בחלופה זו ידרש לפחות מתקן פל"א אחד.

ב. חלופת הפל"א ניתנת ליישום בכל חלופה של מדיניות השימוש בפחם, ובפרט בחלופות

גריטה/שימור התחנות הפחמיות ובחלופת הסבת התחנות הפחמיות לגז.

12. טבלה 18 מפרטת את עלות יישום מרכיב השבת הפסולת בשנים 2018-2040, ביחס לחלופות

הנידונות בעבודה זו לעתיד התחנות הפחמיות.

**טבלה 18 – עלות השבת פסולת לאנרגיה בשנים 2022 - 2040 לפי חלופת מדיניות פחם**

| הקמה וגריטה | הקמה ושימור | הסבת פחמיות | המשך מדיניות הפחתה וחלופת 25% מתחדשות  | חלופת מדיניות פחם        |            |
|-------------|-------------|-------------|--|--------------------------|------------|
|             |             |             |  | קריטריון                 |            |
|             |             |             | המרה לתוצרי SRF ושריפה בתחנות פחמיות, למעט חלק מהפסולת שתטופל במתקן ייעודי <sup>29</sup> | אופן הטיפול בפסולת       | הקמת תחנות |
|             | 4 פל"א      |             | SRF 3<br>פל"א 1  | תמהיל מתקנים נדרש        |            |
|             | 7,247.8     |             | 4,360  | מחיר הקמה ותפעול (מלש"ח) |            |

<sup>28</sup> ההבדל בין RDF ל-SRF הוא בסוג התקינה : SRF נמצא תחת תקינה של האיחוד האירופאי באשר לערך הקלורי ולמרכיביו.

<sup>29</sup> בחלופה זו אחוז הפסולת המושבת נמוכה מעט לעומת הפסולת המושבת בחלופת הפל"א

|                        |                                   |  |
|------------------------|-----------------------------------|--|
| 102.2                  | 25.5                              | תרומה להספק במשק –<br>מתחנות פלי"א (מ"ו)         |
| 33.8                   | 37.1                              | סך פסולת מוטמנת<br>לתקופת הבדיקה<br>(מיליון טון) |
| -1,553.6<br>חיסכון בגז | -1,736.4<br>חיסכון בפחם (5%) ובגז | חיסכון ברכישת דלק<br>לתקופה<br>(מלש"ח)           |
| <b>5,694 מלש"ח</b>     | <b>2,642 מלש"ח</b>                | <b>סיכום עלות</b>                                |

13. מהניתוח עולה כי הפסקת השימוש בפחם מייקרת את עלות יישום מדיניות צמצום הטמנת

הפסולת בכ- 3 מיליארד ש"ח ביחס לחלופה הנוכחית של הפחתת השימוש בפחם, משום

שהמשך מדיניות הפחתת השימוש בפחם מאפשר לחסוך את ההשקעה ההונית הנדרשת

לשם הקמת תחנות כוח יעודיות לשריפת פסולת.

טבלה 19 – השוואה בין מפעלי SRF לתחנות פל"א

| תחנות פל"א  | מפעלי SRF   | טכנולוגיה / קריטריון                  |
|---|---|---------------------------------------|
| 365,000 טון פסולת בשנה <sup>31</sup>  | 360,000 טון פסולת בשנה <sup>30</sup>  | גודל מפעל                             |
| אין צורך בהמרה- המתקנים שורפים את הפסולת ישירות                                       | יחס ייצור של 2.19 טון פסולת לכל טון-SRF. 164,383 טון SRF בשנה בכל מתקן. מקבילה של 99,626 טון פחם (יחס של 1.65) <sup>32</sup> .              | המרת פסולת לחומר גלם                  |
| ניתן לטפל בכל כמות, בהתאם לכמות התחנות אשר יוקמו.                                     | בהנחה של 5.44 מיליון טון פחם בשנה ב-2030 ב- 3,400 מ"י מותקן – ניתן להשתמש ב-SRF המופק מ-3 מפעלים במטרה להחליף 5% מהפחם + 0.5% מרווח בטיחות. | כמות פסולת מרבית בה ניתן לטפל         |
| 881.5 מלש"ח על בסיס חישוב ממוצע של 2,415 טון למפעל פל"א <sup>34</sup>                 | 488.9 מלש"ח כעבור 12 שנים <sup>33</sup> . 326.5 מלש"ח + 162.4 מלש"ח (240 לאחר היוון)  | עלות הקמה ל-25 שנות פעילות            |
| 1,148.2 מלש"ח בממוצע, כ-73.5 מלש"ח בשנה, לאחר היוון <sup>36</sup>                     | 299.9 מלש"ח בממוצע, כ-20 מלש"ח בשנה, לאחר היוון <sup>35</sup>   | עלות תפעול ל-25 שנות פעילות           |
| -   | התאמת יחידה פחמית ל-SRF – 60 מלש"ח. בסיס חישוב של 2 יחידות מוסבות לכל תחנת SRF  | עלויות נוספות                         |
| 50,000 מ"ר לתחנה  | 20,000 מ"ר למפעל  | שטח נדרש                              |
| -   | הטמנת 8% מהפסולת המעובדת  | הטמנה                                 |
| 520 גר"קוטש <sup>37</sup>   | אין למפעלים פליטות ייעודיות, אלא פליטות שמקורן בשריפה בתחנה הפחמית.   | נתוני פליטת CO <sub>2</sub>           |
| ארבע תחנות של 25.5 מ"י מותקן. על בסיס חישוב של 0.07 מ"י לאלף טון פסולת. <sup>38</sup> | עד 5% מכמות הפחם בהספק הפחמי הקיים  | חיסכון דלק/הספק מותקן                 |
| 0.219 MWh לטון פסולת <sup>39</sup> - 0.6 MWh בחישוב של TWh למתקן.                     | 5% מייצור החשמל מפחם. בחישוב של 14.3 TWh – 0.715 TWh בסך הכל.   | ייצור חשמל MWh                        |
| 2,029.7 מלש"ח (הקמה והפעלה)   | 908.8 מלש"ח (הקמה, הפעלה והסבת 2 יחידות)  | סך עלות ליחידה – הקמה ותפעול ל-25 שנה |

<sup>30</sup> תכנית עסקית למיזם- הקמת מפעל לייצור SRF, Deloitte

<sup>31</sup> מסמך מדיניות לקידום הקמת מתקנים להשבת אנרגיה מפסולת עירונית בישראל, משרד הגניס, 2018

<sup>32</sup> תכנית עסקית למיזם- הקמת מפעל לייצור SRF, Deloitte

<sup>33</sup> שם

<sup>34</sup> יחס המרה 3.6 טון, מסמך מדיניות לקידום הקמת מתקנים להשבת אנרגיה מפסולת עירונית בישראל, משרד הגניס, 2018

<sup>35</sup> תכנית עסקית למיזם- הקמת מפעל לייצור SRF, Deloitte

<sup>36</sup> מסמך מדיניות לקידום הקמת מתקנים להשבת אנרגיה מפסולת עירונית בישראל, משרד הגניס, 2018

<sup>37</sup> Chandel, Kwok, Jackson & Pratson, The potential of waste-to-energy in reducing GHG emissions, Carbon Management, 2012

<sup>38</sup> טכנולוגיות שריפת פסולת עירונית בחינת התכנות בישראל, ח"י אנף תכנון פיתוח וטכנולוגיה, 2011

<sup>39</sup> מסמך מדיניות לקידום הקמת מתקנים להשבת אנרגיה מפסולת עירונית בישראל, משרד הגניס, 2018

## נספח ב' – אפר פחם

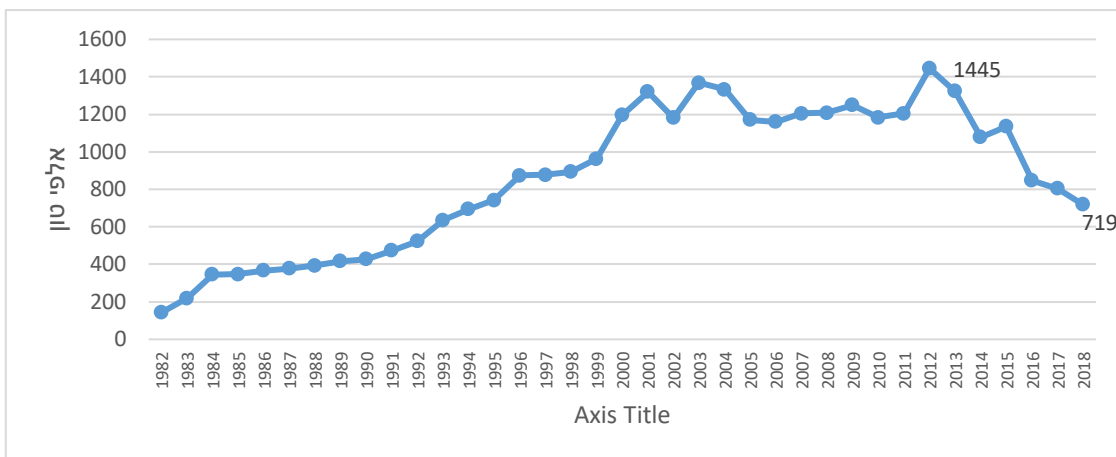
### כללי

1. אפר הפחם הינו תוצר לוואי של שריפת הפחם והוא משמש כיום בישראל בעיקר ליצור צמנט ובטון<sup>40</sup>.
2. פרק זה סוקר את כמות אפר הפחם המיוצרת בישראל ואת השימושים באפר הפחם.

### יצור אפר הפחם

3. אפר הפחם מתחלק לשני תוצרים – אפר מרחף, המהווה כ-90% מכלל האפר ונסחף עם גזי הפליטה, ואפר תחתי המהווה כ-10% מכלל האפר ונופל לבריכת מים בתחתית דוד השריפה.

תרשים 14 – יצור אפר פחם לפי שנה [אלפי טון]



4. תרשים 14 מפרט את ייצור אפר הפחם בישראל לפי שנה<sup>41</sup>. מהתרשים ניתן לראות כי:
  - א. עד תחילת שנות האלפיים ייצור אפר הפחם גדל, כתוצאה מהגידול בשימוש בפחם.
  - ב. בשנים 2000-2015 יצור אפר הפחם התייצב, משום שהגידול בביקוש לחשמל התבטא בעיקר בגידול בשימוש בגז טבעי. זאת, למעט השנים 2011-13 בהם חל גידול בשימוש בפחם כתוצאה ממשבר הגז.
  - ג. החל משנת 2015 חלה ירידה משמעותית ביצור אפר הפחם כתוצאה מיישום מדיניות הפחתת השימוש בפחם.

<sup>40</sup> תוצר נוסף של היצור הפחמי הוא גבס סולקנים, אולם תוצר זה קטן משמעותי ולכן לא נעסוק בו בעבודה זו  
<sup>41</sup> בממוצע, נוצר 0.0365 טון אפר פחם לכל MWh מיוצר.

5. על מנת לנהל את שוק אפר הפחם, הוקמה בשנת 1993 מנהלת אפר הפחם בישראל – בדומה למנהלות במדינות רבות אחרות. המנהלת אחראית על ניהול ואסדרת משאב אפר הפחם ונמצאת כיום בתהליכי סגירה.
6. השימוש באפר הפחם הוא מגוון אך מתרכז בשני ענפים מרכזיים – ייצור צמנט (כתחליף קלינקר) וייצור בטון (כתחליף לצמנט או לחול).
7. שימוש באפר הפחם בתעשיית הצמנט:
  - א. אפר הפחם משמש את תעשיית הצמנט לשלוש מטרות – כתחליף לחלק ממרכיבי הקלינקר<sup>42</sup>, תוסף לאחר ייצור הקלינקר וכמשפר אלומינה.
  - ב. בהתאם לתקן של צמנט מסוג CEM-II, ניתן לשלב עד 20% אפר פחם בייצור הצמנט.
  - ג. תעשיית הצמנט משתמשת הן באפר המרחף והן באפר התחתי.
8. שימוש באפר הפחם בתעשיית הבטון:
  - א. אפר הפחם משמש את תעשיית הבטון כתוסף למרכיבי הבטון הן כתחליף לצמנט והן כתחליף לחול בתערובת הבטון.
  - ב. בהתאם לרגולציה הקיימת, כמות אפר הפחם במ"ק לבטון לא תעלה על 160 ק"ג.
  - ג. תעשיית הבטון משתמשת באפר המרחף בלבד.
  - ד. לשימוש באפר פחם כתחליף בייצור בטון יתרון מרכזי, מעבר להיותו זול יותר בהשוואה למוצרים אותם הוא מחליף – בהארכת משך החיים ההנדסיים של המבנים ('הארכת הקיים'). להארכת מנהלת אפר הפחם, שימוש באפר פחם בתוך הבטון צפוי להוסיף כ-37% לחיי מבנה בממוצע.<sup>43</sup>
9. שימושים נוספים:
  - א. אפר הפחם משמש בחקלאות כמצע לגידול צמחים, כריפוד לקרקע למתקני מגורים לבעלי חיים, שיפור תכונות של קרקעות חקלאיות וייצוב בוצת שפכים.
  - ב. אפר הפחם משמש בעבודת תשתית לייצוב תשתיות עיליות ותת-קרקעיות ולשיפור תערובות האספלט.

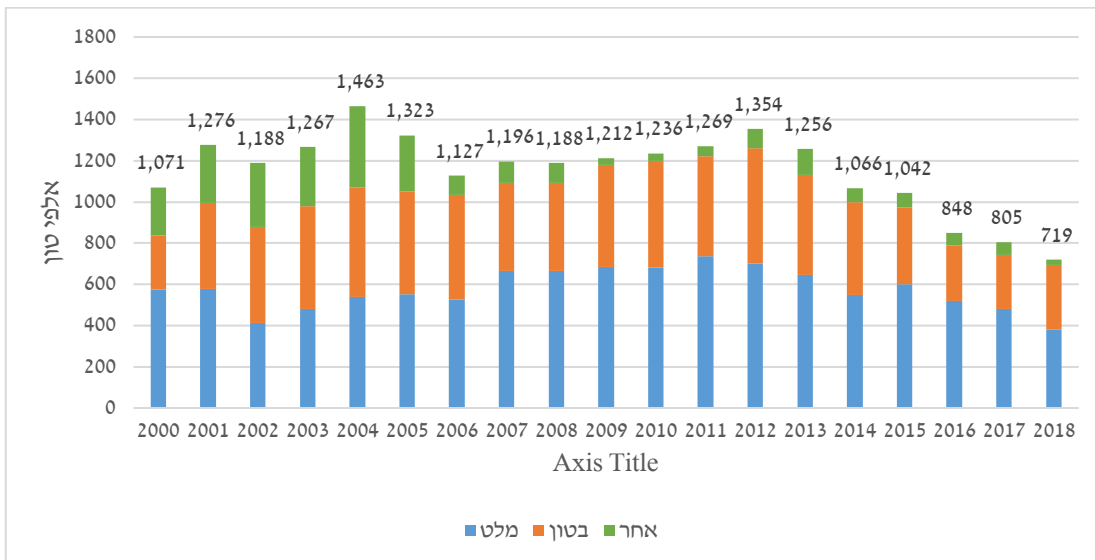
<sup>42</sup> תוצר בעירה של גיר וחרסית

<sup>43</sup> התועלת הנצברת למשק משימוש באפר פחם כחומר גלם מראשית פעילות מנהלת אפר הפחם ואמדן הנזק למשק ממניעת ייבוא, 21 יוני 2018.



10. תרשים 15 מפרט את חלוקת השימושים באפר פחם לפי שנה (אלפי טון)<sup>44</sup>. מהתרשים ניתן לראות כי חלוקת השימושים בין תעשיית הבטון לבין תעשיית הצמנט נשארה דומה לאורך השנים, ואילו החלק היחסי של השימוש באפר פחם לשימושים אחרים ירד עם השנים.

תרשים 15 – שימושים באפר הפחם בישראל לפי שנה



### תועלות כלכליות משימוש באפר הפחם

11. נושא התועלות הכלכליות לשימוש אפר הפחם נמצא בדיון בין משרד הגני"ס לבין מנהלת אפר הפחם ומשרד האנרגיה – כאשר בליבת הדיון היחס בין תועלת השימוש לבין עלות הסביבתית הנוצרת משימוש, בדגש לנזקי הקרינה. לאור זאת, לא כללנו בעבודה זו ערך כלכלי לאפר הפחם.

<sup>44</sup> נתוני מנהלת אפר הפחם