



# בחינת חלופות להשבתת יחידות 1-4 באורות רבין

המשרד להגנת הסביבה

אוגוסט 2016

## צוות העבודה

עבודה זו בוצעה על ידי צוות יועצים ומומחים בהנחיית אגף איכות אוויר ושינויי אקלים במשרד להגנת הסביבה:

- המשרד להגנת הסביבה: ד"ר גיל פרואקטור ורעות רבי
- חברת אקוטריידרס: עומר תמיר ורון קמרה
- דן וינשטוק, לשעבר מנהל מינהל החשמל במשרד האנרגיה
- גיורא דקל, לשעבר מנהל תחנת הכוח אורות רבין
- ברנרד ורנסקו, לשעבר מנהל תחנות הכוח רוטנברג ואשכול
- אמנון ביבי, לשעבר מנהל תחנות הכוח אשכול ותחנות הכוח טורבינות גז

## תוכן העניינים

1.....	צוות העבודה	
3.....	תקציר מנהלים	
5.....	רקע	
7.....	מטרות העבודה	
8.....	מתודולוגיה ושלבי העבודה	
9.....	שימור יחידות פחמיות	
10.....	שימור יחידות פחמיות בעולם	
12.....	ניסיון שימור בתחנות הכוח של חברת החשמל	
13.....	פרוטוקול שימור ליחידות אורות רבין 1-4	
14.....	בחירת הספק הייצור הנדרש	
15.....	הנחות עיקריות	
16.....	תוצאות המידול	
17.....	השלכות כלכליות משקיות	
18.....	הנחות עיקריות	
19.....	תוצאות הניתוח הכלכלי	
20.....	ניתוחי רגישות	
22.....	השוואה לתוצאות הצוות הבין-משרדי	
23.....	סוגיות נוספות	
24.....	מיקום התחנה	
25.....	שיעור הייצור בגז טבעי	
26.....	סיכום	
27.....	נספח 1 – פרוטוקול שימור אורות רבין 1-4	
27.....	1. רקע והנחות יסוד	
27.....	2. שימור	
28.....	3. ניסיון בתהליכי שימור	
28.....	4. פרוטוקול שימור	
33.....	5. נושאים נוספים	
34.....	6. עלויות	
35.....	נספח 2: הנחות מידול עיקריות	
36.....	מועדים ואורך חיים:	
40.....	נספח 3: פירוט ניתוחי רגישות	
41.....	ניתוח רגישות 1 – צריכת חשמל	

## תקציר מנהלים

יחידות 1-4 באורות רבין החלו את פעולתן בתחילת שנות ה-80. אלו היחידות הפחמיות הישנות ביותר, בעלות הנצילות הנמוכה ביותר והמזמהמות ביותר בכל מערך ייצור החשמל בישראל. לאור דרישת המשרד להפחתת פליטות מהיחידות, גילן המתקדם והזיהום הכבד הנפלט מהן ישנו צורך דחוף בהחלטה האם להשקיע משאבים רבים בהארכת משך החיים של היחידות הללו והתקנת אמצעים להפחתת פליטות ("סולקנים") מהן או לחילופין להפסיק את פעילותן לחלוטין ולשמרן כעתודה אסטרטגית לזמן חירום בלבד.

בשנים האחרונות התקיימו בממשלה דיונים שונים בדבר אופן הפחתת הפליטות ועתיד היחידות. ביולי 2015 הוקם צוות בינמשרדי בהשתתפות משרדי האנרגיה, האוצר והגנת הסביבה ובחן בעיקר היבטים כלכליים של חלופות שונות להפחתת פליטות מהיחידות. בסופה של העבודה החליט שר האנרגיה על הארכת חייהן של יחידות אלו והתקנת סולקנים עליהן והורה על עדכון תכנית הפיתוח באופן זה. אולם, החלטה זו התבססה על ניתוח חלקי ובהנחות בסיס מגמתיות ובעיקר חסרה בה בחינה מקיפה ועמוקה של עצם הנחיצות של המשך הפעלתן של יחידות אלו. בפרט, לא בוצעו סימולציות של תרחישים שונים של גריעת יחידות אלו ממערך הייצור ובחינה טכנית-אנליטית של יכולת מערך ייצור החשמל לשמור על הביטחון האנרגטי בשגרה ובחירום בהיעדר היחידות.

מטרתה המרכזית של העבודה המתוארת בדו"ח זה היא לבצע לראשונה בחינה טכנית ואנליטית של אפשרויות ותרחישים שונים להפסקת פעילותן של יחידות 1-4 באורות רבין החל משנת 2020 (מועד חיבור צפוי של מאגר לווייתן). מסמך זה מציג בחינת היתכנות טכנית וכלכלית של שימור היחידות לתקופה ארוכת טווח (שנים) באופן שיאפשר, בזמן חירום, הפעלתן מחדש בתוך מספר ימים עד שבועיים; בנוסף, מוצג ניתוח של התזמון וההיקף הנדרש של הוספת כושר ייצור אשר ישמור על רזרבה מינימאלית נדרשת בכל שנה נתונה. התוצאות מוצגות כהשוואה למצב בו היחידות עוברות הארכת חיים ומותקנים עליהן סולקנים. בנוסף נבחנו מספר תרחישים להיערכות משק החשמל למצב בו היחידות ייסגרו והתוצאות מפורטות בהמשך.

להלן מסקנות העבודה:

### 1. ישנה היתכנות טכנית גבוהה מאוד לשימור היחידות כעתודה אסטרטגית לחירום כך שניתן להפעילן מחדש בתוך מספר ימים עד שבועיים

- גובש פרוטוקול שימור ליחידות באופן שניתן יהיה להחזירן לפעילות בטווח זמן קצר.
- השוואה לנעשה בעולם מראה שקיים ניסיון מוצלח בשימור תחנות פחמיות והחזרתן לפעולה בתוך פרק זמן קצר של ימים עד שבועות.
- חברת החשמל עצמה כבר בצעה שימור למשך שנתיים של יחידות קיטוריות על מזוט (בתחנת הכוח אשכול) והפעילה אותן מחדש תוך מספר ימים בודדים.

**2. ניתן להשבית את יחידות 1-4 ולשמור על רזרבה מינימאלית של 20% ללא צורך תוספת כושר ייצור עד שנת 2030, בהנחה של עמידה ביעדים הלאומיים של 17% התייעלות אנרגטית ו- 17% ייצור חשמל מאנרגיה מתחדשת בשנת 2030**

- תחזית הביקוש לחשמל בהנחת עמידה ביעד של התייעלות אנרגטית תעמוד על 80 טרוואט שעה בשנת 2030, גידול של כ- 35% ביחס לצריכת החשמל ב 2015. הרזרבה הנדרשת תיפול לראשונה מתחת ל 20% בשנת 2030 ואז תידרש כניסת מחז"מ חדש, בהספק של 520 מגוואט, או לחלופין תוספת של מתקני PV בהספק של 330 MW בשילוב עם מתקן אגירה שאובה בהספק של 300 MW.
- תחזית הביקוש בהנחה של רק 10% התייעלות אנרגטית מביא לצריכת חשמל של 86 טרוואט שעה ב 2030 ולצורך בהקמת מחז"מ אחד בהספק של 520 מגוואט בשנת 2024 ועוד שני מחז"מים נוספים עד 2029.
- ניתוח רגישות קיצוני בו צריכת החשמל תעלה ל 92 טרוואט שעה ב 2030 ידרוש הקמת מחז"מ כבר בשנת 2022 ועוד שני מחז"מים נוספים עד 2026.

**3. השבתת יחידות 1-4 והקמת יחידת מחז"מ תחסוך למשק כ- 12.5 מיליארד ₪ לאורך חיי התחנה לעומת החלופה של המשך הפעלת יחידות 1-4 והתקנת סולקנים**

- המשך הפעלת אורות רבין 1-4 (כולל עלויות סולקנים, הארכת חיים וייצור חשמל) הינה החלופה היקרה ביותר למשק, בעלות מהוננת של כ-47.5 מיליארד ₪ (כ-26.5 אג' לקוט"ש מיוצר) על פני חיי התחנה.
- האפשרות הזולה ביותר למשק הינה השבתת יחידות 1-4 והקמת מחז"מ, בעלות כוללת של כ-35 מיליארד ₪ (כ-19.5 אג' לקוט"ש מיוצר) על פני חיי התחנה.
- גם בתרחיש קיצון מוחלט של צריכת חשמל המגיעה ל 92 טרוואט שעה בשנת 2030 חלופת הסולקנים הינה החלופה היקרה ביותר למשק בהפרש של כ- 6 מיליארד ₪ לעומת חלופת המחז"מים.

**4. בכל ניתוחי הרגישות שבוצעו נמצא כי האפשרות של המשך הפעלת אורות רבין 1-4 כרוכה בעלות עודפת משמעותית למשק**

## רקע

יחידות 1-4 בתחנת הכוח אורות רבין בחדרה הינן יחידות ייצור החשמל הפחמיות הישנות ביותר במשק הישראלי – יחידות אלו נכנסו לשירות בשנים 1981-1982. יחידות אלו פועלות בניצול נמוכה, של כ- 37%, מתקרבות לסוף חייהן התפעולי והמשך הפעלתן ידרוש השקעה משמעותית בהארכת חייהן של היחידות ובהשקעה בהתקנת אמצעים להפחתת פליטות (להלן "סולקנים"), כתנאי של המשרד להגנת הסביבה להמשך הפעלתן.

בעקבות הדרישה להפחתת פליטות ביחידות הפחמיות, קידמה חח"י תכנית להסבת יחידות 1-4 לגז טבעי. מסיבות שונות, בהן שינויים במחירי דלקים, העיכוב בחיבור מאגר לווייתן, הרפורמה במשק החשמל ועוד, הוחלט באוגוסט 2015, ע"י שרי האנרגיה והגנת הסביבה, על הקמת צוות מקצועי בין משרדי לבחינה מחודשת של החלופות להפחתת פליטות מיחידות אלה.

בצוות השתתפו נציגי משרד האנרגיה, רשות החשמל האוצר והמשרד להגנת הסביבה. ונבחנו מספר חלופות להפחתת הזיהום מיחידות 1-4:

1. הפעלה בפחם והתקנת אמצעים להפחתת פליטות סולקנים, אמצעים ראשוניים ו- SCR.
2. הסבה לגז טבעי והתקנת אמצעים ראשוניים ו- SCR (הפחתה עד לרמה הנדרשת בתקן הפליטה לשרפת גז).
3. הקמת יחידות ייצור חדשות בגז טבעי בטכנולוגיה של מחזור משולב והשאת היחידות הפחמיות הקיימות בכשירות תוך הפעלה מינימלית של שבוע בחודשיים.

יצוין כי משרדי האוצר והאנרגיה בדקו בטרם הקמת הצוות הבין משרדי היתכנות של השבתה והכנסה של היחידות לשימור ארוך טווח באמצעות שיטת "שימור יבש" אשר במהלכה מפורקים חלקים מהיחידות לצורך שימורן (Mothballing). נמצא כי זמן החזרת היחידות לפעילות נאמד בחצי שנה עד שנה ולכן אינה מתאימה לצרכי ישראל.

הצוות עבד כחצי שנה ובמהלך העבודה התגלעו חילוקי דעות מהותיים בין נציגי המשרדים אנרגיה ואוצר לבין נציגי המשרד להגנת הסביבה בכל הקשור להנחות יסוד לגבי חלופת הקמת המחז"מ (חלופה 3 לעיל) ולגבי הבחינה של שיטת השימור היבש, אשר נבחנה בטרם עבודת הצוות.

בסיכומם של הדברים, המליץ הצוות, בניגוד לדעתו של המשרד להגנת הסביבה, כי החלופה הכלכלית והישימה ביותר הינה חלופה מס' 1, התקנת הסולקנים. באפריל 2016 המשרד להגנת הסביבה הקים צוות מומחים חיצוני אשר ביצע בחינה מקיפה של חלופות שונות להפסקת פעילותן של יחידות 1-4, לרבות בחינה טכנית כלכלית של הכנסת היחידות למצב של שימור באופן אשר יאפשר את החזרתן לפעילות בטווח זמן קצר של בין שבוע לשבועיים. דו"ח זה מפרט ומסכם את עבודת הצוות הזה.

לפני פרסום טיוטת היתר הפליטה לתחנת הכח, הקובע תנאים ולוחות זמנים להפחתת פליטות בתחנה בשתי חלופות – התקנת סולקנים או שימור והפעלה במצב חירום (ללא השקעה

ב"סולקנים"), סוכם בין משרדי האנרגיה, אוצר והגנת הסביבה על בחינה משותפת של חלופות שונות להמשך ההפעלה או השבתה של יחידות 1-4 וגיבוש המלצות לפעולה.

הבחינה שתעשה ע"י המשרדים, ובחלקה גם ע"י חברת החשמל, תהווה הבסיס לקבלת ההחלטה על אופן הפחתת הפליטות – באם באמצעות התקנת סולקנים או באמצעות שימור והפעלה בחירום בלבד.

דו"ח זה מוגש ומוצג על ידי המשרד להגנת הסביבה במסגרת בחינה זו.

## מטרות העבודה

### לעבודה זו שתי מטרות מרכזיות:

- 1) בחינה טכנית וכלכלית של האפשרות להכניס את יחידות 1-4 למצב של שימור ארוך טווח באופן אשר יאפשר את החזרתן לפעילות מלאה בתוך פרק זמן של עד שבועיים;
- 2) בחינה אנליטית של אפשרויות שונות להשבתת יחידות 1-4 החל משנת 2021 מבחינת המועדים והיקפי הספק הייצור החלופי אשר יידרשו והעלויות הכלכליות המשקיות ביחס לתרחיש התקנת סולקנים.

הבחינה האנליטית כללה את שני השלבים הבאים:

### שלב א'

- בחינת מספר חלופות שונות להחלפת כושר הייצור של יחידות 1-4 בכושר ייצור שאינו פחמי, כמפורט להלן:
- הקמת יחידות ייצור חדשות בטכנולוגית מחזור משולב הפועלות על גז טבעי (מחז"ם מסוג H).
  - הקמת מתקני ייצור סולאריים (PV) חדשים בהספק מעבר לנדרש לעמידה ביעדי הממשלה ובשילוב אגירת אנרגיה.

### שלב ב'

- בחינת ההשלכות הכלכליות המשקיות של שימוש בסולר כדלק גיבוי במצב של הפסקה ארוכת טווח באספקת הגז.
- בחינת ההשלכות הכלכליות המשקיות של תרחישים נוספים, לרבות הקמת תשתית נוספת לקליטה והנזלה של גז טבעי נזלי.
- בחינת סוגיות נוספות המשפיעות על הביטחון האנרגטי של משק החשמל.



## מתודולוגיה ושלבי העבודה

במסגרת עבודה זו נבחנה האפשרות להשבתה של יחידות 1-4 באורות רבין. הבחינה כללה את שלבי העבודה הבאים:

**1. בחינת האפשרות לשימור היחידות בשיטה המשלבת שימור רטוב ויבש** כך שיהוו עתודה אסטרטגית בחירום אשר משך החזרה לפעילות מלאה הינו מספר ימים עד שבועיים.

נבחנה הישימות הטכנית של שימור היחידות במשך כעשר שנים, באופן שבו היחידות לא יפעלו כחלק ממערך הייצור השוטף אך תתאפשר הוצאתן משימור בעת חירום תוך כשבוע בלבד (עד סנכרון).

כמו כן, גובש פרוטוקול מסודר המכיל את כלל הפעולות הדרושות לצורך העברת היחידות לשימור, שימור היחידות לאורך זמן, הוצאתן משימור והפעלתן מחדש.

הפרוטוקול, אשר גובש על ידי מנהלי תחנות כוח לשעבר בחברת חשמל, מתייחס לא רק לפעולות השימור הדרושות, אלא גם למצבת העובדים הנדרשת לצורך השימור בהשוואה למצבת הקיימת היום, עלויות השימור, וסוגיות נוספות דוגמת רישוי.

**2. בחינת היקף הספק הייצור שיידרש ובאילו שנים ההספק יידרש, במקרה של השבתת אורות רבין 1-4**, וזאת לשם שמירה על הרזרבה המינימאלית הנדרשת. הבחינה נעשתה תוך התייחסות לשתי אפשרויות להספק הייצור החלופי:

1. **מחז"מ H**: הקמת יחידות הפועלות על גז טבעי בטכנולוגית מחזור משולב מתקדמת (מחז"מ מסוג H)

2. **PV בתוספת אגירה שאובה**: הקמת מתקני PV ואגירה שאובה מעבר להספק הנדרש לשם עמידה ביעדים הלאומיים לייצור חשמל מאנרגיה מתחדשת שנקבעו זה מכבר על ידי הממשלה.

**3. בחינת ההשלכות הכלכליות המשקיות של החלופות השונות**

הבחינה הכלכלית נעשתה תוך התייחסות לתרחישי זמינות שונים של אספקת הגז, לרבות שגרה, השבתה קצרה (שבועיים) והשבתה ארוכה (חצי שנה) באספקת הגז הטבעי למשק החשמל.

בתרחישי ההשבתה נבחנו מספר חלופות לגיבוי הייצור הנוסף בגז טבעי אשר יידרש כתוצאה מהשבתת אורות רבין יחידות 1-4, לרבות סולר, גט"ן, והפעלת היחידות הפחמיות הנמצאות בשימור. כלל החלופות נבחנו אל מול העלויות המשקיות של המשך הפעלת אורות רבין יחידות 1-4, עם אמצעי הפחתת מזהמים (סולקנים).

4. **ניתוחי רגישות** בוצעו לצורך אישוש התוצאות

5. **בחינת סוגיות נוספות המשפיעות על הביטחון האנרגטי של משק החשמל**

## שימור יחידות פחמיות

שימור תחנות כוח נועד להבטיח את תקינות היחידות במשך תקופה בה היחידות אינן בפעולה, תוך הגנה על ציוד התחנה מקורוזיה ונזקים נוספים שעלולים להיווצר עקב אי-הפעלת היחידות, וזאת על מנת לאפשר ליחידות לשוב ולייצר חשמל בעת הצורך.

קיימות שתי שיטות שימור עיקריות בעולם, כאשר הבחירה ביניהן תלויה לרוב במשך הזמן הצפוי לשימור:

1. **שימור רטוב:** שיטה זו נועדה לטווח קצר (חודשיים עד שנה), כאשר המערכות נותרות עם הנוזלים בתוכן כולל תוספים למניעת קורוזיה. חזרה לייצור מלא נאמדת בכ-3 ימים.

2. **שימור יבש:** שיטה זו נועדה לטווח הארוך. המערכות מנוקזות מכל הנוזלים, מסולקים החומרים הקורוזיביים, אטמים ואביזרי גומי אחרים נמשחים בחומרי סיכה משמרים, מבוצע טיפול תקופתי לציוד סובב הכולל סיבוב ובדיקה, ומיכלים וצנרת נמצאים באווירת גז חנקן.

**פרוטוקול השימור שגובש בעבודה זו כולל שימור רטוב של חלק מהמערכות ושימור יבש של המערכות האחרות באופן שיאפשר חזרה לייצור מלא בטווח של שבוע-שבועיים.**  
במסגרת העבודה לא נכללה בחינה של Mothballing, הכולל פירוק ואריזה של היחידות, שכן שיטה זו מחייבת את הרכבתן מחדש בעת הצורך, תהליך שעלול לקחת שנה ואף יותר.

## שימור יחידות פחמיות בעולם

במסגרת העובדה, נעשה דיון מעמיק באפשרויות השימור, על בסיס הניסיון העולמי ובשיתוף גורמים בכירים במשרדי ממשלה וחברות חשמל בחו"ל, לרבות:

1. Dr. Henrike Lindemann, German Federal Ministry of Economic Affairs and Energy
2. Franz W. Iven, Head of Division, Power Generation and Grid Technology, Ministry of Economic Affairs, Energy and Industry of the State of North Rhine-Westphalia, Germany
3. Nikolaus Valerius, Director Hard Coal / Gas / Biomass, Germany & The Netherlands, RWE Generation
4. Ken Galt, Chief Scientist Chemical CoE, Eskom Group Technology – Auxiliary Plant Engineering

מהדיונים עלה כי ישנו ניסיון מוצלח בעולם בשימור יחידות קיטוריות בכלל ויחידות פחמיות בפרט, כמפורט בטבלה מטה.

### טבלה 1: ניסיון עולמי בשימור תחנות כוח פחמיות

ניסיון עולמי בשימור תחנות כוח פחמיות	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• בסוף שנות ה-90 ותחילת שנות ה-2000, חברת ESKOM ביצעה שימור יבש של 6 יחידות ייצור פחמיות בהספק של 657 – MW 713 כ"א.</li> <li>• השימור בוצע לתקופות של 3-4 חודשים תוך החזרת היחידות לייצור מלא במספר ימים</li> </ul>	<p>תחנת הכוח "MAJUBA" בדרום אפריקה</p>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• בוצעו פעולות שימור בתחנת הכוח הפחמית של חברת RWE, אחת הגדולות באירופה, תוך שמירה על יכולת ייצור בזמן קצר (Non-operating mode) לצורך הפעלה עונתית</li> <li>• לחברה ניסיון נוסף בפעולות שימור רטוב במשך שלוש שנים בתחנת הכוח WESTFALEN D עקב תקלה חמורה בדוד של היחידה, כמו גם ניסיון בשימור יחידות קיטוריות שאינן פחמיות</li> </ul>	<p>תחנת הכוח "WESTFALEN C" בגרמניה</p>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• החל מ-2016, 8 יחידות ייצור קיטוריות בדלק פחם ליגניט, בהספק כולל של 2.7 GW, יועברו לשימור לתקופה של 4 שנים</li> <li>• השימור יבוצע בתחנות הכוח של חברות מובילות באירופה, לרבות RWE, VATTENFALL, ו-MIBRAG:</li> <li>• Frimmersdorf units P &amp; Q (2 X 300 MW)</li> <li>• Niederaussem units E &amp; F (2 X 300 MW)</li> <li>• Neruath unit C (300 MW)</li> <li>• Buschhaus (200 MW)</li> </ul>	<p>אמצעי הביטחון האנרגטי (Security Readiness Instrument) בגרמניה</p>

<ul style="list-style-type: none"> <li>• Janschwalde units E &amp; F (2 X 500 MW)</li> <li>• השימור נועד להבטחת אספקה בעת חירום ועל כן היחידות מחויבות על פי חוק לשוב ולייצר תוך 11 ימים מקבלת הנחיה להתניע</li> <li>• למעט מקרי חירום ובדיקות כשירות שנתיות, היחידות הללו לא יפעלו כלל במהלך תקופת השימור</li> <li>• על פי משרד האנרגיה הגרמני, שימור של יחידות ליגנייט הינו מורכב יותר משימור יחידות הפועלות על פחם ביטומני, דוגמת אורות רבין 1-4, וביחידות הפועלות על פחם ביטומני זמני התנעה קצרים יותר</li> </ul>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• בסוף שנות ה-80 ותחילת שנות ה-90, חברת ESKOM העבירה 3 תחנות כוח פחמיות בהספק כולל של 3.8 GW לשימור ארוך-טווח (mothballing): <ul style="list-style-type: none"> <li>• Camden: 1600 MW (8 X 200 MW)</li> <li>• Komati: 1000 MW (5 X 100 MW + 4 X 125 MW)</li> <li>• Grootvlei: 1200 MW (6 X 200 MW)</li> </ul> </li> <li>• היחידות הוחזרו לפעילות בין השנים 2007 – 2013 – למעלה מ-20 שנה לאחר שהועברו לשימור</li> </ul>	<p>תחנת הכוח "Komati", "Camden" ו-"Grootvlei" בדרום אפריקה</p>

## ניסיון שימור בתחנות הכוח של חברת החשמל

גם לחברת החשמל יש ניסיון מוצלח בשימור ובהחזרה לפעילות של יחידות קיטוריות הפועלות על גז/מזוט.

יחידות אלו הינן דומות לאורות רבין יחידות 1-4, אשר תוכננו במקור למזוט ואשר יכולות כיום לפעול על מזוט כדלק גיבוי. יש לציין עוד כי מרבית המערכות ביחידות הייצור הקיטוריות בהן בוצע שימור מוצלח על ידי חח"י הינן זהות למערכות באורות רבין 1-4:

טבלה 2: ניסיון בשימור תחנות הכוח של חברת החשמל

ניסיון בשימור תחנות הכוח של חברת החשמל	
אשכול א'	ב- 1998 שלושת היחידות בהספק של 50 MW כ"א הועברו לשימור. לאחר יותר מחצי שנה, יחידה ראשונה סונכרנה לאחר כ-72 שעות.
אשכול ב'	שתי יחידות הייצור הועברו לשימור בשנת 2008, למשך כשנתיים, והותנעו בהצלחה.
אשכול ג' ו-ד'	ב-3 השנים האחרונות היחידות הועברו לסירוגין לשימור עונתי, והותנעו בהתאם לדרישות מנהל המערכת. כיום חלק מהיחידות נמצאות בשימור עונתי וחלקן ברזרבה תפעולית.

## פרוטוקול שימור ליחידות אורות רבין 1-4

על בסיס הניסיון המוצלח בתחנת הכוח אשכול, גובש פרוטוקול המפרט את פעולות השימור שיש לבצע ביחידות אורות רבין 1-4.

הפרוטוקול גובש על ידי צוות מנהלי תחנות כוח לשעבר בעלי ניסיון רב הן בניהול תחנות הכוח הפחמיות הישראליות – לרבות אורות רבין 1-4 – והן בשימור שבוצע על ידי חברת החשמל:

1. **גיורא דקל**, לשעבר מנהל ת"כ אורות רבין

2. **ברנרד ורנסקו**, לשעבר מנהל ת"כ רוטנברג ואשכול

3. **אמנון ביבי**, לשעבר מנהל ת"כ אשכול ותחנות הכוח טורבינות הגז

הפרוטוקול מתייחס למצבת כוח אדם נדרשת, ציוד התחנה, עלויות צפויות, ונושאים נוספים כגון רישוי. הפרוטוקול המלא מצורף למסמך זה כנספח 1.

עיקר מאפייני השימור המוצע מפורטים בטבלה מטה:

**טבלה 3: מאפייני השימור המוצע**

<b>מאפייני השימור המוצע</b>	
ניסיון רלוונטי בחח"י	מתוך 40 פעולות השימור, 31 פעולות בוצעו בהצלחה בעבר על ידי חח"י באופן מלא ו-3 פעולות נוספות בוצעו באופן חלקי
תקופת השימור	השימור של היחידות יבוצע לתקופה ממושכת (כ- 10 שנים)
זמן התנעה	התנעת היחידות וסנכרון תתאפשר תוך שבוע עד שבועיים מקבלת התרעה
עלות	<p><u>עלות העברת היחידות לשימור – כעלות שיפוץ תקופתי: כ- 3.5 מיליון דולר</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• עלות משמרת תפעול: כ-1 מיליון דולר</li> <li>• עלות צוות תחזוקה משולב (מכונות, חשמל, בקרה, כימיה): כ-1 מיליון דולר</li> <li>• חומרים וציוד: כ-1.5 מיליון דולר</li> </ul> <p><u>עלות שימור שנתי: כ- 10 מיליון דולר</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• עלות משמרת תפעול: כ-4 מיליון דולר</li> <li>• עלות צוות תחזוקה: כ-2 מיליון דולר</li> <li>• ציוד, חלפים וחומרים: כ-4 מיליון דולר</li> </ul> <p><u>עלות התנעת היחידות – כעלות שיפוץ תקופתי: כ- 3.5 מיליון דולר</u></p>

## בחינת הספק הייצור הנדרש

הספק הייצור הנדרש למשק החשמל עד שנת 2030 נבחן באמצעות מודל טכני מקיף. עיקרי המתודה מוצגים להלן:

1. **גובשה תחזית לצריכה כוללת וצריכת שיא בכל שנה**, וזאת על בסיס:
  1. תחזית צריכת החשמל נשענת על תחזית הצריכה בתרחיש עסקים כרגיל אשר שימשה את הממשלה בגיבוש היעדים להפחתת פליטות גזי חממה (החלטת ממשלה מס' 542) ועל היקף ההתייעלות בצריכה אשר תושג.
  2. תחזית צריכת השיא נשענת על היחס בין צריכת השיא לבין הצריכה השנתית.
2. **חושב ההספק הזמין הנדרש** לשם שמירה על הרזרבה של 20% בשעת השיא, בהינתן תחזית צריכת השיא.
3. **גובשה תחזית הספק נקוב במשק** בהתאם לפרמטרים הבאים:
  1. הספק הנקוב הקיים במשק החשמל.
  2. תוספות וגריטות מתוכננות.
  3. תוספות הספק נדרשות של אנרגיה מתחדשת ואגירה שאובה (לשם עמידה ביעד הלאומי).
4. **חושב ההספק הזמין** בשעת השיא, בהתאם לפרמטרים הבאים:
  1. ירידת ההספק הצפויה בטורבינות גז בחודשי הקיץ.
  2. מקדם החלפת הון לטכנולוגיות השונות של אנרגיות מתחדשות. מקדם זה משקף את השיעור בו הטכנולוגיה תורמת ליכולת הייצור במשק בשעת שיא הביקוש.
5. **תוצאות המידול**: הספק נוסף נדרש למשק החשמל לצורך עמידה ברזרבה שהוגדרה.

## הנחות עיקריות

ההנחות העיקריות ששימשו לבחינת ההספק הנדרש במשק החשמל מפורטות להלן:

טבלה 4: הנחות עיקריות במידול ההספק הנדרש

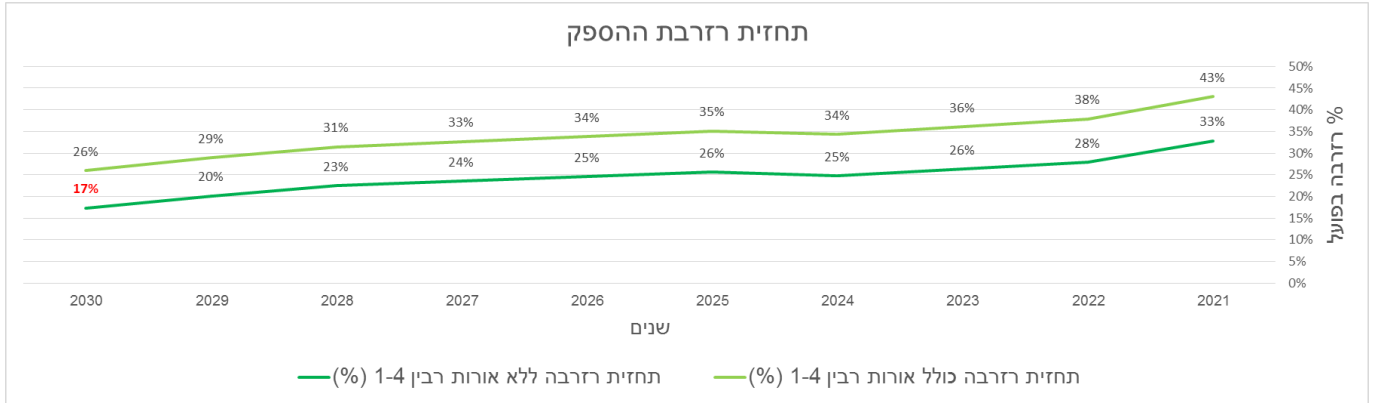
הנחה	קטגוריה
הונח עמידה ביעד לצמצום צריכת החשמל, והצריכה תעמוד על 80 TWh בשנת 2030	צריכת החשמל במשק
תחזית שיא הצריכה גובשה בהתאם ליחס ההיסטורי הממוצע בין צריכת השיא לסך הצריכה השנתית לשנים 1995 - 2013	
אורות רבין יחידות 1-4 ייגרטו/ יועברו לשימור ב 2021, לאחר פיתוח לווייתן וחיבור צינור נוסף לאספקת גז טבעי	מערך ייצור החשמל
ההספק המותקן באנרגיה מתחדשת יגדל בהתאם לנדרש לשם עמידה ביעדי המדינה לשנים 2020, 2025 ו-2030 (10% מהצריכה, 13% ו-17% בהתאמה)	
הונח כי ירידת ההספק בטורבינות גז עומדת על 5% בעונת הקיץ (תקופת השיא)	
מקדמי החלפת ההון התבססו על ההנחות ששימשו לגיבוש היעד הלאומי להפחתת פליטות גזי חממה, ובפרט – בעבור PV – על מסקנות הוועדה לבחינת התועלות הכלכליות של אנרגיות מתחדשות ("וועדת קנדל").	



## תוצאות המידול

במקרה של סגירת יחידות 1-4 בשנת 2021, הרזרבה הנדרשת תישמר עד שנת 2029, ללא תוספת הספק נוסף:

תרשים 1: תחזית רזרבת ההספק



בשנת 2030, תידרש תוספת של יחידת מחז"מ אחת בלבד, בהספק של 520 MW, או לחלופין תוספת של מתקני PV בהספק של 330 MW בשילוב מתקן אגירה שאובה בהספק של 300 MW:

טבלה 5: פלט תוצאות – מודל ההספק

אגירה שאובה		PV		מחז"מ		פרמטר
הספק מצטבר	תוספת הספק שנתית	הספק מצטבר	תוספת הספק שנתית	הספק מצטבר	תוספת הספק שנתית	
-	-	-	-	-	-	2021
-	-	-	-	-	-	2022
-	-	-	-	-	-	2023
-	-	-	-	-	-	2024
-	-	-	-	-	-	2025
-	-	-	-	-	-	2026
-	-	-	-	-	-	2027
-	-	-	-	-	-	2028
-	-	-	-	-	-	2029
300	300	330	330	520	520	2030

- במידה וההספק הנוסף שייבנה יהיה של אנרגיה מתחדשת בשילוב אגירה שאובה, שיעור הייצור באנרגיה מתחדשת יעמוד כ-18% מצריכת החשמל – כ-1% בלבד מעבר ליעד הלאומי של 17% אשר נקבע זה מכבר.

## השלכות כלכליות משקיות

ההשלכות הכלכליות נבחנו באמצעות ניתוח כלכלי של כלל החלופות ועל בסיס תוצאות מודל ההספק, תוך התייחסות לכלל העלויות הרלוונטיות, לרבות:

1. עלויות הון הנדרשות להקמת ההספק החלופי נדרש

2. עלויות תפעול קבועות ומשתנות

3. עלויות דלק

הניתוח הכלכלי בוצע בשיטת עלות ייצור החשמל המשקית. קרי, הניתוח מתייחס לעלויות חיצוניות מזיהום אוויר שאינן משולמות על ידי יצרני החשמל (כולל חברת החשמל). לעומת זאת, העברות כלכליות תוך-משקיות – ובראשן מיסוי ותמלוגי גז – נוכו מהניתוח.

הניתוח התייחס גם להשפעה על היקף הייצור בתחנות כוח נוספות במשק החשמל. כלומר, ייצור החשמל בתרחישים השונים הנבדקים נדרש להיות שווה לייצור בתרחיש הבסיס הנבדק (המשך הפעלת יחידות 1-4 באורות רבין עם אמצעי הפחתה מתקדמים).

כל חלופה (מחז"מ H, מתקני PV עם אגירה שאובה) נבחנה לעומת תרחיש הבסיס, בארבע תצורות שונות:

1. גריטת אורות רבין 1-4, כאשר ייצור נוסף בגז טבעי מגובה באמצעות בסולר

2. גריטת אורות רבין 1-4, כאשר הייצור הנוסף בגז טבעי מגובה באמצעות שילוב בין גט"ן וסולר

3. שימור אורות רבין 1-4, כאשר הייצור הנוסף מגובה בשילוב של פחם וסולר

4. שימור אורות רבין 1-4, כאשר הייצור הנוסף בגז טבעי מגובה בשילוב של פחם, גט"ן וסולר

עובר כל אחת מהתצורות מעלה, נבחנו שלושה תרחישים:

1. **שגרה:** ללא השבתות באספקת הגז הטבעי למשק החשמל

2. **השבתה קצרה של אספקת הגז בת שבועיים:** בפרק זמן זה לא ניתן להסתמך על היחידות בשימור

3. **השבתה ארוכה של אספקת הגז בת חצי שנה:** בהשבתה ארוכה ניתן להפעיל מחדש את היחידות בשימור.

## הנחות עיקריות

ההנחות העיקריות בניתוח הכלכלי הינן **זהות** להנחות ששימשו את הצוות הבין-משרדי לבחינת החלופות לאורות רבין 1-4 (2015), למעט ההבדלים העיקריים המופרטים בטבלה מטה:

טבלה 6: הניתוח הכלכלי – פערים עיקריים מול צוות העבודה (2015)

הפרמטר	יח'	צוות העבודה	ניתוח כלכלי נוכחי	הערות
הספק נדרש	MW	מלוא ההספק נדרש מידית	בהתאם לתוצאות מודל ההספק	
ריבית הויוון	%	6.5%	3%	מכיוון שמדובר בניתוח עלות משקית, יש להתבסס על שיעור הויוון חברתי ולא על שיעור הויוון יזמי
אורך חיים אורות רבין-1 4 (לאחר שיפוץ)	שנה	23	15	בהתאם להערכת מנהלי תחנות הכוח לשעבר, גיורא דקל וברנרד ורנסקו
מקדם היכולת - אורות רבין עם סולקנים	%	46%	85%	צוות העבודה ביסס את מקדם היכולת על מקרה של הסבת היחידות לגז טבעי והיקף שעות פעילות מוערך. הניתוח המוצג כאן מתייחס לעבודה בזמניות מלאה
מקדם היכולת - מחז"מ	%	46%	85%	
הכנסות מדינה מגז טבעי	% מהמחיר לצרכן	כ-30%	45%	על בסיס ניתוח של אגף כלכלה וטכנולוגיה, המשרד להגנת הסביבה
עלות חיצונית – פחם עם סולקנים	\$ / טון דלק	54	68	בהתאם לנתוני המשרד להגנת הסביבה
עלות חיצונית – גז טבעי	\$ / MMBTU דלק	1.73	1.94	בהתאם לנתוני המשרד להגנת הסביבה
יחידות המספקות השלמת ייצור נדרשות	--	--	מחז"מ F	

נתונים לתרחישים הנוספים (PV ואגירה שאובה, תרחישי ההשבתה) התבססו על העבודה שהוגשה לוועדה הבין-משרדית לגיבוי יעד לאומי להפחתת פליטות גזי חממה ב-2015. עלויות השימור הוערכו על ידי צוות המומחים. לפירוט ההנחות העיקריות ראו נספח 2 למסמך זה.

## תוצאות הניתוח הכלכלי

מהניתוח הכלכלי עולה כי גריטת יחידות 1-4 והקמת מחז"מ הינה החלופה הזולה ביותר למשק, בעלות מהוונת של כ-35 מיליארד ₪ (כ-19.5 אג' לקוט"ש).

העלות העודפת מהתקנת אמצעי הפחתה והארכת חיי יחידות אורות רבין 1-4 מוערכת בכ-12.5 מיליארד ₪ (כ-7 אג' לקוט"ש):

### טבלה 7: תוצאות הניתוח הכלכלי

השבתה ארוכה באספקת הגז		השבתה קצרה באספקת הגז		ללא השבתות באספקת הגז		חלופה
LCOE (אג' / קוט"ש)	NPV (מ' ₪)	LCOE (אג' / קוט"ש)	NPV (מ' ₪)	LCOE (אג' / קוט"ש)	NPV (מ' ₪)	
26.48	47,468	26.48	47,468	26.48	47,468	סולקנים (תרחיש בסיס)
20.37	36,514	19.55	35,046	19.48	34,924	הקמת מחז"מ וגריטת אורות רבין 1-4, גיבוי ייצור גז בסולר
20.55	36,837	19.70	35,310	19.63	35,188	הקמת מחז"מ ושימור אורות רבין 1-4, גיבוי ייצור גז בסולר
21.63	38,778	20.91	37,539	20.89	37,436	הקמת מחז"מ וגריטת אורות רבין 1-4, גיבוי ייצור גז בגט"ן
21.92	39,284	21.09	37,802	21.03	37,699	הקמת מחז"מ ושימור אורות רבין 1-4, גיבוי ייצור גז בגט"ן
20.38	36,538	19.57	35,070	19.50	34,948	PV בתוספת אגירה וגריטת אורות רבין 1-4, גיבוי ייצור גז בסולר
20.56	36,860	19.71	35,333	19.64	35,211	PV בתוספת אגירה ושימור אורות רבין 1-4, גיבוי ייצור גז בסולר
21.65	38,801	20.96	37,563	20.90	37,460	PV בתוספת אגירה וגריטת אורות רבין 1-4, גיבוי ייצור גז בסולר וגט"ן
21.93	39,308	21.10	37,826	21.05	37,723	PV בתוספת אגירה ושימור אורות רבין 1-4, גיבוי ייצור גז בסולר וגט"ן

## ניתוחי רגישות

לצורך תיקוף התוצאות, בוצעו מספר ניתוחי רגישות הן לפרמטרים המשפיעים על ההספק הנדרש במערך ייצור החשמל והן לפרמטרים כלכליים:

1. **צריכת החשמל:** צריכת החשמל תגדל ל-92 TWh בשנת 2030, בהתאם לתחזיות המעודכנות של חברת החשמל, ולא ל-80 TWh כפי שמתחייב לעמידה ביעד הלאומי להתייעלות אנרגטית.
  2. **צריכת שיא:** התחזית השנתית לצריכת השיא חושבה בהתאם ליחס המרבי בין שיא הצריכה לסך הצריכה, ולא בהתאם ליחס הממוצע, וזאת על בסיס הנתונים ההיסטוריים שסופקו על ידי רשות החשמל לשנים 1995 – 2013.
  3. **ירידת הספק בטורבינות גז:** הונח כי ירידת ההספק של טורבינות הגז עומדת על 10% מההספק הנקוב במקום 5% מההספק הנקוב, בעונת הקיץ (תקופת שיא הצריכה).
  4. **מלוא ההספק נדרש מידי:** הונח כי מלוא ההספק החלופי יידרש מיד עם השבתת יחידות 1-4 באורות רבין (בהתאם להנחת צוות העבודה הבין-משרדי לבחינת חלופות לאורות רבין 1-4, 2015).
  5. **שיעור היוון:** הונח שיעור היוון של 6.5% (בהתאם לצוות הבין-משרדי לבחינת חלופות לאורות רבין 1-4, 2015), במקום שיעור היוון חברתי של 3%.
  6. **השלמות ייצור במחזור פתוח:** הונח כי השלמות ייצור החשמל הנדרשות עקב השבתת אורות רבין 1-4 יסופקו על ידי מחזור פתוח במקום על ידי מחז"מ F.
  7. **עלויות שימור:** הונח כי עלויות השימור הינן גבוהות ב-20% מההערכה שניתנה.
  8. **מחיר גז טבעי:** הונח כי מחיר הגז יהיה גבוה ב-10%, קרי 6.3 MMBTU/\$ במקום 5.7 MMBTU/\$.
  9. **מחיר פחם:** הונח כי מחיר הפחם יהיה נמוך ב-10%, קרי 68 \$/טון במקום 75 \$/טון.
  10. **חכירת מגזת:** הונח כי גיבוי הייצור באמצעות גט"ן יחייב חכירה של מגזת לאורך כל השנה, במקום במשך 7 בעונת הקיץ והחורף
- בכל ניתוחי הרגישות, נמצא כי המשך הפעלת אורות רבין 1-4 כרוכה בעלות עודפת משמעותית למשק:

טבלה 8: סיכום תוצאות ניתוחי הרגישות

מס'	ניתוח רגישות	שנה ראשונה לתוספת הספק	הספק נדרש עד 2030 (מחז"מ H)	חלופה זולה ביותר	עלות עודפת של אורות רבין 1-4 (NPV – מ' ₪)
1	צריכת החשמל	2022	1,560	הקמת מחז"מ וגריטת אורות רבין 1-4, ייצור גז בסולר	5,753
2	צריכת שיא	2021	1,560	הקמת מחז"מ וגריטת אורות רבין 1-4, ייצור גז בסולר	5,283
3	ירידת הספק בטורבינות גז	2027	1,560	PV בתוספת אגירה וגריטת אורות רבין 1-4, גיבוי ייצור גז בסולר.	9,610
4	מלוא ההספק נדרש מידית	2021	1,560	הקמת מחז"מ וגריטת אורות רבין 1-4, ייצור גז בסולר	4,892
5	שיעור היוון	2030	520	הקמת מחז"מ וגריטת אורות רבין 1-4, ייצור גז בסולר	8,119
6	השלמות ייצור במחזור פתוח	2030	520	הקמת מחז"מ וגריטת אורות רבין 1-4, ייצור גז בסולר	7,015
7	עלויות שימור	2030	520	הקמת מחז"מ וגריטת אורות רבין 1-4, ייצור גז בסולר	12,543
8	מחיר הגז הטבעי	2030	520	PV בתוספת אגירה וגריטת אורות רבין 1-4, גיבוי ייצור גז בסולר	11,191
9	מחיר הפחם	2030	520	הקמת מחז"מ וגריטת אורות רבין 1-4, גיבוי ייצור גז בסולר	10,689
10	חכירת מגזת	2030	520	הקמת מחז"מ וגריטת אורות רבין 1-4, גיבוי ייצור גז בסולר	12,543

פירוט תוצאות הניתוח הכלכלי מוצג בנספח 3 למסמך זה.

## השוואה לתוצאות הצוות הבין-משרדי

הניתוח הכלכלי שבוצע על ידי הצוות הבין-משרדי לבחינת החלופות לאורות רבין 1-4 (2015) בחן אפשרות של הקמת מחז"מ H, אולם בשילוב עם הפעלה מינימלית של יחידות 1-4 לשם שמירה על כושר הייצור הפחמי. הפעלה מינימלית הוגדרה ע"י אנשי חברת החשמל כהפעלה למשך שבוע אחת לחודשיים.

הפעלה זו כרוכה בעלויות משקיות גבוהות, שכן לא יותקנו אמצעי הפחתה מתקדמים ביחידות. ללא ההפעלה המינימלית של היחידות, הניתוח של הצוות הבין-משרדי מצא כי העלות המשקית של המשך הפעלת אורות רבין 1-4 כרוכה בעלות משקית עודפת של כמעט 2 מיליארד ₪, לעומת הקמת מחז"מ חלופי.

עלות עודפת זו הינה גבוהה בהרבה מהעלות של שימור המבוסס על שיטת השימור הרטוב בשילוב של אלמנטים מסוימים של שימור יבש של היחידות – המוערכות ב-10 מ' דולר בשנה – גם במקרה והעלויות הללו יידרשו לאורך כל שנות הניתוח.

עוד הונח ע"י הצוות הבין משרדי, לשם השוואת החלופות, כי מחז"מ H אשר יוקם כחלופה לכושר הייצור שייגרע, יופעל 4,000 שעות בשנה בלבד. הנחה אשר מעבר להיותה בלתי הגיונית, מעוותת את תוצאות התחשיב הכלכלי. בבחינת הכדאיות ללא מגבלת שעות ייצור במחז"מ (וכאמור בתוספת "הפעלה מינימלית" של היחידות הפחמיות), נמצא כי ממוקדם יכולת של 86% הכדאיות הכלכלית של חלופה זו היא הגדולה ביותר.

**לפיכך, הניתוח שבוצע על ידי הצוות הבין-משרדי (2015) מאשש את המסקנה כי הקמת מחז"מ ושימור רטוב משולב עם אלמנטים של שימור יבש של אורות רבין 1-4 יביאו לחיסכון משמעותי למשק לעומת המשך הפעלת היחידות.**

## סוגיות נוספות



## מיקום התחנה

קיימת חשיבות רבה לשמירה על יכולת הייצור מחדרה צפונה, וזאת בכדי לשמור על יציבות הרשת במקרה של ניתוק ברשת החשמל בין צפון לדרום.

מכיוון שיכולת הייצור בצפון הארץ הינה נמוכה מצריכת החשמל באזור (בעוד שבדרום המדינה יכולת הייצור גבוהה מהצריכה), במקרה של ניתוק רשת החשמל בין צפון לדרום, יכולת הייצור בצפון לא תוכל לספק את הצריכה.

לשם כך, ניתן להקים את יחידות הדרושות באתר אורות רבין.

כמו כן, על פי דו"ח איתור שטחים להקמת תחנות כח לייצור חשמל שפורסם על ידי מינהל החשמל בשנת 2005, קיימים מספר אתרים נוספים בצפון בהם ניתן להקים מחז"מ חלופי:

- אזור תעשייה בית שאן צפון

- אזור תעשייה ציפורית

במסגרת אותו דו"ח זהו אתרים נוספים מתאימים אשר לא נבדקו לעומק:

- צומת מגידו

- אתר לביא

- עירון (מחצבת ורד)

- אזור תעשייה עכו דרום

- אזור תעשייה קיסריה

עבודה זאת עוברת עדכון בימים אלה במסגרת תמ"א 11/ב/10 לאיתור מתחמים לתחנות כח.

כאמור, הספק זה אינו נדרש עד לשנת 2030 ועל כן מבחינת משך הזמן הדרוש סטטוטורית ופיזית, אין מניעה מהקמת היחידות באתרים הנ"ל.

## שיעור הייצור בגז טבעי

בזכות הייצור המוגבר באנרגיה מתחדשת, וזאת בהתאם ליעדי הממשלה, השבתת יחידות אורות רבין 1-4 אינה צפויה להגדיל באופן משמעותי את שיעור הייצור בגז טבעי, לעומת המצב כיום:

טבלה 9: תחזית ייצור חשמל לפי דלק

דלק	ייצור חשמל לפי דלק - 2015 (רשות החשמל)	ייצור חשמל לפי דלק - 2030 (השבתת 1-4 ללא התייעלות אנרגטית)	ייצור חשמל לפי דלק - 2030 (השבתת 1-4 עם התייעלות אנרגטית)
גז טבעי	53%	59%	55%
פחם	45%	24%	29%
מתחדשות	2%	16%	16%

במקרה של המשך הפעלה של אורות רבין 1-4, במידה והמדינה תעמוד הן ביעדי התייעלות והן ביעדי האנרגיה מתחדשת, שיעור הייצור הן בגז והן בפחם צפוי לעמוד על 42% בשנת 2030.

## סיכום

5. האפשרות לביצוע שיטת שימור רטוב משולב בשיטת שימור יבש של היחידות נמצאה כבעלת היתכנות טכנית-כלכלית גבוהה מאוד.
- במידה ויוחלט להשבית את אורות רבין יחידות 1-4 בשנת 2021 – המועד שבו צפוי כי מאגר לווייתן יחובר ויהיה צינור אספקת גז נוסף למשק החשמל – לא תידרש תוספת הספק במערך ייצור החשמל עד שנת 2029.
  - סגירת היחידות והקמת מחז"מ תחסוך למשק כ- 12.5 מיליארד ₪, שהם כ-7 אג' לקוט"ש מיוצר, לעומת המשך הפעלת יחידות 1-4, עם התקנה של אמצעי הפחתת פליטות מתקדמים. יש לציין כי, בכל ניתוחי הרגישות שבוצעו, נמצא כי האפשרות של המשך הפעלת אורות רבין 1-4 כרוכה בעלות עודפת משמעותית למשק.

# נספח 1 – פרוטוקול שימור אורות רבין 1-4

נכתב על ידי גיורא דקל, ברנרד ורנסקו, אמנון ביבי, יוני 2016

## תחנת הכח "אורות רבין", יחידות 1-4

### שימור וחלופות ייצור

#### 1. רקע והנחות יסוד

יחידות הייצור הנ"ל הן בעלות הספק 360MW כ"א (סה"כ 1,440 MW) ונכנסו לפעולה ולייצור סדיר בשנים 1982-4.

- טרם נמצא פתרון טכני להפחתת פליטות בשריפת פחם ביחידות אלה, דודיהן בכלל תוכננו לשריפת שמן היסק והוסבו לשריפת פחם לפני הפעלה ראשונה.
- היחידות תעבודנה עד לכניסה מסחרית של מאגר גז טבעי "לוויתן", קרי סביב 2025, כשהן תהינה בנות 40-45, כלומר בדמדומי החיים של הציוד.
- הצורך בהחזרת היחידות לייצור, לאחר שימור, יתקיים אך ורק במקרה של אירוע חריג במערכת הגז הטבעי (אספקה או הולכה), רעידת אדמה, מלחמה וכד'.
- יישום תגבור מלא או חלקי בכל יחידות אלה או בחלקן יהוה פתרון לבעיית ייצור החשמל במשק ולבעיית כ"א, המתפעל ומתחזק אותן היום, אך אין בו כדי לתת מענה במקרה של אירוע גז טבעי, אלא אם כן תשמר אופציה להפעלה בפחם במתכונתה הנוכחית (ללא הפחתת פליטות) אך ורק במהלך האירוע החריג.

#### 2. שימור

"שימור" – הבטחת תקינות יחידות ייצור שאינן בפעולה (לאחר שהופסקו באופן יזום) בכדי לאפשר מוכנות וביצוע פעולות להתנעתן מחדש לצורך ייצור חשמל לכשיידרש עם שינוי התנאים שבעטיים הופסקו.

מוכרות 2 שיטות שימור עיקריות:

1. **שימור רטוב** – לטווח קצר (חודשיים עד שנה), כאשר המערכות נותרות עם הנוזלים בתוכן כולל תוספים למניעת קורוזיה, החזרה משימור רטוב היא מהירה.
2. **שימור יבש** – לטווח ארוך, המערכות מנוקזות מכל הנוזלים, מסולקים החומרים הקורוזיביים, אטמים ואביזרי גומי אחרים נמשחים בחומרי סיכה משמרים, מבוצע טיפול תקופתי לציוד סובב הכולל סיבוב ובדיקה, מיכלים וצנרת נמצאים באווירת גז חנקן.

### 3. ניסיון בתהליכי שימור

בשנת 1998 הוכנסו לשימור עמוק שלושת היחידות אשכול א' בהספק של 50 MW כל אחת, מוסקות בשמן היסק. היחידות שומרו במתכונת המתוארת כאן ולאחר יותר מחצי שנה בוצע ניסוי התנעה. הניסוי צלח בכך שיחידה ראשונה סונכרנה לאחר כ-72 ש'.

שתי יחידות הייצור בתח"כ אשכול ב' הודממו ויצאו לשימור בשנת 2008, למשך כשנתיים, ואח"כ הותנעו בהצלחה בעזרת צוות שכלל גם גמלאים מפעילים. פעולות דומות בוצעו ביחידות רידינג ד'. בשלוש השנים האחרונות הוכנסו לשימור לסירוגין יחידות של תח"כ ג'-וד' לשימור עונתי. הן הותנעו בהתאם לדרישות היחידה לניהול המערכת.

כיום חלק מהיחידות נמצאות בשימור עונתי וחלקן ברזרבה תפעולית.

אין בארץ ניסיון בשימור יחידות פחמיות אולם יש ניסיון בעולם במספר מדינות כמו דרום אפריקה, ארה"ב, אנגליה, בלגיה, גרמניה, אוסטריה.

### 4. פרוטוקול שימור

#### כוח אדם

נראה סביר שבתקופת השימור, החל מהפעולות הכנסה לשימור, כולל תחזוקתו (ביקורות, בדיקות של טיב תמיסות השימור, לחץ החנקן, טיב השמנים, סיבוב חשמלי או ידני של מכונות, מעקב אחרי מערכות שתשארנה בעבודה, מיזוג אוויר, כיבוי אש, שמני סיכה, נוזלים הידראוליים וכו'), כל זוג יחידות יתופעל ע"י צוות מפעילים אחד, אפילו מצומצם, היכן שניתן (תורן עוזר, משנה אחד לכל זוג עם תדירות ביקורות מצומצמת בהתאם). פתרון זה עשוי לאפשר גם התנעת יחידה אחת או אפילו שתיים (ע"י ירידה מ-5 עובדים במסדר ל-3-2). המדובר ב-5 מסדרים (תורן ראשי, תורן, 2 תורני משנה וחשמלאי תורן) עם 5 עובדים כל אחד, קרי 25 עובדים לזוג יחידות.

#### ציוד

- כאמור לעיל, מערכות מסוימות חייבות להישאר בעבודה למען בטיחות העובדים ושלמות הציוד: כיבוי אש, מיזוג אוויר, מעליות, מסדרי חשמל תחת מתח כדי לאפשר אספקת חשמל למערכות בעבודה וחימום למנועים מופסקים.
- מערכות עזר טורבינות ונוזל הידראולי תשארנה בעבודה כדי לאפשר שמירת איכויות נוזלים אלה.
- מערכות שמן סיכה של הציוד הסובב תופעלנה בטרם הסיבוב ויילקחו מהן דגימות להבטחת טיבו של השמן.
- מערכת קירור ראשי צריכה להיות מנוקזת ושטופה במים גולמיים ולאחר מכן יבשה. יש לאפשר אספקת מים גולמיים לאטמים/מסבי גומי. לבחון הנחיות שימור לציפוי האנטיפאולינג יתכן שע"י הרטבה תדירה במים או מים גולמיים.

- מערכת BOP (balance of plant) בשימור רטוב עם תמיסת הידרזין וכרית חנקן בחלקה העליון (דיארטור עם שסתומי סניקה של משאבות מי הזנה סגורים ו/או איורורי תוף/ קווי קיטור של הדוד, עם דיארטור מוצף וקו מי הזנה פתוח לדוד; שסתומי סניקה של המשאבות מי הזנה ושסתום כניסה לחוסך פתוחים), עם תשומת לב למחליפי חום עם סגסוגות נחושת. כל המחממים, הן לחץ נמוך והן לחץ גבוה, ישמרו בצד הקיטור בצורה יבשה עם חנקן, כשקיים ניתוק מלא מצד ההקזה. צד הנטף יהיה חלק של המעטפת, קרי שמור בחנקן, למעט הקו לדיארטור אשר יהיה בשימור רטוב והקו למעבה יבש עם אוויר.
- מעבה- אם תאי מים עם גימזם אזי מלאים במים גולמיים לשמירתם, אך אם מצופים אפוקסי אזי ריקים ויבשים. צנרת המעבה מטיטניום עמידה.
- מעבה צד מי עיבוי ריק ויבש.
- טורבינה יבשה עם מייבשי MUNTERS.
- מערכות שמן סיכה של כל הציוד הסובב מלאות ותבוצענה בדיקות תקופתיות של טיב השמן. בעת הפעלתן על מנת לאפשר סיבוב רוטורים, יש לעקוב אחר טמפ' השמן כדי להחליט האם יש להפעיל גם מע' קרור מחזורי.
- מעורר בחימום.
- גנרטור מלא חנקן בצד הגז. ליפופי הסטטור יבשים למעט המטהר לשמירת השרף.
- אפר תחתי מלא במים גולמיים. הפעלה תקופתית.
- משקעי אפר נקיים, שטופים ובחימום.
- מסועי פחם ואפר מופעלים תקופתית- גירוז גלילונים לבחון ריסוס סרטי הגומי בחומר מונע התיבשות והיסדקות.
- ממגורות פחם ואפר ריקות, שטופות ויבשות. רצוי זרימה של אוויר ממערכות התחנה: שירותים או נישוף פיח לשמירת היובש.
- בכלל הזרמת אוויר ממערכות אוויר לחץ גבוה, כגון נישוף פיח, למערכות שלא ניתן לאטום כדי לשמור תחת כרית חנקן, מבטיח ייבוש, עקב התפשטותו של האוויר ממצב רווי למצב שחון/יבש.
- דודים מלאים בתמיסת הידרזין ותחת כרית חנקן עד למתקני ניתוק. קוי קיטור יכולים להיות בשימור יבש עם חנקן או רטוב עם תמיסת הידרזין לאחר, כמובן נעילת מתלים.
- קווי שמן היסק שטופים בשמן קל (סולר) ונשארים מלאים בו. לא מצריך חימום או סחרור. יש לבחון שימוש בשמן קל בלבד, לפני הסקה בפחם, בעת החזרת היחידות לייצור, אם וכאשר ידרש. אם זה ניתן, זה פותר את הצורך לחמם מיכלים וקווי שמן היסק ע"י קיטור ליווי זמן ממושך לפני הדלקת אש.

- מערכות אוויר צריכות להיות מסופקות מיחידות 5,6 , לפחות אחת מהן, עדיף נישוף פיו או שירותים, בגלל ספיקות לייבוש ומהן ניתן לספק גם אוויר מכשירים, לאחר ייבוש. לחילופין צריכים לספק משם מי קירור מחזורי כדי לאפשר הפעלת מדחסי יחידות אלה.
- מערכות בקרה זמינות ויש לבצע בהן הדמיות היכן שניתן.
- מחממי אוויר מסתובבים ומוקדמים שטופים ומיובשים. סיבוב תקופתי עדיף ע"י טורבינת אוויר. מע' שמן של המיסבים בעבודה בטרם הסיבוב.
- תאי אוויר של הדודים נקיים מאפר, סיגים ופיח. הפעלה ממושכת (שעות) בדלק נוזלי לפני הפסקת היחידות לקראת שימור עשויה להקל על מצב הניקיון מסיגים ואפר. הפעלה תקופתית של מדפיהם. לפני החזרה משימור יש לבדוק גם מצב הבניה הרפרקטארית סביב המדלקות ולתקן בהתאם.
- כנ"ל מדפי מערכות אוויר וגזים, תוך כדי גירוז המיסבים לפי הצורך.
- מזיני פחם ומטחנות יופעלו על ריקם ( מטחנות עם קפיצים משוחררים למניעת לחץ ממושך על מסלולי הטבעות), באופן תקופתי לאחר הפעלת מערכות שמן.
- ככלל מומלץ לבדוק טיב תמיסות השימור לפחות פעם בחודש ולתקן בהתאם. כמו כן יש להכין תוכנית של דגימת שמנים/ נוזלים הידראוליים פעם בחודשיים. באותה תדירות מומלץ לסובב באופן ידני (משאבות מי עיבוי, הזנה, אוורים לוחצים/יונקים/ראשוניים, טורביוגנרטור וכו') ובאופן חשמלי/הידראולי היכן שניתן מבלי לפגוע בשימור ( מזינים, מטחנות, מסועי פחם, אפר תחתי ומרחף, מדפים ושסתומים למיניהם).
- טורבוגנרטורים – בשל המשקל הגדול של הרוטורים קיים חשש לפגיעה במיסבים וכן לכפיפה ברוטורים ולכן נדרש סיבוב תקופתי והשאת הציר עד לסיבוב הבא בזווית שונה.
- מתקן ייצור מים נטולי מלחים – לבחון המשך הפעלה חלקית או הדממתו ושימוש במתקן של יחידות 5-6 בעת הצורך עד להפעלה מחודשת.
- מכשירי ניטור אוויר בארובות, לתחזק או לפרק בהתאם לצורך.
- מערכת דיזל גנרטור וסוללות מצברים לחירום, יש להשאיר במצב זמין ותקין וחלק מהסוללות להחליף מצברים לפני היציאה לשימור.
- מערכות ייצור והזרקת  $SO_3$ , לבחון תהליכי שימור עם היצרן, לרוקן מיכל הגופרית.
- קונסטרוקציה וסבכות, יש לבצע סקר לפני היציאה לשימור ולטפל עפ"י הצורך.
- יש לטפל במקורות הרדיואקטיביים המשמשים למדידות מפלס מוצקים ( אפר ) במגורות/ משפכים השונים , הן ע"י סגירת התריסים ( הוצאתן מרזרבה ) והן ע"י בדיקת התקופתית להבטחת זמינות המדידה בעת הצורך.
- אם יוחלט על צורך לקיצור זמני יציאה משימור או הגדלת הסיכויים להצלחתה, אזי ניתן להשאיר מערכות נוספות בעבודה עם השלכות על צריכת חשמל לשאיבה, בלאי וכ"ד. בקבוצה

זו ניתן לרשום כולם או חלקם את המערכות שלהלן: מע' קירור ראשי( תיפטר גם בעיית מיהול תמלחת ממתקן התפלה ), קירור מחזורי יחידתי וכללי ( תיפטר הצורך להספקת קירור מחזורי /או אוויר דחוס לסוגיו מיחידות 5,6 ), מערכות שמן סיכה ונוזלים הידראולי, מנגנון סיבוב הרוטור של הטורבינה, קירור ליפופי הסטטור, מיכלים ומערכות שמן היסק, מע' אוויר דחוס ( מכשירים, שירותים, נישוף פיח ) וכו'.

### סיכום פעולות השימור הדרושות:

מס'	מערכת/מתקן	שיטת השימור	קיים ניסיון ביחידות קיטוריות שאינן פחמיות או מבוצע בשגרה	הערות
1	מע' נוזל הידראולי	בעבודה עם טיוב, קרור ובדיקות איכות הנוזל	כן	
2	מע' שמן סיכה - טורבוגנרטור	מלאות בשמן תוך כדי הפעלות מתוזמנות ובדיקות טיב השמן או בעבודה רציפה עם קרור וסינון	כן	
3	מערכות גילוי/ כיבוי אש / רכזות	בעבודה עם טיוב	כן	
4	מע' מיזוג אוויר	בעבודה תוך כדי אספקת מי קרור למדחסים	כן	
5	מע' מים גולמיים	בעבודה	כן	
6	מעליות	בעבודה עם רישוי ו/או שידרוג	כן	
7	מסדרי חשמל / חלוקות	תחת מתח כדי לאפשר חימום מנועים, הפעלות ואספקה לצרכנים כגון מתקן התפלה	כן	
8	מע' קרור ראשי, קרור מחזורי יחידתי וכללי, סורק גס, מסננים נעים	ריקה, שטופה ויבשה עם אספקת מים גולמיים למרכיבי גומי או בעבודה כולל הגנה קטודית	כן	בחלופה יבשה יש לבדוק מצב צבע אנטיפאולינג
9	מע' מי עיבוי, מי הזנה, נטף לדיארטור	שימור רטוב עם תמיסת PPM N2H4200 וכרית חנקן	כן	תשומת לב למחליפי חם עם צנרת מסגסוגת נחושת
10	מע' מים וקיטור של הדוד כולל מערכת דגימות	כנ"ל, בחזרה משימור יש לחדש רישוי דוד	כן	הבטחת מילוי מלא ללא כסי אוויר עם מש' וואקום
11	קוי קיטור ראשיים וביניים	כנ"ל או יבש עם חנקן	כן	בשימור רטוב יש לנעול מתלים
12	מחממי ל.נ. ול.ג. בצד קיטור( מעטפת)	יבש עם חנקן מנותק מטורבינה או אוויר יבש יחד עם טורבינה	כן	



13	מעבה - חלל	אוויר יבש יחד עם טורבינה	כן
14	מעבה - צד מי ים	יבש ללא תנאים נוספים עבור צנרת טיטניום ותאי מים מצופים אפוקסי	כן
15	טורבינה - ל"ג, ל"ב, ל"נ, שסתומי טורבינה, מנגנון סיבוב הרוטור	אוויר יבש וחם- מחממי MUNTERS, בחזרה משימור בדיקות בורוסקופיות	כן
16	גנרטור- חלל	חנקן, בחזרה משימור בדיקות בורוסקופיות	כן
17	גנרטור- ליפופים	מנוקז ויבש למעט מטהר או בעבודה	כן
18	קוי שמן קל	מלאים	כן
19	קווי שמן היסק, משאבות, מיכלים, קווי ליווי	שטופים עם שמן קל ומלאים בסחרור/חימום	כן
20	רוטורים:טובוגנרטור, אווררים משאבות	סיבוב פעם בחודש עם הפעלת מע' שמן סיכה והרמת הגל והשארות בזווית שונה	כן
21	חלל הדוד ומע' אוויר וגזים, כולל מחממי אויר, מנשפי פיח, בוחני טמפ', מניפות יונקות ולוחצות	עדיף לספק קיטור מיחידות פעילות למחמם אוויר מוקדם תוך כדי הפעלת FDF ומחמם אוויר מסתובב לסירוגין עם טורבינת אוויר	לא מלא, יש מוגבל וחלקי
22	מע' אספקת חשמל בחירום: דיזל גנרטור וסוללות המצברים	זמינות מלאה ; בדיקות והפעלות תקופתיות	כן
23	מע' מים נטולי מלחים	הפעלה תקופתית לשמירת מלאי מ.נ.מ. מרביים, או התבססות על מתקן המנ"מ של יחידות 5-6	כן
24	מדפים, שסתומים וכו'	הפעלה תקופתית היכן ש הפעולה לא פוגע בשימור המערכת או טיפול במלאים, גירוז וכו'	כן
25	שמנים סיכה, נוזלים הידראוליים למתקנים גדולים, תמיסת שימור	בדיקות טיב פעם בחודש	כן
26	מע' בקרה ואביזרי הקצה שלהן	זמינות עם הדמיות היכן שניתן	כן
27	מעורר גנרטור	אוויר יבש	כן
28	מבערים- פחם (ייחודי ליחידות פחמיות), מזוט, סולר, גז הצתה	נקיים לאחר נישוף	קיים ניסיון בשימור מבערי מזוט / סולר
29	מערכות אויר נישוף פיח, שירותים, מכשירים, מייבשי אויר	להשאיר חלק בעבודה ואת החלק המופסק להניע תקופתית	כן
30	שנאים ראשיים ופסי צבירה, שנאי עזר, שנאי עתודה	חימום ובדיקות שמנים תקופתיות	כן

31	ארובות ומכשור בקרת פליטות (ניטור גזי פליטה)	קירור הארובות ואיסוף האפר התחתי הנופל בארובות, בדיקות תקופתיות וכיול למכשור	קיים ניסיון בשימור ארובות אך לא של יחידות פחמיות
32	מערכות הגנה קטודית	יבוש ובדיקות שלמות תקופתיות	כן
33	חצרות, מבנים וקונסטרוקציה, סבכות, ניקוזים	ניקוי, צביעה והחלפה כנדרש, בדיקות מטלורגיות מדגמיות	כן
34	תאורת פנים וחוץ	השארת תאורת התמצאות וכיבוי היתר	כן
35	מסועי פחם ואפר	הפעלה תקופתית, גירוז גלילונים, ריסוס סרטים עם חומר להאטת הזדקנות/התייבשות/היסדקות	לא
36	מע' אפר תחתי	מלאה במים גולמיים. הפעלה תקופתית	לא
37	ממגורות פחם ואפר וגלאים רדיו אקטיביים	ריקות, שטופות ויבשות. הזרמת אוויר שירותים/נישוף פיח למניעת לחות/קורוזיה	לא
38	משקעי אפר, מערכת פינוי אפר מרחף	נקיים לאחר שטיפה ובחימום. שנאים/מיישרים תחת מתח. הפילת תקופתית של מע' נייעור	לא
39	מזיני פחם ומטחנות	הפעלה תקופתית בריקים עם קפיצים משוחררים של המטחנות. ריסוס חומר שימור על סרטי המזינים וכיולם.	לא
40	מערכת So3	להפסיק ולשמר עפ"י המלצות יצרן, יש לרוקן מיכל הגופרית	לא

## 5. נושאים נוספים

1. רישוי: יש להמשיך רישוי הנדרש עפ"י חוק של הציוד שיישאר בפעולה כמו מיכלי לחץ ומעליות, לא נדרש להמשיך רישוי דודי הקיטור אלא לקראת התנעה מחודשת.
2. מתקן ההתפלה: מדרום לתחנת הכח פועל מתקן התפלה שלו 2 ממשקים עיקריים לתחנת הכח: הזנת חשמל ושימוש בתעלות המוצא של מערכת מי הקירור הראשי למיהול התמלחת המוחזרת לים, יש לבחון פתרון להמשכיות כאשר היחידות מודמות.
3. הצטיידות בציוד לשימור: משאבות טבולות למיניהן, מערכות לאספקת אוויר יבש, מיכלי חנקן ועוד.
4. ניקוי הצטברות אפר בארובות: בעת הפעלת היחידות נוצרת שכבת אפר בדופן הפנימית של "liner" הארובות, כאשר 2 יחידות ייצור המחוברות לאותה הארובה אינן פועלות הארובה מתקררת, האפר שנדבק משתחרר ונופל ועם ההפעלה הראשונה לאחר החזרה משימור יגרום לזיהום אוויר. תופעה זו חריגה במיוחד כאשר יחידה אחת ממשיכה לעבוד על אותה ארובה והשנייה מופסקת. ללא ניקוי יזום של מובל, בעת הפעלתה של היחידה שהופסקה ראשונה עלולה להיפלט עננת אפר.

5. הארכת חיים: ישנן מספר מערכות הדורשות פעילות להארכת חיים מאחר ועפ"י מצבן או עפ"י החוק / תקנות נדרש לשקדם לדוגמה החלפת דרגה אחרונה בטורבינות לחץ נמוך. יש לקבל החלטה בכל מערכת האם לשקם לפני השימור או עם קבלת ההוראה להחזרת היחידות משימור.

6. מיכלי דלק (שמן היסק): חלקם דורש שיקום עפ"י חוק / תקנות.

## 6. עלויות

במהלך תפעול רגיל של תחנת כח פחמית עלויות התפעול נעות סביב ה-15%-18% מעלות הייצור הכוללת, שהינה כ-42-40 \$/MWh. עלות תפעול זו כוללת שכר, חומרים וחלפים, כולל בשיפוצים. לפי המתכונת לעיל, אזי עלויות שכר לעובדי משמרת יורדות לפחות מ-50% ועד סוף שנה ראשונה גם עלויות שכר של עובדי תחזוקה תרדנה בשיעור דומה. עלויות חלפים וחומרים יסתכמו בעד 20% ביחס לייצור שוטף, אך זה הרגע לציין שיש לאמוד את מצב המערכות/פרטי ציוד השונים בתחילת התהליך ולהחליט האם לחדש, לשקם, לשפר כדי להגדיל את הסיכוי להצלחה, במידה ותידרש הפעלה במצב חריג, כמתואר מעלה, או לחילופין לקחת את הסיכון המחושב, לאור הסבירות הנמוכה של צורך זה.

### הכנה לשימור: כעלות שיפוץ תקופתי,

4 שבועות לכל יחידה כולל מתקנים משותפים,

עלות משמרת תפעול	כ-1,000,000 \$
עלות צוות תחזוקה משולב (מכונות, חשמל, בקרה, כימיה) כ-1,000,000 \$	
חומרים וציוד	כ-1,500,000 \$
=====	
סה"כ	\$3,500,000

### שימור: עלות לשנה ל-4 יחידות

עלות משמרת תפעול	כ-4,000,000 \$
עלות צוות תחזוקה	כ-2,000,000 \$
ציוד, חלפים וחומרים	כ-4,000,000 \$
=====	
סה"כ	\$10,000,000

חזרה משימור: כעלות שיפוץ תקופתי. \$3,500,000

## נספח 2: הנחות מידול עיקריות

מאפייני יח' ייצור חשמל

מקדם יכולת :

מקור	%	סוג יחידה
הערכות צוות המומחים	85%	Orot Rabin 1-4 with Scrubbers
הערכות צוות המומחים	50%	Orot Rabin 1-4 w/o Scrubbers
הערכות צוות המומחים	85%	CCGT H
גיבוש היעד הלאומי להפחתת פליטות גזי חממה	84%	Micro and Small Hydro
רשות החשמל	21%	Solar PV (Ground)
רשות החשמל	20%	Solar PV (Rooftop)
נתונים שפורסמו אודות מתקן דומה בארץ	25%	CSP Solar Tower
נתונים שפורסמו אודות מתקן דומה בארץ	18%	CSP Parabolic Trough
85% מקדם יכולת כללית, מתוך כך 52.9% מיוצר באנרגיה מתחדשת והיתר בגז טבעי (נתוני יצרן)	45%	CSP Hybrid (NG)
נתוני יצרן	85%	CSP Hybrid (Biomass)
רשות החשמל	85%	Biogas and biomass
רשות החשמל	30%	Onshore Wind
בהתאם ל-onshore wind	30%	Offshore Wind
גיבוש היעד הלאומי להפחתת פליטות גזי חממה	84%	Water Pipe Hydro
גיבוש היעד הלאומי להפחתת פליטות גזי חממה	19%	Wave

נצילות:

מקור	%	סוג היחידה
צוות העבודה הבין-משרדי לבחינת חלופות לאורות רבין 1-4	38.9%	פחם עם סולקנים (תרחיש בסיס)
צוות העבודה הבין-משרדי לבחינת חלופות לאורות רבין 1-4	38.9%	פחם ללא סולקנים (מצב קיים)
צוות העבודה הבין-משרדי לבחינת חלופות לאורות רבין 1-4	60.14%	מחז"מ H
צוות העבודה הבין-משרדי לבחינת חלופות לאורות רבין 1-4	57%	מחז"מ F
רשות החשמל	76%	אגירה שאובה

## צריכה עצמית:

מקור	%	סוג היחידה
רשות החשמל	4%	פחם עם סולקנים (תרחיש בסיס)
רשות החשמל	4%	פחם ללא סולקנים (מצב קיים)
רשות החשמל	2.5%	מחז"מ H
רשות החשמל	2.5%	מחז"מ F

## מקדם החלפת הון:

מקור	%	סוג יחידה
גיבוש היעד הלאומי להפחתת פליטות גזי חממה	100%	Micro and Small Hydro
גיבוש היעד הלאומי להפחתת פליטות גזי חממה	85%	CSP Solar Tower
גיבוש היעד הלאומי להפחתת פליטות גזי חממה	85%	CSP Parabolic Trough
משרד התשתיות הלאומיות האנרגיה והמים	100%	CSP Hybrid (NG)
משרד התשתיות הלאומיות האנרגיה והמים	100%	CSP Hybrid (Biomass)
גיבוש היעד הלאומי להפחתת פליטות גזי חממה	100%	Biogas and biomass
משרד התשתיות הלאומיות האנרגיה והמים	25%	Onshore Wind
משרד התשתיות הלאומיות האנרגיה והמים	25%	Offshore Wind
גיבוש היעד הלאומי להפחתת פליטות גזי חממה	100%	Water Pipe Hydro
גיבוש היעד הלאומי להפחתת פליטות גזי חממה	19%	Wave
וועדת קנדל	75%	Solar PV 0-600 MW
וועדת קנדל	50%	Solar PV 600-1200 MW
וועדת קנדל	30%	Solar PV 1200-1800 MW
וועדת קנדל	10%	Solar PV 1800-2400 MW
וועדת קנדל	0%	Solar PV above 2400 MW
וועדת קנדל	85%	Solar PV (Ground) with local storage

## מועדים ואורך חיים:

מקור	ערך	יח'	פרמטר
המשרד להגנס"ס	2018	שנה	אורות רבין 1-4: מועד התקנת סולקנים
צוות העבודה הבין-משרדי לבחינת חלופות לאורות רבין 1-4	2028	שנה	אורות רבין 1-4: מועד הארכת חיים
צוות המומחים	15	שנים	אורך חיים אורות רבין 1-4 (לאחר הארכת חיי היחידות)
צוות העבודה הבין-משרדי לבחינת חלופות לאורות רבין 1-4	30	שנים	אורך חיים למחז"מ
צוות המומחים	25	שנים	אורך חיים PV
גיבוש היעד הלאומי להפחתת פליטות גזי חממה	50	שנים	אורך חיים אגירה שאובה
הנחת צוות המומחים	15	שנים	אורך חיים אגירה מקומית

## מאפיינים נוספים:

מקור	ערך	יח'	פרמטר
נתונים היסטוריים של חברת החשמל	4.20%	%	איבודי הולכה

מקור	ערך	יח'	פרמטר
מנהל החשמל	20%	%	אגירה שאובה: שיעור הספק נדרש ביחס להספק מותקן של PV קרקעי ללא אגירה מקומית
מנהל החשמל	20%	%	אגירה שאובה: שיעור הספק נדרש ביחס להספק מותקן של רוח ללא אגירה מקומית
מנהל החשמל	400	MW	אגירה שאובה: הספק נדרש נוסף להספק הנדרש עבור המתחדשות
מנהל החשמל	4	שעות	אגירה שאובה: שעות אגירה ביום
גיבוש היעד הלאומי להפחתת פליטות גזי חממה	2	שעות	אגירה מקומית: שעות אגירה ביום

## הנחות עלות:

### עלויות הון:

מקור	נתון	יח'	פרמטר
צוות העבודה הבין-משרדי לבחינת חלופות לאורות רבין 1-4	4,600	NIS/KW	הקמת יחידה- מחז"מ H
צוות העבודה הבין-משרדי לבחינת חלופות לאורות רבין 1-4, בזכות השימוש בתשתית קיימת באתר חדרה. קרי, קיימת אפשרות להקים את המחז"מ בשטח חח"י בחדרה	3.00%	%	שיעור הפחתה בעלויות הון
רשות החשמל	1,600	\$/KW	הקמת יחידה- אגירה שאובה
צוות העבודה הבין-משרדי לבחינת חלופות לאורות רבין 1-4	3,120	מ' ש	התקנת סולקנים
צוות העבודה הבין-משרדי לבחינת חלופות לאורות רבין 1-4	600	מ' ש	הארכת חיי יחידות אורות רבין-1-4
Saqib Rahim, E&E reporter, Billions stand to be made in coal plant decommissioning, August 7 2013	52,778	\$/MW	גריסת יחידות אורות רבין 1-4
IEA&NEA, Projected Costs of Generating Electricity, 2010	5%	% מעלות ההקמה	גריסת יחידות מחז"מ H

### עלויות הון PV ואגירה מקומית:

מקור	2030	2025	2020	יח'	פרמטר
BLOOMBERG	817	922	1,088	\$/ KW	Solar PV Utility Grade
BLOOMBERG	1,061	1,170	1,351	\$/ KW	Solar PV Commercial Grade
BLOOMBERG	1,410	1,558	1,795	\$/ KW	Solar PV Small Scale
BLOOMBERG	340	400	733	\$/ KWh	עלות אגירה מקומית (סוללה)

### עלויות תפעול (קבועות ומשתנות):

מקור	ערך	יח'	עלות תפעול
צוות העבודה הבין-משרדי לבחינת חלופות לאורות רבין 1-4, רשות החשמל	58	\$/KW	עלות תפעול קבועה פחם עם סולקנים
צוות העבודה הבין-משרדי לבחינת חלופות לאורות רבין 1-4, רשות החשמל	53	\$/KW	עלות תפעול קבועה פחם ללא סולקנים

עלות תפעול קבועה מחז"מ H	25.9	\$/KW	צוות העבודה הבין-משרדי לבחינת חלופות לאורות רבין 1-4, רשות החשמל
עלות תפעול קבועה מחז"מ F	35.44	\$/KW	צוות העבודה הבין-משרדי לבחינת חלופות לאורות רבין 1-4, רשות החשמל
עלות תפעול קבועה אגירה שאובה	25	\$/KW	צוות העבודה הבין-משרדי לבחינת חלופות לאורות רבין 1-4, רשות החשמל
עלות תפעול קבועה PV	2%	%	% מעלות מתקן ה-PV, מנהל החשמל
הולכת גז	71	NIS/KW	צוות העבודה הבין-משרדי לבחינת חלופות לאורות רבין 1-4
עלות תפעול משתנה פחם עם סולקנים	2.5	\$/MWh	צוות העבודה הבין-משרדי לבחינת חלופות לאורות רבין 1-4
עלות תפעול משתנה פחם ללא סולקנים	0.6	\$/MWh	צוות העבודה הבין-משרדי לבחינת חלופות לאורות רבין 1-4
עלות תפעול משתנה מחז"מ H	2.2	\$/MWh	צוות העבודה הבין-משרדי לבחינת חלופות לאורות רבין 1-4
עלות תפעול משתנה מחז"מ F	2.2	\$/MWh	צוות העבודה הבין-משרדי לבחינת חלופות לאורות רבין 1-4

### עלויות שימור:

מקור	עלות	יח'	פרמטר
פרוטוקול השימור לאורות רבין יח' 1-4 אשר גובש על ידי מנהלי תחנות כוח לשעבר בחברת החשמל	3,500,000	\$	עלות הון (העברה לשימור)
פרוטוקול השימור לאורות רבין יח' 1-4 אשר גובש על ידי מנהלי תחנות כוח לשעבר בחברת החשמל	10,000,000	\$	עלות שימור שנתית
פרוטוקול השימור לאורות רבין יח' 1-4 אשר גובש על ידי מנהלי תחנות כוח לשעבר בחברת החשמל	3,500,000	\$	עלות התנעת היחידות לאחר שימור

### תשתית מגזזת:

מקור	עלות	יח'	פרמטר
המשרד להגנ"ס	400	מ' נש	עלות הקמת מצופ
רשות הגז הטבעי	115,000	\$/ יום	עלות חכירת מגזזת
המשרד להגנ"ס (כ-5% מהחשמל המיוצר כיום)	3.05	TWh	כמות חשמל שניתן לייצר

### עלויות דלקים ועלויות חיצוניות:

#### עלויות לצרכן:

מקור	ערך	יח'	דלק
צוות העבודה הבין-משרדי לבחינת חלופות לאורות רבין 1-4	5.7	\$/ MMBTU	גז טבעי
רשות החשמל	9.00	\$/ MMBTU	גז טבעי נוזלי (גט"ן)
צוות העבודה הבין-משרדי לבחינת חלופות לאורות רבין 1-4	1.11	--	מקדם LHV (גז טבעי)
צוות העבודה הבין-משרדי לבחינת חלופות לאורות רבין 1-4	75	\$/ tonne	פחם
מחיר תאורטי בשער בתי הזיקוק ממוצע בשנים 2013-2015, על פי מנהל הדלק והגז. מחיר זה הינו מחיר משקי ללא	2.39	נש / ליטר	סולר

<u>עלויות חיצוניות (לא מחיר לצרכן)</u>			
--	--	--	--

### הכנסות המדינה:

מקור	ערך	יח'	דלק
המשרד להגנ"ס, בהתבסס על דוחות שפורסמו על ידי חברות הגז בדבר תחזיות להיקף המכירות מגז (BCM), היקף ההכנסות הצפויות והיקף תשלומי המס הצפויים.	45%	%	גז טבעי (שיעור הכנסות המדינה- בלו, היטל, מס חברות)
רשות המיסים	45.26	NIS / tonne	פחם (בלו)

### חישובי עלויות חיצוניות – פליטות מזהמים:

מקור	מחז"מ F (סולר)	מחז"מ H (גז טבעי)	אורות רבין 1-4 (מצב קיים)	פחם עם סולקנים	יח'	מזהם
אגף איכות אוויר, המשרד להגנת הסביבה	0.3	0.055	2.5	0.51	גר' / קוט"ש מיוצר	SO2
אגף איכות אוויר, המשרד להגנת הסביבה	0.7	0.273	4	0.51	גר' / קוט"ש מיוצר	NOx
אגף איכות אוויר, המשרד להגנת הסביבה	0.1	0.027	0.07	0.07	גר' / קוט"ש מיוצר	PM 10
אגף איכות אוויר, המשרד להגנת הסביבה	589	412	905	905	גר' / קוט"ש מיוצר	CO2

### חישובי עלויות חיצוניות – פליטות מזהמים:

מקור	ערך	יח'	מזהם
המשרד להגנ"ס	40,776	NIS / tonne	SO2
המשרד להגנ"ס	23,615	NIS / tonne	NOx
המשרד להגנ"ס	58,210	NIS / tonne	PM 10
המשרד להגנ"ס	81,643	NIS / tonne	PM 2.5
המשרד להגנ"ס	*119	NIS / tonne	CO2

\*בהתאם להנחת צוות העבודה הבין-משרדי (2015), הניתוח בוצע תוך התחשבות ב-50% מעלות הפחמן בלבד



## **נספח 3: פירוט ניתוחי רגישות**

## ניתוח רגישות 1 – צריכת חשמל

תיאור הניתוח: צריכת החשמל תגדל ל-92 TWh עד שנת 2030, במקום ל-80 TWh.

תוצאות מודל ההספק: תוספת ההספק הראשונה נדרשת בשנת 2022. עד שנת 2030 תידרש תוספת הספק של 1560 MW מחז"מ או לחלופין 2580 MW במתקני PV בשילוב באגירה שאובה בהספק של 300 MW.

אגירה שאובה		PV		מחז"מ		תוצאות ההספק הנדרש
הספק מצטבר	תוספת הספק שנתית	הספק מצטבר	תוספת הספק שנתית	הספק מצטבר	תוספת הספק שנתית	
-	-	-	-	-	-	שנה
-	-	-	-	-	-	2021
-	-	189	189	520	520	2022
-	-	1,096	907	520	-	2023
-	-	2,002	906	1,040	520	2024
-	-	2,067	65	1,040	-	2025
300	300	2,105	38	1,560	520	2026
300	-	2,580	475	1,560	-	2027
300	-	2,580	-	1,560	-	2028
300	-	2,580	-	1,560	-	2029
300	-	2,580	-	1,560	-	2030

החלופה הזולה ביותר: הקמת מחז"מ וגריטת אורות רבין 1-4, גיבוי בסולר:

השבתה ארוכה באספקת הגז		השבתה קצרה באספקת הגז		לא השבתות באספקת הגז		תוצאות ניתוח כלכלי
LCOE / אג' / קוט"ש	NPV (מ' ₪)	LCOE / אג' / קוט"ש	NPV (מ' ₪)	LCOE / אג' / קוט"ש	NPV (מ' ₪)	
26.48	47,468	26.48	47,468	26.48	47,468	סולקנים (תרחיש בסיס)
24.16	43,304	23.34	41,836	23.27	41,715	הקמת מחז"מ וגריטת אורות רבין 1-4, גיבוי ייצור גז בסולר
24.34	43,627	23.49	42,100	23.42	41,978	הקמת מחז"מ ושימור אורות רבין 1-4, גיבוי ייצור גז בסולר
25.42	45,568	24.69	44,329	24.67	44,226	הקמת מחז"מ וגריטת אורות רבין 1-4, גיבוי ייצור גז בגט"ן
25.71	46,075	24.88	44,593	24.82	44,490	הקמת מחז"מ ושימור אורות רבין 1-4, גיבוי ייצור גז בגט"ן
25.13	45,047	24.31	43,579	24.25	43,457	PV בתוספת אגירה וגריטת אורות רבין 1-4, גיבוי ייצור גז בסולר
25.31	45,370	24.46	43,843	24.39	43,721	PV בתוספת אגירה ושימור אורות רבין 1-4, גיבוי ייצור גז בסולר
26.40	47,311	25.70	46,072	25.65	45,969	PV בתוספת אגירה וגריטת אורות רבין 1-4, גיבוי ייצור גז בסולר וגט"ן
26.68	47,817	25.85	46,335	25.79	46,233	PV בתוספת אגירה ושימור אורות רבין 1-4, גיבוי ייצור גז בסולר וגט"ן

## ניתוח רגישות 2 – צריכת שיא

**תיאור הניתוח:** חישוב צריכת השיא לפי היחס המרבי בין שיא הצריכה לסף הצריכה השנתית, במקום היחס הממוצע.

**תוצאות מודל ההספק:** תוספת ההספק הראשונה נדרשת בשנת 2021. עד שנת 2030 תידרש תוספת הספק של 1560 MW מחז"מ או לחלופין 2580 MW במתקני PV בשילוב באגירה שאובה בהספק של 300 MW.

אגירה שאובה		PV		מחז"מ		שנה
הספק מצטבר	תוספת הספק שנתית	הספק מצטבר	תוספת הספק שנתית	הספק מצטבר	תוספת הספק שנתית	
-	-	-	-	520	520	2021
-	-	1,249	1,249	1,040	520	2022
-	-	1,814	565	1,040	-	2023
-	-	2,378	564	1,560	520	2024
-	-	2,378	-	1,560	-	2025
-	-	2,519	141	1,560	-	2026
300	300	2,519	-	1,560	-	2027
300	-	2,580	61	1,560	-	2028
300	-	2,580	-	1,560	-	2029
300	-	2,580	-	1,560	-	2030

**החלופה הזולה ביותר:** הקמת מחז"מ וגריטת אורות רבין 1-4, גיבוי בסולר

השבתה ארוכה באספקת הגז		השבתה קצרה באספקת הגז		ללא השבתות באספקת הגז		חלופה
LCOE (אג"ש) / קוט"ש	NPV (מ' ש"ח)	LCOE (אג"ש) / קוט"ש	NPV (מ' ש"ח)	LCOE (אג"ש) / קוט"ש	NPV (מ' ש"ח)	
26.48	47,468	26.48	47,468	26.48	47,468	סולקנים (תרחיש בסיס)
24.41	43,745	23.60	42,305	23.54	42,185	הקמת מחז"מ וגריטת אורות רבין 1-4, גיבוי ייצור גז בסולר
24.60	44,101	23.75	42,568	23.68	42,448	הקמת מחז"מ ושימור אורות רבין 1-4, גיבוי ייצור גז בסולר
25.67	46,013	24.95	44,798	24.94	44,697	הקמת מחז"מ וגריטת אורות רבין 1-4, גיבוי ייצור גז בגט"ן
25.97	46,552	25.14	45,061	25.08	44,960	הקמת מחז"מ ושימור אורות רבין 1-4, גיבוי ייצור גז בגט"ן
25.78	46,213	24.96	44,745	24.90	44,623	PV בתוספת אגירה וגריטת אורות רבין 1-4, גיבוי ייצור גז בסולר
25.96	46,535	25.11	45,008	25.04	44,886	PV בתוספת אגירה ושימור אורות רבין 1-4, גיבוי ייצור גז בסולר
27.05	48,476	26.35	47,237	26.30	47,135	PV בתוספת אגירה וגריטת אורות רבין 1-4, גיבוי ייצור גז בסולר וגט"ן
27.33	48,983	26.50	47,501	26.44	47,398	PV בתוספת אגירה ושימור אורות רבין 1-4, גיבוי ייצור גז בסולר וגט"ן

### ניתוח רגישות 3 – ירידת הספק ט"ג

תיאור הניתוח: ירידת הספק בטורבינות גז של 10% במקום 5% בחודשי הקיץ.

תוצאות מודל ההספק: תוספת ההספק הראשונה נדרשת בשנת 2027. עד שנת 2030 תידרש תוספת הספק של 1560 MW מחז"מ או לחלופין 1735 MW במתקני PV בשילוב באגירה שאובה בהספק של 300 MW.

אגירה שאובה		PV		מחז"מ		תוצאות ההספק הנדרש
הספק מצטבר	תוספת הספק שנתית	הספק מצטבר	תוספת הספק שנתית	הספק מצטבר	תוספת הספק שנתית	
-	-	-	-	-	-	2021
-	-	-	-	-	-	2022
-	-	-	-	-	-	2023
-	-	-	-	-	-	2024
-	-	-	-	-	-	2025
-	-	-	-	-	-	2026
-	-	183	183	520	520	2027
-	-	527	344	520	-	2028
300	300	709	182	1,040	520	2029
300	-	1,735	1,026	1,560	520	2030

החלופה הזולה ביותר: PV בתוספת אגירה וגריטת אורות רבין 1-4, גיבוי בסולר

השבתה ארוכה באספקת הגז		השבתה קצרה באספקת הגז		ללא השבתות באספקת הגז		תוצאות ניתוח כלכלי
LCOE (אג' / קוט"ש)	NPV (מ' שח)	LCOE (אג' / קוט"ש)	NPV (מ' שח)	LCOE (אג' / קוט"ש)	NPV (מ' שח)	
26.48	47,468	26.48	47,468	26.48	47,468	סולקנים (תרחיש בסיס)
23.48	42,087	22.66	40,619	22.59	40,497	הקמת מחז"מ וגריטת אורות רבין 1-4, גיבוי ייצור גז בסולר
23.66	42,410	22.81	40,883	22.74	40,761	הקמת מחז"מ ושימור אורות רבין 1-4, גיבוי ייצור גז בסולר
24.74	44,351	24.01	43,112	24.00	43,009	הקמת מחז"מ וגריטת אורות רבין 1-4, גיבוי ייצור גז בגט"ן
25.03	44,857	24.20	43,375	24.14	43,272	הקמת מחז"מ ושימור אורות רבין 1-4, גיבוי ייצור גז בגט"ן
22.01	39,448	21.19	37,980	21.12	37,858	PV בתוספת אגירה וגריטת אורות רבין 1-4, גיבוי ייצור גז בסולר
22.19	39,771	21.34	38,244	21.27	38,122	PV בתוספת אגירה ושימור אורות רבין 1-4, גיבוי ייצור גז בסולר
23.27	41,712	22.58	40,473	22.52	40,370	PV בתוספת אגירה וגריטת אורות רבין 1-4, גיבוי ייצור גז בסולר וגט"ן
23.55	42,218	22.73	40,736	22.67	40,633	PV בתוספת אגירה ושימור אורות רבין 1-4, גיבוי ייצור גז בסולר וגט"ן

## ניתוח רגישות 4 – מלוא הספק נדרש

תיאור הניתוח: מלוא ההספק יידרש במשק החשמל מיד עם השבתת אורות רבין 1-4

תוצאות מודל ההספק: תוספת ההספק נדרשת בשנת 2021, ועומדת על 1560 MW מחז"מ או

לחלופין 3258 MW במתקני PV בשילוב באגירה שאובה בהספק של 300 MW.

אגירה שאובה		PV		מחז"מ		תוצאות ההספק הנדרש
הספק מצטבר	תוספת הספק שנתית	הספק מצטבר	תוספת הספק שנתית	הספק מצטבר	תוספת הספק שנתית	
-	-	3,258	3,258	1,560	1,560	2021
-	-	3,258	-	1,560	-	2022
-	-	3,258	-	1,560	-	2023
-	-	3,258	-	1,560	-	2024
300	300	3,258	-	1,560	-	2025
300	-	3,258	-	1,560	-	2026
300	-	3,258	-	1,560	-	2027
300	-	3,258	-	1,560	-	2028
300	-	3,258	-	1,560	-	2029
300	-	3,258	-	1,560	-	2030

החלופה הזולה ביותר: הקמת מחז"מ וגריטת אורות רבין 1-4, גיבוי בסולר:

השבתה ארוכה באספקת הגז		השבתה קצרה באספקת הגז		ללא השבתות באספקת הגז		תוצאות ניתוח כלכלי
LCOE (אג' / קוט"ש)	NPV (מ' ₪)	LCOE (אג' / קוט"ש)	NPV (מ' ₪)	LCOE (אג' / קוט"ש)	NPV (מ' ₪)	
26.48	47,468	26.48	47,468	26.48	47,468	סולקנים (תרחיש בסיס)
24.59	44,074	23.82	42,691	23.75	42,576	הקמת מחז"מ וגריטת אורות רבין 1-4, גיבוי ייצור גז בסולר
24.84	44,515	23.96	42,954	23.90	42,839	הקמת מחז"מ ושימור אורות רבין 1-4, גיבוי ייצור גז בסולר
25.86	46,351	25.16	45,184	25.15	45,087	הקמת מחז"מ וגריטת אורות רבין 1-4, גיבוי ייצור גז בגט"ן
26.20	46,966	25.36	45,448	25.30	45,351	הקמת מחז"מ ושימור אורות רבין 1-4, גיבוי ייצור גז בגט"ן
28.77	51,574	28.42	50,945	28.39	50,892	PV בתוספת אגירה וגריטת אורות רבין 1-4, גיבוי ייצור גז בסולר
28.95	51,897	28.57	51,208	28.54	51,156	PV בתוספת אגירה ושימור אורות רבין 1-4, גיבוי ייצור גז בסולר
30.04	53,838	29.81	53,437	29.79	53,404	PV בתוספת אגירה וגריטת אורות רבין 1-4, גיבוי ייצור גז בסולר וגט"ן
30.49	54,657	29.96	53,701	29.96	53,667	PV בתוספת אגירה ושימור אורות רבין 1-4, גיבוי ייצור גז בסולר וגט"ן

## ניתוח רגישות 5 – שיעור היוון

**תיאור הניתוח:** שיעור היוון של 6.5% (בהתאם לצוות הבין-משרדי לבחינת חלופות לאורות רבין-1-4, 2015), במקום שיעור היוון חברתי של 3%.

**החלופה הזולה ביותר:** הקמת מחז"מ וגריטת אורות רבין 1-4, גיבוי ייצור גז בסולר

השבתה ארוכה באספקת הגז		השבתה קצרה באספקת הגז		ללא השבתות באספקת הגז		חלופה
LCOE (אג' / קוט"ש)	NPV (מ' ש)	LCOE (אג' / קוט"ש)	NPV (מ' ש)	LCOE (אג' / קוט"ש)	NPV (מ' ש)	
27.20	34,153	27.20	34,153	27.20	34,153	סולקנים (תרחיש בסיס)
21.88	27,472	20.82	26,144	20.73	26,034	הקמת מחז"מ וגריטת אורות רבין-1-4, גיבוי ייצור גז בסולר
22.04	27,673	20.94	26,292	20.85	26,181	הקמת מחז"מ ושימור אורות רבין-1-4, גיבוי ייצור גז בסולר
22.96	28,822	21.07	27,702	21.99	27,608	הקמת מחז"מ וגריטת אורות רבין-1-4, גיבוי ייצור גז בגט"ן
23.25	29,190	22.18	27,849	22.11	27,756	הקמת מחז"מ ושימור אורות רבין-1-4, גיבוי ייצור גז בגט"ן
22.03	27,665	20.98	26,337	20.89	26,227	PV בתוספת אגירה וגריטת אורות רבין 1-4, גיבוי ייצור גז בסולר
22.19	27,866	21.09	26,485	21.01	26,374	PV בתוספת אגירה ושימור אורות רבין 1-4, גיבוי ייצור גז בסולר
23.11	29,015	22.22	27,895	22.14	27,802	PV בתוספת אגירה וגריטת אורות רבין 1-4, גיבוי ייצור גז בסולר וגט"ן
23.40	29,383	22.33	28,042	22.33	27,949	PV בתוספת אגירה ושימור אורות רבין 1-4, גיבוי ייצור גז בסולר וגט"ן

## ניתוח רגישות 6 – יחידות ייצור להשלמת חשמל

**תיאור הניתוח:** השלמת ייצור החשמל הנדרשת תסופק על ידי מחזור פתוח במקום מחז"מ

**החלופה הזולה ביותר:** הקמת מחז"מ וגריטת אורות רבין 1-4, גיבוי ייצור גז בסולר

השבתה ארוכה באספקת הגז		השבתה קצרה באספקת הגז		ללא השבתות באספקת הגז		חלופה
LCOE (אג' / קוט"ש)	NPV (מ' ש)	LCOE (אג' / קוט"ש)	NPV (מ' ש)	LCOE (אג' / קוט"ש)	NPV (מ' ש)	
26.48	47,468	26.48	47,468	26.48	47,468	סולקנים (תרחיש בסיס)
23.79	42,641	22.66	40,621	22.57	40,453	הקמת מחז"מ וגריטת אורות רבין 1-4, גיבוי ייצור גז בסולר
23.54	42,189	22.81	40,884	22.72	40,716	הקמת מחז"מ ושימור אורות רבין 1-4, גיבוי ייצור גז בסולר
25.00	44,811	24.01	43,106	23.97	42,965	הקמת מחז"מ וגריטת אורות רבין 1-4, גיבוי ייצור גז בגט"ן
24.89	44,612	24.20	43,370	24.12	43,228	הקמת מחז"מ ושימור אורות רבין 1-4, גיבוי ייצור גז בגט"ן
25.16	45,092	24.03	43,072	23.94	42,904	PV בתוספת אגירה וגריטת אורות רבין 1-4, גיבוי ייצור גז בסולר
24.91	44,640	24.18	43,335	24.08	43,167	PV בתוספת אגירה ושימור אורות רבין 1-4, גיבוי ייצור גז בסולר
26.37	47,262	25.42	45,557	25.34	45,416	PV בתוספת אגירה וגריטת אורות רבין 1-4, גיבוי ייצור גז בסולר וגט"ן
26.26	47,063	25.56	45,821	25.56	45,679	PV בתוספת אגירה ושימור אורות רבין 1-4, גיבוי ייצור גז בסולר וגט"ן

## ניתוח רגישות 7 – עלויות שימור

תיאור הניתוח: גידול ב-20% בעלויות השימור

החלופה הזולה ביותר: הקמת מחז"מ וגריטת אורות רבין 1-4, גיבוי יצור גז בסולר.

השבתה ארוכה באספקת הגז		השבתה קצרה באספקת הגז		ללא השבתות באספקת הגז		חלופה
LCOE (אג' / קוט"ש)	NPV (מ' ₪)	LCOE (אג' / קוט"ש)	NPV (מ' ₪)	LCOE (אג' / קוט"ש)	NPV (מ' ₪)	
26.48	47,468	26.48	47,468	26.48	47,468	סולקנים (תרחיש בסיס)
20.37	36,514	19.55	35,046	19.48	34,924	הקמת מחז"מ וגריטת אורות רבין 1-4, גיבוי ייצור גז בסולר
20.59	36,903	19.74	35,377	19.67	35,255	הקמת מחז"מ ושימור אורות רבין 1-4, גיבוי ייצור גז בסולר
21.63	38,778	20.91	37,539	20.89	37,436	הקמת מחז"מ וגריטת אורות רבין 1-4, גיבוי ייצור גז בגט"ן
21.95	39,350	21.13	37,869	21.07	37,766	הקמת מחז"מ ושימור אורות רבין 1-4, גיבוי ייצור גז בגט"ן
20.38	36,538	19.57	35,070	19.50	34,948	PV בתוספת אגירה וגריטת אורות רבין 1-4, גיבוי ייצור גז בסולר
20.60	36,926	19.75	35,400	19.68	35,278	PV בתוספת אגירה ושימור אורות רבין 1-4, גיבוי ייצור גז בסולר
21.65	38,801	20.96	37,563	20.90	37,460	PV בתוספת אגירה וגריטת אורות רבין 1-4, גיבוי ייצור גז בסולר וגט"ן
21.97	39,374	21.14	37,893	21.14	37,790	PV בתוספת אגירה ושימור אורות רבין 1-4, גיבוי ייצור גז בסולר וגט"ן

## ניתוח רגישות 8 – מחיר הגז הטבעי

תיאור הניתוח: עלייה של 10% במחיר הגז הטבעי לצרכן, מ-5.7 MMBTU/\$ ל-6.3 MMBTU/\$

החלופה הזולה ביותר: הקמת מחז"מ וגריטת אורות רבין 1-4, גיבוי יצור גז בסולר

השבתה ארוכה באספקת הגז		השבתה קצרה באספקת הגז		ללא השבתות באספקת הגז		חלופה
LCOE (אג' / קוט"ש)	NPV (מ' ₪)	LCOE (אג' / קוט"ש)	NPV (מ' ₪)	LCOE (אג' / קוט"ש)	NPV (מ' ₪)	
26.48	47,468	26.48	47,468	26.48	47,468	סולקנים (תרחיש בסיס)
21.11	37,830	20.31	36,400	20.24	36,281	הקמת מחז"מ וגריטת אורות רבין 1-4, גיבוי ייצור גז בסולר
21.29	38,153	20.45	36,663	20.39	36,544	הקמת מחז"מ ושימור אורות רבין 1-4, גיבוי ייצור גז בסולר
22.37	40,094	21.66	38,892	21.64	38,793	הקמת מחז"מ וגריטת אורות רבין 1-4, גיבוי ייצור גז בגט"ן
22.65	40,601	21.85	39,156	21.79	39,056	הקמת מחז"מ ושימור אורות רבין 1-4, גיבוי ייצור גז בגט"ן
21.10	37,827	20.31	36,396	20.24	36,277	PV בתוספת אגירה וגריטת אורות רבין 1-4, גיבוי ייצור גז בסולר
21.28	38,149	20.45	36,659	20.39	36,540	PV בתוספת אגירה ושימור אורות רבין 1-4, גיבוי ייצור גז בסולר
22.37	40,090	21.70	38,889	21.64	38,789	PV בתוספת אגירה וגריטת אורות רבין 1-4, גיבוי ייצור גז בסולר וגט"ן
22.65	40,597	21.84	39,152	21.84	39,052	PV בתוספת אגירה ושימור אורות רבין 1-4, גיבוי ייצור גז בסולר וגט"ן

## ניתוח רגישות 9 – מחיר הפחם

תיאור הניתוח: הוזלה של 10% במחיר הפחם לצרכן, מ-75\$/טון ל-68\$/טון

החלופה הזולה ביותר: הקמת מחז"מ וגריטת אורות רבין 1-4, גיבוי יצור גז בסולר

השבתה ארוכה באספקת הגז		השבתה קצרה באספקת הגז		ללא השבתות באספקת הגז		חלופה
LCOE (אג' / קוט"ש)	NPV (מ' ₪)	LCOE (אג' / קוט"ש)	NPV (מ' ₪)	LCOE (אג' / קוט"ש)	NPV (מ' ₪)	
25.34	45,411	25.34	45,411	25.34	45,411	סולקנים (תרחיש בסיס)
20.26	36,312	19.44	34,844	19.37	34,722	הקמת מחז"מ וגריטת אורות רבין 1-4, גיבוי ייצור גז בסולר
20.41	36,584	19.59	35,107	19.52	34,985	הקמת מחז"מ ושימור אורות רבין 1-4, גיבוי ייצור גז בסולר
21.52	38,575	20.79	37,337	20.77	37,234	הקמת מחז"מ וגריטת אורות רבין 1-4, גיבוי ייצור גז בגט"ן
21.78	39,032	20.98	37,600	20.92	37,497	הקמת מחז"מ ושימור אורות רבין 1-4, גיבוי ייצור גז בגט"ן
20.27	36,335	19.45	34,867	19.38	34,745	PV בתוספת אגירה וגריטת אורות רבין 1-4, גיבוי ייצור גז בסולר
20.42	36,608	19.60	35,130	19.53	35,008	PV בתוספת אגירה ושימור אורות רבין 1-4, גיבוי ייצור גז בסולר
21.53	38,599	20.84	37,360	20.79	37,257	PV בתוספת אגירה וגריטת אורות רבין 1-4, גיבוי ייצור גז בסולר וגט"ן
21.79	39,055	20.99	37,623	20.99	37,520	PV בתוספת אגירה ושימור אורות רבין 1-4, גיבוי ייצור גז בסולר וגט"ן

## ניתוח רגישות 10 – תקופת חכירת מגזזת

תיאור הניתוח: מגזזת תוחכר לאורך כל השנה במקום ל-7 חודשים

החלופה הזולה ביותר: הקמת מחז"מ וגריטת אורות רבין 1-4, גיבוי יצור גז בסולר

השבתה ארוכה באספקת הגז		השבתה קצרה באספקת הגז		ללא השבתות באספקת הגז		חלופה
LCOE (אג' / קוט"ש)	NPV (מ' ₪)	LCOE (אג' / קוט"ש)	NPV (מ' ₪)	LCOE (אג' / קוט"ש)	NPV (מ' ₪)	
26.48	47,468	26.48	47,468	26.48	47,468	סולקנים (תרחיש בסיס)
20.37	36,514	19.55	35,046	19.48	34,924	הקמת מחז"מ וגריטת אורות רבין 1-4, גיבוי ייצור גז בסולר
20.55	36,837	19.70	35,310	19.63	35,188	הקמת מחז"מ ושימור אורות רבין 1-4, גיבוי ייצור גז בסולר
22.48	40,301	21.76	39,063	21.74	38,960	הקמת מחז"מ וגריטת אורות רבין 1-4, גיבוי ייצור גז בגט"ן
22.77	40,808	21.94	39,326	21.88	39,223	הקמת מחז"מ ושימור אורות רבין 1-4, גיבוי ייצור גז בגט"ן
20.38	36,538	19.57	35,070	19.50	34,948	PV בתוספת אגירה וגריטת אורות רבין 1-4, גיבוי ייצור גז בסולר
20.56	36,860	19.71	35,333	19.64	35,211	PV בתוספת אגירה ושימור אורות רבין 1-4, גיבוי ייצור גז בסולר
22.50	40,325	21.81	39,086	21.75	38,983	PV בתוספת אגירה וגריטת אורות רבין 1-4, גיבוי ייצור גז בסולר וגט"ן
22.78	40,831	21.95	39,349	21.95	39,246	PV בתוספת אגירה ושימור אורות רבין 1-4, גיבוי ייצור גז בסולר וגט"ן