

תאריך: 09/03/2020
י"ג/אדר/תש"פ
מספר: 785/36/2020

אל: מר מוחמד חאג' יחיא - מנהל אגף תחזיות ופיתוח משק החשמל - רשות החשמל

הנדון: הגדלת יעדי הייצור באנרגיה מתחדשת ל-30% בשנת 2030 - פרק ייצור
סימוכין: פנית מר מוחמד חאג' יחיא, מנהל אגף תחזיות ופיתוח משק החשמל ברשות החשמל,
מתאריך 26.1.2020

1. תקציר מנהלים

בהמשך לפנייתכם במסמך שבסימוכין מוצגת בעבודה זו בחינה ראשונית של השלכות עמידה ביעד של 30% אנרגיות מתחדשות על מערך הייצור במשק החשמל בישראל. מסמך זה מהווה עבודה ראשונית, אשר ניתן היה להכין בל"ז שהוקצה, המציג השלכות על מערכת הייצור לצורך עמידה ביעד המוצע. להלן הממצאים העיקריים של העבודה:

1.1 תכניות פיתוח ומשטר הפעלה לשנים: 2021 עד 2040

נבחנו 4 חלופות לתכנית הפיתוח עבור השנים 2021-2040. חלופות אלו מאלצות הגעה ל-30% אנרגיה מתחדשת בשנת 2030 ושמירה על שעור זה החל משנה זו. בהתאם לאופטימיזציה, בכל החלופות, אין צורך לתוספת גנרציה של יחידות ייצור במערכת עד שנת 2028 מעבר למצוין בהנחות היסוד.

להלן החלופות שנבחנו:

1. חלופת ייחוס - ללא שילוב של מתקני אגירה בתכנית הפיתוח.
2. שילוב מתקני אגירה בסוללות בתרחיש עלות גבוהה יחסית.
3. שילוב מתקני אגירה בסוללות בהתאם להנחות רשות החשמל (המניחות בין היתר שעלויות המתקנים נמוכות יחסית).
4. חלופה 2 עם שילוב תוספת מתקני אגירה שאובה.

רק חלופת הפיתוח הראשונה נבדקה באופן מלא הכולל בדיקת יציבות דינמית של מערכת הייצור והגז.

חלופות 2-3 נועדו לתת מעטפת לאי הוודאות הגדולה שקיימת כיום לגבי העלויות העתידיות של הסוללות והן משקפות שני תרחישים שונים לחיזוי קצב הוזלת העלויות העתידי של הסוללות.

להלן תמצית תכניות הפיתוח המתקבלות עבור החלופות השונות:

תוספת הספק למערכת ב-MW לפי טכנולוגיה בין השנים 2021-2040:

חלופה	מחז"מ	ט"ג	מתקני אגירה	פוטוולטאי	רוח, ביוגז, ביומסה
חלופה 1	7,033	8,108	500	17,081	760
חלופה 2	7,033	2,797	4,900	16,605	760
חלופה 3	5,635	2,571	6,500	16,589	760
חלופה 4	7,965	2,232	4,500	16,589	760

סה"כ ההספק המותקן של אנרגיה סולרית בשנת 2030 יעמוד על כ- 15 GW ובשנת 2040 יגיע לכ- 20 GW. סה"כ ההספק הכולל בחלופות 2-4 של מתקני האגירה (ללא מתקנים לשירותים נלווים) בשנת 2030 יהיה בין 1 ל- 3 GW ובשנת 2040 בין 5 ל- 7 GW. ההספק המותקן של מתקני אגירה בחלופה 1 הינו 800 MW (הספק מתקני האגירה השאובה המאושר היום ע"י הרשות).

בהעדר מתקני אגירה, מקדם התפוקה של מתקנים פוטוולטאים קטן יותר עקב צורך בניית חלק מהם בשעות בהן קיימת אנרגיה מושלכת. לכן בחלופה 1 ההספק המותקן הנדרש של מתקנים פוטוולטאים גבוה יותר.

בחלופה 3 בה מתקני האגירה הזולים ביותר, בוצעה הקדמה של מתקני אגירה על מנת לצמצם את האנרגיה המושלכת.

מהיבט צריכת גז ופליטות, לא קיים הבדל מהותי בסך צריכת הגז ובהיקף הפליטות בין החלופות השונות.

1.2. יציבות דינמית של מערכת הגז הטבעי בשנת 2030

נעשתה בחינה ראשונית של מצבים קיצוניים במערכת הגז בשנת 2030 בתנאי ייצור 30% של אנרגיות מתחדשות בחלופה 1, המניחה שאין שילוב מתקני אגירה בתכנית הפיתוח. התוצאות מראות שמערכת הגז לא יכולה להתמודד עם התנודתיות החדה של לחצי הגז במשך היום. כתוצאה מכך מתקני PRMS במספר תח"כ צריכים להיסגר עקב לחצים נמוכים במערכת הגז. יציבות מערכת הגז מאוד תלויה בעקום הספקת הגז למצרים וירדן.

1.3. בדיקה דינמית של התנהגות התדר בשנת 2030

בשלב זה, ניתוח התופעות הדינמיות בוצע עבור חלופה 1, ללא שילוב מתקני אגירה בסוללות בתכנית הפיתוח. מהתוצאות הראשוניות נמצא כי:

- על מנת להכין את מערכת החשמל להתמודדות עם היקפים גבוהים של ייצור מתקנים פוטוולטאיים, יש להכין תשתית לקיטום של מתקנים פוטוולטאיים בהיקפים גבוהים. לדוגמה, נמצא שעבור ייצור מתקנים פוטוולטאיים של כ- 12900 MW, יהיה צורך בקיטום של כ- 4700 MW, שמהווה כ- 37% מכלל הספק הייצור הפוטוולטאי.
- הפסקה מאולצת של יחידת ייצור בודדת גורמת להשלת עומס בשעות רבות במשך היממה. לכן נדרש להגדיר אילוץ נוסף של "עתודה מיידית נדרשת" בפתרון בעיית ההעמסה האופטימלית. בנוסף, נדרש לקבוע ערך גבוה יותר של עתודה סובבת שיתאים לשילוב יחידות עם הספקים גדולים יותר בעתיד.
- שילוב אנרגיות מתחדשות בהיקף נרחב גורם לסיכון של קצב שינוי תדר מעל 0.5 Hz/s בהפסקה של יחידה בודדת במשך מספר שעות ביום, ברוב ימות השנה. לאור העובדה שמדינת ישראל מהווה אי חשמלי מבודד, נדרש למשל להוסיף למערכת מומנט אינרציה בהיקף של כ- 250,000 kg·m², השווה ערך ל-10 יחידות פחמיות קטנות בתחנת הכוח אורות רבין, או 3-4 יחידות מחז"ם גדולות. לנושא זה קיימים פתרונות שנדרש יהיה להיערך אליהם מבעוד מועד (כגון הוספת קונדנסטורים סינכרוניים).
- מהערכה ראשונית של שינויים בהספק מתקנים פוטוולטאים בעקבות תנועת עננים התקבלו ערכים מרביים של 690 מגווא"ט לדקה, ו- 1400 מגווא"ט ל- 3 דקות. תנודות משמעותיות אלה השפיעו על תדר המערכת וגרמו להפסקת אגירה שאובה ואף להשלכות צרכנים. הפתרון לבעיה זו דורש קיטום של ייצור מתקנים פוטוולטאיים בהיקפים נרחבים או הכנסת מתקני אגירת אנרגיה בסוללות.

1.4. גמישות תפעולית העתידית

- עקב הכניסה המוגברת הצפויה של יחידות פוטוולטאיות, צפויים שינויים משמעותיים במשטרי התפעול. עקום הביקוש בניכוי אנרגיות מתחדשות יתאפיין בשינויים חדים ומהירים משעה לשעה שעלול להביא להיווצרות אנרגיה בלתי מסופקת עקב חוסר יכולת לתת מענה לשינויים בעומס.
- יצרני החשמל הקובבנציונאליים ידרשו לעבוד במשטר Two Shift ולבצע 200-300 התנעות בשנה (לצורך השוואה, כיום רוב יחידות המחז"מים של חח"י מבצעות כ-30 התנעות בשנה ויצרנים פרטיים גדולים מבצעים מספר התנעות בודדות).
- בכל החלופות לא יהיה מנוס מלנתק יחידות פוטוולטאיות.
- שילוב מתקני אגירה הינו הכרחי בהפעלה של מערכת הייצור :
 - יקטין את קצב שינוי העומס ביחידות התרמיות שיאפשר לעקוב אחריו ובכך ימנע היווצרות אנרגיה בלתי מסופקת

- יקטין את מספר השעות בהן יש צורך בניתוק יחידות פוטוולטאיות ויצמצם את כמות האנרגיה המושלכת
- יצמצם את כמות ההתנעות של יחידות קונבנציונליות.
- יש חשיבות רבה לתת מענה הסדרתי לתפעול מערכת החשמל בעידן החדש, על מנת להבטיח שהיחידות החדשות שישולבו במערכת יוכלו לבצע מספר רב של התנעות ושתהיה אפשרות טכנולוגית לשלוט על המתקנים הפוטוולטאים.

1.5. המלצות

נדרש להשלים את העבודה כך שתכלול את השלכות העמידה ביעד של 30% אנרגיות מתחדשות על מערכת החשמל מכלל ההיבטים, בפרט לאור ההשפעה של ייצור אנרגיה ממקור סולארי בשיעורים גבוהים מאד, הן מבחינה תפעולית והן מבחינה דינמית.

יש להתמקד בהשלמת העבודה בנושאים הבאים:

- בחינת ההשפעה של חדירת רכבים חשמליים על משק החשמל בכלל ועל עבודה זו בפרט.
- בדיקת ההשלכות של חיבור תת ימי עם קפריסין ויוון על ממצאי עבודה זו.
- בדיקת של תוספת עלויות וחסכון בפליטות מזהמים הנובעות מהגדלת יעד של אנרגיות מתחדשות מ-17% ל-30% בכל אחת מהחלופות שיבדקו.
- ביצוע בחינה מעמיקה בשיתוף נתג"ז שתבדוק פתרונות שונים לטובת שיפור ייצוב מערכת הגז.
- השלמת הניתוח הדינמי לכלל החלופות.
- בדיקת ההיקף המרבי של קיטום מתקנים פוטוולטאיים על מנת להתאים לרמת הצריכה.
- הגדרת אילוץ נוסף של "עתודה מיידית נדרשת" בפתרון בעיית ההעמסה האופטימלית.
- קביעת ערך חדש של עתודה סובבת נדרשת, בחלופות השונות, שיתאים לשילוב יחידות עם הספקים גדולים יותר בעתיד.
- בדיקת ההיקף של קיטום מתקנים פוטוולטאיים על מנת להקטין את התנודות הצפויות בעקבות תנועת העננים.
- בחינת אמצעים לשיפור יכולת תגובה דינמית של מערכת הכוללים:
 - מתקני אגירת אנרגיה עם תגובה מיידית (סוללות, קבלי-על וכו')
 - השתתפות צרכנים בבקרת תדר (Demand side Response)
 - מתקני אגירה שאובה נוספים עם עומס משתנה
 - הקמה מתקנים פוטוולטאיים עם יכולת שמירת עתודה והשתתפות בבקרת תדר
 - שיפור גמישות של יחידות קונבנציונליות (קיטוריות ומחז"מ)
- קביעת שילוב של האמצעים האלה באופן אופטימלי מבחינת אמינות אספקה מרבית ועלות מינימלית לצרכן.

2. רקע

שר האנרגיה, ד"ר יובל שטייניץ, פנה ב-23.12.2019 לרשות החשמל בבקשה להיוועצות לצורך גיבוש עקרונות מדיניות שעיקרן הגדלת יעדי ייצור חשמל באנרגיות מתחדשות באופן שיביא בחשבון את התועלת והעלויות הכלכליות של החלופות השונות ולצעדים הנדרשים לשם עמידה ביעדים.

בהמשך לבקשת השר, פנתה רשות החשמל לאגף תפ"ט בבקשה לבחון את ההשלכות של עמידה ביעד על מערך הייצור, על פיתוח הרשת, וכן לקבל המלצות על צעדים רגולטוריים, לרבות בתחום הסטטוטורי, וצעדים נוספים הנדרשים על מנת לממש את יעדי הייצור של 30% אנרגיות מתחדשות, וזאת בהתאם לתוצאות הבדיקות שנעשו באגף.

במסמך זה נציג את ההשלכות של עמידה ביעד של 30% אנרגיות מתחדשות על:

- הפיתוח הנדרש למערך הייצור הקובבנציונלי לרבות הספק הנדרש, סוג הטכנולוגיה ומועדי הכניסה הנדרשים ליחידות החדשות
- כמות וסוג האגירה הנדרשת, ומועדי כניסה של מתקני האגירה
- משטר ההפעלה האופטימלי של יחידות הייצור
- התפלגות הייצור לפי סוג דלק
- כמות צפויה של פליטות מזהמים
- השלכות נוספות על מערך בייצור

פרמטרים אלו מהווים את השלב הראשון של הבדיקות שהתבקשו לעשות. שאר הבדיקות יתבססו על תוצאות אלו.

השלכות אלו חושבו באמצעות:

- חישוב תכניות הפיתוח באמצעות מודל EGEAS, אשר במסגרתו נבחנה הקמתן של יחידות ייצור חשמל חדשות וזאת עבור כל תרחיש שנבדק בעבודה הנוכחית.
- ביצוע דימוי כרונולוגי מפורט של פעולת מערכת הייצור עבור התקופה הנבדקת באמצעות מודל ה-UCOD.

יודגש שתוצאות האופטימיזציה של תכנית פיתוח ומשטרי הפעלה המוצגות במסמך זה הינם ראשוניים בלבד. בחינה מעמיקה של השלכות עמידה ביעד של 30% אנרגיות מתחדשות על מערכת הייצור דורשת עבודה מקיפה, שאינה ניתנת לביצוע בזמנים שהוקצו לנו בפנייה של הרשות שבסימוכין. מסמך מקיף המציג השלכות אלו ישלח לאחר בחינה מעמיקה של ההשפעה של ייצור אנרגיה ממקור סולארי בשיעורים שאינם קיימים כיום בעולם, הן מבחינה תפעוליות והן מבחינה דינמית.

3. ייצור חשמל מאנרגיות מתחדשות בעולם

כיום, חלק גדול ממדינות העולם אימצו מדיניות לקידום אנרגיות מתחדשות. מגמת שילוב של אנרגיות מתחדשות מתחזקת בעקבות שיפורים טכנולוגיים וירידה משמעותית בעלויות הייצור של אנרגיות אלו, בפרט עלויות הייצור באמצעות מתקנים פוטוולטאים.

מקורות האנרגיות המתחדשות העיקריים הם: מים (Hydropower), רוח, ביומסה, סולארי וגאותרמי.

טבלה מס' 1 שלהלן, המציגה את התפלגות הייצור של אנרגיות מתחדשות של המדינות בעלות השיעור גבוה ביותר של ייצור אנרגיה סולארית מסך הייצור, מראה שכיום משק החשמל בו חלקה של האנרגיה הסולארית גבוה ביותר מגיע ל-14.6% במשק החשמל הקטן שבמלטה (משק עם ייצור בשנת 2016 בסך 133.4 GWh). בין המשקים הגדולים, חלקה של האנרגיה הסולארית במשקי החשמל בגרמניה ובאיטליה הוא הגבוה ביותר. בשנת 2019 חלקן של האנרגיות המתחדשות במשק הגרמני מגיע לכ-46%, כשחלקה של האנרגיה הסולארית הינו רק כ-9%. במשק האיטלקי, בשנת 2016 חלקן של האנרגיות המתחדשות מגיע לכ-37%, כשחלקה של האנרגיה הסולארית הינו רק כ-18%.

¹ במדינת קליפורניה בארה"ב, מדינה הידועה בחלקו הגדול של ייצור אנרגיות מתחדשות (כ-31% בשנת 2018), חלקו של ייצור ממקורות סולאריים מסך הייצור בקליפורניה (California Power Mix) בשנת 2018 הינו כ-11%, וחלקו של ייצור זה מהייצור בקליפורניה (California In-State Generation) כ-14% (מקור: California Energy Commission).

טבלה מס' 1: התפלגות הייצור במדינות בעלות השיעור הגבוה ביותר של ייצור אנרגיה סולארית²

Country	Year	Total (GWh)	Total RE (GWh)	RE % of total	Hydropower			Wind power			Biomass and waste			Solar power			Geothermal		
					GWh	% of total	% of RE	GWh	% of total	% of RE	GWh	% of total	% of RE	GWh	% of total	% of RE	GWh	% of total	% of RE
Malta	2016	856	133.4	15.6%		0.0%	0.0%	0.4	0.0%	0.3%	8	0.9%	6.0%	125	14.6%	93.7%			
Yemen	2016	5,045	549	10.9%		0.0%	0.0%		0.0%	0.0%		0.0%	0.0%	549	10.9%	100.0%			
Honduras	2016	8,783	4,404	50.1%	2353.6	26.8%	53.4%	582.9	6.6%	13.2%	575.7	6.6%	13.1%	891.7	10.2%	20.2%			
Germany	2019	514,860	237,610	46.2%	19,430	3.8%	8.2%	127,230	24.7%	53.5%	44,420	8.6%	18.7%	46,540	9.0%	19.6%			
Italy	2016	289,768	108,036	37.3%	44,257	15.3%	41.0%	17,689	6.1%	16.4%	19,509	6.7%	18.1%	22,117	7.6%	20.5%	6289	2.2%	5.8%
Greece	2016	54,438	14,893	27.4%	5565	10.2%	37.4%	5146	9.5%	34.6%	274	0.5%	1.8%	3930	7.2%	26.4%			
Spain	2016	274,779	104,639	38.1%	39,865	14.5%	38.1%	48,906	17.8%	46.7%	5689	2.1%	5.4%	13,649	5.0%	13.0%			
Japan	2016	1,057,976	158,822	15.0%	85,083	8.0%	53.6%	9612	0.9%	6.1%	16,847	1.6%	10.6%	50,952	4.8%	32.1%	2509	0.2%	1.6%
Luxembourg	2016	2,196	455.7	20.8%	1528	69.6%	335.3%	101	4.6%	22.2%	139.7	6.4%	14.5%	100	4.6%	10.3%			
United Kingdom	2018	332,893	110,019	33.0%	5,490	1.6%	5.0%	56,904	17.1%	51.7%	34,759	10.4%	31.6%	12,857	3.9%	11.7%			
Belgium	2016	85,520	14,168	16.6%	1489	1.7%	10.5%	5436	6.4%	38.4%	5276	6.2%	37.2%	3086	3.6%	21.8%			
Namibia	2016	1,421	1,411	99.3%	1359	95.6%	96.3%	0.1	0.0%	0.0%	0.2	0.0%	0.0%	51.6	3.6%	3.7%			
Curacao	2016	884	229.1	25.9%		0.0%	0.0%	200	22.6%	87.3%		0.0%	0.0%	29.1	3.3%	12.7%			
Chile	2016	79,308	34,319	43.3%	23,274	29.3%	67.8%	2449	3.1%	7.1%	5957	7.5%	17.4%	2639	3.3%	7.7%			
Bulgaria	2016	45,277	7106	15.7%	4568	10.1%	64.3%	1425	3.1%	20.1%	353	0.8%	5.0%	1386	3.1%	19.5%			
Cyprus	2016	4,887	424	8.7%		0.0%	0.0%	226	4.6%	53.3%	52	1.1%	12.3%	146	3.0%	34.4%			
Benin	2016	355	11.2	3.2%	1	0.3%	8.9%		0.0%	0.0%		0.0%	0.0%	10.2	2.9%	91.1%			
Romania	2016	65,103	26,969	41.4%	18,536	28.5%	68.7%	6590	10.1%	24.4%	531	0.8%	2.0%	1820	2.8%	6.7%	0.1	0.0%	0.0%
Jordan	2016	19,731	959	4.9%	41.6	0.2%	4.3%	390.7	2.0%	40.7%	6.5	0.0%	0.7%	520.2	2.6%	54.2%			
Niger	2016	526	13.1	2.5%		0.0%	0.0%		0.0%	0.0%		0.0%	0.0%	13.1	2.5%	100.0%			
India	2018	1,550,564	261,790	16.88%	143,743	9.3%	54.9%	62,036	4.0%	23.7%	16,325	1.1%	6.2%	39,268	2.5%	15.0%			
Australia	2016	256,563	37,205	14.5%	15,318	6.0%	41.2%	12,199	4.8%	32.8%	3722	1.5%	10.0%	6209	2.4%	16.7%	1	0.0%	0.0%
Denmark	2016	30,522	18,451	60.5%	19	0.1%	0.1%	12,771	41.8%	69.2%	4917	16.1%	26.6%	744	2.4%	4.0%			
Israel	2016	66,976	1,656	2.5%	23.1	0.0%	1.4%	64.4	0.1%	3.9%	170.7	0.3%	10.3%	1,398	2.1%	84.4%			
Switzerland	2016	63,175	37,809	59.8%	36,689	58.1%	97.0%	109	0.2%	0.3%	1743	2.8%	4.6%	1333	2.1%	3.5%			
Slovakia	2016	27,064	6629	24.5%	4606	17.0%	69.5%	6	0.0%	0.1%	1731	6.4%	26.1%	533	2.0%	8.0%			
Senegal	2016	4,457	461.4	10.4%	359.4	8.1%	77.9%		0.0%	0.0%	15.1	0.3%	3.3%	86.9	1.9%	18.8%			
Togo	2016	232	169.6	73.1%	165.1	71.2%	97.3%		0.0%	0.0%		0.0%	0.0%	4.4	1.9%	2.6%			
Thailand	2016	191,321	25,047	13.1%	4,128	2.2%	16.5%	345	0.2%	1.4%	17,672.6	9.2%	70.6%	3377	1.8%	13.5%	1.3	0.0%	0.0%
Slovenia	2016	16,500	5057	30.6%	4782	29.0%	94.6%	6	0.0%	0.1%	281	1.7%	5.6%	267	1.6%	5.3%			
Lithuania	2016	4,226	2088	49.4%	1044	24.7%	50.0%	1136	26.9%	54.4%	432	10.2%	20.7%	66	1.6%	3.2%			
Guatemala	2016	12,450	6,435	51.7%	3,951	31.7%	61.4%	215.1	1.7%	3.3%	1778	14.3%	27.6%	201.3	1.6%	3.1%	289.1	2.3%	4.5%
Austria	2016	68,351	50,772	74.3%	42,919	62.8%	84.5%	5235	7.7%	10.3%	4603	6.7%	9.1%	1096	1.6%	2.2%			

מקור: ² List of countries by electricity production from renewable sources, Wikipedia

המקור העיקרי של אנרגיות מתחדשות במשק החשמל הישראלי הינו סולארי. עם השגת יעד אנרגיות המתחדשות בשנת 2030, חלקו של הייצור הסולארי בישראל צפוי להיות כ-27%. נכון להיום, מאפיין זה ייחודי למשק הישראלי. כפי שיפורט בהמשך מסמך זה ובשלב הבאים של העבודה שהתבקשנו לעשות, שילוב מאסיבי של אנרגיה סולארית מעמיד בפני המשק אתגרים רבים - הן מבחינת גמישות תפעולית והן מבחינה דינמית. המשק הישראלי יהיה המשק בו חלקה של האנרגיה הסולארית יהיה הגבוה ביותר. אמנם בתחילת הדרך להשגת היעד של 30% אנרגיות מתחדשות נוכל ללמוד מניסיונם של משקים אחרים, אך סביר להניח שנהיה החלוצים בין משקי העולם להגיע לרמות של מעל 25%-20% אנרגיה סולארית. לעובדה זו יש להוסיף את היותה של ישראל אי חשמלי, ללא אפשרות לייבא חשמל בזמני שיא ולייצוא עודפי ייצור של המתקנים הסולאריים, דבר שיקשה מאוד על תפעול המערכת. לכן, נצטרך למצוא בעצמנו ומניסיוננו את הדרך להתמודד עם הבעיות התפעוליות והדינמיות הצפויות, הנובעות מייצור עם השיעורים הגבוהים בעולם של אנרגיה סולארית. ההערכות על מנת לתמוך בהשגת יעד של 30% אנרגיות מתחדשות והתמודדות עם הבעיות התפעוליות הצפויות תהיה כרוכה בהוספת/שיפור אמצעים למשק החשמל (כגון שינוי גודל הרזרבה הסובבת, שימוש נרחב במתקני אגירה או מתקנים אחרים לצרכים תפעוליים ודינמיים). לכן, הכרחי יהיה לבחון את כלל המשמעויות הנגזרות ממעבר מיעד של 17% ל-30% אנרגיה מתחדשת.

4. גמישות תפעולית – קצב שינוי העומס ויכולת עבודה בעומסים נמוכים

לאור הכניסה המוגברת של ייצור באנרגיה מתחדשת בהתאם ליעד של 30% אנרגיות מתחדשות, קיימים שינויים משמעותיים בעקום הביקוש העתידי לאחר הפחתת אנרגיות מתחדשות. העקום החדש מתאפיין בשינויים חדים ומהירים והוא מקבל את צורת ה-Duck Curve (ראה איור מס' 1).

העקום לעיל מתאפיין בקטעים מאתגרים במיוחד:

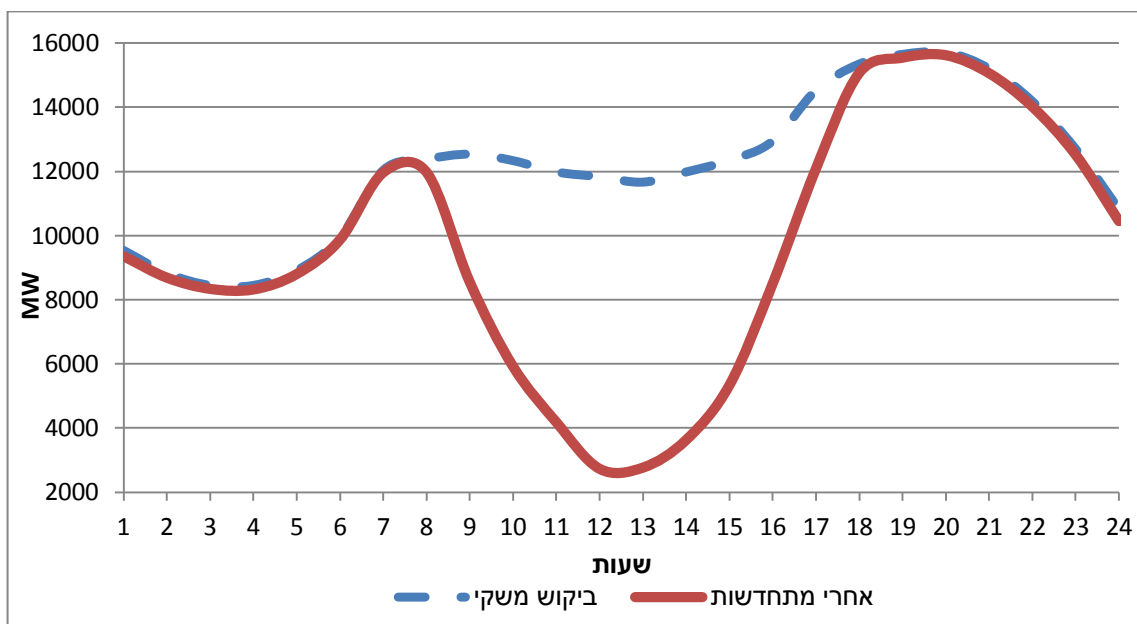
✓ **שעות כניסת השמש:** בשעות הללו קיימת ירידה חדה בעקום, שנובעת מכניסה של אמצעי ייצור פוטוולטאיים עם עליית השמש. בשנת 2030 ניתן לראות שקצב הירידה האופייני לשעות הללו הוא 8000-9500 מגווא"ט בארבע שעות.

✓ **שעות ירידת השמש (שקיעה):** בשעות הללו קיימת עלייה חדה בעקום שמתרחשת עם הירידה בהיקף הקרינה בשעות השקיעה. גם כאן, קצב שינוי העומס הוא של 9000-10000 מגווא"ט לארבע שעות בתקופת החורף, ושל כ-8000 מגווא"ט לארבע שעות בתקופת הקיץ. בשני המקרים שתוארו, קצב השינוי לשעה מגיע לכ-4000 מגווא"ט (67 מגווא"ט

לדקה) וככל שעקום הביקוש יגדל, השינויים יגדלו גם הם (5000 מגווא"ט לשעה בשנת 2040).

יודגש, שנכון להיום שינויי העומס הגדולים והמהירים עשויים להגיע עד לכ- 1400 מגווא"ט לשעה (25 מגווא"ט לדקה), והם מתרחשים בשעות הבוקר המוקדמות (5:00-7:00 בבוקר).

איור מס' 1: עקום ביקוש יומי אופייני בחורף בשנת 2030

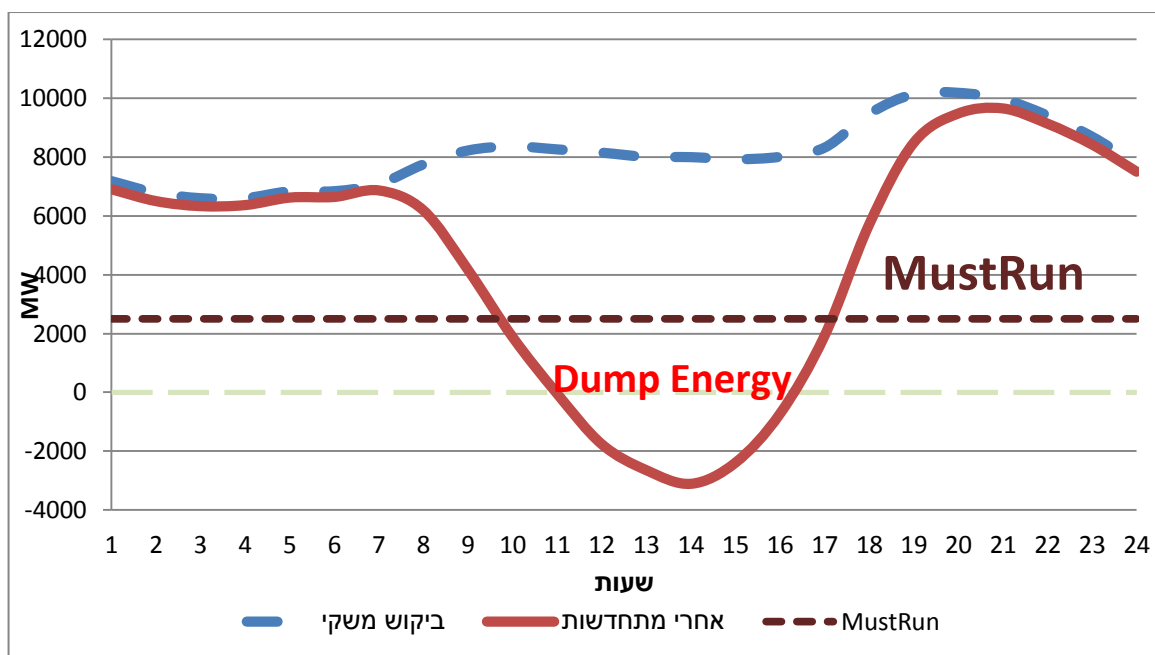


שעות השמש: חדירה מאסיבית של יחידות פוטוולטאיות מובילה למצבים בהם הייצור של היחידות הנ"ל גבוה מהביקוש. תופעה זו מתרחשת בעיקר בעונות המעבר, בסופי שבוע ובחגים, שמתאפיינים בביקושים נמוכים יחסית. מעבר למצבים שתוארו, למערכת קיים גם סף עומסי מינימום ביחידות הפוסיליות שנובע ממגבלות טכניות ותפעוליות, כ- 2000-3000 מגווא"ט, שממנו לא ניתן לחרוג (ראה איור מס' 2). למצבים הללו בהם נוצר "עומס שלילי" קיימים שני פתרונות:

- **ניתוק יחידות פוטוולטאיות:** ניתוק היחידות יקטין את ייצור האנרגיות המתחדשות שעובר לרשת. לכן, על מנת להצליח לעמוד ביעד של 30% אנרגיות מתחדשות יידרש להקים אמצעי ייצור פוטוולטאיים נוספים, מעבר לתכנון שאינו כולל Dump Energy.
- **שימוש באמצעי אגירה שונים להם יתרונות רבים:**
 - ✓ מייצרים "ביקוש פיקטיבי" שפותר את בעיית עומסי המינימום של היחידות הפוסיליות שתוארה

- ✓ מספקים אנרגית "גישור" בשעות של עליית עומס
- ✓ מאפשרים סגירה מבוקרת של יחידות ייצור במקרה של ירידה חדה בעומס
- ✓ מספקים אנרגיית "גישור" בזמן תנודתיות בהספק היחידות הפוטוולטאיות.

איור מס' 2: עקום ביקוש יומי אופייני בעונת המעבר בשנת 2030



משטר ההפעלה

משטר ההפעלה הצפוי בעידן החדש של אנרגיות מתחדשות (30%) יחייב את מנהל המערכת לשנות באופן מהותי את המשטר הנהוג כיום. ירידת העומס החדה, ולאחריה עליית העומס החדה לא פחות, **לא תאפשר** להשאיר עתודה סובבת בהיקפים רחבים, שתוכל לתמוך בעליית העומס בשעות השקיעה. לכן, מנהל המערכת יידרש לבצע מספר רב מאוד של התנעות והדממות בכל יום בזמן קצר מאוד ובמקביל.

לצורך המחשה, מספר ההתנעות הנדרשות ביום טיפוסי בשנת 2030 (30% מתחדשות) בשעות שקיעת השמש הוא כ-10 מחז"מים גדולים ועוד כ-25 יחידות קטנות ובינוניות. כל ההתנעות לעיל חייבות להתבצע תוך שלוש עד ארבע שעות, כאשר בזמן הזה המערכת נמצאת במצב קצה, מבחינת קצב עליית העומס והיקף הרזרבה. כיום, מנהל המערכת מתניע וסוגר עד 4 יחידות מחז"מ מסוג F ביממה. מאפיין בולט של התנעות המחז"מים כיום הוא שרובן הגדול של ההתנעות **אינן מבוצעות** במקביל לעליית העומס, אלא מתבצעות בשעות שמוגדרות כרגועות. כלומר, מנהל המערכת מנסה להגיע למצב בו היחידות מסיימות את תהליכי ההתנעה עוד לפני עליית העומס, מצב שלא יתאפשר כאשר עקום העומס הוא בצורת duck curve.

לכן, על כל היצרנים הקונבנציונאליים הגדולים יהיה להיערך לעבודה במתכונת החדשה של Two Shift, כאשר כמות ההתנעות המתוכננת צפויה להיות בטווח של 200-300 התנעות

בשנה. לצורך השוואה, כיום רוב יחידות המחז"מים מסוג F של חח"י מבצעות כ- 30 התנעות בשנה, ויח"פים גדולים מבצעים מספר התנעות בודדות.

התנעות- נתוני יצרן וניסיון תפעולי

כפי שתואר עד כה, תהליכי ההתנעה צפויים לתפוס מקום משמעותי בתפעול המערכת בעידן החדש, כשהדגש יהיה על התהליך ומשך ההתנעה. ככל שהתהליך יהיה קצר יותר, והיקף האנרגיה שהיחידה תספק בזמן ההתנעה יהיה גדול יותר, ניתן יהיה להקל על מנהל המערכת באתגר של התמודדות עם עליית העומס.

אמת מידה 85 קובעת שבהתנעה חמה (עד 12 שעות הפסקה) מחז"מים צריכים להגיע לעומס מלא תוך 65 דקות, ובהתנעה פושרת (12-48 שעות הפסקה) תוך 100 דקות. יצרני הציוד המובילים בעולם, מצהירים, ברמת נתוני היצרן, שהם עומדים בסטנדרטים של אמות המידה. אולם, ראוי לציין, שהניסיון התפעולי של חברת החשמל מעיד על כך שקיימת בעיה לעמוד בסטנדרטים שתוארו. לרוב, תהליכי ההתנעה הם ארוכים ומורכבים יותר. כמו כן, הניסיון התפעולי שנצבר מלמד שעבודה במתכונת של התנעות מרובות Two Shift:

- תקטין את זמינות היחידות
- תקצר משמעותית את תוחלת הזמן בין השיפוצים
- תגדיל בצורה ניכרת את עלות התחזוקה.

אי לכך, קיימת חשיבות רבה לדאוג ולהבטיח במסגרת ההסדרתית, שהיחידות החדשות שישולבו במערכת יוכלו לבצע מספר רב של התנעות, תוך עמידה בסטנדרטים שהציבה הרשות באמות המידה. אי עמידה בסטנדרטים עלולה לגרום לבעיה של אי יכולת לספק את מלוא הביקוש בשעות בהן דרוש קצב עלייה גבוה.

בהתאם לאמור לעיל, בתכניות הפיתוח ניתנה עדיפות לשילוב של ט"ג במחזור פתוח על פני מחז"מים, עקב הגמישות התפעולית שלהן. גמישות זו באה לידי ביטוי ביכולת של היחידות להגיע להספק ממקסימלי תוך זמן קצר (תהליכי התנעה קצרים) ולתת מענה לשינויים החדים בעומס, המתרחשים בשעות שקיעת השמש בהן קיימת ירידה חדה בהיקף הייצור ממקורות סולאריים.

5. תוכנית פיתוח מערכת הייצור

תכניות פיתוח אופטימליות של מערכת הייצור מתקבלות על ידי ביצוע אופטימיזציה מערכתית באמצעות המודלים EGEAS ו-UCOD.

התוצאה העיקרית מההרצות של המודל היא תוספת הגנרציה הנדרשת לטווח הארוך (סוג, כמות ומועד השתלבות של אמצעי ייצור חדשים) על מנת לשמור על אמינות הספקת החשמל בהתאם לקריטריון האמינות לתכנון פיתוח מערכת הייצור לטווח ארוך וזאת בעלות מינימלית. יחידות הייצור העתידיות ישולבו באתרים הזמינים השונים בהתאם לפוטנציאל הקליטה של האתרים.

5.1 הנחות יסוד

- תחזית הביקוש לחשמל לטווח ארוך: תחזית הביקוש לטווח ארוך מבוססת על נתוני המחלקה לסטטיסטיקה וחקר שווקים, עדכון מ- 8.2017 (ראה נספח א'). תחזית זו מתבססת על גידול שנתי של 3.5% בתמ"ג ותנאי מזג אוויר קיצוני. על בסיס הנחות אלו, הגידול השנתי בביקוש הינו כ- 2.8%.
 - שילוב אמצעי הייצור באנרגיה מתחדשת במערכת החשמל: עלייה הדרגתית בייצור באנרגיה מתחדשת עד לשיעור של 30% בשנת 2030 ושמירה על היקף זה (באחוזים) לאחר שנת 2030.
 - שילוב יח"פים בטכנולוגיות תרמיות ואגירה שאובה: נלקחו בחשבון יחידות תרמיות ואגירה שאובה הקיימות והמתוכננות להשתלב במערכת על בהתאם להנחות שפורטו בנספח ה' בפניית הרשות שבסימוכין.
 - שיחלופ רדינג: הדממת רדינג ד' 3-4 בשנת 2024 והפעלת שני מחז"מים בהספק של כ- 450 מגווא"ט כל אחד בשנים 2027 ו- 2028 בהתאמה.
 - אורות רבין 1-4: הדממה בשנת 2022 והפעלת שני מחז"מים בהספק כולל של כ- 1288 מגווא"ט באמצע שנת 2022.
 - הסבת יחידות פחמיות גדולות לעבודה בגז, א"ר 5-6 וברוטנברג 1-4 בהדרגה עד לשנת 2026.
 - משטר הפעלה של יח"פים קונבנציונאליים: על בסיס הנחות היסוד שבפניית הרשות שבסימוכין, הונח שכל היח"פים הקונבנציונאליים זמינים באופן מלא למנהל המערכת, כלומר אין העמסה עצמית של יח"פים קונבנציונאליים.
-
- קריטריון האמינות: 2.9 שעות בשנה לכל היותר של חוסר יכולת הספקת מלוא הביקוש.
 - דרישות לגבי הרזרבה הסובבת: 600MW.
 - שער ניכיון: 6.5% לשנה.

5.2. חלופות

בעבודה זו נבדקה תוספת הגנרציה הנדרשת בתוכנית פיתוח מערכת הייצור בארבע חלופות:

חלופה 1: ייחוס - שילוב בתוכניות פיתוח בהתאם לאופטימיזציה מערכתית של יחידות מחז"מים וטורבינות גז במחזור פתוח (ללא שילוב מתקני אגירה בתכנית הפיתוח).

חלופה 2: תוספת מתקני אגירה עם מאפיינים ועלויות בהתאם לאגף תפ"ט - בחלופה זו מתקני אגירה שולבו באופטימיזציה כמועמד נוסף. מתקני ששולבו הינם מתקני אגירה בסוללות, בעלי מאפיינים טכנו כלכליים בהתאם להנחות של אגף תפ"ט.

חלופה 3: תוספת מתקני אגירה עם מאפיינים ועלויות בהתאם להנחיות הרשות - בחלופה זו מתקני אגירה שולבו באופטימיזציה כמועמד נוסף. המתקנים ששולבו הינם מתקני אגירה בסוללות, בעלי מאפיינים טכנו כלכליים בהתאם להנחות בנספח ב' בפניית הרשות שבסימוכין. יודגש שעלויות מתקני האגירה בסוללות בחלופה זו נמוכות מהותית מאשר בחלופה 2.

חלופה 4: תוספת מתקני אגירה בסוללות ואגירה שאובה – בדומה לחלופה 2³, עם האפשרות לשלב מתקני אגירה שאובה (כמועמד נוסף), עם הגבלה לסך הספק הארצי של כ- MW 3,000 למתקנים אלו, בהתבסס על סקרי התכנות שבוצעו באגף תפ"ט (תוספת של MW 2,200 מעבר למכסת הרשות למתקנים אלו).

5.3. תוצאות

בהתאם לאופטימיזציה אין צורך לתוספת גנרציה של יחידות ייצור במערכת עד שנת 2028 מעבר למצוין בהנחות היסוד לעיל.

חלופה 1 - ייחוס

תוספת הספק (MW) המתקבלת בתכנית הפיתוח לשנים 2021-2040 בחלופה הייחוס מתוארת בטבלה מס' 2.

³ נציין שנבדקה גם תכנית פיתוח הבוחנת אפשרות של תוספת מתקני אגירה שאובה בחלופה 3, אך עקב ההנחה בחלופה זו שעלויות של מתקני סוללות נמוכות, אין כדאיות כלכלית לשלב בתכנית פיתוח של חלופה 3 מתקני אגירה שאובה חדשים.

טבלה מס' 2: תכנית הפיתוח לשנים 2021-2040 בחלופה הייחוס

שנה	מחז"מ (MW)	ט"ג (MW)	אגירה שאובה (MW)	פוטוולטאי (MW)	רוח, ביוגז, ביומסה (MW)
2021	0	0	0	994	5
2022	1,739	0	344	723	183
2023	0	650	0	779	182
2024	200	0	0	810	183
2025	0	0	156	918	182
2026	0	0	0	1,270	5
2027	450	0	0	1,350	5
2028	450	226	0	1,427	5
2029	466	0	0	1,603	5
2030	466	791	0	1,778	5
2031	0	678	0	470	0
2032	466	339	0	426	0
2033	466	452	0	562	0
2034	466	113	0	529	0
2035	466	113	0	556	0
2036	466	791	0	488	0
2037	466	904	0	618	0
2038	0	904	0	612	0
2039	0	1,808	0	600	0
2040	466	339	0	568	0

בחלופה הייחוס, בשנים 2028-2030, משתלבות במערכת 3 יחידות מחז"מ בהספק כולל של MW 1,382, ו-9 יחידות ט"ג בהספק כולל של MW 1,017. סה"כ ללא מתקנים באנרגיה מתחדשת MW 2,399.

בשנים 2028-2040 משתלבות 10 יחידות מחז"מ בהספק כולל של MW 4,644, ו-66 יחידות ט"ג בהספק של MW 7,458. סה"כ ללא מתקנים באנרגיה מתחדשת MW 12,102.

נציין שבחלופה זו ההספק המותקן הנדרש של מתקנים פוטוולטאים גבוה יותר עקב ניתוק מתקנים פוטוולטאיים בשעות שהייצור גבוה מהביקוש וכדי לעמוד ביעד של 30% באנרגיה מתחדשת.

חלופה 2 - תוספת מתקני אגירה עם מאפיינים ועלויות בהתאם לאגף תפ"ט

תוספת הספק (MW) המתקבלת בתכנית הפיתוח לשנים 2021-2040 בחלופה 2 מתוארת בטבלה מס' 3.

טבלה מס' 3: תכנית הפיתוח לשנים 2021-2040 בחלופה 2

שנה	מחז"מ (MW)	ט"ג (MW)	אגירה שאובה (MW)	מתקני אגירה בסוללות (MW)	פוטוולטאי (MW)	רוח, ביוגז, ביומסה (MW)
2021	0	0	0	0	994	5
2022	1,739	0	344	0	723	183
2023	0	650	0	0	779	182
2024	200	0	0	0	810	183
2025	0	0	156	0	918	182
2026	0	0	0	0	1,271	5
2027	450	0	0	0	1,351	5
2028	450	226	0	0	1,420	5
2029	466	0	0	0	1,612	5
2030	466	565	0	200	1,761	5
2031	466	0	0	200	416	0
2032	0	113	0	600	392	0
2033	0	0	0	800	388	0
2034	466	113	0	0	539	0
2035	0	0	0	600	454	0
2036	466	0	0	600	432	0
2037	932	113	0	200	610	0
2038	466	113	0	200	572	0
2039	466	791	0	400	602	0
2040	0	113	0	600	561	0

בחלופה 2, בשנים 2030-2028 משתלבים במערכת מתקני אגירה בסוללות בהספק כולל של 200 MW, 3 יחידות מחז"מ בהספק כולל של 1,382 MW ו- 7 יחידות ט"ג בהספק כולל של 791 MW. סה"כ ללא מתקנים באנרגיה מתחדשת 2,373 MW.

בשנים 2040-2028, משתלבות 10 יחידות מחז"מ בהספק כולל של 4,644 MW, 19 יחידות ט"ג בהספק של 2,147 MW ומתקני אגירה בסוללות בהספק כולל של 4,400 MW. סה"כ ללא מתקנים באנרגיה מתחדשת 11,191 MW.

ניתן לראות שתוספת ההספק בחלופה זו קטנה ממה שהתקבלה בחלופה הייחוס. הסיבה, כפי שציינו בעבר, היא שההספק התפעולי של המחז"מים ושל טורבינות הגז קטן בחודשי הקיץ, דבר שלא קורה במתקני האגירה. לכן, ההספק המותקן הנדרש במטרה לשמור על אמינות המערכת יורד כשהיקף של מתקני אגירה עולה.

נציין שגם בחלופה זו ההספק המותקן הנדרש של מתקנים פוטוולטאים גבוה יותר עקב ניתוק מתקנים פוטוולטאים בשעות שהייצור גבוה מהביקוש וכדי לעמוד ביעד של 30% באנרגיה מתחדשת.

חלופה 3 - תוספת מתקני אגירה עם מאפיינים ועלויות בהתאם להנחיות הרשות

ההבדל העיקרי בין חלופה 3 לחלופה 2 הוא שעלויות ההקמה והתפעול של מתקני האגירה בחלופה 3 נמוכות באופן מהותי מעלויות אלו בחלופה 2.

תוספת הספק (MW) המתקבלת בתכנית הפיתוח לשנים 2021-2040 בחלופה 3 מתוארת בטבלה מס' 4.

טבלה מס' 4: תכנית הפיתוח לשנים 2021-2040 בחלופה 3

שנה	מחז"מ (MW)	ט"ג (MW)	אגירה שאובה (MW)	מתקני אגירה בסוללות (MW)	פוטוולטאי (MW)	רוח, ביוגז, ביומסה (MW)
2021	0	0	0	0	994	5
2022	1,739	0	344	0	723	183
2023	0	650	0	0	779	182
2024	200	0	0	0	810	183
2025	0	0	156	0	918	182
2026	0	0	0	0	1,265	5
2027	450	0	0	0	1,329	5
2028	450	0	0	1,000	1,358	5
2029	0	0	0	200	1,503	5
2030	0	0	0	1,000	1,539	5
2031	466	0	0	0	472	0
2032	0	0	0	800	438	0
2033	466	0	0	0	550	0
2034	0	678	0	400	517	0
2035	0	0	0	200	533	0
2036	932	0	0	200	495	0
2037	0	565	0	800	620	0
2038	466	113	0	200	584	0
2039	466	565	0	600	602	0
2040	0	0	0	600	560	0

בחלופה 3, בשנים 2028-2030 משתלבים במערכת מתקני אגירה בסוללות בהספק כולל של 2,200 MW ומחז"מ אחד (אורות רבין) בהספק של 450 MW. סה"כ ללא מתקנים באנרגיה מתחדשת 2,650 MW. הונחה בחלופה זו הקדמת מועד שילוב של חלק ממתקנים אגירה על מנת למנוע צורך בהפסקת הפעולה של יחידות סולאריות תוך שמירה על היקף ייצור באנרגיה מתחדשת הנדרש.

בשנים 2028-2040, משתלבות 7 יחידות מחז"מ בהספק כולל של 3,246 MW, 17 יחידות ט"ג בהספק כולל של 1,921 MW ומתקני אגירה בסוללות בהספק כולל של 6,000 MW. סה"כ

ללא מתקנים באנרגיה מתחדשת MW 11,167. תוספת ההספק הנדרשת במערכת נמוכה בכ- MW 935 לעומת חלופה הייחוס (ללא התחשבות בהפרש בהיקף של יחידות פוטוולטאים).

חלופה 4 - תוספת מתקני אגירה בסוללות ואגירה שאובה

בחלופה זו נבדקו תכניות פיתוח המשלבות מתקני אגירה שאובה בנוסף למתקני אגירה בסוללות. הונחו עלויות ההקמה של מתקני אגירה שאובה הנעות בין \$900 ל-\$1200 ל-kW מותקן. תוצאות בדיקה זו מראות שרק בעלות הקמה של כ-\$900 ל-kW מותקן כדאי לשלב מתקני אגירה בהיקף משמעותי בתכנית הפיתוח, וזאת רק בהנחות של חלופה 2, המניחה מאפיינים טכניים של מתקני אגירה בסוללות בהתאם להערכות של אגף תפ"ט.

בטווח עלויות ההקמה של אגירה שאובה שנבדקו בעבודה זו, אין כדאיות כלכלית לשלב המתקנים האלו בתוכנית הפיתוח הכוללת מתקני אגירה בסוללות שהוצגו בנספח ב' בפניית הרשות שבסימוכין (חלופה 3), המניחים עלויות הקמה נמוכות.

תוספת הספק (MW) המתקבלת בתכנית הפיתוח לשנים 2021-2040 בחלופה 4 מתוארת בטבלה מס' 5.

טבלה מס' 5: תכנית הפיתוח לשנים 2021-2040 בחלופה 4

שנה	מחז"מ (MW)	ט"ג (MW)	אגירה שאובה (MW)	מתקני אגירה בסוללות (MW)	פוטוולטאי (MW)	רוח, ביוגז, ביומסה (MW)
2021	0	0	0	0	994	5
2022	1,739	0	344	0	723	183
2023	0	650	0	0	779	182
2024	200	0	0	0	810	183
2025	0	0	156	0	918	182
2026	0	0	0	0	1,265	5
2027	450	0	0	0	1,329	5
2028	450	0	200	0	1,358	5
2029	0	0	600	0	1,503	5
2030	0	0	800	0	1,539	5
2031	0	113	600	0	472	0
2032	466	339	0	0	438	0
2033	932	0	0	0	550	0
2034	466	113	0	0	517	0
2035	466	113	0	0	533	0
2036	466	113	0	600	495	0
2037	932	113	0	200	620	0
2038	0	113	0	600	584	0
2039	932	565	0	200	602	0
2040	466	0	0	200	560	0

בחלופה 4, בשנים 2030-2028 משתלבים במערכת מתקני אגירה שאובה בהספק כולל של MW 1,600 ומחז"מ אחד (אורות רבין) בהספק של MW 450. סה"כ ללא מתקנים באנרגיה מתחדשת MW 2,050.

כתוצאה מכך עד שנת 2030 תוספת ההספק הנדרשת במערכת נמוכה בכ-MW 323 לעומת חלופה 2, המניחה שאין תוספת מתקני אגירה שאובה.

בשנת 2031 משתלבים מתקני אגירה שאובה נוספים, המשלימים את פוטנציאל נוסף של MW 2,200 מתקני אגירה שאובה בתכנית הפיתוח (וזאת מעבר ל-MW 800 שבמכסה הנוכחית).

בשנים 2040-2028, משתלבות 12 יחידות מחז"מ בהספק כולל של MW 5,576, 14 יחידות ט"ג בהספק כולל של MW 1,582, מתקני אגירה בסוללות בהספק כולל של MW 1,800 ומתקני אגירה שאובה בהספק כולל של MW 2,200. סה"כ ללא מתקנים באנרגיה מתחדשת MW 11,158. עד שנת 2040 תוספת ההספק הנדרשת במערכת דומה מאוד לזו שבחלופה 2 והינה נמוכה ב-MW 33 בלבד (ללא התחשבות בהפרש בהיקף של יחידות פוטוולטאים).

5.4 Dumped Energy

בשעות מסוימות עקב ייצור של מתקנים פוטוולטאים יחד עם היחידות המוגדרות Must Run, נוצר מצב שבו הייצור גבוה מהביקוש ויש צורך לנתק מתקנים פוטוולטאיים או להתקין מתקני אגירה נוספים. ניתוק מתקנים פוטוולטאיים יגרום לקיטון מקדם התפוקה של יחידות אלו, לכן יש צורך במתקנים פוטוולטאים נוספים על מנת להגיע ליעד של 30%.

מספר השעות בהן נוצרת אנרגיה מושלכת בכל חלופה מתואר בטבלה מס' 6.

טבלה מס' 6: מספר השעות בהן נדרש ניתוק מתקנים פוטוולטאים (Dumped Energy)

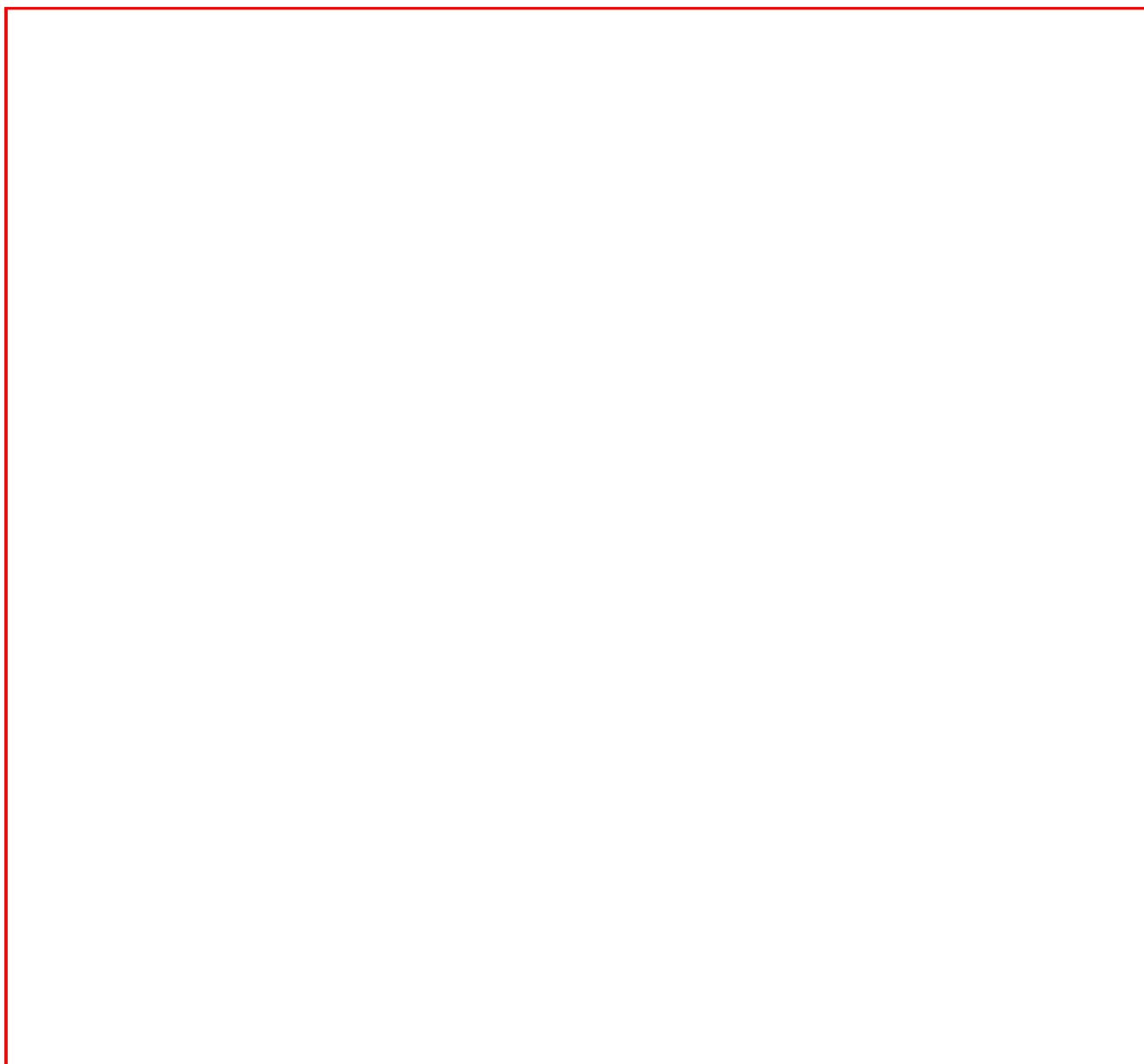
שנה	חלופה 1	חלופה 2	חלופה 3	חלופה 4
2026	39	39	38	38
2027	96	97	94	94
2028	219	219	68	176
2029	379	379	123	176
2030	687	625	122	203
2031	679	549	126	132
2032	662	348	51	136
2033	665	184	45	124
2034	632	216	34	131
2035	665	127	27	142
2036	656	71	7	85
2037	631	62	5	69
2038	647	53	9	43
2039	629	35	1	32
2040	626	17	0	29

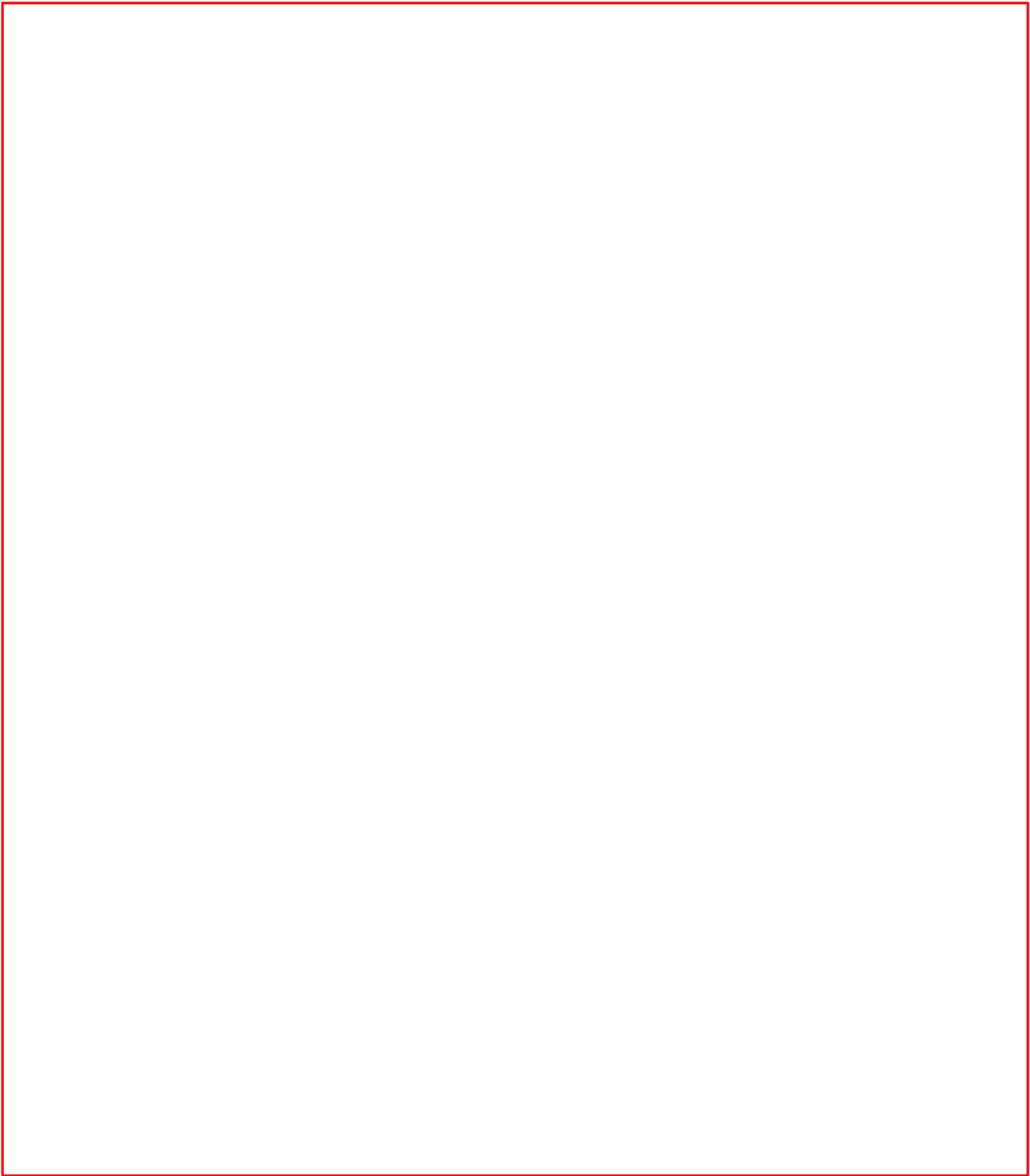
ניתן לראות ששילוב מתקני אגירה מצמצם באופן משמעותי את מספר השעות בהן קיימת אנרגיה מושלכת. לכן, בחלופה 1 יש את המספר הגבוה ביותר של שעות עם אנרגיה מושלכת לעומת החלופות עם מתקני אגירה שונים.

בחלופה 2 מספר השעות שבהן יש אנרגיה מושלכת גדול ביחס לחלופות 3 ו-4 כיוון שעלויות מתקני האגירה בחלופה 2 גבוהות יותר, דבר המאט את קצב הכניסה של מתקני האגירה.

בחלופות המשלבות מתקני אגירה השעות עם אנרגיה מושלכת גדלה בתחילת התקופה עקב גידול מתקנים פוטוולטאיים עם כמות יחסית קטנה של מתקני אגירה. לאחר מכן, עם שילוב כמות גדולה יותר של מתקני אגירה, יש ירידה במספר שעות אלו, כך שבסוף התקופה אין כמעט אנרגיה מושלכת.

6. משטר הפעלה של יחידות ייצור בשנים 2030-2035





7. התפלגות הייצור לפי סוג דלק בשנים 2026-2040

- פילוג ייצור לפי דלקים וטכנולוגיה בחלוקה לפי חח"י, יח"פים, אגירה ואנרגיות מתחדשות מוצג בטבלאות מס' 12-15

טבלה מס' 12: חלופה 1 (ייחוס) - ללא תוספת אמצעי אגירה מעבר להנחות המפורטות (GWh)

אנרגיות מתחדשות לאחר אנרגיה מושלכת	אגירות (א"ש ומצברים) אגירה נטו (שאיבה מינוס ייצור)	יחפים			חח"י			שנה
		סולר ופצלי שמן	גז		דלקים נוספים	גז		
			קונבנציונאלי	קוגנרציה		מחז"מים וט"ג	פחמיות	
19,175	-442	347	25,453	9,230	8.3	18,314	15,082	2026
21,496	-463	344	26,671	9,244	5.9	17,242	15,039	2027
23,911	-495	346	27,803	9,192	12.1	16,008	15,288	2028
26,443	-510	346	28,768	9,099	18.5	14,852	15,605	2029
28,997	-526	341	29,672	8,986	15.8	14,069	15,702	2030
29,818	-525	337	31,137	8,987	9.3	14,491	15,718	2031
30,664	-527	331	33,247	8,992	9.0	14,242	15,814	2032
31,523	-534	333	35,115	8,998	17.1	14,032	16,167	2033
32,420	-531	333	37,581	9,002	10.3	13,732	16,077	2034
33,333	-529	331	39,734	9,007	12.5	13,629	16,170	2035
34,271	-529	336	41,373	9,054	11.1	14,006	16,322	2036
35,255	-527	333	44,618	9,022	12.9	13,099	16,283	2037
36,244	-524	332	47,134	9,008	9.2	12,712	16,536	2038
37,301	-520	334	48,717	9,007	9.4	13,462	16,600	2039
38,361	-522	336	51,116	9,067	9.3	13,402	16,712	2040

טבלה מס' 13: חלופה 2 תוספת מתקני אגירה עם מאפיינים ועלויות בהתאם לאגף תפ"ט (GWh)

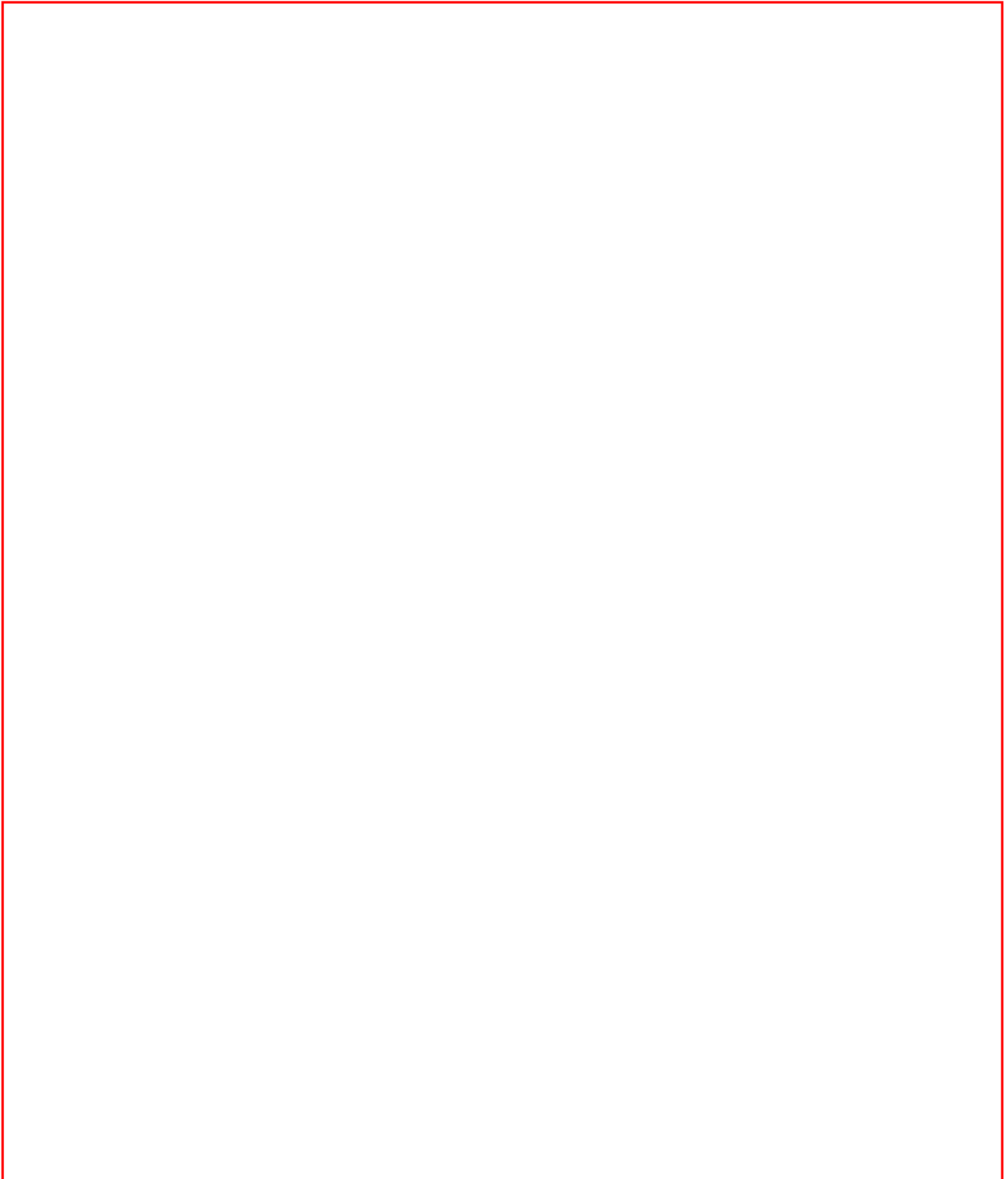
אנרגיות מתחדשות לאחר אנרגיה מושלכת	אגירות (א"ש ומצברים) אגירה נטו (שאיבה מינוס ייצור)	יחפים			חח"י			שנה
		סולר ופצלי שמן	גז		דלקים נוספים	גז		
			קונבנציונאלי	קוגנרציה		מחז"מים וט"ג	פחמיות	
19,175	-442	347	25,454	9,229	8	18,315	15,080	2026
21,496	-463	344	26,663	9,245	6	17,253	15,035	2027
23,911	-495	346	27,801	9,192	12	16,010	15,287	2028
26,443	-510	346	28,764	9,099	18	14,857	15,603	2029
29,126	-556	342	29,420	9,011	15	14,080	15,819	2030
29,967	-586	340	31,376	9,043	10	13,790	16,032	2031
30,983	-683	336	32,077	9,118	8	14,395	16,539	2032
31,803	-804	340	32,328	9,176	13	15,349	17,448	2033
32,704	-809	338	34,816	9,186	9	15,074	17,306	2034
33,587	-889	338	35,723	9,236	9	15,886	17,796	2035
34,475	-961	344	36,988	9,309	8	16,328	18,354	2036
35,434	-978	341	41,165	9,272	13	14,444	18,407	2037
36,432	-1,035	340	44,215	9,269	10	13,536	18,685	2038
37,483	-1,083	343	46,235	9,279	9	13,748	18,897	2039
38,568	-1,121	345	47,878	9,341	7	14,209	19,254	2040

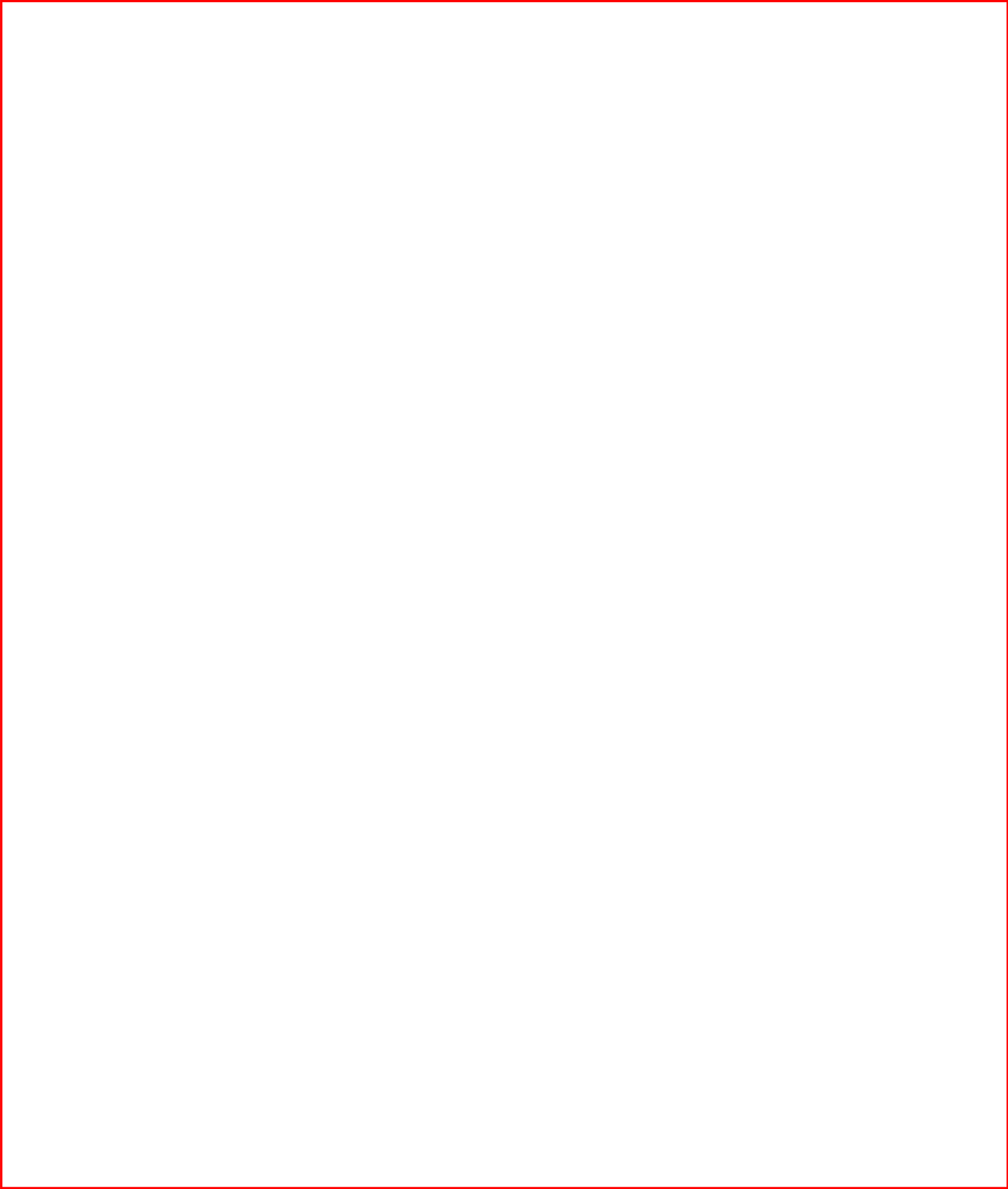
**טבלה מס' 14: חלופה 3 תוספת מתקני אגירה עם מאפיינים ועלויות בהתאם להנחיות הרשות
(GWh)**

אנרגיות מתחדשות לאחר אנרגיה מושלכת	אגירות (א"ש ומצברים) אגירה נטו (שאיבה מינוס ייצור)	יחפים			חח"י			שנה
		סולר ופצלי שמן	גז		דלקים נוספים	גז		
			קונבנציונאלי	קוגנרציה		מחז"מים וט"ג	פחמיות	
19,166	-442	347	25,458	9,230	8	18,317	15,084	2026
21,450	-463	344	26,694	9,246	6	17,269	15,035	2027
23,892	-643	344	26,528	9,276	4	16,364	16,301	2028
26,412	-734	344	26,450	9,222	9	16,382	16,536	2029
29,111	-975	344	25,673	9,240	6	16,616	17,242	2030
29,911	-983	342	28,107	9,228	5	16,149	17,213	2031
30,809	-1,103	339	28,505	9,262	6	17,031	17,921	2032
31,677	-1,162	342	30,502	9,270	20	16,831	18,172	2033
32,576	-1,209	340	31,820	9,272	10	17,370	18,445	2034
33,500	-1,237	340	33,094	9,284	9	17,972	18,725	2035
34,454	-1,309	345	35,573	9,339	5	17,316	19,121	2036
35,431	-1,318	341	38,459	9,289	11	16,516	19,367	2037
36,437	-1,377	340	41,905	9,291	6	15,236	19,613	2038
37,479	-1,494	343	43,800	9,292	6	15,423	20,062	2039
38,551	-1,517	346	45,719	9,347	6	15,737	20,293	2040

טבלה מס' 15: חלופה 4 תוספת מתקני אגירה בסוללות ואגירה שאובה (GWh)

אנרגיות מתחדשות לאחר אנרגיה מושלכת	אגירות (א"ש ומצברים) אגירה נטו (שאיבה מינוס ייצור)	יחפים			חח"י			שנה
		סולר ופצלי שמן	גז		דלקים נוספים	גז		
			קונבנציונאלי	קוגנרציה		מחז"מים וט"ג	פחמיות	
19,166	-442	347	25,458	9,230	8	18,317	15,084	2026
21,450	-463	344	26,696	9,246	6	17,269	15,032	2027
23,805	-571	347	27,458	9,223	12	16,107	15,683	2028
26,355	-823	346	26,608	9,195	13	15,980	16,947	2029
29,029	-1,187	347	26,177	9,198	11	16,265	17,417	2030
29,914	-1,424	344	27,199	9,237	7	16,984	17,710	2031
30,738	-1,423	339	29,524	9,224	6	16,495	17,869	2032
31,605	-1,457	341	32,744	9,227	12	15,018	18,163	2033
32,487	-1,460	339	35,229	9,215	9	14,697	18,108	2034
33,406	-1,462	338	37,478	9,233	9	14,489	18,194	2035
34,399	-1,557	344	39,033	9,306	6	14,738	18,575	2036
35,380	-1,584	341	42,961	9,270	12	13,164	18,553	2037
36,421	-1,684	340	44,877	9,274	10	13,189	19,025	2038
37,461	-1,732	343	47,718	9,270	9	12,901	18,940	2039
38,534	-1,723	345	50,136	9,343	7	12,777	19,063	2040





9. פליטות מזהמים וגזי חממה בשנים 2026-2040

- פליטות מזהמים וגזי חממה מוצגים בטבלאות מס' 20-23

טבלה מס' 20: חלופה 1 (ייחוס) - ללא תוספת אמצעי אגירה מעבר להנחות המפורטות

א' טון CO2	טון			שנה
	NOx	Particles	SO2	
27,990	16,320	1,606	3,698	2026
28,089	16,452	1,559	3,649	2027
28,205	16,406	1,514	3,625	2028
28,318	16,446	1,464	3,596	2029
28,434	16,422	1,398	3,514	2030
29,140	16,813	1,420	3,527	2031
29,854	17,249	1,405	3,511	2032
30,621	17,710	1,350	3,507	2033
31,351	18,178	1,332	3,478	2034
32,146	18,659	1,325	3,469	2035
33,033	19,218	1,314	3,483	2036
33,872	19,778	1,293	3,432	2037
34,825	20,362	1,305	3,468	2038
35,823	20,991	1,298	3,469	2039
36,752	21,556	1,295	3,479	2040

טבלה מס' 21: חלופה 2 תוספת מתקני אגירה עם מאפיינים ועלויות בהתאם לאגף תפ"ט

א' טון CO2	טון			שנה
	NOx	Particles	SO2	
27,990	16,321	1,606	3,698	2026
28,086	16,448	1,559	3,648	2027
28,204	16,406	1,514	3,625	2028
28,317	16,445	1,464	3,595	2029
28,365	16,360	1,398	3,520	2030
29,011	16,719	1,377	3,497	2031
29,646	17,007	1,398	3,536	2032
30,371	17,278	1,393	3,603	2033
31,068	17,756	1,376	3,570	2034
31,870	18,130	1,408	3,620	2035
32,716	18,599	1,393	3,649	2036
33,488	19,152	1,334	3,559	2037
34,343	19,693	1,319	3,573	2038
35,204	20,211	1,277	3,539	2039
36,137	20,716	1,301	3,586	2040

טבלה מס' 22: חלופה 3 תוספת מתקני אגירה עם מאפיינים ועלויות בהתאם להנחיות הרשות

א' טון CO2	טון			שנה
	NOx	Particles	SO2	
27,993	16,322	1,606	3,698	2026
28,101	16,457	1,560	3,648	2027
28,190	16,175	1,491	3,638	2028
28,314	16,205	1,498	3,662	2029
28,380	16,051	1,486	3,673	2030
29,033	16,447	1,462	3,632	2031
29,774	16,777	1,490	3,694	2032
30,492	17,252	1,464	3,720	2033
31,249	17,600	1,470	3,722	2034
32,086	18,044	1,501	3,769	2035
32,846	18,509	1,429	3,722	2036
33,771	19,112	1,448	3,729	2037
34,642	19,692	1,422	3,731	2038
35,521	20,215	1,380	3,717	2039
36,527	20,816	1,409	3,776	2040

טבלה מס' 23: חלופה 4 תוספת מתקני אגירה בסוללות ואגירה שאובה

א' טון CO2	טון			שנה
	NOx	Particles	SO2	
27,993	16,322	1,606	3,698	2026
28,100	16,457	1,560	3,648	2027
28,249	16,368	1,514	3,650	2028
28,436	16,237	1,499	3,698	2029
28,527	16,132	1,492	3,706	2030
29,209	16,454	1,519	3,738	2031
29,904	16,880	1,489	3,708	2032
30,589	17,336	1,395	3,655	2033
31,290	17,795	1,375	3,624	2034
32,069	18,267	1,363	3,611	2035
32,817	18,693	1,338	3,615	2036
33,557	19,217	1,275	3,518	2037
34,407	19,698	1,302	3,578	2038
35,210	20,214	1,225	3,484	2039
36,094	20,735	1,215	3,483	2040

11. בדיקה דינמית

ניתוח התופעות הדינמיות בוצע בשלב ראשון עבור חלופה 1 ללא אגירת אנרגיה בסוללות, על מנת לקבל את ההשלכות של שילוב אנרגיה מתחדשת בהיקף של 30% במערכת, ולאפשר את תכנון האמצעים הנדרשים לפתרון הבעיות. חלופות נוספות לא נותחו עקב אילוצי זמן ויהיה צורך לנתח אותם בהמשך.

נבחנה יכולת המערכת להתמודד עם תקלה מסוג הפסקה מאולצת של יחידת ייצור. בנוסף, נבחנה השפעת התנודות בייצור פוטוולטאי (PV) עקב תנועת עננים. לצורך הבדיקות נבחר יום טיפוסי בשנת 2030 – יום שני בעונת מעבר (25.03.2030). על מנת לקבל תמונה מלאה יהיה צורך בניתוח של ימים נוספים, עקב שונות של אופיין העומס בעונות השונות ובימי השבוע. ימים נוספים ייבדקו במסגרת המשך הפעילות בנושא.

העמסת היחידות במשך היום נקבעה על סמך תוצאות חישוב של UCOD, עם דרישה לעתודה סובבת של 600 MW.

נבדקו שני סוגים של תקלה:

- 1) הפסקה מאולצת של יחידת ייצור 350 MW, כקריטריון נוכחי,
- 2) הפסקה מאולצת של יחידת ייצור 650 MW, כקריטריון אפשרי עתידי.

הקריטריון האפשרי העתידי לוקח בחשבון הכנסת מחז"מ H בהספק נקוב של 650 MW בתה"כ אורות רבין.

במסגרת הבדיקות הונח שהשתתפות מתקני אגירה שאובה בוויסות התדר היא כדלהלן:

- במשטר ייצור: תגובה לשינויי תדר בהתאם ל- 5% DROOP, בהעמסה חלקית.
- במשטר שאיבה: עומס קבוע בהתאם להספק הנומינלי של היחידה (תלות העומס בתדר נלקחה בחשבון), והפסקה בתת-תדר עם השהיית זמן של 0.1 שניה, לפי הפירוט הבא:



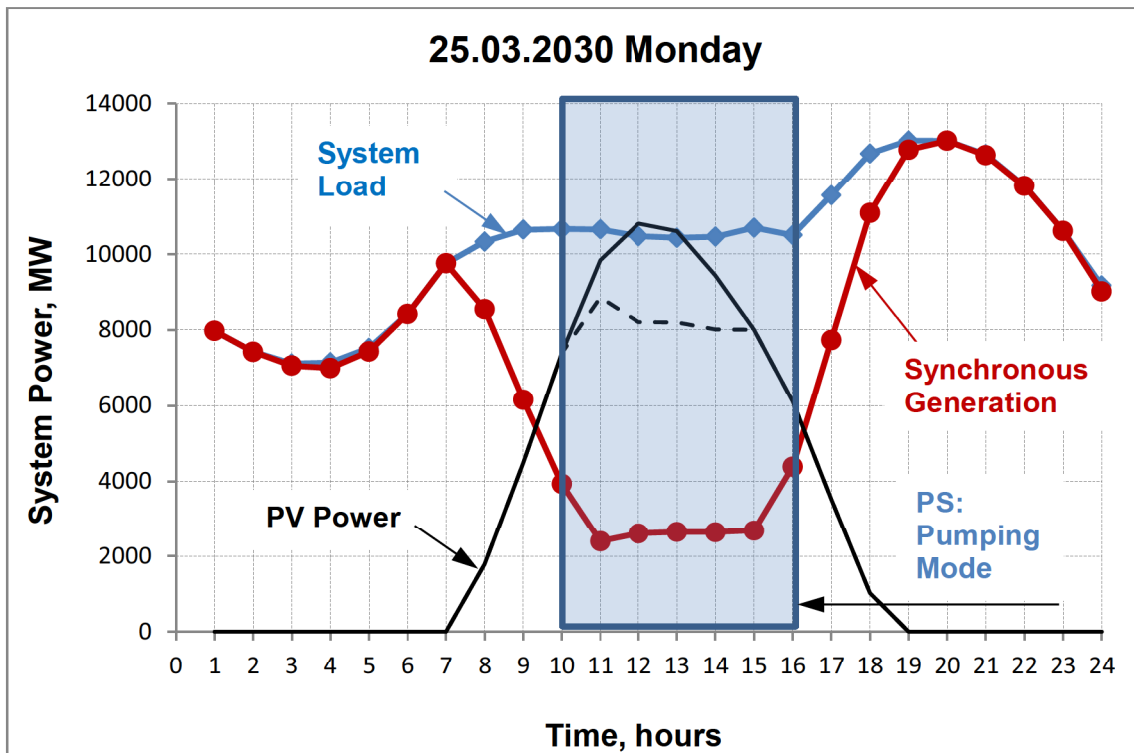
- (1) בתדר 49.5 Hz
- (2) בתדר 49.4 Hz
- (3) בתדר 49.3 Hz
- (4) בתדר 49.2 Hz
- (5) בתדר 49.1 Hz

ההדמיה בוצעה בעזרת תוכנה SIMULATE, שכוללת תיאור מתמטי של מרכיבי מערכת הייצור כגון: מודלים דינאמיים של יחידות הקיטור, טורבינות הגז, יחידות מחז"מ, יחידות אגירה שאובה ומודל דינאמי של עומס מערכת החשמל.

11.1. כללי

באיור מס' 8 מופיעה תחזית של עומס מערכתי וייצור סינכרוני ביום שני, 25.03.2030, שנבחר לצורך הבדיקה.

איור מס' 8: תחזית עומס יומי ליום שני 25.03.2030

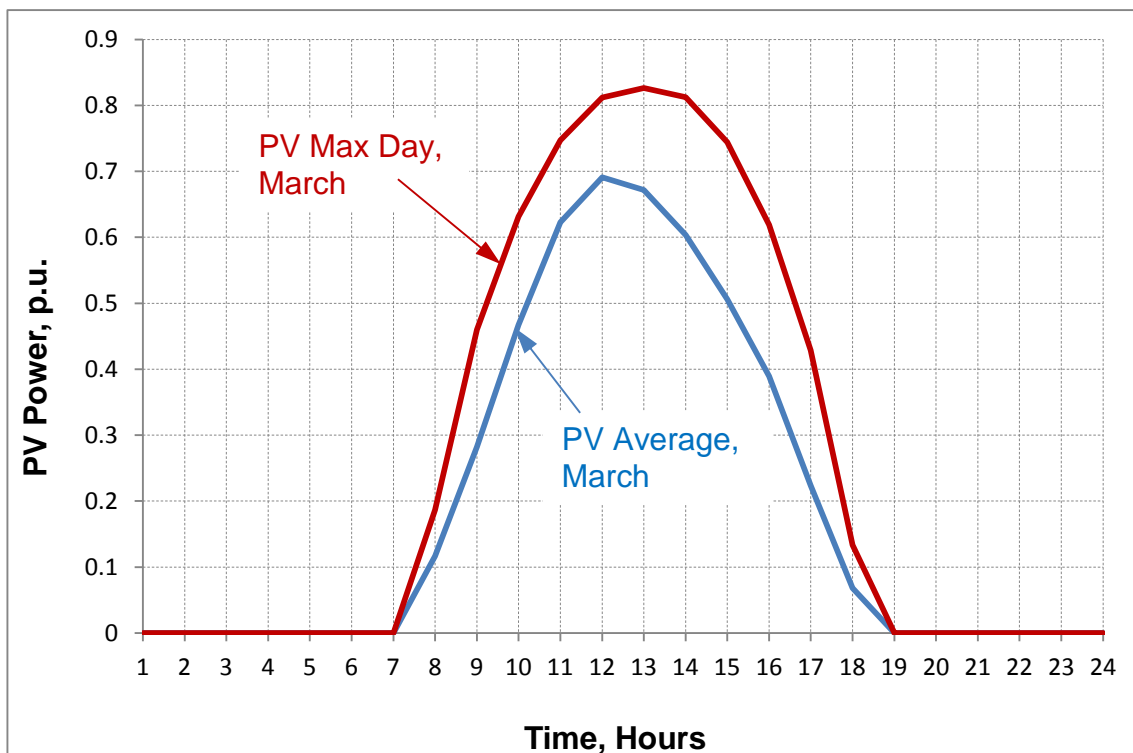


עונת המעבר מאופיינת בעומסים נמוכים יחסית, לכן בשעות הצהריים ייצור מתקנים פוטוולטאיים גבוה מהעומס המערכתי במספר רב של ימים. ביום 25.03.2030 יש צורך בקיטום (curtailment) של ייצור מתקנים פוטוולטאיים במשך 4 שעות. ההספק המרבי שיש

צורך "לחתוך" לפי חישוב UCOD היה 2605 MW בשעה 12, שמהווה כ- 24% מייצור מתקנים פוטוולטאיים באותה שעה (10805 MW).

חשוב לציין, שהתפלגות שעתית של ייצור מתקנים פוטוולטאיים כפי שנקבעה בהנחות העבודה (נספח ה' בפניה של רשות החשמל) מתבססת על אקויוולנט אנרגטי לאותו חודש. על סמך מדידות של ייצור מתקנים פוטוולטאיים בפועל, ניתן להעריך שבחלק מהימים, ייצור מתקנים פוטוולטאיים יהיה גבוה בהרבה מהערך שבהנחות העבודה, כפי שאפשר לראות באיור 9. על מנת להכין את מערכת ההספק להתמודדות עם היקפים גבוהים של ייצור מתקנים פוטוולטאיים, יש להכין תשתית לקיטום של מתקנים פוטוולטאיים בהיקפים גבוהים יותר. אם ביום 25.03.2030 יהיו תנאים אופטימליים מבחינת הטמפרטורה ורמת קרינת השמש, אז ייצור מתקנים פוטוולטאיים יכול להגיע לכ- 12900 MW, ובמצב זה יהיה צורך בקיטום של כ- 4700 MW, שמהווה כ- 37% מייצור מתקנים פוטוולטאיים באותה שעה. חישוב ערכים מרביים של קיטום מתקנים פוטוולטאיים והיקפים שנתיים יתבצע בהמשך הפעילות בנושא.

איור מס' 9: השוואת ייצור מתקנים פוטוולטאיים בחודש מרץ, על בסיס נתונים משנת 2018



יש להדגיש שהקיטום הנ"ל נובע מרמת הצריכה במערכת בהשוואה לייצור מתקנים פוטוולטאיים, ולא לוקח בחשבון אילוצים נוספים. הוספת מתקני אגירה לצורך הסטת העומס (עם קיבולת של מספר שעות) תצמצם את ההיקף של ייצור מתקנים פוטוולטאיים שצריך "לחתוך".

11.2. הפסקה מאולצת של יחידות ייצור

תוצאות ההדמיות עבור הפסקה מאולצת של יחידת ייצור, עבור כל אחת משעות היממה של

יום שני 25.03.2030 (סה"כ 24 שעות), מופיעות בטבלה מס' 24.

טבלה מס' 24: תוצאות ההדמיה של הפסקה מאולצת של יחידת ייצור ביום שני 25.03.2030

Hour	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
System Demand	7970	7419	7112	7138	7519	8418	9754	10325	10640	10663	10647	10468
Sync. Generation	7970	7419	7054	6992	7430	8418	9754	8541	6154	3923	2392	2604
Spin. Reserve	1382	1933	2298	2360	1922	1009	1154	1990	1782	2060	3075	3075
Forced Out: 350 MW												
Load Shedding	V	V	V	V	V	V	V	V	V	-	-	-
fmin	48.95	48.95	48.96	48.96	48.95	48.96	48.98	49	48.98	49.35	49.36	49.36
Forced Out: 650 MW												
Load shedding	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	-
fmin	48.79	48.78	48.79	48.79	48.79	48.84	48.89	48.9	48.87	49.29	49.29	49.11
Hour	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
System Demand	10429	10457	10694	10500	11557	12671	13014	13013	12651	11814	10613	9165
Sync. Generation	2640	2638	2678	4379	7725	11089	12770	13013	12626	11807	10613	9013
Spin. Reserve	3075	3075	3075	1852	1194	633	845	1051	679	872	1202	1969
Forced Out: 350 MW												
Load Shedding	-	-	-	-	V	-	-	-	V	V	V	V
fmin	49.36	49.36	49.36	49.35	48.98	49.33	49.34	49.35	48.98	48.98	48.98	48.97
Forced Out: 650 MW												
Load shedding	-	-	-	V	V	V	V	V	V	V	V	V
fmin	49.11	49.11	49.11	49.3	48.91	48.97	48.97	48.97	48.92	48.93	48.89	48.87

מתקני אגירה שאובה פעלו במשטר שאיבה בשעות של ייצור גבוה במתקנים פוטוולטאיים, בשעות 10-16 (מסומן בצבע תכלת באיור 8 ובטבלה 24). ב- 7 תרחישים שעתיים אלה אין סכנה להשלת עומס בהפסקה מאולצת של יחידת ייצור בהספק 350 MW. הפסקה של מתקני אגירה שאובה במצב שאיבה עקב תת-תדר מורידה את העומס המערכתי תוך חלקי שניה וגורמת להחזרת האיזון בין ייצור לצריכה.

ב- 3 תרחישים שעתיים (בשעות 18-20) המערכת הייתה מסוגלת לעבור הפסקה מאולצת של יחידת ייצור 350 MW ללא השלת עומס.

בשאר התרחישים השעתיים (14 מתוך 24) תקלה זו הייתה גורמת להשלת עומס בהיקף של 342 MW בממוצע. יש לציין שבתרחישים אלה העתודה הסובבת הייתה בין 679 MW לבין 2360 MW, שנשמרה ביחידות שלא היו יכולות לתת תרומה בשניות הראשונות לאחר התקלה. לכן, יש לקחת בחשבון שערכים גבוהים של עתודה סובבת אינם בהכרח מונעים את השלת העומס. בנוסף, לצורך קביעת ערך העתודה, חשוב לקחת בחשבון את מהירות התגובה של היחידות בהן נשמרת העתודה. הגדרת אילוץ נוסף של "עתודה מיידית נדרשת" בפתרון בעיית ההעמסה האופטימלית יכולה למנוע מצב זה.

הפסקה מאולצת של יחידת ייצור 650 MW גרמה להשלת עומס (605 MW בממוצע) ב- 20 תרחישים שעתיים. בין 7 התרחישים עם אגירה שאובה במצב שאיבה רק ב- 4 היה ניתן למנוע

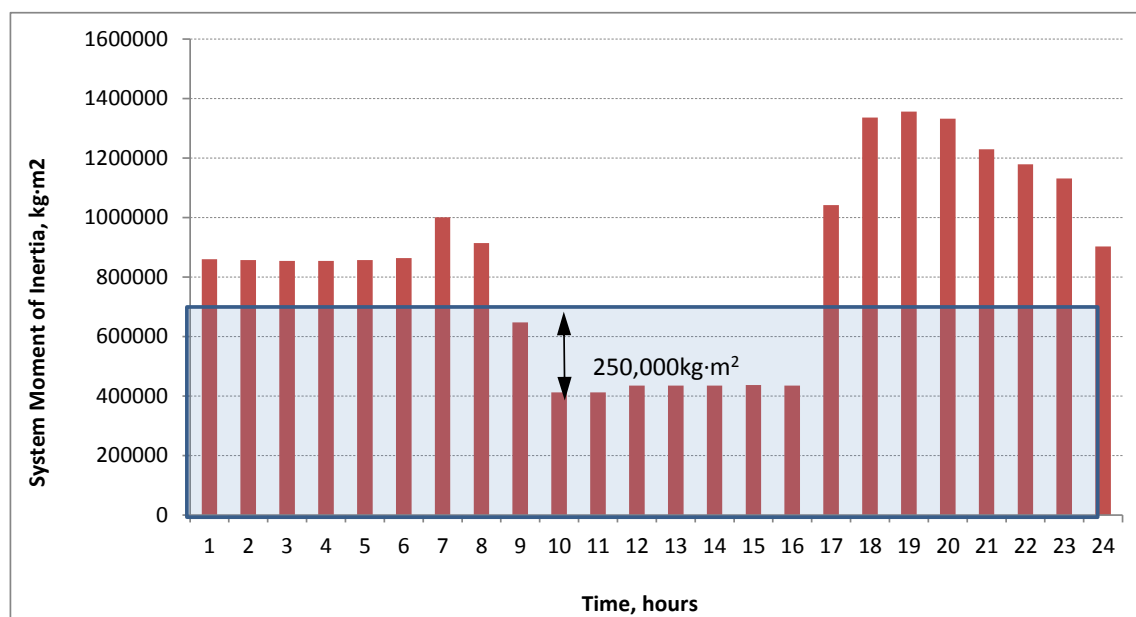
השלת עומס על ידי הפסקה של מתקני אגירה שאובה. ב- 3 תרחישים הירידה של התדר הייתה כל כך מהירה, שהפסקת מתקני האגירה התרחשה ביחד עם השלת עומס (דרגה df/dt ללא השתית זמן). ניתוק של עומסים בהיקף מוגבר גורם לעלייה מהירה של התדר. במצב המתואר, ווסתי המהירות של יחידות הייצור משנות את הכיוון מעלייה בהספק לירידה בהספק באופן קיצוני, שמעלה את הסיכון לתקלות נוספות.

כפי שניתן לראות מתוצאות ההדמיה, המערכת אינה מסוגלת להתמודד עם תקלות מסוג הפסקה מאולצת של יחידת ייצור ברוב שעות היום. נדרש להוסיף אילוצים נוספים לפתרון של העמסה אופטימלית, ולקבוע ערך גבוה יותר של עתודה סובבת שיתאים לשילוב עתידי של יחידות עם הספקים גדולים יותר. ניתן לעשות הערכה של עתודה סובבת נדרשת אופטימלית על בסיס הסתברות של תקלות ועלות אנרגיה לא מסופקת. עקב אילוצי זמן הערכה זו תתבצע בהמשך.

11.3. ירידת אינרציה בשעות השמש

ב-8 תרחישים שעתיים עם ייצור מתקנים פוטוולטאיים גבוה (בין השעות 9-16) מספר היחידות הסינכרוניות היה מצומצם ביותר. לכן מומנט האינרציה של המערכת ירד באופן חריג. באיור מס' 10 מופיע מומנט האינרציה המערכתית בהתאם להרכב היחידות המתוכנן, בהשוואה לערך המינימלי הנדרש על מנת להגביל את קצב השינוי ההתחלתי של התדר ל- 0.5 Hz/s (ערך מוחלט) בהפסקה מאולצת של יחידת ייצור של 650 MW .

איור מס' 10: מומנט האינרציה המערכתית בתאריך 25.03.2030



הופעת קצב שינוי תדר מעל 0.5 Hz/s תגביר את הסיכונים הבאים במערכת:

- חוסר זמן לתגובת בקרה ראשונית,
- השלת עומס מוגברת,
- הגברת נזק מצטבר ליחידות הייצור שנשארו בפעולה,
- סיכון להפסקת כח ייצור נוסף,
- סיכון לתגובת שרשרת ולעלטה כללית.

כיום, במצב הנוכחי, רק אירוע חריג, כמו הפסקה בו זמנית של מספר יחידות ייצור, שמתרחש אחת לכמה שנים, עלול לגרום לקצב שינוי תדר גבוה מ-0.5 Hz/s. בעתיד, עם שילוב אנרגיות מתחדשות בהיקף נרחב, קיים סיכון לקצב שינוי תדר מעל 0.5 Hz/s בהפסקה של יחידה בודדת במשך מספר שעות ביום, ברוב ימות השנה.

ביום 25.03.2030 במשך 8 שעות המערכת הייתה בסיכון מוגבר מבחינת קצב שינוי התדר. כפי שניתן לראות באיור 10, היה נדרש להוסיף למערכת מומנט אינרציה בהיקף של כ-250,000 kg•m², השווה ערך ל-10 יחידות פחמיות קטנות בתחנת הכוח אורות רבין, או 3-4 יחידות מחז"ם גדולות.

קיים פתרון של הספקת אינרציה על ידי חיבור קונדנסטורים סינכרוניים במערכת. דוגמאות הן: קונדנסטור סינכרוני בתחמ"ש Uchtelfangen בגרמניה, תחמ"ש Favara ותחמ"ש Partinico באיטליה. להספקת אינרציה נוספת של כ-250,000 kg•m² יש להקים שבעה (7) מתקנים של קונדנסטור סינכרוני כמו בתחמ"ש Uchtelfangen בגרמניה בהשקעה כוללת של כ-160 מיליון דולר.

הסבה של הגנרטורים הקיימים המיועדים לגריטה (אורות רבין 1-4 ואשכול 6-9) לקונדנסטורים סינכרוניים יכולה להקטין את הדרישה להקמת אינרציה נוספת מ-7 מתקנים חדשים ל-3-4 מתקנים ולהקטין את ההשקעה הצפויה.

בנוסף, בהערכת עלות הייצור יש לקחת בחשבון הפסדים במתקנים אלה, בהתאם למספר שעות הפעלה שלהם בשנה.

במידה והוספת אינרציה אינה אפשרית, ניתן לפתור את הבעיה על ידי ההגבלות הבאות:

- הגבלת ייצור מתקנים פוטוולטאיים, על מנת לשמור במערכת מספר גדול יותר של יחידות סינכרוניות,
- הגבלת הערך המרבי של ההספק ביחידות המסונכרנות למערכת בשעות אלה,
- שילוב של כל השיטות.

נציין, שהשיטה הראשונה עלולה למנוע אפשרות להגיע ליעד ייצור אנרגיה מתחדשת של 30%. השיטה השנייה מגבילה את הגמישות שנדרשת לוויסות התדר באופן שגרתי ע"י היחידות.

בדיקה של הפתרונות המוצעים על מנת למצוא שילוב אופטימלי מבחינת העלות טרם נעשתה בשלב זה של העבודה.

בנוסף, קיימת אפשרות לשינוי המגבלה של קצב שינוי תדר ל- 1 Hz/s , אך נדרש ארגון מחדש של כל המערכת, כולל יחידות ייצור בכל רמות המתח, מערכות ההגנה וכו'. מהלך כזה מתבצע באירלנד, במסגרת תכנית DS3.

11.4. תחזית תנודות בייצור באמצעות מתקנים פוטוולטאים והשפעתן על התדר

בוצעה הערכה ראשונית של שינויים בהספק מתקנים פוטוולטאיים בעקבות תנועת עננים, והשפעתם על תדר המערכת. לבדיקה זו נבחר תרחיש 1, עם ייצור של 85% PV במתקני קרקע, ו- 15% PV במתקנים דואליים. הבדיקה עבור תרחיש 2, עם ייצור של 30% PV במתקני קרקע, ו- 70% PV במתקנים דואליים, טרם בוצעה בשלב זה.

הנחות לביצוע הבדיקה:

- ההספק המרבי של תחנות ייצור מתקנים פוטוולטאיים נקבע ע"פ יכולת הפנלים,
- הנצילות של יחידות הייצור פוטוולטאיים אחידה לכולם, וזהה למצב בזמן ביצוע הבדיקה,
- נעשה שימוש במדידות קרינה בכ-30 נק' ברחבי הארץ במשך שנה אחת (מאי 2017 – מאי 2018) בין השעות 9-16,
- אומדן התנודות מבוסס על מדידת קרינה גלובלית נקודתית תוך התחשבות באפקט ההחלקה ובקיזוז הנובע מפיזור גאוגרפי,
- ייצור תרמו-סולארי הוכנס להדמיה כיחידה נפרדת בגלל אינרציה גבוהה יחסית לשינויי קרינה.

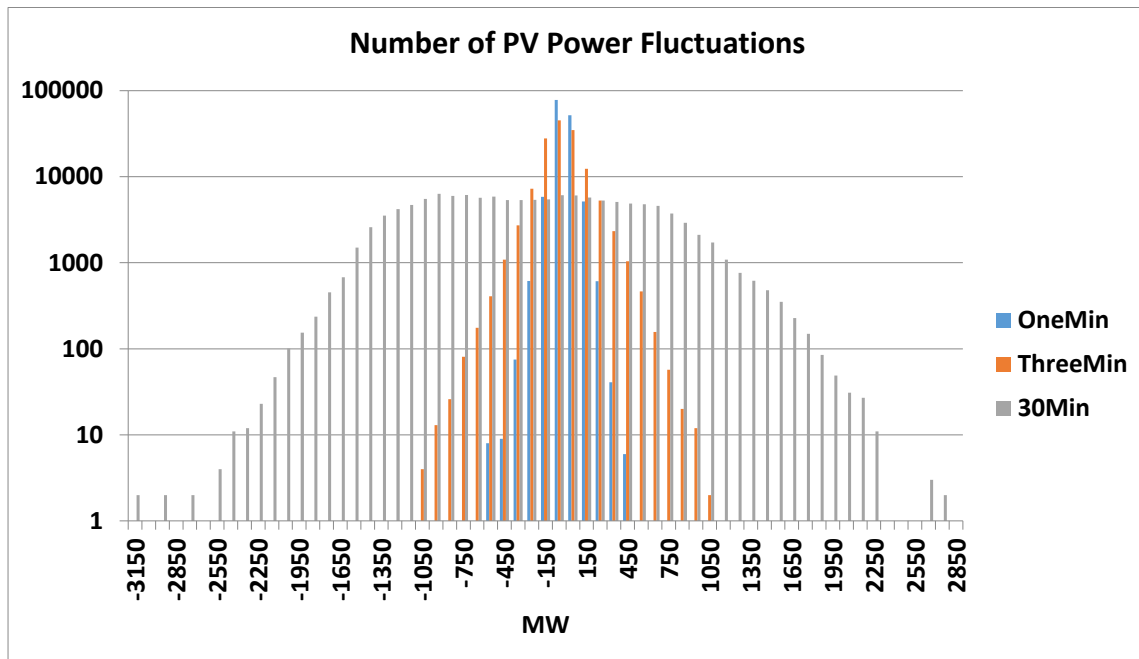
מיפוי גיאוגרפי של השטחים לייצור מתקנים פוטוולטאיים עתידי (לפי נספח ד' בפניית הרשות) לא בוצע עקב אילוצי זמן. הבדיקה בוצעה בהתאם לפיזור המתקנים הקיים.

ההתפלגות של כמות התנודות בייצור מתקנים פוטוולטאיים מופיעה באיור 11. הערכים המרביים של גודל התנודות מופיעים בטבלה 25.

לבדיקת התנהגות התדר בעקבות תנודות של ייצור מתקנים פוטוולטאיים נבחר תרחיש של שעה 10. בשעה זו ייצור מתקנים פוטוולטאיים מערכתי היה 7390 MW, ללא קיטום עקב הגבלת העומס.

לצורך הבדיקה, הוגדרו פרופילים שלוקחים בחשבון את תנודתיות ההספק המירבית שנצפתה בדקה אחת וב- 3 דקות. הגרפים של השתנות ההספק מתקנים פוטוולטאיים שנקבע להדמיה מופיעים באיור 12.

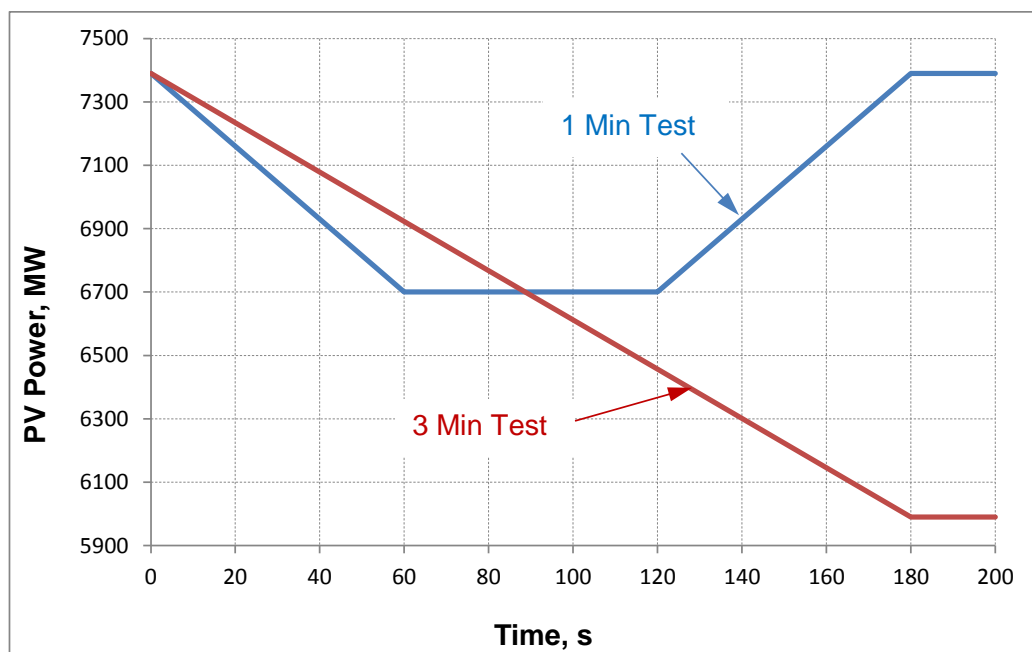
איור מס' 11: התפלגות של כמות התנודות בייצור מתקנים פוטוולטאיים בשנת 2030



טבלה מס' 25: ערכים מרביים של התנודות בייצור מתקנים פוטוולטאיים הצפויות בשנת 2030

PV Power Fluctuations	1 min	3 min	30 min
	MW	MW	MW
2030	690	1400	3100

איור מס' 12: השתנות הספק מתקנים פוטוולטאיים עבור הדמיית התנהגות התדר

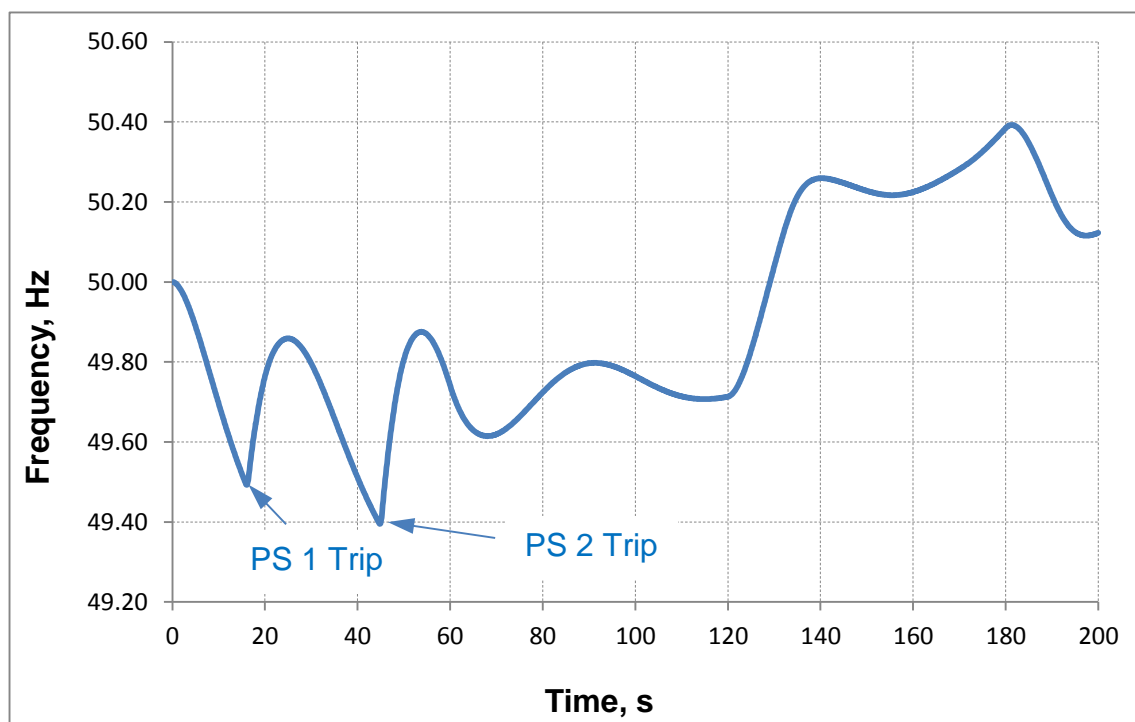


בהדמייה הראשונה נבדקה התנהגות התדר עקב תנודה מרבית של 690 MW תוך דקה 1. באיור 13 ניתן לראות שעקב שינוי כזה בייצור מתקנים פוטוולטאיים, התדר הגיע לערך מינימלי של 49.4 Hz, שגרם להפסקה של שתי יחידות אגירה שאובה בזו אחר זו עקב תת-תדר, ולתנודות חזקות לאחר מכן.

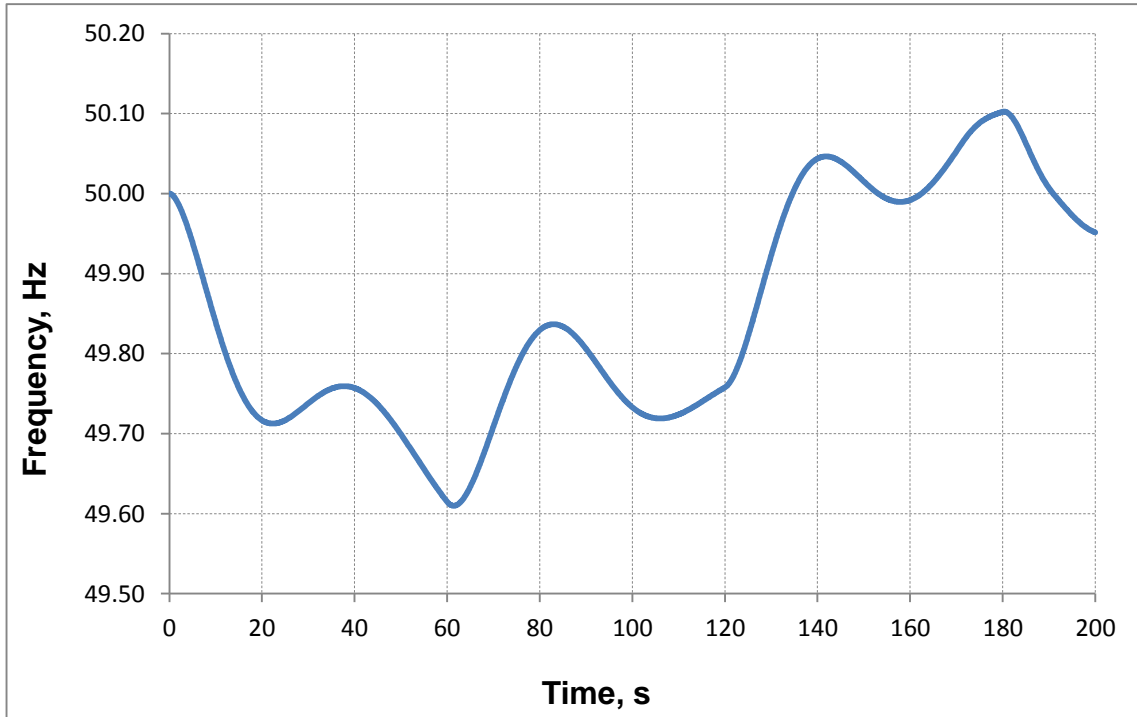
בהמשך נבדקה התנהגות התדר עקב תנודה של 350 MW תוך דקה 1. באיור 14 ניתן לראות שעקב שינוי של 350 MW בייצור מתקנים פוטוולטאיים, התדר הגיע לערך מינימלי של 49.6 Hz, ללא הפסקה של יחידות אגירה שאובה. לכן ניתן לקבוע את הערך של 350 MW תוך דקה 1 בתור סף בטוח להתמודדות עם תנודות מתקנים פוטוולטאיים במערכת. בהמשך העבודה בנושא זה ייבדק היקף שילוב מתקנים פוטוולטאיים שמבטיח סף זה.

באיורים 15 ו-16 מופיעים נתונים סטטיסטיים על סמך מדידות קרינה, מהם ניתן לראות כמה פעמים בשנה נרשמו תנודות בייצור מתקנים פוטוולטאיים מעל ערך של 350 MW בדקה 1. נתונים אלה יכולים לתת מידע להערכת מספר הפעמים וכמויות של קיטום בייצור מתקנים פוטוולטאיים, הנובע מהגבלת התנודות.

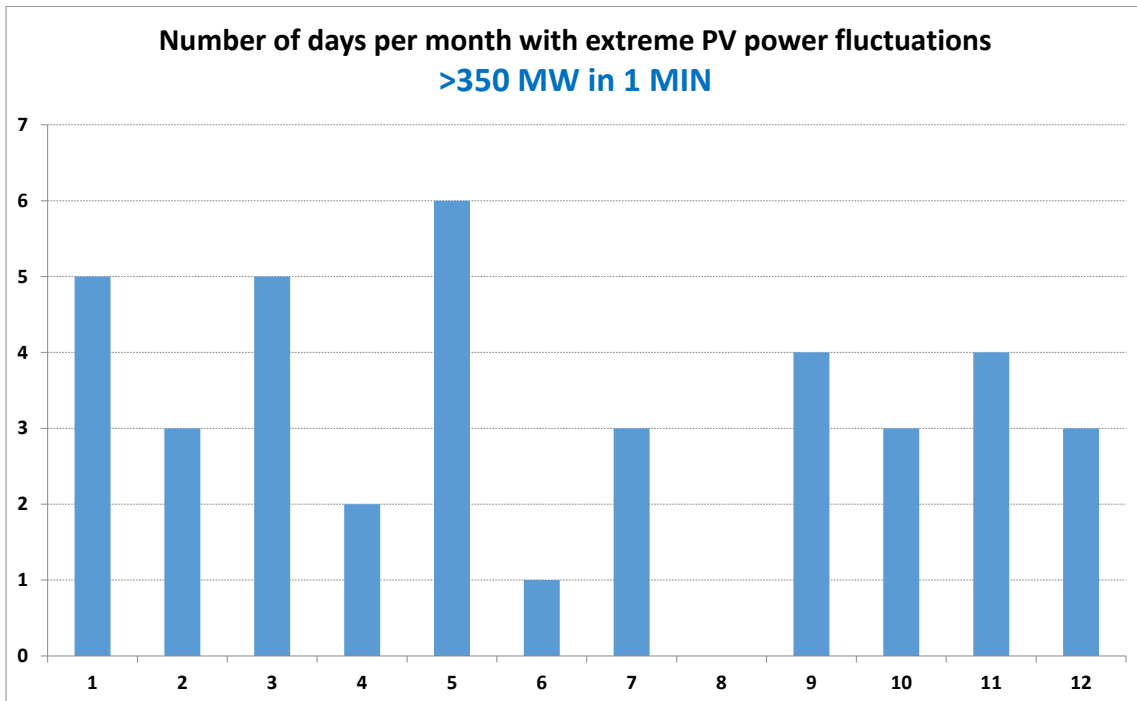
איור מס' 13: התנהגות תדר המערכת עקב ירידת ייצור מתקנים פוטוולטאיים של 690 MW תוך דקה 1.



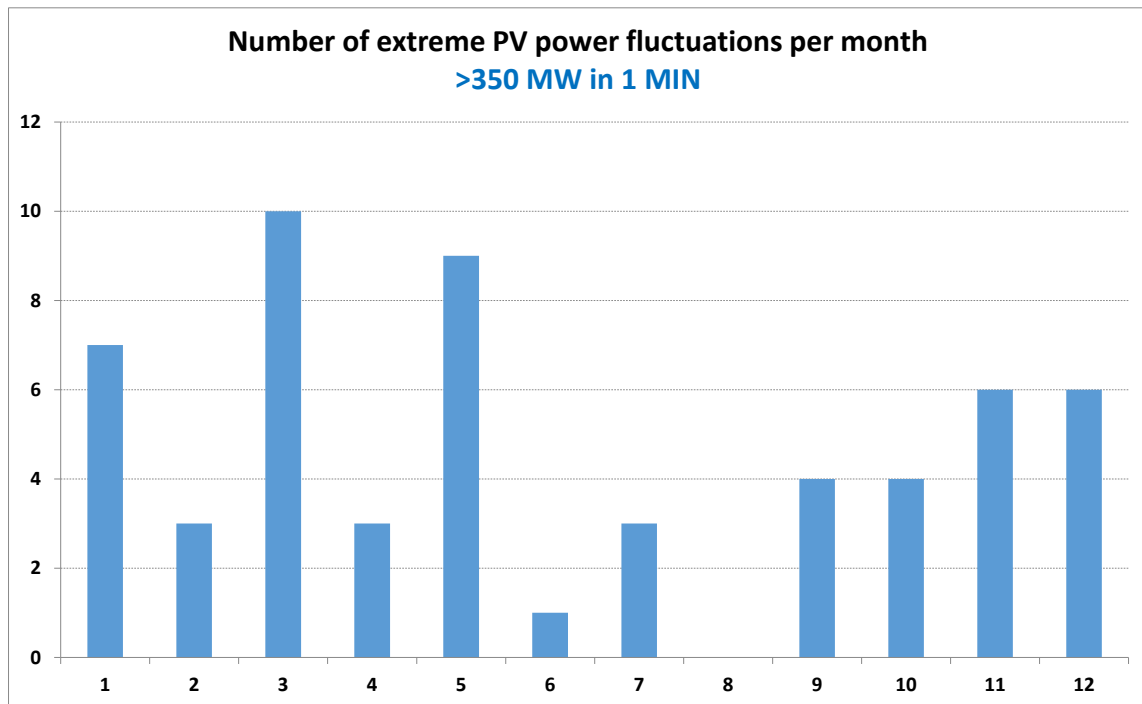
איור מס' 14: התנהגות תדר המערכת עקב ירידת ייצור מתקנים פוטוולטאיים של 350 MW תוך דקה 1.



איור מס' 15: מספר ימים בחודש עם תנודות מתקנים פוטוולטאיים גדולות מ- 350 MW/1min



איור מס' 16: מספר תנודות מתקנים פוטוולטאיים גדולות מ- 350 MW/1min לפי חודשים



בהמשך בוצעה הדמייה של התנהגות התדר עקב תנודה מרבית של 1400 MW תוך 3 דקות. באיור 17 ניתן לראות שעקב שינוי כזה בייצור מתקנים פוטוולטאיים, התדר הגיע לערך מינימלי של 49.1 Hz, שגרם להפסקה של 4 יחידות אגירה שאובה עקב תת-תדר, להשלת עומס של צרכנים רגילים בהיקף של 68 MW (דרגה של 49.4 Hz עם השהייה של 20 שניות), ולתנודות חזקות לאחר מכן.

בהמשך נבדקה התנהגות התדר עקב תנודה של 650 MW תוך 3 דקות. באיור 18 ניתן לראות שעקב שינוי של 650 MW בייצור מתקנים פוטוולטאיים, התדר הגיע לערך מינימלי של 49.53 Hz, ללא הפסקה של יחידות אגירה שאובה. לכן ניתן לקבוע את הערך של 650 MW תוך 3 דקות בתור סף בטוח להתמודדות עם תנודות המתקנים הפוטוולטאיים במערכת. בהמשך העבודה בנושא זה ייבדק היקף שילוב מתקנים פוטוולטאיים שמבטיח סף זה.

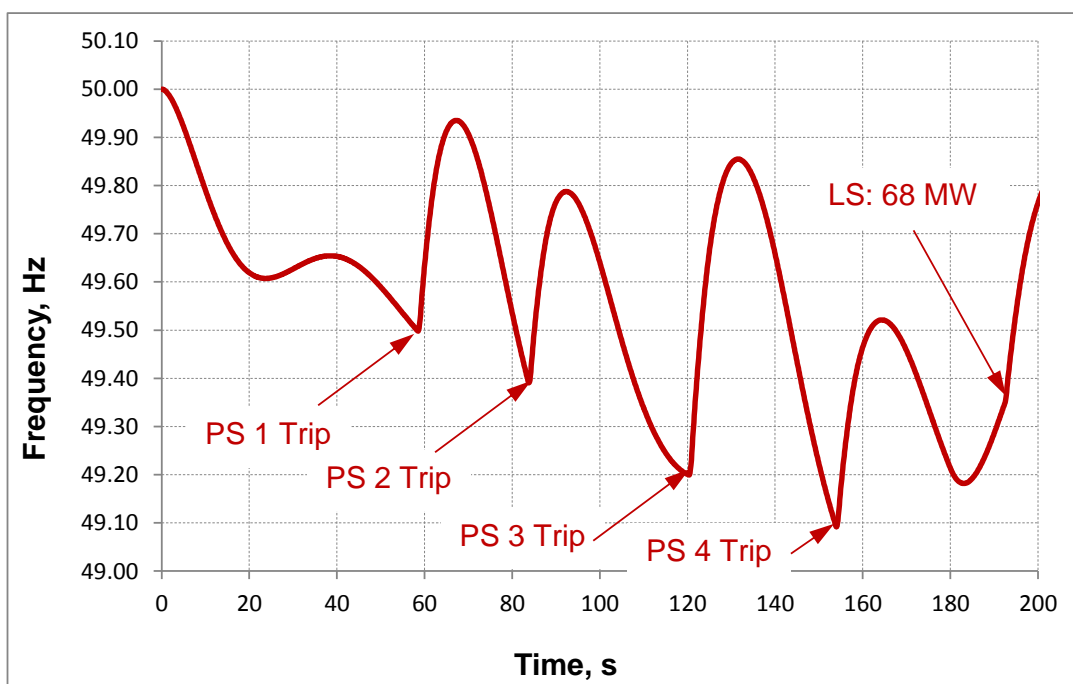
באיורים 19 ו-20 מופיעים נתונים סטטיסטיים על סמך מדידות קרינה, מהם ניתן לראות כמה פעמים בשנה נרשמו תנודות בייצור מתקנים פוטוולטאיים מעל ערך של 650 MW ב-3 דקות. נתונים אלה יכולים לתת מידע להערכת מספר הפעמים והכמויות של קיטום בייצור מתקנים פוטוולטאיים, הנובע מהגבלת התנודות.

מהנאמר לעיל, נובע כי בתנאי של 30% ייצור אנרגיות מתחדשות בשנת 2030, צפוי מספר רב של אירועים עקב תנודות בהספק מתקנים פוטוולטאיים - עשרות אירועים בחודש, במיוחד בתקופות מעבר. לכן, הפסקה של יחידות אגירה שאובה שעובדות בשאיבה כאמצעי לוויסות התדר בכל אירוע כזה אינו פתרון מעשי.

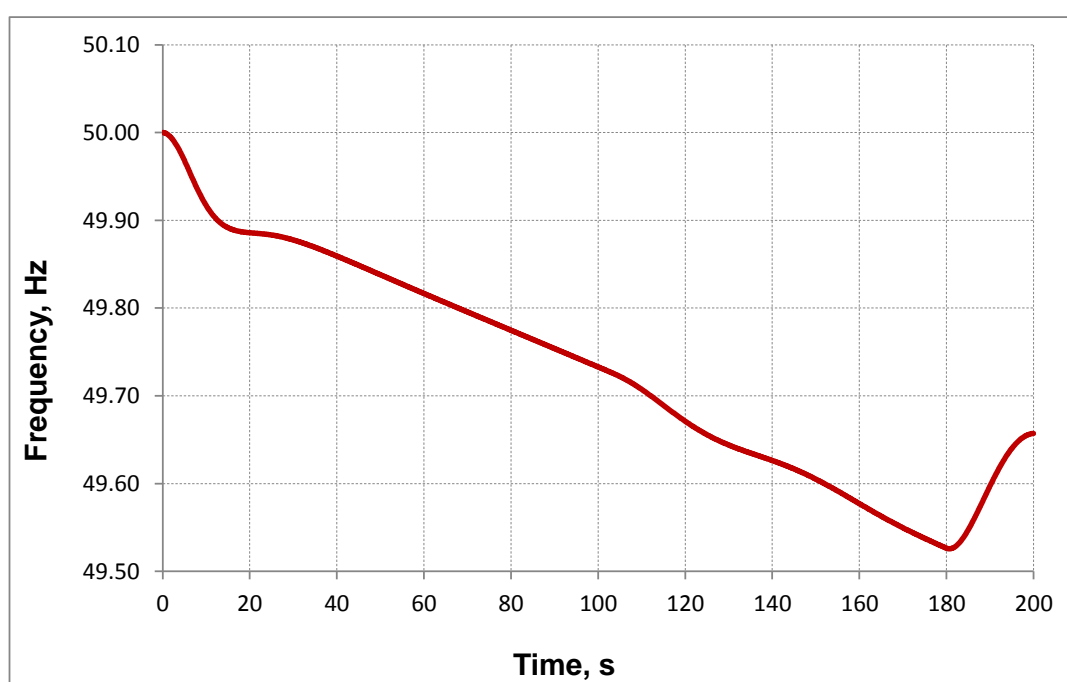
הקמת מתקני אגירה שאובה נוספים עם עומס משתנה בשאיבה עם DROOP לפי שינוי התדר, יכולה לסייע בוויסות התדר באירועים של תנודות משמעותיות בייצור מתקנים פוטוולטאיים.

פתרון אפשרי נוסף הוא הקמת מתקני אגירת אנרגיה בסוללות לצורך וויסות התדר עם קיבולת אנרגיה של כחצי שעה. ההספק הנדרש עבור מתקני אגירה בסוללות והערכת ההשקעה לא בוצעו בשלב זה.

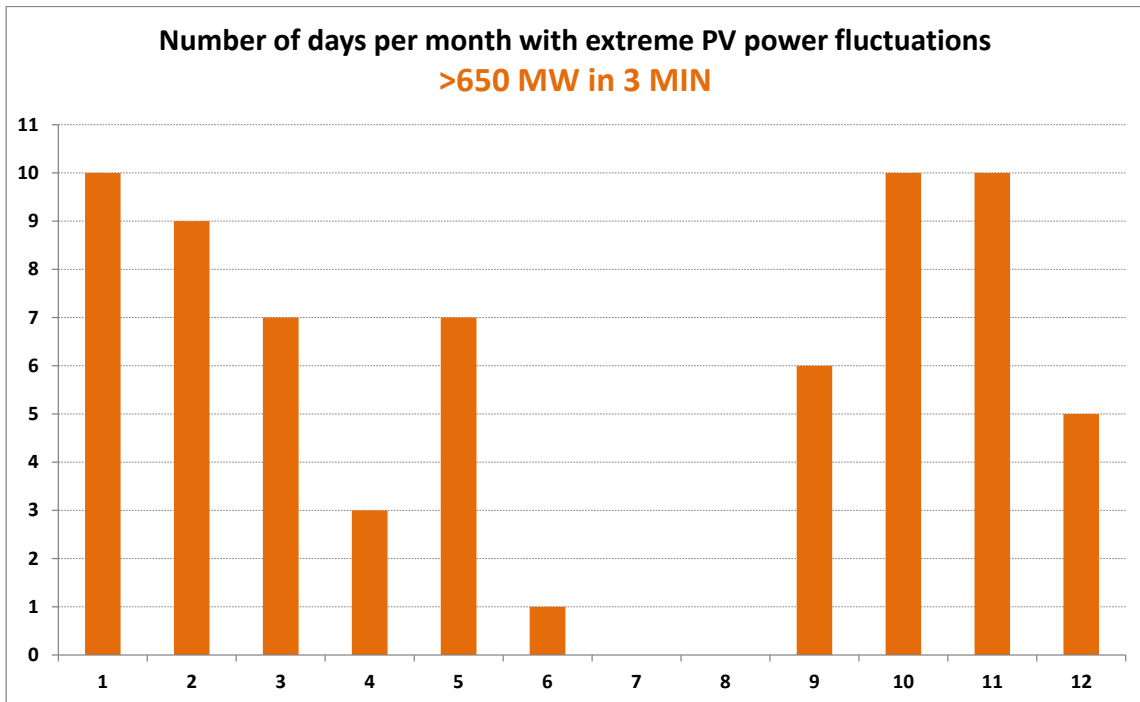
איור מס' 17: התנהגות תדר המערכת עקב ירידת ייצור מתקנים פוטוולטאיים של 1400 MW תוך 3 דקות



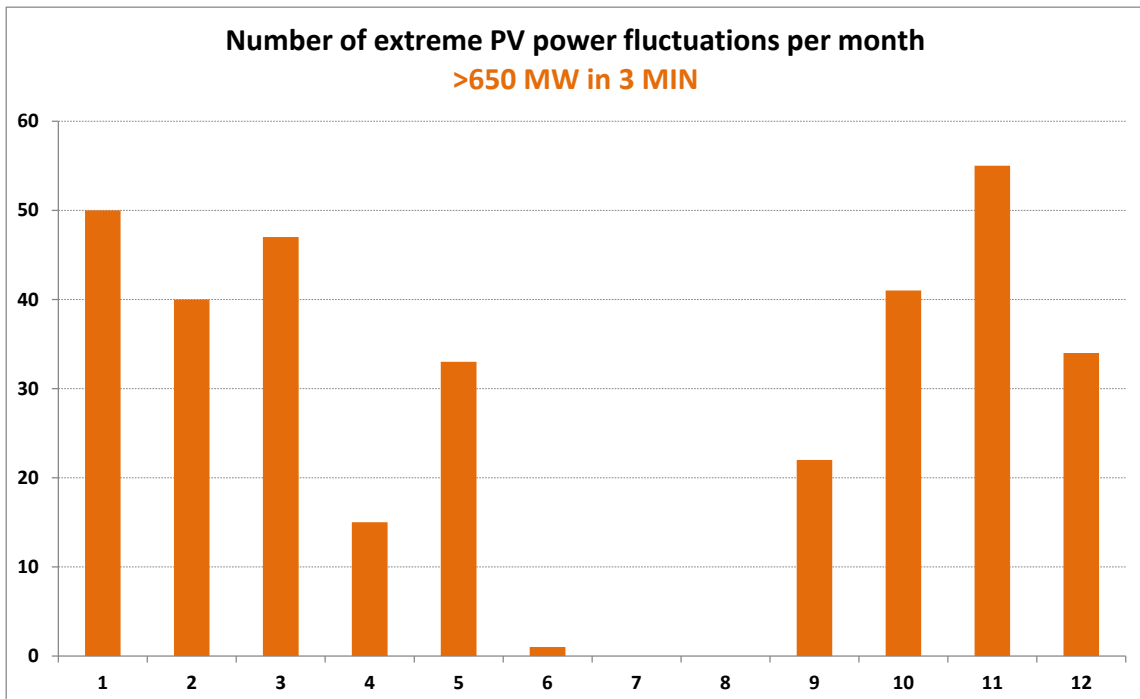
איור מס' 18: התנהגות תדר המערכת עקב ירידת ייצור מתקנים פוטוולטאיים של 650 MW תוך 3 דקות



איור מס' 19: מספר ימים בחודש עם תנודות מתקנים פוטוולטאיים גדולות מ- 650 MW/3min



איור מס' 20: מספר תנודות מתקנים פוטוולטאיים גדולות מ- 650 MW/3min לפי חודשים



בשלב ראשוני זה, נבדקה יכולת של מערכת ההספק העתידית, עם היקף של 30% ייצור אנרגיה ממקורות מתחדשים, להתמודד עם תקלה מסוג הפסקה מאולצת של יחידת ייצור ועם תנודות בייצור מתקנים פוטוולטאיים בעקבות תנועת העננים.

הבדיקה הראשונית נערכה עבור מערכת הייצור ללא אגירת אנרגיה בסוללות, על מנת לקבל את ההשלכות של שילוב אנרגיה מתחדשת במערכת, ולאפשר את תכנון האמצעים הנדרשים לפתרון הבעיות.

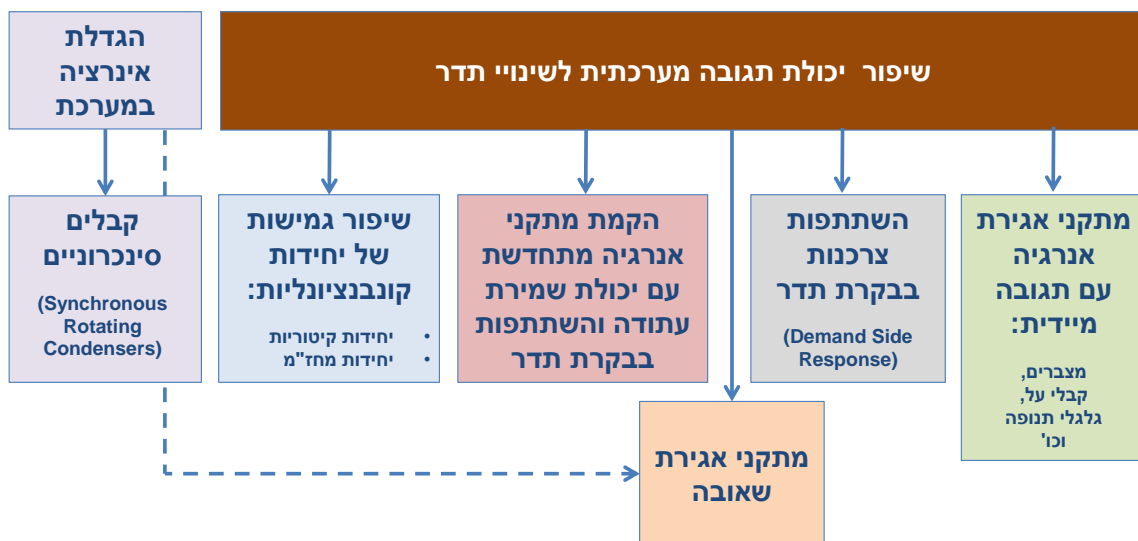
מתקני אגירה שאובה בהיקף של 800 MW, שנמצאים בתוכנית הפיתוח, שולבו בהדמיות ותרומתם לוויסות התדר נלקחה בחשבון.

הבעיות שעלו במהלך הבדיקות הראשוניות שנערכו בשלב זה:

- רמת אינרציה נמוכה הגורמת לקצב שינוי תדר מהיר
- העלאת היקף העתודה הסובבת בהתאם לגודל היחידות העתידיות
- הגדרת קריטריון חדש "עתודה מיידית" בתיכנון הייצור האופטימלי
- עודף ייצור מתקנים פוטוולטאיים מעבר לדרישות העומס המערכת, והצורך בקיטום
- תנודות הספק גדולות ומרובות בייצור מתקנים פוטוולטאיים עקב תנועת עננים

פירוט האמצעים לשיפור יכולת התגובה לתדר מופיע באיור 21. יש צורך לפתח את האמצעים האלה או חלק מהם, ולקבוע שילוב אופטימלי מבחינת אמינות אספקה מרבית ועלות מינימלית לצרכן. עבודה זו תתבצע בהמשך הפעילות בנושא.

איור מס' 21: אמצעים לשיפור ויסות התדר במערכת החשמל עם ייצור גבוה של אנרגיות מתחדשות



12.1. לאור הכניסה המוגברת הצפויה של יחידות פוטוולטאיות על מנת ליישם את היעד של 30% אנרגיות מתחדשות, קיימים שינויים משמעותיים בעקום הביקוש לאחר הפחתת אנרגיות מתחדשות. העקום החדש מתאפיין בשינויים חדים ומהירים והוא מקבל את צורת ה-Duck Curve (ראה פרק 3 לעיל). לכן, על כל היצרנים הקונבנציונאליים הגדולים יהיה להיערך לעבודה במתכונת החדשה של Two Shift, כאשר כמות ההתנעות המתוכננת צפויה להיות בטווח של 200-300 התנעות בשנה (לצורך השוואה, כיום רוב יחידות המחז"מים מסוג F של חח"י מבצעות כ-30 התנעות בשנה ויח"פים גדולים מבצעים מספר התנעות בודדות). אי לכך, קיימת חשיבות רבה לדאוג ולהבטיח במסגרת ההסדרתית שהיחידות החדשות שישולבו במערכת יוכלו לבצע מספר רב של התנעות תוך עמידה בסטנדרטים שהציבה הרשות באמות המידה. אי עמידה בסטנדרטים עלולה לגרום לבעיה של אי יכולת לספק את מלוא הביקוש בשעות בהן דרוש קצב עלייה גבוה.

12.2. שילוב מתקני אגירה (בסוללות או באגירה שאובה) הינו בעל חשיבות מערכתית גבוהה. ללא מתקני אגירה לא יהיה מנוס מלהפסיק יחידות פוטוולטאיות מספר רב של שעות בשנה. כמו כן, למתקני אגירה יכולות דינמיות גבוהות - תרומה לעתודה הסובבת שמאפשרת לצמצם מספר התנעות של יחידות קונבנציונליות, יכולת וויסות עומסים, ומענה לוויסות התדר במקרה של נפילת יחידה. בנוסף, מתקני האגירה בסוללות מאפשרים חיסכון באחזקת עתודה סובבת, וכתוצאה מכך מביאים לחיסכון בעלויות דלק

12.3. נעשתה בחינה ראשונית של מצבים קיצוניים במערכת הגז בשנת 2030 בתנאים של ייצור 30% של אנרגיות מתחדשות בחלופה 1, המניחה שאין שילוב מתקני אגירה בתכנית הפיתוח. התוצאות מראות שמערכת הגז לא יכולה להתמודד עם התנודתיות החדה של לחצי הגז במשך היום. כתוצאה מכך מתקני PRMS במספר תחה"כ צריכים להיסגר עקב לחצים נמוכים במערכת הגז. יציבות מערכת הגז מאוד תלויה בעקום הספקת הגז למצרים וירדן.

12.4. בשלב זה, ניתוח התופעות הדינמיות בוצע עבור חלופה 1 ללא אגירת אנרגיה בסוללות

- על מנת להכין את מערכת ההספק להתמודדות עם היקפים גבוהים של ייצור מתקנים פוטוולטאיים, יש להכין תשתית לקיטום של מתקנים פוטוולטאיים בהיקפים גבוהים. למשל, נמצא שעבור ייצור מתקנים פוטוולטאיים של כ-12900 MW, יהיה צורך בקיטום של כ-4700 MW, שמהווה כ-37%.
- הפסקה מאולצת של יחידת ייצור בודדת גורמת להשלט עומס בשעות רבות במשך היממה. לכן נדרש להגדיר אילוץ נוסף של "עתודה מיידית נדרשת" בפתרון בעיית ההעמסה האופטימלית. בנוסף, נדרש לקבוע ערך גבוה יותר של עתודה סובבת שיתאים לשילוב יחידות עם הספקים גדולים יותר בעתיד.

- שילוב אנרגיות מתחדשות בהיקף נרחב גורם לסיכון של קצב שינוי תדר מעל 0.5 Hz/s בהפסקה של יחידה בודדת במשך מספר שעות ביום, ברוב ימות השנה. לאור העובדה שמדינת ישראל מהווה אי חשמלי מבודד, נדרש למשל להוסיף למערכת מומנט אינרציה בהיקף של כ- 250,000 kg·m², השווה ערך ל- 10 יחידות פחמיות קטנות בתחנת הכוח אורות רבין, או 3-4 יחידות מחז"ם גדולות. לנושא זה קיימים פתרונות כגון הוספת קונדנסטורים סינכרוניים.
- מהערכה ראשונית של שינויים בהספק מתקנים פוטוולטאיים בעקבות תנועת עננים התקבלו ערכים מירביים של 690 מגווא"ט לדקה, ו- 1400 מגווא"ט ל- 3 דקות. תנודות משמעותיות אלה השפיעו על תדר המערכת וגרמו להפסקת אגירה שאובה ואף להשלות צרכנים. הפתרון לבעיה זו דורש קיטום של ייצור מתקנים פוטוולטאיים בהיקפים נרחבים או הכנסת מתקני אגירת אנרגיה בסוללות.
- מתוצאות הבדיקות נובע, שללא מתקני אגירת אנרגיה בסוללת יש צורך בקיטום של ייצור מתקנים פוטוולטאיים בהיקפים גבוהים, שימנע ממערכת להגיע ליעד של 30% אנרגיה מתחדשת.
- על מנת לאפשר ניצול ייצור מתקנים פוטוולטאיים יעיל יותר, ולהגיע ליעד זה, יש לשלב אמצעים לשיפור יכולת תגובה דינמית של מערכת הכוללים:
 - מתקני אגירת אנרגיה עם תגובה מיידית (סוללות, קבלי-על וכו')
 - השתתפות צרכנים בבקרת תדר (Demand side Response)
 - מתקני אגירה שאובה נוספים עם עומס משתנה
 - הקמה מתקנים פוטוולטאיים עם יכולת שמירת עתודה והשתתפות בבקרת תדר
 - שיפור גמישות של יחידות קונבנציונליות (קיטוריות ומחז"מ)

13. המלצות

- להלן נושאים נדרשים להשלמת בחינת ההשלכות:
- ביצוע עבודה מקיפה הבוחנת את השלכות העמידה ביעד של 30% אנרגיות מתחדשות על מערכת החשמל, בפרט לאור ההשפעה של ייצור אנרגיה ממקור סולארי בשיעורים שאינם קיימים כיום בעולם, הן מבחינה תפעולית והן מבחינה דינמית.
 - בחינת ההשפעה של חדירת רכבים חשמליים על משק החשמל בכלל ועל עבודה זו בפרט.
 - בדיקת ההשלכות של חיבור תת ימי עם קפריסין ויוון על ממצאי עבודה זו.
 - בדיקת של תוספת עלויות וחסכון בפליטות מזהמים הנובעות מהגדלת יעד של אנרגיות מתחדשות מ-17% ל-30%.
 - ביצוע בחינה מעמיקה שתבדוק פתרונות שונים לטובת שיפור ייצוב מערכת הגז:
 - הפעלת האנייה המגזזת במשך היום בשעות שיא הביקוש,
 - קביעת ערך משתנה עבור כמות הגז המיוצאת למצרים,

- התקנת מתקני אגירת גז באתרי תחנות הכוח,
- שיפור עקום העמסה של יחידות הייצור על ידי התקנת אמצעי אגירת אנרגיה.
- ביצוע ניתוח של ימים נוספים עקב שונות אופיין העומס בעונות השונות ובימי השבוע, על מנת לקבל תמונה מלאה עבור ניתוח דינמי,
- בדיקת ההיקף המרבי של קיטום מתקנים פוטוולטאיים על מנת להתאים לרמת הצריכה,
- הגדרת אילוץ נוסף של "עתודה מיידית נדרשת" בפתרון בעיית ההעמסה האופטימלית.
- קביעת ערך גבוה יותר של עתודה סובבת שיתאים לשילוב יחידות עם הספקים גדולים יותר בעתיד.
- בדיקת היקף של קיטום מתקנים פוטוולטאיים על מנת להקטין את התנודות הצפויות בעקבות תנועת העננים.
- בחינה של אמצעים לשיפור יכולת תגובה דינמית של מערכת הכוללים:
 - מתקני אגירת אנרגיה עם תגובה מיידית (סוללות, קבלי-על וכו')
 - השתתפות צרכנים בבקרת תדר (Demand side Response)
 - מתקני אגירה שאובה נוספים עם עומס משתנה
 - הקמה מתקנים פוטוולטאיים עם יכולת שמירת עתודה והשתתפות בבקרת תדר
 - שיפור גמישות של יחידות קונבנציונליות (קיטוריות ומחז"מ)
- קביעת שילוב של האמצעים האלה באופן אופטימלי מבחינת אמינות אספקה מרבית ועלות מינימלית לצרכן.

העבודה הוכנה ע"י:

אושרי גולוב, סיגלית פינטו, רועי מאיר, עוזי דנה, דוד אפללו, פוליאק אולגה, ז'אן אליס, יואל שטרנטל ויעקב ניומן

בברכה,

(חתום)

גב' נעמי עציון, ד"ר אלכס ליטינצקי, ד"ר ולדימיר גורביץ

(חתום)

בדק: ד"ר עוזי זרחיה

(חתום)

מאשר: שמעון (שיקי) פישר

מ"מ סמנכ"ל תפ"ט ומנהל אגף מערכת החשמל

מזכר

אל: מר ש.פישר – מ"מ סמנכ"ל תפ"ט

הנדון: הגדלת יעדי הייצור באנרגיה מתחדשת ל- 30% בשנת 2030 – פרק הולכה

1. סימוכין: 1. מכתב מהרשות מס. 50920, בנושא "הגדלת יעדי הייצור באנרגיה המתחדשת ל- 30% בשנת 2030", מתאריך 26/01/20
2. מסמך מס' 791/018/20, בנושא "קליטת מתקני פ"ו במ"ג מהיבט מערכת ההולכה", מתאריך 04/03/20
3. מסמך מס' 105-005309-2019, בנושא "תכנון המערכת לקליטת מתקנים סולאריים ברשת החלוקה עד שנת 2020", מתאריך 17/02/19
4. מסמך מס' 785/036/2020, בנושא "הגדלת יעדי הייצור באנרגיה מתחדשת ל- 30% בשנת 2030 – פרק ייצור", מתאריך 09/03/20

I. רקע

1. לאור פנייתו של שר האנרגיה לרשות החשמל בבקשה להיוועצות לצורך גיבוש עקרונות מדיניות, החלה הרשות לבחון את המשמעות של קביעת יעד ייצור באנרגיות מתחדשות ל- 30% בשנת 2030.
2. בהמשך לפניית רשות החשמל, ראה סימוכין 1, מוצגת בעבודה זו בחינה ראשונית של הפרויקטים הנדרשים לפיתוח של מערכת ההולכה וההשנאה הארצית לצורך עמידה ביעד של 30% אנרגיות מתחדשות.
3. מסמך זה מהווה עבודה ראשונית שהוכנה בזמן קצר מאוד.
4. המסמך הנוכחי בוצע בהתבסס על:
 - א. פוטנציאל שטחים המתאימים להקמת מתקני PV בפריסה ארצית ובחלוקה למתקנים קרקעיים ודואליים. ראה נספח ד' למסמך שבסימוכין 1.
 - ב. מצב מערכת ההולכה בהסתמך על מסמך "קליטת מתקני פ"ו במ"ג מהיבט מערכת ההולכה", ראה סימוכין 2
 - ג. מסמך תכנית הפיתוח המעודכנת הכוללת תוספות בהתאם למסמך "תכנון המערכת לקליטת מתקנים סולאריים ברשת החלוקה עד שנת 2020", ראה סימוכין 3.
 - ד. תכנית פיתוח של מערכת ייצור שתואמה עם רשות החשמל, ראה סימוכין 4

מטרה .II

1. הגדרת תיעדוף אזורים בהם מומלץ לקדם חיבור מתקנים על פי הרשת הקיימת והמתוכננת ועל פי תוכנית הפיתוח המאושרת. המלצה על אזורים מעודפים לקידום אנרגיה מתחדשת בהתאם לפיתוח מערכת אופטימלי של המערכת בעתיד.
2. בחינת מערכת ההולכה הארצית עד שנת 2030 מהיבט יכולת קליטת מתקני ייצור באנרגיה מתחדשת בהתאם להגדלת היעד.
3. הגדרת פרויקטים התוספתיים במערכת ההולכה וההשנאה הנדרשים לקליטת מתקנים פוטו-וולטאים בהתאם להגדלת היעד עד שנת 2030.
4. הערכה של ההשקעות הנדרשות במערכת ההולכה וההשנאה על מנת לעמוד ביעד של 30% ייצור באנרגיה מתחדשת בשנת 2030.
5. המלצה בדבר פריסה אזורית לקליטת האנרגיה המתחדשת, בהתייחס לפרויקטים הנדרשים, קביעת סדרי עדיפויות לפרויקטים.

הנחות יסוד .III

מערכת ההולכה

1. מערכת ההולכה וההשנאה בהתאם לתוכנית הפיתוח המעודכנת, כולל הפרויקטים לקליטת 1600 מגו"ט אנרגיות מתחדשות.

ביקוש ארצי לחשמל

1. ניתוח המערכת בוצע בהתאם לתחזית ביקוש משק החשמל המעודכנת, ראה נספח 3.

מערכת הייצור

יצור קונבנציונלי

1. מתקני ייצור בהתאם לתוכנית הפיתוח של מערכת הייצור, כולל:
 - גריטת יחידות ייצור קיימות בתח"כ רדינג והקמת שתי יחידות מחז"מ בהספק של 450MW כ"א בגוש דן במקומן.
 - שימור יחידות פחמיות בתח"כ מ"ד א' והקמת שני מחז"מים בהספק מצרפי של 1280MW.
 - הסבת שאר היחידות פחמיות לגז
2. שמירת מקום למתקני ייצור פרטיים בהתאם להתחייבות חח"י, כולל:
 - אתגל, באר טוביה, OPC נייר חדרה, צומת אנרגיה, ט"ג באתר אלון תבור,
3. מתקני אגירה שאובה: כוכב הירדן, מנרה

4. הפעלת יחידות יצור קונבנציונליות תוך מתן העדפה לזמינות רשת לאנרגיות מתחדשות תוך שמירה על אמינות ושרידות המערכת.

5. טבלה מס. 1 מציגה תוכנית הוספת מתקני ייצור קונבנציונאליים בהתאם לחלופת יחוס של תכנית פיתוח ומשטר הפעלה לשנים 2028-2030, ראה בסימוכין 4:

טבלה מס. 1 - הוספת מתקני ייצור קונבנציונאליים בהתאם לתכנית פיתוח מערכת הייצור

שנים	מחז"מ [מגווא"ט]	ט"ג [מגווא"ט]
2028	0	226
2029	466	0
2030	466	791

6. הבדיקה בוצעה עבור שני תסריטי פיתוח מערכת הייצור:

- תסריט 1: הקמת יחידות יצור מסוג מחז"מ בשנים 2028-30 קרוב לאזורי צריכה במרכז הארץ (מחבורות לתחמ"ג גן שורק)
- תסריט 2: הקמת יחידות יצור מסוג מחז"מ בשנים 2028-30 באזור הצפון והדרום.

מתקני יצור באנרגיה מתחדשת

1. שמירת מקום למתקני ייצור פרטיים בהתאם להתחייבויות חח"י, בהספק כולל של 1100 מגווא"ט, כולל:
 - מתקני PV: אשלים PV2, יכיני, עדנית, שירת דבורה, יאסיף, דימונה.
 - מתקני ט"ר: עמק הבכא, רוח בראשית, עמק יזרעאל.
 - (בנוסף, הונח תוספת ט"ר עד הספק של 730 מגווא"ט, ברובה בצפון הארץ.)
2. קליטת מתקני PV ברשת החלוקה, בהספק מצרפי של 1600 מגווא"ט, בהתאם ליעדי הממשלה לשנת 2020.
3. טבלה מס. 2 מציגה הוספת מתקני PV, לפי אזור, במטרה לעמוד בהגדלת יעדי הממשלה של 30%, בהתאם לטבלת פוטנציאל שטחים – ראה נספח ד' לסימוכין 1. ראה מפות בנספח 6.

טבלה מס. 2 – הוספת הספק מתקני PV בהתחשב בפוטנציאל שטחים לפי אזור

סה"כ אזור [MW]	הספק מתקני גגות [MW] (*)	הספק מתקנים על מאגרים [MW]	הספק מתקנים קרקעיים [MW]	אזור
2648	767	981	900	צפון
1227	814	291	122	שרון, מרכז, ירושלים
1398	343	279	776	שפלה ואיתן
1783	98	123	1562	נגב מערבי
3272	62	84	3126	נגב
1261	29	23	1209	אילת
11588	2112	1781	7695	סה"כ תוספת PV

(*) הערה: פוטנציאל קליטת מתקני PV על גגות התקבל ביחידות שטח (מ"ר). לצורך קביעת פוטנציאל הספק מותקן על גגות, בוצעה המרה ביחס 14 דונם למגווא"ט.

4. טבלה מס' 3 מציגה תחזית שילוב מתקנים פוטו-וולטאים, בהתאם לטבלה שבסימוכין 1 – נספח ג'. על פי הטבלה, בשנת 2030, נדרש הספק מצרפי של מתקני PV בהיקף של כ- 16000 מגווא"ט לצורך עמידה ביעד 30%.

טבלה מס. 3 – תחזית שילום מתקני PV לפי שנים

שנה	PV 30% [MW]
2020	3,623
2021	4,531
2022	5,462
2023	6,120
2024	6,802
2025	7,577
2026	9,117
2027	10,733
2028	12,392
2029	14,208
2030	16,074

5. טבלה מס' 4 מציגה סיכום הספק מתקני יצור פוטו-וולטאים בשנת 2030, לפי הגדלת היעד ל- 30% (ב- MW):

טבלה מס. 4 – סיכום הספק של מתקני PV בשנת 2030

(מספרים במגו"ט)

סה"כ	תוספת PV לפי פוטנציאל שטחים	שמירת מקום במ"ע	תוספת PV בחלוקה	PV קיים	
				במ"ע	בחלוקה (מ"ג, מ"ג)
15948	11588	780	1600	470	1510

IV. משטר הפעלת יחידות ייצור קונבנציונליות

משטר הפעלת יחידות ייצור הינו בהתאם לשיטה 2, המוצעת בסימוכין 3. בהתאם לעיקרון המוצע, תוגבל זמינות רשת לתחנות הכוח המוסקות בדלקים ותינתן עדיפות למתקני PV בהתאם לעקרונות הבאים:

א. טורבינות גז – יופעלו בשעות הצורך, תשמר עבורן יכולת רשת בהתאם לצרכי המערכת בלבד. (*)

ב. יחידות ייצור קיטוריות (פחמיות ומוסבות לגז), יופעלו בהתאם למגבלות הטכניות שלהן בשאיפה להפעילן מעל המינימום התפעולי. (**)

ג. מחזמ"ים, יופעלו מעל המינימום התפעולי. (***)

ד. מתקני קוגנרציה, ישמר מקום בהתאם להספק הנדרש לקוגנרציה.

ה. אגירה שאובה, ישמר מקום במשטר שאיבה.

ו. אגירה שאובה, במשטר ייצור - הפחתה (****)

ז. מתקני ייצור באנרגיות מתחדשות, ידרשו להפחית ייצור כדי למנוע גודש בהולכה בתקופה של ביקוש בינוני ונמוך לחשמל. (*****)

(*) לשמירת איכות, אמינות ושרידות. המשמעות בשעות ומקום שעקב הפעלת ייצור באנרגיות

מתחדשות אין צורך בט"ג לא תשמר עבורן יכולת רשת.

(**) כדי לשמור את יציבות התדר של המערכת. .

(***) התחשבות בסדר העמסה של יחידות אלו בהתאם לעלויות השוליות. בכל מקרה לאחר ניצול

הייצור באנרגיות מתחדשות.

(****) שמירה על מלוא השירותים של ייצוב התדר והמתח הפחתה רק לצורך קליטת אנרגיה

מתחדשת.

(*****) הייצור באנרגיות מתחדשות אינו מתלכד עם עקום העומס. במיוחד בולט הדבר בייצור במתקני

PV בעונות המעבר. על מנת לאפשר קליטה של מתקנים אלו הם יוגבלו כדי לשמור על שרידות

המערכת.

V. מתודולוגיה

1. הכנת מודל מערכת החשמל הארצית המתאים לשנת 2030 בהתאם להנחות יסוד הנ"ל. המודל כולל מתקני ייצור קיימים ואלו ששמור להם מקום ברשת, כולל מתקנים במתח גבוה ונמוך בפריסה ארצית.
2. המודל כולל מתקני ייצור אשר מתוכננים להתחבר לרשת על פי תוכנית פיתוח מערכת הייצור.
3. המודל כולל מתקני PV בהספק של 1600 מגווא"ט, במ"ג ובמ"נ, העתידיים להתחבר בהתאם ליעדי הממשלה לשנת 2020.
4. הוספת הספק מתקני PV בהתאם לפוטנציאל שטחים (בקרע, מאגרים וגגות), בשלבים לפי אזור:
 - א. אזור השרון, מרכז וירושלים.
 - ב. אזור הצפון
 - ג. אזור השפלה והדרום
 - ד. אזור הנגב המערבי
 - ה. אזור הנגב
 - ו. אזור אילת
7. הבדיקה בוצעה עבור שני תסריטי פיתוח מערכת הייצור קונבנציונלי:
 - תסריט 1: הקמת תוספת הייצור קרוב לאזורי צריכה.
 - תסריט 2: הקמת תוספת הייצור באזורים פריפריאליים.
5. בדיקת השפעה של תוספת ייצור מתקני PV בכל אזור, בהתאם לקריטריוני התכנון (N-1, N-2, רמות מתחים וכד') על מצב מערכת ההולכה.
6. הבדיקה בוצעה ברזולוציה של אזור, בשלבים:
 - א. איתור צירי ההולכה, אשר העמסתם מושפעת וחורגת מקריטריוני התכנון.
 - ב. קביעת מגבלת הספק שניתן לקלוט באזור בהתאם למצב המתוכנן של מערכת ההולכה לשנת 2030.
 - ג. הגדרת פרויקטים תוספתיים, המאפשרים הסרת המגבלות.
 - ד. הערכת עלויות של הפרויקטים התוספתיים.

.VI תוצאות הבדיקה

1. תיאור פוטנציאל מתקני PV לפי אזורים

טבלה מס' 5 מציגה תוספת מתקני PV בהתאם לפוטנציאל שטחים לפי אזור/תת-אזור (ראה מפות מס' 2,3 בנספח 6).

טבלה מס. 5 – פריסת הספק מתקני PV לפי פוטנציאל שטחים

סה"כ לאזור [MW]	הספק מתקני גגות [MW]	הספק מתקנים על מאגרים [MW]	הספק מתקנים קרקעיים [MW]	אזור
633	142	121	370	א'
899	402	394	103	ב'
1115	222	466	427	ג'
1227	814	291	122	שרון, מרכז, ירושלים
1398	343	279	776	שפלה ואיתן
1310	72	68	1170	א' נגב
473	26	55	392	ב' מערבי
3272	62	84	3126	נגב
1261	29	23	1209	פארן - אילת
11588	2112	1781	7695	סה"כ

2. הגדרת פרויקטים במערכת ההולכה וההשנאה לפי אזורים (ראשוני)

לקליטת ההספקים הנ"ל יידרשו פרויקטים במערכת ההולכה וההשנאה בהיקף רב. הנחות:

- כל 100 מגווא"ט (מעוגל מטה) של תוספת ייצור ידרשו הקמת תחמ"ש.
- אזור, אשר יש לקלוט בו יותר מ- 1000 מגווא"ט ייצור ידרוש הקמת תחמ"ג.
- כל התחמ"שים החדשים יחוברו במסעפים דו-מעגליים לתחמ"ג החדשה באזור.

א. אזור צפון א' – כנורות, חולה ורמת הגולן – החלק הצפון-מזרחי

האזור מתאפיין בצפיפות נמוכה של תחמ"שים וקווי הולכה. קליטת ייצור בהיקף הרצוי, ידרוש הקמת כ- 6 תחמ"שים חדשים והקמת קווי הולכה חדשים לחיבורן באורך משוער של כ- 80-100 ק"מ

ב. אזור צפון ב' – כרמיאל, חיפה וקיסריה – חלק המערבי

- קליטת ייצור בהיקף הרצוי, ידרוש הקמת כ- 8 תחמ"שים חדשים והקמת קווי הולכה חדשים לחיבורן באורך משוער של כ- 90-120 ק"מ.
- ג. אזור צפון ג' – בית שאן, אלון תבור ויזרעאל – החלק הדרום-מזרחי
קליטת ייצור בהיקף הרצוי, ידרוש הקמת כ- 10 תחמ"שים חדשים והקמת קווי הולכה חדשים לחיבורן באורך משוער של כ- 100-130 ק"מ. בנוסף יידרש להקים תחמ"ג 400/161 ק"ו (הנחה – באזור נצרת) + קו 400 ק"ו חדש עד לאזור המרכז, באורך משוער של כ- 80-120 ק"מ.
- ד. אזור השרון, מרכז וירושלים
האזור מתאפיין בצפיפות מאוד נמוכה של מתקני ייצור וצפיפות גבוהה מאוד של צרכנים. אתכן ויהיה ניתן לקלוט את הייצור בהיקף הרצוי ללא פרויקטים גדולים.
- ה. אזור השפלה ואזור איתן
האזור מתאפיין בצפיפות ייצור גבוהה מאוד. קליטת ייצור בהיקף הרצוי, ידרוש הקמת כ- 14 תחמ"שים חדשים והקמת קווי הולכה חדשים לחיבורן באורך משוער של כ- 80-120 ק"מ. בנוסף, יידרש להקים תחמ"ג 400/161 ק"ו (הנחה – באזור יבנה) + קו 400 ק"ו באורך משוער של כ- 30-40 ק"מ (לאזור המרכז).
- ו. אזור נגב מערבי א' – בין צומת כרמיה לרמת חובב
האזור מתאפיין בצפיפות ייצור גבוהה. קליטת ייצור בהיקף הרצוי, ידרוש הקמת כ- 12 תחמ"שים חדשים והקמת קווי הולכה חדשים לחיבורן באורך משוער של כ- 90-150 ק"מ. בנוסף, יידרש להקים תחמ"ג 400/161 ק"ו (הנחה – באזור שדרות, או נתיבות) + קו 400 ק"ו באורך משוער של כ- 40-50 ק"מ (לאזור יבנה).
- ז. אזור נגב מערבי ב' – תחמ"שים "בשור" ו"ניר יצחק"
קליטת ייצור בהיקף הרצוי, ידרוש הקמת כ- 4 תחמ"שים חדשים, הקמת קווי הולכה חדשים לחיבורן באורך משוער של כ- 30-40 ק"מ.
- ח. אזור הנגב – סדום, מכתשים ומצפה רמון
האזור מתאפיין בצפיפות נמוכה של תחמ"שים וקווי הולכה. קליטת ייצור בהיקף הרצוי, ידרוש הקמת כ- 30 תחמ"שים חדשים, כולל תחמ"שים פרטיים של מתקני PV שיתחברו למערכת מ"ע והקמת קווי הולכה חדשים לחיבורן באורך משוער של כ- 250-350 ק"מ. יידרש להקים באזור שתי תחמ"ג 400/161 ק"ו (הנחה – באזור אשלים ובאזור נחל צין), שני קווי 400 ק"ו עד לרמת חובב/דימונה באורך משוער של כ- 40-50 ק"מ כ"א + קו 400 ק"ו נוסף מרמת חובב/דימונה עד לאזור המרכז באורך משוער של כ- 120-160 ק"מ.
- ט. אזור פארן - אילת

האזור מתאפיין בצפיפות נמוכה מאוד של תחמ"שים וקווי הולכה. קליטת ייצור בהיקף הרצוי, ידרוש הקמת כ- 12 תחמ"שים חדשים וקווי הולכה לחיבורם באורך משוער של כ- 90-120 ק"מ. תידרש הקמת תחמ"ג 400/161 ק"ו (הנחה – באזור קטורה) וקו 400 ק"ו באורך משוער של כ- 120-150 ק"מ (המתחבר ל שתי תחמ"ג החדשות באזור הנגב).

3. סיכום הפרויקטים הנדרשים והערכת השקעות הנדרשות – טבלה מס' 6.
הנחת עלויות ליחידה:

- תחמ"ג 400/161 ק"ו – 450 מיליון ₪
- תחמ"ש חיצונית 2 שנאים (100 מגו"א) – 60 מיליון ₪
- קו 400 ק"ו – 8 מיליון ₪/ק"מ
- קו 161 ק"ו – 3 מיליון ₪/ק"מ

טבלה מס. 6 – השקעות הנדרשות לעמידה ביעד 30% אנרגיה מתחדשת בשנת 2030

הספק [MW]	קווי 400 ק"ו		תחמ"ג 400/161 ק"ו		קווי 161 ק"ו		תחמ"ש		אזור	
	עלות [מיל ₪]	ק"מ	עלות [מיל ₪]	כמות	עלות [מיל ₪]	ק"מ	עלות [מיל ₪]	כמות		
2648					240-300	80-100	360	6	א'	צפון
					180-360	90-120	480	8	ב'	
	640-960	80-120	450	1	300-390	100-130	600	10	ג'	
1227									שרון, מרכז, ירושלים	
1398	860-940(*)	30-40	450	1	240-360	80-120	840	14	שפלה ואיתן	
1783	360-400	40-50	450	1	270-450	90-150	720	12	א'	נגב מערבי
					90-120	30-40	240	4	ב'	
3272	1600-2880	200-360	900	2	750-1050	250-350	1800	30	נגב	
1261	960-1200	120-150	450	1	180-360	90-120	720	12	פארן - אילת	
11588	4420-6380	470-720	2700	6	2250-3390	810-1130	5760	96	סה"כ:	

(*) הערה: הנחה כי קטע באורך כ-10 ק"מ יהיה במתכונת קו תת"ק.

סך העלויות מסתכם ב- 15-18 מיליארד ₪. זאת בנוסף לעלות הפרויקטים הקיימים בתוכנית הפיתוח.

4. השפעת מיקום הקמת יצור קונבנציונלי נוסף, ראה פרק III.5 על הפרויקטים התוספתיים במערכת ההולכה

בהתאם לתוכנית הוספת מתקני ייצור קונבנציונאליים, ראה טבלה מס' 1 עד שנת 2030 נדרש להקים 2 יחידות מחז"מ בהספק מצרפי של 930 מגווא"ט וט"ג בהספק מצרפי של 1000 מגווא"ט.

מיקום אתרי יצור הנ"ל משפיעים באופן מהותי על היקף פרויקטי ההולכה תוספתיים שיש להקים במערכת.

בהתאם לכך, נותחו שני תסריטים הבאים של פיתוח מערכת ייצור קונבנציונלי.

4.1 תסריט 1 - פיתוח מערכת הייצור תוך הקמת מתקני ייצור קונבנציונליים גדולים קרוב לאזורי צריכה.

בתסריט זה מתקני ייצור קונבנציונליים יוקמו באזור מרכז הארץ ו/או ירושלים.
פרויקטי ההולכה וההשנאה בדו"ח נקבעו ע"פ תשריט זה.

4.2 תסריט 2 - פיתוח מערכת הייצור תוך הקמת מתקני ייצור קונבנציונליים גדולים באזורים פריפריאליים.

כבר כיום באזור הדרום קיים עודף ייצור משמעותי על הצריכה באזור, גם בצפון לאחר קליטת הפרויקטים המתוכננים באנרגיות מתחדשות רוח ושמם מערכת ההולכה תשמש להובלת עודפי האנרגיה מהצפון למרכז הארץ. משכך כל תוספת ייצור באזורים אלו תלויה בתשתיות ההולכה הנמצאות בהקמה ואו תשתיות ההולכה הנוספות המצויינות בדו"ח זה. הקמת יחידות קונבנציונאליות בפריפריה בהתאם לטבלה מס' 1 (932 מגווא"ט בטכנולוגית מחז"מ ו- 1017 מגווא"ט ט"ג), תעכב קליטת אנרגיות מתחדשות בפריפריה עד להפעלת פרויקטי ההולכה המפורטים בסעיף 3 לפרק זה. הקמת הייצור הקונבנציונלי בדרום תדרוש הקדמה של קו 400 ק"ו מהדרום למרכז. בצפון תוספת קו 400 מעבר למצויין בפרק 3. הניתוח בוצע עבור שתי החלופות הבאות:

- **חלופה א':** תוספת ייצור קונבנציונאלי תוקם באזור הצפון ואזור הדרום.

קליטת תח"כ קונבנציונאלית בצפון, תדרוש הקדמת פרויקט הקמת תחמ"ג נוספת באזור הצפון וקו 400 ק"ו מצפון עד לאזור השרון/פתח תקווה.

קליטת תח"כ קונבנציונאלית (מחז"מ וט"ג) בדרום, בהספק מצרפי של כ- 975 מגווא"ט תדחה קליטת אנרגיות מתחדשות עד לפרויקט הקמת תחמ"ג נוספת באזור הנגב וקו 400 ק"ו מרמת חובב/דימונה עד לאזור המרכז.

עלות של ההשקעות לקליטת תחנות כח קונבנציונליות מוערכת בכ- 420 מיליון ₪ (מהוון).

• **חלופה ב':** תוספת ייצור קונבנציונאלי תוקם באזור הצפון.

קליטת תח"כ קונבנציונליות בצפון, בהספק מצרפי כ 1950 מגווא"ט, תעכב קליטת אנרגיות מתחדשות עד להקמת תחמ"ג נוספת באזור הצפון (בנוסף לתחמ"ג הנדרשת בפרק 3) ועד להקמת קו 400 ק"ו מתחנת מיתוג זו עד למרכז הארץ.

עלות של ההשקעות לקליטת תחנות כח קונבנציונליות בחלופה זו מוערכת בכ- 580 מיליון ₪ (מהוון).

.VII הערכת לוחות זמנים נדרשת הרחבה משמעותית

1. קליטת מתקנים סולריים על הגגות, בייחוד באזורים השרון, מרכז וירושלים ניתנת לביצוע תוך לוחות זמנים קצרים יותר, ותוך השקעות קטנות יותר.

2. לצורך קביעת סדרי עדיפויות בתהליך הכנת תכנית הפיתוח של מערכת המסירה לקליטת המתקנים סולריים, בוצעה סקירה של אתרים בעלי תכניות מתאר מאושרות, או מקודמות.

סה"כ נמצאים בשלבים שונים של קידום סטטוטורי ברחבי הארץ כמעט מאתיים אתרים סולאריים, כ 170 מהם נמצאים בדרום הארץ.

ניתן להניח ישימות גבוהה יותר להקמת המתקנים וחיבורם לרשת החשמל עבור המתקנים המאושרים. מתוך הניסיון בשטח, יש סיכוי נמוך לכך שיינתנו אישורים למתקנים משמעותיים נוספים.

על פי עמדת מינהל התכנון להסדרת ה - 30% של רשות החשמל, יש צורך לנצל קודם כל מתקנים על גגות, מאגרים וכו'. כיום ישנם כ- 100 מתקנים מאושרים, כולם בדרום הארץ, 75 מהם במתח גבוה, בהספק כולל של כ 660 מגוואט, ו- 25 במתח עליון בהספק כולל של כ 2000 מגווא"ט.

חשוב לציין כי אין בידינו מידע בנוגע למתקנים במ"ג שכבר הוקמו. כפי שניתן לראות במפה של פוטנציאל תכניות מאושרות דרום (מפה מס' 5 בנספח 6), ריכוזי המתקנים נמצאים בערבה, במקטע שבין צומת שיזפון לתמנע, וכן בנגב מערבי. המלצת תפ"ט כי, לפוטנציאל תוספת המתקנים הקרקעיים יכולת גבוהה יותר להתממש במתקנים אשר כבר אושרו ולשם יש לכוון את הפיתוח של רשת המסירה בשלב הראשון.

VIII. סיכום

1. תוצאות מסמך זה הינם הערכה בלבד, לאור הזמנים הקצרים שהוקצו לביצוע העבודה וחוסר ודאות לגבי מצב המערכת לטווח ארוך הן מהיבט יצור והן מהיבט צרכנות: שינוי באופן והתפלגות הצריכה, כניסה של רכבים חשמליים, מתקני אגירת אנרגיה וכו'.
2. הניתוחים האמורים מבוססים על ניתוחים ראשוניים בלבד ומחייבם העמקה משמעותית של ניתוחים ובדיקות שונות, אך הכיוון המסתמן ברור.
3. המסמך מפרט פרויקטים הולכה משמעותיים, כגון הקמת תחנות משנה, תחנות מיתוג 400/1611 ק"ו, קווי הולכה 400 ק"ו ו-161 ק"ו לצורך חיבור תחמ"ש"ים ותחמ"ג"ים חדשות, ולא יורד לרזולוציה של שדרוג מערכת הקיימת.
4. בהתאם להערכה ראשונית, היקף הפרויקטים במערכת ההולכה, לצורך בעמידה בהגדלת יעדי הממשלה הינו נרחב ביותר וכולל הקמת תשתיות הולכה כדלקמן:

מס' תחמ"ש	מס' תחמ"ג	קווי 161 ק"ו [ק"מ]	קווי 400 ק"ו [ק"מ]
96	6	810-1130	470-720

5. בהתאם לאומדן ראשוני, לצורך קליטת מתקנים פוטו-וולטאים בהתאם ליעד של 30%, נדרשת תוספת השקעות במערכת ההולכה כ 15-18 מיליארד ₪.
6. בהתייחס לפרויקטים הנדרשים, קיימת עדיפות לקידום הקמת מתקנים פוטו-וולטאים דואליים במרכזי צריכה: שרון, ירושלים ומרכז הארץ.
7. קיימת עדיפות הקמת מתקני יצור קונבנציונליים בהתאם לצרכי המערכת, באזור מרכז הארץ או /וירושלים. במידה ומתקני יצור הנ"ל יוקמו באזורי פריפריה תידחה האפשרות לקלוט באזורים אלו אנרגיות מתחדשות עד להשלמת פרויקטים משמעותית
8. לצורך מיקסום של מערכת ההולכה לקליטת מתקנים פוטו-וולטאים:
 - תמשך המדיניות כי, מתקני הייצור באנרגיה מתחדשת יקבלו עדיפות בגישה למשאב הרשת, במטרה לעמוד בהיקפים הנ"ל.
 - בהתאם לעיקרון המוצג בפרק IV, תוגבל זמינות רשת לתחנות הכוח המוסקות בדלקים ותינתן עדיפות למתקני PV.

- בתקופות ביקוש בינוני ונמוך, מתקנים פוטו-וולטאים ידרשו להפחית ייצור כדי למנוע גודש בהולכה. ייצור במתקנים פוטו-וולטאיים בכלל לא מתלכד עם עקום העומס. במיוחד הדבר בולט בתקופות מעבר - בשעות שיא ייצור האנרגיה במתקנים הנ"ל, הביקוש לחשמל הינו נמוך. בשעות אלו בחלק מן האזורים גדלה משמעותית העמסה של מערכת ההולכה (באזור הנגב, הנגב המערבי, השפלה).
- קליטת מתקנים באנרגיות מתחדשות ופוטו-וולטאים בפרט תיקח בחשבון את משטרי העבודה של המתקנים הללו, את ההתפתחויות הטכנולוגיות הצפויות במתקנים אלו, תידרש ממתקנים אלו להשתתף באספקת שירותים נלווים הנדרשים לשמירת איכות, אמינות ושרידות מערכת אספקת החשמל.

לוט:

נספח 1 – טבלת הפעלת יחידות ייצור

נספח 2 – מפות פוטנציאל קליטת מתקנים פוטו-וולטאים:

מפה מס' 1 – מגבלות קליטת מתקני ייצור לפי אזור – בדיקה עם מגבלות על יחידות קונבנציונליות

מפה מס' 2 – הספק פוטנציאלי, מבחינת שטחים, של מתקני PV קרקעיים ועל מאגרים

מפה מס' 3 – פוטנציאל שטחי גגות, אשר ניתן להתקין על גבם פנלים של PV

מפה מס' 4 – אתרים בעלי תוכניות מאושרות/בהליך עבור מתקני PV – אזור הצפון

מפה מס' 5 – אתרים בעלי תוכניות מאושרות/בהליך עבור מתקני PV – אזור הדרום

נספח 3 – תחזית שיא ביקוש של משק החשמל

הכינו: גב' י. סקליארסקי, פ. קולבקוב, ש. ניצן, ד. גופר, י. הררי, א. מארדר

העתקים ה"ה:

י. בלמס

ג. דותן

א. שרעבי

ה. פרידמן

מ. כהן

ד"ר ע. זרחיה

עו"ד ג. ברקוביץ'

ב ב ר כ ה,



ג. יהודה



ב. רשף

נספח 1- טבלת הפעלת יחידות ייצור

הערות תמהיל ייצור עבור טבלאות ייצור

- (1) מ"ד 1-4 : הדממה של יחידות פחמיות והקמת שתי יחידות מחז"מ בהספק מצרפי של 1280 מגווא"ט
- (2) הסבה של שאר יחידות פחמיות בהתאם לעקרונות מדיניות השר
- (3) בתקופת הקיץ, ייצור מרבי בט"ג ובמחז"מים הינו נמוך בכ- 8% מההספק המותקן
- (4) הונח כי תח"כ "צומת אנרגיה" תופעל משנת 2023 בהספק של 396 מגווא"ט.
- (5) עבור מתקני PV שחוברו במסגרת הסדרות קודמות, ייצור מרבי כ- 90% מהספק הפנלים הפוטו-וולטיים.
- (6) הספק ייצור עבור חלק מיחידות הייצור נקבע בהתאם לגבולות העמסה על פי מערכת LFC.
- (7) הגבלת ייצור בתח"כ פרטית OPC הינה בכפוף לתיאום הסדרה עם הלקוח
- (8) הקמת שתי יחידות מחז"מ באתר רדינג וגריטת יחידות קיימות
- (9) הקמת יחידות קונבנציאונליות נוספות (שני מחז"מ וט"ג) בהתאם לתכנית פיתוח מערכת הייצור, ראה פרק III
- (10) בשיא הביקוש הונח כי ייצור בפועל: במתקני PV כ-90% מסה"כ הספק מותקן, טורבינות רוח – 20% , תרמוסולארי – 100%

נספח 2 מפות- פוטנציאל קליטת מתקני PV

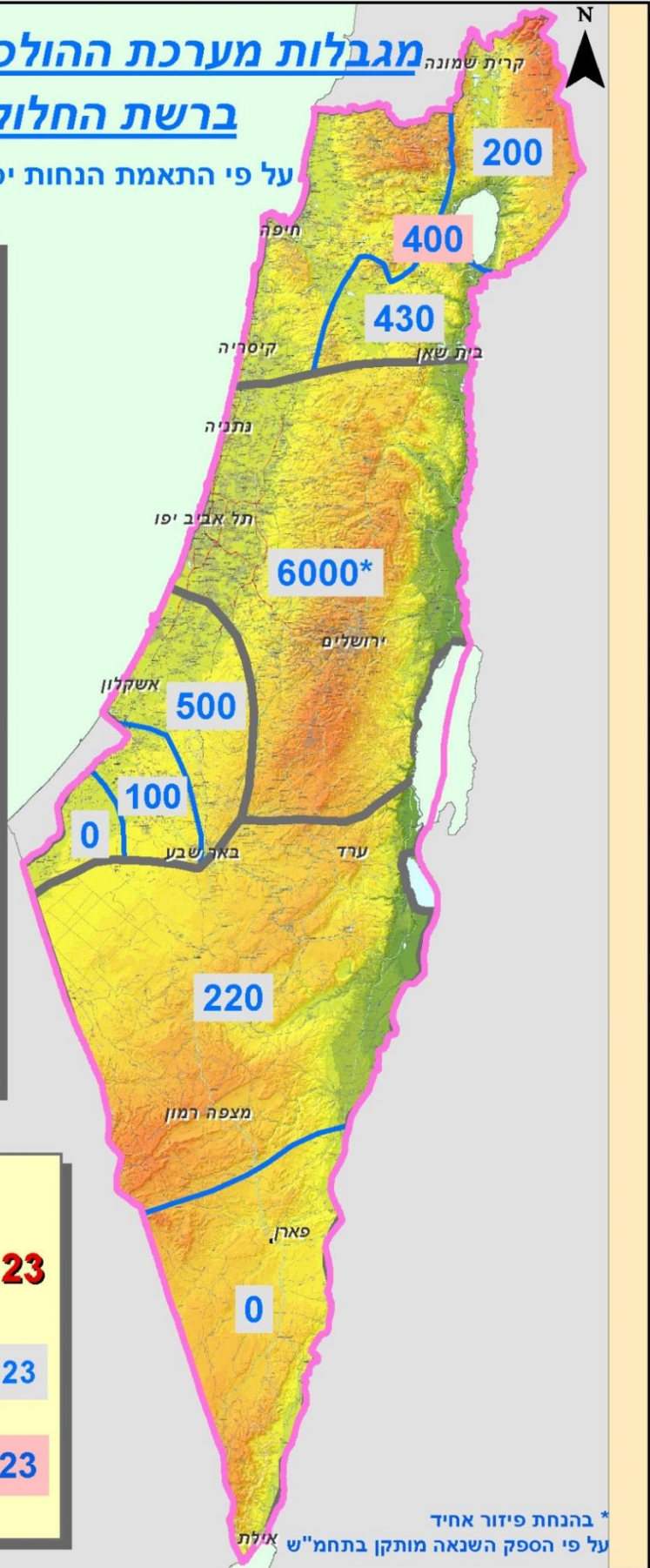
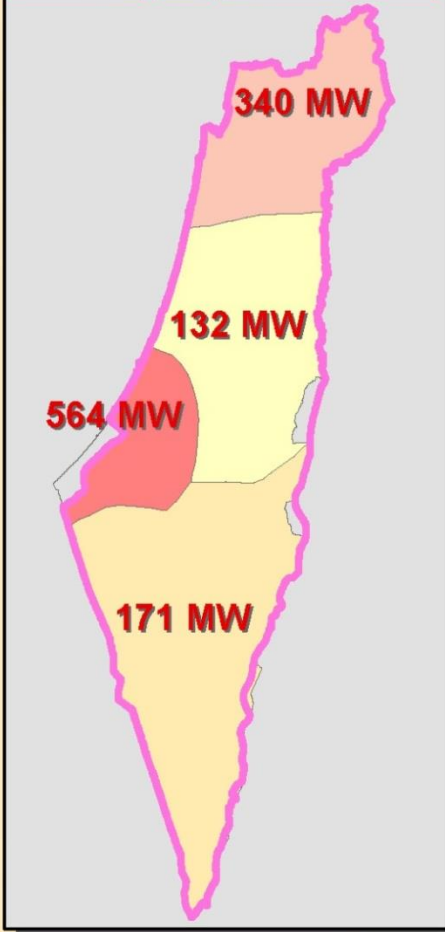
מפה מס' 1 – מגבלות קליטת מתקני ייצור לפי אזור – בדיקה עם מגבלות על יחידות קונבנציונליות

מגבלות מערכת ההולכה לקליטת מתקני PV

ברשת החלוקה 1/1/2020

על פי התאמת הנחות יסוד (הגבלת יח' קונבנציונליות)

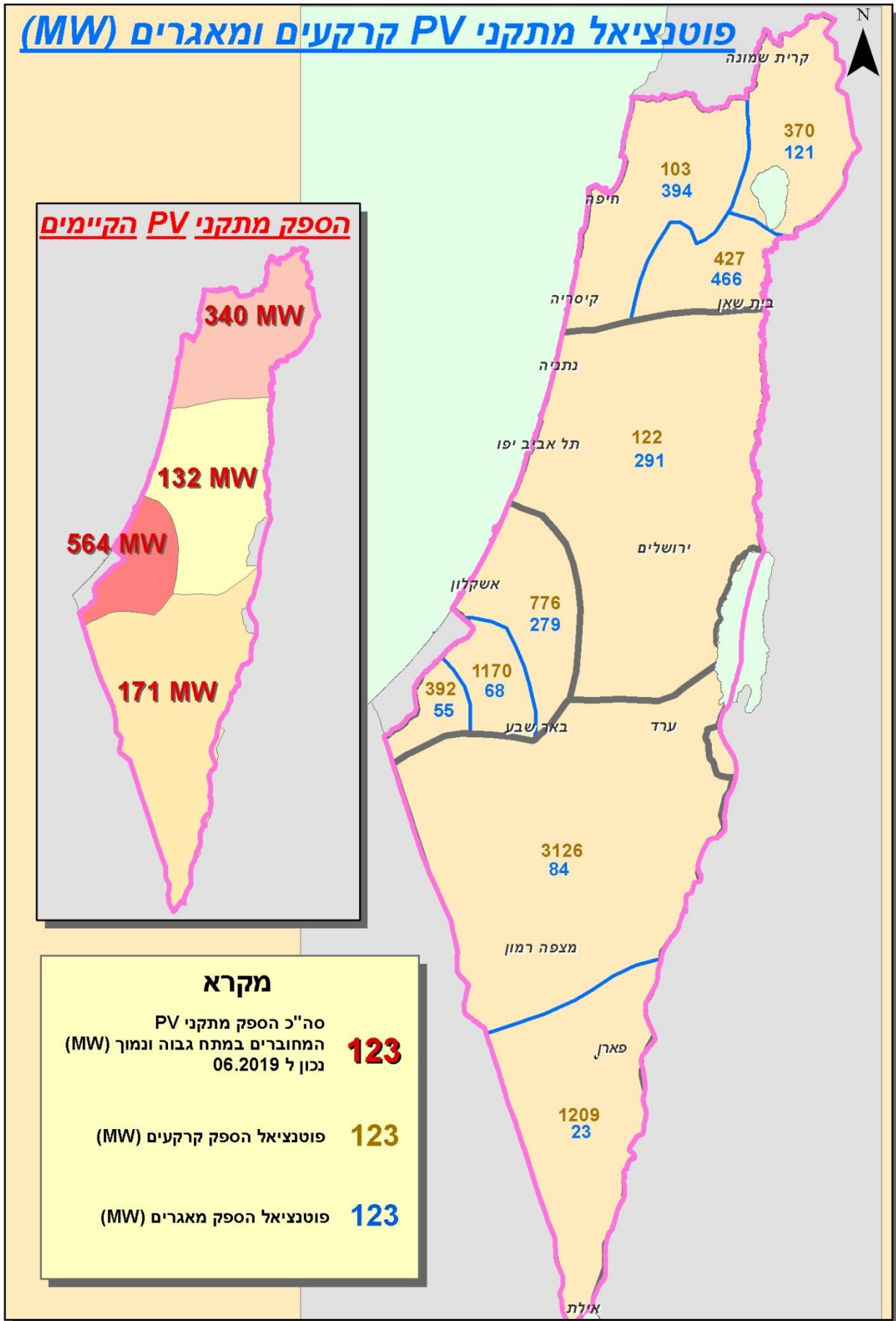
הספק מתקני PV הקיימים



מקרא	
סה"כ הספק מתקני PV המחוברים במתח גבוה ונמוך (MW) נכון ל 06.2019	123
מגבלת הספק לקליטת מתקני PV חדשים באזור (MW)	123
הספק מיצרפי שניתן לקלוט באזור הצפון (MW)	123

* בהנחת פיזור אחיד על פי הספק השנאה מותקן בתחמ"ש אילת

מפה מס' 2 – הספק פוטנציאלי, מבחינת שטחים, של מתקני PV קרקעיים ועל מאגרים



מפה מס' 3 – פוטנציאל שטחי גגות, אשר ניתן להתקין על גבם פנלים של PV

