



רשות החשמל



הטמנת קווי הולכה במתח עליון

מסמך היוועצות טרם קביעת
עקרונות מדיניות
על ידי שר האנרגיה והתשתיות

- נובמבר 2022 -



תוכן עניינים

3	1	מבוא ומטרת העבודה
5	2	רשת החשמל בישראל
5	2.1	רקע ומצב קיים
8	2.2	פיתוח רשת ההולכה
10	2.3	אתגרים בתכנון ופיתוח רשת החשמל
12	2.4	שיקולי הטמנה כיום
14	3	היבטים בהטמנת קווי מתח עליון
14	3.1	סקירה הנדסית
19	3.2	עלויות הקמה
20	3.3	אמינות אספקה ושרידות מערכת
24	3.4	היבטים נוספים
31	4	חלופות למדיניות הטמנת קווי מתח עליון
38	5	המלצה לקריטריונים להטמנה
47	5.1	אומדן עלויות
50	6	סיכום והמלצת הרשות
53		נספחים
53		נספח א': פניית שרת האנרגיה לרשות החשמל
54		נספח ב': סקירה בינלאומית



2

הטמנת קווי הולכה במתח עליון



מבוא ומטרת העבודה

בשנים האחרונות תשתית רשת החשמל בישראל מתפתחת באופן מואץ בהתאמה לשינויים במבנה המשק ויישום הרפורמה במשק החשמל. פיתוח הרשת נדרש בכדי לתמוך בצרכי המשק הגוברים לחיבור יחידות דיור חדשות, חיבור פרויקטי תשתית לאומיים וחיבור מתקני ייצור מבוזרים, בעיקר באנרגיות מתחדשות.

לקראת סיום תהליך הכנת תכנית הפיתוח לרשת המסירה לשנים 2023-2030 פנתה שרת האנרגיה¹, ביום 28 באפריל 2022, לרשות החשמל בעניין גיבוש עקרונות מדיניות בנושא הטמנת קווי מתח עליון.

הרשות התבקשה להתייחס בעמדתה, בין היתר, להיבטים הבאים:

א. חלופות שונות לקביעת קריטריונים להטמנה כאמור והיקף ההטמנה הצפוי בכל חלופה;

ב. העלויות הנובעות מיישום עקרונות המדיניות ביחס לחלופות השונות;

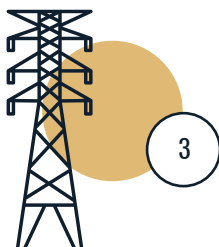
ג. השלכות על יציבות הרשת ואמינות אספקת החשמל;

ד. התועלות הנובעות מיישום עקרונות מדיניות, ובתוך כך התייחסות לעמדת גורמי התכנון להשפעה שעשויה להיות לעקרונות על משך הליכי התכנון ועל האצת קידום תכניות לפיתוח רשת ההולכה;

כמענה לפניית השרה, בחנה הרשות במסמך זה את הרחבת השימוש בטכנולוגית הטמנה ביחס למדיניות הקיימת כאמצעי לפתרון אתגרים סביבתיים, תכנוניים והנדסיים.

העבודה מתמקדת בתכנון ופיתוח קווי 161 ק"ו החדשים (להלן: "קווי מתח עליון" או: "קווי 161") אשר ניסיון העבר מלמד על עיכובים משמעותיים בזמני התכנון וההקמה הנובעים מחסמים שונים כפי שיופרטו.

1 להרחבה ראה נספח א': פניית שרת האנרגיה לרשות החשמל מיום 28.04.22.





רשת ההולכה מורכבת גם מקווי 400 ק"ו (להלן: "קווי מתח על-עליון" או: "קווי 400"), אשר הטמנתם לא נבחנה בשלב זה, זאת בין היתר בשל ניסיון מועט מאוד, גם בעולם, בהטמנה של קווים אלה.

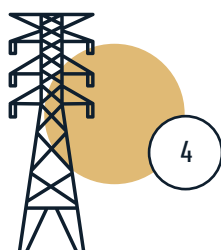
כפי שיתואר בהרחבה, הקמה ופיתוח של רשת החשמל מתאפיינים במורכבות הנדסית וחשמלית. מורכבות זו דורשת תיאום והסכמות בין בעלי עניין רבים וסנכרון מועדי הקמת הקווים, לצד הצורך בהבטחת אספקת חשמל סדירה ושמירה על שרידות המערכת.

להטמנת קווי מתח עליון השפעות מנוגדות על מאפיינים אלה, והתועלות הישירות למשק החשמל בהטמנת קווי רשת ההולכה אינן מובהקות. זאת לעומת הטמנת קווים ברשת החלוקה² אשר מייצרת תועלת ישירה וברורה למשק החשמל, בעיקר בשל השיפור במדדי אמינות אספקת החשמל לצרכנים בקווים מוטמנים.

בהתאם לחוק משק החשמל, הרשות היא הגורם המקצועי במשרד בתחום משק החשמל, המסייע לשר בגיבוש מדיניותה. בנוסף הרשות היא הגורם מייעץ לשרים לגבי תכנית הפיתוח למערכת המסירה המוגשת על ידי מנהל המערכת, לתכולת תכנית הפיתוח ונחיצות הקווים. הרשות רשאית להחליט לגבי ההכרה התעריפית, קרי היקף מסגרת התקציב במשק החשמל, למנהל המערכת ולחברת החשמל. בדומה לפיתוח אחר במשק הישראלי, קידום תכניות המתאר נעשה תוך התחשבות גם בהיבט הכלכלי של הפרויקט ולא באופן מנותק ממנו. הרשות אינה קובעת את התוואים ושימושי הקרקע בהם יעברו קווי החשמל הכלולים בתכנית הפיתוח, אשר מצויים בסמכות מוסדות התכנון.

עבודה זו מציעה תרחיש רגישות כלכלי לקריטריונים ומקומות בהם עשויה להיות תועלת להטמנת קווי מתח עליון, זאת למרות העלות הכספית הגבוהה, המוערכת בתוספת של עד כ-4 אחוזים, בטווח הארוך, לתעריף החשמל, כתלות בהיקף ההחלטה ובכפוף לתבחינים הנדסיים ותכנוניים נדרשים.

2 קווי המתח הגבוה והנמוך.





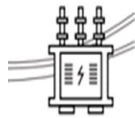
רשת החשמל בישראל

2.1 רקע ומצב קיים

רשת החשמל מורכבת משני מקטעים - הולכה וחלוקה. מקטע ההולכה כולל את קווי 400 ק"ו (מתח על-עליון), תחנות מיתוג, קווי 161 ק"ו (מתח עליון) ותחנות משנה. רשת החלוקה כוללת את קווי המתח הגבוה, חדרי טרנספורמציה (להלן: "חדר שנאים") וקווי מתח הנמוך. על פי רישיונה, חברת נגה (מנהל המערכת) אמונה על תכנון רשת ההולכה ותוכנית הפיתוח שלה ואילו חברת החשמל אחראית על הקמה, תפעול ותחזוקת רשת ההולכה ועל רשת החלוקה על כל חלקיה.

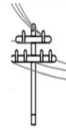
איור 1

תרשים מבנה רשת החשמל והכללים הקיימים לעניין הטמנה החלים על כל רכיב



חדרי שנאים

הקמה בהתאם לאמות המידה ומבנה הרשת הקיים, עילי, תת קרקעי או בתוך מבנה



רשת מתח נמוך

הקמה בהתאם לאמות המידה ולפי מיקום צרכנים חדשים - קיימת הנחיה להטמנה גורפת ברשת חדשה



חיבורים לבתים

הקמה בהתאם לאמות המידה לפי מיקום צרכנים חדשים, אופן החיבור הוא תת קרקעי



הקמת רשת הולכה

הקמה בהתאם לתוכנית הפיתוח המאושרת על ידי השרים



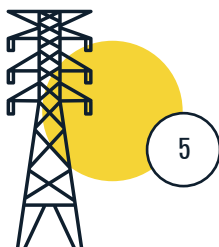
תחנות משנה ותחנות מיתוג

הקמה בהתאם לתוכנית הפיתוח המאושרת על ידי השרים - תחנות פנימיות (לרוב בשטח בנוי) או חיצוניות (לרוב בשטח פתוח)



רשת מתח גבוה

הקמה בהתאם למיקום מתקני ייצור וצרכנים חדשים - קיימות הנחיות להטמנה בשטח אורבני, כ-90% הטמנה בממוצע בשנה



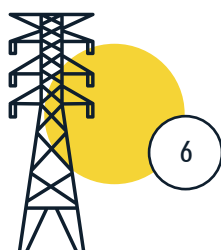
5

הטמנת קווי הולכה במתח עליון



רשת החשמל היא מערכת קווי מתח שתפקידה להעביר את החשמל המיוצר במתקני הייצור אל אזורי הצריכה, באופן יעיל ככל האפשר ובמינימום איבודי אנרגיה. המערכת בנויה באופן היררכי, כאשר רמת המתח החשמלי מופחתת בהדרגה עד לרמה המתאימה לצריכה על ידי סוגי צרכנים שונים. ברשת ההולכה קיימים שני סוגי קווים: הראשון, קווי מתח על-עליון, 400 ק"ו, המקשרים בין תחנות הכוח הגדולות לבין תחנות מיתוג בהן רמת המתח יורדת ל-161 ק"ו באמצעות שנאי קישור. שני, קווי מתח עליון, 161 ק"ו, המקשרים בין תחנות המיתוג לבין תחנות משנה או בין תחנות כוח המסונכרנות לרשת ההולכה באמצעות קווי 161 ק"ו לבין תחנות המשנה.

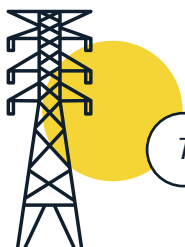
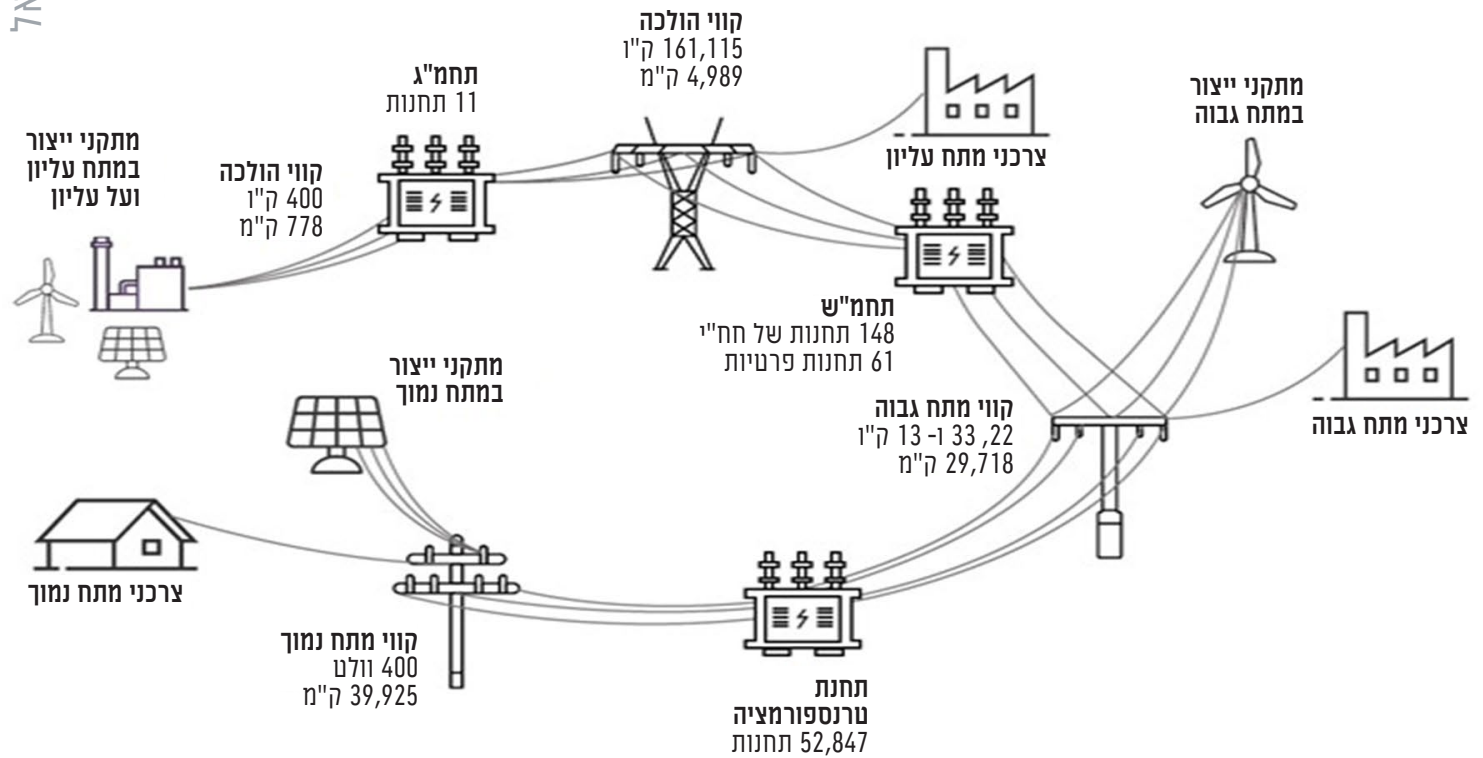
מערכת ההולכה במתח עליון היא מערכת מעגלית וסגורה בעלת חשיבות מכרעת לאמינות ההספקה ושרידות המערכת. המערכת בנויה על פי קריטריונים תכנוניים המאפשרים רמת יתירות ואמינות מספקת במקרה של תקלות ועומסים. תוכנית הפיתוח לקווי 161 ק"ו מבוססת הן על בניית קווים חדשים, אשר עבודה זו מתמקדת בהם, והן על שדרוג והחלפה של קווים קיימים. במקרים של שדרוג או החלפת קווים קיימים מוצע לשמור על הטכנולוגיה הקיימת ברצועה, שכן מדובר למעשה בשמירה על המצב הקיים ביחס לפגיעה הנופית והסביבתית או בשינויים עם השפעה מצומצמת יחסית. להטמנת קו במקרה של שדרוג ובנייה מחדש של קווים קיימים יש חסרונות בולטים בשל הצורך לתכנן מחדש רצועה קיימת מאחר ורצועה לקו עילי לרוב אינה מתאימה לקוטרת קרקעי. תכנון מחדש יביא להארכת לוחות הזמנים לפיתוח הרשת בשל הצורך בהליכים סטטוטוריים מורכבים ויפגעו ביכולת לנצל את הרשת הקיימת במקרה של שדרוג (UPRATING). עם זאת, במידה ויהיו מקטעים יוצאי דופן המצריכים בחינה פרטנית ונקודתית להטמנה מוצע כי אלו יקבלו מענה כפי שיוצג בהמשך העבודה.





איור 2

תרשים מבנה רשת החשמל מעודכן לסוף שנת 2021





טבלה 1 נתוני רשת החשמל

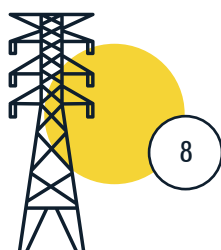
קווי 161 KV		קווי 400 KV	מצב קיים ³
4,789 ק"מ	778 ק"מ		אורך מעגלים עיליים
158 ק"מ	-		אורך מעגלים מוטמנים
3.3%	-		שיעור מוטמן
תוכנית פיתוח המאושרת להקמה לשנים 2018-2022⁴			
504 ק"מ	225 ק"מ		אורך מעגלים עיליים
50 ק"מ	-		אורך מעגלים מוטמנים
9%	-		שיעור מוטמן
5,501 ק"מ	1,003 ק"מ		סה"כ רשת מתוכננת לאחר תוכנית פיתוח
3.8%	-		סה"כ שיעור מוטמן חזוי בשנת 2025

2.2 פיתוח רשת ההולכה

פיתוח רשת ההולכה מקודם בהתאם לתוכנית הפיתוח למערכת המסירה המוגשת ע"י חברת נגה, המבוססת על תחזית ביקושים ומיקומם ותחזיות מיקומי מתקני הייצור ובהתאם להזמנות חיבור של צרכנים ויצרנים ולהזמנות במסגרת ע.ע.א. בעת הכנת תכנית פיתוח חלק מהעקרונות המנחים את המנהל המערכת הם שמירה על קריטריוני תכנון, אמינות אספקה ומזעור עלויות למשק החשמל.

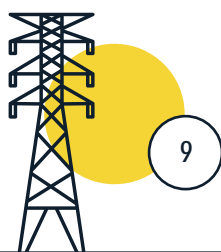
3 דו"ח כספי של חברת החשמל לשנת 2021.

4 נתוני תכנית הפיתוח למערכת המסירה לשנים 2018-2022, ללא פרויקטים המבוצעים במגוון של ע"א. [להרחבה](#)





האמצעים להשגת עקרונות אלו הם שימוש במדרג לפיתוח הרשת באמצעות: ניצול משאב הרשת הקיימת, שדרוג הרשת הקיימת, שחלוף הרשת הקיימת ובאין ברירה פיתוח רשת חדשה. לצד כל אלו מקודמים פתרונות רבים ליעול השימוש במשאב הרשת באמצעות פתרונות טכנולוגיים או כלכליים כמו שילוב אגירה וניהול דינמי של הרשת, תעריפים משתני בהתאם למיקום וזמן והסדרים רגולטוריים נוספים. אולם כל אלה, אינם יכולים להוות תחליף מלא לצורך בתכנון ופיתוח של רשת חדשה, על אף הקשיים הכרוכים בכך, מקודמת התוכנית באמצעות תכניות מתאר למקטעי הרשת וקבלת היתרי בניה והרשאות, ועד לתכנון מפורט וביצוע על ידי חברת החשמל. בשל היקפי התכנון הנדרשים, קל לזהות כי מעבר רשת החשמל משפיע על גופים טכנוניים רבים, וכי תיאום הליכי התכנון הינו מלאכת מחשבת, ועליה לאזן בין דרישות רגולטוריות ארציות ומקומיות ובין צרכי התשתיות השונים. המציאות מלמדת כי הליכים אילו אורכים שנים ארוכות. כך, למרות שתכניות הפיתוח מאושרות לרוב לתקופה של 5 שנים, לאור האתגרים הצפויים ומשכי לוחות הזמנים לתכנון והקמה, תכנית הפיתוח הקרובה מתוכננת עד לשנת 2030 עם אופק טכנוני עד לשנת 2035. עיכובים בפיתוח רשת החשמל ובחיבור מתקני ייצור חשמל, גורמים להעמסת הקווים הקיימים ומונעים פיתוח מיטבי של מערכת ההולכה. העיכובים גורמים להימשכות הליכי התכנון והעמקת הקונפליקטים מול בעלי עניין, רשויות מקומיות, יישובים, חברות התשתית וארגוני סביבה. כתוצאה מכך, עולה הכרח לביצוע וקידום פרויקטי גישור זמניים על מנת לשמור על אספקת חשמל סדירה, אשר אינם בהכרח יעילים מבחינה כלכלית, תכנונית וסביבתית. אחת המשמעויות העיקריות של כשל זה היא עיכוב ואף מניעת חיבור פרויקטי ייצור ובפרט מתקני ייצור באנרגיה מתחדשת אשר מרוחקים יותר ממוקדי הביקוש. למעשה, פיתוח מקטע ההולכה אינו מדביק את קצב פיתוח מקטע הייצור וללא צמצום הפער עשוי להיות מצב בו תהיה בעיה באספקת החשמל מאחר ולא יהיה ניתן לחבר אתרי ייצור חדשים, בעוד שהביקוש לחשמל גדל. לחלופין, עשויה להיווצר פגיעה משמעותית בשרידות מערכת החשמל ואמינות האספקה לצרכנים בשל עלייה בעומס על הרשת הקיימת.

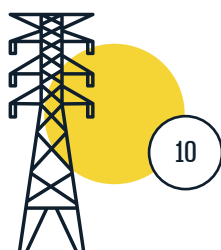




2.3 אתגרים בתכנון ופיתוח רשת החשמל

1. בתכנון מערכת הולכת החשמל מתמודד מנהל המערכת עם חוסר ודאות ביחס לפרויקטי הייצור שיחוברו בסופו של דבר לרשת - מספרם, היקפם, פריסתם הגיאוגרפית ומועד כניסתם למערכת, וזאת כיוון שהקמת המתקנים תלויה בייזום מצד יצרני החשמל הפרטיים, ברגולציה הנקבעת על ידי מוסדות התכנון והמקרקעין, ובהתאם לקבלת אישורים מהגורמים הרלוונטיים. קושי זה הולך וגובר עם הגידול בהיקף הייצור המבוזר.
2. פרויקטים במקטע ההולכה מצריכים קידום תכניות מתאר ארציות המתוכננות במועצה הארצית לתכנון ובנייה, בוועדה לתשתיות לאומיות (ות"ל) או בוועדות המחוזיות לפי העניין. מעבר לקושי המערכתי בפיתוח מקטע ההולכה, הליך התכנון של הפרויקטים כולל חסמים רבים:
 - + **קידום קווי מתח עליון** בתכנית מתאר מפורטת טרם הרשאה, למעט עבודות מצומצמות בשדרוג ותחזוקה שלהם, גורמים להתארכות משכי התכנון.
 - + **תקנות חוק הקרינה הבלתי מייננת** - חוק הקרינה הבלתי מייננת, תשס"ו-2006 אימץ את דו"ח ועדת מומחים לעניין שדות מגנטיים מרשת החשמל ממרץ 2005, הקובע מרחקים מינימליים שיש לשמור בין קווי החשמל למקום שהיית קבע של בני אדם⁵. מגבלות אלו מצמצמות באופן משמעותי את האפשרויות להעברת הרשת במרכז הארץ.
 - + **תחרות על שימושי קרקע** - התחרות הקיימת ו"נגיסה" בפרוזדורי החשמל הקיימים, המתוכננים, המאושרים או איתור חדשים על ידי שימושים אחרים באופן חוקי ובלתי חוקי.
 - + **מגבלות בטיחות טיסה של רשות התעופה האזרחית ומשרד הביטחון** - גובה קווי ההולכה מהווים מגבלה באזורי טיסה נמוכה הנמצאים בעיקר בשטחים פתוחים.

5 מרחקים מינימליים מציר הקו - בקווי מתח על-עליון 35 מ', במתח עליון 20 מ'. בפועל מדובר ברוחב רצועה של 40-110 מ' כיוון שלרוב עוברים מספר קווים באותה רצועה. התקנות חלות על בניה חוקית ובלתי חוקית. טיוטת תקנות לחוק הקרינה מצויה בהליכי חיקוק.





חזרה אחורה ופתיחה מחדש של החלטות - לעיתים גם לאחר אישור תכניות המתאר והכרעה בקונפליקטים תכנוניים וסביבתיים חלק מהסוגיות נפתחות מחדש בשלבי התכנון המפורט וההקמה ובכך פיתוח הרשת נכנס למעגל אין סופי של הליכי תכנון.

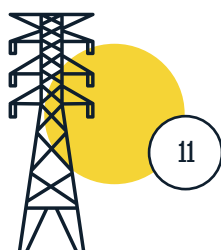
אילוצים הנדסיים - קווי החשמל יוצרים השפעות כאשר הם עוברים בסמיכות לקווי תשתית מתכתיים כגון גז טבעי, דלק ומים. שמירה על מרחק בין הקווים מפחיתה את השפעות אלו ומפחיתה סיכונים בטיחותיים.

מעבר בגנים לאומיים ושמורות טבע ושטחים בעלי ערכיות סביבתית- נופית גבוהה - קווי החשמל הם תשתית בעלת מופע עילי, ובכך מהווים מפגע נופי, בפרט באזורים רגישים בהם הנוף פתוח ונצפה. בנוסף, קווי החשמל עלולים לפגוע בבעלי כנף. לכן בשטחים בעלי רגישות נופית או רגישות לפגיעה בבעלי כנף, קיימת התנגדות מצד ארגוני הסביבה להעברת קווי חשמל.

התנגדות תושבים - לעיתים תכניות להקמת קווי הולכה נתקלות בהתנגדות תושבים מיישובים סמוכים, בפרט כאשר העברת רשת ההולכה לא תמיד בעלת תועלת ישירה לאוכלוסייה המקומית אשר בסמוך אליה עובר הקו.

אתגרים אלו מביאים להימשכות ההליכים הסטטוטוריים. משך זמן ממוצע של קידום תכנית מתאר מפורטת לקו מתח על-עליון עומד על 9.9 שנים ולקווי מתח עליון על 4.6 שנים.

מתן אפשרות להשתמש בטכנולוגיית ההטמנה באופן מורחב יותר ביחס למצב הקיים, לפי קריטריונים ברורים, יכול להוות פתרון לחלק מהאתגרים הכתובים לעיל ובכך לסייע בהאצת תכנון ופיתוח הרשת. כל זאת, במידה ומדיניות זו תאומץ גם על ידי מוסדות התכנון.



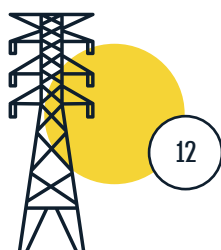


2.4 שיקולי הטמנה כיום

רשת ההולכה החלה להתפתח בישראל כרשת עילית בשנות ה-50' עם הקמת קווי המתח העליון ובהמשך בשנות ה-80' עם הקמת קווי המתח העל-עליון, בכדי להעביר את החשמל ממוקדי הייצור הגדולים למרכזי הצריכה. תשתית זו הוקמה בראשיתה מחוץ לאזורי המגורים ועם התרחבות הערים והגברת התחרות על משאב הקרקע בכדי לתמוך בגידול בביקוש לחשמל במרכזי הערים, נדרש לשלב שימוש בטכנולוגיה של הטמנה ברשת ההולכה כמפורט:

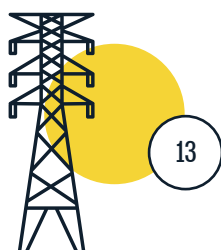
א. ככלל קווי ה-161 עוברים באופן עילי. היקף הקווים הקיימים המוטמנים הוא 158 ק"מ מעגלי. השיקולים להטמנת הקווים עד כה היו מעבר באזורים בעלי מרקם עירוני קיים של מגורים ותעסוקה, וכן במקרים יוצאי דופן בשל מגבלות הנדסיות. לאחרונה התקבלה החלטה, כחלק מקו מצפה רמון-פארן, להטמין מקטע באורך של 7.5 ק"מ העובר בתוך מכתש רמון וזאת בכדי לצמצם את מופע הקו בסביבה לאור הרגישות והייחודיות של המכתש. במהלך ביצוע העבודות התקבלו פניות להטמנת 2.5 ק"מ נוספים העוברים במכתש, אשר הועברו להטמנה, באמצעות עדכון של תכנית הפיתוח ואושרו ע"י השרים כקבוע בחוק. בימים אלו מצויים בביצוע עוד 50 ק"מ מעגלי של קווי 161 ק"ו באופן תת קרקעי בפריסה ארצית כחלק מתוכנית הפיתוח המאושרת לשנים 2018-2022.

שיטת ההטמנה הנפוצה של קווים אלו היא חפירת תעלה, הנחת הקו וכיסוי. אך קיימים בישראל גם מקטעים בודדים שהקווים עוברים במנהרות: באזור הקישון ישנה מנהרה משותפת למספר תשתיות, באזור איילון מנהרה המיועדת למספר קווי חשמל במתחים שונים ותכנית הפיתוח המאושרת כוללת מנהרה למספר קווי מתח עליון לחציית "רכס ממלח" באזור הגליל המזרחי. קיימים מקרים בהם מתבצעת הטמנה במסגרת מנגנון ע.ע.א (עבודות על חשבון אחרים), בהתאם לאמות המידה, כאשר מבקש הפרויקט רשאי לממן הטמנה בכפוף לתכנון ואישור של מנהל המערכת.





ב. קווי 400 ק"ו - ככלל, קווי ה-400 ק"ו הם עיליים. כאמור לעיל, בימים אלו מתגבשת תכנית פיתוח אשר עשויה להכיל מספר מצומצם של קווי 400 מוטמנים, כתלות בחלופות שייבחרו, כחלק ממנהרות תשתית רב מערכתיות. מומלץ כי לאחר השלמת התוכנית, ובכפוף לאישורים הנדרשים על פי החוק, יתבצע תהליך של הפקת לקחים מאופן הקמתם, הפעלתם והעלויות של קווים אלו לצורך קביעת מדיניות רחבה יותר בנושא זה בעתיד.





היבטים בהטמנת קווי מתח עליון

להטמנת קווי מתח עליון היבטים רבים שניתן לבחון, כאשר המרכזיים הם טכנו-כלכליים, חשמליים, תכנוניים וסביבתיים. בפרק זה תובא סקירה השוואתית של הטכנולוגיה והשפעות השימוש בשיטות השונות:

3.1 סקירה הנדסית

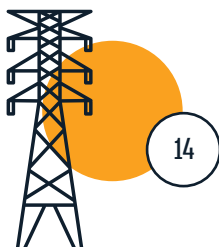
ככלל, הקמת קווי חשמל דורשת הקצאת קרקע ללא קשר אם הרשת עילית או תת קרקעית. בהתאם לחוק הקרינה המרחק המינימלי לשהיית קבע מקו מתח עליון עילי הינו כ-20 מ' מציר הקו, קרי רוחב רצועה של 40 מ'. כאשר רוחב הרצועה המינימלי הנדרש בקו מוטמן הינו 20-40 מ' וזאת כתלות בתכנון המפורט ואופן הנחת הכבלים (הנחה שטוחה או משולשת⁶). כמו כן, הקמת הקווים נדרשים לעמוד בשדות אלקטרו-מגנטיים תוך שמירה על מרחקי הבטיחות הנדרשים מרצועת הכבל לשימושים סמוכים⁷.

המשתנה המשמעותי ביותר להיקף השטח הנדרש עבור הרשת הוא המרחק בין מוקדי ייצור החשמל לאזורי הביקוש לחשמל במרכז הארץ ולכן כאשר עוסקים בחסכון תשתיות וייעול השימוש בקרקע, יש להביא בחשבון בעת תכנון מתקני הייצור גם את היקף הרשת שתידרש על מנת לחברם, באופן ישיר ובאופן עקיף, שכן בעוד שרוחב הרצועה של קו ההולכה הוא קבוע, המרחק של הקווים בין מוקדי הייצור והצריכה תלוי מיקום.

ברשת עילית, האנרגיה החשמלית עוברת ממתקני הייצור אל מרכזי הצריכה באמצעות תיל מוליך חשוף הנמתח באוויר על גבי עמודי משא ועמודי מתיחה המוקמים לאורך התוואי. ברשת חשמל תת קרקעית האנרגיה מועברת באמצעות כבלי חשמל המאופיינים בתיל מוליך המצופה בחומר מבודד על מנת למנוע מעבר של חשמל מהתיל לאדמה למניעת סכנת התחשמלות והגנה על הצידוד.

6 הנחה משולשת מצמצמת את רוחב הרצועה אך במקביל מקטינה את יכולת ההולכה ועלולה לא לעמוד בקריטריון התכנון הנדרש.

7 להרחבה ראה עבודת חברת נגה.

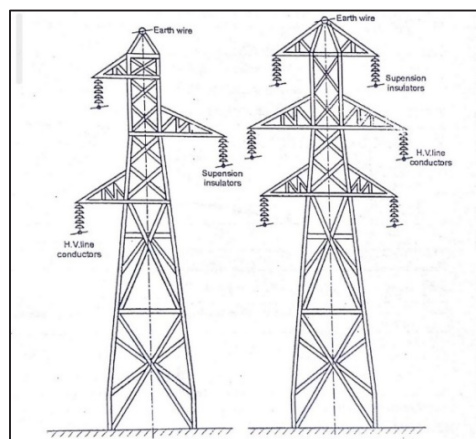
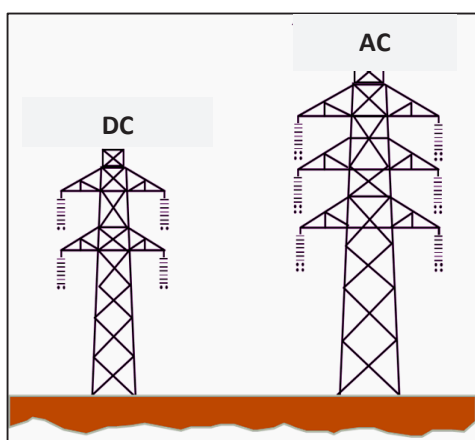




תכנון מפורט של כבלים נעשית גם מול ההרכב הפיזי/כימי של הקרקע והבידוד הטרמי שלה. לעיתים, יש צורך בהחלפת הקרקע הטבעית בחול טרמי אשר מכניס מורכבות נוספת. החלטה על תכנון סוג רשת חשמל העוברת לאורך תוואי מסוים מתקבלת בהתאם למדיניות ו/או לקריטריונים המקובלים באותה המדינה.

איור 3

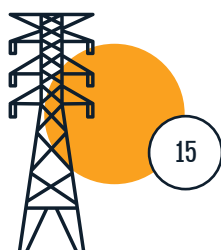
תצורות עמודי הולכה



רשת הולכה עילית

רשת הולכה עילית בנויה משילוב של עמודי משא, עמודי מתיחה ורכיבים מבודדים שבאמצעותם פורסים את מוליכי החשמל מאתרי ייצור החשמל אל מוקדי הצריכה. המוליכים, בדרך כלל, עשויים מנחושת ו/או אלומיניום ו/או מסגסוגת אלומיניום. הנחושת בעלת מוליכות גבוהה, מתיחה חזקה יותר וצפיפות זרם גבוהה, המאפשרת יכולת העברת זרם גבוהה ליחידת שטח חתך. לצד היתרונות של הנחושת המוזכרים לעיל, עלות המוליכים גבוהה ביחס לעלות של מוליך אלומיניום וזמינותם מוגבלת, לכן רוב המדינות משתמשות במוליכים מסגסוגת אלומיניום הנקראים: ⁸AAC, ⁹AAAC, ¹⁰ACSR, ¹¹ACAR.

- AAC - All Aluminum Conductor 8
- AAAC - All Aluminum Alloy Conductor 9
- ACSR - Aluminum Conductor Steel Reinforced 10
- ACAR - Aluminum Conductor Aluminum-Alloy Reinforced 11





בדרך כלל, רשת עילית נראית לעין על פני השטח, ונדרשים עמודים גבוהים להתקנת התיל המצריכים רוחב בטיחות רחבים יותר.

רשת הולכה תת קרקעית

רשת הולכה תת קרקעית עוברת באמצעות כבלי חשמל תת קרקעיים הבנויים משני חומרים עיקריים: מוליך, שתפקידו להעביר את הזרם דרכו, ובידוד המהווה כחומר מבודד בין המוליך לסביבה מבחינה חשמלית והן מבחינת פגיעה מכאנית בכבל. המוליכים, בדרך כלל, עשויים מנחושת או מסגסוגת אלומיניום המצויים בתוך החומר המבודד, ולעתים לצורך העברת אנרגיה בהיקף גדול נעשה שימוש במספר מוליכים בעלי שטח חתך קטן יותר, בין היתר על מנת לצמצם הפסדים. כושר העברת האנרגיה בכבל עולה ביחס ישר לחתך התיל המוליך. כמו כן, שטח החתך של חומר הבידוד ושל המוליך גדלים ככל שמגדילים את רמת הזרם המועבר בקו. קיימת חשיבות רבה למניעת חדירת לחות לכל סוגי הכבלים. הכבלים מסוג EPR¹² ו-XLPE¹³ עמידים בפני דרישה זו ונפוצים יותר לשימוש ברשתות חשמל.

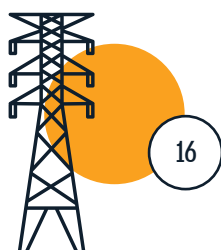
קיימת שיטה נוספת להטמנת קווי חשמל באמצעות טכנולוגית דחיקה- בה מתבצע קידוח אופקי (HDD- Horizontal Directional Drilling). בשל מורכבותה, מחירה ומגבלות הנדסיות- חשמליות נעשה בה שימוש מצומצם מאד. שיטה זו מצויה בשימוש גם בישראל והיא נועדה לתת מענה למעבר במקטעים קצרים של מאות מטרים לפתרונות נקודתיים כמו חציית כבישים.

סוגים של כבלים הנמצאים בשימוש נרחבים בתשתיות הולכה:

כבל מגופר עם חומר בידוד דיאלקטרי (EPR או XLPE)

כבלים מגופרים נקראים כך מכיוון שחומר הבידוד מיוצר באמצעות חימום גופרית עם חומרים פולימרים סביב המוליך על מנת להצמיד את החומר המבודד לתיל המתכת בגמישות, עמידות וקושי רצויים. הבידוד הינו המעטה החיצוני של הכבל ומגן מכנית מפגיעות העלולות לגרום לכניסת לחות ונוזלים, אשר עלולים לפגוע בבידוד ובסוף לפריצתו.

Ethylene Propylene Rubber-EPR 12
Extruded Cross-Linked Polyethylene - XLPE 13

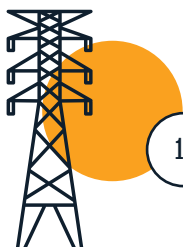
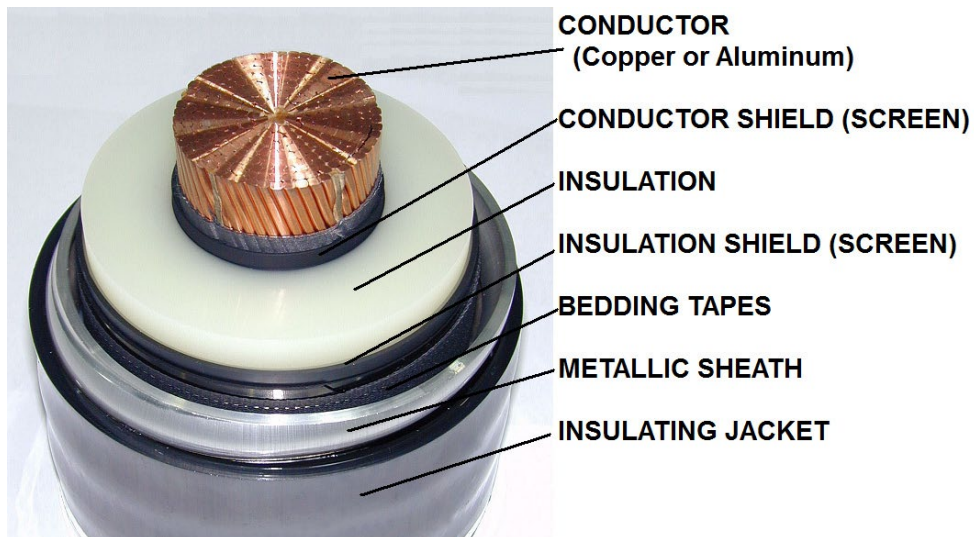




כבל הכולל בתוכו שלושה מוליכים (שלוש פאזות) קיים בשוק עד לרמה של 138 קילו וולט, אם כי הרוב המכריע של הכבלים התת קרקעיים הם חד-מוליכים. קוטרם הכולל של הכבלים במתח עליון, נע בדרך כלל, בין 75-125 מ"מ והטמנתם יכולה להתבצע באופן ישיר בתעלה חפורה, בצינורות פלסטיק בגודל 152-203 מ"מ עד רמת מתח של 500 kV, או במנהרת תשתיות. השימוש הנפוץ ביותר בכבל מסוג זה הוא עבור כבלי AC.

איור 4

חתך כבל הולכה



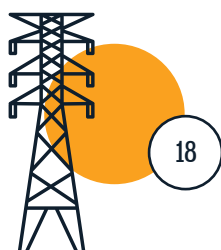
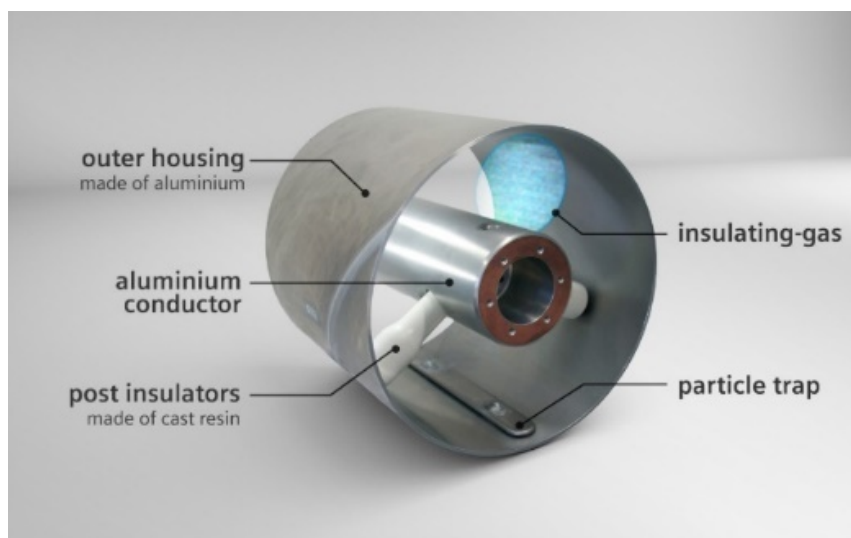


כבלים מבודדים בגז (Gas Insulated Lines - GIL)

מערכת זו כוללת מוליכי אלומיניום או נחושת הנתמכים על ידי מבודדים הנמצאים בתוך צינורות אטומים. המערכת בנויה בצורה של שני צינורות קונצנטריים אחד בתוך השני כאשר הצינור הפנימי משמש כמוליך לאנרגיה החשמלית והצינור החיצוני משמש ככיסוי והחלל הנמצא ביניהם ממולא בגז מבודד, 80% בגז חנקן ו-20% בגז SF6. כבל מסוג זה יכול להיות מותקן מעל פני הקרקע, במתקני תעלה או מנהרות. השימוש בגז כחומר בידוד מחייב להקים מתקני בקרה לאורך תוואי הכבל במרחקים קבועים של כ-1.5 ק"מ, לאיתור דליפות גז. אורכי קטעי הצנרת הם כ-12-20 מטר וחיבור הקטעים השונים מתבצע בריתוך באמצעות ציוד מיוחד, תחת בקרה גבוהה ושמירה על איכות גימור גבוה ביותר. עלות שימוש בשיטה זו הינה יקרה בצורה משמעותית ביחס לשיטות האחרות שפורטו.

איור 5

מבנה כבל מסוג GIL



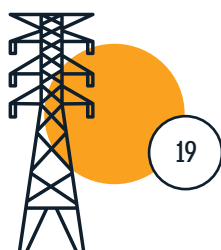


מערכת הולכה המבוססת על טכנולוגיה זו מאפשרת יכולת העברת זרמים גבוהים (4,000 אמפר למול 1,600 אמפר) לעומת קו תת קרקעי הבנוי בכבלים בטכנולוגיה אחרת. לכן, במקרה שבו מעוניינים להעביר במערכת הספקים גבוהים יידרש להקים מספר כבלים לפאזה דבר שיגדיל את רוחב הרצועה ואת שטח הקרקע של הטרמינלים בקצוות הקטע. בנוסף, מערכת זו מתאפיינת באיבודים נמוכים וההספק הקיבולי בקו נמוך. כחלק מהחסרונות של השיטה ניתן לציין כי אורך מוגבל של כל סגמנט יוצר אתגרים בשינוע והרכבה, עמידות נמוכה יותר לרעידות אדמה ודורש תכנון מתאים וקיימת גם תופעה של זיהום הגז המבודד על ידי חלקיקים אשר עלולים לפגוע ברמת הבידוד. כאמור, עד סוף שנת 2021 הוקמו כ- 158 ק"מ כבלי 161 ק"ו, כאשר השימוש הנפוץ הוא בכבלים מסוג טכנולוגיה XLPE בלבד.

3.2 עלויות הקמה

האומדן הכלכלי העיקרי להקמת קווי 161 ק"ו הינו העלות הנורמטיבית כפי שנקבעה בבסיס הרשת. יצוין כי גם בהשוואה הבינלאומית ניכר כי עלות קו מוטמן גבוהה משמעותית מקו עילי¹⁴. העלות המוכרת של חברת החשמל למקטע ההולכה מבוססת, ככל הניתן, על עלויות נורמטיביות שקובעת רשות החשמל. הגדרת עלות נורמטיבית מגדירה את התשלום שהחברה זכאית לו על פי שיקולי יעילות ויכולה להיות שונה מההוצאות בפועל של החברה. כאמור, החברה משקיעה בנכסים במקטע ההולכה בהתאם לתוכנית הפיתוח המאושרת על ידי שרי האנרגיה והאוצר. בעדכון בסיס תעריף למקטע הרשת לשנים 2018-2022, נקבע בין היתר, כי לנכסים חדשים שיוקמו במסגרת בסיס תעריף הרשת הנוכחי יוכר אורך חיים של 45 שנים. קרי, העלות המוכרת שנקבעה בהתאם למחירון תוחזר לחברה בפריסה על פני תקופה זו, וזאת באמצעות התעריף השנתי המשולם על ידי צרכני החשמל. להלן טבלה המפרטת את העלות המוכרת שנקבעה בבסיס תעריף להקמת קווי מתח עליון:

14 בסקירה הבינלאומית נמצא כי קו מוטמן עולה יותר ביחס של פי 5-10 בהשוואה לקו עילי.





טבלה 2

עלויות הקמת קווי מתח עליון¹⁵

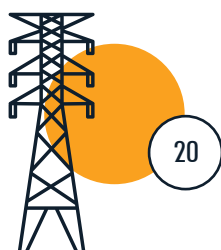
קווי מתח 161 ק"ו	עילי	תת קרקעי
עלות נורמטיבית לק"מ (במיליוני ש"ח)	3.50	14.72 ¹⁶

3.3 אמינות אספקה ושרידות מערכת

רשת ההולכה מאופיינת באמינות אספקה גבוהה ביחס לרשת החלוקה, מאחר וחלק מרכזי בתכנון המערכת הוא התחשבות בקריטריוני אמינות אספקה ושרידות המערכת. בהתאם לכך, הרשת כוללת מאפיינים הנדסיים-חשמליים מתאימים למטרה זו: עמודים גבוהים ומאסיביים, כבלים חזקים, מערכת גיבויים, סגירת מעגלים ועוד. זאת כיוון שתקלות מסוימות או פגיעה ברכיבים שונים במערכת עלולה להעמיד אותה בסיכון ולאירוטי עלטה משמעותיים. להיבט זה חשיבות עליונה כחלק ממערכת השיקולים להטמנת קו.

יכולת העמידה בדרישות אמינות ושרידות המערכת נבחנת לכל אורך חיי הקו בתכנון, הקמה, הפעלה ותחזוקה. פרמטר זה מושפע מההסתברות לתקלות במערכת ומשך הזמן הדרוש לתיקון. איתור תקלה ומיקומה בקו מוטמן דורש שימוש באמצעים מיוחדים והמיקום מצביע על המקטע התקול ולא נקודה ספציפית. לעומת זאת, בקו עילי ניתן לראות ויזואלית את מיקום התקלה ללא שימוש באמצעים מיוחדים. תיקון התקלה בקו מוטמן דורש חפירות משמעותיות לתיקון, לעיתים בתיאום מול תשתיות אחרות העוברות באזור, היתרי חפירה ואף חסימות כבישים, לעומת קו עילי אשר ברוב המקרים עובר מעל תשתיות אחרות. לפיכך, משך תיקון תקלה בקו עילי מוערך ממספר שעות ועד ימים בודדים, לעומת קו מוטמן שעלול לארוך מספר שבועות ועד מספר חודשים. האופן בו מתוכננת מערכת המסירה הוא על בסיס קריטריוני תכנון של N-1 ו-N-2.

15 בהתאם לעלות נורמטיבית שנקבעה בבסיס הרשת לשנים 2018-2022. [להרחבה](#)
 16 על מנת שקו תת קרקעי יוכל לשאת אותו הספק כמו קו עילי נדרשת תשתית כבילה גדולה יותר.



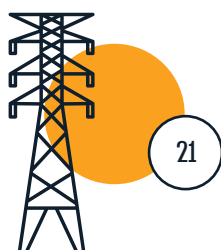


כלומר: במקרה של תקלה שנייה במערכת, בקו עילי או תת קרקעי המוליכים 300-600 מגוואט, תיגרם הפסקת חשמל לכ- 75,000-150,000 בתי אב.

לשם המחשה במסגרת עבודה זו, מנהל המערכת בחן את השפעת אורך הקו המוטמן על מדד הסיכון לתקלה באזור חיפה. בקו של 10 ק"מ שילוב של 1-6 ק"מ מוטמן מביא לרמת סיכון העומדת בקריטריונים המקובלים. בעוד ששילוב מעל טווח זה, מהווה חריגה מהקריטריון. מתוצאות הבחינה עולה כי אורך הקו התת קרקעי בעל השפעה מהותית על מדד הסיכון ולפיכך על אמינות אספקת האנרגיה. שילוב כבלים צפוי לגרום להקטנת זמינות הקו, זאת כתוצאה מזמן תיקון ארוך ביחס לקו עילי וכפועל יוצא להגדיל את האנרגיה הבלתי מסופקת לצרכנים.

כפי שצוין, מספר התקלות ברשת ההולכה עילית או תת קרקעית מועט. במסגרת היערכות משק חשמל לחירום, לא הובא לידיעת הצוות המקצועי ברשות צורך לשימוש בטכנולוגיית ההטמנה על מנת לצמצם את הסיכונים השונים לתרחישי החירום על רקע מצב ביטחוני או מזג אויר קיצון או תרחישים אחרים אליהם המשק נערך. זאת, הודות לתכנון המערכת אשר כלל יתירות וגיבויים. אולם, לא ניתן להתעלם מכך שתקלה ברשת, עילית או תת קרקעית, עלולה להתדרדר לאירוע בעל השלכות משמעותיות, שכן מספרי הצרכנים המחוברים לכל קו הוא גדול מאוד. לדוגמא, בחודש מאי בשנת 2015 נגרמה תקלה משמעותית ברכיבים תת קרקעיים של רשת המתח העליון, שנגרמה לאור התיישנות הרכיבים. כתוצאה מהתקלה נגרם חשש כבד לאמינות הספקת החשמל בכל רחבי ירושלים, עד כדי מצב שחברת החשמל שינעה עשרות גנראטורים לירושלים לצורך גיבוי אם מעגל נוסף ייפסק. תיקון התקלה נמשך שבוע בעבודה מלאה. בהקשר זה יצוין כי הספקת החשמל לירושלים, בדומה לאזורים אחרים במרכז הארץ, המתאפיינים במיעוט מקורות ייצור וקבלת החשמל, תלויה כולה ברשת ההולכה הארצית, ועל כן תקלה יכולה להתפתח לאירוע משמעותי ולהשפיע על צרכני רבים.

סקירה בינלאומית בנושא מעלה אירוע קיצוני, כמעט יחיד בהקשר זה, שהתרחש בשנת 1998 באוקלנד ניו זילנד. כנראה כתוצאה מהתיישנות, ארעה תקלה בכבל אחד מתוך ארבעה וגרמה לעומס ביתר הקווים ולקריסה של כבל נוסף. בכדי לנסות להתמודד עם אי אספקת חשמל, שונעו גנרטורים רבים לאזור אשר גרמו לרעש, זיהום אויר ולמפגעים סביבתיים. תיקון התקלה נמשך כחמישה שבועות

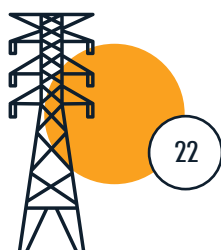




ומוערך שבזמן זה יותר מ-6,000 דירות וכ-60,000 עובדים בעסקים שונים באזור הושפעו מאי אספקת חשמל סדירה.

בנוסף, להגדלת היקף השימוש בקווי הולכה מוטמנים, קיימת השפעה מאסיבית על פרמטרים החשמליים של הרשת ותוספת העלות הנדרשת לצמצום השפעות אלו. לדוגמא: קיום עומסים נמוכים ברשת ישפיע על המתח עקב הופעת הספק ריאקטיבי בכבלים. עודף הספק ריאקטיבי יחייב ספיגה ע"י גנרטורים קיימים או התקנת ריאקטורים לאורך הרשת אשר גם להם יש השפעה על יציבות רשת החשמל ועלות וכן ריאקטורים בתחמ"שים. כמו כן, ייתכן שיידרש להתאים את משטרי ההגנות, בפרט הגנת מרחק. כבלי זרם חילופין ארוכים עלולים להגביר את ההרמוניות ברשת ולגרום לחימום יתר של הציוד. לאור השלכות אלו, מנהל המערכת וחברת החשמל יידרשו לעדכן את שיטות התכנון, ההקמה והתפעול בהתאם.

הטמנת קווים מעלה גם את הסיכון לפגיעה על ידי גורמים חיצוניים העובדים בשטח, כיוון שתוואי הקווים המוטמן אינו נראה בשטח ולעיתים קבלנים העובדים באזור לא מודעים לתשתית התת קרקעיות. בשנים 2020-2021 נגרמו חמש תקלות כתוצאה מפגיעה של עבודות קבלנים בשטח ברשת תת קרקעית. זמן התיקון לכל תקלה נמשך מספר שבועות, אשר השפיעה על אמינות המערכת. ככול שהיקף הקווים המוטמנים יעלה, ההסתברות לתקלות צפוי לעלות בהתאם.



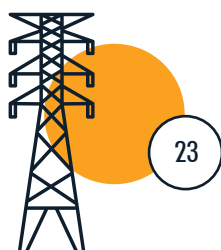


טבלה 3

סיכום השוואה בין השיטות

פרמטר	161 ק"ו עילי	161 ק"ו מוטמן
תקלות פנימיות ברשת	נדיר	נדיר
תקלות חיצוניות לרשת	נדיר	נדיר
זמן תיקון תקלה	שעות	שבועות ואף חודשים כתלות בתשתית סמוכה, תכנון וביצוע הסדרי תנועה, אישורי חפירה ומורכבות התקלה.
השפעה על הספק ריאקטיבי	נמוכה	גבוהה, בשל העלאת הסיכון נדרש להוסיף רכיבי רשת לשמירה על רמת מתחים תקינה.
בעיית אספקה בעת תקלה בקו מגורם ייצור	בשל הפער בזמני תיקון התקלה מאות אלפי ש"ח פיצוי ליצרנים, עלות עודפת למשק ממתקני ייצור אחרים. ¹⁷	בשל הפער בזמני תיקון התקלה מיליוני/עשרות מיליוני ש"ח פיצוי ליצרנים, עלות עודפת למשק ממתקני ייצור אחרים.

17 פיצוי למחז"מ ממוצע בעקבות תקלה ברשת ההולכה היוצאת מהמתקן לפי תעריף זמינות הינה כ-750 אלף ש"ח ליום.



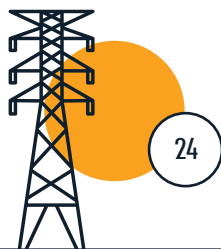


3.4 היבטים נוספים

מעבר לעלויות ישירות של הטמנת הקווים, להטמנה היבטים נוספים, אשר נסקרו בפרק זה באופן איכותני. ההיבטים שיוצגו מורכבים לכימות ולהערכה כלכלית מאחר והם תלויים בווקטורים שונים ועשויה להיות בהם שונות רבה. בהתאם, ולאור חשיבותם, להלן התייחסות מפורטת להיבטים השונים:

+ חסכון זמן תכנון - להערכתנו, שימוש בהטמנה על בסיס עקרונות ברורים, אחידים ושקופים צפוי להגדיל את הוודאות התכנונית ולהביא לצמצום חלק משמעותי מהקונפליקטים התכנוניים והסביבתיים המאפיינים את קידום תכניות המתאר. זאת מכיוון וניתן יהיה להשתמש בהטמנה כפתרון לצמצום הקונפליקטים. עם זאת, קשה לייחס פרק זמן ברור לעיכוב כל קונפליקט באופן מוחלט בקידום תכניות המתאר מאחר וישנם נושאים המקודמים במקביל והנושא כרוך במידה רבה בהתנהלות ואחריות מוסדות התכנון. בנוסף, ישנם קונפליקטים בקידום קווי חשמל כמו בנייה בלתי חוקית, אשר ההטמנה לא תוכל לשמש עבורם כפתרון. מדיניות ברורה בנושא זה תוכל לספק וודאות בהליכי התכנון, אך מותנית ביישום המדיניות על ידי מוסדות התכנון והימנעות מפתיחת הנושא לדיון בכל קו מחדש. אם לא תיושם מדיניות בצורה ברורה ואחידה כאמור, זמני התכנון ימשיכו להיות ארוכים וההטמנה לא תביא תועלת לקיצור וייעול לוחות הזמנים. זמני התכנון ממושכים עשויים להעמיד בסיכון את אמינות אספקת החשמל ולהביא לעיכובים במימוש מדיניות הממשלה לרבות בחיבור פרויקטי תחבורה לאומיים, שכונות מגורים ומתקני ייצור באנרגיה מתחדשת.

+ התארכות זמני הקמה ותכנון מפורט - ככלל, התכנון המפורט להרשאות והיתרי בניה להקמת קו תת קרקעי מוערכת בזמני הקמה ארוכים יותר ב-50% ואף יותר, ביחס לקו עילי. זמנים אלו תלויים במשתנים שונים כמו תוואי השטח, מעבר בשטח פתוח או מבונה, סוגיות וקונפליקטים. מעבר קווים תת קרקעיים מצריך השקעה רבה יותר לאורך כל הרצועה באיתור ותיאום עם תשתיות אחרות בעיקר במרחב העירוני המתאפיין בצפיפות רבה של תשתיות וצורך בביצוע עבודות הנדסיות-אזרחיות בהיקף נרחב להקמת מובלים ותעלות, בעוד שבהקמת קו עילי המורכבות נדרשת באופן נקודתי למיקום העמוד בלבד.



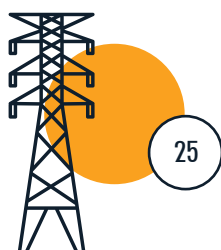


+ **אפשרות לשדרוג הקו** - ככלל, חלק נכבד מהפרויקטים בתכנית הפיתוח הוא שדרוג או שחלוף קווים קיימים. כך נעשה שימוש ויעול מצבת התשתיות הקיימת על ידי החלפת התיילים, שימוש בעמודים הקיימים, חיזוק היכולת של הקווים, שימוש ברצועות מתח עליון שכבר מופרות על ידי הנחה של עמודים חדשים ופירוק הקווים הישנים. ייעול השימוש בתשתית הקיימת אפשרי בקווים עיליים, ואינו ישים כלל בקווים תת קרקעיים, אלא על ידי החלפת הכבלים ועבודות הנדסיות-אזרחיות מלאות ולכן מדובר בפרויקט חדש.

+ **העתקת קו** - פעמים רבות נדרש להעתיק או להסיט קווי חשמל בשל צרכי פיתוח אחרים כמו פרויקט תחבורתי או הקמת שכונת מגורים. היתרון בהעתקת קו עילי הוא עלות נמוכה יותר וניתן להעתיקו באופן נקודתי עבור צרכי הפרויקט. העתקת קו תת קרקעי מורכבת, ארוכה ויקרה יותר ביחס לקו עילי.

+ **קרינה ושדה מגנטי** - ככלל, לצמצום שדות אלקטרו-מגנטיים (אלמ"ג) יש תועלת במעבר קווי החשמל בשימושי קרקע בהם קיים פיתוח ושהיית קבע של אנשים, ואין להם משמעות במעבר בשטחים פתוחים כיוון שאין שהיית קבע. צמצום שדות אלמ"ג בקווים תת קרקעיים מתאפשר כתלות בתכנון המפורט, שיטת הנחת הכבלים ובבדיקה פרטנית ובכך מאפשר לצמצם את רוחב מגבלות הבנייה של הקו ולנצל טוב יותר את הקרקע הסמוכה לרצועות החשמל. לנושא זה תועלת רבה במעבר בשטחים מבונים עם שימושים של מגורים, מבני ציבור, מסחר ותעסוקה שכן בשטחים אלו ערך הקרקע גבוה ויש חשיבות לניצול של קרקע זו ולציפוף מרחבים אלו. עם זאת, צמצום הרצועה מחייב הנחה משולשת - שהיא יקרה יותר ומפחיתה את יכולת הולכת הקו.

+ **השפעה נופית ומופע חזותי** - ככלל, המופע החזותי והנופי של קווי חשמל עיליים בולט יותר מקווים תת קרקעיים. כאשר בתוואי הקו העילי ישנו צורך בפיתולים וזוויות חדות נדרש להוסיף יותר עמודים ולעשות שימוש בעמודי מתיחה אשר בעלי מופע חזותי בולט יותר. קשה לכמת את הפגיעה החזותית בנוף מאחר והיא סובייקטיבית ותלויה ברמת רגישות האוכלוסייה, האם החשיפה היא תמידית או חולפת, מידת הרגישות הסביבתית של השטח





ועד כמה השטח בו עובר הקו נצפה מסביבתו הקרובה והרחוקה. כפי שיוצג בהמשך, הטמנה בשטחים פתוחים אינה בהכרח הפתרון העדיף לצמצום הפגיעה הנופית ובמעבר בין קו עילי לקו מוטמן יש להשתמש בעמוד טרמינל אשר בעל מופע חזותי בולט ביחס לעמוד חשמל סטנדרטי.

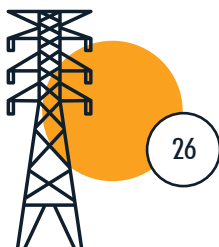
+ פגיעה בפני הקרקע - ככלל, העבודות בפני הקרקע בקו עילי מבוצעות באופן נקודתי בשטח העמוד וסביבתו הקרובה ועבור שטחי התארגנות להקמת העמודים. לעומת קו תת קרקעי, אשר מצריך עבודות לאורך כל רצועת הקו. הפגיעה בפני הקרקע תלויה במשתנים רבים כמו היקף, יכולת ומידת הצלחת שיקום הקרקע בגמר העבודות. ישנם אזורים בהם היכולת לשקם את הקרקע גבוהה יותר, כמו בסביבה מדברית, לעומת אזורים מיוערים אשר בהם קיים קושי להחזיר את המצב לקדמותו, כאשר קיים הבדל בין יכולת השיקום של יער טבעי לעומת יער נטע אדם.

+ פגיעה בבעלי חיים - סוגיה זו רלוונטית בעיקר למעבר קווים בשטחים פתוחים. ככלל, בקווי מתח עליון עיליים ישנה אפשרות של התנגשות בעלי כנף. על מנת לבחון אמצעים לצמצום פגיעה זו חברת החשמל עובדת בשיתוף פעולה עם רט"ג והחברה להגנת הטבע. לגבי התחשמלות בעלי כנף, הבעיה מאפיינת קווי מתח גבוה בשל המרחק המצומצם בין הפאזות, ופחות רלוונטית לקווי מתח עליון. בכל מקרה של מעבר הקו באופן עילי, לחברת החשמל יכולת להשתמש באמצעים טכנולוגיים לצמצום הפגיעה בבעלי הכנף.

מבחינת מעבר בעלי חיים- בשטחים פתוחים ובפרט במסדרונות אקולוגיים, כיוון שההקמה של קווי חשמל עיליים היא נקודתית לאזור העמודים אין מניעה למעבר זה. בקווים תת קרקעיים, בשלב ביצוע העבודות בלבד קיימת פגיעה משמעותית יותר למעבר בעלי חיים מאחר ומדובר על עבודות לכל אורך הרצועה, אך לאחר ביצוע העבודות אין השפעה בהיבט זה.

+ הידרולוגיה וניקוז- להטמנת קווי חשמל עלולה להיות השפעה מכרעת על משטר הזרימה התת קרקעי שעלול להביא לייבוש מעיינות עקב הסטת זרימה תת קרקעית את תעלת ההטמנה, וכן לפגיעה בתפקוד בתי גידול לחים.

+ גיאומורפולוגיה- הן לקווים עיליים והן לקווים תת קרקעיים עלולה להיות השפעה על הגיאומורפולוגיה של הקרקע כמו פגיעה אפשרית במערות,





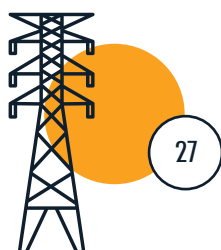
מחשופי סלע ייחודיים, יכולת שיקום השטח בעיקר בקרקע סלעית, שיקום איטי יותר של קרקע מידברית בשל מיעוט משקעים ועוד. כפי שהובהר הקמת קו עילי מאפשרת פגישה נקודתית לעומת קו תת קרקעי המשפיע לכל אורך הרצועה.

+ ייעול השימוש בקרקע - ככלל, ניתן להשיג תועלת משימוש נוסף בקרקע כתלות באזור בו הקו עובר:

- **שטח מבונה -** ברצועת קווים עיליים ניתן לאפשר שימושי קרקע שאינם משמשים לשהיית קבע ממושכת כגון: מבנים הנדסיים, מבנים חקלאיים, שצ"פים וכו'. ברצועת קווים מוטמנים לא ניתן לבנות מבנים מסוג זה.
- **שילוב ואיחוד עם תשתיות אחרות -** קיימות מגבלות בפיתוח תשתיות מעל כבלים כמו דרכים ומסילות ברזל ובעיקר מעל אזור תיבות החיבור שבנקודות אלו לא ניתן כלל לפתח תשתית אחרת.
- **שימושים חקלאיים -** בקו עילי אין כמעט מגבלה על השימוש החקלאי למעט שטח העמודים וגובה העצים. לעומת זאת, ברצועת כבלים קיימות מגבלות לנטיעת עצים בכל שטח רצועת החשמל.

כפי שניתן לראות, השימושים המותרים ברצועת קווים מוטמנים מוגבלים יותר מאשר בקווים עיליים. ככל שמדובר על מעבר בשטחים מבונים, קיימת תועלת למעבר בקווים תת קרקעיים מאחר ויש אפשרות לצמצם את רוחב הרצועה, היבט זה רלוונטי באזורים בנויים ומיועדים לבינוי, מאחר ואין משמעות להיבט קרינה אלקטרו-מגנטית בשטחים פתוחים. ולכן, ניתן לאפשר שימושי קרקע בסביבת הקו באופן שלא מונע את האפשרות לגשת לטיפול ולתחזוקה של הכבלים בהתאם לצורך. בקווים עיליים קיימת גם מגבלה של שהיית קבע ברוחב מסדרון משמעותי יותר. בהתאם להערכות לגבי תוכנית הפיתוח לשנים 2022-2030 הטמנת הקו באזורים בנויים ומיועדים לבינוי עשויה לחסוך כ-2,700 קמ"ר משטחי מגבלות הבנייה בהתאם למרחקים המקובלים.

לסיכום, הקמת קווי מתח עליון תת קרקעיים יקרה יותר באופן משמעותי, מורכבת יותר ובעלת זמן הקמה ממושך ביחס לקווים עיליים. בנוסף לכך, בהתאם לעבודת חברת נגה, הטמנת קווים מסוימים עשויה אף לפגוע בשרידות מערכת החשמל





בשל המורכבות ולוחות הזמנים הנדרשים לאיתור וטיפול בתקלות וביצוע עבודות תחזוקה ובשל הצורך להקים יותר מרכיבי רשת כדי להגיע לאותה רמת אמינות ויכולת הולכה של הקווים. מנגד, להטמנת קווי החשמל קיים חסכון אפשרי בצמצום השטחים של רצועות החשמל, וצמצום אפשרי של לוחות הזמנים הנובעים מקונפליקטים תכנוניים וסביבתיים המלווים את הליכי התכנון וההקמה של הרשת.

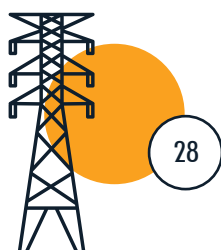
לפיכך, יש להשתמש בכלי ההטמנה באופן שקול ומאוזן אשר יאפשר מצד אחד האצה בפיתוח של רשת ההולכה לטובת עמידה ביעדי וצרכי המשק ומצד שני לא יגרום לעלייה משמעותית בתעריף החשמל או יעמיד בסיכון את שרידות מערכת החשמל.

להלן טבלה השוואה הסוקרת את ההיבטים שפורטו לעיל:

טבלה מספר 4

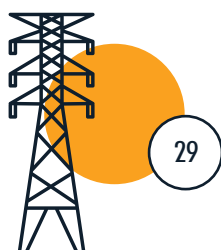
סקירת ההבדלים וההשפעות בין השיטות באופן איכותני

פרמטר	161 ק"ו עילי	161 ק"ו מוטמן
זמן תכנון מערכת	זמן לתכנון הנדסי קצר ופשוט יותר	זמן לתכנון הנדסי ארוך יותר בשל עלייה במורכבות ההנדסית וצורך בתיאומים הנדסיים נרחבים מול תשתיות סמוכות
זמן מוסדות התכנון	הימשכות של הליכי התכנון במקרה של סוגיות וקונפליקטים תכנוניים וסביבתיים	חסכון אפשרי ביכולת בשל צמצום סוגיות וקונפליקטים תכנוניים וסביבתיים ובכפוף להתנהלות מוסדות התכנון.



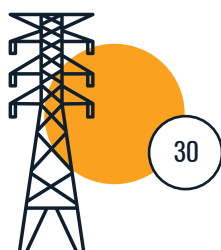


פרמטר	161 ק"ו עילי	161 ק"ו מוטמן
זמן הקמה	זמן הקמה קצר יותר	זמן הקמה ארוך יותר
סיכונים חיצוניים	חשוף לסיכוני מזג אוויר, רחפנים, שריפות	חשוף לתקלות חיצוניות הנובעות מעבודות של אחרים כגון חפירה של קבלנים, קידוחים וכו'
ניסיון הנדסי	ניסיון רב	ניסיון קיים
אורך חיים	גבוה (עד 80 שנה)	נמוך (עד 40 שנה)
כושר הולכה	כושר הולכה גבוה יותר	כושר ההולכה נמוך עקב בעיית פיזור החום המצריך יותר כבלים על מנת להעביר אותה כמות אנרגיה
אפשרות שדרוג	אפשרי	לא מעשי
העתקת קו בעקבות שינוי בתכנון אזורי	זולה ופשוטה יותר	מורכבת מאוד ויקרה
קרינה ושדה מגנטי	משמעותי עד עשרות מטרים מהקו	משמעותי עד מעל לקו כתלות בתכנון מפורט ושיטת הנחה





פרמטר	161 ק"ו עילי	161 ק"ו מוטמן
השפעה נופית ומופע חזותי	תלוי שטח ובמיקום הקו ביחס לסביבה - מופע בולט באזורים פתוחים מדבריים ובמרקם בנוי, פחות בולט באזורים מיוערים.	תלוי שטח ומיקום - מופע נמוך באזורים פתוחים מדבריים ובמרקם בנוי, מופע בולט באזורים מיוערים לאור כריתת העצים. נדרשת הקמה של טרמינלים בעלי מופע עילי משמעותי במעבר מקו על ליתת קרקעי
פגיעה בפני קרקע	פגיעה בשטח העמודים בלבד	פגיעה לאורך כל התוואי בטכנולוגיה של חפירה וכיסוי
פגיעה בבעלי חיים	סכנת התנגשות לבעלי כנף. עבודות הקמה נקודתיות בשטח העמודים במעבר בשטח פתוח ובפרט מסדרון אקולוגי.	פגיעה בבעלי חיים הנעים על הקרקע, פגיעה בשטח פתוח ומסדרונות אקולוגיים בשלב ההקמה בשל עבודות לכל אורך הרצועה.
שימוש נוסף בתא השטח	מתאים לחקלאות ללא מגבלות על סוגי הגידול, חניות וכו', לא מאפשר שימושי קרקע המצריכים שהיית קבע ברצועה	מגביל גידולים חקלאיים הכוללים עצים, אפשרי לגידולי שדה, מחייב גישה לטיפול בתקלות לכל אורך הקו, לא מאפשר שימושי קרקע המצריכים שהיית קבע מעל לקו.





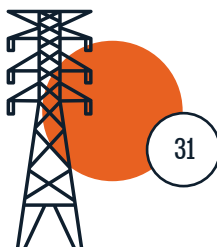
חלופות למדיניות הטמנת קווי מתח עליון

בפרק זה מובאת סקירה של שלוש חלופות מרכזיות לקביעת מדיניות להטמנת קווי חשמל הכוללת תיאור של כל חלופה וסקירה של היתרונות והחסרונות שלה. בתום הפרק מובאת טבלת הערכה מסכמת.

קיימות חלופות נוספות, אך מבחינה מתודולוגית בחרנו בחלופות המובאות להלן בכדי שמדיניות להטמנת קווי חשמל תעמוד בקנה אחד עם המטרה המרכזית שהוגדרה בנייר זה, קרי, ההטמנה תשמש כפתרון טכנולוגי שיאפשר האצה של פיתוח הרשת באמצעות צמצום צוואר הבקבוק והחסמים, מתוך ראייה כוללת של תכנון ופיתוח הרשת. לדעת הרשות הכלי המרכזי במימוש המטרה הוא יצירת וודאות להליכי התכנון והפיתוח של הרשת והוא תלוי גם באחריות וההתנהלות של בעלי עניין נוספים ובראשם מוסדות התכנון בהם מקודמות התכניות לקווי ההולכה. נציין כי מסקירה בינלאומית שביצעה הרשות¹⁸, ניכר כי לכל מדינה קיימת מדיניות שונה בנושא הטמנת קווים ברשת ההולכה וזאת בהתאם לשונות במספר מאפיינים ושיקולים מקומיים ייחודיים.

על מנת לקבוע מדיניות להטמנת קווי 161, ניתן היה לבחור גם במתודולוגיות אחרות כמו קביעת מכסה לכלל תכנית הפיתוח בשיעורי הטמנה ארציים או מחוזיים או מסגרת תקציבית לכלל תכנית הפיתוח ולהשאיר את שיקול הדעת באופן מלא לגורמים אחרים ובראשם מוסדות התכנון. הרשות סבורה כי לחלופה זו חסרונות משמעותיים: עיכוב כלל הפרוייקטים בתכנית הפיתוח עד להחלטות כיצד להקצות ולחלק את המכסה יביא לעיכובים נוספים בתכנון ופיתוח רשת ההולכה. המחשה לכך היא החלטת המועצה הארצית מנובמבר 2020 ליצירת מכסה של 20,000 דונם למתקנים סולאריים קרקעיים אשר מביאה לעיכובים באישור התכניות בין היתר על רקע נימב"י מחוזי. חלופת הטמנה זו, בעלת יישום מורכב בשל קושי לבחור היכן יועברו הקווים המוטמנים בכל מחוז, שצפוי להביא לעיכוב והתארכות הליכי התכנון ובחינת החלופות, ויצירת תלות בין פרויקטים שונים.

18 מצורפת כנספח לעבודה זו, בנוסף קיימת הסקירה המורחבת שביצעה חברת נגה.





חלופת מדיניות אחרת לקריטריונים יכלה להיות קביעת שיעור הטמנה רוחבי באופן שוויוני לכלל המחוזות. הצוות המקצועי ברשות סבור כי גם חלופה זו נחותה לאור השונות בין המחוזות והמרקמים הייחודיים לכל מחוז. לדוגמא- יש מחוזות כמו מחוז תל אביב המתאפיין במרקם עירוני צפוף וכבר היום כמעט כל הרשת החדשה צפויה לעבור באופן תת קרקעי, לעומת מחוזות אחרים בהם חלק ניכר מהקווים צפוי לעבור בשטחים חקלאיים פתוחים ולאורך קווי תשתית קיימים שם התועלת בהטמנה מצומצמת. בנוסף החלופה עלולה להביא לחוסר יעילות של ההטמנה- תיתכן תקופה בה כל הקווים החדשים שיוקמו תהיה הצדקה להטמין ובגלל החסם המלאכותי של קביעת מכסה ההטמנה תימנע.

חלופה מס' 1: המשך הפרקטיקה הקיימת

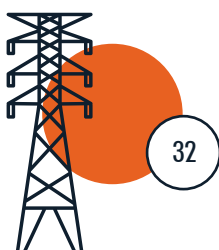
תיאור החלופה:

בחלופה זו מוצע להמשיך להתנהל כפי שהיה עד כה - כלומר הטמנה של קווי 161 ק"ו בשטחים אורבאניים קיימים בלבד והטמנות נקודתיות בשל אילוצים הנדסיים או מקרים חריגים ויוצאי דופן.

בהתאם לכך כ- 3.3% מהיקף קווי המתח העליון הקיימים הם תת קרקעיים, בתכנית הפיתוח המאושרת היקף קווי ה-161 התת קרקעיים הוא כ-9% ולאחר סיומה שיעור הטמנתם צפוי לעמוד על כ-3.8%.

יתרונות:

- + החלופה הזולה ביותר שנבחנה מבחינת משק החשמל בהיבט העלות הישירה לפיתוח רשת החשמל.
- + מדיניות מוכרת ופשוטה יחסית.
- + חלופה בעלת יתרונות בטיפול בתקלות ועלויות אחזקה ותחזוקה ולפיכך הטובה ביותר מבחינת שרידות מערכת החשמל.





חסרונות:

- + חוסר גמישות במציאת פתרון לחלק מצווארי בקבוק.
- + אינה מאפשרת התחשבות בשיקולים סביבתיים דוגמת מעבר בשמורות טבע ואזורים רגישים.
- + אינה מפנימה את העלות התכנונית של רשת החשמל ואת התועלות החיצוניות מחוץ למשק החשמל דוגמת צמצום פגיעה נופית וצמצום אפשרי של שטח מגבלות הבניה של רצועות קווי ה-161.
- + חסרת ראייה ומדיניות כוללת. לפיכך, במקרים מסוימים עלולות להתקבל החלטות הנובעות מלחצים נקודתיים של בעלי עניין.

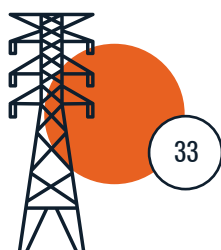
חלופה מס' 2: קביעת קריטריונים להטמנת קווי מתח עליון חדשים

תיאור החלופה:

בחלופה זו מוצע לקבוע סט קריטריונים בייעודי קרקע ספציפיים, אשר בהם יתאפשר שימוש בהטמנה, אשר במידה ויוחלט על ידי מוסדות התכנון ובהמלצת מנהל המערכת שההטמנה הינה החלופה המתאימה ביותר. במקרה של קווים מעורבים בין רשת עילית לתת קרקעית ובכדי למנוע הקמה של עמודי טרמינל¹⁹ רבים, במידה והקמת הקו העילי בייעודים שאינם תחת הקריטריונים היא למקטעים קצרים של פחות מ-1 ק"מ בין עמוד טרמינל אחד למשנהו וישנם מעל 4 עמודי טרמינל לאורך כל הקו, ניתן יהיה להכיר במקטעי הטמנה ארוכים יותר. זאת, בהתאם להמלצת מנהל המערכת.

קווים שצפויים לעבור באופן תת קרקעי בהתאם לקריטריונים אך מנהל המערכת סבר שיש בהם סיכון לשרידות המערכת ולאמינות אספקת החשמל או שמוסדות התכנון יראו שקיימת פגיעה סביבתית גבוהה יותר אם יוטמנו יועברו באופן עילי.

19 תשתית נדרשת כאשר מתבצע מעבר בין קו מוטמן לעילי, בעלת עלות, זמן הקמה ומופע חזותי בולט.





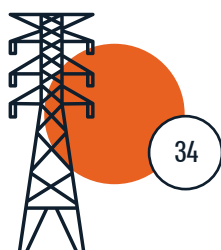
לקריטריונים אלו מוצע להוסיף מכסה של 20 ק"מ, הנאמדת בעלות עודפת נוספת של כ-200 מיליוני ש"ח, בתכנית הפיתוח לשנים 2023-2030, במסגרתה רשאי מנהל המערכת להטמין בשטחים שהם מחוץ לקריטריונים שנקבעו מראש, על פי הפירוט בהמשך.

יתרונות:

- + פתרון לצווארי בקבוק ולצמצום קונפליקטים תכנוניים וסביבתיים.
- + חסכון אפשרי בצמצום וייעול לוחות הזמנים הנדרשים לתכנון ופיתוח רשת החשמל בכפוף לאימוץ העקרונות וגילוי אחריות מצד מוסדות התכנון.
- + הפנמת העלות החיצונית במעבר בלב שמורות טבע ושטחים בעלי רגישות גבוהה מאד.
- + התחשבות בתועלות תכנוניות מחוץ למשק החשמל.
- + הטמנה מתוך מדיניות וראייה כוללת בשונה מהחלטות נקודתיות ואקראיות.
- + מכסת שיקול דעת עבור מקרים יוצאי דופן כפתרון לצווארי בקבוק וחסמים נקודתיים.
- + יישום פשוט ביחס למעבר ביעודי קרקע ברורים ומוגדרים מראש.
- + יצירת וודאות למנהל המערכת וחברת החשמל ביחס למקרים בהם ההטמנה תוכר תעריפית.
- + קיצור אפשרי ללוח הזמנים של מוסדות התכנון.

חסרונות:

- + חלופה יקרה יותר ביחס לחלופת עסקים כרגיל.
- + חוסר וודאות ביחס לעלות הכלכלית של החלופה מאחר ועד לשלב אישור התכניות לא ניתן לתת אומדן תקציבי לעלות הפרויקטים כיוון שלא ניתן לקבוע מראש באיזה ייעודי קרקע תעבור הרצועה של קווי החשמל.
- + תלות באימוץ המדיניות ע"י מוסדות התכנון והיצמדות למדיניות מבלי לפתוח אותה מחדש בכל תכנית.





+ יתכן ויופנו לחצים על ידי בעלי עניין (מתוך ראיית "NIMBY") בשטחם בנוגע לניצול המכסה של הסל שיקול דעת ללא הצדקה תכנונית-סביבתית.

חלופה מס' 3: קביעת הטמנה כברירת מחדל

תיאור החלופה:

בחלופה זו מוצע להטמין כברירת מחדל את כל קווי המתח העליון החדשים ולאסור על העברת קווים עיליים חדשים מלבד במקרים בהם לא ניתן להטמין מבחינה הנדסית, שיקולי שרידות מערכת או במקרים בהם התקבלה המלצה על ידי כול המוסדות הרלוונטיים כי שימוש בטכנולוגיית הטמנה אינה עדיפה מבחינה סביבתית-תכנונית. חלופה זו משתקפת בחלק מהעקרונות של תכניות מתאר והחלטות מוסדות התכנון. בהקשר זה נזכיר מספר החלטות:

+ החלטת המועצה הארצית מס' 648 מיום 10.11.20 שקבעה: "באזורים בנויים יוטמנו ככל הניתן קווי ההולכה, וישולבו במנהרות תשתית קיימות או מאושרות. כמו כן תיבחן האפשרות להטמנה בשטחים מוגנים לפי תמ"א 1".

+ החלטת מליאת הוועדה המחוזית צפון מס' 2020015 מיום 29.06.20 שקבעה: "הוועדה רואה לנכון להדגיש שיש לאמץ מדיניות של הטמנת קווי מתח בשטחים פתוחים וביחוד בשטחים מוגנים על פי תמ"א 1, ובכך למנוע פגיעה בלתי מידתית בנוף ובסביבה ובזכות הציבור ליהנות משטח פתוח ערכי"²⁰.

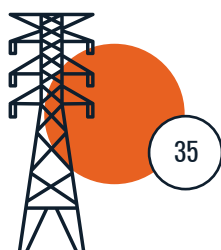
העלות העודפת מהטמנת כל הקווים מוערכת בכ-7 מיליארד ש"ח, לשם השוואה מדובר בסך ההשקעות שבוצעו ברשת ההולכה בשנים 2013-2019, וזאת ללא שיפור בהספק ויכולת ההולכה.

יתרונות:

+ פשטות בבחינת חלופות בהליכי התכנון וקבלת ההחלטות.

+ יצירת וודאות למנהל המערכת וחברת החשמל מבחינה תעריפית.

20 במסגרת התייחסות מינהל התכנון שהועברה במסגרת השימוע, הובהר על ידי צוות מינהל התכנון כי עדיפותם לחלופה מס' 2 קביעת קריטריונים ולא חלופה 3 כמתפרש מהחלטות מוסדות התכנון המצוטטות לעיל.





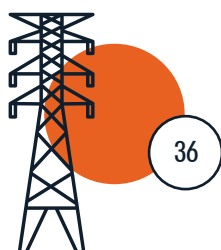
חסרונות:

- + פגיעה באמינות אספקה ושרידות המערכת.
- + חלופה יקרה מאוד הנאמדת בכ-7 מיליארד ש"ח נוספים באופן ישיר וללא התחשבות בעלות הפגיעה בשרידות מערכת החשמל.
- + במקרים בהם יידרש להעתיק את הקווים במסגרת עבודות על חשבון אחרים, ההעתקה כאמור צפויה לייקר פרויקטים בתחום הדיור והתשתית ביחס להעתקת קו עילי.
- + חשש לאורך פיזי של קווים ארוכים יותר מאחר והשימוש בטכנולוגית הטמנה מצריכה התחשבות באילוצים רבים יותר בקביעת תכנון תוואי הקו.

טבלה מספר 5

השוואה מסכמת בין החלופות

פרמטר	חלופה מס' 1: שמירה על המצב הקיים	חלופה מס' 2: קביעת קריטריונים להטמנת קווי חשמל*	חלופה מס' 3: הטמנה כברירת מחדל
פגיעה באמינות אספקה ושרידות מערכת	ללא שינוי	סיכון נמוך - בהתאם לשיקולי מנהל המערכת	פגיעה משמעותית
פתרון לחסמים ולצווארי בקבוק תכנוניים וסביבתיים	לא פותר חסמים קיימים באזורים רגישים	פותר חסמים קיימים באזורים רגישים + גמישות נוספת לחסמים נקודתיים	חסר גמישות, מפחית חסמים באזורים מסוימים

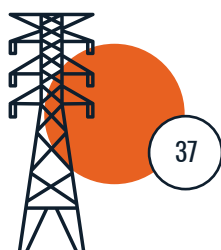




פרמטר	חלופה מס' 1: שמירה על המצב הקיים	חלופה מס' 2: קביעת קריטריונים להטמנת קווי חשמל*	חלופה מס' 3: הטמנה כברירת מחדל
וודאות וחסכון אפשרי לקיצור לוחות הזמנים	מדיניות ידועה, לא מאפשר לקצר זמנים ביחס למצב הקיים	מדיניות גמישה, מאפשר לקצר זמנים ביחס למצב הקיים בתנאי שיאומץ על ידי מוסדות התכנון	וודאות גבוהה ייתכן וייחסך זמן בתכנון הסטטוטורי, אך יאריך את זמני התכנון המפורט וההקמה
השפעה על אזורים בעלי רגישות סביבתית גבוהה	גמישות נמוכה לבחור שיטה מותאמת לשטח. השפעה גבוהה על אזורים רגישים סביבתית	גמישות גבוהה וקבלת החלטות. השפעה מאוזנת על אזורים רגישים סביבתית	גמישות מוגבלת להקים קו עליו השפעה נמוכה על אזורים רגישים סביבתית
ישימות ומורכבות	ישימות גבוהה ומורכבות נמוכה	ישימות גבוהה ומורכבות בינונית	ישימות גבוהה ומורכבות נמוכה
אומדן לעלות כוללת (מיליארד ₪)	1-1.5	2-3.5	6-7

*תלוי בקריטריונים שיבחרו

כפי שניתן לראות, החלופה המוצעת לקידום לדעת הרשות היא חלופה מס' 2. בפרק הבא נעמיק ונציג קריטריונים להטמנה.





המלצה לקריטריונים להטמנה

ככלל, קווי 161 ק"ו חדשים יעברו באופן עילי. יחד עם זאת, רשות החשמל ממליצה לבחון את הטמנתם של קווי 161 ק"ו אשר עוברים בייעודי הקרקע המפורטים להלן, ובלבד שההטמנה בייעודי קרקע אלו תומלץ על ידי מנהל המערכת, לאחר בחינת שיקולי שרידות מערכת החשמל ואמינות האספקה, ותאושר על ידי מוסדות התכנון כחלופה הטובה ביותר מבחינה תכנונית וסביבתית.

להערכתנו, קביעת קריטריונים ברורים וסקופים לציבור ישיגו ייעול וקיצור בהליכי תכנון ופיתוח הרשת לצד הפנמת העלות החיצונית של מעבר קווי חשמל באזורים רגישים סביבתית. הקריטריונים המוצעים מבוססים על ניסיון מנהל המערכת, חברת החשמל ורשות החשמל מחסמים ומאתגרים המאפיינים את תכנון ופיתוח הרשת. הקריטריונים נבחנו מתוך ראייה כוללת, אחידה ושוויונית במטרה ליצור וודאות, יתרונות השימוש בקריטריונים מותנים בכך שהמדיניות תאומץ גם על ידי מוסדות התכנון.

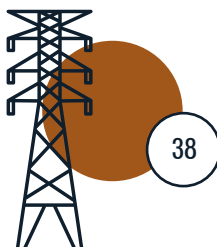
בהתאם לכך, מפורטים קריטריונים מוצעים עבור הטמנת קווי 161 ק"ו חדשים, אשר נבחנו באופן מעמיק.

קריטריונים בהם ניתן לבחון הכרה בעלות ההטמנה:

קריטריונים באזורי פיתוח ואזורים המיועדים לפיתוח

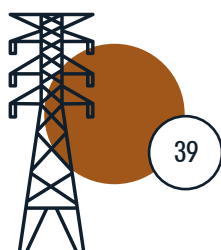
1. **שטחים במרקם עירוני בנוי** - מעבר בייעודי קרקע של שטחי מגורים, מבני ציבור (כגון: בתי ספר, גני ילדים, בתי אבות ובתי חולים), מרכזי מסחר ותעסוקה. שטחים אלו יהיו בהתאם לקבוע בייעודי קרקע בתכנית מתאר מפורטת למגורים, תעסוקה, מסחר ומבני ציבור ובשטחי מרקם עירוני קיים לפי תמ"א 2135.²¹

21 הרשות סבורה כי יש את תכלית ייעוד הקרקע ואין זה משנה באיזה תכנית סטטוטורית נקבע ייעוד הקרקע ובלבד שמדובר בייעוד של מגורים, מבני ציבור, מסחר ותעסוקה.





2. **שטחים המיועדים למרקם עירוני בנוי ושטרם נבנו** - בשטחים המיועדים לבניוי כאמור בסעיף 1 אשר טרם נבנו. שטחים אלו יהיו בהתאם לקבוע בייעודי קרקע בתכנית מתאר מפורטת, כוללנית או מחוזית ובשטחי מרקם עירוני לפי תמ"א 35. עם זאת, ככל שאין וודאות תכנונית לגבי שטחים אלו לרבות מעבר רצועת תשתיות וגובה פני קרקע סופי, מוצע כי ההחלטה בדבר מעבר הקו באופן עילי או מוטמן תיבחן פרטנית. יובהר כי במידה ותידרש בעתיד העתקת הקווים היא תיעשה במסגרת אמות המידה של ע.ע.א. (עבודות על חשבון אחרים). קרי, עלות העתקת הקווים תושט על מזמין העבודה כמו משרד השיכון, רמ"י או הרשות המקומית, המפתחים את שכונות המגורים ואזורי התעסוקה או משרד התחבורה במסגרת העתקה עבור פרוייקט תחבורתי. מאחר וקיים פער משמעותי בין עלות העתקת קו עילי לקו תת קרקעי, לא יעיל להטמין קו לתקופה זמנית, וודאי כאשר הוא עובר באזור המיועד לפיתוח, מבחינה כלכלית ומורכבות הנדסית. הרשות סבורה כי אין צורך ביצירת אזורי חיץ נוספים מחוץ לייעודי קרקע אלו מאחר וזה ייצור הסטה של הקו ללב השטחים הפתוחים ובכך תהיה פגיעה משמעותית יותר. בנוסף, התחשבות בכלל תכניות המתאר למגורים, מסחר ותעסוקה כפי שכבר מוצע על ידינו במסגרת הקריטריונים, מאפשרת לשמור עתודות פיתוח עבור צרכים אלא בראייה ארוכת טווח, בפרט כאשר מדיניות התכנון הארצית היא לציפוף ועיבוי השטחים הקיימים והמתוכננים.
3. **ישימות הנדסית** - מעבר קווי 161 ק"ו חדשים באזורים בהם יש קושי הנדסי להעבירם באופן עילי, בהתאם לעמדת מנהל המערכת או בעל רישיון ההולכה.
4. **פתרון לצווארי בקבוק עבור מעבר קו 400 ק"ו חדש** - ברצועה משותפת עם קו 161 ק"ו, ככל והדבר אפשרי, קיימת עדיפות לאיחוד ושילוב תשתיות ולהצמדת קווי 400 ק"ו חדשים לאורך פרוזדורי קווי ה-161 ק"ו ועל ידי כך יש מספר קווי הולכה עיליים ברצועה משותפת. עם זאת, לעיתים, בעת קידום קו 400 ק"ו חדש העובר ברצועה משותפת עם קו 161 ק"ו קיים, נתקלים בצווארי בקבוק שונים. במקרים אלו, בהרחבת רצועה קיימת של קווי חשמל עיליים, ובמידה ולדעת מנהל המערכת הטמנת קווי ה-161 ק"ו הקיימים באופן נקודתי יאפשרו פתרון לשחרור צוואר הבקבוק למעבר של קו 400 ק"ו עילי, תיבחן הטמנת קו ה-161 ק"ו.





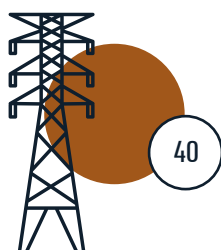
קריטריונים בשטחים פתוחים

1. **סביבה חופית (בייעוד שאינו מתקן הנדסי או תעשייה) - הסביבה החופית** מוגדרת בתחום 300 מ' מקו החוף. היקף רצועות החוף בישראל הוא מצומצם בעוד שקיימת תחרות רבה על שימוש זה. ככלל, שטחי הסביבה החופית מיועדים לטבע, פנאי ונופש. כמו כן, קיימים בסביבה החופית שטחים המיועדים לתשתיות הנשענות על הים כמו אזור אשדוד וקצא"א אשר בעלי אופי תעשייתי- הנדסי. בשל החשיבות הגבוהה של השמירה על הסביבה החופית בשטחים שאינם מיועדים למתקנים הנדסיים או תעשייה, ככל ויש צורך להעביר קווי 161 ק"ו חדשים בשטחים אלו וזו החלופה הטובה ביותר מבחנה תכנונית וסביבתית.

2. **גנים לאומיים ושמורות טבע אשר הוכרזו או אושרו לפי תכנית מתאר ארצית - מעבר בלב גנים לאומיים ובלב שמורות טבע אשר הוכרזו בהתאם לסעיף 22 בחוק גנים לאומיים, שמורות טבע, אתרים לאומיים ואתרי הנצחה, תשנ"ח-1998, ולב הגנים הלאומיים ושמורות הטבע המאושרות לפי תכנית מתאר ארצית המופיעות בתמ"א 1. זאת, ככל ויימצא על ידי מנהל המערכת ומוסדות התכנון כי קיימת עדיפות להטמנת קווי 161 ק"ו חדשים מבחינה תכנונית וסביבתית.**

יצוין כי הטמנה היא לא בהכרח תמיד החלופה הטובה ביותר מבחינה תכנונית וסביבתית במקרה של מעבר קווי 161 ק"ו בקריטריונים של השטחים הפתוחים המפורטים לעיל. כך לדוגמא וכפי שנסקר גם במסמך של מנהל המערכת, בשטחים פתוחים מיוערים הטמנה מצריכה כריתת עצים נרחבת לשלב ההקמה ולאורך כל חיי הקו, אך ייתכן כי רצועת ההטמנה תוכל לשמש גם כדרך חיץ לצמצום הסיכון להתפשטות שריפות. לעומת זאת, הקמת קו עילי מצריכה עבודות נקודתיות להקמת העמודים. בשלב התפעול נדרש גיזום העצים מתחת לקו. לעיתים קרובות העמודים מצליחים להיטמע בנוף באופן הבולט פחות ביחס לרצועות הקווים התת-קרקעיים²².

22 לפי האמנה בין חברת החשמל לקק"ל בחלק מהמקרים גם במקרה של קו עילי מתבצעת כריתת עצים נרחבת לאורך הרצועה לצורך שמירה על מרחק בטיחות בין צמרות העצים לתיילים ומעבר קווים בסביבה עם עצים מחטניים. כאשר לאחר הכריתה מתבצע שיקום נופי באמצעות שתילה של עצים רחבי עלים נמוכים לאורך הרצועה.





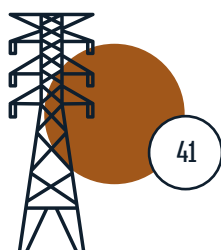
בסביבה החופית מעבר קו תת קרקעי עלול לפגוע ברכס הכורכר באופן משמעותי יותר ביחס לחלופה של קו עילי. דוגמא נוספת היא שטח מיוער אשר בהתאם מגבלות הבניה של קו עילי, ניתן לאפשר נטיעת עצים או לשמור על עצים קיימים, בשונה מקו מוטמן אשר מגביל נטיעות ונדרש לכרות עצים לאורך כל רצועת הקו. בתמונות המצורפות ניתן לראות את ההשלכות של מעבר קו הולכת גז מוטמן בשטח מיוער ביחס למעבר קו החשמל 161 ק"ו עילי באזור שמורות טבע בפארק בגין ואזור הסטף²³.

איור 6

קו גז הולכת מוטמן בשטח מיוער הררי וקו 161 עילי



23 כיוון שאין קו הולכה טמון בשטח פתוח מיוער בחרנו להשוות מול תשתית מוטמנת אחרת אשר בעלת מאפיינים דומים כדי להמחיש את ההבדל.



הטמנת קווי הולכה במתח עליון



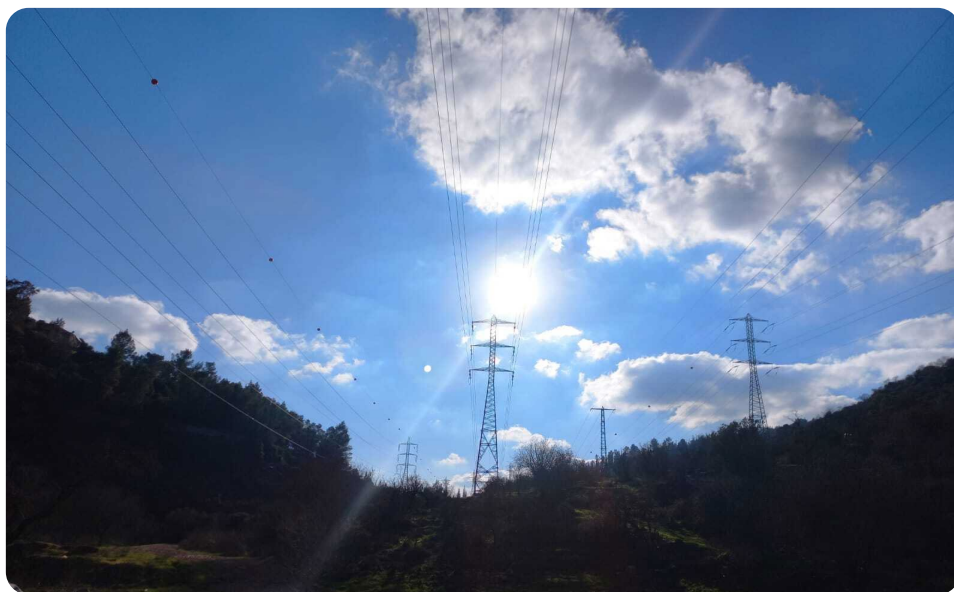
איור 7

קו 161 בשטח מיוער הררי



איור 8

רצועת קווים עיליים במתח עליון ועל עליון



42

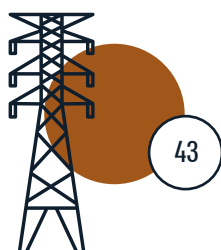
הטמנת קווי הולכה במתח עליון



איור 9 עמודים וקו מתח עליון



לעומת זאת, בשטחים רגישים בסביבה מדברית המתאפיינת במיעוט צמחייה ומשקעים, ויכולת שיקום גבוהה של רצועה תת קרקעית ובולטות גבוהה של רצועה עילית עשוי להיות יתרון משמעותי למעבר קווים באופן תת קרקעי כפי שניתן להתרשם מקו מכתש רמון, אשר התוואי התת קרקעי לאחר השיקום אינו נראה לעין לעומת התוואי העילי אשר בולט בנוף.





איור 10

כבל מתח עליון בשטח מדברי לאחר שיקום



איור 11

קו מתח עליון בשטח מדברי



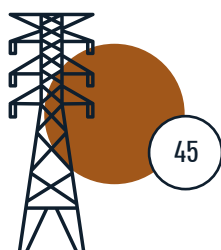


מכסה לשיקול דעת עבור אזורים נוספים

כפי שהוצג בפרק הקודם, מעבר לקריטריונים אלו מוצע לבחון הוספת "מכסה" של עוד 20 ק"מ, הנאמדים בעלות עודפת נוספת של כ-200 מיליוני ש"ח, עבור הטמנה בהתאם לשיקול דעת של מנהל המערכת. תחת סל זה ניתן יהיה להטמין במקטעים נוספים שאינם מקבלים מענה במסגרת הקריטריונים המוצעים ועדיין יש בהם הצדקה להטמנה. מכסה זו צפויה לתת מענה לפתרונות נקודתיים של צווארי בקבוק וחסמים שונים שאין להם הצדקה לקריטריון גורף לאור החסרונות ועלויות של ההטמנה, אך עדיין נדרש לשמור על גמישות במקרים נקודתיים. האחריות לניהול המעקב אחר מילוי המכסה תיעשה על ידי מנהל המערכת כמי שעל פי חוק משק החשמל והרישיון שלו אמון על הקידום הסטטוטורי של כלל הפרויקטים בתוכנית הפיתוח ויש לו ראייה כוללת של צווארי הבקבוק והחסמים בכללותם.

הבהרות וחידודים

א. במידה ויש קו שעובר באחד משימושי קרקע העומדים בקריטריונים להטמנה שיבחרו וסבר מנהל המערכת כי הטמנתו תביא לפגיעה בשרידות מערכת החשמל, הוא יעבור באופן עילי. בהקשר זה חשוב להדגיש כי הגדלת שיעורי ההטמנה מצריכה את הגדלת היתירות של מערכת ההולכה על מנת לתת מענה למקרי תקלות ממושכות בקווים תת קרקעיים. בנוסף על כך, שילוב קטעים תת קרקעיים בקווים עיליים מעבר ל- 30% (כלומר: קווי ריצ'רץ' או קווים מעורבים בהם מעבר לסירוגין של קו עילי לתת קרקעי לעילי) מאורך הקו מחייב לבטל את החיבור החוזר בקו, דבר שמהווה פגיעה משמעותית באמינות ציר ההולכה. הרשות סבורה כי שמירה על אמינות אספקה ושרידות מערכת החשמל היא ערך עליון שיש להביא בחשבון בהחלטה להטמנה. לאור החיוניות של אספקת החשמל אמינה ורציפה, תפיסה זו צריכה להיות משותפת לכלל בעלי העניין המשפיעים על תכנון ופיתוח רשת החשמל. לכן, במידה ויש קו שמנהל המערכת סבור שההטמנה תביא לפגיעה באמינות האספקה ושרידות המערכת הוא יעבור כקו עילי.



45

הטמנת קווי הולכה במתח עליון



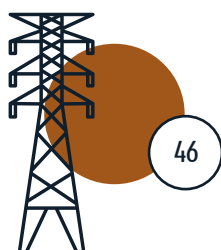
ב. ברצועת קו 161 ק"ו מעורב עם יותר מ-4 עמודי טרמינל, מומלץ לבחון את הצורך בהטמנה במקרה של מקטעים קצרים על מנת להימנע מריצ'-רץ' והקמה של עמודי טרמינל רבים כאשר יש מרחק הקטן מ-1 קילומטר מעמוד טרמינל אחד לשני. כיוון שכאשר מקטעי ההטמנה קצרים מאד, עלויות ההטמנה גבוהות וכרוכות במורכבות הנדסית רבה. לכן, במקרים בהם יימצא כי בשל מעבר ריצ'-רץ' קיימת כדאיות כלכלית או הצדקה הנדסית לדעת מנהל המערכת להטמנה של כל הרצועה, גם בשיעורים אחרים מאלו המצוינים לעיל, ניתן לבחון הכרה בעלות ההטמנה בכפוף לאישור מראש של רשות החשמל.

ג. קווי 161 ק"ו העוברים שדרוג או שחלוף יועברו באופן עילי גם אם הם עומדים בקריטריונים שצוינו לעיל. עם זאת, מקטעים ספציפיים יוכלו לקבל מענה במסגרת מכסת ה-20 ק"מ לפתרון נקודתי.

ד. קיימים שטחים פתוחים נוספים בעלי ערכיות מגוונת המוגדרים תחת שטחים מוגנים²⁴ או שטחים בעלי ערכיות סביבתית גבוהה לפי תמ"א 35 ובהם: מכלולי נוף, שטחים חקלאיים, יערות פארק, יערות טבעיים, יערות נטע אדם או שטחים רגישים מבחינת התנגשות בעלי כנף. חלק משטחים אלו האיכותיים והרגישים ביותר, חופפים עם השטחים המוגדרים שמורת טבע, גנים לאומיים או סביבה חופית, שם מתאפשרת הטמנה בהתאם לקריטריונים המוצעים. יחד עם זאת, לאור עלויות ההטמנה, השפעתה על שרידות המערכת, והיקפם הנרחב של שטחים שאינם נכללים בקריטריונים, קשה להמליץ על הטמנה באזורים אלו באופן גורף, וזאת בהתאם למדיניות שאינה נתמכת במרבית המדינות המפותחות. על כן, מוצע כי ככל ויש הצדקה מקומית יוצאת דופן להטמנה ביעודי קרקע אלו היא תיעשה במסגרת מכסת ה-20 ק"מ לפתרון נקודתי.

ה. על מנת לייצר וודאות וסופיות לדיון, קיצור וייעול הליכי התכנון ולבחינת החלופות במצב בו יוחלט לא להטמין בשימוש קרקע שעונה לקריטריונים, לא ניתן יהיה להעביר את "המכסה" למקום אחר - במקרה זה לא תוכר עלות ההטמנה במסגרת תכנית הפיתוח.

24 בהתאם לתמ"א 1, הדגשים העיקריים בשטחים המוגנים: שמירת המערכות האקולוגיות, ובכלל זה המגוון הביולוגי, בתי הגידול, הצומח והחי שבהן, לרבות הקישרויות ביניהן וכן הגנה על ערכי תרבות ומורשת.





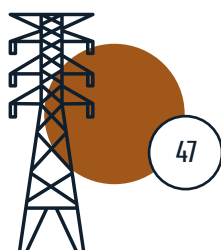
5.1 אומדן עלויות

התרחיש המוצג מבוסס על תוכנית הפיתוח לרשת ההולכה לשנים 2023-2030 אשר הוגשה להתייחסות הרשות. בשלב זה, טרם תוכננו הקווים על ידי מנהל המערכת וטרם הושלמו תכניות המתאר עבורם. ולכן רק בשלב סיום אישור תכניות המתאר תהיה ודאות לגבי תוואי הקווים ורק אז ניתן יהיה לבצע הערכה מדויקת יותר לאומדן העלויות. כפי שפורט בעבודה יתכן שגם במקרים בהם נקבעה מדיניות להטמנה בהתאם לקריטריונים, ייבחר להעביר את הקו באופן עילי לאור שיקולי שרידות מערכת ו/או שיקולי תכנוניים סביבתיים. לאור האמור, ובכדי לתת אינדיקציה לעלות האפשרית הנובעת מהגדלת המקרים בהם קווי מתח העליון יוטמנו, ביצענו תרחיש עלויות לפי ייעודי הקרקע שפורטו בעבודה בהתאם לשיעורם בתוכנית הפיתוח המאושרת לרשת ההולכה לשנים 2018-2022.

הנחות לסימולציה

- + הטמנת קו ארוכה בכ-35% יותר מקו עילי בהתאם לשחלוף במכתש רמון²⁵ וכיוון שעל פי רוב רצועת תת קרקעית ארוכה בכ-35% בשל התחשבות באילוצי שטח והנדסה.
- + העלות חושבה לפי התעריף הנורמטיבי שנקבע בבסיס הרשת לשנים 2018-2022.
- + התבססות על נתוני GIS של תוכנית הפיתוח המאושרת כאומדן לתוכנית החדשה.
- + 15 ק"מ הטמנה במקרים בעלי מורכבות הנדסית וחשמלית שאינה מאפשרת העברת קו עילי או בשל עומס בפרוזדור תשתיות אשר הטמנת קו מתח עליון תאפשר הקמה של קו מתח על-עליון.
- + 15 ק"מ הטמנה במקרים בהם הקו עובר ביעוד קרקע חופית ועבור פתרונות נקודתיים של צווארי בקבוק וחסמים שונים שאין להם הצדקה לקריטריון באופן גורף.

25 החלטה מס' 61307 בעניין הטמנת קו מצפה רמון



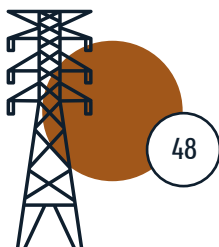
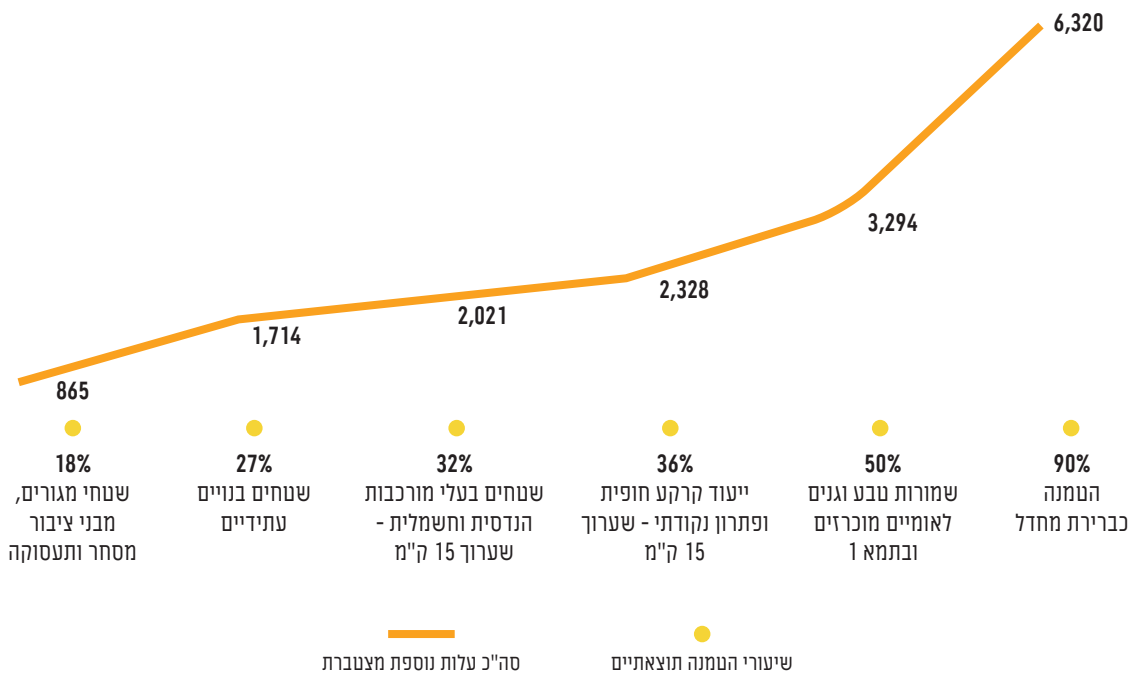


+ למרות קיום אחד הקריטריונים, בשל שיקולי שרידות מערכת ו/או שיקולי תכנוניים סביבתיים, ב-20% מהמקרים יבחרו להעביר את הקו באופן עילי.

בהתאם להנחות אלו, מוצגים להלן עלויות ואחוזי הטמנה תוצאתיים, בהתאם לקריטריונים המוצעים ובהשוואה לשתי החלופות הנוספות (המשך מדיניות קיימת / הטמנה כברירת מחדל):

תרשים 1 תרחשי עלויות לפי קריטריונים

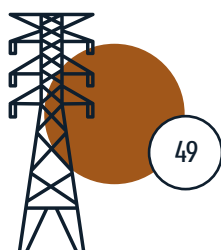
סימולציה לסה"כ עלות העודפת מהטמנה על צרכני החשמל (מצטבר, מליוני ש"ח)





הגרף מציג את העלות העודפת המצטברת לכל קריטריון שמתווסף, ואת שיעורי ההטמנה התוצאתיים כתלות בקריטריונים שיבחרו. נציין כי, סך עלות תוכנית הפיתוח לשנים 2018-2022 הסתכמה בכ-7.5 מיליארד ש"ח, ולכן עלויות תוספתיות אלו, על רכיב הטמנת הרשת בלבד, תהווה בטווח הארוך תוספת עלויות, באופן מדורג, של עד כ-4 אחוז ביחס לתעריף החשמל הנוכחי, וזאת כתלות בהיקף ההחלטה. נכון להיום העלות העודפת הצפויה כתוצאה מהטמנה בפרקטיקה הקיימת, נאמדת בכ-865 מיליון ש"ח. תוספת של קריטריונים להטמנה ישיתו את העלויות נוספות כמתואר לעיל. עלות זו חושבה בהתאם להנחות שפורטו בסימולציה, שקלול עקרונות אלו בתוכניות פיתוח עתידיות, פריסה למשך 45 שנה של העלות המוכרת לתעריף.

יובהר כי אין הכרח כלל הקריטריונים ייבחרו לפי סדר הצגתם - אלא ניתן להחליט לפי כל תמהיל של קריטריונים אלו ולחשב עבורם עלות תוספתית משוערת.





סיכום והמלצת הרשות

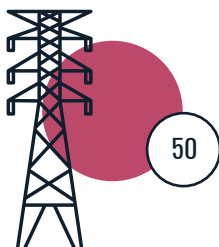
פיתוח רשת ההולכה הינה תנאי הכרחי למתן מענה לביקוש לחשמל עבור המשק הישראלי ולעמידה בתחזית הגידול בצריכת החשמל, למעבר לייצור משמעותי באנרגיות מתחדשות ובייצור מבוזר ולהגשמת מדיניות הממשלה בכל הנוגע לדיור, חשמול התחבורה ופיתוח תעשייה מתקדמת.

רשת החשמל הינה תשתית לאומית חיונית קריטית ראשונה במעלה. מטרתה המרכזית היא שמירה על אמינות אספקת החשמל ושרידות המערכת. מדיניות הממשלה לחשמול סקטורים שונים כמו תחבורה ותעשייה מביאה להגברת החשיבות של אספקת חשמל אמינה ורציפה ומגדילה את העלות הכלכלית של אי אספקת החשמל בכלל, ובשל בעיות ברשת ההולכה בפרט.

אחד הגורמים הפוגעים ביכולת הרשת לתמוך במטרות אלו הוא משכי הזמן הארוכים הנדרשים היום לתכנון ופיתוח הרשת מסיבות תכנוניות וסביבתיות כפי שפורט בהרחבה. זמנים אלו לא מאפשרים להדביק את הקצב הנדרש לפיתוח הרשת ביחס לצרכי משק הישראלי.

למערכת החשמל בכללותה מופע חזותי נרחב החל ממתקני הייצור דרך קווי המתח, תחנות ההשנאה והחיבורים לבתים. היקף תכנון ופיתוח הרשת מושפע באופן ישיר מהמרחק בין מוקדי הייצור למוקדי הצריכה במרכז הארץ ואופן פריסתם הגיאוגרפי. ככל שאלו סמוכים זה לזה, כך יידרש לפתח את הרשת בהיקף מצומצם ובכך להפחית את ההשפעות התכנוניות, הנופיות והסביבתיות של פיתוח הרשת. מופע זה בולט מאד במרקמים עירוניים בנויים בשל היקף האוכלוסייה הנחשפת לקווים לפרקי זמן ממושכים ובשטחים פתוחים ובפרט שטחי שמורות טבע וגנים לאומיים. על כן, למשק החשמל ולמשק הישראלי יש תועלת רבה במיקום מוקדי ייצור החשמל סמוך ככל הניתן למוקדי הביקוש במרכז.

כפי שצוין, אחד מהכלים שיכול להוות פתרון לצמצום חסמים אלו הוא העברת קווי החשמל באופן תת קרקעי ולא עילי כפי שמקובל. להטמנה תועלת אפשרית בצמצום השדות המגנטיים ורוחב הרצועה הנדרש, צמצום המופע החזותי, הפגיעה הנופית והסביבתית. לצד זה להטמנה חסרונות בולטים בשל עלות גבוהה





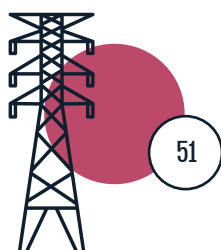
משמעותית ביחס לרשת עילית, צורך בתכנון והקמה של רכיבי מערכת רבים וארוכים הרבה יותר, זמני הקמה ארוכים יותר ומורכבות באתר ותיקון תקלות, השפעות על יציבות הרשת עד כדי סיכון לאמינות אספקת החשמל ופגיעה אפשרית בשרידות מערכת.

על מנת לאפשר לקצר את לוחות הזמנים לתכנון והקמה של מערכת ההולכה, על ידי צמצום חסמים בתכנון ופיתוח הרשת ועל מנת לצמצם את ההשפעה החיצונית של מעבר בשטחים רגישים, הרשות סבורה כי יש לעדכן את המדיניות הקיימת ולהרחיב את שימושי הקרקע בהם תתאפשר הטמנה. עם זאת, הרחבת השימוש בהטמנה צריכה להיעשות בזהירות ומתוך מערכת שיקולים רחבה ובראשן שמירה על שרידות מערכת החשמל ואמינות האספקה, ואופן ההשפעה על תעריף החשמל ושמירה על חשמל בר השגה לכלל שכבות האוכלוסייה והפנמת ההשפעות החיצוניות של פיתוח רשת החשמל בשטחים רגישים מבחינה תכנונית וסביבתית. על מנת לייצר וודאות בהליכי התכנון וההקמה של הרשת, הרשות סבורה כי נדרש לקבוע קריטריונים ברורים, מוסכמים ושקופים.

בראיית כלל שיקולים אלו, המלצת הרשות היא כי ברירת המחדל היא שקווי 161 ק"ו חדשים יועברו באופן עילי.

לאור העלויות והתועלות, היתרונות והחסרונות של הטמנת קווי מתח עליון, אנו סבורים כי חלופה מס' 2 כפי שהוצגה לעיל, קביעת קריטריונים להטמנה, הינה המאוזנת ביותר מבין החלופות. מחד, היא תסייע במתן פתרונות לצמצום חסמים וצווארי בקבוק בתכנון פיתוח המערכת, לצד שמירה על שרידות מערכת החשמל ואמינות האספקה. מאידך, היא מפנימה את ההשפעה של מעבר קווי החשמל באזורים רגישים ותשקף את העלויות בתעריף באופן מתון יחסית.

הקריטריונים המוצעים מבוססים על ניסיון מנהל המערכת, חברת החשמל ורשות החשמל מחסמים המאתגרים את תכנון ופיתוח הרשת. כחלק מהקריטריונים לבחינה להטמנה, הוצגו בעבודה זו המשמעויות הכלכלית של הטמנת קווים באזורי פיתוח ואזורים המיועדים לפיתוח; באזורים עם אילוצים ומגבלות הנדסיות ובצווארי בקבוק; בשטחים פתוחים באזורים רגישים כמו שמורות טבע, גנים לאומיים וסביבה חופית. כמו כן, כשם שיש קושי לקבוע מראש את



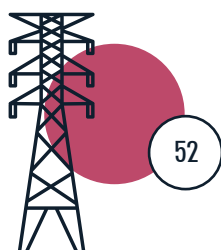


כל הקריטריונים ועל מנת לגדר את היקף התקציב וההשפעה התעריפית, מוצעת אפשרות לאשר למנהל המערכת שיקול דעת נוסף של 20 ק"מ עבור מקרים בהם יש הצדקה להטמנה והם לא חוסים תחת הקריטריונים שהוצעו.

החלופה המוצעת, בכל תמהיל קריטריונים שייבחר, תגדיל את שיעורי ההטמנה, גם ביחס למקובל במרבית המדינות המפותחות בעולם, כפי שהוצג בגרף התרחישים, ובהתאם לכך את היקף ההשקעה הנדרש בפיתוח קווי המתח העליון. הכללת קריטריונים נוספים מעבר למה שמוצע, עשויה להיות בעלת עלויות משמעותיות לצרכני משק החשמל, יכולה לפגוע ביכולת הפיתוח של הרשת, ולדעתנו בעלת תרומה פחותה מבחינה תכנונית-סביבתית, לאורך דרכים, בתוך רצועות חשמל קיימות, בסמוך למסדרונות תשתית קיימים או מעבר בשטחים חקלאיים ובשולי אזורים רגישים סביבתית.

מוצע כי לקראת סוף העשור ולקראת גיבוש תכנית פיתוח למקטע המסירה עתידית, מדיניות זו תעודכן, לרבות סקירה של פיתוחים טכנולוגיים בתחום. וכן לבחון את הצורך בעדכון הקריטריונים המוצעים ביחס לעלות-תועלת ולהפקת הלקחים מתכנית הפיתוח הצפויה לשנים 2023-2030.

נדגיש כי, בכדי לתמוך בתכנית הפיתוח ולעמוד ביעדי הממשלה ודרישות המשק קיים צורך שכלל הגורמים הרלוונטיים ובראשם מוסדות התכנון יתמכו בקידום העקרונות המוצעים לטובת מדיניות ברורה ויצירת וודאות לתכנון ופיתוח הרשת ולקיצור לוחות הזמנים הקיימים לצד צמצום הקונפליקטים התכנוניים והסביבתיים המתאפשרים הודות להטמנה. נדבך זה בעל חשיבות רבה על מנת להבטיח תכנון ופיתוח של רשת החשמל באופן שיוכל לתמוך בפיתוח המשק הישראלי.





נספחים

נספח א': פניית שרת האנרגיה לרשות החשמל



שרת האנרגיה

כ"ו בניסן התשפ"ב
28 באפריל 2022

לש_100_2022

לכבוד

מר יואב קצבוי
יו"ר רשות החשמל (בפועל)**הנדון: בקשה לקיום התייעצות בגיבוש עקרונות מדיניות בנושא - הטמנת קווי מתח עליון**

- בהתאם לסעיפים 21א. ו- 57א. לחוק משק החשמל, התשנ"ו-1966, ובמסגרת קיום חובת התייעצות לקראת גיבוש עקרונות מדיניות, ולקראת אישור של תכנית פיתוח למערכת המסירה לשנים 2023-2030 (להלן, תכנית הפיתוח), אבקש את עמדת רשות החשמל בעניין קביעת עקרונות מדיניות להטמנת קווי מתח עליון ליישום במסגרת תכנית הפיתוח.
- אבקש כי הרשות תתייחס בעמדתה, בין היתר, להיבטים הבאים:
 - חלופות שונות לקביעת קריטריונים להטמנה כאמור והיקף ההטמנה הצפוי בכל חלופה;
 - העלויות הנובעות מיישום עקרונות המדיניות ביחס לחלופות השונות;
 - השלכות על יציבות הרשת ואמינות אספקת החשמל;
 - התועלות הנובעות מיישום עקרונות מדיניות, ובתוך כך התייחסות לעמדת גורמי התכנון להשפעה שעשויה להיות לעקרונות על משך הליכי התכנון ועל האצת קידום תכנית לפיתוח רשת ההולכה;
- אודה בעד קבלת עמדת רשות החשמל בעניין עקרונות מדיניות כאמור, עד ליום 30.6.2022.

בברכה

~~קאדין אלחבר~~
שרת האנרגיה





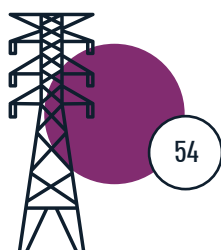
נספח ב': סקירה בינלאומית

מסקירה בינלאומית, ובהתאם לסקירה של מנהל המערכת, עולה שאין הנחיות מדיניות אחדות בנושא הטמנת קווים ברשת ההולכה. ניכר כי לכל מדינה קיימת מדיניות שונה וזאת בהתאם לשונות במספר מאפיינים ושיקולים מקומיים ייחודיים. מאפיינים אלו מקשים על השוואה של ישראל למספר רב של מדינות, ולכן התמקדנו בתוכנית פיתוח רשת ההולכה של אירלנד אשר בעלות מאפיינים דומים יחסית, תחזית לגידול משמעותי בצריכת החשמל, עיקר הייצור הקונבנציונאלי מבוסס על גז טבעי, הרשת מנותקת ברובה ממדינות שכנות, קיימת מדיניות להגדלת שיעור האנרגיות המתחדשות והמבנה הארגוני במשק החשמל דומה. כמו כן קיימת תוכנית פיתוח מפורטת לשדרוג רשת ההולכה בשנים הקרובות. התוכנית סוקרת ברמה בינלאומית את שיקולי הטמנה במדינות השונות כאשר המסקנה הינה כי שיעור ההטמנה בקווי מתח גבוה, מעל 110 ק"ו, נמוך מאוד בעולם, בראש ובראשונה בגלל עלויות גבוהות באופן משמעותי מקו עילי. שנית יעילות הספקת החשמל פחותה ביחס לקו עילי ומגמה זו מתחזקת ככול שרמת המתחים עולה. מניתוח שבוצע ב-23 מדינות באיחוד האירופי כ-1.7% מרשת ההולכה בטכנולוגיה של זרם חליפי הינם תת קרקעיים.

רקע

ישנם מספר הבדלים בין רשתות החשמל בין המדינות השונות ואף בין אזורים בטוח אותה המדינה, אשר נדרש להתייחס אליהם בבואנו לבחון משמעויות למשק בישראל. התייחסות למאפיינים אלו מחייבת לבצע התאמה הן בהשוואה למדינה ספציפית הן ביחס למדיניות ההטמנה והן ביחס לשיעור ההטמנה הממוצע. נסקור את המאפיינים העיקריים:

+ רמות המתח בהם עושים שימוש ברשת ההולכה אשר נעות בין 110 ק"ו ל-220 ק"ו במתח עליון ומ-220 ק"ו ומעלה למתח על-עליון. ככול שרמת המתח עולה המורכבות ההנדסית, יעילות העברת החשמל, עלויות ההקמה והיכולת לזהות ולטפל בתקלות עולה משמעותית בקו מוטמן ביחס לקו עילי. הסבר הנדסי מפורט נמצא בפרק על הסקירה הטכנולוגית.



הטמנת קווי הולכה במתח עליון

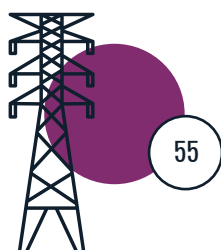


+ מיקום תחנות וגורמי הייצור ומרחקם מאזורי הביקוש. כאשר ישנו שימוש באנרגיות מתחדשות אשר מוגבלות למיקום מסוים - בעיקר הידרואלקטרי וטורבינות רוח אשר לרוב לא נמצאות ליד אזורי הביקוש מצריכות הקמת רשת הולכה למרחקים ארוכים יותר ושימוש בטכנולוגיית DC אשר האפקטיביות שלה בכבלים תת קרקעיים גבוהה יותר. כאשר נעשה שימוש בתחנות קונבנציונאליות אשר ניתן להקים בסמוך יחסית לאזורי הביקוש ובאופן מבוזר יותר מקטינות את הצורך בהקמת רשת הולכה למרחקים ארוכים.

+ מבנה טופוגרפי של המדינה - הרים, נהרות, עמקים, סוג הקרקע אשר משפיעים באופן ישיר על אפשרויות ההטמנה. הטמנת קווים אינה בהכרח מפחיתה את הפגיעה הסביבתית, לדוגמה כאשר נדרש לחצות נהר צר ועמוק הטמנת קו תצריך חפירת קרקע בשטח רחב וארוך בעשרות מונים ביחס לקו מתח עליו ולהיפך כאשר נדרש לחצות מקור מים רחב ועמוק והקמת קו עליו אינה סבירה. הבדלים אלו משפיעים באופן ישיר על שיעור הטמנת הקווים בין מדינות.

+ צפיפות אוכלוסין - כאשר קיימת צפיפות רבה של אוכלוסין והשטח העילי הינו במשאב במחסור שיעורי ההטמנה עולים ויעילים יותר לאור הקטנת מרחקי הבטיחות הנדרשים מהקו.

כפי שציינו התייחסות להשוואות הבינלאומיות דורשות התאמות לישראל. למרות האמור נציין מספר נקודות שניתן ללמוד מהם על שיקולי ההטמנה ומגמות לתכנון ארוך טווח. בתוכנית הפיתוח לעשור הקרוב (TNYPD) ליצירת קישורים בין רשתות ההולכה של כ-35 מדינות באירופה (ENTSO), מתוכננים כ-172 פרויקטים עיליים וכ-10 פרויקטים תת קרקעיים בטכנולוגיית AC. בטכנולוגיית DC המצב הפוך כאשר רק פרויקט אחד מתוכנן להיות עליו ו-16 פרויקטים תת קרקעיים. ניתן לראות באופן מבוהק שככול שנעשה שימוש בשיטת AC קיימת עדיפות להקמת רשת עילית. מבחינת מערכת החשמל לרשת עילית יתרונות ברורים על פני רשת מוטמנת, ככול שניתן להעביר את הקו בצורה זו מבחינה הנדסית, כאשר מבצעים הערכה לעלות החיצונית יש לקחת בחשבון את מרחב ההשפעות והשלכותיהן מבחינה משקית.





כידוע כאשר קיים צורך להקמת תשתית לאומית בעלת השפעות חיצוניות תופעת ה-NIMBY (Not In My Back Yard) מתחילה לפעול. התופעה מתחזקת ככול שהעלות הנובעת משינוי התוכנית, לעניינו הטמנת הקו, אינה חלה באופן ישיר על בעלי האינטרס המקומיים. במחקרים בינלאומיים נמצא כי ככול שקיימת דרישה לשאת בעלות חלקית שיעור התמיכה בדרישת ההטמנה פוחת באופן משמעותי ושהגברת הידע להשפעות הבריאותיות והסביבתיות מפחיתה את העדפת הציבור להטמנת קווים.

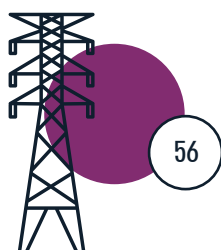
מקרה בוחן: משק החשמל של אירלנד ותכנית הפיתוח EirGrid25²⁶

רקע

אירלנד נחשבת מדינה מפותחת החברה באיחוד האירופי וב-OECD, כאשר שיעור התמ"ג לנפש הינו מהגבוהים בעולם. ישנם כ-5 מיליון תושבים והגידול השנתי הינו כ-1.5%. אירלנד חולקת את האי האירי יחד עם מדינת צפון אירלנד כאשר שטח מדינת אירלנד משתרע על פני כ-83% מהאי שהם כ-70 אלף קמ"ר. בהתאם צפיפות האוכלוסייה נמוכה מאוד ומתרכזת במזרח ובדרום המדינה. במחוז העיר דבלין נמצאים כ-25% מהתושבים על שטח 920 קמ"ר, לשם השוואה במחוז תל אביב ישנם כמיליון וחצי תושבים על שטח של 176 קמ"ר. האקלים במדינה מאופיין בהרבה ימי גשם ורוחות חזקות, כאשר שלג אינו מקרה נדיר. שטח האי מישורי ברובו ובעל מספר רב של אגמים.

רשת החשמל של אירלנד

חברת EirGrid הינה חברה ממשלתית האחראית לתכנון וניהול רשת ההולכה כאשר חברת ESB אחראית להקמה לתחזוקה ולאחזקה של הרשת וכן למקטע החלוקה. רשת ההולכה בנויה מקווים בעלי מתח 400 ק"ו, 220 ק"ו ו-110 ק"ו, כאשר השדרה המרכזית מורכבת מקווי מתח 220 ק"ו. החלק העיקרי של הרשת נבנה עד אמצע שנות ה-80 ומאז לא שודרגה באופן משמעותי.





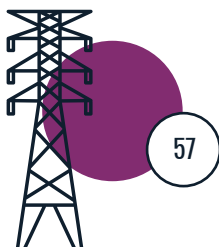
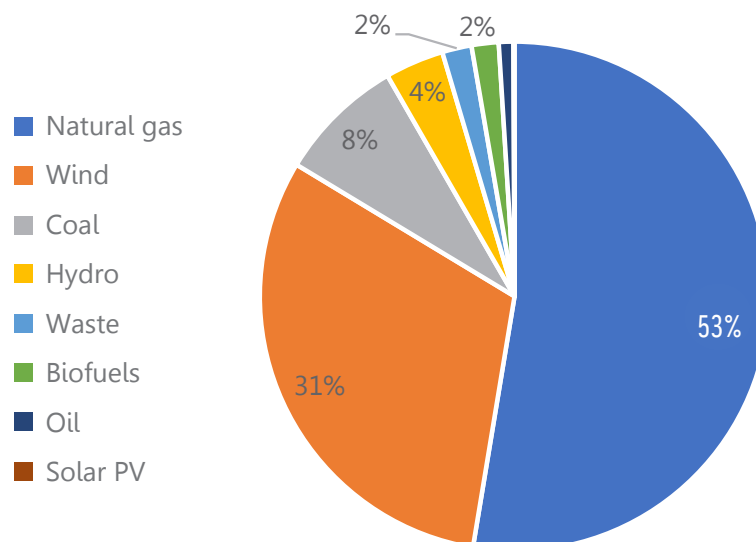
קיימים שני קווי מתח תת ימיים המחברים את רשת החשמל באי לאנגליה ולסקוטלנד בטכנולוגיית DC. כחלק מתוכנית הפיתוח של מדינות אירופה מתוכנן להקים קו נוסף לצרפת.

בשנת 2019 סך הייצור השנתי הסתכם בכ-30 TWh, כ-53% משימוש גז טבעי וכ-31% מטורבינות רוח ביבשה. בדומה לישראל עיקר הייצור הקונבנציונאלי הינו באמצעות גז טבעי, כאשר ההבדל המשמעותי הוא בסוג האנרגיה המתחדשת. אירלנד מנצלת את הרוחות החזקות בתחומה ומייצרת את רוב החשמל מטורבינות רוח ביבשה, לאור הפיתוחים הטכנולוגיים מתוכננות לקום בשנים הקרובות מספר רב של טורבינות רוח בים. לפי מפת הדרכים לייצור חשמל מאנרגיות מתחדשות של ארגון ה-SEAI קיים פוטנציאל של כ-30 GW מטורבינות רוח בים, באופן שיתמוך ביעד של כ-70% יצור חשמל מאנרגיות מתחדשות בשנת 2030.

יצור חשמל לפי מקור בשנת 2019

Electricity generation by source, Ireland 2019

source: IEA



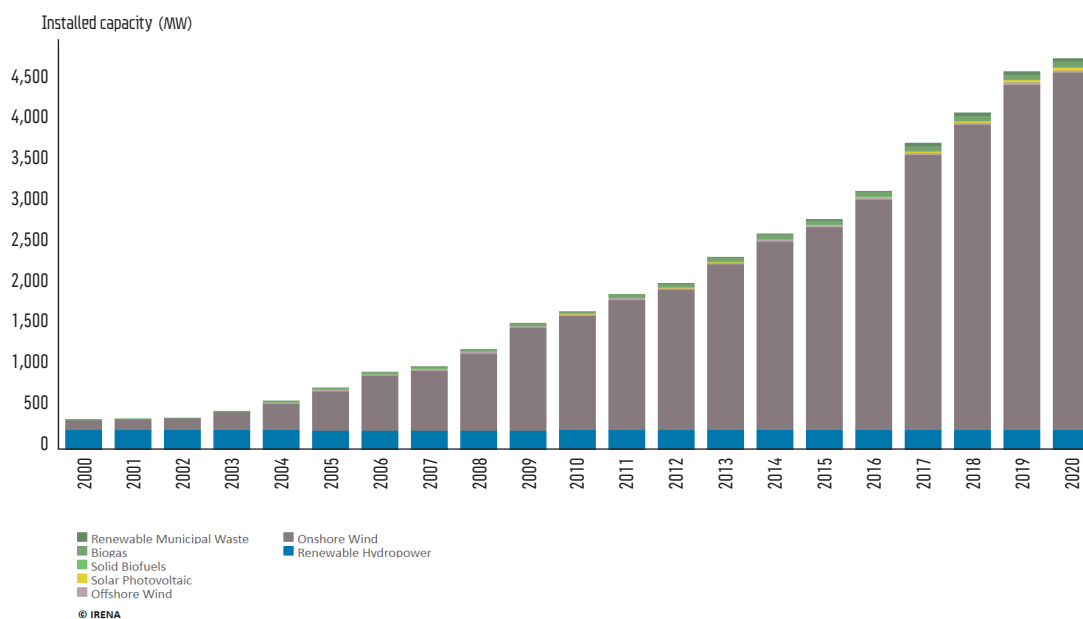
הטמנת קווי הולכה במתח עליון



התפתחות ייצור מאנרגיות מתחדשות 2002-2020

Trends in Renewable energy

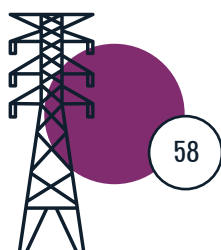
Click on the chart to explore trends in renewable energy



תוכנית הפיתוח EirGrid25

תוכנית הפיתוח לשנת 2025 שנקראת EirGrid25 פורסמה בשנת 2019, ונועדה לעמוד בארבעה יעדים מרכזיים:

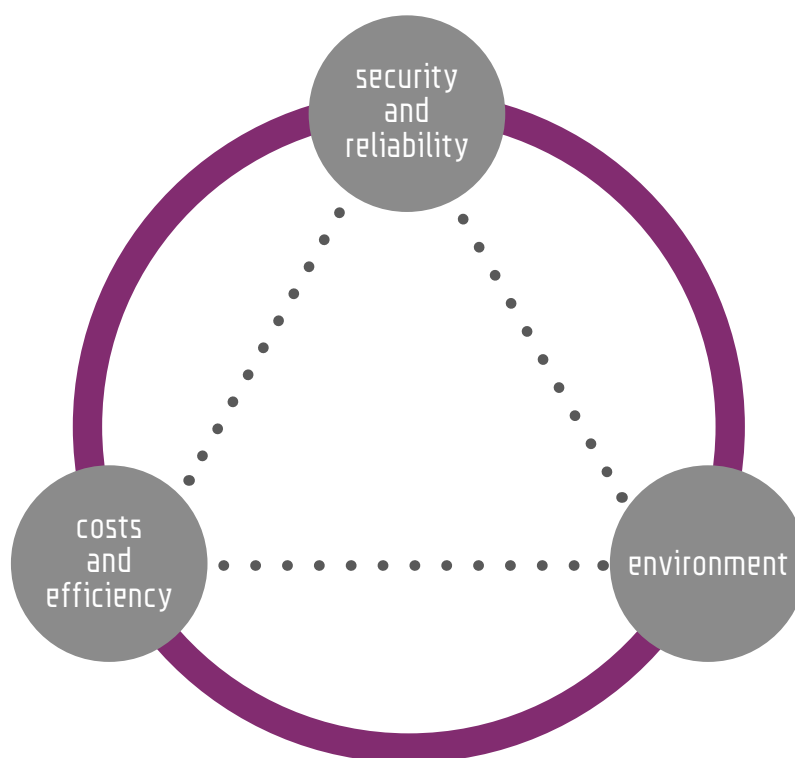
1. התאמת הרשת לעמידה בגידול של כ-60% בצריכת החשמל.
2. התאמת הרשת לגידול משמעותי בהיקף האנרגיות המתחדשות.
3. חיבור מתקני ייצור קונבנציונליים נוספים.
4. הכנת הרשת ושדרוגה לחיבורים בינלאומיים נוספים.



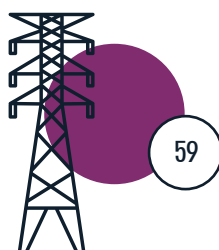


בכדי לעמוד ביעדים אלו, תוכנית הפיתוח צפויה להקים כ-1,250 ק"מ קווים חדשים אשר מהווים גידול של כ-20% באורך הקווים הכולל. כ-800 ק"מ מתוכם במתח העולה על 220 ק"ו וכ-350 ק"מ במתח 110 ק"ו. כ-2,300 ק"מ צפויים לעבור שדרוג בכדי להגדיל את יכולת ההשנאה, מתוכם כ-1,100 ק"מ של קווי מתח 220 ק"ו, שהם כ-70% מסך הקווים הקיימים במתח זה ברשת. השדרוג צפוי להתבצע באופן מדורג בהתאם ליכולת הרשת לעמוד בהפסקת השירות של קו מסוים לצורך תחזוקה. התוכנית מדגישה, שלאור יכולת ההשנאה המוגברת והפגיעה הסביבתית הפחותה, קיים תעדוף להקים קווי 400 ק"ו במקום מספר קווי 220 ק"ו, במבט ארוך טווח יתכן וידרש להחליף את כלל קווי ה-220 ק"ו ל-400 ק"ו.

+ מערך השיקולים של התוכנית מבוסס על איזון בין שלושה גורמים:



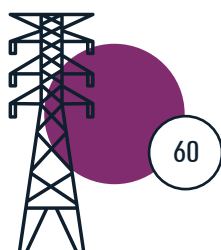
for a sustainable and competitive future





+ לאור שיקולים אלו נקבעו הנחיות כלליות לתוכנית הפיתוח:

1. צמצום ככול הניתן של הקמת קווים חדשים באופן כללי, העדפת שדרוג קווים קיימים, הרחבה מחד מעגלי לדו מעגלי, הגדלת מתח, שדרוג תיילים, הרחבת יכולות השנאה, גם כאשר העלות גבוהה יותר מהקמת קווים חדשים וזאת בכדי להפחית את הפגיעה בסביבה.
2. שימוש בטכנולוגיות מתקדמות בעת שדרוג הקווים בכדי להביא למינימום את הפגיעה באמינות האספקה וברמת הביטחון האנרגטית של המערכת.
3. במקרים ספציפיים קווי מתח 110 ק"ו יוטמנו וזאת בכדי להפחית את הפגיעה בסביבה. מקרים אלו כוללים שטחים אורבניים צפופים, ריכוז של תשתיות שלא מאפשר הקמה של קווים עיליים נוספים, מקורות מים רחבים שאינם מאפשרים הקמה עילית ובאזורים בעלי ערכי טבע יחודיים. בכל מקרה לא יונחו קווים באזורים בהם הקרקע אינה יציבה.
4. לצורך הפחתת הפגיעה בנראות הסביבתית יבחנו עיצובי עמודים שונים ואמצעים נוספים אשר יפחיתו את השפעתם האסתטית.



הטמנת קווי הולכה במתח עליון

60



רשות החשמל

מדריכים נוספים וחומרים אחרים ניתן למצוא באתר רשות החשמל

