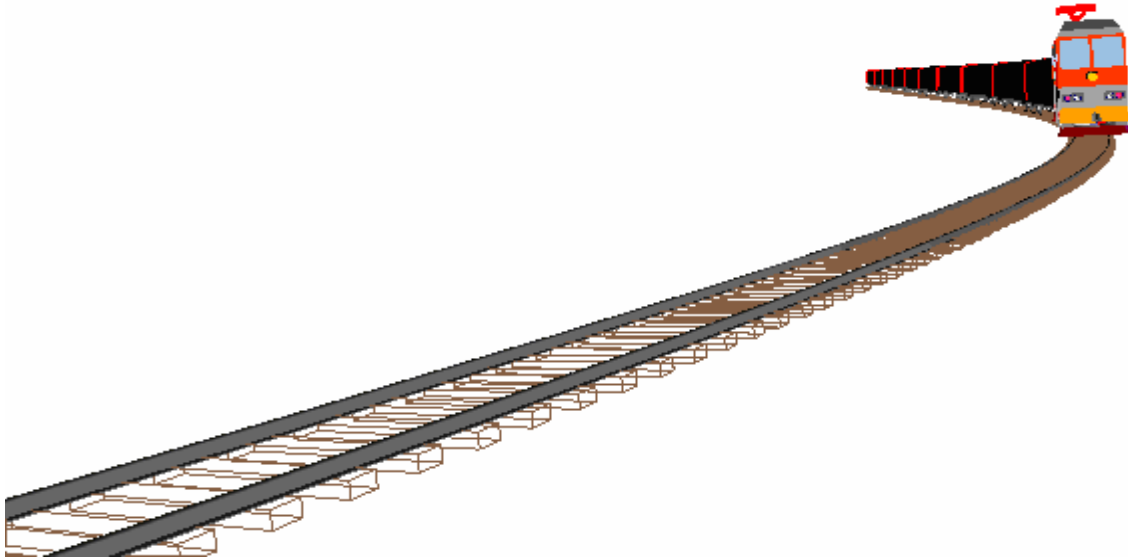


פרויקט חשמול רכבת ישראל השפעות החשמול



השפעות חשמול

- מתח מושרה
- קרינה אל"מ
- השפעות על ציוד אלקטרוני
- בטיחות חשמל



נושאים לדיון

- תיאור כללי של המערכת
- אופן פעולת המערכת
- מתח מושרה
- קרינה אל"מ
- תאימות ציוד אלקטרוני

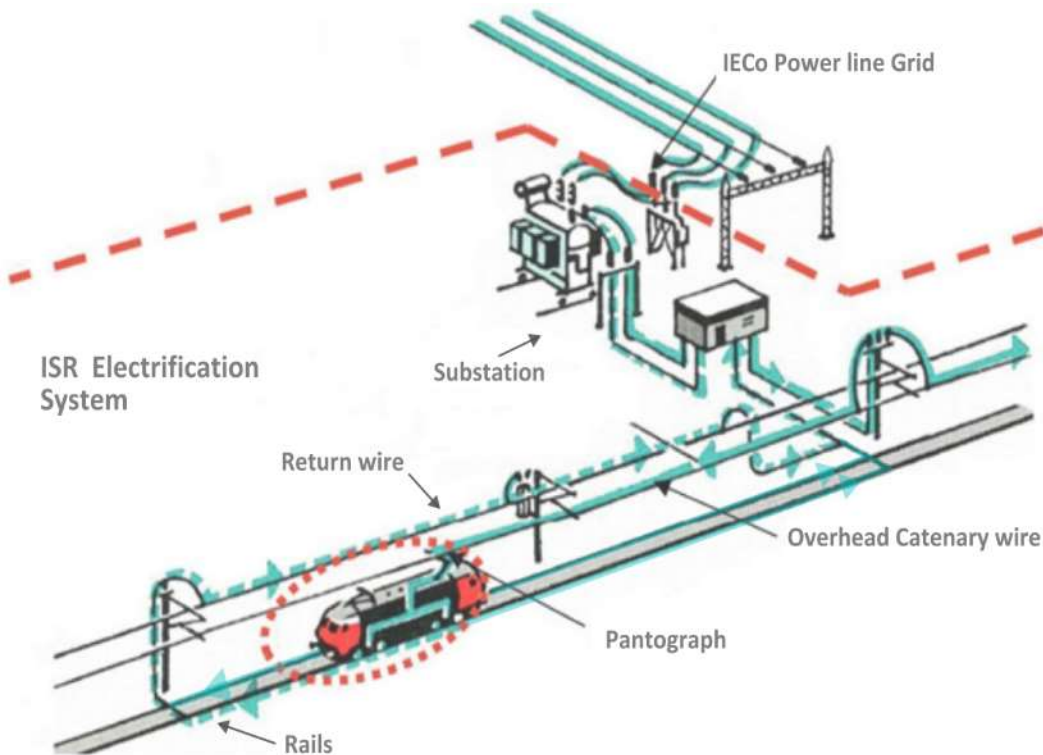


תיאור כללי של המערכת

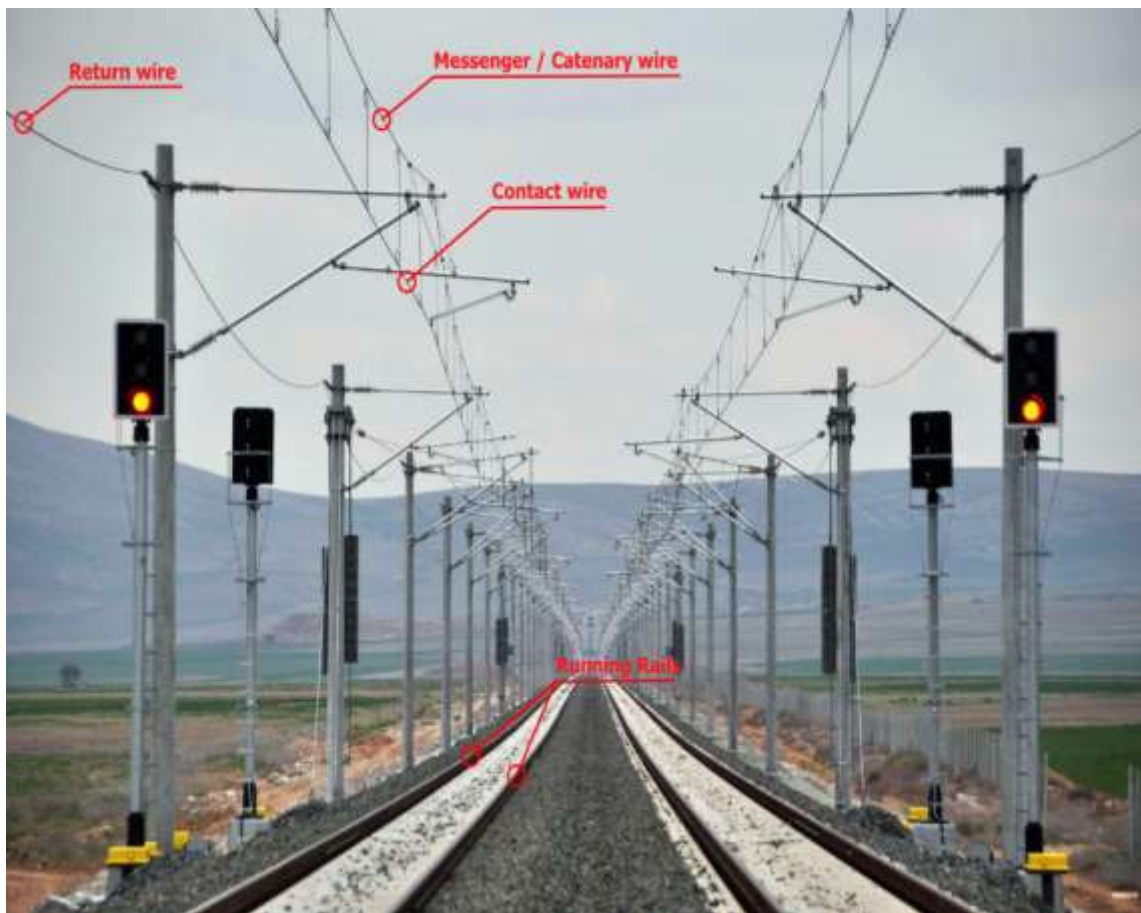
רשת החשמול הינה רשת קווי מ"ג עיליים 25 ק"ו הפרוסים לאורך תוואי המסילות.

חלקיה העיקריים של המערכת הם :

- עמודי פלדה או בטון הפרוסים במרחקים של 40-60 מ' בין אחד לשני.
- קווי מתח גבוה הנתמכים ע"י עמודים אלו ועל מערכת נוספת של עמודי מתיחה משקולות וכיו' לאורך תוואי המסילות.
- 14 תה"רים (תחנות השנאה רכבתיות) הפרוסים לאורך תוואי המסילות המחושמלות ומזינים את קווי המ"ג העיליים .
- מערכת תקשורת ובקרה SCADA שנועדה לאסוף נתונים ולשלוט על המנתקים הממוקמים על עמודי החשמול לצורך חיבור או ניתוק של קטעים שונים של התוואי המחושמל.
- 16 קטעים שונים של תוואי המסילות המחושמלות, כאשר כל קטע מוזן משני תהרי"ם שונים לצורכי יתירות.



תיאור כללי של המערכת - המשך...



מוליך נושא Messenger|Catenary Wire

- עזרה למוליך המגע ל"סחוב" חלק מהזרם.

- שמירה על מוליך המגע ישר באמצעות דרופרים.

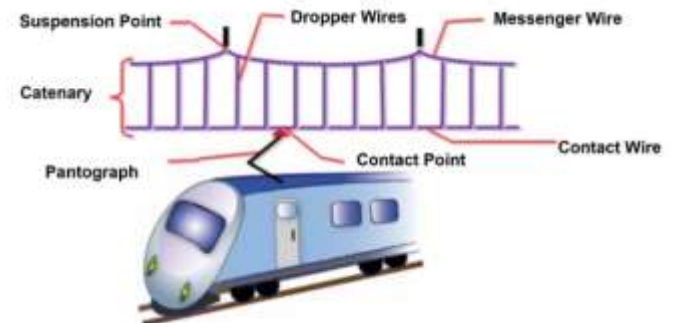
מוליך מגע Contact Wire

הזנת הרכבת ע"י אלמנט הפנטוגרף שממוקם עליה.

מוליך זרם חוזר Return Wire
החזרת הזרם לתה"רים.

פנתוגרף

אלמנט מפחם הממוקם על חלקו העליון של הקטר ועליו יושב קו המגע העילי המזין את הרכבת.



אופן הפעולה של מערכת החשמו



אופן פעולה

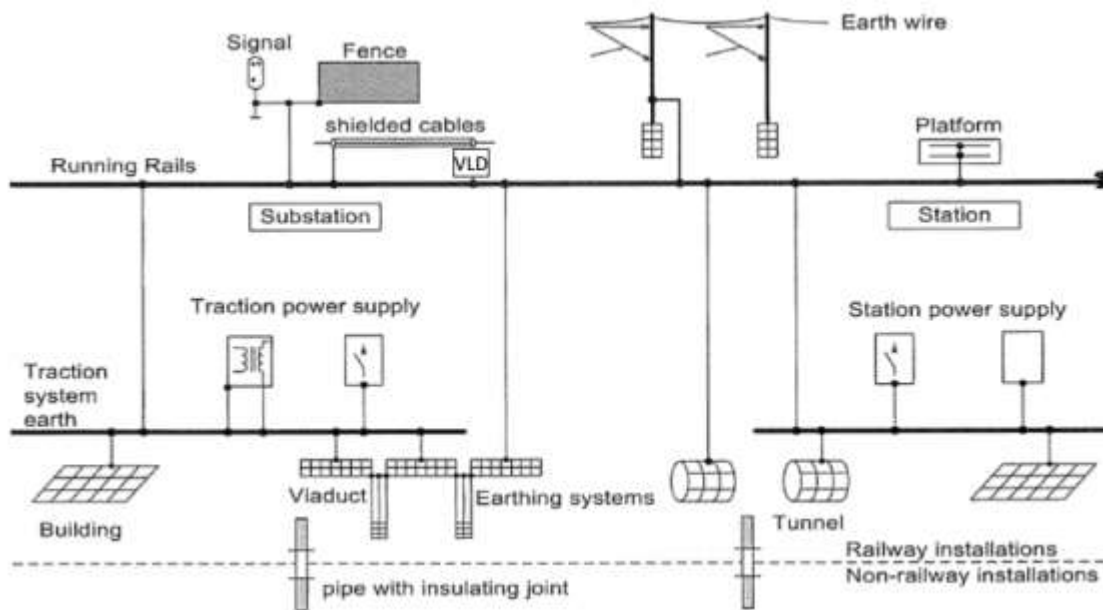
- מתחנת ההשנאה הרכבתית (תה"ר) עובר המתח דרך "פידרים" לקווי המתח גבוה עיליים.
- מקווי מ"ג העיליים הפרוסים במקביל למסילות המתח מגיע לאלמנט ה"פנתוגרף" הממוקם בחלקו העליון של הקטר.
- מגלגלי הקטר הזרם עובר למסילות ומתחלק לשלושה מסלולים החזרה עיקריים:
 - חלקו ממשיך לזרם דרך המסילה חזרה לתה"ר.
 - חלקו זורם דרך יסודות עמודי מערכת החשמול לאדמה ומשם לתה"ר.
 - חלקו זורם דרך מוליך הזרם הייעודי המותקן על העמודים ודרכו חוזר לתה"ר.
 - במסלולים ארוכים (מעל 10 ק"מ) כשליש מזרמי המסילה יזרמו דרך האדמה.



אופן הפעולה (המשך)

- בנוסף לחיבור המסילה לעמודי החשמול, המסילה מחוברת בנוסף למבני רכבת הסמוכים עד 10 מ' מציר מסילה ומעמודי חשמול – כלומר זרם המסילה החוזר יזרום גם דרך יסודות מבנים אלו לאדמה ומשם לתחנת ההשנאה הרכבתית (תה"ר).

- לאור הנ"ל ניתן להבין את השוני שבמערכת זו משאר המערכות החשמליות המוכרות לנו, בכך שזרמי עבודה של עשרות ומאות אמפרים יזרמו דרך האדמה חזרה לתה"ר לעומת מערכות חשמליות אחרות שדבר זה מתרחש בהם רק בזמן תקלה.



מתח מושרה

- מתחי מגע וצעד
- קורוזיית AC



תקן EN 50122-1

תקן ישראלי IEC 62128-1

תקן אירופאי העוסק בהארקות ובבטיחות של רכבות מחושמלות.
בשנת 2005 אומצה גרסת ה-IEC של התקן ע"י מת"י ועתה הוא תקן ישראלי SI 62128.
התקן מגדיר מרווחי בטיחות ואמצעים שיש לנקוט בהם ע"מ למנוע הופעת מתח מגע וצעד מסוכנים בסביבת מערכת החשמול וכמו-כן למנוע מגע מקרי של אדם עם חלק חי של מערכת החשמול.
על אף שכותרת התקן הינה "יישומים לרכבות קלות" התקן חל על כל סוגי הנעה חשמלית של רכבות במ"נ או במ"ג וכיו'.
התקן הישראלי הנ"ל לא התעדכן מאז למרות שתקני ה-EN וה-IEC המקבילים התעדכנו מספר פעמים לאורך התקופה, לכן מומלץ להיצמד לתקן ה-EN אשר תמיד מתעדכן ראשון.

מתחי מגע וצעד



מתחי גוף ומתחי מגע אפקטיביים

- מתחי הגוף ומתחי מגע אסור שיעלו על הערכים המותרים כפי שכתובים בתקן EN 50122-1 טבלאות 3 ו-4 וטבלה D.3 כפי שמופיע בנספח D בתקן.
- ערכים אלו מתבססים על תקנים IEC 60479-1: 2005 ו-HD 637 S1
- על-מנת לוודא שהמערכת שלנו בטוחה נבדוק את ערכי המגע בכל אחד ממצבי הקיצון לאורך כל התוואי המסילתי המחושמל ונוודא שמתקבלים ערכים תקינים.
- ערכי הקיצון מתחלקים למצב קצר ולמצב תפעולי בו גם זורמים זרמים דרך המסילה, המוליך החוזר והאדמה.



**Table 4 — Maximum permissible effective touch voltages $U_{te, max}$
in a.c. traction systems as a function of time duration**

t s	$U_{te, max}$ long-term V	$U_{te, max}$ short-term V
> 300	60	-
300	65	-
1	75	-
0,9	80	-
0,8	85	-
0,7	90	-
< 0,7	-	155
0,6	-	180
0,5	-	220
0,4	-	295
0,3	-	480
0,2	-	645
0,1	-	785
0,05	-	835
0,02	-	865
Key t time duration $U_{te, max}$ permissible effective touch voltage		

רמות סף

Condition	Israeli electricity law	IEEE 80-2000	EN 50122-1 (IEC 62128-1)	EN 50443	NACE SP0177
Steady state / 24 h average	50 V	no limit mentioned	60 V	60 V	15 V
Long term / 300 s maximum	50 V	no limit mentioned	60 V	60 V	15 V
Long term / 1 s maximum	no limit mentioned	116 V	75 V	430 V	refers to IEEE 80-2000
Short term / short circuit (time <0.1 s) *	no limit mentioned	367 V	785 V	2000 V	refers to IEEE 80-2000

טווח המרחק ממסילת AC לקווי צנרת שיש לבדוק לפי תקן EN 50443

Table 1 — Interference distances

Type of a.c. power systems	Areas	ρ $\Omega \text{ m}$	Interference distance ^a m	
			Normal operation	Fault condition
overhead	Rural	$> 3\,000$ $\leq 3\,000$	$\rho/3$ 1 000	ρ 3 000
overhead	Urban	$> 3\,000$ $\leq 3\,000$	≥ 300	$\rho/10$ ≥ 300
underground	all	all	50	50
^a National rules, recommendations and guidelines determining other interference distances may be applied.				

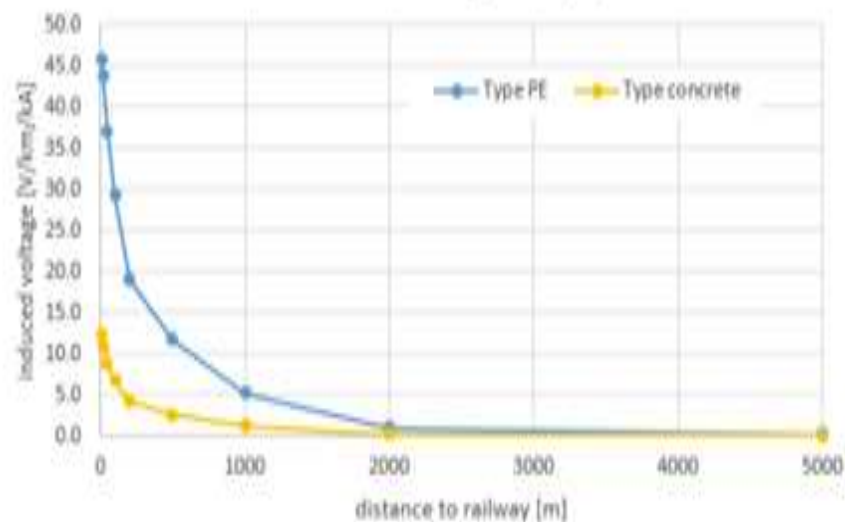
Results

Distance to railway [m]	maximum induced voltage [V/km/kA]	
	Type PE	Type concrete
10	45.7	12.3
20	43.8	10.9
50	37.0	8.77
100	29.2	6.68
200	19.0	4.22
500	11.7	2.57
1000	5.24	1.16
2000	0.989	0.219
5000	0.249	0.055

To calculate the induced voltage you need to multiply the above values by

- the length of the parallel section railway/pipeline in km
- the total current in the overhead lines of both tracks

maximum induced voltage into pipelines



June 10th 2017

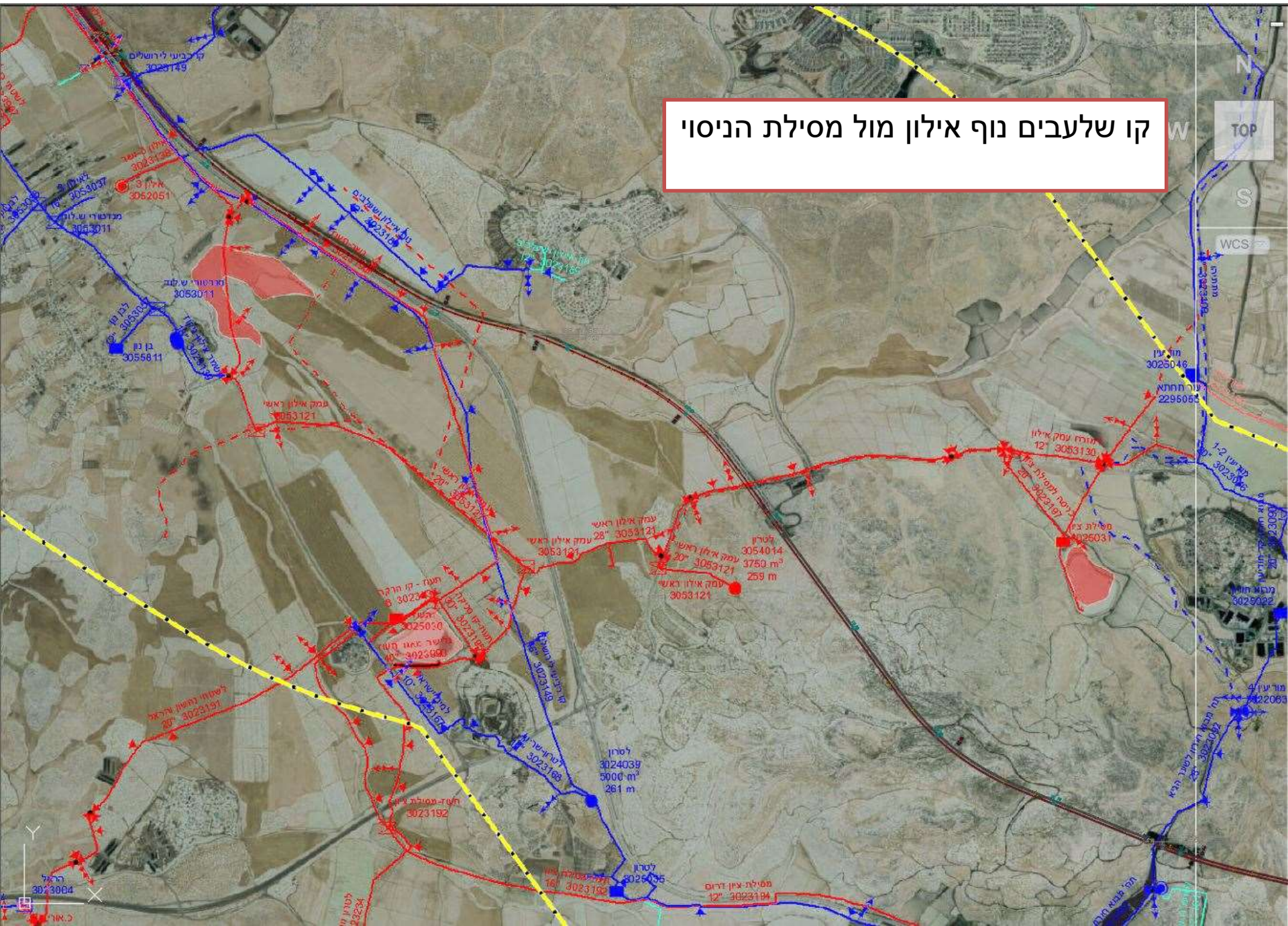
ENOTRAC's Simulations Induced Voltage

26



ENOTRAC
Engineering and Consultancy

קו שלעבים נוף אילון מול מסילת הניסוי

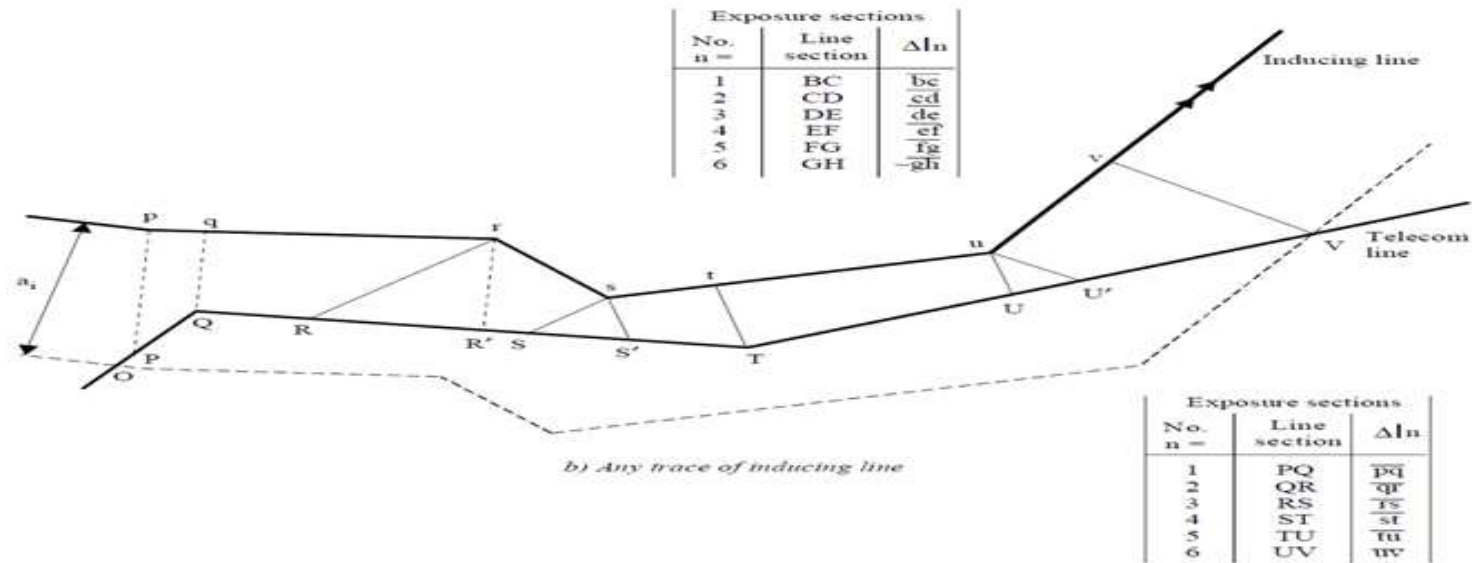


חישוב מקבילות ומרחק ממוצע ממסילה

חישוב המקבילות והמרחק הממוצע מהמסילה יבוצע בהתאם לחוברת הנחיות

ITU-T Vol 2

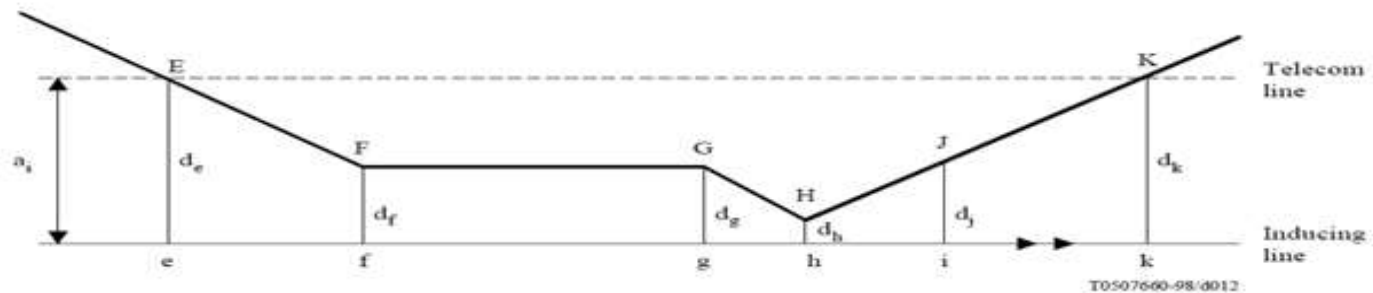
חישוב מקבילות:



T0507680-98:d011

חישוב מקבילות ומרחק ממוצע ממסילה

חישוב מרחק ממוצע:



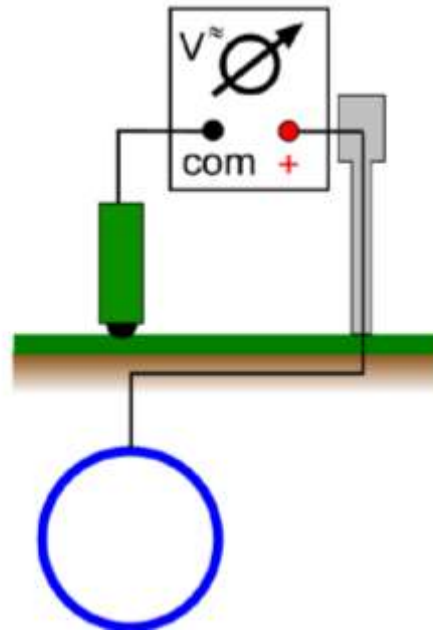
No. n =	Line section	$d_{\max} =$	$d_{\min} =$	$d_n =$	$\Delta \ln =$
1	EF	d_e	d_f	$\sqrt{d_e d_f}$	$\overline{ef}$
2	FG	d_f	d_g	$d_f = d_g$	$\overline{fg}$
3	GH	d_g	d_h	$\sqrt{d_g d_h}$	$\overline{gh}$
4	HJ	d_h	d_i	$\sqrt{d_h d_i}$	$\overline{hi}$
5	JK	d_k	d_i	$\sqrt{d_i d_k}$	$\overline{ik}$

FIGURE 8/2

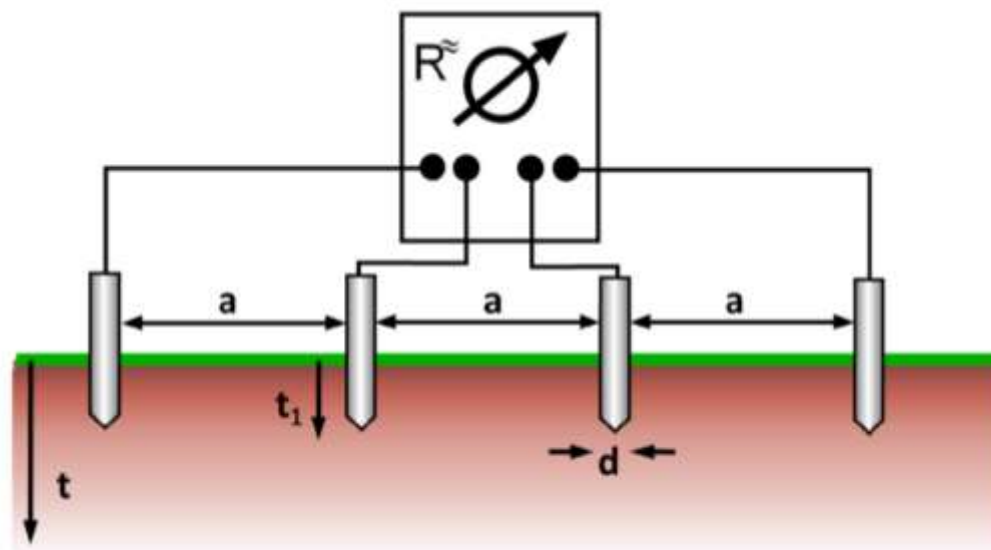
Subdivision of an exposure into exposure sections

(condition: $\frac{d_{\max}}{d_{\min}} \leq 3$)

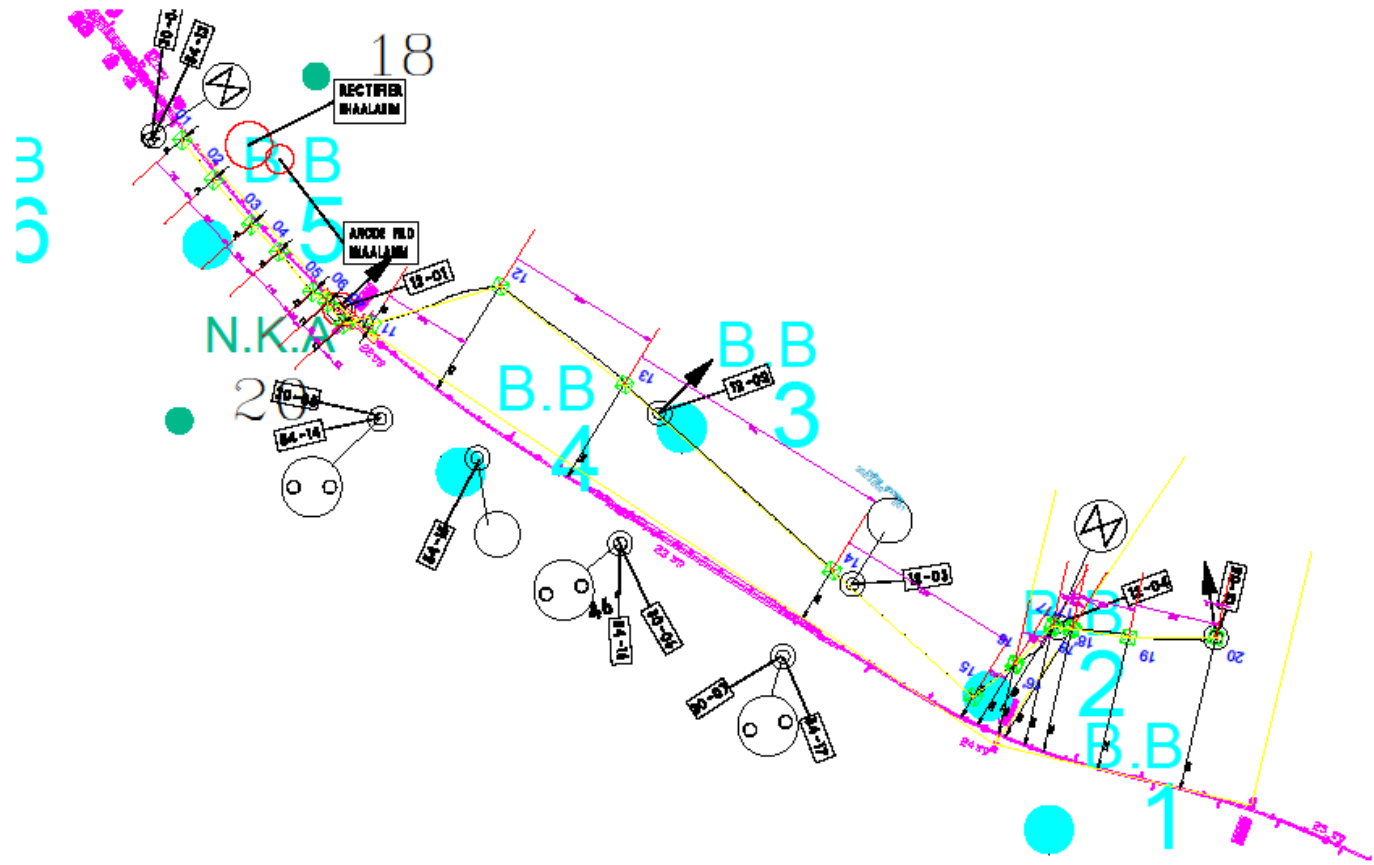
חישוב מתח AC



חישוב נתוני קרקע



קו שלעבים ניתוח גאומטרי נתוני קרקע ופוטנציאלים



Power Study

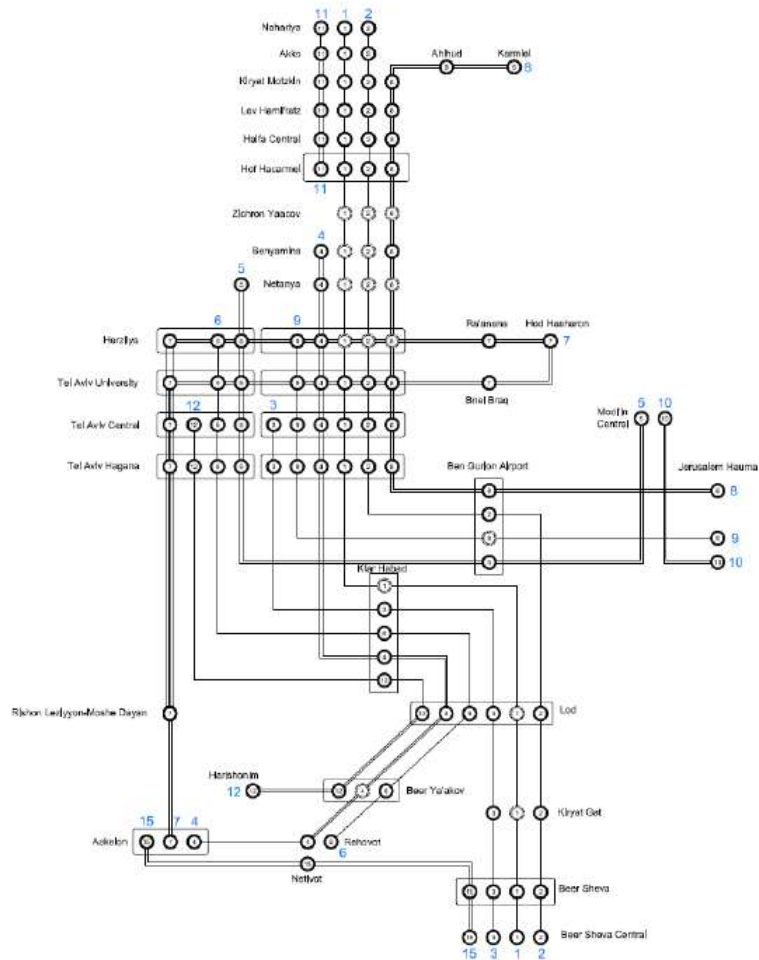


Figure 4-17: Considered operation concept for 2020 (peak hour), based on [2]

נתונים לאנליזה

נתוני הצינור

- ניתוח גיאומטרי – חלוקה לקטעים
- לכל קטע מרחק ואורך מקבילות למסילה
- קוטר הצינור
- עובי דופן
- סוג הציפוי החשמלית שלו
- חיוצים והארקות
- פוטנציאל ההגנה הקטודית
- התנגדות סגולית של הקרקע

נתוני מערך החישמול שמשפיעים על חישוב המתח המושרה

- גאומטרית מוליכי הזרם כולל חוטי המגע, מוליכים מחזירים והמסילות כדי לחשב את השדה המגנטי שמושרה מתח על תשתיות מקבילות
- הזרם המרבי במוליכים השונים (בכל קטע יש זרם אחר בגלל מיקום הקטרים)
- זרמי קצר לחישוב המתח המושרה במצבי תקלה
- הזרם הממוצע היומי לצורך חישוב השפעות קורוזיה

ניטור

- מדידת מתחי AC על גבי הצינור
- מדידת זרם היוצא מהתה"ר
- רישום מיקום הקטר



Dan Entin

Bacsoft

Gil

NOF AYALON - S

NESHER - TAOZ

Train GPS Unit

NOF AYALON - SHALABIM

General

Map

Events

Reports

From

20/03/18



08:00



Output Type

Web Graph



Submit

To

20/03/18



17:00



Graph Type

Normal



Search

Select All

Unselect All

☐ A I 1 RAW

☒ A I 1 Scaled

☐ A I 3 RAW

☐ A I 3 Scaled

☐ D.O 1

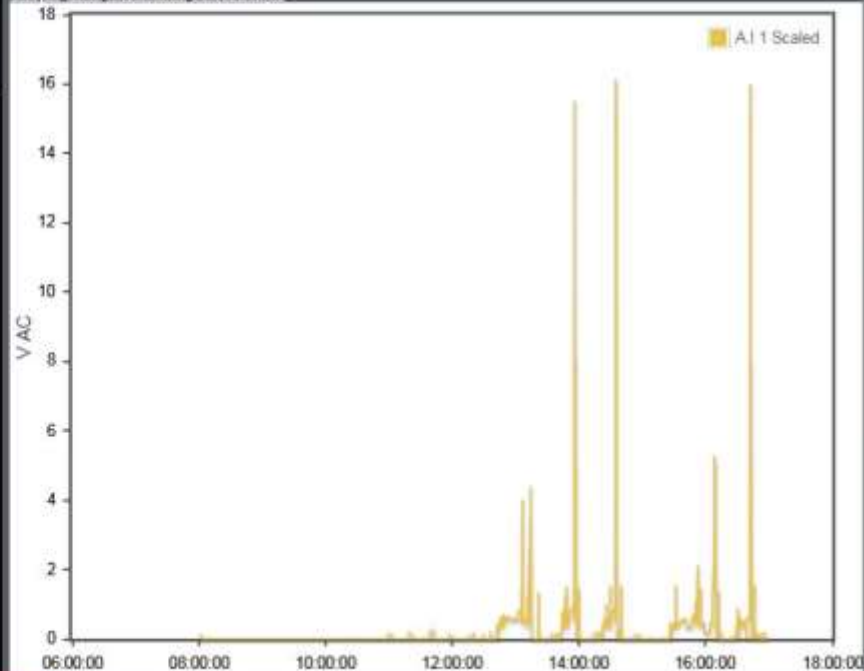
☐ Module Temperature

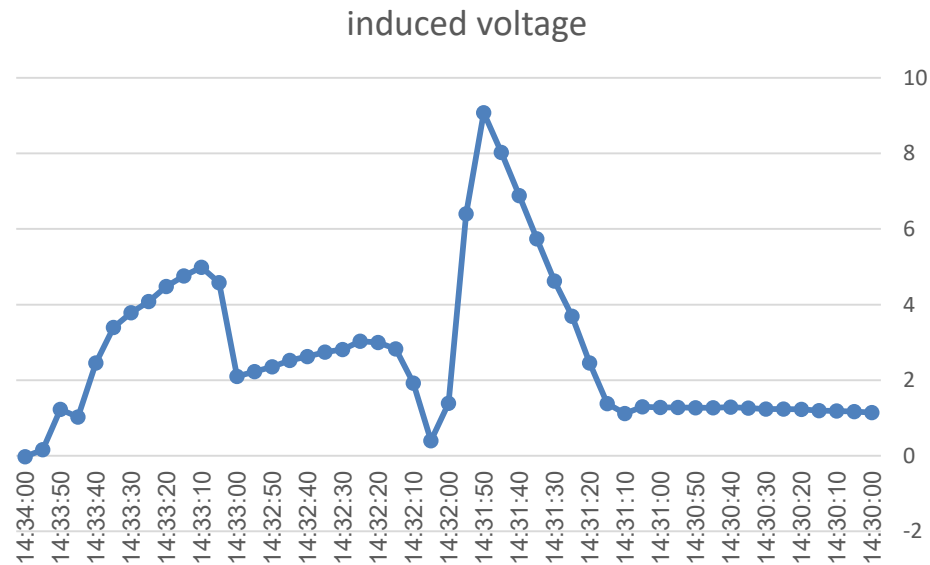
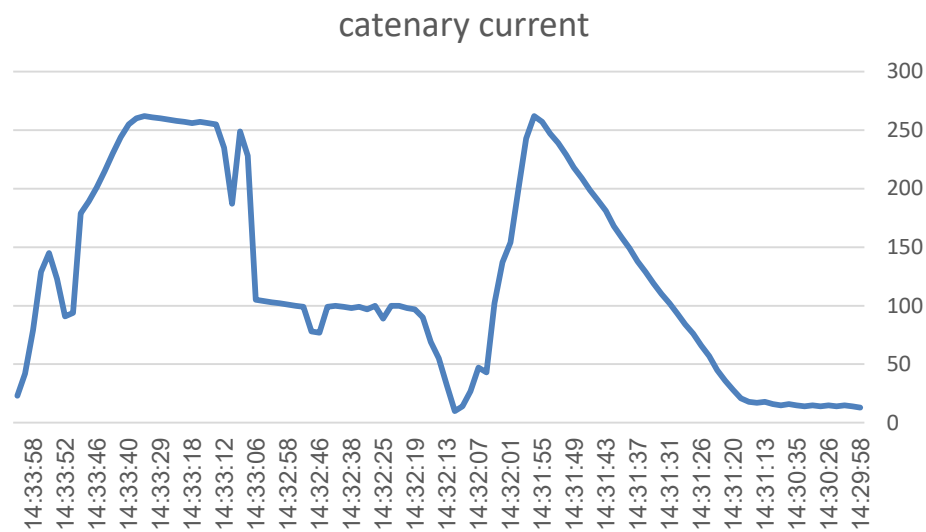
☐ Network Signal Strength

☐ Unit Connected

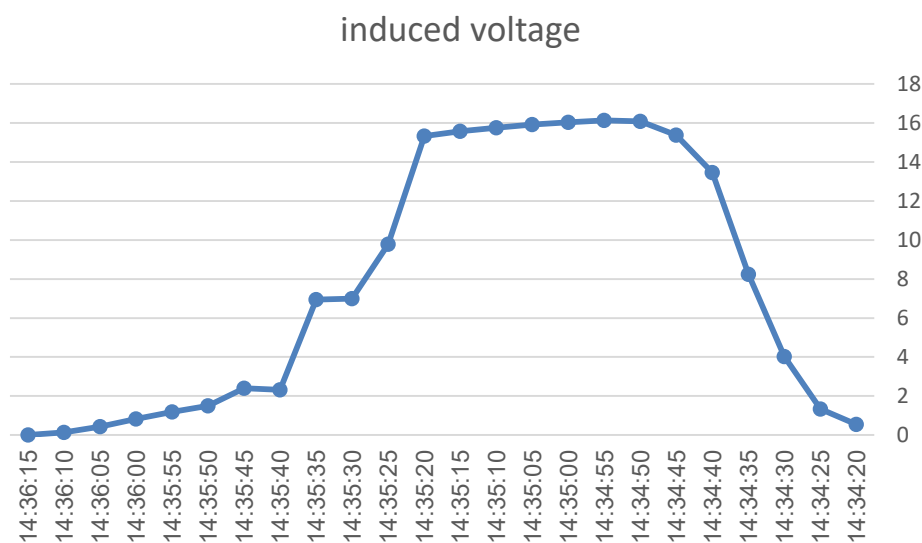
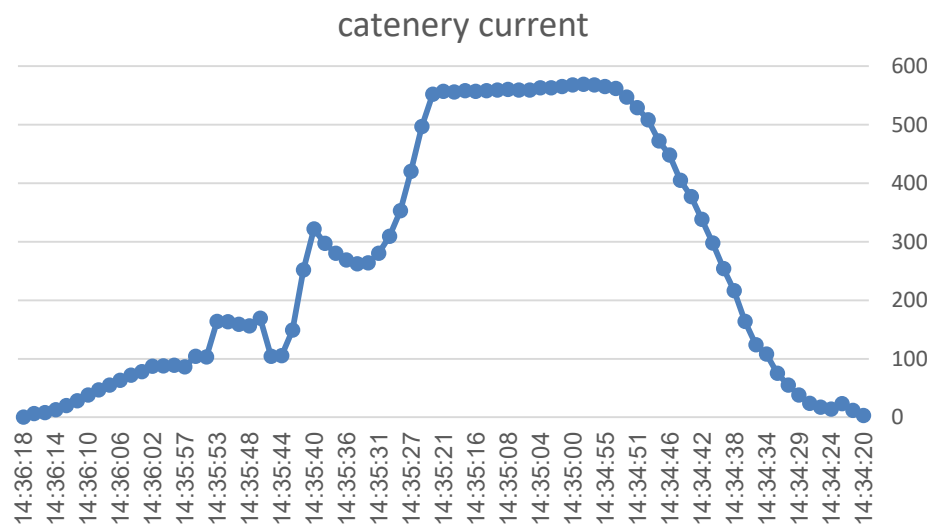
☐ Unit Reconnections

Steps Line Area/line Area/Steps



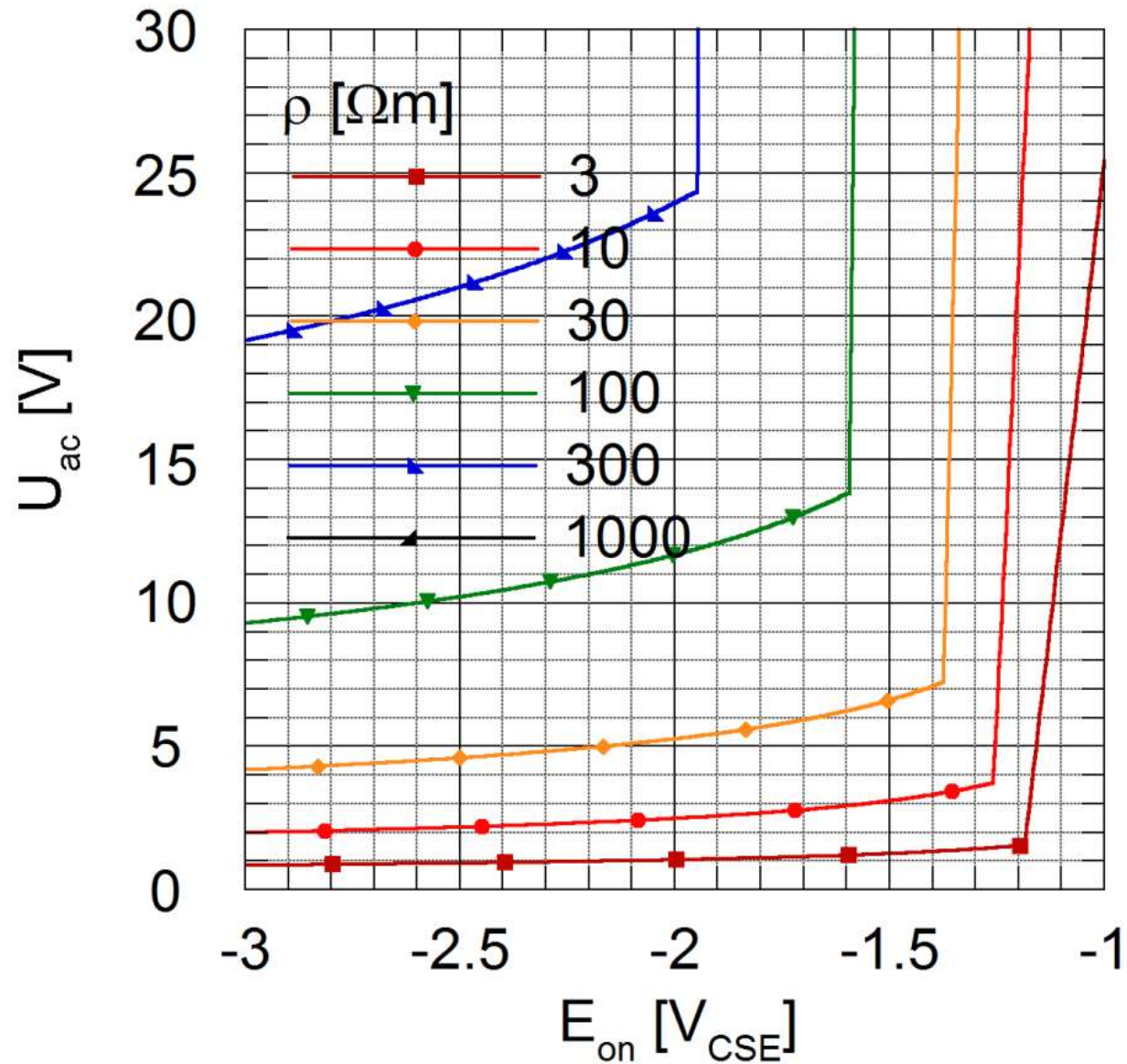


תוצאות ניטור מתח מושרה על צינור נוף אילון – שלעבים מול זרם
בתאריך 20-02-2018



תוצאות ניטור מתח מושרה על צינור נופ אילון – שלעבים מול זרם
בתאריך 20-03-2018

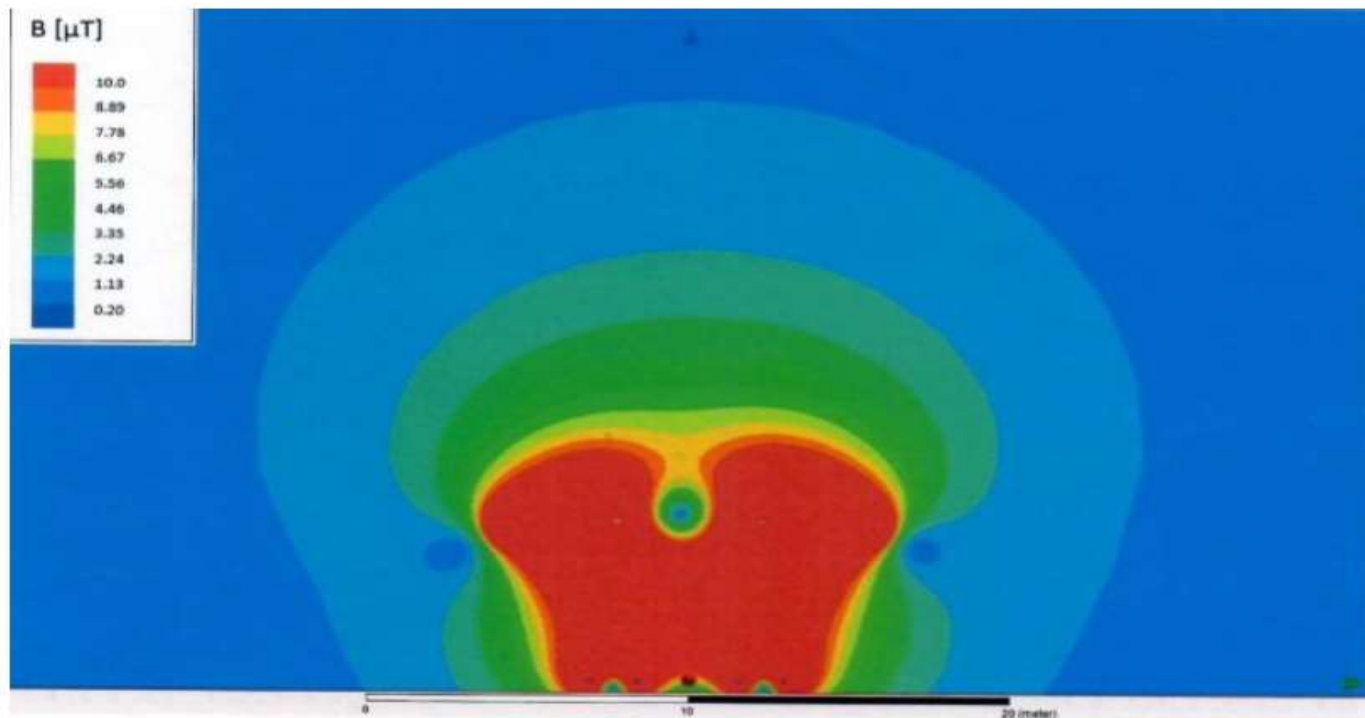
קריטריון למתח AC מותר כדי למנוע קורוזיה בצנרות בעובי שמעל 5 מ"מ עם ציפוי
PE בתלות בהתנגדות ופוטנציאל DC



קרינה אלקטרומגנטית

סף קרינה מגביל	כמות הקרינה האלקטרו-מגנטית המירבית שאליה מותר על פי חוק או תקנה לחשוף את הציבור. כל עוד לא נקבע הדבר בחוק או בתקנה, קובעת תכנית זו כי כמות הקרינה המירבית המותרת שניתן לחשוף אליה את הציבור, כתוצאה מתפעול מערכות החישמול הכרוכות בהנעת הרכבת היא 4 מיליגאוס ממוצע יממתי בגבול התכנית על פי הנחיות הממונה על הקרינה הבלתי מייננת ממתקני חשמל, ובלבד שלא תעלה בשום מקרה על 1,000 מיליגאוס. אין בקביעת סף הקרינה המגביל כדי לפגוע בשיקול הדעת של הממונה על הקרינה. אם וכאשר תותקן תקנה אשר תקבע את רמות החשיפה המירביות המותרות לקרינה, המתייחסת לתחום התדריס והמאפיינים האחרים של מערכת החשמול המסילתית, ורמות החשיפה שתיקבענה תהיינה שונות מהאמור לעיל – תגברנה החוראות באותה תקנה.
-----------------------	---

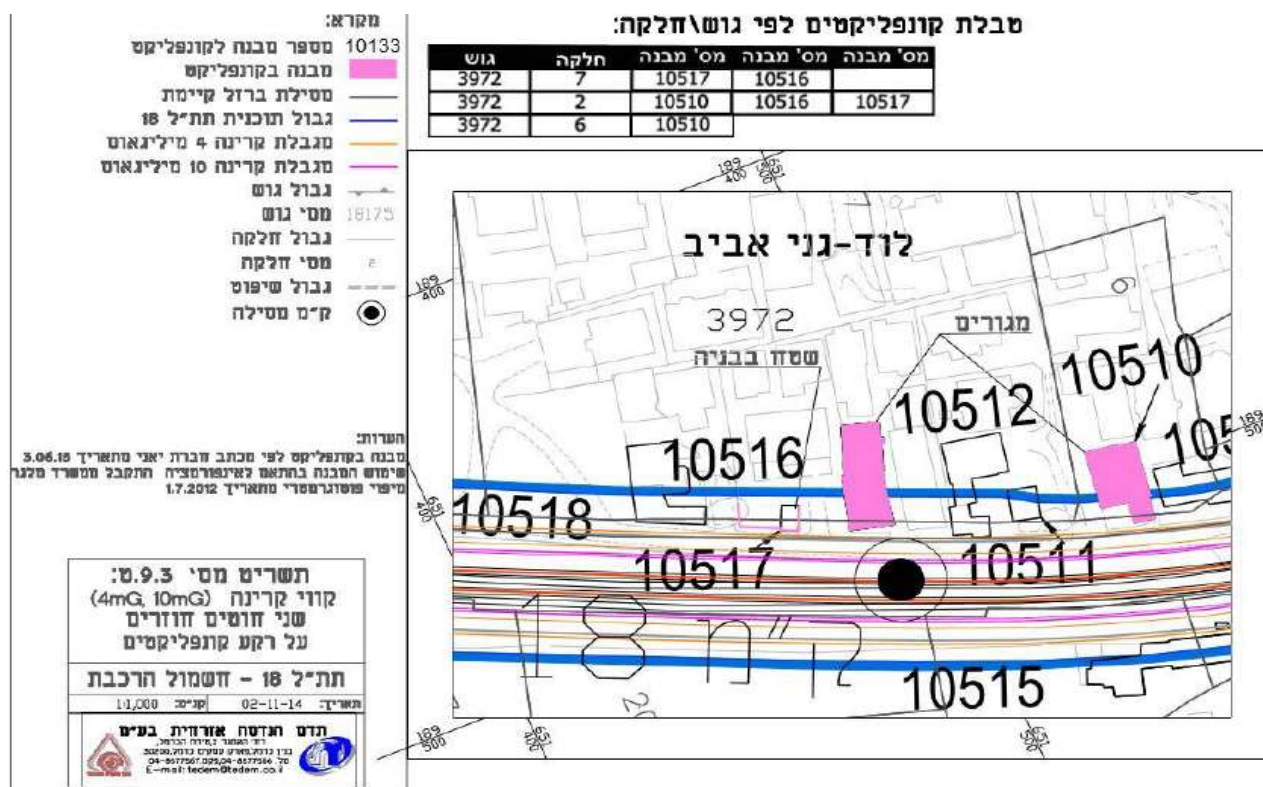
חישוב המרחק המתקבל לקו 4 מיליגאוס



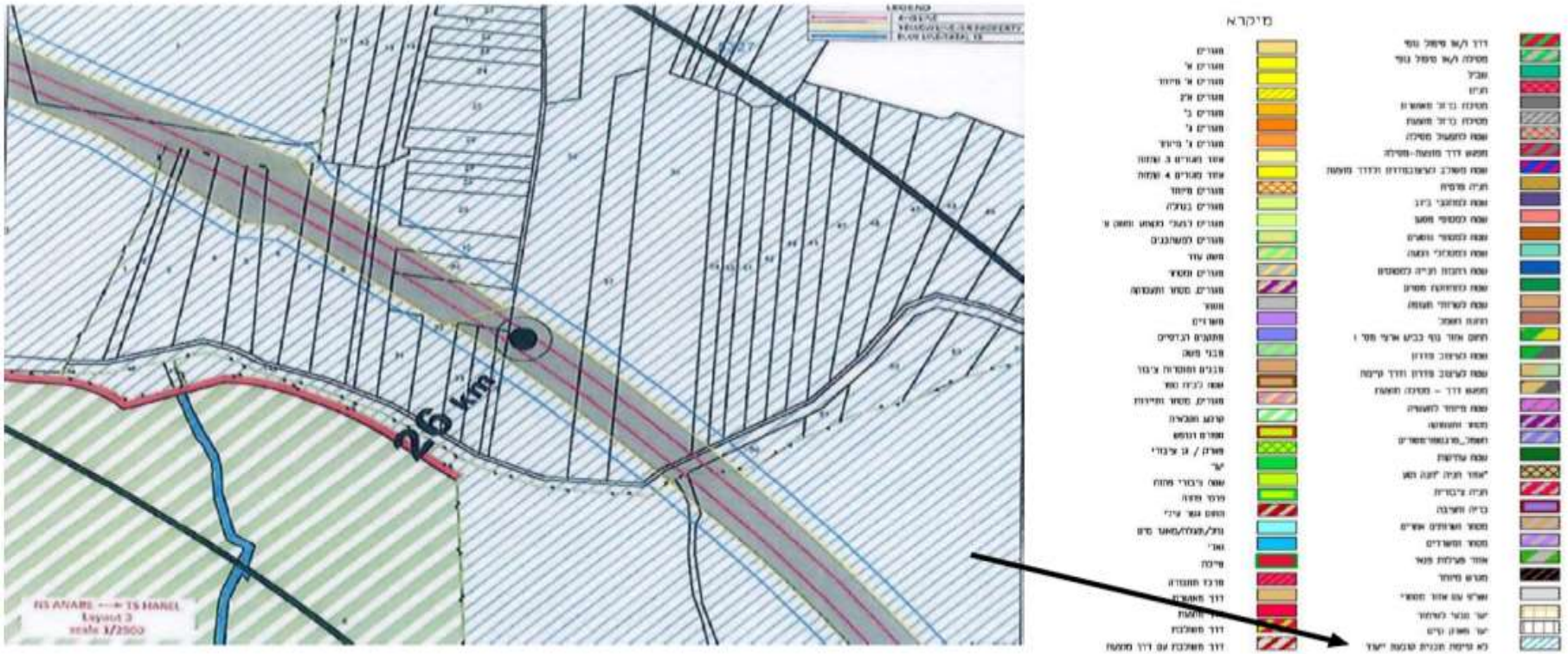
הצבת קו 4 מיליגאוס על רקע תת"ל 18



הצבת קו 4 מיליגאוס על רקע תכנית מדידה וסקר מבנים



הצבת קו 4 מיליגאוס על רקע ייעודי קרקע עדכניים



השפעות על ציוד אלקטרוני וכבילה



תקני תאימות ציוד אלקטרוני

- IEC 61000-4-2 – חסינות לפריקה אלקטרוסטטית מאדם הטעון במטען סטטי
- IEC 61000-4-4 – חסינות תופעות מעבר חשמליות מהירות-מתייחס בעיקר לקווי אספקה וקווי אות
- IEC 61000-4-5 – חסינות חסינות לתופעות מעבר מברקים
- IEC 61000-4-8 – חסינות שדות מגנטיים בתדר הרשת (רלוונטי במיוחד לתכנית החשמול)
- IEC 61000-4-9 – חסינות תופעות מעבר מגנטיות הנוצרת מפגיעת ברק (אקוויבלנטי לתופעת קצר בתכנית החשמול)



תודה על
ההקשבה!

