



במבנים בהם קיים חשש כי עשויים להכיל חלקי אסבסט יש לבצע סקר מקדים. הסקר יבוצע ע"י סוקר מוסמך מטעם המשרד להגנת הסביבה. במבנים בהם ידוע על קיומו של אסבסט, בהתאם לסקר אסבסט שבוצע, יש לפעול בהתאם להנחיות שלהלן:

1. יש להגיש בקשה להיתר עבודה באסבסט באמצעות קבלן בעל רישיון לעסוק באסבסט.
2. חלקי אסבסט במבנה המיועד להריסה לא ייגרסו, אלא יפורקו ויפונו ע"י קבלן מורשה מטעם המשרד להגנ"ס בהתאם לסוג העבודה (אסבסט פריך/צמנט) על פי הנחיית המשרד להגנ"ס ועל פי אישור הועדה הטכנית לאבק מזיק.
3. הטיפול באסבסט אשר יימצא באתר העבודה יבוצע רק לאחר קבלת אישור והנחיות מהוועדה הטכנית לאבק מזיק, ויבוצע לפני כל עבודה אחרת באתר.
4. העבודה תתבצע בהתאם להנחיות המשרד להגנ"ס.
5. לאחר קבלת האישור יש לבצע את העבודה ע"י צוות מיומן ומאושר לטיפול באסבסט.
6. פעילות פירוק האסבסט תכלול סגירת אזור העבודה, תוך מזעור עד כמה שניתן ריחוף של סיבי האסבסט באוויר. יש לעטוף את פסולת האסבסט.
7. יש להטמין את האסבסט באתר פסולת מאושר, תוך שמירת תעודת המשלוח והקליטה של האסבסט באתר.



4.3.3 הוראות בדבר ניטור איכות אויר לעת תקופת ההקמה

לאור הנאמר על הפוטנציאל הנמוך להיווצרות מפגעי אבק בסעיף 4.3.1 ולנקיטת האמצעים למניעתם המפורטים בסעיף 4.3.2 לא צפויים מפגעי אבק משמעותיים בגין העבודות לפרויקט המטרו. עם זאת, יבוצע ניטור ויזואלי- נוהל אשר מתבסס על בדיקה עיתית של מנהל האתר או ממי מטעמו הממונה על הנושא לזיהוי הרחפת אבק, קבלת התייחסות וזיהוי על ידי מנגנון הפיקוח של הפרויקט. באתרי העבודה שוהים מנהלים בכל שעות העבודה. מנהל האתר או מי מטעמו יבצע ניטור לפיזור אבק באתרי העבודה ובמידת הצורך יתוגברו ההרטבות והאמצעים לצמצום המפגעים.



4.4 שדות אלקטרומגנטיים

4.4.1 שדות אלמ"ג מתואי המסילה

בפרק זה מוצג אפיון תיאורטי של בטיחות שדות אלקטרומגנטיים לאדם והשפעות על שימושי ויעודי הקרקע כתוצאה מהיווצרות הפרעות פוטנציאליות באזורים הסמוכים לתשתית הרכבת בקו המטרו M2. נתוני הזרמים של קו המטרו סופקו על ידי חברת Sistra לקו המטרו M3. בבסיס האומדנים המוצגים במסמך זה ההנחה שקו המטרו M2 הנו זהה בנתוני הזרם הרגיל וזרם היתר שיעברו בפס החשמול שלו למטרו M3. נתוני השטף המחושב הושוו לקריטריון החשיפה לבחינת העמידה בדרישות התקינה/רגולציה.





4.4.1.1 קריטריונים לחשיפת אדם לשדות אלמ"ג

טווחי הבטיחות והתאימות האלמ"ג, כוללים קביעה של רמות חשיפה והמרחקים נדרשים למניעת קונפליקטים עם הנחיות המשרד להגנת הסביבה ובהתאמה לתקן האירופאי - CENELEC EN 50121-2 בנושא פליטה אלמ"ג מתשתית הרכבת ומהרכבת.

צפיפות שטף שדה מגנטי בזרם ישר

המשרד להגנת הסביבה אינו מגביל חשיפה לשטף שדה מגנטי סטטי (זרם ישר). ארגון הבריאות העולמי העוסק בהגבלת חשיפה לקרינה בלתי מייננת, ICNIRP (International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection) ממליץ כי חשיפת קוצבי לב לשטף שדה מגנטי סטטי תהא מתחת ל-



5Gauss או 5000mGauss, וחשיפת הציבור תוגבל ל 400mT או 4000Gauss. תקנות משרד העבודה האמריקאי (ACGIH) מאמצות את קריטריון ICNIRP לחשיפה המותרת לקוצבי לב לשדה בזרם ישר. עם זאת, יצוין כי על פי התקן המקביל באירופה (EN50061) רמת החשיפה המותרת גבוהה פי שתיים - 10 גאוס. תקן משרד העבודה לציבור מקצועי ACGIH¹ ממליץ על חשיפה מרבית של כל הגוף לשדות מגנטיים הנוצרים בסביבת מקורות זרם ישר שלא תעלה על 600 גאוס.

במסמך זה, נערכה התייחסות לתקינה האמריקאית לחשיפה לשדות מגנטיים מזרם ישר (הן לנושאי קוצב לב והן לציבור) המחמירה יותר: 5 גאוס לנושאי קוצב לב ו-600 גאוס לציבור.



צפיפות שטף שדה מגנטי בתדר חילופין

תשתית רכבת המטרו אינה משדרת גלים אלקטרומגנטיים מכוונים בתדר רדיו. הווה אומר עוצמת קרינה הרדיו הנפלטת מהתשתית ומהרכבת ביחס לשדה הקרינה הבטיחותי על פי הנחיות ICNIRP² (ראו פירוט בנספח ג') הנה חלשה מאוד ואינה מסכנת אדם. עקב הזרם הגבוה המניע את הרכבת ייווצר שטף שדה מגנטי גבוה יחסית בזרם ישר (תדר אפס) והואיל זרם זה מיושר מזרם חילופין בתדר 50 Hz ימצאו גם מרכיבי שדה מגנטי בתדרים מאוד נמוכים - 50Hz עד 3000 Hz. פרט לתדר הבסיס - 50 Hz ולאדוות של 300-1200Hz על קווי הכח העיליים לרכבת המטרו, כל שאר התדרים ייצרו עוצמה זניחה של שטף שדה מגנטי.



הנחיות ICNIRP מתייחסות לחשיפה לשטף שדה מגנטי בתדר חילופין עד לתדר 1Hz, הקרוב לתדר אפס של השדה המגנטי. על פי הנחיות אלו החשיפה המותרת לכלל הציבור לשדה בתדר זה - 400 גאוס. החשיפה המרבית המומלצת לכלל הציבור בתדר הרשת (חילופין) - 50 Hz על פי ICNIRP הנה 2000 גאוס ללא ציון מגבלת זמן (משמע מתייחס לחשיפה ארוכה של 24 שעות ביממה) ולציבור מקצועי ההמלצה להגבלת החשיפה מתייחסת לשטף שדה מגנטי של 5000 גאוס במהלך יום עבודה.

¹ תקן American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH), רמות חשיפה מומלצות לציבור מקצועי.



² ICNIRP - Guidelines for Limiting Exposure to Time Varying Electric, magnetic, and Electromagnetic Fields (Up to 300GHz), ICNIRP - International Council for Non-Ionizing Radiation Protection, 25 November 2010.



המשרד להג"ס³, בהמלצה מספטמבר 2013 לספי החשיפה לכלל הציבור, הקטין את סף החשיפה לז"ח בתדר 50Hz לכדי 0.2% מסף החשיפה לפי ICNIRP, היינו לכדי 4mG בממוצע ליממה ולאזורי תעסוקה לסף של 8mG. בהתאם, במסמך זה תינתן התייחסות לקריטריון המחמיר של המשרד להג"ס. יצוין כי סף החשיפה של 4mG (4 מיליגאוס) המומלץ על ידי המשרד להגנת הסביבה מתייחס לזרם חילופין והנו ממוצע יומי בתנאי עומס אופייני מקסימלי, טווח הבטיחות המחושב במסמך זה של 0 מ' מתייחס לתנועה של שתי רכבות בכיוונים מנוגדים על שתי מסילות עם מיצוע יומי בעתיד אך במסמך זה ללא שום מיצוע.

4.4.1.2 מילון מונחים



פס שלישי: הקו המזין את כל צרכני רכבת המטרו, כולל: מנועי ההינע, תאורה, מיזוג אוויר, מערכות שונות אחרות. מאפייני הפס השלישי הם: מתח זרם ישר של 1500V; זרם אופייני הנצרך על ידי שלוש קרונות - 1500 אמפר, בהתאמה להספק האופייני של 3000kW. זרם מרבי בעומס לזמן קצר (כ- 2 דקות) - 5145A; זרם קצר 6000A.

פס רביעי (אופציונלי): הפס משמש להחזרת הזרם המניע את רכבת המטרו במקום החזרת הזרם דרך הפסים. היתרון בשיטה זו, העדר זרמים תועים דרך הקרקע העלולים לגרום לקורוזיה של תשתיות מתכתיות טמונות.



קו זרם חוזר: המסילה מחוברת למוליכים המחוברים אותה לצד השלילי של מוצא הספקת המתח הישר, היינו פסי הרכבת מחזירים את רוב הזרם הישר למיישרים וכ- 5% מהזרם עלול לדלוף לאדמה. **תחנת משנה:** תחנת המשנה להספקת המתח מוזנת ממתח ז"ח 22kV של חברת חשמל. חלק מהאנרגיה נמסר לצרכנים (תחנות וציוד עזר לאורך המסילה) כמתח 400V ז"ח תלת פאזי. להזנת מערכות ההינע בקרונות הרכבת מיושר המתח במוצא השנאים לקבלת המאפיינים הנדרשים לקו המתח העילי.

פנטוגרף: התקן המחליק לאורך הפס השלישי והעשוי כאלקטרודה בודדת המחובר בין קרון הרכבת למערכת החשמל ומאפשר הזנת מערכות החשמל של הרכבת תוך כדי תנועה או עמידה.



זרם תועה: (Stray Current): זרם אשר אינו עובר במוליך ובתוואי אשר יועד עבורו.

קורוזיה: תהליך אלקטרו-כימי, אשר גורם לחמצון מתכת ולהרס התכונות של החומר.

מיצוע בזמן של קרינה בתדר רדיו: יחידת הזמן המשמשת למיצוע צפיפות הספק הקרינה, לצורך השוואה עם תקני בטיחות קרינה. יחידת הזמן המקובלת על פי התקן בארץ (ICNIRP) – 6 דקות.

חשיפה מצטברת: משך הזמן המצטבר של החשיפה עולה על משך יחידת הזמן המשמשת למיצוע רמת צפיפות הספק הקרינה.



³ חשיפת האוכלוסייה לקרינה אלקטרומגנטית בתדר רשת החשמל, דף המשרד להג"ס באתר האינטרנט של המשרד, מתאריך 24.7.02.



גל אלמ"ג: הגל האלמ"ג מורכב משני רכיבים - רכיב השדה החשמלי ורכיב השדה המגנטי שני הרכיבים ניצבים זה לזה וניצבים לכוון התפשטות הגל. עוצמת הגל האלמ"ג נתונה ביחידות של צפיפות הספק שדה הקרינה (ראה להלן).

עוצמת שדה חשמלי (E): צפיפות השדה החשמלי מבוטאת ביחידות וולט למטר (V/m). עוצמת השדה החשמלי קטנה ביחס ישר להתרחקות הגל החשמלי מהמקור (האנטנה או המעגל המפיץ את השדה).

עוצמת שדה מגנטי (H): צפיפות השדה המגנטי מבוטאת ביחידות אמפר למטר (A/m). עוצמת השדה המגנטי קטנה ביחס ישר להתרחקות הגל המגנטי מהמקור (קו בודד המפיץ את השדה המגנטי). עוצמת השדה המגנטי יורדת ביחס הפוך למרחק בריבוע מלולאות כמו זו שבין קו ההזנה העילי והפסים המחזירים את הזרם בתשתית רכבת המטרו.



חשיפה לשדה קרינה: אדם נחשף לקרינה בתדר רדיו כאשר בגופו פוגע גל אלקטרומגנטי. חלק מהקרינה הפוגעת מוחזר (הגוף משמש כמראה), חלק נספג ברקמות הגוף וחלק מהקרינה עובר את הגוף בלא שיבלע ברקמות. כמות ההחזרה, הבליעה והמעבר של הקרינה תלויה בתדר הגל הפוגע ובזווית הפגיעה של הגל בגוף.

חשיפת כלל הציבור: חשיפת אדם לקרינת תדר רדיו באופן שאינו קשור באופן ישיר לתעסוקתו, כאשר האדם הנחשף אינו מודע לקיומה של הקרינה או אינו שולט על מקור השידור ואינו יכול לפיכך למנוע היחשפות לקרינה זו. במונח כלל הציבור כלולים תושבים, עובדים, מבקרים, המתגוררים או שוהים במסגרת פעילותם בסמוך לתשתית רכבת המטרו.



טווח בטיחות (בין המסילה לאדם): המרחק המזערי מהמסילה במטרים, על פני הקרקע בו רמת שדה הקרינה שווה או נמוכה מספי החשיפה המוגדרים בתקן בטיחות קרינה או על פי הנחיות המשרד להג"ס.

טווח השפעה על ציוד אלקטרוני: המרחק המזערי מהמסילה במטרים בו רמת שטף השדה המגנטי נמוכה מרמת הפגיעות הידועה של התקני קרן אלקטרוניים חופשיים וציוד אלקטרוני בכלל.

4.4.1.3 נתוני הקלט

א. כלים לביצוע אנליזה של שדות אלמ"ג



תוכנת מחשב MMI משמשת לניתוח שפיעת שטף השדה המגנטי מקווי כוח עיליים, שנאים, קווי צבירה חשמליים וארונות חשמל למקורות הספק חשמלי זרם ישר, זרם חילופין, חד פאזי ותלת פאזי. תבילת התוכנה הנה תוכנה בדוקה, אשר פותחה על ידי מהנדס אורן הרטל אשר ביצע יחד עם משה נצר תסקיר סביבה אלמ"ג לרכבת הקלה בירושלים, תל אביב, ונצרת וחשמול רכבת ישראל.

ב. מאפייני מערכות החשמל

המאפיינים החשמליים של המטרו נלקחו מתוך מסמך Feasibility Study של חברת Metro : Systra
Network System Feasibility Study Report, FEA Traction Power Simulation - M3,
 Dated 20/12/2018

המאפיינים העיקריים של אספקת הכוח לרכבת המטרו ותשתית המסילה מפורטים להלן:



- פס שלישי (+): אספקת זרם ישר במתח של 1500 V.
- פס רביעי (-): הפס המחזיר את הזרם לתחנת המיישרים.



- זרם אופייני הנצרך על ידי שלוש קרונוות - 1500 אמפר, בהתאמה להספק האופייני של 3000kW.

- זרם מרבי בעומס לזמן קצר (כ- 2 דקות) - 5145A

- זרם קצר 6000A (מספר שניות).

- גובה הפס השלישי מעל למסילה – 0.5 מ'.

- רוחב הפסים - 1.52 מ'

- מרחק בין שתי מערכות פסים מקבילים - 4.2 מ'

- עומק מינימלי של פסי המסילה מתחת לקרקע 16- מ' (תחנת הרב לוי, ר"ג). עומק זה נלקח כמייצג לכל אורך קו המטרו.

זרמי הרכבת:

- קטנרי: 100%

- פס ימני: 47.5%

- פס שמאלי: 47.5%

- זרמי אדמה: 5% (0% אם קיים פס רביעי)

- קו מחזיר עילי: 0%

- קו מתח גבוה תת קרקעי: 0%

חישוב שטף השדה המגנטי ממערכות הרכבת - מוצג באיורים 4.4.1.3.1 עד 4.4.1.6.1 בהמשך.



ג. תצורות של פעילות רכבת המטרו

רכבת המטרו מצויה בתת הקרקע בעומק של 16m

- שתי רכבות הנוסעות בכיוונים מנוגדים במנהרה (מצב שכיח)

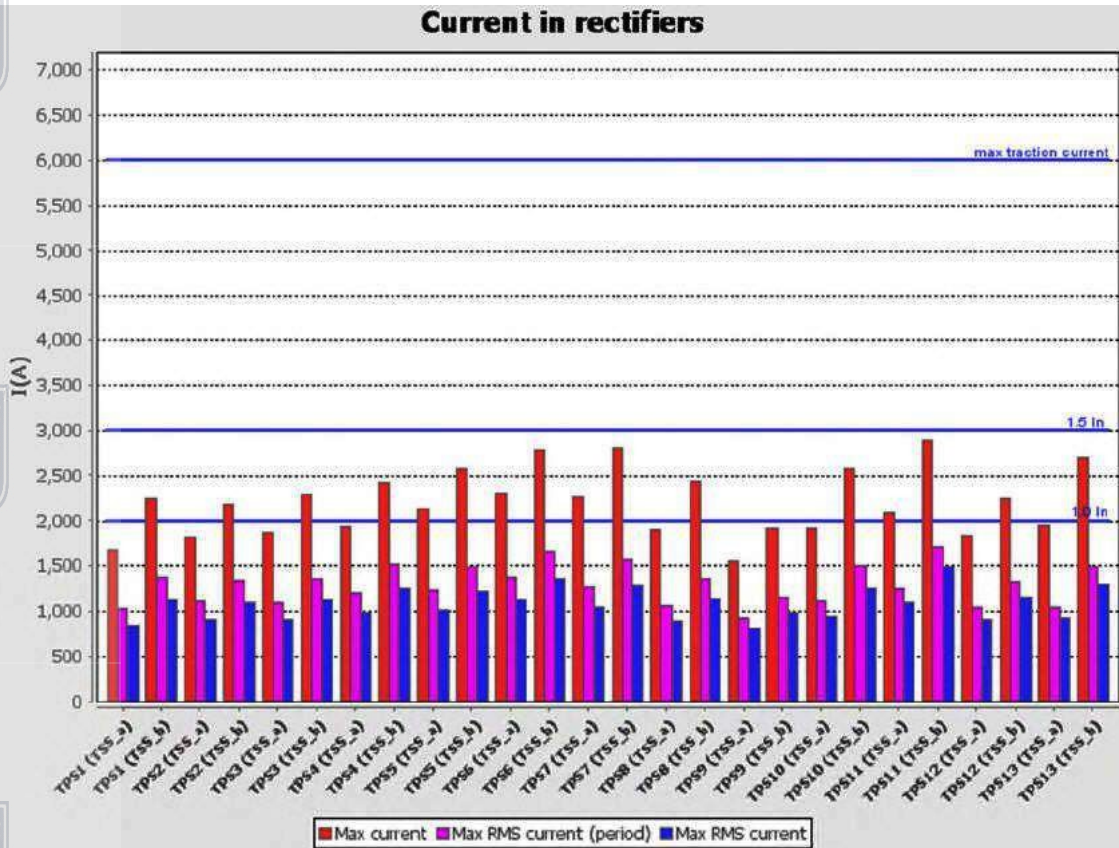
- שטף שדה מגנטי סטטי אופייני

- שטף שדה מגנטי סטטי שיאי (כ- 2 דקות)

- שטף שדה מגנטי ז"ח אופייני (0.92% מהזרם הישר האופייני), היינו 13.8 אמפר.

מאפייני הזרם נלקחו מתוך מסמך Systra והם מתוארים באיור 4.4.1.3.1, כאשר הסימולציה של זרמי המטרו בוצעה על קו מטרו M3. האיור מתאר את מאפייני זרם השיא והממוצע עבור כל תחנת מיישרים לאורך קו המטרו M3, כאשר הונח שנתוני קו המטרו M2 זהים לנתוני קו המטרו M3. מאפיינים עיקריים:





איור 4.4.1.3.1 מאפייני זרם השיא והממוצע לכל תחנת מיישרים לאורך קו מטרו M3

- זרם rms מרבי למשך דקה אחת : 1715A
- זרם rms מרבי למשך שעתיים : 1494A
- ההספק הנומינלי של מיישר הנו 3000kW והזרם הנומינלי בהתבסס על מתח של 1500V הנו 2000A.
- בהתבסס על התקנים IEC 62590 ו- IEC 62695 זרמי היתר הצפויים :
 - זרם יתר למשך שעתיים למיישר VI שווה ל- 1.5 פעמים הזרם הנומינלי, היינו ל- 3000A
 - לפי הסימולציה של ביקוש הזרם על ידי המטרו הזרם המרבי לשעתיים הצפוי הנו 1494A, היינו מתחת לגבול של 3000A.
 - זרם היתר למשך דקה של מיישרים Class VI שווה ל- 3 פעמים הזרם הנומינלי, היינו ל- 6000A. עלפי הסימולציה זרם היתר המרבי rms למשך דקה הנו 1715A שהנו נמוך מהגבול העליון של 6000A.
- אומדן זה מראה שלמיישר עם הספק נומינלי של 3000kW

מצב תקלה בו יהיה קצר חשמלי למשך זמן קצר על קו מסילה בודד (מספר שניות) יכול להזרים בקטנר זרם ישר של 6000A. חלוקת הזרם בין המוליכים, בצורה פשוטה, כאשר המסילה מבודדת מהקרקע,



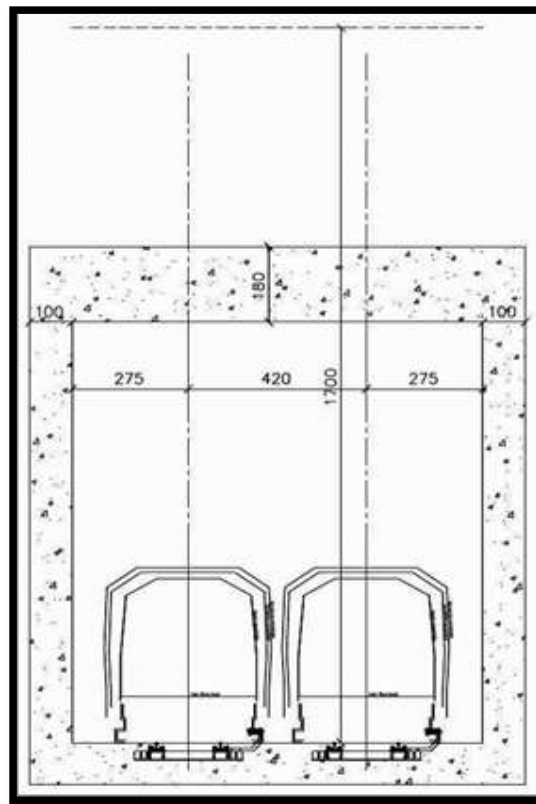


היא שהפס השלישי נושא את הזרם בכיוון מהתחמ"ש לרכבת והפסים מחזירים את הזרם ל TTR בחלוקה שווה בין פס ימין ושמאל. אחוזי הזרם בכל מעגל מוצגים בסעיף א לעיל.

קו הזרם החוזר מתבסס על חיבור המסילה לקו החזרה (return) של מוצא אספקת המתח הישר בתחנת המשנה. במקביל לקו המסילה יש לעיתים עיבוי של שטח החתך של כבלי נחושת להקטנת ההתנגדות החשמלית של מסלול הזרם החוזר והקטנת הזרמים התועים.

א) מאפיינים גיאומטריים

איור 4.4.1.3.2 מציג חתך סכמתי של רכבת המטרו בתת הקרקע (מערכת 3 פסים). הנחת העבודה הינה שהעומק המזערי בין פני הקרקע למסילת הרכבת הינו 16 מ' (נמוך מהעומק המוצג באיור). מערכת 3 פסים: פס הזנה חיובי (+) ושני הפסים עליהם נעה רכבת המטרו המחזירים את הזרם לתחנת היישור (-). X 2.



איור 4.4.1.3.2 - חתך סכמתי של רכבת המטרו בתת הקרקע - מערכת 3 פסים

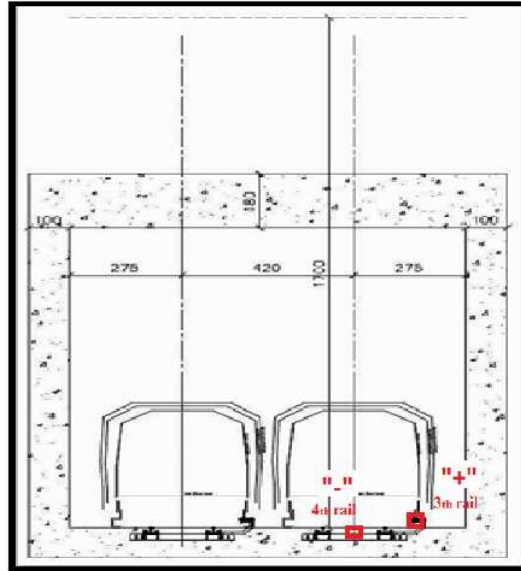
איור 4.4.1.3.3 מציג חתך סכמתי של רכבת המטרו בתת הקרקע (מערכת 4 פסים). מערכת 4 פסים: קיים פס רביעי מקביל לפס השלישי המיועד להחזרת הזרם לתחנת היישור. הפסים עליהם נעה רכבת המטרו משמשים רק כמשטח הסעה ולא להחזרת הזרם.

4.4.1.4 אומדן שטף השדה המגנטי





החישוב נעשה בזרם ישר, לבחינת השפעה על קוצבי לב, של שדה מגנטי סטטי כאשר סף הרגישות של קוצבי לב המקובל לפי ACGIH הוא 5Gauss; האומדן לשטף שדה מגנטי שמקורו בזרם החילופין של אדוות היישור על גבי הזרם הישר הושווה להמלצות המשרד להגנת הסביבה לסף של 4mG (המתייחס לזרם חילופין) בממוצע ליממה. תדירות האדוות בהנחה של קיום מיישרים עם 24 דיודות הנו 1200Hz.



איור 4.4.1.3.3 - חתך סכמתי של רכבת המטרו בתת הקרקע - מערכת 4 פסים



התחשיב של שטף השדה המגנטי מהמסילה נעשה לשתי רכבות, אחת בכל כיוון, על שתי המסילות המוצגות באיור 4.4.1.3.2. האומדן של שטף השדה המגנטי נעשה ביחס לדרישות הגבלת חשיפת אדם לשטף זה, כרשום בחוק הקרינה הבלתי מייננת 2006. בחוק הקרינה אין, כיום, סף מחייב. סף החשיפה המומלץ בזרם מרבי ממוצע הנו 4mG ביממה.

היות והתחשיב, המוכוון להמלצות המשרד להגנת הסביבה, מתייחס לממוצע החשיפה ביממה, יש לחשב ממוצע זה מתוך תכנית ההיסעים הצפויה של רכבת המטרו שעדיין לא נמסרה לנו.

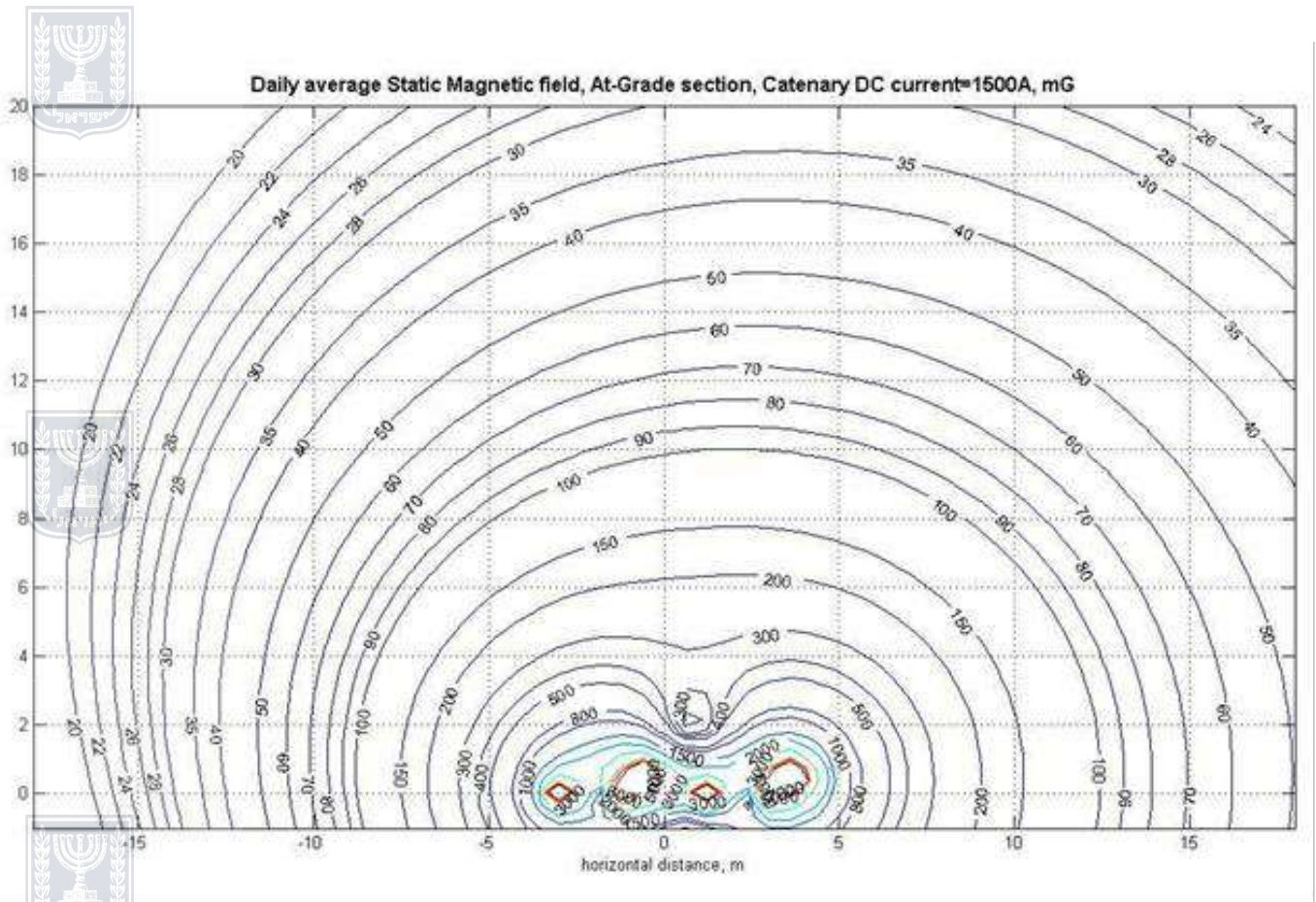
4.4.1.5 שטף השדה המגנטי המחושב למערכת של 3 פסים

א. שטף שדה מגנטי בזרם ישר של 1500A (מצב שכוח):



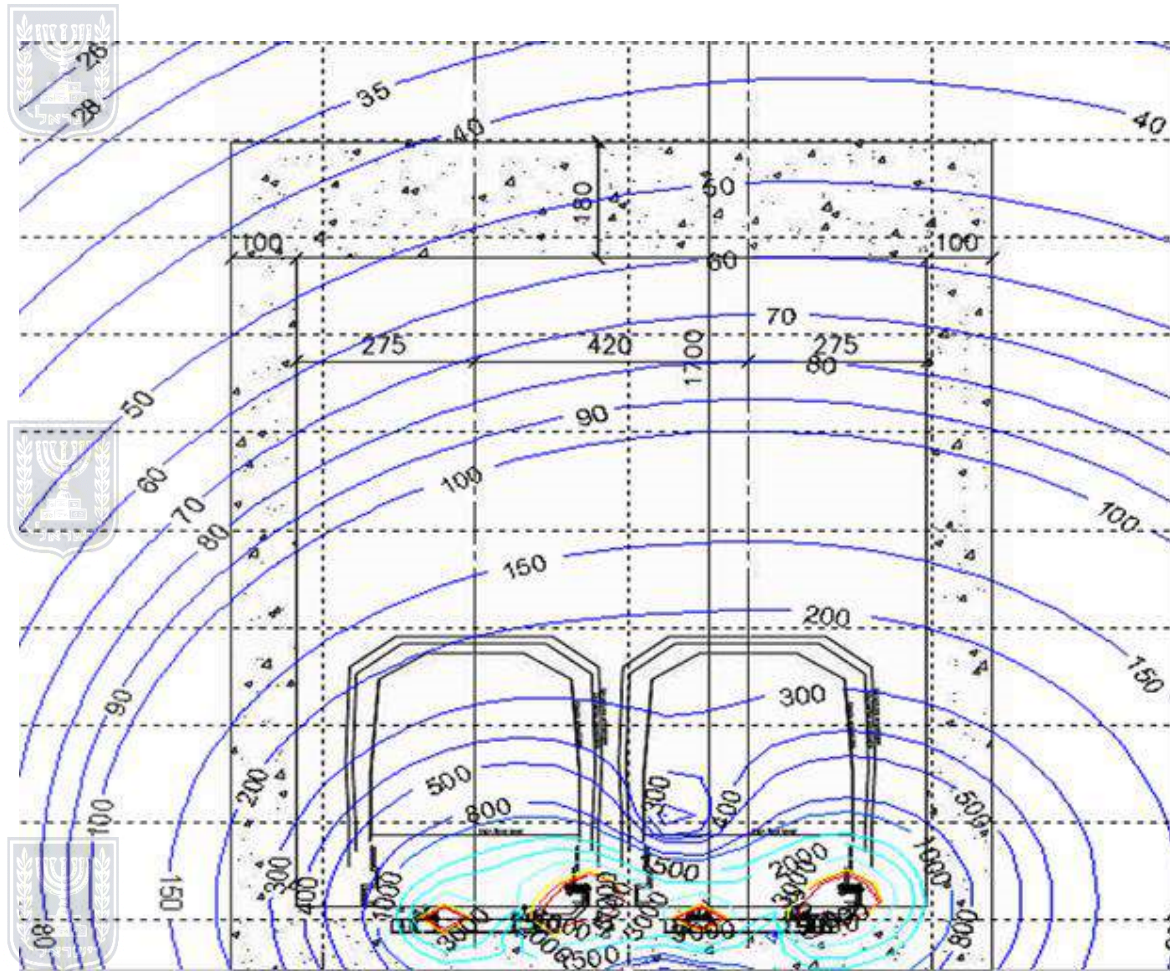
איור 4.4.1.5.1 מציג את שטף השדה המגנטי בזרם ישר של 1500A לשתי רכבות הנעות בכיוונים מנוגדים (מצב שכוח), ואילו איור 4.4.1.5.2 מציג את אותו השטף על רקע חתך המנהרה. מתוך האיורים ניתן לראות ששטף השדה המגנטי הסטטי המרבי – בגובה 1 מ' מעל פני הקרקע (17 מ' מעל המסילה): 40mG (40 מיליגאוס), ובתוך הקרונוט שטף השדה הסטטי המרבי מגיע ל- 500 מיליגאוס. כלומר, בשני המקרים שטף השדה המגנטי הסטטי המרבי עומד בקריטריון 5 גאוס.





איור 4.4.1.5.1 - שטף השדה המגנטי בזרם ישר 1500A (מצב שכיח)



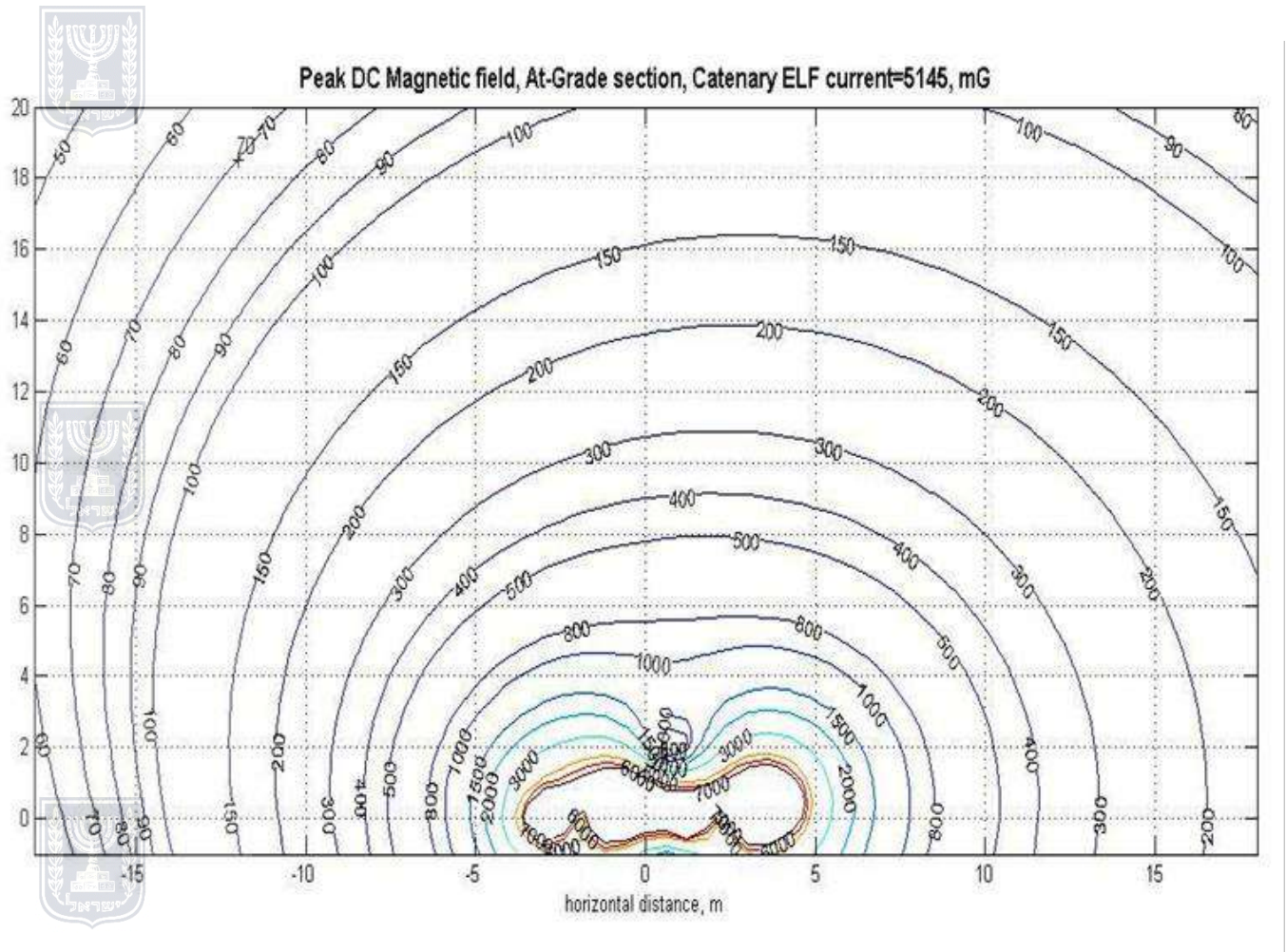


איור 4.4.1.5.2 - שטף השדה המגנטי בזרם ישר 1500A על רקע חתך המנהרה

ב) שטף שדה מגנטי בזרם ישר שיאי של 5145A:

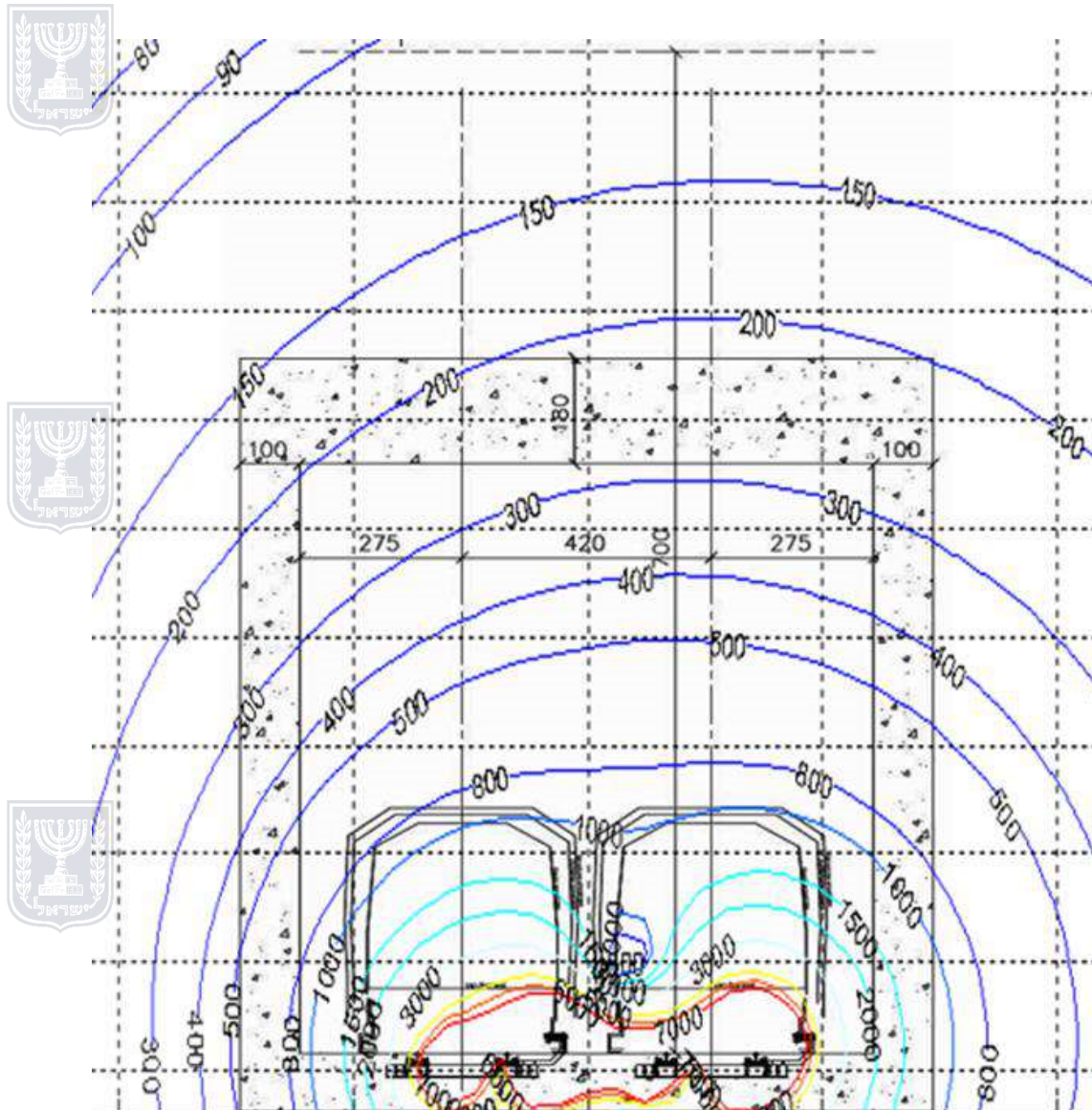
איור 4.4.1.5.3 מציג את שטף השדה המגנטי בזרם ישר שיאי של 5145A לשתי רכבות הנעות בכיוונים מנוגדים, ואילו איור 4.4.1.5.4 מציג את אותו השטף על רקע חתך המנהרה. מתוך האיורים ניתן לראות ששטף השדה המגנטי בכל מקום סביב המסילה ובתוך הרכבת הינו נמוך מסף החשיפה לקוצבלי לב (5000mG), היינו אינו גבוה מ-3000nGauss, בזרם קשר של 5145A.





איור 4.4.1.5.3 - שטף השדה המגנטי בזרם ישר שיאי של 5145A





איור 4.4.1.5.4 - שטף השדה המגנטי בזרם ישר שיאי של 5145A על רקע חתך המנהרה

ג) שטף השדה המגנטי מחושב בזרם חילופין:

איור 4.4.1.5.5 מציג את שטף השדה המגנטי בממוצע יומי, בזרם אדוות של 13.8A בשתי רכבות הנעות בכיוונים מנוגדים, עם זרם של 1500A. מתוך האיור עולים הממצאים הבאים לגבי שטף השדה המגנטי מהמסילה והרכבת הן על פני הקרקע והן בתוך הרכבת:

השטף בפני הקרקע (מעל המסילה): הגובה מעל פלטפורמת המסילה בו התקבל שטף שדה מגנטי של 4mG הוא למעשה גובה גג המנהרה, כ- 8 מ' מתחת לפני הקרקע. אין צורך למפות את נתיב מסילת המטרו לצורך איתור קונפליקטים, שכן מעל פני הקרקע שטף השדה המגנטי יהיה נמוך מאוד ובקושי

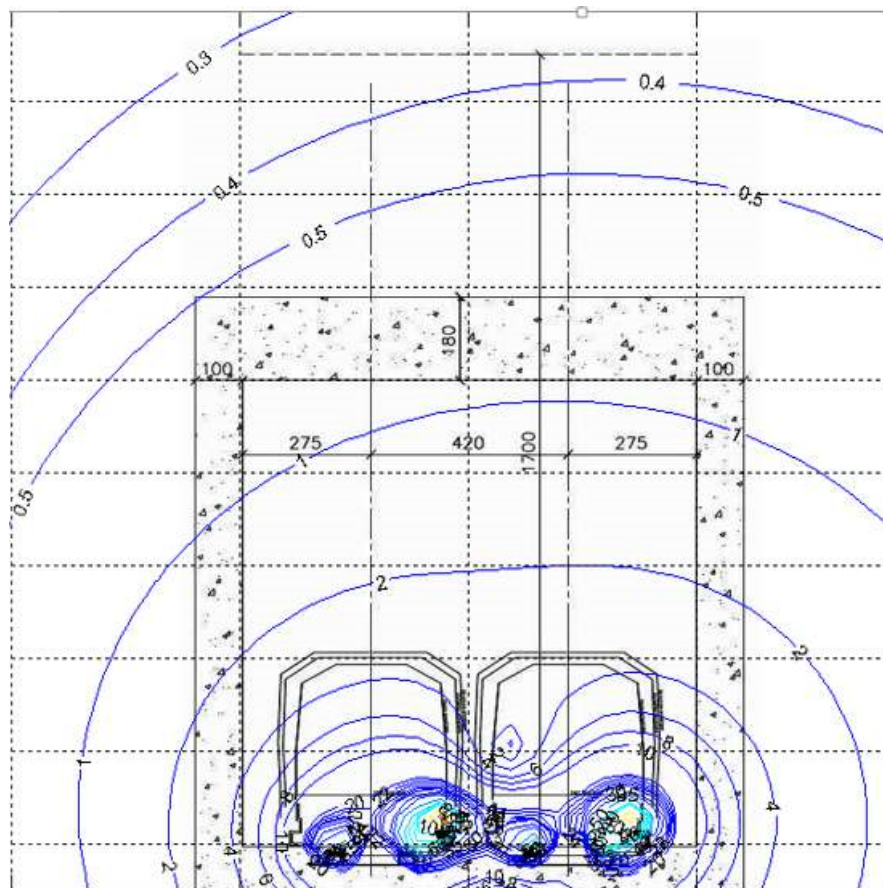




0.1mG שהוא נמוך מאווירת הרקע האופיינית. רכבת המטרו תימצא בתנועה בעומס מירבי של 1500A במנהרה.

כאמור, שטף השדה המגנטי מצטמצם ל- 4mG בזרם ממוצע יומי כבר בתוך המנהרה של המטרו כ- 8 מ' מתחת לפני הקרקע, ועל כן, לא קיימות מגבלות כלשהן מעל פני הקרקע.

שטף השדה המגנטי בתוך הרכבת: הנוסעים בתוך הרכבת ייחשפו לכל היותר לשטף שדה מגנטי של 10mG. אולם, בהתחשב בזמן הנסיעה הקצר, הממוצע היומי לא יהיה גבוה מ- 4mG (הדבר נכון גם לעובדים השוהים ברכבת, בהנחה ששהייה זו מקבילה למשך יום עבודה ואינה עולה על 8-10 שעות ביממה).



איור 4.4.1.5.5 - שטף השדה המגנטי בזרם חילופין

4.4.1.6 שטף השדה המגנטי המחושב למערכת מטרו של 4 פסים

(א) שטף שדה מגנטי בזרם ישר של 1500A (מצב שכוח):

איור 4.4.1.6.1 מציג את שטף השדה המגנטי בזרם ישר של 1500A לשתי רכבות הנעות בכיוונים

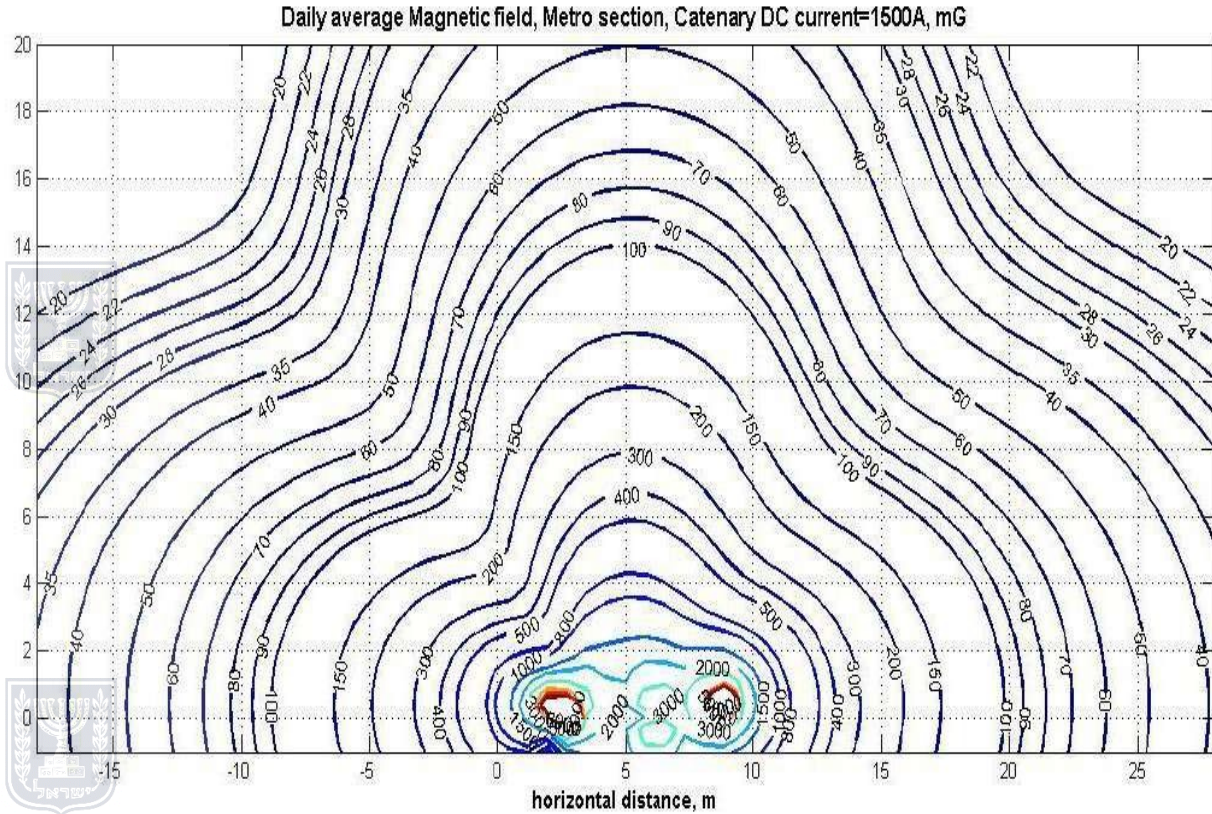
מנוגדים (מצב שכוח), ואילו איור 4.4.1.6.2 מציג את אותו השטף על רקע חתך המנהרה. מתוך האיורים

ניתן לראות ששטף השדה המגנטי הסטטי המרבי – בגובה 1 מ' מעל פני הקרקע (17 מ' מעל המסילה):



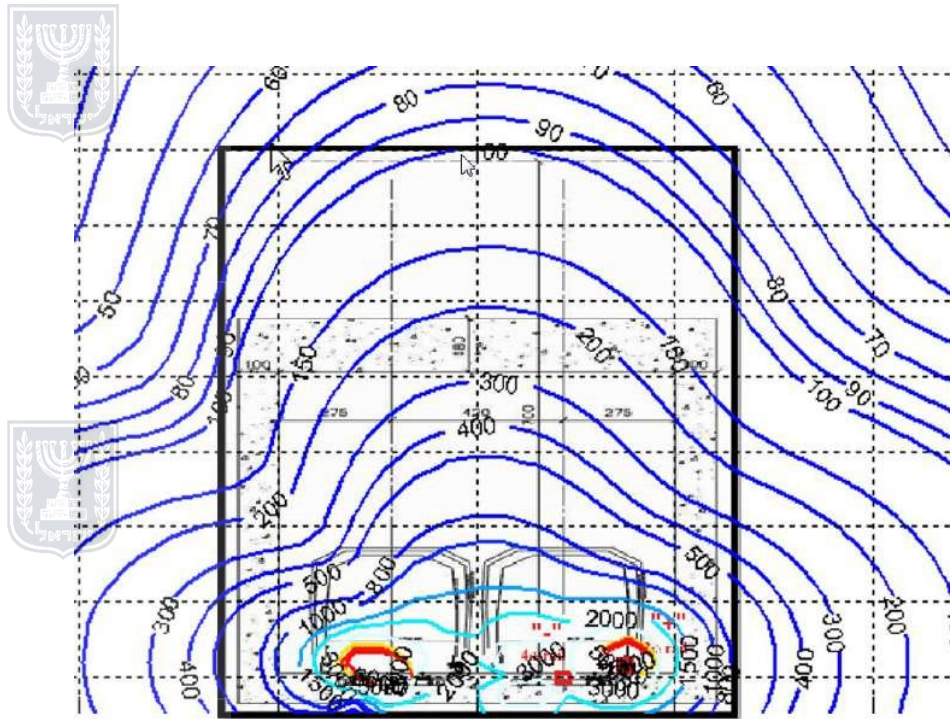


90mG (90 מיליגאוס), ובתוך הקרונות שטף השדה הסטטי המרבי מגיע ל- 2000 מיליגאוס. כלומר, בשני המקרים שטף השדה המגנטי הסטטי המרבי עומד בקריטריון 5 גאוס.



איור 4.4.1.6.1 - שטף השדה המגנטי בזרם ישר אופייני (4 פסים)

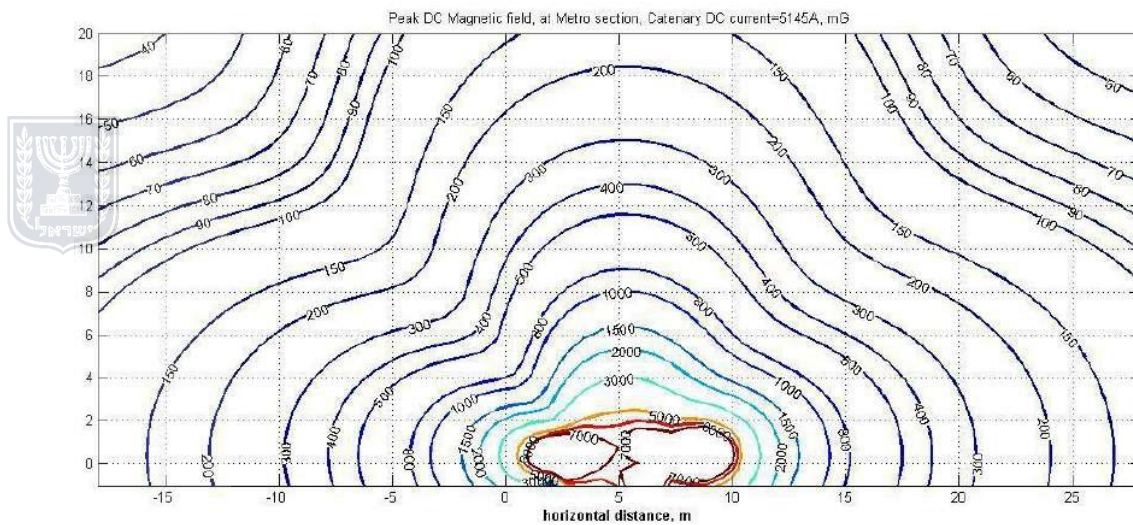




איור 4.4.1.6.2 - שטף השדה המגנטי בזרם ישר אופייני על רקע המנהרה של המטרו

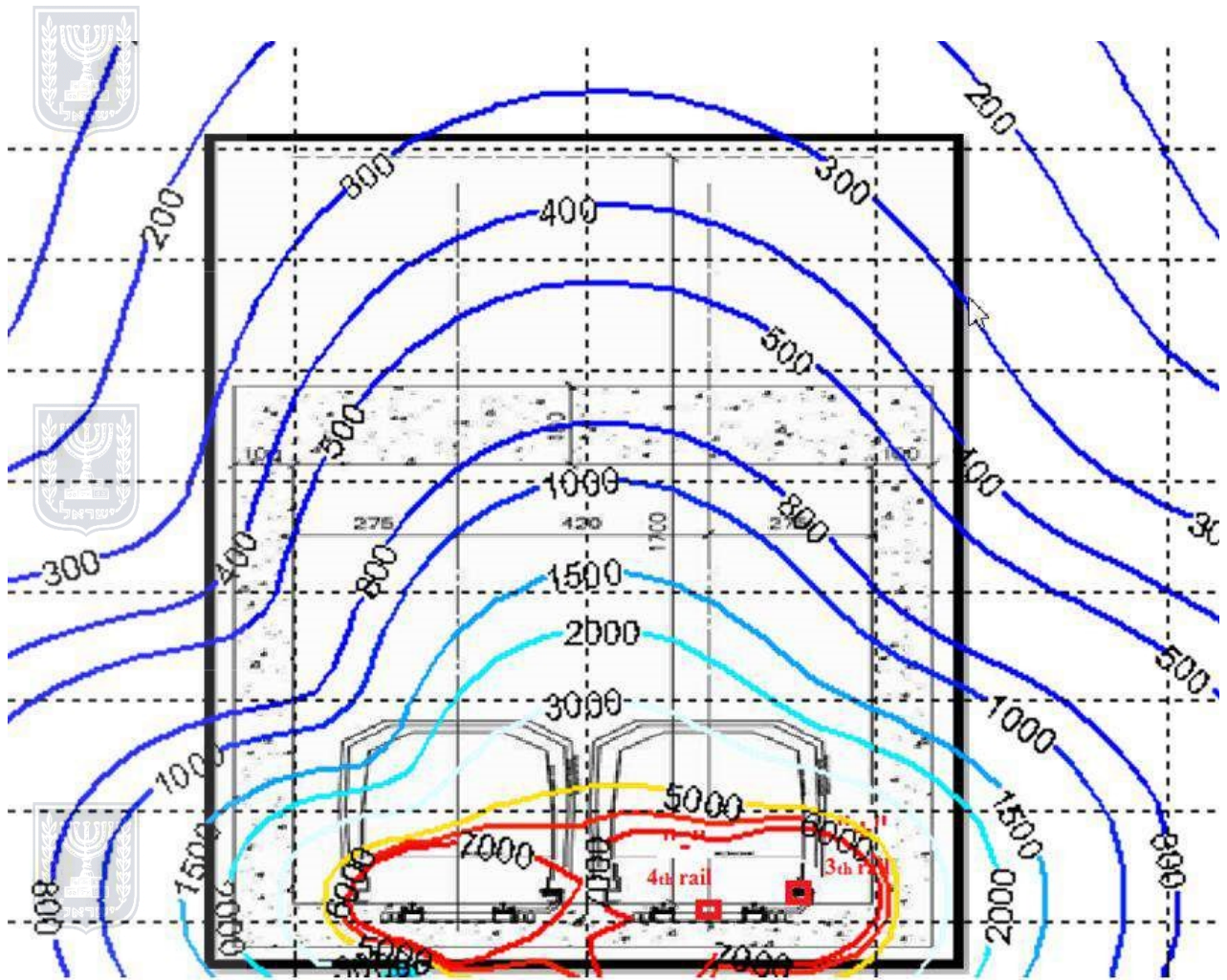
ב) שטף שדה מגנטי בזרם ישר שיאי של 5145A:

איור 4.4.1.6.3 מציג את שטף השדה המגנטי בזרם ישר שיאי של 5145A לשתי רכבות הנעות בכיוונים מנוגדים, ואילו איור 4.4.1.6.4 מציג את אותו השטף על רקע חתך המנהרה. מתוך האיורים ניתן לראות ששטף השדה המגנטי הסטטי בכל מקום סביב המסילה ובתוך הרכבת הינו 7000 מיליגאוס, היינו גבוה מסף החשיפה לקוצבי לב (5000mG); מחוץ למנהרה שטף השדה המגנטי הסטטי אינו גבוה מ-300mGauss, בזרם קצר של 5145A.



איור 4.4.1.6.3 - שטף השדה המגנטי בזרם קצר ישר, 4 פסים





איור 4.4.1.6.4 - שטף השדה המגנטי בזרם קצר ישר על רקע המנהרה של המטרו

ג) שטף שדה מגנטי באדוות זרם ישר של 1500A (ז"ח 13.8A) במערכת של 4 פסים:

איור 4.4.1.6.5 מציג את שטף השדה המגנטי בממוצע יומי, בזרם אדוות של 13.8A בשתי רכבות הנעות בכיוונים מנוגדים, עם זרם של 1500A במערכת של 4 פסים, ואילו איור 4.4.1.6.6 מציג את אותו איור על רקע חתך המנהרה. מתוך האיורים עולים הממצאים הבאים לגבי שטף השדה המגנטי מהמסילה והרכבת הן על פני הקרקע והן בתוך הרכבת:

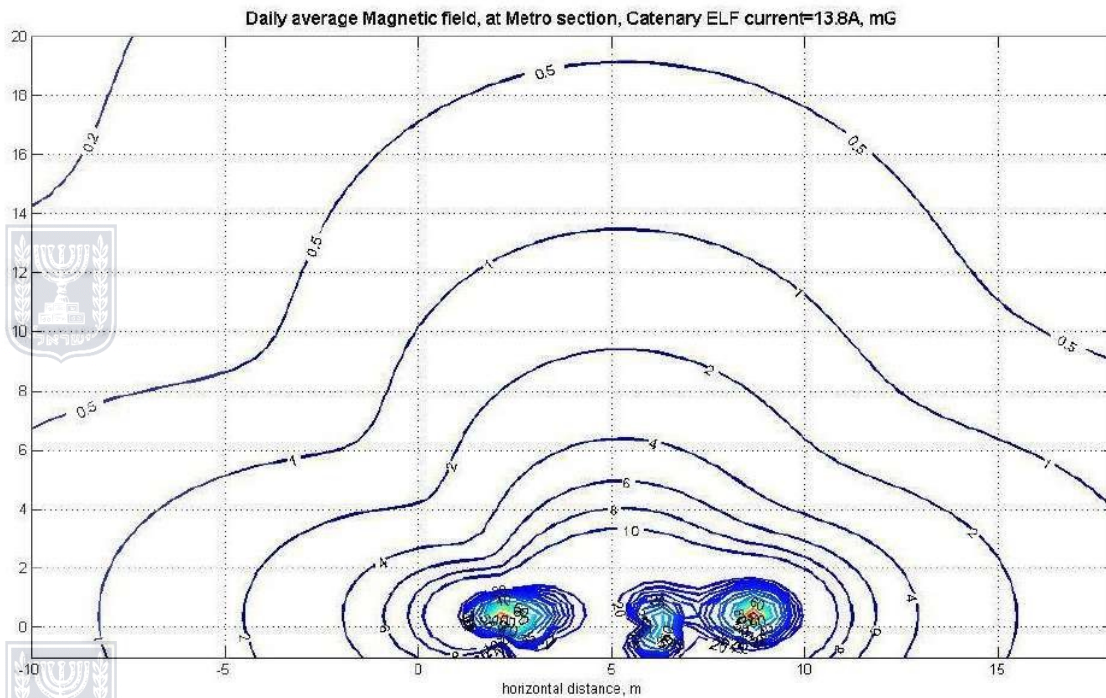
השטף בפני הקרקע (מעל המסילה): הגובה מעל פלטפורמת המסילה בו התקבל שטף שדה מגנטי של 4mG הוא כ- 8 מ' מתחת לפני הקרקע. אין צורך למפות את נתיב מסילת המטרו לצורך איתור קונפליקטים, שכן מעל פני הקרקע שטף השדה המגנטי יהיה נמוך מאוד ובקושי 1mG שהוא נמוך מאווירת הרקע האופיינית. רכבת המטרו תימצא בתנועה בעומס מירבי של 1500A במנהרה.

שטף השדה המגנטי בתוך הרכבת: הנוסעים בתוך הרכבת ייחשפו לכל היותר לשטף שדה מגנטי של 20mG. אולם, בהתחשב בזמן הנסיעה הקצר, הממוצע היומי לא יהיה גבוה מ- 4mG (הדבר נכון

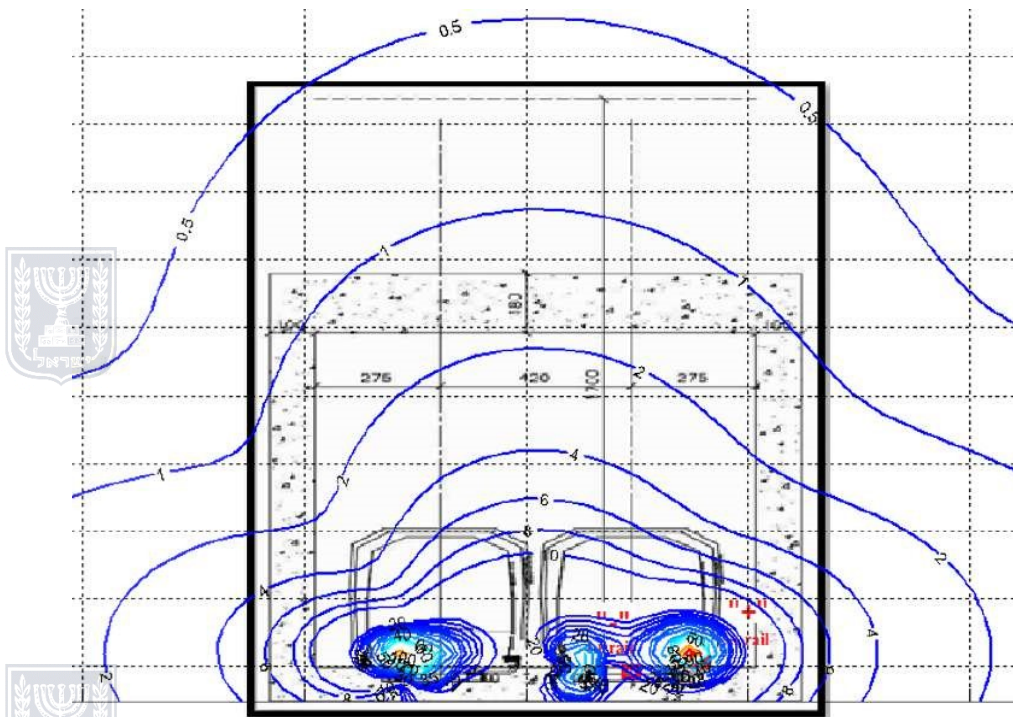




גם לעובדים השוהים ברכבת, בהנחה ששהייה זו מקבילה למשך יום עבודה ואינה עולה על 8-10 שעות ביממה).



איור 4.4.1.6.5- שטף השדה המגנטי בזרם חילופין 13.8A, במערכת של 4 פסים





איור 4.4.1.6.6- שטף השדה המגנטי בזרם אדוות במערכת של 4 פסים, על רקע המנהרה של המטרו

4.4.1.7 סיכום ומסקנות

א. מערכת המבוססת על 3 פסים:

- **שטף שדה מגנטי בזרם חילופין**- טווח הבטיחות לבתי מגורים מעל הקרקע הוא 0 מ' לכן אין שום מגבלות.

- **הנוסעים בתוך הרכבת** - ייחשפו לכל היותר לשטף שדה מגנטי של 10mG אולם בהתחשב בזמן הנסיעה הקצר, הממוצע היומי לא יהיה גבוה מ-4mG.



- **שטף שדה מגנטי בזרם ישר**- שטף השדה המגנטי מעל הקרקע נמוך מ-35mG ואין לו שום השפעה על אדם וציוד. בתוך קרונות המטרו יתכן שטף שדה מגנטי סטטי של 3G שהנו נמוך מסף החשיפה המומלץ לקוצבי לב.

ב. מערכת המבוססת על 4 פסים:

- **שטף שדה מגנטי בזרם חילופין**- טווח הבטיחות לבתי מגורים מעל הקרקע הוא 0 מ' לכן אין שום מגבלות.

- **הנוסעים בתוך הרכבת** - ייחשפו לכל היותר לשטף שדה מגנטי של 20mG אולם בהתחשב בזמן הנסיעה הקצר, הממוצע היומי לא יהיה גבוה מ-4mG.



- **שטף שדה מגנטי בזרם ישר**- שטף השדה המגנטי מעל הקרקע נמוך מ-90mG ואין לו שום השפעה על אדם וציוד. בתוך קרונות המטרו יתכן שטף שדה מגנטי סטטי של 7G שהנו גובה מסף החשיפה המומלץ לקוצבי לב.

4.4.2 השפעת קרינת אלמ"ג ממתקנים נקודתיים

בכל התחנות מתוכננים חדרים טכניים עם מערכות חשמל לייצוב מתח, בקרה וכיו"ב. ההשפעה של מתקנים אלו היא מקומית ואינה צפויה לחרוג בקריטריונים הנדרשים מתחום האזורים הטכניים של התחנה.



בחנית תכנון מתחם הדיפו שערכה חב' (Systra (DTP Depot Design Criteria העלתה כי לא צפויות חריגות מקריטריוני האלמ"ג של המשרד להגני"ס מחוץ למתחם הדיפו – השפעת המקורות צפויה להיות נקודתית/קצרת טווח ובהתאם המתחם אינו יוצר מגבלות בסביבתו בהיבט זה. כמו כן, בהיבט הבטיחותי לא צפויות בעיות מיוחדות בשל ריחוק מקורות קרינה מהאזורים המאוישים במתחם. יובהר כי בשלב התכנון המפורט יבוצע סקר קרינה בכדי לוודא עמידה בדרישות/תקינת גהות תעסוקתית ממתקנים אלו. במקומות נדרשים, יקבעו אמצעי מיגון בהתאם לצורך בכדי לוודא עמידה בדרישות אלו.

התייחסות לתחמ"שים – ראה/י סעיף 4.4.7.





4.4.3 פגיעות מערכות אלקטרוניות לשטף שדה מגנטי

ההשפעה הידועה ביותר הייתה בעבר לצגי מחשב, טלוויזיה ומצלמות וידאו בטכנולוגיה של שופרת קרן קטודית (CRT). הרגישות המזערית של צד מחשב CRT לשטף שדה מגנטי זרם ישר הינה 600mG (קצת יותר מהשדה הגיאומגנטי).

כיום רוב הטכנולוגיות של התקני קרן אלקטרוניים חופשיים הוחלפו בטכנולוגיה בלתי רגישה בעליל לשטף שדה מגנטי מסוג TFT-LCD ומסכי LED ("צגים שטוחים"). טכנולוגיה זו לא רגישה לשדות מגנטיים ואין נתונים מהו בכל זאת השדה המגנטי המרבי שיכול לגרום לשיבוש של צגים שטוחים. הפגיעות של מדיה מגנטית להפרעות מגנטיות בזרם ישר ובתדר הרשת היא כה גבוהה (-6000 10000mG) שאין סכנה לאבדן נתונים המאוחסנים במדיה המגנטית עקב שדות חיצוניים.



באשר לשטף שדה מגנטי המשתנה בזמן, כלומר בתדר הרשת 50 Hz, ציוד המכיל טכנולוגיה של "קרן אלקטרוניים חופשיים" עלול להיות רגיש ביותר להפרעות אלה. הרגישות הגבוהה ביותר מיוחסת למיקרוסקופ סורק אלקטרוני (SEM) אשר רגיש לשדה נמוך עד כ-0.2 mG. מיקרוסקופ סורק אלקטרוני מצוי בסקטורים מסוימים של התעשייה המתוחכמת, כגון תעשיית חצאי-מוליכים ובתעשייה העוסקת בביו-הנדסה. זהו מכשיר יקר ולכן אינו נפוץ באזורים שאינם מכילים תעשיות מתוחכמות (Hi-Tech). מכל מקום ההדמיה שבוצעה לשטף שדה מגנטי חילופין מעל פני הקרקע מצביעה על ערכים נמוכים מ-0.2mG, היינו לא צפויה שום השפעה על מכשירים רגישים כמו מיקרוסקופ סורק אלקטרוני.



א. פגיעות לשדה אלקטרומגנטי (למעט מקלטי רדיו)

פליטת הרעשים האלמ"ג בתדרי רדיו במרחק של 10 מ' מתשתית הרכבת ומהרכבת מוגדרת בתקן EN-50121-2. רגישות מערכות אלקטרוניות להפרעות בתדר רדיו מוגדרת בתקן EN61000-4-3. טבלה 4.4.3.1 שלהלן מציגה את רמות הפליטה לשדה מגנטי ולשדה חשמלי עבור מערכת של מתח עילי 1500V.

טבלה 4.4.3.1: רמות הפליטה לשדה מגנטי וחשמלי

פליטת שדה מגנטי - 150kHz-30MHz (dBμA/m)	פליטת שדה חשמלי - 1000-30 MHz (dBμV/m)	מתח הפס השלישי
65-15	80-65	1500V



למערכת אלקטרונית המכילה חצאי מוליכים, כרטיסים מודפסים ותילים חשמליים חסינות מוגבלת לקרינה אלמ"ג בתדר רדיו. מרבית התקנים האזרחיים מציגים דרישה לחסינות מזערית לקרינה של 1 V/m לציד אלקטרוני כללי ו-3 V/m לאלקטרוניקה תעשייתית ולאלקטרוניקה רפואית. לקוצבי לב אין תקן ספציפי אבל בספרות קיימת דרישה לחסינות מזערית של 100 V/m. חסינות דומה דרושה לעגלת נכים עם מערכת היגוי אלקטרונית. להלן מספר תקנים מייצגים, כולל תקן ישראלי 961 אשר אימץ תקן אירופאי מקביל:

א. תקן ישראלי 961 חלק 8.2, אוגוסט 98 (מודיפיקציה של תקן אירופאי EN 50082-2 ממרץ 95).





חסינות ציוד אלקטרוני תעשייתי לגל רציף, בתחום תדר 80-1000 MHz, אפנון AM תהיה 10 V/m פרט לתדרים הבאים בהם החסינות תהיה 3 V/m : 87-108 MHz; 174-230 MHz; 470-790 MHz

תקן IEC 601-1-2 משנת 93 : חסינות ציוד אלקטרוני רפואי בתחום תדרים 26-1000 MHz תהיה 3V/m.

ב. תקן אגוד התקנים לטלקומוניקציה האירופאי (ETSI), ETS 300 386-1 בנושא חסינות ציוד טלקומוניקציה לקרינה בתדרי רדיו : שלושה סיווגים של ציוד, Class 1-3 להם מוגדרת חסינות של 1V/m, 3 V/m ו- 10 V/m, בהתאמה בתחום תדרים 1000 MHz - 150 kHz.

ג. תקן צבאי (ארה"ב) של חסינות לקרינת רדיו ברמת התיבה, MIL-STD-461E, בחינה RS103 :



חסינות	תחום תדר
20 V/m	10 kHz - 2 MHz
50 V/m	2 MHz - 40 GHz

בהשוואה בין החסינות הנדרשת של מערכות אלקטרוניות לבין הדרישה של פליטה מרבית אלקטרומגנטית בה תעמוד תשתית רכבת המטרו, ניתן לראות פער גדול מאוד בין רמת הפליטה האלקטרומגנטית הצפויה, הקטנה מ-60 mV/m, לבין חסינות מזערית של ציוד אלקטרוני, שבמקרה הגרוע ביותר לא תקטן מ-1 V/m, היינו פי 16 טוב יותר מרמת הפליטה התקנית לתשתית במרחק של 10 מ'.



תודות לעומק המנהרה של רכבת המטרו, השדה החשמלי שיופץ בגובה פני הקרקע יהיה נמוך בהרבה מ-1V/m כך שלא צפויה שום השפעה של קרינה בתדר רדיו על מערכות אלקטרוניות לאורך ציר המטרו ומעליו.

ב. פגיעות לשדה אלקטרומגנטי בתדר רדיו של מקלטי רדיו

הפרעות בתדר רדיו תיתכנה למקלטי רדיו שרגישותם גבוהה בהרבה מזה של ציוד אלקטרוני "רגיל" שאינו פועל בתדרי רדיו. למקלטי רדיו רגישות גבוהה המאפשרת קליטה של אותות בעוצמה שאינה עולה על 20-30 $\mu\text{V/m}$. רגישות זו מאופיינת לרוחב סרט צר סביב תדר העבודה של המקלט כך שהפרעות רחבות סרט האופייניות לפעילות של תחבורה חשמלית (כגון היווצרות שדות אלקטרומגנטיים רגועים עקב ניצוצות חשמליים ופריקת קורונה של מתח גבוה), לא תחדרנה בהספק משמעותי למקלט צר סרט. הניסיון מלמד שעד 40dB $\mu\text{V/m}$ אין הפרעות למקלטי רדיו. על פי העבודה שבוצעה באוניברסיטת יורק יש לצפות שטווח ההפרעות שייגרם למקלטי רדיו AM יהיה בין 560 מ' ל-1500 מ', ראו להלן טבלה 2-4. עקב אופי פליטת ההפרעות מהתשתית של הרכבת המטרו לא סביר שייגרמו הפרעות למקלטי רדיו FM. אם תהיינה הפרעות בטווח קצר מהמסילות הן תהיינה רגועות בזמן. על פי נתוני המסמך הנ"ל לגבי מקלטי רדיו וטלוויזיה בבתי מגורים ומשרדים, נרשמו הפרעות נדירות בתשתיות של רכבת קלה באירופה ורק בטווח קצר מ-10 מ'. במקרים נדירים של הפרעות קבועות למקלטי רדיו, קיימים פתרונות טכניים להקטנת הצימוד של הפליטה האלקטרומגנטית בתדר רדיו



⁴ York University UK - Potential EMI to Radio Services from Railways Final Report (AY4110) for Radio Communication Agency



מתשתית הרכבת אל המקלט הרגיש. פתרונות אלה כרוכים במניעת ניצוצות בין הפנטוגרף לבין הקטנרי על ידי שיפור ההחלקה ביניהם ושיפור ניחות הפליטה המוקרנת ממערכות הספק אלקטרוניות הפועלות ברכבת עצמה. לגבי שידור בגלים קצרים (תחום תדרי ה-HF), כאן עדיין קיימים שירותים אלחוטיים רבים, אולם ספקטרום התדרים ב-HF הוא ממילא עמוס ברמות הפרעה בהרבה מעל $40 \text{ dB}\mu\text{V/m}$ כך שתוספת הרעש האלמ"ג מהרכבת המטרו לא תורגש, כפי הנראה, במיוחד בהתחשב בקליטה צרת הסרט של מקלטי HF (כ-5kHz).

טבלה 4.4.3.2 מתייחסת למקלטי AM עבור הזנה ב- 15 kV ac . כפי הנראה ב 1.5 קילו וולט זרם ישר הטווחים יהיו קצרים יותר.

טבלה 4.4.3.2: מרחק הגנה למקלטי AM, 15 kv a/c catenary



Service	Interference Tolerable	EN50121 Limits	Protection Distance Required
LW Broadcasting	40 dB μ V/m	67.3 dB μ A/m (200 kHz)	1.5 km
MW Broadcasting	40 dB μ V/m	52.1 dB μ A/m (1 MHz)	850 m
SW Broadcasting	40 dB μ V/m	30.4 dB μ A/m (10 MHz)	560 m

תקן EN-50121-2 מפרט את רמת ההפרעות המוקרנות המרביות בטווח של 10 מ' מתשתיות הרכבת המטרו. בשלב הרכש של מערכות רכבת המטרו והקמת התשתית, יידרש להבטיח עמידה בתקן זה כדי להביא להקטנת המקרים שבהם תיגרמנה הפרעות אלקטרומגנטיות למערכות אלקטרוניות ולמקלטי רדיו.



ג. סיכום תאימות אלמ"ג בין מערכות אלקטרוניות לשדה אלקטרומגנטי בסביבת אזור המסילה

בשלב זה אין מדידות של שדה הקרינה האלקטרומגנטי בתדר רדיו מחוץ לאזור המסילה. על סמך דרישות התקן האירופאי, יש להבטיח בטווח של 10 מ' מהמסילה, שדה אלקטרומגנטי העומד בתקן. על פי הניחות הצפוי להתפשטות הקרינה דרך שכבות האדמה מעל המנהרה אין ספק שדרישה זו תבוא על סיפוקה, לא יגרם שיבוש של מערכות אלקטרוניות מהשדה האלמ"ג בתדר רדיו ולא ייתכן שיבוש של מקלטי רדיו באפנון AM ובאפנון FM.



הפרעות לציוד אלקטרוני רפואי תומך חיים במוסדות בריאות נחשב לקריטי ביותר. חסינות ציוד זה לשדה חשמלי הנה 3 V/m (לפי IEC 601-1-2). במרחק גדול מ-10 מ' השדה החשמלי נמוך מזה. יש להתחשב בציוד אלקטרוני רפואי בעל צגי שק"ק העלול להיות רגיש לשטף שדה מגנטי של 2 mG . במקרה זה מומלץ טווח מזערי של 12 מ' בין תשתית רכבת המטרו לבין מוסדות בריאות. הואיל ועומק המנהרה הנו 17 מ' דרישה זו מתמלאת במלואה.

ד. השפעות על שימושי קרקע, לרבות "שימושים רגישים" לאורך התוואי

במונח "שימושים רגישים" הכוונה למתחמים כמו בתי חולים, בסיסי צה"ל, מוסדות חינוך, מוסדות אקדמאיים, וכדומה. בניגוד לרכבת הקלה העילית שעלולה להשפיע על שימושים רגישים אלה, רכבת המטרו התת קרקעית לא תשפיע כלל ועיקר על מערכות עיליות המוגדרות "שימושים רגישים". ניתן לסמן לאורך התוואי שימושים אלה אין בכך צורך שכן על פי תוצאות החיזוי, עוצמת השדות





האלקטרומגנטיים לא תחרוג מערכי הסף המומלצים על ידי המשרד להגנת הסביבה במפלס הרחוב. השפעות על תשתיות טמונות כמו כבילת טלפון, אינטרנט, טל"כ, צנרת מים, צנרת דלק, צנרת גז וכיו"ב הכוללות קורוזיה ו/או השראת מתחים לא נאמדו בדוח זה כיוון שאין עדיין מידע מדויק ומפורט על מיקום תשתיות אלו ביחס לציר הרכבת המטרו ועל היחסים הגיאומטריים (מרחק ומקבילות) של תשתיות אלה מהציר.

כל התשתיות האורכיות (במקביל לציר המטרו) עוברות מחוץ לרצועת רכבת המטרו. תשתיות חוצות, תהיינה בעומק של 1.40 מ' לפחות⁵. קיים לפיכך הפרש גבהים של כ- 15 מ' בין התשתיות הטמונות לבין מסילת המטרו ולכן לא צפויה שתהיה עליהם כל השפעה מהתכנית.



ה. סיכום ומסקנות

• **תאימות אלמ"ג בין מערכות אלקטרוניות לשדה אלקטרומגנטי מעל מסילת המטרו** - לא צפונית הפרעות למערכות אלקטרוניות רגישות כמו SEM ולא למקלטי רדיו מסוגים שונים.

הפרעות לציוד אלקטרוני רפואי תומך חיים במוסדות בריאות נחשב לקריטי ביותר. חסינות ציוד זה לשדה חשמלי הנה $3V/m$ (לפי IEC 601-1-2). במרחק גדול מ-10 מ' השדה החשמלי נמוך מזה. לא תהיה השפעה כלשהי על מערכות אלקטרוניות תומכות חיים.

• תשתיות - השפעות על תשתיות טמונות כמו כבילת טלפון, אינטרנט, טל"כ, צנרת מים, צנרת דלק, צנרת גז וכיו"ב הכוללות קורוזיה ו/או השראת מתחים לא נאמדו בדוח זה כיוון שאין עדיין מידע מדויק ומפורט על מיקום תשתיות אלו ביחס לציר הרכבת המטרו ועל היחסים הגיאומטריים (מרחק ומקבילות) של תשתיות אלה מהציר. על פניו לא צפויות השפעות שכן קיים הפרש גבהים של 15 מ' בין מנהרת המטרו לבין התשתיות הטמונות הסמוכות לפני הקרקע.

• תשתיות טלוויזיה בכבלים: לא צפויות הפרעות

• תשתיות טלפוניה של בזק: לא צפויות הפרעות.

4.4.4 פתרונות אפשריים למניעת השפעות שליליות מזרמים תועים

זרמים תועים (Stray Currents) הינם זרמים הנגרמים כאשר ההספק החשמלי הנוצר להזנת קווי המטרו זולג לקרקע ולכל מבנה מתכתי בסביבתו, במקום לחזור לשנאי דרך פסי הרכבת המיועדים לשמש כמוליכי זרם חוזר למקור ההזה עפ"י התכנון. זרמים אלה עשויים לייצר קורוזיה מואצת בתשתיות מתכת הסמוכות לקווי המטרו - תופעה מוכרת בעולם בפרוייקטים מסוג המטרו, שכן קווי המטרו עוברים בסמוך למבנים המכילים קונסטרוקציה מפלדה ומערכות מתכתיות נוספות: צנרת מים, מיכלי מתכת ועוד.

המסילה המתוכננת ומערכות המטרו עוברות במנהרת בטון ומבודדת בהיבט החשמלי (כך שזרמים חוזרים עוברים בתוך חלל המנהרה כמתוכנן). למרות זאת, קיימת אפשרות לקליטת ופליטת זרמים לא מבוקרת (זרמים תועים) לפלדת מבנים/מערכות מתכתיות הנמצאים בצמידות/קרבה גבוהה (עשרות מ')



⁵ עלפי מידע שהתקבל ממר אבישי נוה – מנהל התכנון של הקו הסגול בתל אביב.