

ט"ז ניסן תשפ"א  
29 מרץ 2021  
153/MZM/RADHAZ-ELF/מוסדי

**מר גל גרונר - גרונר ד.א.ל. מהנדסים בע"מ**

gal@grdel.co.il, ט.ל. 04-8559111, פקס. 04-8559100, נייד. 050-5213945

מר חגי שושני - גיא סי יעוץ לתעשייה - טל 08-3750890 נייד 054-6565645

מר אהרון בוזגלו – אוניברסיטת בר אילן - נייד 054-6603316

מר גדי בוגנים אוניברסיטת בר אילן - נייד 054-6603318

**הנדון: סקר מעשי ותיאורטי של שטף השדה המגנטי לאורך החלופה  
הדרומית של תוואי המטרו M2 בקמפוס אוניברסיטת בר אילן**

**סימוכין:**

- 1) Guidelines on the Limits of Exposure to Radiofrequency Electromagnetic Fields in the Frequency Range from 100kHz to 300GHz, ICNIRP – International Radiation Protection Association Guidelines, Health Physics, January 1988, Volume 54, No. 1.
- 2) הנחיות הממונה על הקרינה במשרד להגנת הסביבה (הג"ס), יולי 2002, הגבלת שטף השדה המגנטי לסף חשיפה סביבתי; עדכון המלצות המשרד להג"ס בספטמבר 2013 לסף חשיפה התואם את המלצות ועדת מומחים שמינה המשרד.
- 3) מסמך הנדסת תאימות ובטיחות בע"מ, חיזוי שטף שדה מגנטי בקו המטרו M2, 18 אוגוסט 2019
- 4) חוות דעת משה נצר - קרינה אלקטרומגנטית תתל 102, חלופה דרומית של מטרו M2, 6.12.2020
- 5) חוד משה נצר על השפעות שדות אלמג על ציוד מדעי באוניברסיטת בר אילן, 1 נובמבר 2020

**1. נתונים אדמיניסטרטיביים ותקציר מנהלים**

**1.1 מטרת הסקר:**

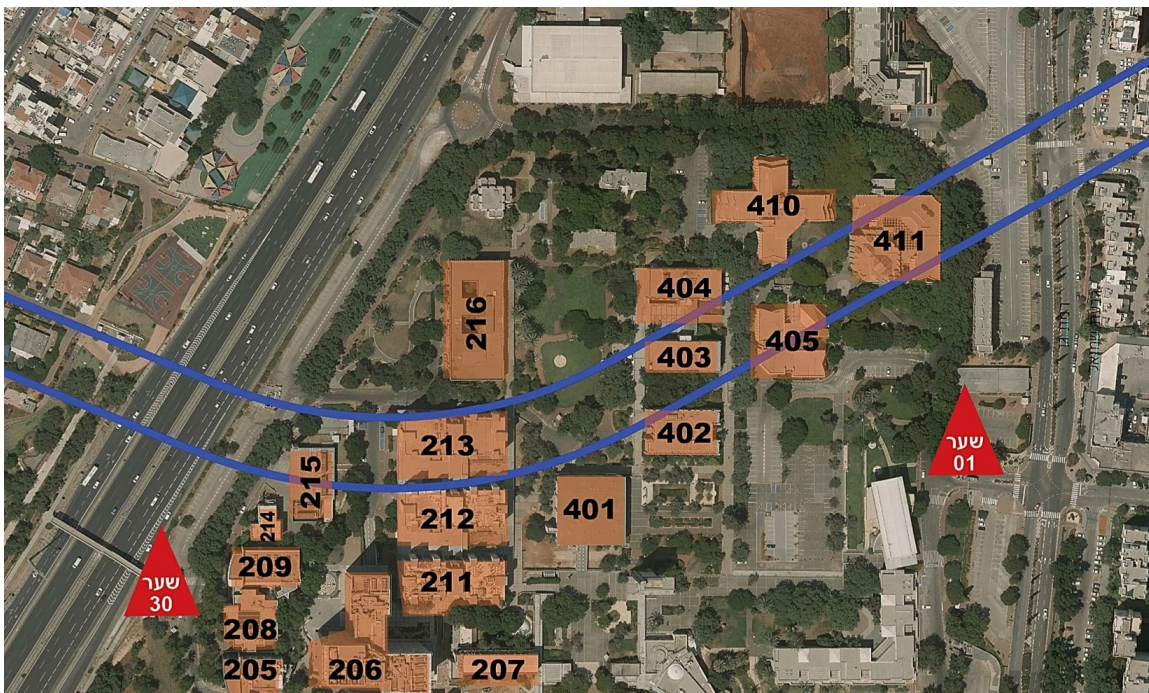
מיפוי שטף השדה המגנטי בתדר 50 Hz, הקיים לאורך מסלול החלופה הדרומי של קו המטרו M2 בשטח הקמפוס של אוניברסיטת בר אילן. תוצאות המדידה הושו לאומדן שבוצע לקו המטרו M2 (סימוכין 3).

**1.2 קריטריון הבטיחות והתאימות האלמ"ג:**

בטיחות חשיפה לשטף שדה מגנטי - ראה פרק 2  
תאימות אלמ"ג – ראה טבלה להלן מסימוכין 5

תוצאות אומדן תאורטי (סימוכין 3, 5)		נתוני בר אילן	מרחק מהמטרו	בניין
שטף שדה מגנטי סטטי מזרם קצר או עומס מרבי	שטף שדה מגנטי סטטי מזרם הנעה נורמלי	רגישות ציוד מדעי לשדות אלמ"ג		
mG	mG	mG	מ'	
0.82	0.28	1-10mG ac dc אין נתוני	123	202
-	-	רגישות נמוכה	123	204
0.35	0.075	אין נתונים	111	205
3.7	1.0	10µG ac	49	206
0.46	0.14	רגישות בינונית	82	207
0.6	0.17	לא נתון	72	208
1.7	0.5	רגישות גבוהה	43	209
1.8	0.52	1-10mG ac dc אין נתוני	42	211
-	-	רגישות נמוכה	5	212

- 1.3 מקום וזמן הבדיקה:  
הסקר של קרינת הרקע נערך ביום 17/03/2021 בין השעות 10:00-14:00. המדידה בשעה זו מבטיחה ערכי צפיפות שטף שדה מגנטי מרביים בהתאם לעומס עונתי תחת מעגלי מתח עליון העוברים בסמוך לשטח שנסקר.  
נקודות הבוחן למדידה במרחב היו בגובה של 1 מ'.  
1.4 מזמין הסקר:  
אינג' גדי בוגנים.  
1.5 מבצע הסקר:  
ברוך סרור – הרשאת המשרד להגנת הסביבה למדידת קרינה, מ.ר. 2050-03-5, הנדסת תאימות ובטיחות בע"מ.  
1.6 שיטת המדידה ומכשור המדידה:  
מדידה ישירה של שטף שדה מגנטי באמצעות ציוד מדידה רחב סרט – Tenmars TM-192D S.N  
120600218 Triaxle ELF Magnetic Field Meter, כיול בר תוקף ספטמבר 2021  
1.7 תיאור המתחם בו בוצע המיפוי ומקורות שטף השדה המגנטי  
נמדדו ערכי שטף השדה המגנטי במסלול החלופה הדרומית של קו המטרו M2 בקמפוס אוניברסיטת בר אילן.



איור 1 : אזור תוואי החלופה הדרומית של קו המטרו M2 (מסומן בכחול) בקמפוס אוניברסיטת בר אילן



צילום 1: מראה חלק מהשטח הנמדד



צילום 2: מראה חלק מהשטח הנמדד



צילום 3: ק. הקרקע בניין 213 הנמצא מעל תוואי המטרו M2

## 2. קריטריון הבטיחות<sup>2</sup>

### הגבלת החשיפה לשדה מגנטי כתלות במשך החשיפה (עדכון מרץ 2020)

סוג זה של קרינה הוגדר על ידי ארגון הבריאות העולמי – מסרטן אפשרי. ככל שהזרם העובר במתקן גבוה יותר, כך גדל השדה המגנטי הנוצר סביב המתקן. בישראל, כמו במדינות רבות אחרות, לא נקבע עדיין בחקיקה סף מחייב לחשיפה כרונית לשדה מגנטי שמקורו במתקני חשמל. חשיפה כרונית, או חשיפה רצופה וממושכת, מוגדרת – שהייה של בני אדם דרך קבע במבנה מאוכלס שהוקם כדיון, במשך 4 שעות לפחות ביממה, במהלך 5 ימים לפחות בשבוע. יש לקבוע מדד כמותי לצרכים אלו ואחרים: תכנון הנדסי של מערכות חשמל בסביבת שימושי קרקע לשהייה ממושכת; מתן היתרי הקמה והפעלה למתקני חשמל; פרשנות של תוצאות מדידות סביב מתקני חשמל. בהתחשב במידע הקיים, בפרקטיקה במדינות מפותחות ובספים שאליהם מתחייבות באופן וולונטרי חברות חשמל במדינות מפותחות, משרד הבריאות והמשרד להגנת הסביבה הציעו סף לממוצע ביממה עם צריכת חשמל אופיינית מרבית – הערך של 4 mG ערך זה מתבסס על היעדר חשש לתחלואה בחשיפה לשדה מגנטי שבממוצע שנתי אינו עולה על 2 מיליגאוס. כמו כן הסטטיסטיקה מראה שהיחס בין הזרם הממוצע ביום עם צריכת שיא גבוה פי 2 יותר מהזרם בממוצע השנתי. ביום עם צריכת שיא טיפוסית קיים ניצול של 60% מיכולת מערכת החשמל (יש מתקנים שבהם שיעור הניצול שונה). אם זרם החשמל בזמן המדידה ידוע או נמדד, יש לנרמל את התוצאה של מדידת החשיפה לפי היחס בין הזרם המרבי היכול לעבור דרך המתקן לזרם שעבר בו

בזמן המדידה. לא תמיד אפשר למדוד או להעריך את הזרם העובר במתקן בזמן ביצוע מדידה של החשיפה לשדה מגנטי. בהיעדר נתון זה, כאשר מקור החשיפה הוא מתקן בתוך בניין, הפעלת כל הצרכנים העיקריים בבניין, דוגמת מערכת מיזוג האוויר, תהיה ייצוג מספיק לקיום התנאי של עומס מרבי בעת המדידה. כאשר מקור החשיפה קווי חשמל שהזרם דרכם אינו ידוע, מקדם הנרמול ייקבע לפי שיקול דעת בעל ההיתר בין 2-5.0 לפי שעת המדידה, העונה, האזור ועוד. יש מקומות שבהם החשיפה היא של 24 שעות ביממה כמו החשיפה בתוך מבנה מגורים (חדרי שינה, אורחים, מטבח, מרפסת סגורה וכדומה). עם זאת יש מקומות שבהם החשיפה מוגבלת וזמן החשיפה מוגדר כמו מקומות עבודה, אמצעי תחבורה ציבורית ופרטית, אזורי מעבר, מרפסות פתוחות, גינות פרטיות וכדומה. אף שאין עדות מובהקת לסוג הקשר בין זמן החשיפה להשפעת החשיפה על הבריאות, מוצע לנקוט את עקרון ההיזהרות ולהניח קשר ישיר וליניארי בין משך החשיפה לעוצמתה. בהנחה זו אפשר להשתמש במדד של 4 mG בממוצע ביממה שבה צריכת חשמל אופיינית מרבית לצורך הערכת רמת החשיפה כתלות במשך החשיפה.

ההצעה להלן משמשת כמידע מנחה מתוך הפעלת שיקול דעת של כל מי שמתכנן קרבה בין אזור מאוכלס למתקן חשמל, בכל מקרה לגופו. לדוגמה, מומלץ לא להשתמש בסוג זה של ממוצע בכל הקשור לחשיפה במוסדות חינוך שבהם לומדים ילדים מתחת לגיל 15. במקרה זה יש לתכנן שהקרנה בכיתות הלימוד לא תעלה על 4 מיליגאוס בשום מקום ישיבה של הילדים. בשאר האזורים של מוסדות חינוך (מסדרונות, חצרות וכדומה) יש להשתמש במדד של 4 mG בממוצע ביממה שבה צריכת חשמל אופיינית מרבית, לצורך הערכת רמת החשיפה כתלות במשך החשיפה.

אם אדם נמצא סמוך למתקן חשמל זמן של T שעות בכל יום, החשיפה סמוך למתקן החשמל היא B<sub>w</sub>. סך כל החשיפה הממוצעת שלו לאורך כל היממה היא B<sub>0</sub> והחשיפה בשאר הזמן ביממה היא:

$$B_{\text{ממוצע}} = \frac{B_w \cdot T + B_0 \cdot (24 - T)}{24}$$

אף שהחשיפה של אדם שלא נמצא סמוך למתקן חשמל אינה עולה לרוב על 4.0 מיליגאוס, יש להביא בחשבון שחשיפה זו היא 1mG בממוצע. לכן B<sub>0</sub> = 1mG. אם יש מדידה אמינה של קרינת הרקע, וזו עולה על 1mG יש להשתמש בתוצאת המדידה. לפי המלצה משותפת של משרד הבריאות והמשרד להגנת הסביבה, החשיפה הממוצעת ביום עם צריכת חשמל טיפוסית מרבית חייבת להיות נמוכה מ-4 מיליגאוס B<sub>0</sub> < 4mG, לכן אם ידוע זמן שהייה בשעות ביממה, סמוך למתקן חשמל, יש להגביל את החשיפה במיליגאוס כמופיע בנוסחה: אם ידועה רמת הקרינה, B<sub>w</sub> בעקבות חישוב או בעקבות מדידה ונרמול לזרם מרבי, יש להגביל את זמן שהייה

$$B_w < \frac{72}{T} + 1$$

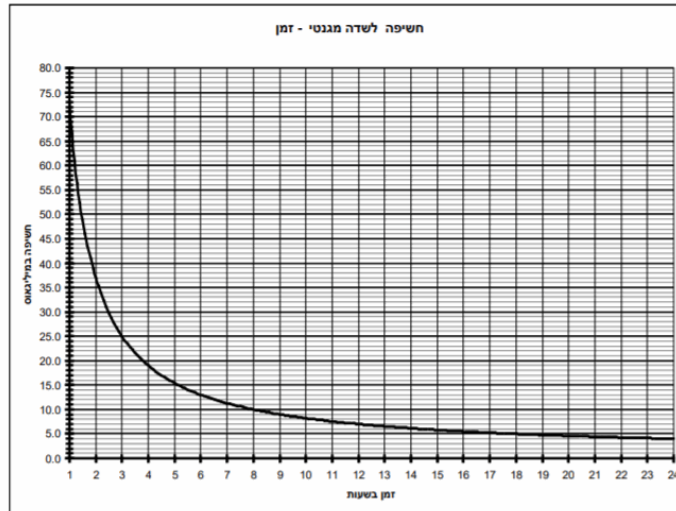
כמופיע בנוסחה:

$$T < \frac{72}{B_w - 1}$$

בשיקולים אלו ההתייחסות לחומרה, מבלי להביא בחשבון את החשיפה הנמוכה בימי המנוחה בסופי השבוע, וזאת כדי לקיים את עקרון ההיזהרות.

ערכים אלו הם בסיס בקביעת הצורך לטפל בהפחתת החשיפה סביב מתקנים קיימים.

אזהרה: אין להשתמש בנוסחאות אלו בעבור זמן שהייה נמוך משעה ביממה ובעבור חשיפה של פחות מ-1 מיליגאוס.



24	18	12	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	זמן שהייה (שעות)
4	5	7	8.2	9	10	11.3	13	15.4	19	25	37	73	רמת חשיפה (mG)

### 3. תוצאות המדידה

צפיפות שטף השדה המגנטי נמדדה במילי-גאוס (mG). הערך המוצג הינו שקלול וקטורי של שטף השדה המגנטי בצירים X,Y,Z.  
המדידה בוצעה בגובה של 1 מ'.

**טבלה 1: תוצאות מדידת שטף השדה המגנטי בשטח התארגנות גן הבנים**

מס' סידורי	תיאור נקודת המדידה	מספר בניין	נ"צ	תוצאת המדידה mG	צריכת זרם בעת המדידה A	הערות
1	בחוף ליד	215	185130/663886	0.88		
2	צד דרום מזרח	215	185136/663870	0.75	400	
3	בין מבנה 215 ל 212		885164/66387	0.38		
4	בתוך מבנה	212	185195/663877	20	130	מתחת לסלמת כבלים
5	ליד ארון חשמל חדר S6	212	185203/663878	2.6		
6	ליד המדרגות מול המעלית	213	185211/663918	0.5	120	
7	מול הכניסה לבית גסנר	213	185182/663935	0.43	120	
8	בחצר בין מבנה 213 למבנה 403		185260/663927	1.2		
9	בצד המערבי	403	185316/663964	0.3		
10	ליד שרותי גברים	403	182348/663958	1	663	
11	בי"ס לימודים מתקדמים	403	185352/663970	0.3		
12	מחוץ למבנה ליד הקנטינה	405	185368/663983	0.25		
13	מסדרון	405	182363/663996	0.4	100	
14	בית כנסת	411	185436/664006	0.25	112	
15	בחוף	411	185447/664040	0.25		
16	קומה 2- חדר A001 HIMFIV	בניין ננו	185194/663795	0.25	1800	
17	קומה 1- חניון מס 62	בניין ננו	185329/663817	0.49		
18	מעבדת מייקל רוזנבלום	209	158211/663834	0.5	240	
19	בית החיות 45A כניסה לחדר 002	208	185115/663810	0.3		
20	ליד חדר 005	208	185105/663803	0.45		
21	חדר 16 מעבדת שוטנשטיין	214	185103/663863	0.5	22	

**סיכום ביניים:** טבלה 1 מציגה את תוצאות מדידות הייחוס של צפיפות שטף השדה המגנטי בחצר ובמבנים בקמפוס

אוניברסיטת בר אילן באזורים הסמוכים לתוואי המטרו M2. בנוסף לכך בוצעה מדידת שטף שדה מגנטי במעבדות העשויות לאכלס ציוד רגיש לשטף שדה מגנטי. הבדיקות בוצעו בשעות בהן האוניברסיטה פעילה בתקופת הקורונה.

בעת הבדיקה נמסרו נתוני צריכת הזרם של המבנים מחדר הבקרה. נתוני הקריאה הינם זרם לפאזה. בכל הנקודות הנבדקות רמת שטף השדה המגנטי נמוכה ואינה עולה על 1mG, מלבד בנקודה 4 בה נמדדה צפיפות שטף שדה מגנטי המגיעה ל- 20mG. רמת הקריאה הגבוהה הנה בגין ביצוע המדידה מתחת לסלמת כבלי חשמל סמויה.

#### 4. סכום ומסקנות

דוח זה מציג את תוצאות מדידת הייחוס המעשית של צפיפות שטף השדה המגנטי בחצר ובמבנים בקמפוס אוניברסיטת בר אילן באזור התוואי הדרומי של מטר 2. בנוסף לכך בוצעו מדידות באזורים בהם פועלות מעבדות העשויות לאכלס ציוד מדעי רגיש לשטף שדה מגנטי. הבדיקות בוצעו בשעות שהאוניברסיטה פעילה בתקופת קורונה. בעת הבדיקה נמסרו נתוני צריכת הזרמים של המבנים מחדר הבקרה. נתוני הקריאה הינם עוצמת זרם לפאזה. על פי הנחיות המשרד להגנת הסביבה מדידת שטף השדה המגנטי בוצעה בגובה 1 מ' מעל הקרקע.

בכל הנקודות שנסקרו למעט נקודה 4, צפיפות שטף השדה המגנטי נמוכה מ 4mG ואינה עולה על 1mG. בנקודה 4 נמדדה צפיפות שטף שדה מגנטי 20mG. רמת הקריאה הגבוהה מעידה שהמדידה בוצעה תחת סלמת כבלים חשמליים סמויה. רמה זו לא מייצגת את אווירת הרקע הנמוכה של שטף שדה מגנטי הקיימת בקמפוס האוניברסיטה. ניתן לראות מתוצאות החיזוי להלן בנספח א' שרמת שטף השדה המגנטי ברקע של קמפוס בר אילן, דומה או גבוהה מזו הצפויה בגובה הקרקע מתשתית המטרו עם מערכת הזנה של 3 פסים או 4 פסים.

ב ב ר כ ה,

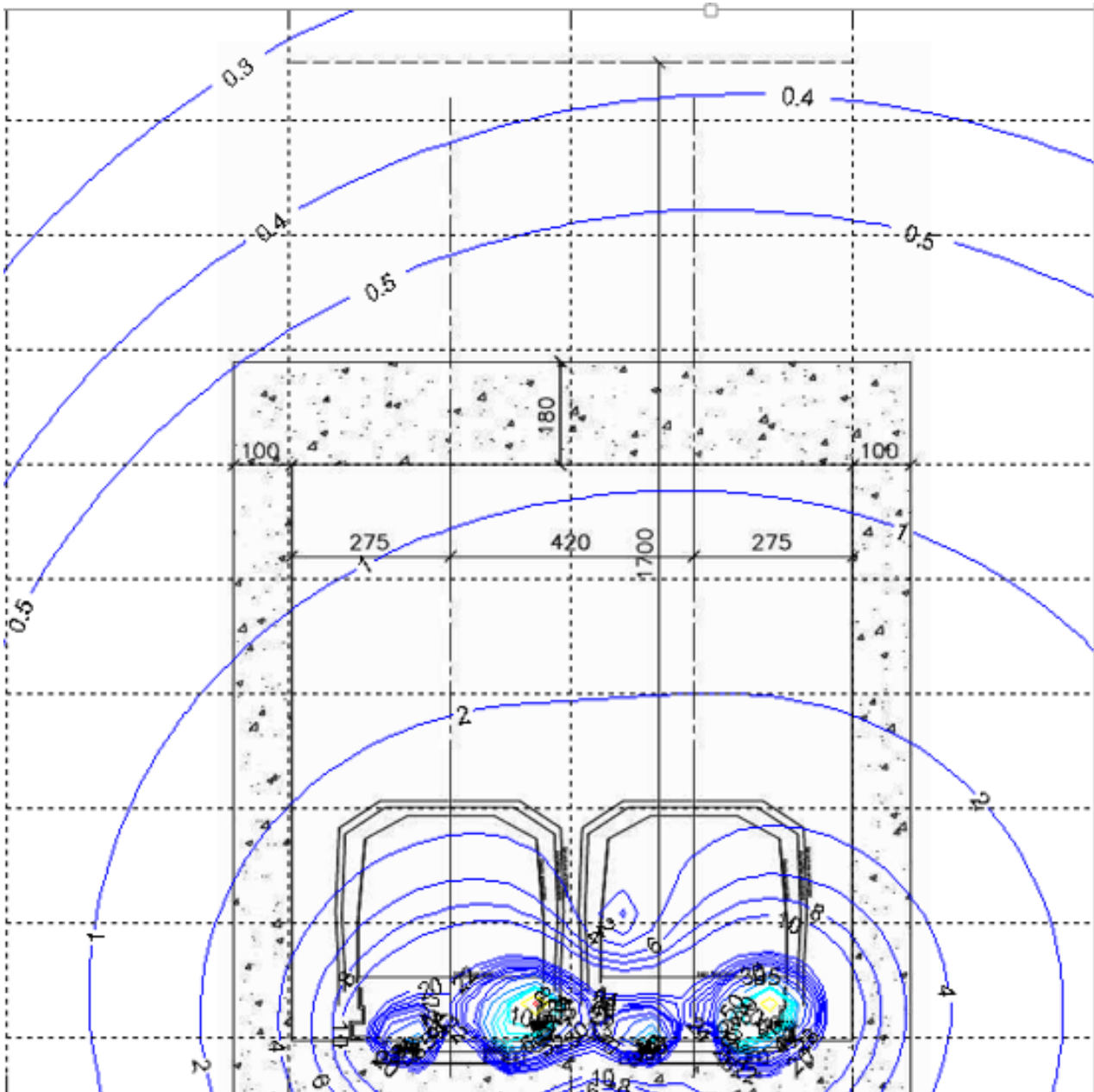
משה נצר – INCE  
מהנדס תאימות אלמ"ג ובטיחות קרינה  
היתר המשרד להגנת הסביבה: 2050-01-4



## נספח א': רמת הקרינה החזויה מעל תוואי המטרו M2 בגובה הקרקע

### א-1: מערכת מטרו עם 3 פסים

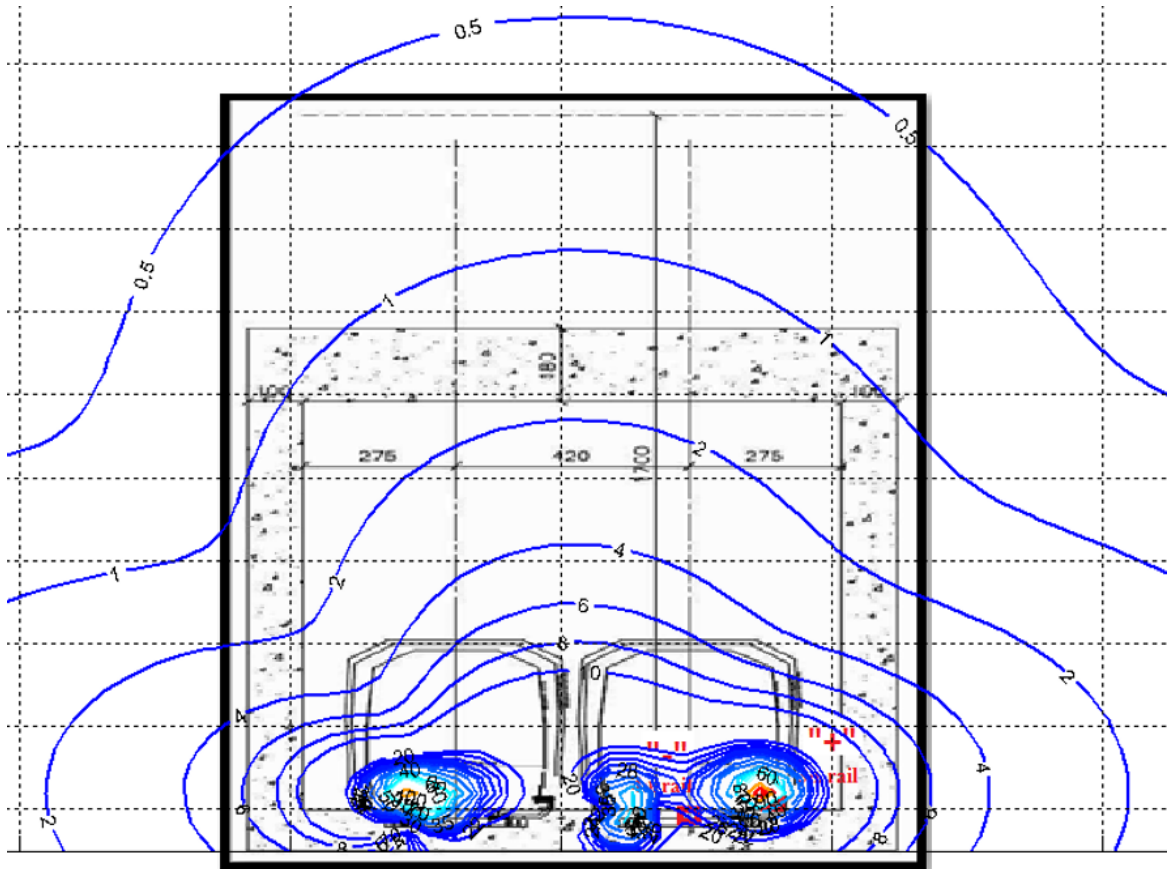
איור א-1 מציג את שטף השדה המגנטי בממוצע יומי, בזרם אדוות של 13.8A בשתי רכבות הנעות בכיוונים מנוגדים, עם זרם של 1500A במערכת של 3 פסים. מתוך האיור עולים הממצאים הבאים לגבי שטף השדה המגנטי מעל המנהרה על פני הקרקע:



שטף השדה המגנטי מצטמצם ל- 4mG בזרם ממוצע יומי כבר בתוך המנהרה של המטרו כ- 8 מ' מתחת לפני הקרקע. מעל פני הקרקע שטף השדה המגנטי (0.4mG) דומה לאווירת הרקע הקיימת גם ללא המטרו כמוצג בדוח זה בטבלה 1.

א-2: מערכת מטרו עם 4 פסים

איור א-2 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. מתוך האיור עולים הממצאים הבאים לגבי שטף השדה המגנטי מעל המנהרה על פני הקרקע:



שטף השדה המגנטי מעל הקרקע: הגובה מעל פלטפורמת המסילה בו התקבל שטף שדה מגנטי של 4mG הוא כ- 8 מ' מתחת לפני הקרקע. מעל פני הקרקע שטף השדה המגנטי יהיה נמוך מאוד (0.5mG) שהוא נמוך מאווירת הרקע האופיינית. רכבת המטרו תימצא בתנועה בעומס מרבי של 1500A במנהרה.