



שדות אלקטרומגנטיים הנגרמים מתקני החשמל

הפחתה והיבטים טכנוניים אחרים

שדה חשמלי/ שדה מגנטי

- שדה חשמלי הוא גודל פיזיקלי וקטורי שנוצר כתוצאה מהפרש פוטנציאלים בין הגופים שיש להם מטען חשמלי.
- עוצמת השדה החשמלי גדלה עם עליית הפרש הפוטנציאלים וביחס הפוך למרחק ביניהם.
- שדה חשמלי סביב רשת החשמל הינו ביחס ישיר למתח הרשת וקרבתו למקור. השדה החשמלי נמדדת ביחידות וולט למטר (V/m).

- שדה מגנטי הוא גודל פיזיקלי וקטורי אשר מאפיין את המרחב בקרבת מגנט, אלקטרומגנט או מטענים חשמליים בתנועה /זרם חשמלי.
- השדה המגנטי – יחידות מדידה:

"טסלה" – $[T]$ (במערכת בינלאומית SI)

או ב"גאוס" $[G]$ (במערכת cgs - ישנה, בשימוש רק במדינות מעטות).

$$1mG = 0.1 \mu T \quad 10000 G = 1T$$

מהו שדה אלקטרומגנטי?

שדה אלקטרומגנטי = שילוב של שני סוגי שדות :
שדה חשמלי ושדה מגנטי שפועלים יחד.

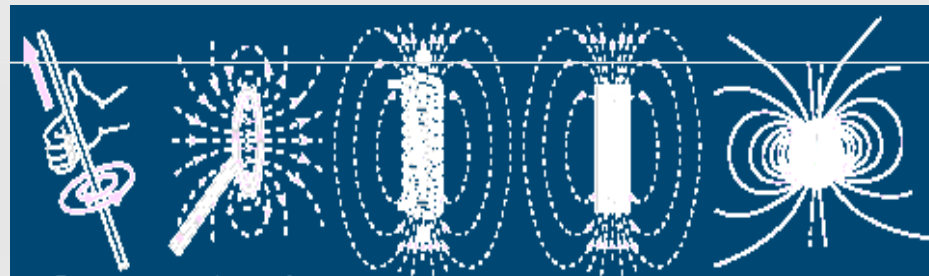
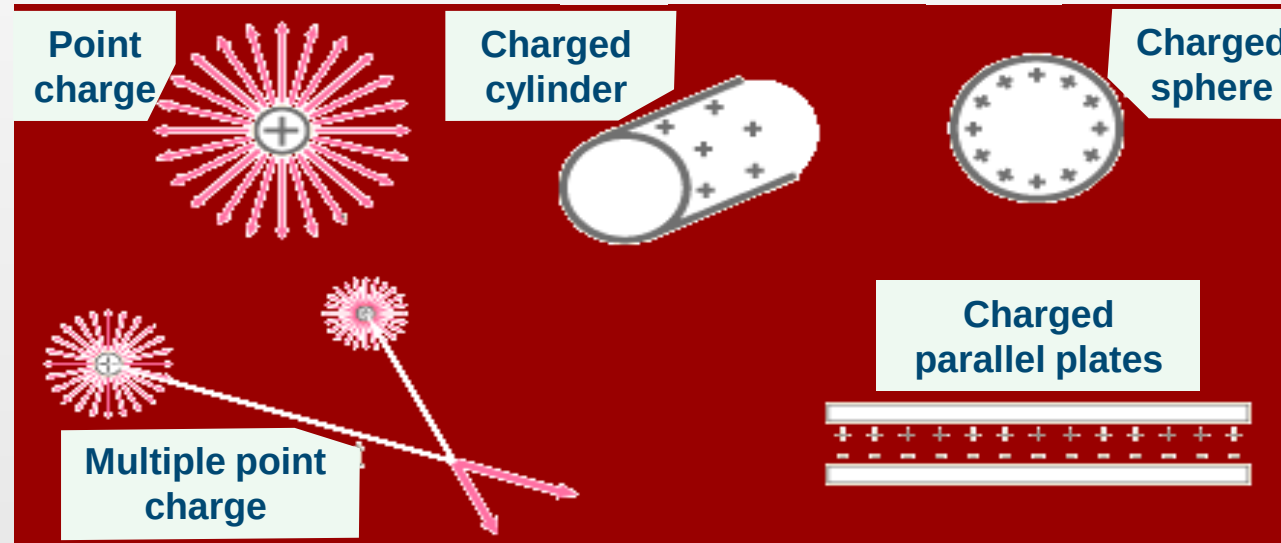
גילויים מוכרים של שדות אלקטרומגנטיים:
שדות חשמליים: קשת חשמלי, פריקה חשמלית, ברק , אבל גם
ובעיקר חימום חשמלי, תאורה, פעולת הקבלים, ...

שדות מגנטיים: פעולת המנועים, חישנים, צעצועים, ובעצם בכל
מכשירי החשמל הביתיים, כולל תאורה וחימום, במחשבים...

בכל מקום בו משתמשים בחשמל: בית, תעשיה,
משרד, מכונית, וגם ברחוב קיימים שדות
אלקטרומגנטיים.

מהו שדה אלקטרומגנטי?

שדה אלקטרומגנטי = שילוב של שני סוגי שדות :
שדה חשמלי ושדה מגנטי שפועלים יחד.



Current
in wire

Loop
in wire

Solenoid

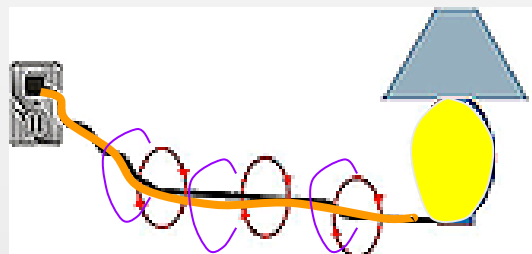
Magnet

The
Earth

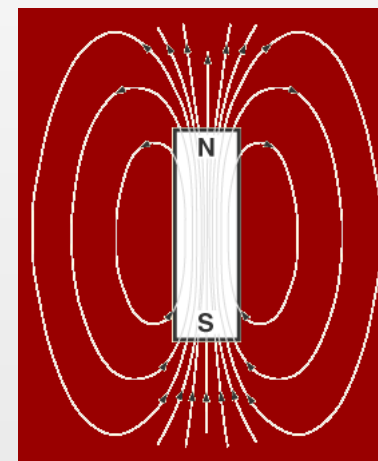
Magnetic Field Sources

מהו שדה אלקטרומגנטי?

השדות האלקטרומגנטיים נוצרים ע"י זרמים חשמליים, שיכולים להיות:



זרמים מקרוסקופיים בתוך
מוליכים

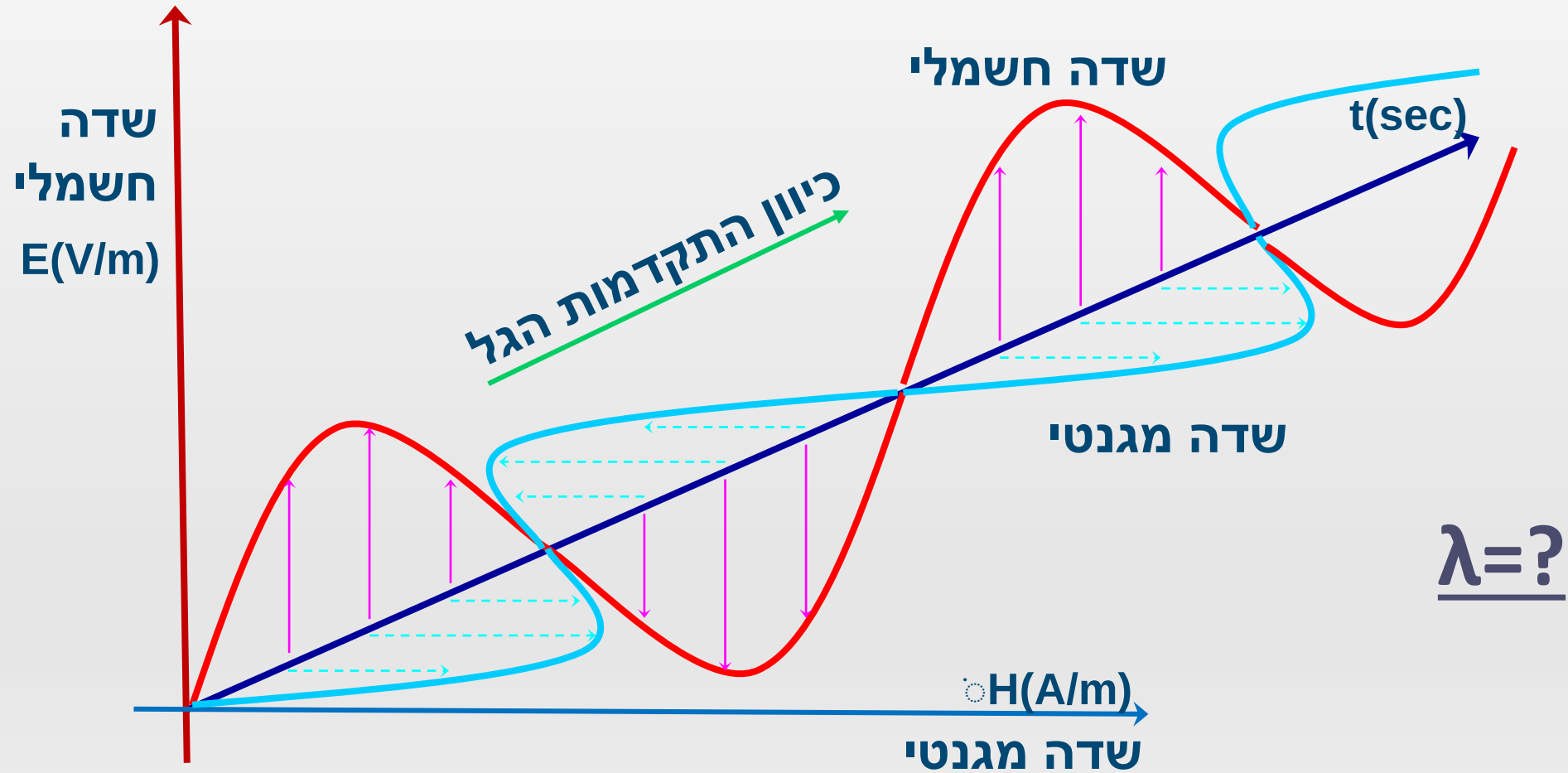


זרמים מיקרוסקופיים,
משויכים למסלולים
אטומיים

**השדות האלקטרומגנטיים הם תוצאה טבעית של
העברה והשימוש בחשמל**

שדה חשמלי/ שדה מגנטי

הקשר בין שדה מגנטי לשדה חשמלי בו מתואר ע"י התקדמות של
גל אלקטרומגנטי במרחב הזמן



קרינה בלתי מייננת

קרינה – צורת התפשטות אנרגיה במרחב

לפי כמות האנרגיה מועברת :

- קרינה מייננת, באנרגיה גבוהה
- קרינה בלתי מייננת – באנרגיה נמוכה יחסית

קרינה בלתי מייננת הינה קרינה אשר אין בה אנרגיה מספקת לגרום ליינון (יוניזציה) של אטומים במולקולות.

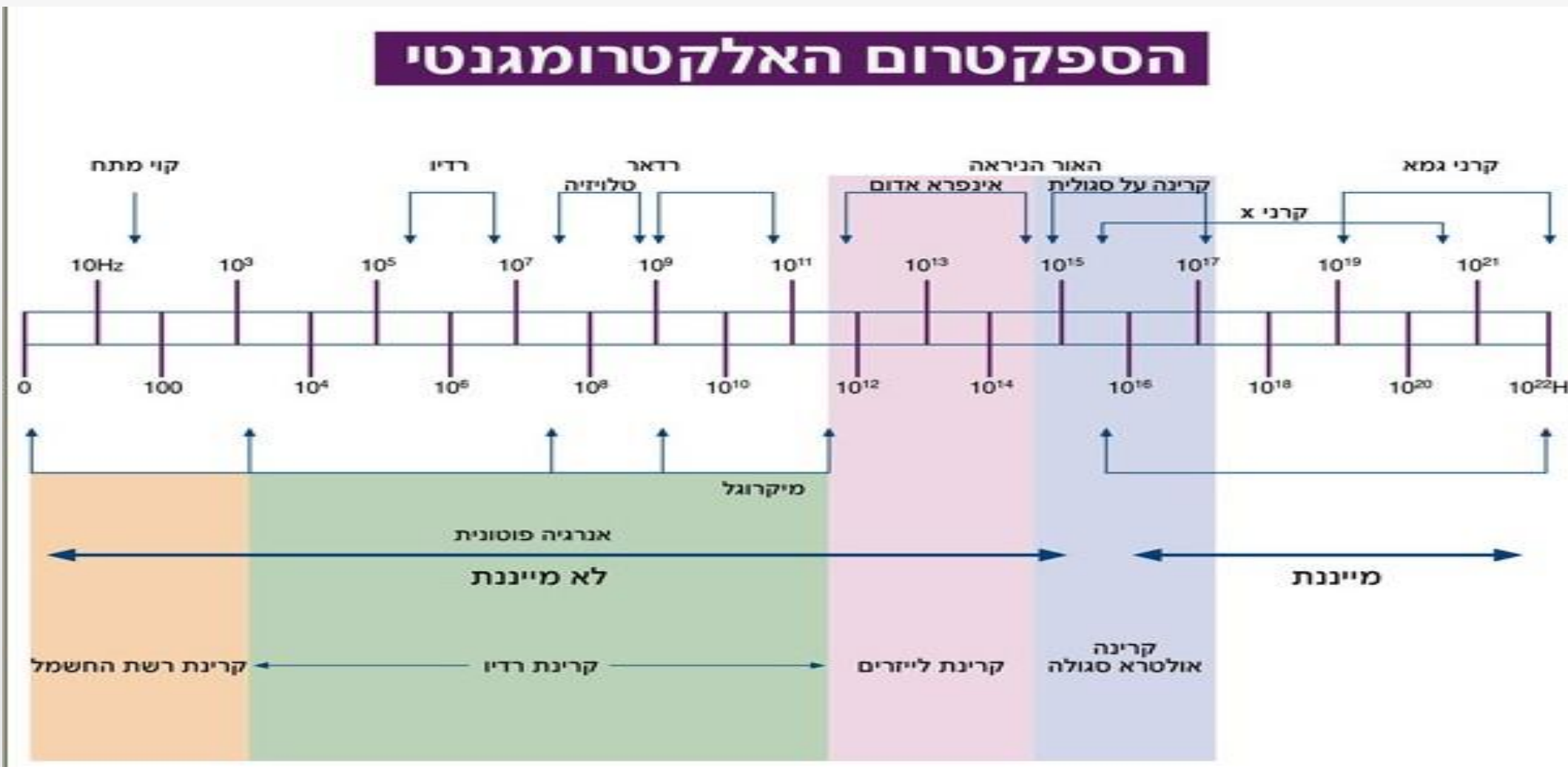
(להבדיל מקרינה רדויאקטיבית, לדוגמה)

במילים אחרות קרינה שלא גורמת הוצאה של האלקטרונים מהמסלולים סביב האטום של החומר.

קרינה זו נקראת (באופן לא מדויק) גם קרינה אלקטרומגנטית

ספקטרום התדרים

דיאגרמה - תדרי רשת החשמל עד קרני גמא



ערכי השדות המגנטיים בסביבה שלנו (mG)

עוצמות שדה מגנטי ממכשירי חשמל ביתיים

המכשיר	עוצמת שדה מגנטי במרחק 100 סנטימטר mG	זמן חשיפה מותר* שעות ביממה	עוצמת שדה מגנטי במרחק 30 סנטימטר mG	זמן חשיפה מותר* שעות ביממה	עוצמת שדה מגנטי במרחק 3 סנטימטר mG	זמן חשיפה מותר* שעות ביממה
מייבש שיער	<0.1-0.2	24	2-40	24-2	70-10,000	1-0
מכונת גילוח חשמלית	<0.1-0.2	24	<0.1-70	24-1	6-8,000	14-0
שואב אבק	<0.1-11	24-7	4-180	24-0.4	70-7,000	1-0
מנורה פלואורסצנטית	<0.1-1.2	24	<0.1-15	24-5	5-4,000	18-0
מיקרוגל	<0.1-5	24-18	5-60	18-1	150-1,000	0.5-0
רדיו שעון	<0.1	24	6-8	14-10	300-400	0.2
תנור חשמלי	<0.1-0.2	24	2-3	24	150-200	0.5-0.4
מכונת כביסה	<0.1-1.1	24	5-20	18-4	200-300	0.4-0.2
מגהץ	<0.1-0.2	24	3-5	24-18	100-120	0.7-0.6
מדיח כלים	<0.1-2	24	5-11	18-7	100-140	0.7-0.5
מחשב	<0.1	24	<0.1	24	120-140	0.6-0.5
מקרר	<0.1	24	2-2.5	24	10-12	8-7
טלוויזיה	<0.1-0.9	24	<0.1-12	24-6	20-300	4-0.2
חימום תת רצפתי חד גידי רצפתי חד גידי	4-5	24-18	40-60	2-1	150-200	0.5-0.4
חימום תת רצפתי דו גידי	<0.1	24	<0.1	24	2-3	24
סדין חשמלי	0.8-2	24	20-30	4-2	80-110	0.9-0.7
מיטה מתכווננת מחוברת לחשמל	0.1-60	24-1	<0.1-90	24-1	<0.1-300	24-0.2
מטען עם שנאי	0.5-1.1	24	8-50	10-1	200-800	0.4-0.1
מטען אלקטרוני	<0.1	24	<1.0	24	2-5	24-18

*עבור חשיפה של פחות מ-4 מיליגאוס בממוצע יומית

דעות לגבי שדות אלקטרומגטיים

■ גישה של " אין מה לפחד "

■ גישה של " יש סכנה, חייבים להתגונן " !

■ גישת "הזהירות המונעת"

IARC - International Agency for Research on Cancer:

- יכול להיות שחשיפה לשדה מגנטי (ELF) הינה גורם מסרטן, אך אין עדיין שום הוכחה ש- ELF יכולים לגרום לסרטן או לקדם התפתחותו של סרטן.

- הבעיה של כל המחקרים האפידמיולוגיים – העדר מידע כמותי על החשיפה לקרינה.

- ELF Possibly Carcinogenic (IARC), but no evidence yet that it might cause or promote cancer

- The problem with all epidemiological studies- lack of any concept of dose

IARC - International Agency for Research on Cancer:

Classification	Examples of Agents	מסרטן
Carcinogenic to humans (Usually based on strong evidence of carcinogenicity in humans)	Asbestos Mustard gas Tobacco (smoked and smokeless) Gamma radiation	
Probably carcinogenic to humans (usually based on strong evidence of carcinogenicity in animals)	Diesel engine exhaust Sun lamps UV radiation Formaldehyde	כנראה מסרטן
Possibly carcinogenic to humans (usually based on evidence in humans which is considered credible, but for which other explanations could not be ruled out)	Coffee Styrene Gasoline engine exhaust Welding fumes ELF magnetic fields	אולי מסרטן

המלצות בינלאומיות

■ מקור ההמלצה – הוועדה הבינלאומית להגנה מפני קרינה בלתי – מייננת.

■ International Commission on Non – Ionizing Radiation Protection

ערכי סף לשהות ממושכת

■ לעובדים 5000 mG

■ לציבור הרחב 1000 mG (משנת 2012 – 2000 mG)

המלצות הקהילה האירופאית

■ מקור ההמלצה – מועצת האיחוד האירופאי

Council of the European Union

ערך סף לציבור הרחב לשהות ממושכת - 1000 mG

ומה דורשים התקנים בעולם?

גוף בינלאומי או מדינה	שטף מגנטי מרבי מומלץ (mG)	תקפות	מעודכן לתאריך
WHO	1000		2004
האיחוד האירופאי	1000		
בריטניה	1000	הנחיות לצורך אכיפה	11/2003
צרפת	1000	צו משרד האנרגיה	3/2002
הולנד	1000	4 עבור מתקנים חדשים	2005
בלגיה	1000	החלטה בין משרדית	3/2002
אוסטרליה	1000	הנחיות זמניות	8/2003
ניו זילנד	1000	תקן ארצי בלתי מחייב	8/2003
אירלנד	1000	חוק	3/2002
צ'כיה	1000	חוק	11/2003
פולין	750	חוק	11/2003
פינלנד	1000	חוק	11/2003
יון	1000	חוק	3/2002
סינגפור	1000	הנחיות בלתי מחייבות	3/2002
טייוואן	1000	הנחיות בלתי מחייבות	11/2003
אוסטריה	1000	הנחיות בלתי מחייבות	3/2002
גרמניה	1000	תקנות	11/2003

ומה דורשים התקנים בעולם?

מעודכן לתאריך	הערות	תקפות	שטף מגנטי מרבי מומלץ (mG)	גוף בינלאומי או מדינה
	רגעי	חוק	1000	איטליה
	מעל 4 שעות		100	
	תכנוני		30	
3/2002		צו משרד האנרגיה	30	ספרד
11/2003			30	יפן
11/2003	התחשבות במבנים מאוכלסים		30	שבדיה
			30	דנמרק
11/2003		תקנות	1000	שוויץ
3/2002	פטור אם ננקטו אמצעים סבירים		10	
11/2003		חוק	100	רוסיה
	גבול מעבר קווי הולכה		150-250	פלורידה
	הצעה		<10	הולנד/בלגיה
	סף בריאותי	תקנה	1000	ישראל
2012	סף סביבתי	המלצה	4	

מצב קיים בישראל

1. אין תקן ישראלי לעוצמת שדה מגנטי מותרת
2. בשנת 2001 פורסמו המלצות המשרד לאיכות הסביבה לערך סף של 10 מיליגאוס ממוצע ל – 24 שעות.
3. דו"ח וועדת מומחים 2005:
 - לאמץ גישת WHO סף החשיפה העליון 2000 מילגאוס
 - להעפיל עקרון זהירות מונעת
 - להקים וועדת מומחים ציבורית
 - עוצמת השדה כבסיס להחלטות –עוצמה ממוצעת (לא מרבית)
4. חוק קרינה בלתי מייננת 2007
5. המלצות המרד להגנת הסביבה – 4 mG ממוצע ליממה
6. היתרי המשרד להגנת הסביבה

מטרות החוק

- "להגן על הציבור ועל הסביבה מפני השפעות של קרינה בלתי מייננת"
- "להסדיר את שימוש במקורות קרינה... בין השאר
- ע"י איסורים ובהתאם לעקרון "הזהירות המונעת"

דרישות החוק

1. השגת היתרי קרינה

- א. חלות על כל מתקני יצור, הולכה, חלוקה
- ב. היתר פרטני או לסוג מתקן (הקמה והפעלה)
- ג. היתרים למתקנים חדשים (מ-1.1.2007)
- ד. היתרים למתקנים קיימים (מ-1.7.2008)
- ה. טיפול במתקנים קיימים -ועדה ציבורית
- ו. אחריות- נושא משרה בתאגיד

דרישות החוק

1. פנייה למשרד להגנת הסביבה לקבלת היתר הקמה (לפי החוק כתנאי לקבלת היתר בנייה):

- בקשה להיתר הקמה (בעל המתקן)
- דו"ח הערכת רמות חשיפה
- על בסיס תכנית העמדת הצידוד,
- הערכה על הספקים וזרמים
- בהתחשבות למקומות של שהייה ממושכת של בני אדם

2. בניית המתקן

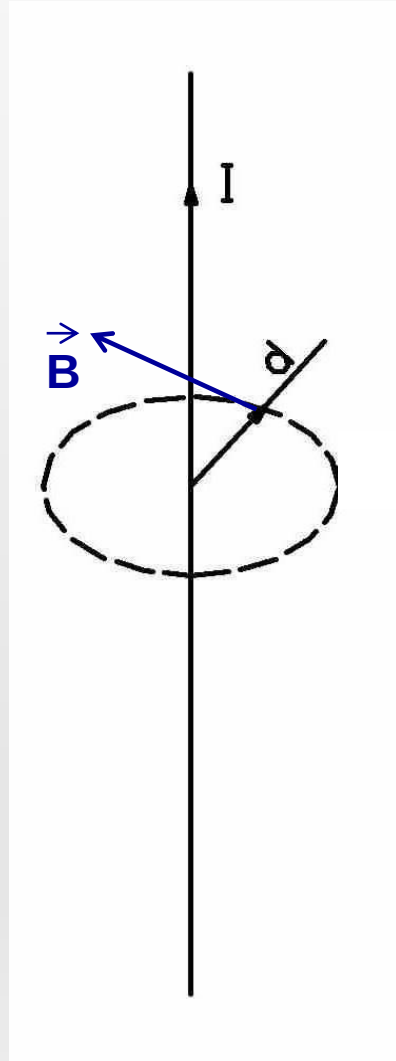
3. בקשה לקבלת היתר הפעלה

- היתר הפעלה יכול לכלול דרישות נוספות של ממונה על הקרינה
- תשלומי אגרה שנקבעו לפי תקנות.

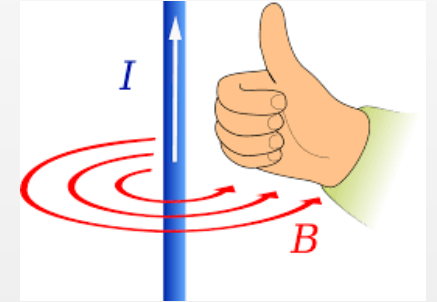
▪ יש לפנות לבעל היתר שרות לפי החוק

היבטים טכניים של התופעה ואפשרויות מניעה ו/או הפחתה של השדה המגנטי

כל זרם חשמלי יוצר שדה מגנטי סביבו



$$B = \frac{\mu}{2\pi} * \frac{I}{d}$$



B - צפיפות שטף מגנטי (~עוצמת שדה מגנטי)

I - זרם במוליך ישר אינסופי

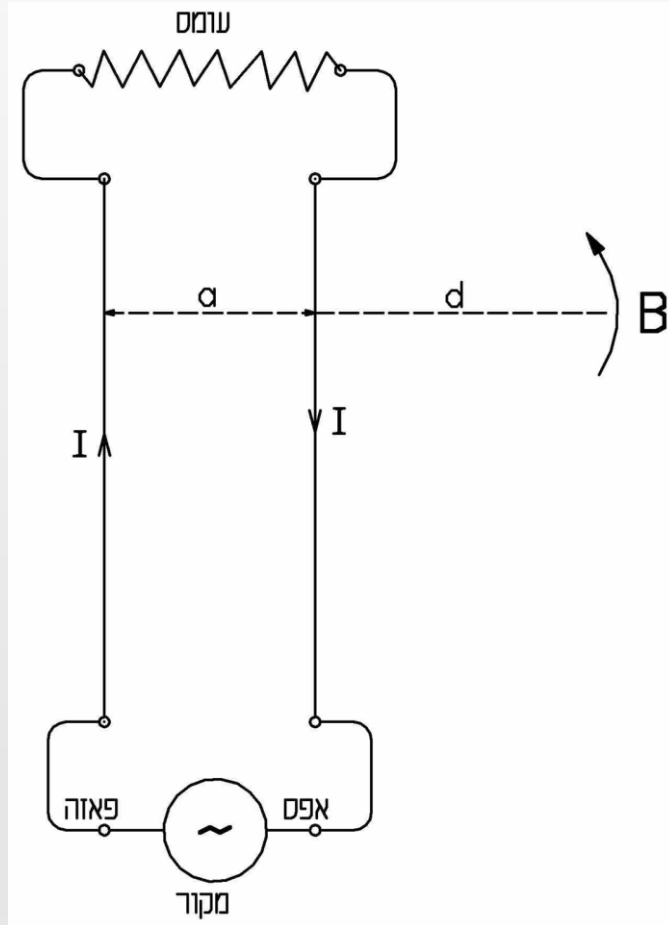
d - מרחק ממרכז המוליך

μ - קבוע תלוי בתווך

$$B \sim 1/d$$

יחידות מדידה : $1\mu T = 10mG$, $1T = 10000G$

קיזוז הדדי במעגל חד-פאזי



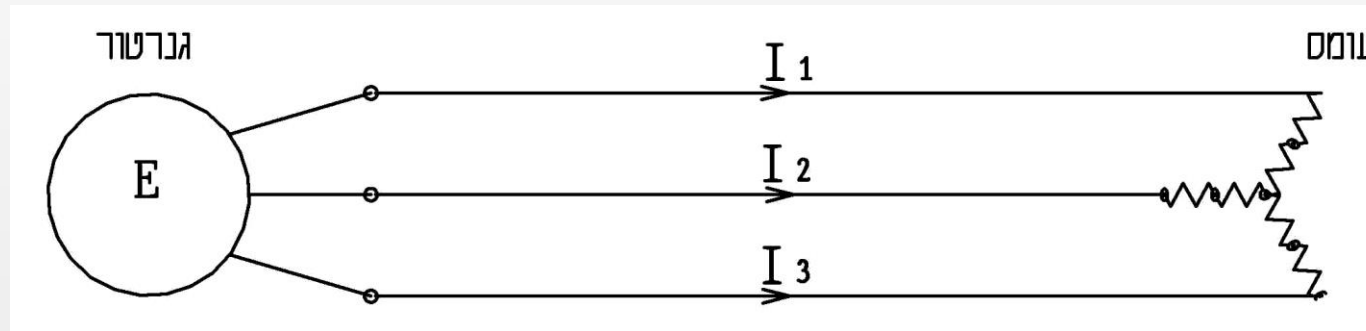
$$B = \frac{\mu I}{2\pi d} - \frac{\mu I}{2\pi(d + a)}$$

$$B = \frac{\mu I}{2\pi} * \frac{a}{d(d + a)}$$

היות ו: $d^2 \sim (d^2 + da) \leq da \ll d^2 \leq a \ll d$

$$B \sim 1/d^2 \quad : \text{ז"א}$$

קיזוז הדדי ברשת תלת-פאזית



$$\vec{I_1} + \vec{I_2} + \vec{I_3} = 0 \quad \text{בכל רגע מתקיים}$$

לפיכך מתקיים גם ברשת תלת פאזית קיזוז של השדות
המגנטיים אשר מתגבר בכל שהמרחקים בין מוליכי
הפאזות קטנים (בתנאי שקיימת סימטריה בין זרמי שלושת
הפאזות)

במה תלויה צפיפות השטף המגנטי

מערכת תלת פאזית סימטרית:

$$B[T] = \frac{\kappa \bullet I[A] \bullet d[m]}{r^2 [m^2]}$$

I – עצמת הזרם החשמלי בכל מופע
 d – המרחק בין חוטי הפאזות

$$d = \sqrt{d_{12}^2 + d_{23}^2 + d_{31}^2}$$

r – המרחק עד החוט האמצעי



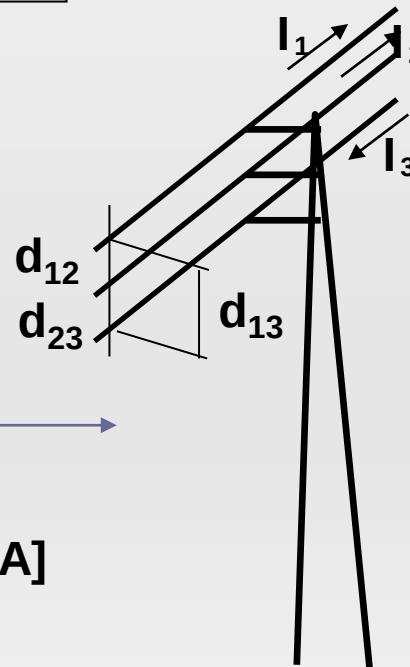
$$I_1 = I_2 = I_3 = I \quad [A]$$

אמצעים להקטנת השדה המגנטי:

• תקטין את הזרם

• תקטין את המרחק בין הפאזות

• תרחק



$$d_{31} = 2d_{12} = 2d_{23} \quad \text{אם}$$

$$d = \sqrt{6}d_{12} = \sqrt{2} \bullet \sqrt{3}d_{12} \quad \text{אזי}$$

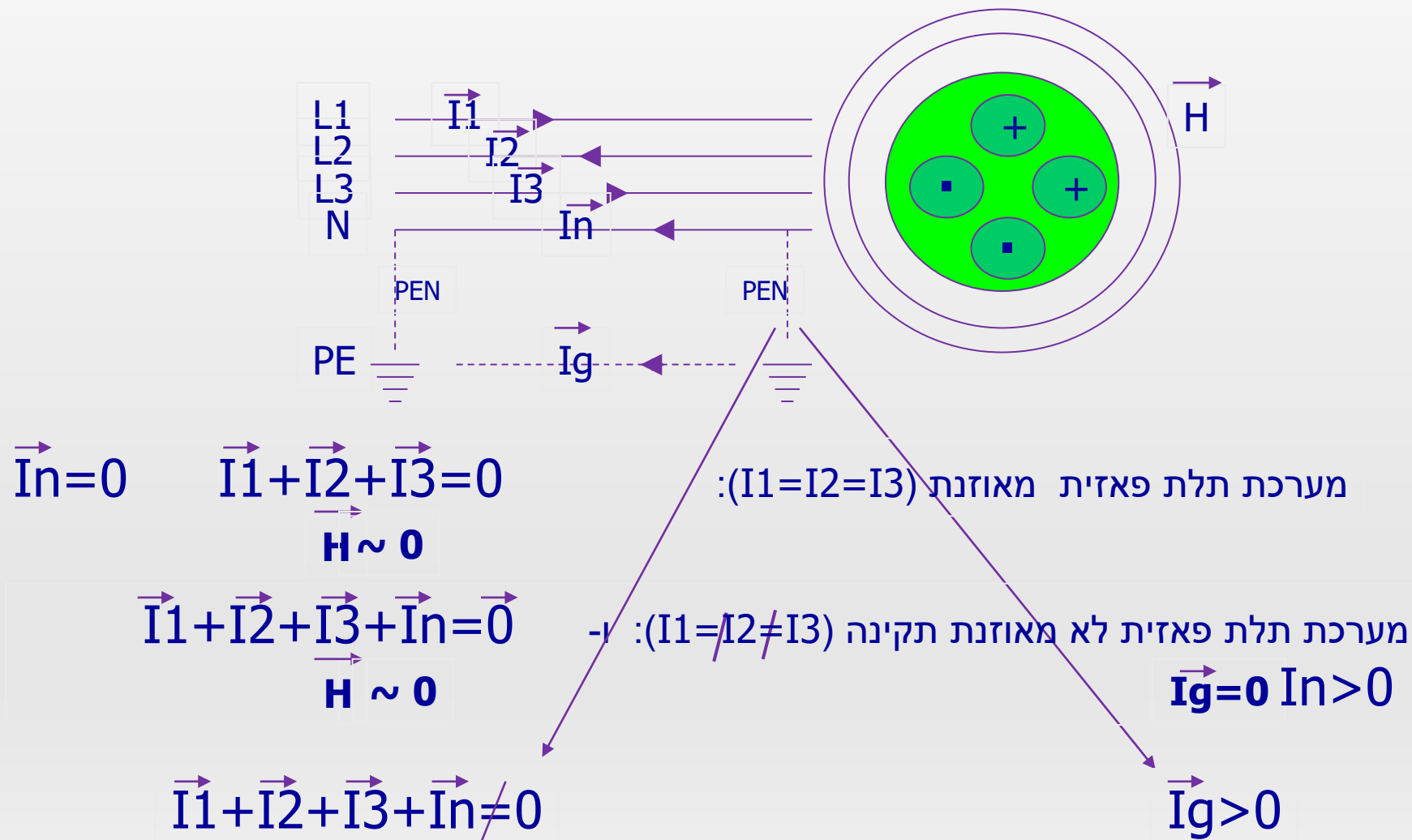
תנוחה שטוחה

$$d_{31} = d_{12} = d_{23} \quad \text{אם}$$

$$d = \sqrt{3}d_{12} \quad \text{אזי}$$

תנוחה במשולש

זרמים תועים



סיבות ליצירת זרמים תועים

- איפוס כפול/ מרובה בבניין עם מספר כניסות

- בבניין ללא איפוס : הפיכת החיבור באחד הנקודות בין "0" להארקה, בהעדר מכשיר "פחת" (מכשיר נגד התחשמלות)

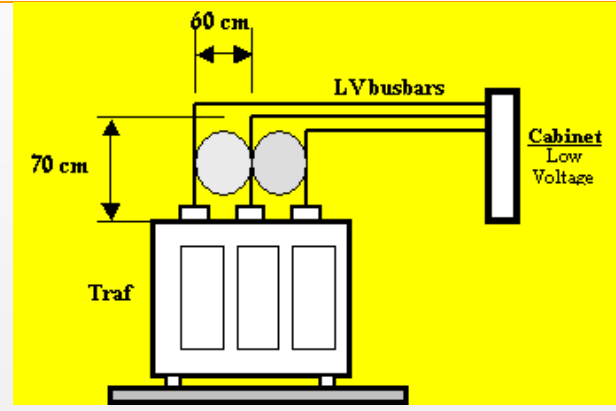
- ביצוע "איפוס" בבניין ישן, ללא הארקת יסוד, בנוסף להארקת הגנה מבוצעת כחיבור לצנרת מים, כך שעתה חלק מזרם ה-"0" שבין הבניין עד לתחנת טרנספורמציה עובר דרך הארקות

- מצב תקלה עם זרמים קטנים מזרם שמפעיל את ההגנה.

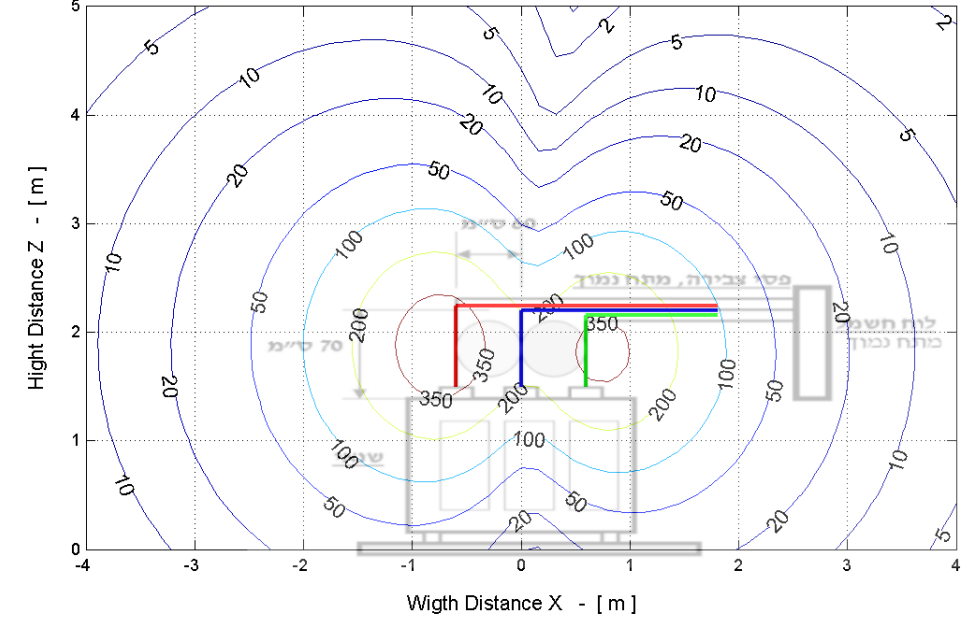
- ניתוק "0" במקום אחד במעגל מסוים יכול לגרום לזה שהזרם דרך ה-"0" הנובע מאסימטריה לא עובר דרך אותו מוליך ה-"0" ומוצא דרכים אחרות לסגירה. כך נוצר מצב שזרם במוליך ה-"0" כבר לא מאזן את זרמי הפאזות במעגל ונגרמים זרמים "עודפים" ב"אפסים" אחרים או בארקות.

- ...

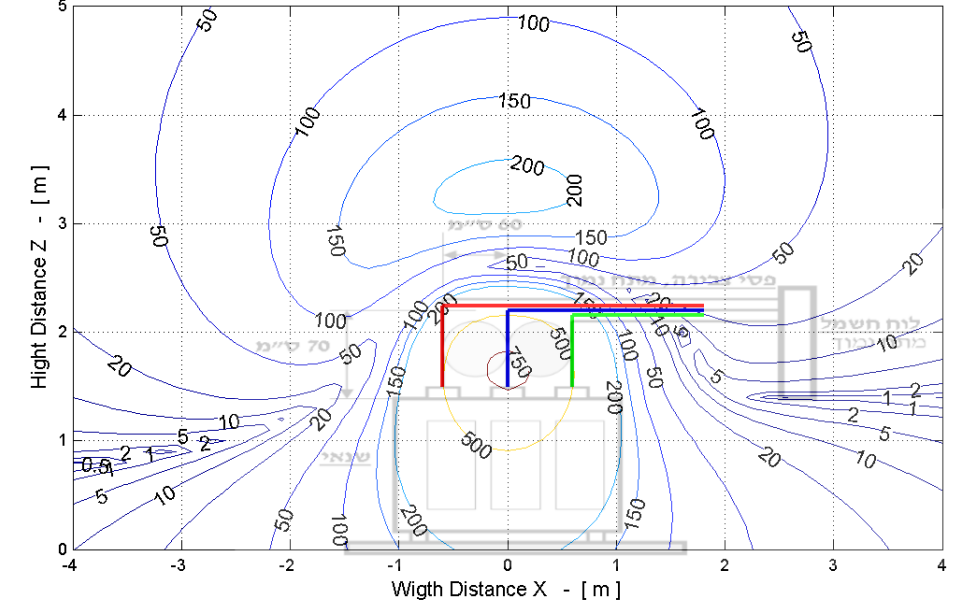
Transformer 22 kV into 400 V



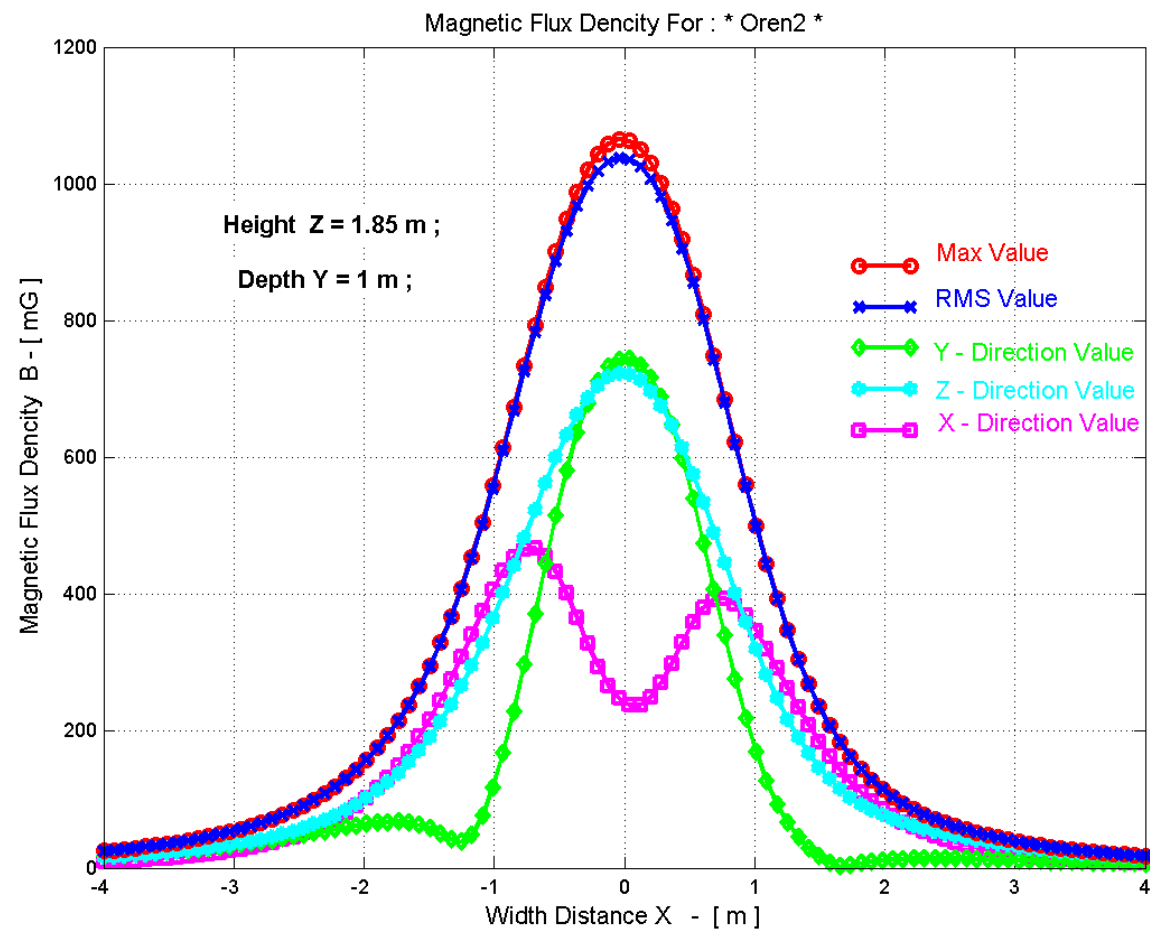
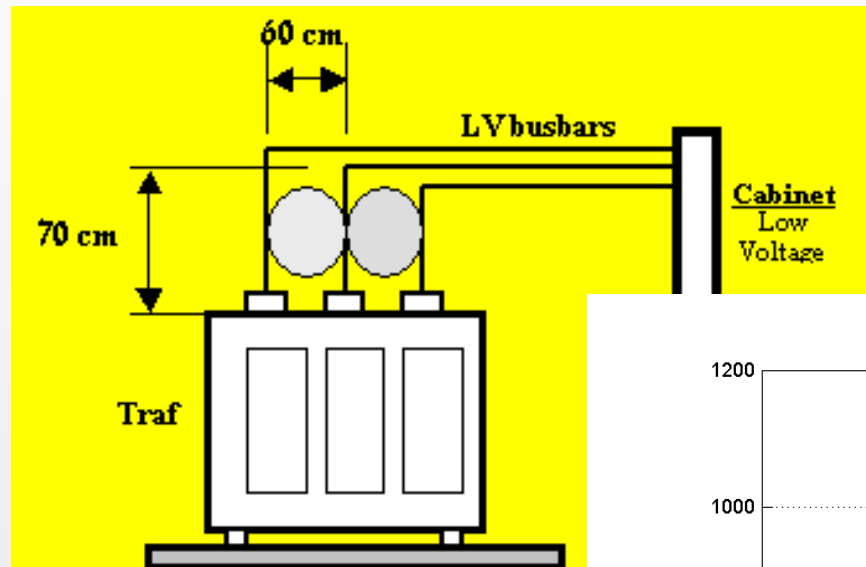
Equal Value Lines of Magnetic Flux Density, X - direction component, $B(x)$ - [mG] ; For : *Oren2*; Depth = 1 m



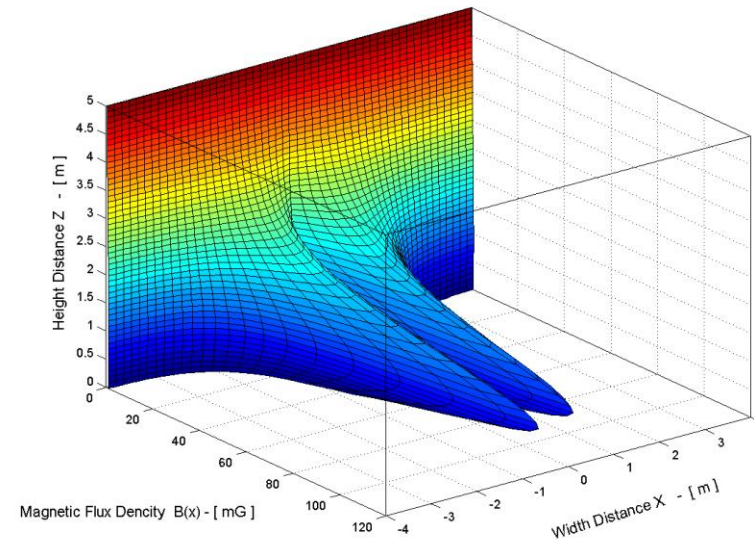
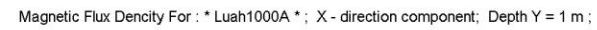
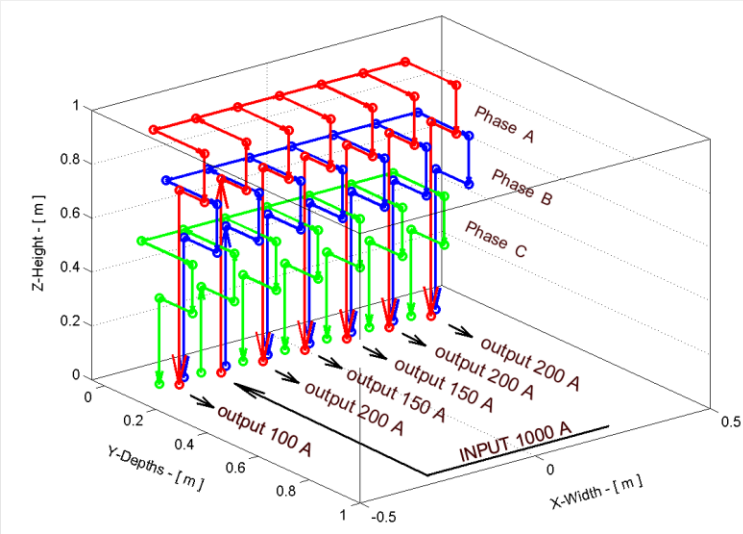
Equal Value Lines of Magnetic Flux Density, Y - direction component, $B(y)$ - [mG] ; For : *Oren2*; Depth = 1 m



Transformer 22 kV into 400 V (2)

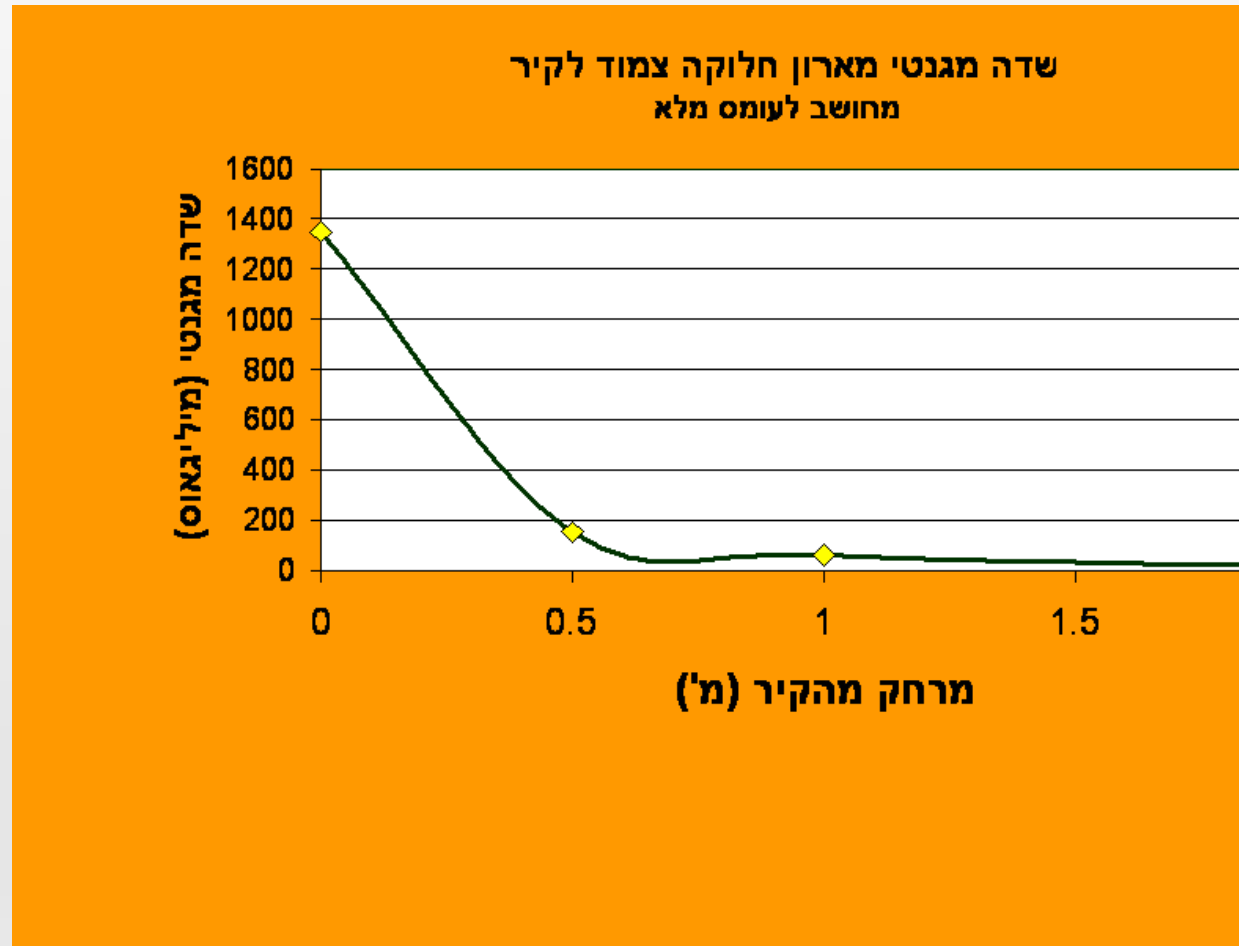


ברונו סגל



ארונות חלוקה (פילרים)

רמות שדה מגנטי



מסקנה: יחייב מרווח כ-1 מ' מארון חלוקה למבנה מאוכלס

אמצעים להקטנת שדות מגנטים בקווים עליים

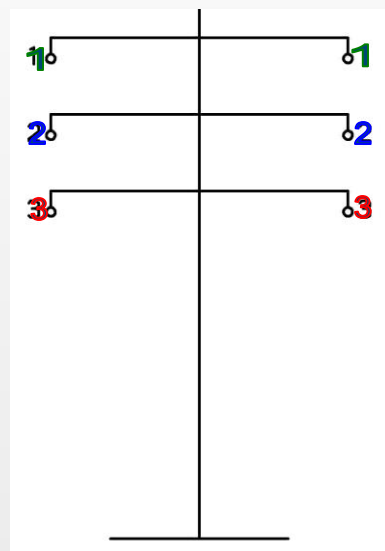
1. הקטנת מרחק בין מוליכי הפאזות באמצעות:

- שרשראות מבדדים בתצורת V
- עמודים קומפקטים עם זרועות מבודדות

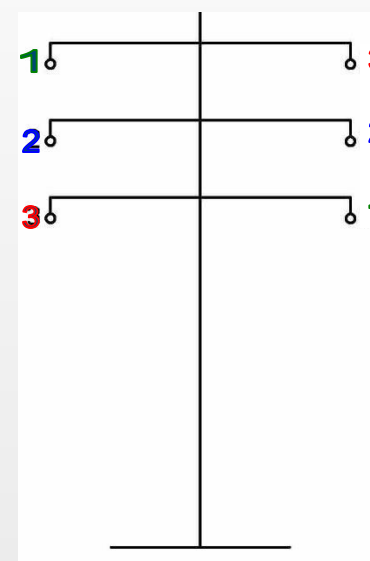
התוצאה הקטנת צפיפות השטף בגבול

הפרוזדור ב - % 10 - 12

קיזוז הדדי בין מעגלים



בלי שיכול פאזות



עם שיכול פאזות

שיכול פאזות מגביר את קיזוז השדה המגנטי

דורש תכנון קונסטרוקטיבי מיוחד בכניסה וביציאה של הקו לתחנת - המשנה, ניתן בד"כ לביצוע רק בתחמ"ש חדשות ולא במיסעפים.

מגבלות שיטת שיכול - פאזות

1. אפקטיביות מלאה מתקיימת כאשר הזרם ב – 2 המעגלים שווה בעוצמה ובכיוון.
2. שיכול הפאזות מגביר את השדה המגנטי כאשר כיווני הזרימה ב – 2 המעגלים מנוגדים.
3. במשטר תפעולי מסוג N-1 כאשר אחד המעגלים מחוץ לניצול השיכול אינו אפקטיבי.
4. מאחר ומשטר תפעולי מסוג N-1 עשוי להתקיים במשך ימים, שבועות וחודשים, יש להתחשב בו בקביעת עוצמת השדה המגנטי שניתן להתחייב לגביה.

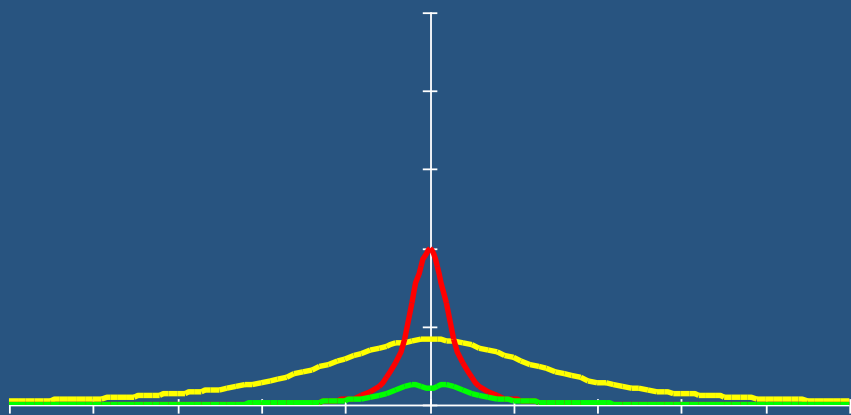


הקטנת עוצמת שדה מגנטי של מ"ע דו-מעגלי באמצעות הטמנה

עם שיכול פאזות אופטימלי

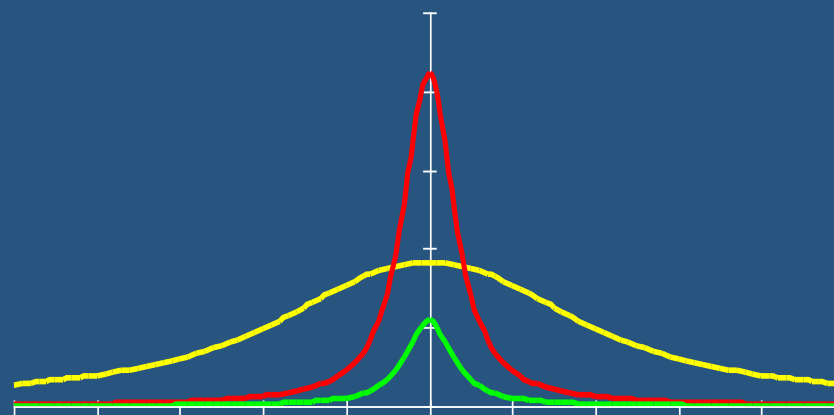
בסידור פאזות סימטרי

צפיפות שטף מגנטי B[mG]



מרחק מציר הקו [מטר]

צפיפות שטף מגנטי B[mG]



מרחק מציר הקו [מטר]

— קו עילי

— קו תת-קרקעי בסידור מישורי

— קו תת-קרקעי בסידור משולש

המק

בגובה 1.0 מ' מעל פני הקרקע

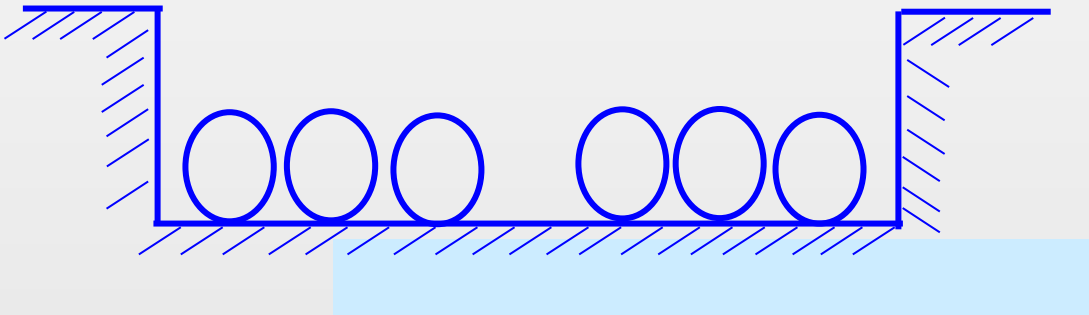
בזרם 1000 א'



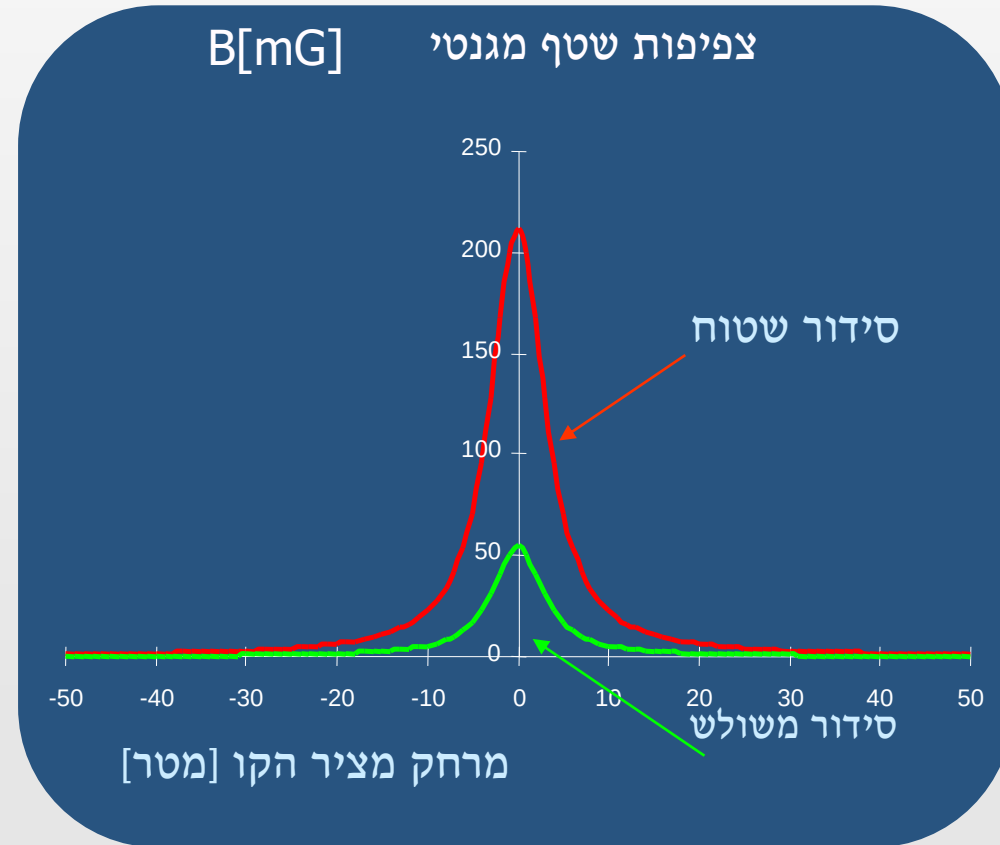
השתנות השדה המגנטי לפי סידור הנחת הכבלים

בסידור פאזות סימטרי

הנחת קו תת-קרקעי
דו-מעגלי בסידור
שטוח



הנחת קו תת-קרקעי
דו-מעגלי בסידור
משולש



בגובה 1.0 מ' מעל פני הקרקע
בזרם המרבי של 1000 א'

תחנות טרנספורמציה פנימיות מ"ג/מ"נ

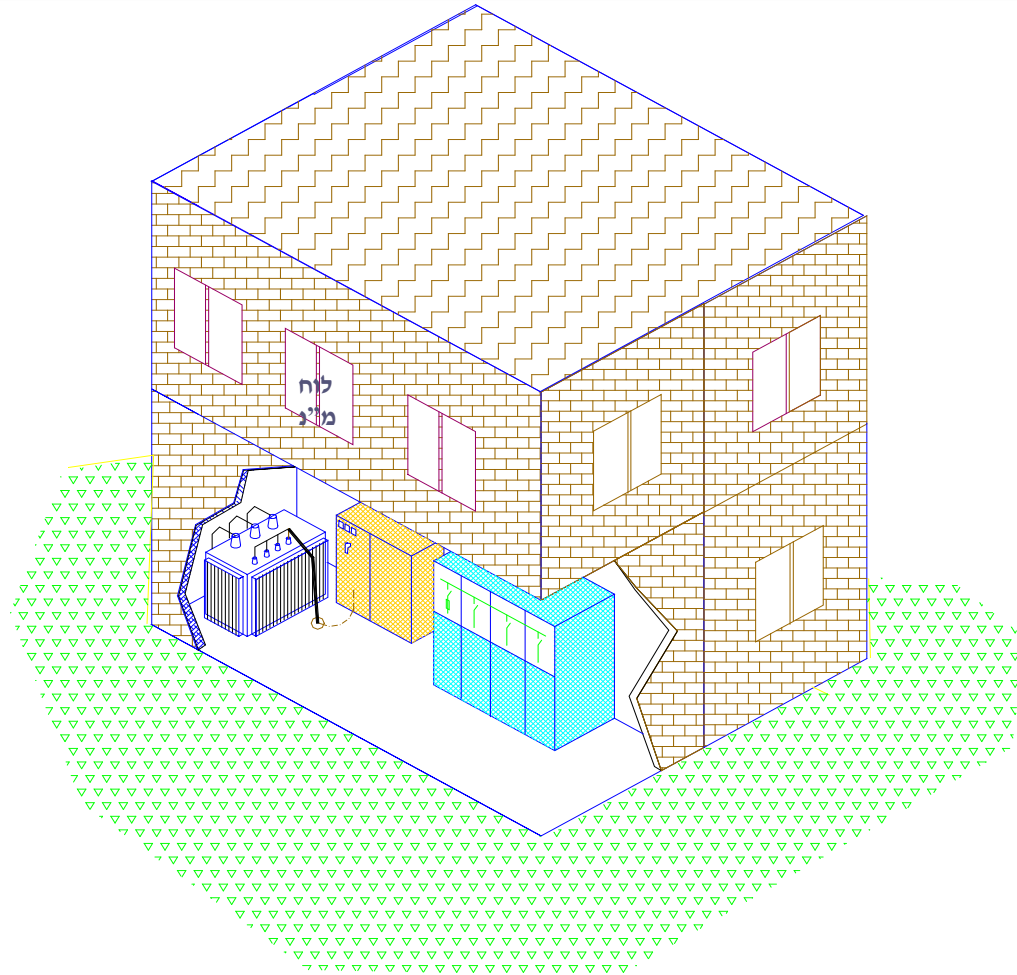
קיימים 3 סוגים של תחט"פ

- משולבות בבניין
- ביתנים עצמאים
- תט"זים (קיוסקים)

ביתנים עצמאיים



משולבות



תט"זים (קיוסקים)



קיוסק מפוליאסטר

שדות אלקטרומגנטיים בתחנה טרנספורמציה



שיפורים בתחנה טרנספורמציה -חיבור תחתי בין שנאי לבין הלוח-



גידור תחנות טרנספורמציה זעירות



הרחקת תחנת טרנספורמציה ממקומות מגורים

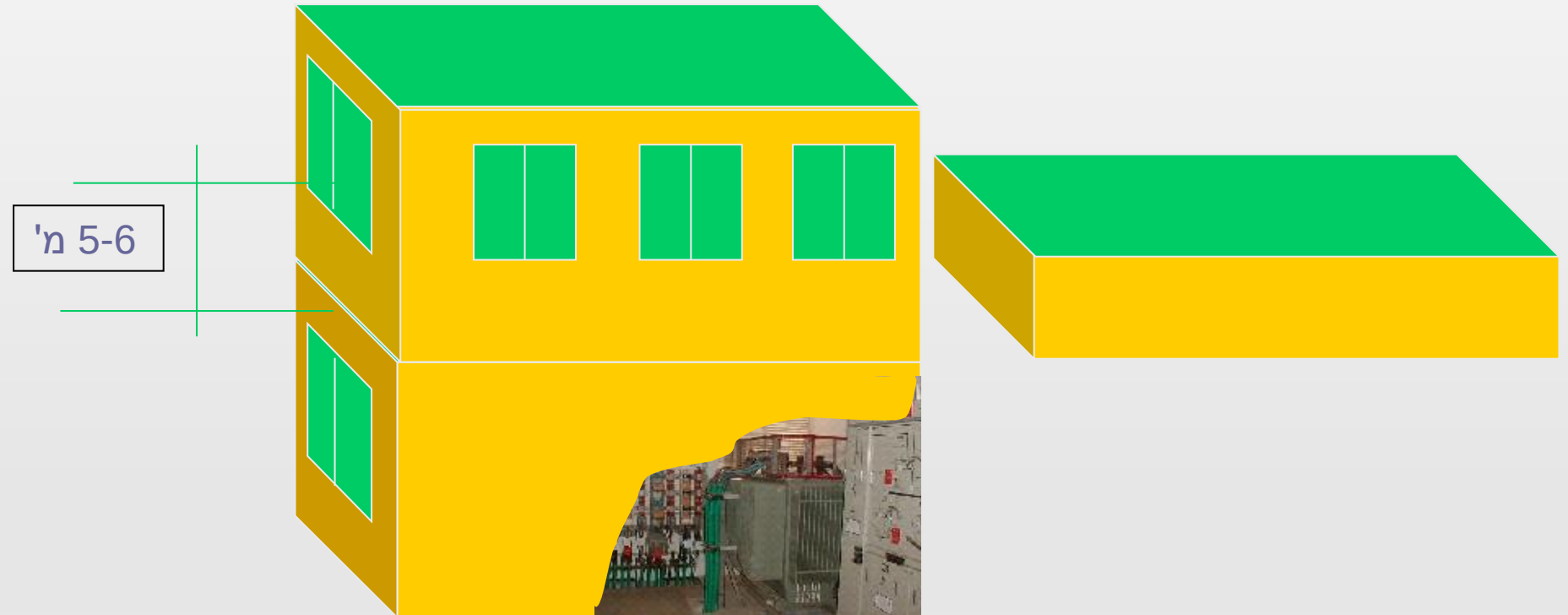


בנין תת-קרקעי
(רק הכניסה ותרסיס האוויר)
מעל הקרקע

ביתן טרומי



הרחקת תחנת טרנספורמציה ממקומות מגורים (2)



מיגון : האפשרי למגן?

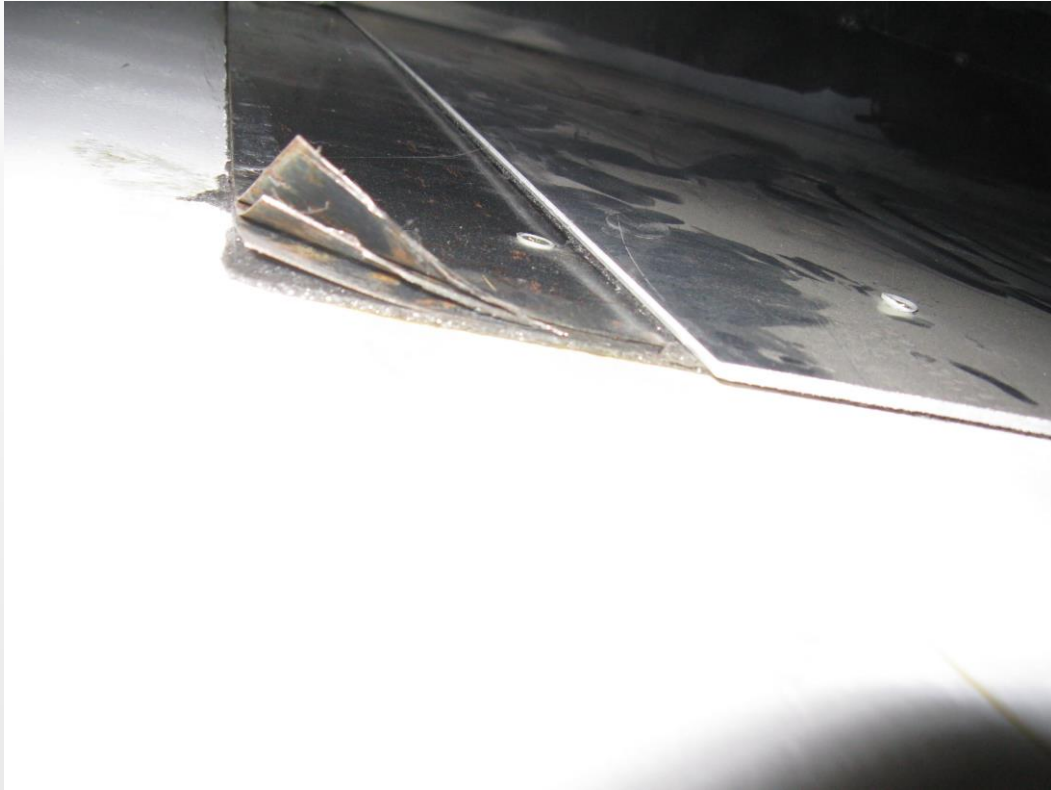
- כל עוד אין דרישה לאיוורור טבעי, נמצא שיעילות המיגות סבירה ויותר מזה.
- באם חדר ההשנאה משתמש באיוורור טבעי, קיימת זליגת שדה מגנטי וקבלת נקודות מסוימות,
 - לא מבוקרות, עם עוצמה גבוהה יותר
 - של השדה המגנטי
- זרמי המערבולת גורמים לחימום נוסף אשר שיש לקחת בחשבון לתכנון המזגנים



מיגון חלקי בתחט"פ



מיגון חדר שנאים



שכבות של פחים
+ מחומר פרומגנטי
שכבת אלומיניום



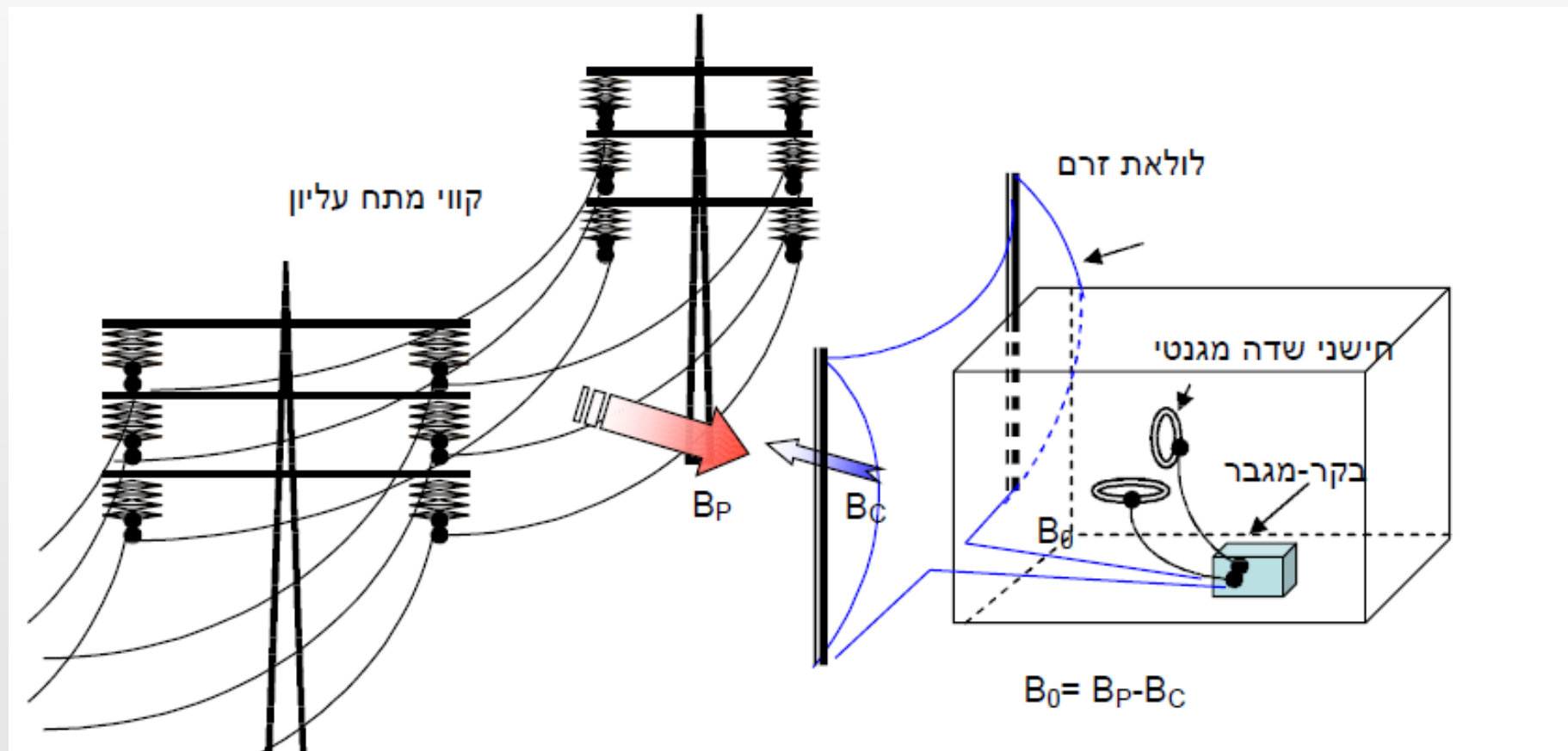
מיגון חדר שנאים – ריתוך אלומיניום



הגבלה אקטיבית של שדה מגנטי

- השיטה מיושמת בעיקר עבור נפחים קטנים (מעבדות)
- עקרון השיטה : יצירת לולאה שדרכה זורם זרם מבוקר, שגורם לשדה מגנטי הפוך ושווה ערך לשדה מהמקור הנדרש להגבלה
- חיסרון: הגברת השדה מחוץ למבנה

מיגון אקטיבי





מול בעיית השדות האלקטרומגנטיים

- אומנם שום דבר לא הוכח, אבל...
- יש לנקוט בזהירות מונעת
- שימוש בכל האמצעים הסבירים במטרה לגרום למניעה מכסימלית של חשיפה לשדות מגנטיים ובמיוחד תכנון וביצוע של המתקנים הידועים כמקור פוטנציאלי לשדות אלקטרומגנטיים.
- שקיפות מול כל הגופים המוסמכים בתחום:
- ביצוע בדיקות מחקרים ע"י בעלי מקצוע מוסמכים
- מעקב רציף אחרי ההתפתחויות בתחום במטרה לנצל במהירות החידושים הטכנולוגיים ותכנוניים שיכולים להופיע בעולם

שאלות ?

בטוח אין כלום?

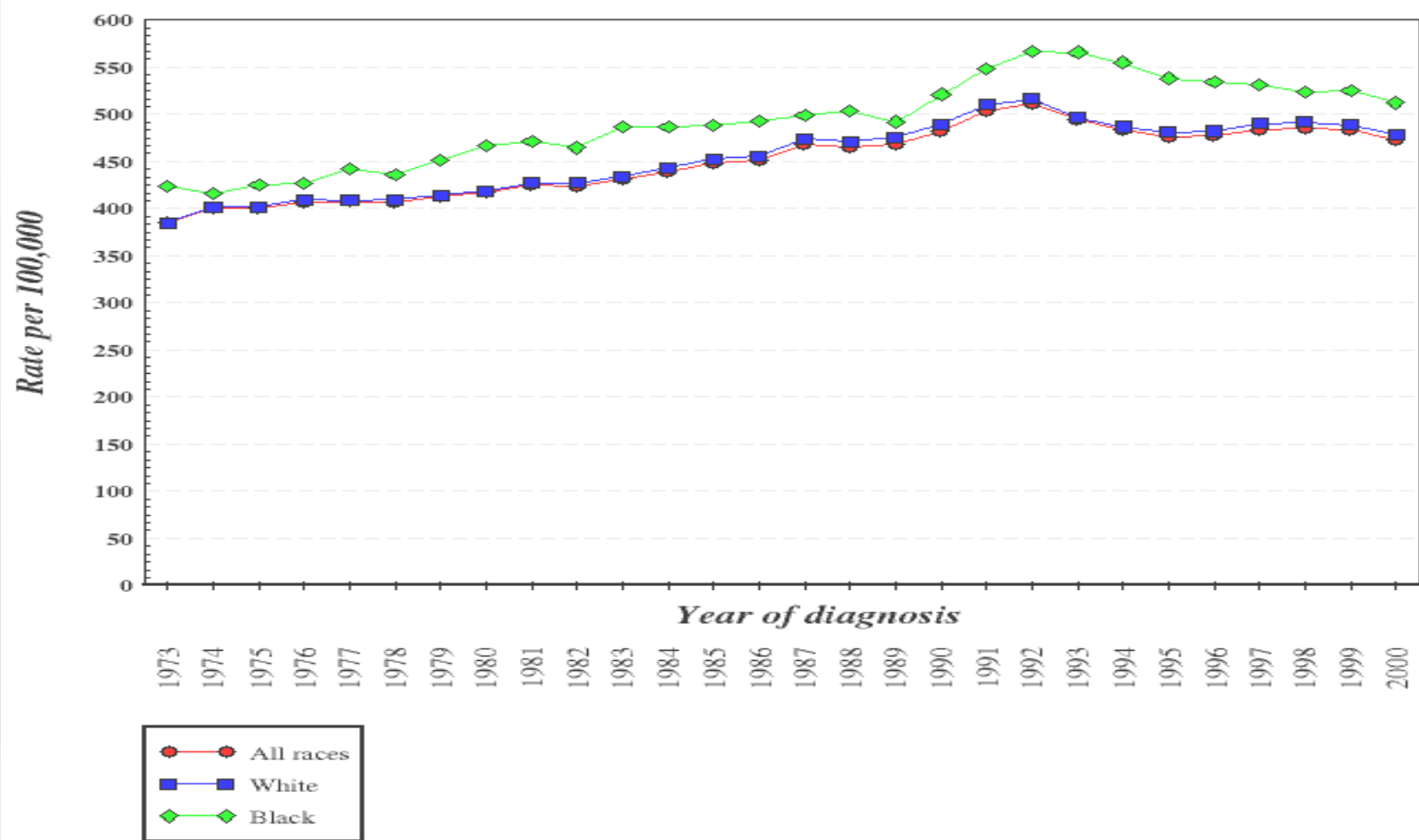
פרופ' יוסף ריבק :

(בית הספר לבריאות הציבור – אוניברסיטת תל אביב)

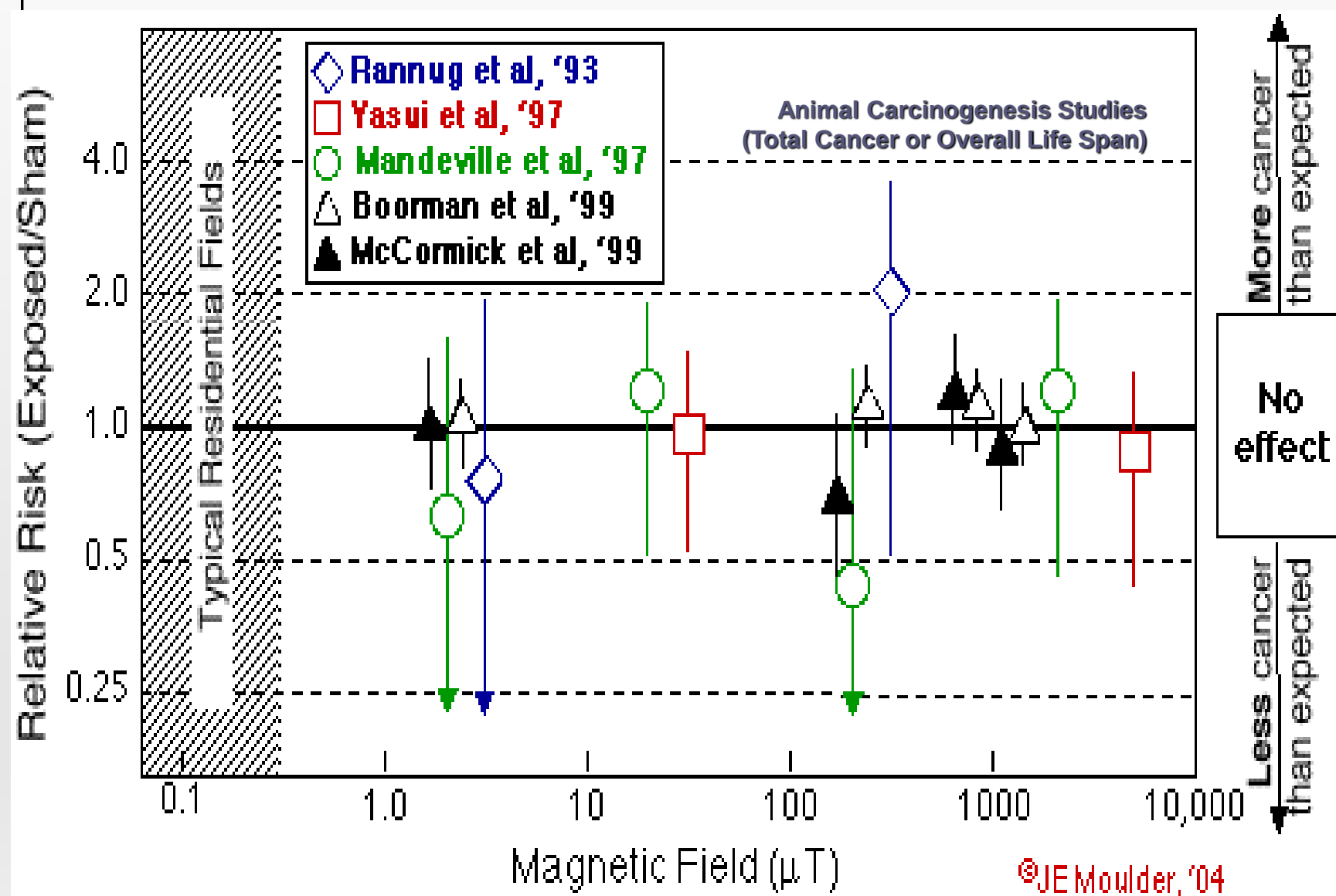
- חשיפה שכיחה ביותר.
- ב-60 השנה האחרונות עלה השימוש בחשמל בין פי 25 לפי 300.
- מיליארדי אנשים חשופים בעולם כולו.
- תוחלת החיים עלתה ב-60 שנה אחרונות ב-16 שנים.
- שיעורי תחלואה בסרטן עלו בצורה מתונה ובארה"ב לפי מידע אחרון (MMWR) בשנים 1999-2000 מתרחשת ירידה.

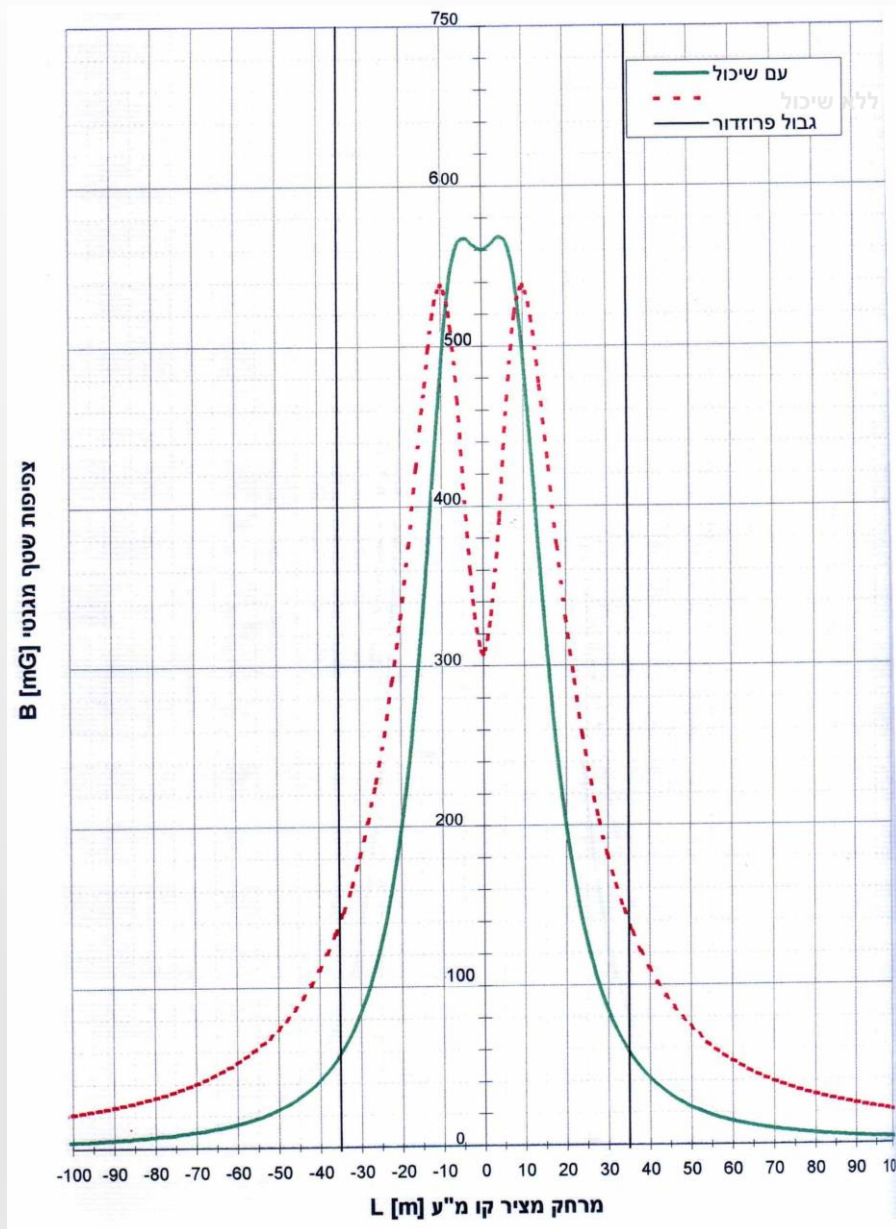


SEER Incidence of Cancer USA



בטוח אין כלום?





שדה מגנטי סביב ציר קו 400 ק"ו
מעגלי טיפוס - זרם מירבי מותר
3,186 אמפר ב-2 המעגלים באותו
הכיוון בגובה 1 מ' מעל לקרקע

מהוא אורך הגל האלקטרומגנטי של רשת החשמל?

■

$$S=v*t$$

$$f=\frac{n}{t}$$

$$t=\frac{n}{f}$$

$$n=1$$

$$t=\frac{1}{f}$$

■

$$S=\lambda$$

$$\lambda = v * \frac{1}{f} = \frac{c}{f}$$