



אגודת תקשורת הרדיו הישראלית

הגנה מפני פגיעת ברק:

מדריך לחובבי רדיו

דניאל רוזן, 4X1SK

גרסה 1.02

כסלו תשפ"ו

דצמבר 2025

Daniel Rosenne, 4X1SK

Lightning Protection: Radio Amateurs' Guide

December 2025

Israel's Association of Radio Communication (IARC)

www.iarc.org

© 2025, Daniel Rosenne, Tel Aviv, Israel

הַאִירוֹ בְּרָקִים תְּבַל רְגֵזָה וְתִרְעַשׂ הָאָרֶץ: (תהילים, עז, יט)

פּתח דבֵר

חובב רדיו, שתחביבו מבוסס על אנטנות חשופות לפגיעת ברק, חייב להתחשב בתופעת הברק ולנקוט באמצעי הגנה מתאימים.

חוברת זאת מתארת באופן תמציתי את פגיעת הברק ונזקה, דנה ב'נפח המוגן' בידי קולט ברק, מרחיבה באופן הגנת תחנת חובבי רדיו מפני פגיעת ברקים ובהגנה מפני ברקים לתורן ועמוד נושא לאנטנות העומד ב'תקנות הפטור'.

בנוסף, מוצגים התקן הישראלי להגנה מפני פגיעת ברק, ת"י 1173 חלק 1, והתקן הבינלאומי להגנה מפני פגיעת ברק, IEC 62305, כדי לתת לחובבים מידע בסיסי על דרישות התקנים.

תקנות התכנון והבנייה (תכן הבנייה) (בטיחות המשתמש), תש"ף–2019, מחייבות הקמת מערכת הגנה מפני פגיעת ברק, רק כאשר חישוב לפי התקן הישראלי ת"י 1173 חלק 1 מחייב זאת. חישוב הסיכונים של פגיעת ברק באנטנה של חובב רדיו מחייב חישוב ספציפי, כל מקרה לגופו, בידי מהנדס חשמל מוסמך.

גופים שונים בישראל, כדוגמת רשות החשמל, אינם מסתפקים בדרישות התקן הישראלי, ודורשים עמידה בדרישות התקן הבינלאומי IEC 62305.

בכל מקרה, מומלץ לכל חובב המתקין אנטנה לוודא הארקה טובה של האנטנה או של העמודים הנושאים את האנטנה, להתקין 'מגן ברקים' (מגן נחשולי מתחיתר) בלוח החשמל בדירתו, כמוצג בפרק ד, ולרכוש ביטוח כלפי צד שלישי המכסה נזק לאדם או לרכוש הקשור לאנטנות ו/או לתרנים.

תוכן העניינים

1	פרק א – מבוא.....
2	פרק ב – פגיעת ברק ונזקיה.....
4	פרק ג – קולט ברק – 'זווית ההגנה' ו'הכדור המתגלגל'.....
6	פרק ד – הגנת תחנת חובבי רדיו מפני פגיעת ברק.....
6	מבוא.....
6	על מה יש להגן?
6	הגנה על כבל קואקס
8	הגנה על קווי החשמל
9	הגנה על כבלי תקשורת ובקרה אחרים.....
9	נקודת הארקה מרכזית (Single Point Ground) חשובה מאוד.....
9	מסקנות.....
10	פרק ה – הגנה מפני פגיעת ברק לתורן ועמוד נושא אנטנות העומד ב'תקנות הפטור'.....
12	פרק ו – ת"י 1173: התקן הישראלי להגנות מפני פגיעת ברק.....
14	פרק ז – IEC 62305: התקן הבינלאומי להגנה מפני פגיעת ברק.....
	נספח – האם הקמת אנטנה אנכית של חובב רדיו לפי הנחיות התקן הישראלי ת"י 799
17	מגדילה את סיכון פגיעת ברק במבנה עליו מותקנת האנטנה?.....
18	מוסף 1 – חישוב לפי תקן ישראלי ת"י 1173 חלק 1.....
18	דרישות התקן
18	שיטת החישוב
18	מסקנות.....
19	מוסף 2 – חישוב לפי התקן הבינלאומי IEC 62305-2:2024.....
19	המלצות התקן
19	שיטת החישוב
27	מסקנות.....
28	מוסף 3 – גיליון חישובים לפי התקן הבינלאומי.....
28	כללי.....
28	גיליון החישובים.....

פרק א – מבוא

ברק הוא תופעת טבע הנוצרת מהתפתחות ענני חִשְׁרָה (Cumulonimbus) בגובה רב (עד 15 ק"מ). בחלק העליון של הענן נוצר מטען חיובי, ובחלקו התחתון נוצר מטען שלילי. המטענים נעים מן הענן ומתקדמים כלפי הקרקע, וכשהם נפגשים בדרכם לקרקע נוצר אור חזק (ברק) וגל הלם אקוסטי (רעם), הנשמע למרחק של עד 10 ק"מ. עוצמת הזרם בהתפרקות המטענים מגיעה עד 500 קילו-אמפר, ומהירות הגל היא 20 עד 30 אחוז ממהירות האור. עוצמת הזרם מגיעה לשיאה תוך פרק זמן קצר מאוד (פחות מ-10 מיקרושניות), ואחרי השיא יורדת עוצמת הזרם לאיטה לאפס (בפרק זמן של עשרות עד מאות מיקרושניות).

פגיעה ישירה של ברק באדם או בעל חיים גורמת למותם כתוצאה משיתוק מערכת הנשימה ופרפור חדרי הלב. פגיעה בגוף מתכת גורמת להתכת כמות חומר. זרם הברק מתיך ומאדה כבלי מתכת שהוא עובר בהם. המתכת הלוהטת יכולה לגרום לשריפה. ברק יכול לגרום לשריפה ותקלה במתקני חשמל ובהתקנים אלקטרוניים, וגל ההלם האקוסטי (רעם) עלול לנפץ זגוגיות. יש להתמודד עם סיכונים אלה.

הגנה מפני פגיעת ברק היא נושא בטיחותי חשוב, במיוחד לחובבי רדיו.

מדריך זה מתאר בתמציתיות את פגיעת הברק ונזקיה, דן ב'נפח המוגן' של קולט ברק, מרחיב באופן הגנת תחנת חובבי רדיו מפני פגיעת ברק ובהגנה מפני ברק לתורן ועמוד נושא לאנטנות העומד ב'תקנות הפטור', ודן בתקינה הישראלית והבינלאומית בנושא הגנה מפני פגיעת ברק.

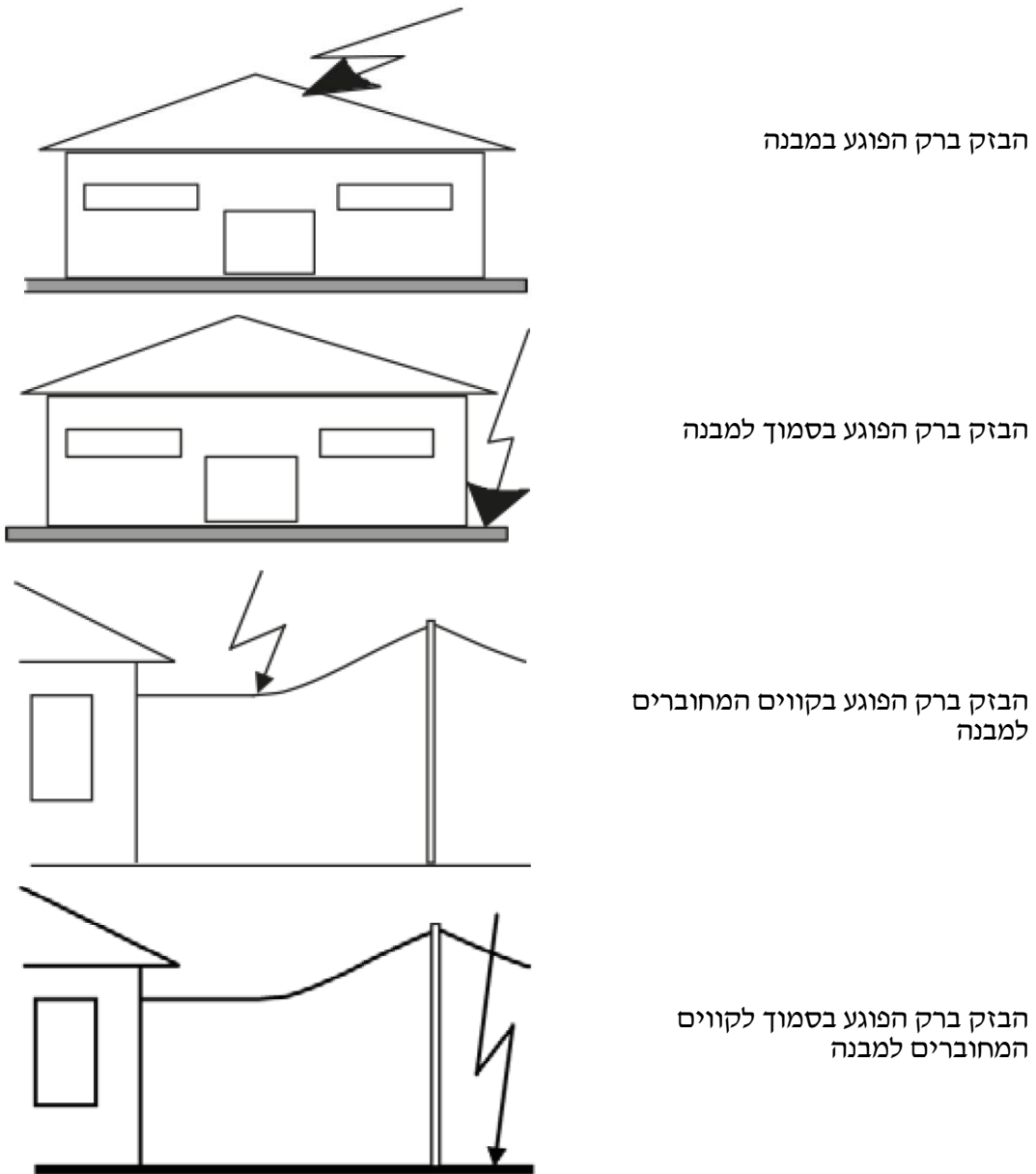
לצרכי התרשמות מוצגות בנספח דוגמאות חישוב מפורט של מקרה טיפוסי – הקמת תורן ואנטנה העומדים ב'תקנות הפטור', שהתקנתם אינה מחייבת היתר בנייה, על גג מבנה בן ארבע קומות באזור עירוני בשפלת החוף. החישובים לדוגמה הם לפי התקן הישראלי ולפי התקן הבינלאומי, ומראים כי – בנתוני הדוגמה – אם התקנת האנטנה נעשית לפי כללי התקן המחייב, ת"י 799, תוספת הסיכון לפגיעת ברק עקב הקמת התורן והאנטנה קטנה מאוד, ולא נדרש לנקוט באמצעי זהירות נוספים על אלה הנדרשים לפי ת"י 799.

פרק ב – פגיעת ברק ונזקיה

- קיימים שני סוגים בסיסיים של הבזקי ברק (lightning flashes):
 - הבזק יורד – מענן לקרקע, הנוצר על ידי פריצה מטה מהענן לכיוון הקרקע (downward leader); אופייניים לשטח מישורי ומבנים נמוכים;
 - הבזק עולה – ממבנה על הקרקע לענן, הנוצר על ידי פריצה מעלה מהמבנה לכיוון הענן (upward leader); אופייניים למקומות נישאים ומבנים גבוהים.
- הבזק ברק כולל בממוצע שלוש עד ארבע 'מכות' (strokes), במרווח זמן של כ-50 מילישניות:
 - מתקפים קצרים, שמשכם קטן מ-2 מילישניות.
 - מתקפים ארוכים, שמשכם גדול מ-2 מילישניות.
- התקן הבינלאומי IEC 62305 מבחין בין שני מקורות נזק (damage) מפגיעת ברק:
 - נזק למבנים – כולל לסביבתם;
 - נזק לאנשים במבנה, למערכות במבנה ולקווי חשמל ותקשורת המחוברים למבנה.
- התקן הבינלאומי קובע ארבעה מקורות סיכון, כמוצג באיור מס' 2:
 - הבזקי ברק הפוגעים במבנה;
 - הבזקי ברק הפוגעים בסמוך למבנה;
 - הבזקי ברק הפוגעים בקווים המחוברים למבנה;
 - הבזקי ברק הפוגעים בסמוך לקווים המחוברים למבנה.
- מבחינה מעשית, בדרך כלל לא ניתן ולא מעשי להשיג הגנה מושלמת מפני ברקים. ניתן ליישם אמצעי הגנה כדי להקטין את הסתברות הסיכון מפני פגיעת ברק ואת תדירות נזקי פגיעת ברק. אמצעי הגנה לצמצום פגיעה במבנה והלם חשמלי בבני אנוש כוללים:
 - מערכת להגנה מפני פגיעת ברק (LPS – Lightning Protection System), כמפורט בחלק 3 של התקן הבינלאומי; מערכת כזו כוללת:
 - אמצעים ליירוט הברק (מערכת קליטה – air termination) – 'קולט ברק'.
 - מוליכי הורדה (down conductors), להולכת זרם הברק בבטחה אל הקרקע;
 - מערכת הארקה (earth termination), לפיזור זרם הברק בקרקע;
 - גישור (bonding) שווה-פוטנציאל (או לפס הארקות)¹;
 - בידוד חלקים מוליכים, כולל מרחק הפרדה (separation distance) בין מערכת הגנת ברק חיצונית לבין אלמנטים מוליכי חשמל הנמצאים בתוך המבנה;
 - מגבלות גישה פיזית ושלטי אזהרה.
- אמצעי הגנה לצמצום כשלים במערכות חשמליות ואלקטרוניות במבנה כוללים אמצעים להגנה מפני נחשולי מתחיתר (SPM – Surge Protection Measures), כמפורט בחלק 4 של התקן הבינלאומי, כולל:
 - הארקה (earthing) וקישור (bonding);

¹ תקנות החשמל (הארקות יסוד), תשמ"א-1981, מחייבות גישור בין הארקות יסוד לפס השוואת הפוטנציאלים.

- סיכוך מגנטי (magnetic shielding);
- ניתוב קווים (line routing);
- מישקים מבודדים (isolating interfaces), כמו שנאי בידוד או סיבים אופטיים;
- מערכות הגנה מתואמות (coordinated) מפני נחשולי מתח-יתר (SPD – Surge Protection Device).



הבזק ברק הפוגע במבנה

הבזק ברק הפוגע בסמוך למבנה

הבזק ברק הפוגע בקווים המחוברים למבנה

הבזק ברק הפוגע בסמוך לקווים המחוברים למבנה

איור 2: פגיעת ברק
 מקור: IEC 62305-1:2024, Table 2

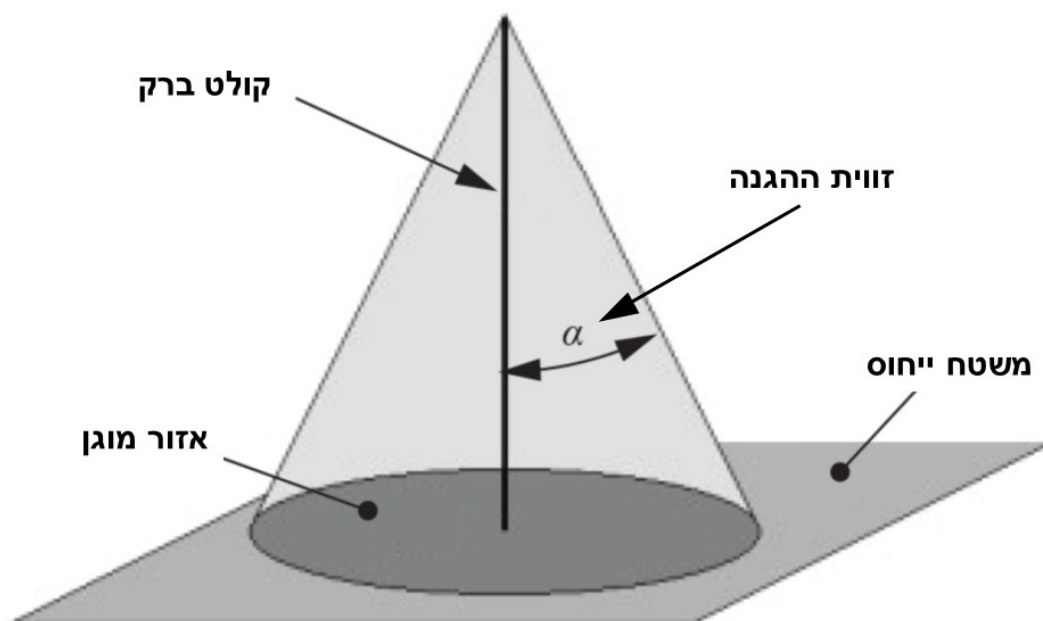
פרק ג – קולט ברק – 'זווית ההגנה' ו'הכדור המתגלגל'

מיקום קולט ברק (או, כפי שהתקן מכנה, מערכת קליטת הברק) חייב להיות כזה שהמבנה עליו יש להגן יהיה בתוך הנפח המוגן (Protected Volume) של קולט ברק. התקנים קובעים מספר שיטות לקביעת נפח זה.

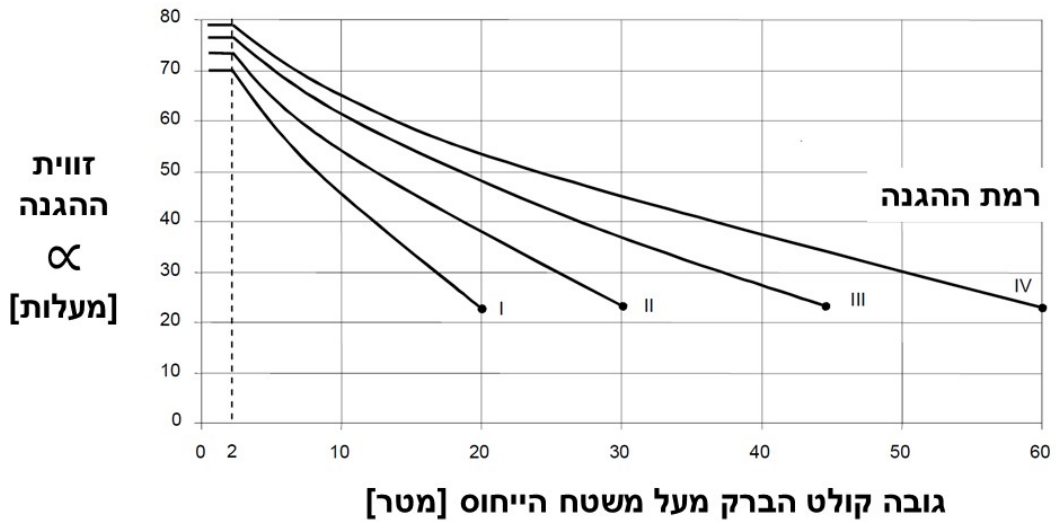
התקן הישראלי, ת"י 1173, קובע את הנפח המוגן בשיטת 'זווית ההגנה' (Protective Angle Method), 'זווית ההצלה' בעגת התקן, וקבע זווית הגנה של 20 מעלות. זווית ההגנה מוצגת באיור מס' 3.

התקן הבין-לאומי, IEC 62305, קובע 'זווית הגנה' התלויה בגובה קולט ברק מעל המשטח עליו נדרש להגן וברמת המיגון הנדרשת, ומוסיף שיטות נוספות, שלענייננו, החשובה בהם היא שיטת 'הכדור המתגלגל' (Rolling Sphere Method).

לפי התקן הבין-לאומי, היחס בין 'זווית ההגנה' α [מעלות] לגובה קולט ברק מעל המשטח עליו נדרש להגן h [מטר] נקבע לפי איור מס' 4, בהתאם לרמת ההגנה (LPL – Lightning Protection Level) הנדרשת – רמה I היא רמת ההגנה הגבוהה ביותר, רמה IV היא רמת ההגנה הבסיסית.

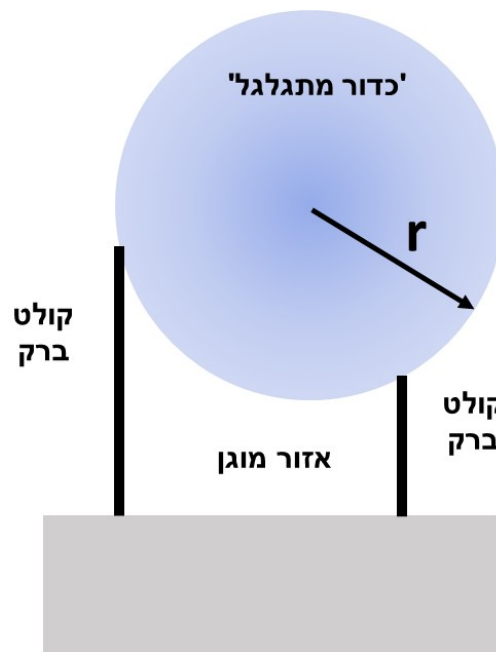


איור מס' 3: 'זווית ההגנה' היא הקונוס מתחת לקולט ברק
מקור: IEC 62305-3:2024, Figure 3



איור מס' 4: זווית ההגנה בהתאם לרמת ההגנה הנדרשת
 IEC 62395-3:2024, Figure 1 : מקור

בשיטת 'הכדור המתגלגל', שקוטרו הוא 'מרחק הקפיצה' (Striking Distance) הנקבע על פי עוצמת זרם הברק, מיקום קולט הברק צריך להיות כזה ש'הכדור המתגלגל' לא ייגע במבנה עליו יש להגן, מכל כיוון שהכדור 'מתגלגל' לעבר המבנה. אלמנטים הנוגעים בכדור או חודרים את פניו אינם מוגנים. 'הכדור המתגלגל' ברדיוס r , לתחימת אזור מוגן, מוצג באיור מס' 5.



איור מס' 5: שיטת 'הכדור המתגלגל' לתחימת אזור מוגן

רדיוס 'הכדור המתגלגל' נקבע לפי רמת ההגנה הנדרשת, ונע בין 20 מטר לרמת ההגנה הגבוהה ביותר ל-60 מטר עבור רמת ההגנה הבסיסית.

פרק 4 – הגנת תחנת חובבי רדיו מפני פגיעת ברק

מבוא

אנטנות של חובבי רדיו, החשופות לברקים, הן מקור לפגיעת ברק בתחנות חובבי רדיו. כל חובב רדיו וותיק נושא עמו סיפורים על נזקים שקרו בתחנתו, והספק תמיד מכרסם – האם אפשר היה למנוע את הנזק? האם נעשה מספיק כדי לצמצם את הסיכון? פרק זה מתמקד בהגנה על תחנת הרדיו עצמה.²

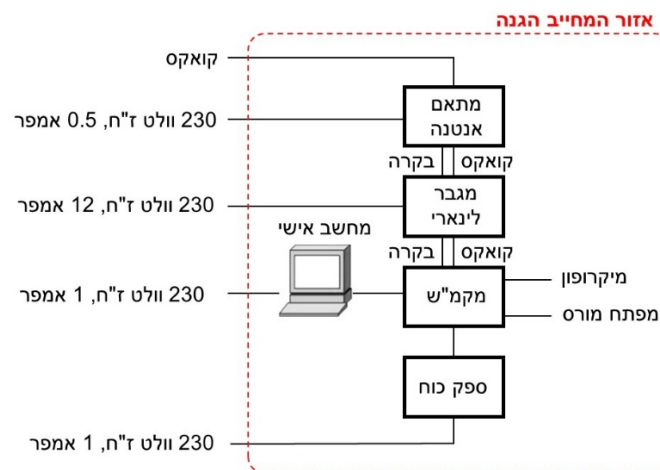
תחנות חובבי רדיו שונות זו מזו. כל תחנה עם מאפייניה הייחודיים, אין פתרון אחד להגנה מפני פגיעת ברק המתאים לכל מקרה. העקרונות המתוארים במאמר זה נועדו לסייע בהתמודדות עם הבעיה.

על מה יש להגן?

מטרת הגנת תחנת חובבי רדיו מפני פגיעת ברק היא ליצור 'אזור מוגן', הוא תחנת החובבים. השלב הראשון בתהליך הוא לזהות על מה יש להגן, ובאיזו עדיפות.

העדיפות הראשונה בהגנה היא כמובן הציוד האלקטרוני היקר: המקמ"ש, המגבר הלינארי, המחשב. השלב הראשון בתכנון הגנה הוא לשרטט את החיבורים החשמליים לציוד זה.

האזור המורכב מהרשת החשמלית של ציוד עיקרי זה והכבלים המחוברים אליו הוא האזור המחייב הגנה, כמוצג באיור מס' 6, וההגנה העיקרית היא הגנה על כל הקווים המוליכים הנכנסים לאזור זה.



איור מס' 6: תחנת חובבי רדיו אופיינית – מרשם חיבורים

הגנה על כבל קואקס

ההגנה הבסיסית הנדרשת היא הגנה על כבל הקואקס המוליך לאנטנה. הדבר מחייב הארכת כבל הקואקס בשני קצותיו, בסמוך לאנטנה ובסמוך לציוד האלקטרוני (כדי להקטין את אנרגיית הברק

² ראו הגל החדש 4X Bulletin, גיליון 34, דצמבר 2022, עמ' 10-12.

הזורמת בקואקס), והתקנת מגן ברק לקו קואקס, מוארק היטב, בסמוך לציוד האלקטרוני. ניתן לרכוש מגיני ברק ייעודיים המיועדים לחובבי רדיו. דוגמה למגן ברק כזה מוצגת באיור מס' 7.



איור מס' 7: מגן ברק לקו קואקס תוצרת חברת PolyPhaser

ההתקן מיועד לחיבור קו קואקס בעכבת אופיינית של 50 אוהם בתחום התדרים 1.5 עד 700 מה"ץ, בהספק עד 2,000 וואט, וניחותו 0.1 ד"ב. המגן מיועד ליספוגי זרם ברק של עד 50 קילואמפר.

דרך מעשית ונוחה היא שימוש במתג בורר לכבלי קואקס, המאפשר לחבר את ציוד השידור/קליטה לאנטנות שונות. הדק קואקס שלא בשימוש מקוצר ומוארק, ובעת שהתחנה לא בשימוש, ניתן למתג להדק פנוי, שלא מחובר לאנטנה (יש מתגים עם מצב מיוחד לתחנה שלא בשימוש, המקצר ומאריק את המבוא לציוד). חשוב להקפיד שהמפסק מוארק היטב. יש מתגים כאלה המשלבים בתוכם מגן ברק (ראו תמונה). זו בהחלט דרך יעילה להגן על הציוד היקר. דוגמה למתג כזה מוצגת באיור מס' 8. יש חובבים הנוהגים לנתק את הכבל הקואקסיאלי מהתחנה, כאשר היא איננה בשימוש. הדבר איננו מומלץ: המחברים הקואקסיאליים לא מותאמים לניתוק/חיבור תכוף, והשארית כבל קואקס 'פתוח' בין האנטנה לתחנה יכולה בעת פגיעת ברק ליצור ניצוץ בין הכבל לחלקי מתכת בתחנה, ולגרום לנזקים.



איור מס' 8: מתג בורר לכבלי קואקס לתחנת חובבי רדיו, תוצרת Alpha Delta

המתג מאפשר לברור בין אנטנות שונות. הדק אנטנה שלא בשימוש מקוצר להארקה.

מיועד לחיבור קווי קואקס בעכבת אופיינית של 50 אוהם בתחום התדרים עד 500 מה"ץ, בהספק עד 1,500 וואט.

מאפשר הרכבת מגן ברק (Arc Plug).

את גוף המפסק יש לחבר בכבל נחושת מתאים לפס הארקה.

הגנה על קווי החשמל

הגנה על קווי הזנת החשמל נעשית באמצעות 'מגן ברק' בלוח החשמל. מגן זה מנטר את מתח רשת החשמל, מנתק את חיבור החשמל כאשר הוא מזהה עליית מתח פתאומית, ומנתב את זרם הברק להארקה.

שני הסוגים העיקריים של 'מגני הברק' הם 'מגן ברק' המזהה מתח יתר בשיטה של זיהוי ניצוץ בין שתי אלקטרודות שביניהן מרווח אוויר ('מרווח פריצה'), ו'מגן ברק' המזהה מתח יתר באמצעות חיישן אלקטרוני. דוגמה לרכיב כזה מוצגת באיור מס' 9.

בחירת תכונות 'מגן הברק' הנדרש תלויה באופי המבנה (מבנה צמוד קרקע, מבנה מרובה דירות/משרדים, מבנה תעשייתי), צורת הזנת החשמל למבנה (כבל חשמל עילי או כבל חשמל תת-קרקעי), מבנה הארקה המבנה (הארקה יסוד או הארקה אחרת), זרם הקצר הצפוי, רמת ההגנה הנדרשת ועוד. התכנון החשמלי חייב להתבצע בידי גורם מוסמך.

בהתקנת חשמל בדירת מגורים בישראל לא מתקניים בדרך כלל 'מגן ברק' בלוח החשמל. מומלץ לחובב רדיו לשקול להוסיף 'מגן ברק' (בעגה המקצועית: מגן נחשולי מתחיתר, או SPD, ³ מסוג Type 2) ללוח החשמל בדירתו, במיוחד אם תחנתו חשופה לברקים. ההתקנה חייבת להיעשות בידי חשמלאי מוסמך, והרכיב שיוקן חייב להיות מתאים לנתיך הראשי ולממסר הפחת.



איור מס' 9:
'מגן ברק'
ללוח חשמל
ביתי

דגם OVR T2
4L 4-275 P QS
תוצרת חברת
ABB.
הדגם בתמונה
הוא מגן
נחשולי מתח
יתר תלת פזי,
המסוגל לשאת
מתקף ברק
בעוצמה של 40
קילואמפר.



איור מס' 10:
דוגמה
להתקנת 'מגן
ברק' בלוח
חשמל ביתי
(מימין)

הגנה על כבלי תקשורת ובקרה אחרים

בעבר היה שימוש נרחב בקווי טלפון וכבלי טלוויזיה, וכאשר הם נכנסו לתחנת חובבים, נדרש להגן עליהם. היום פשוט יותר להתקין סיב אופטי, שאינו מחייב הגנה (אם כי נדרשת הגנה לחיבור החשמל לסיימ האופטי, ה־ONU, אם הוא מותקן בתחנת החובבים).

אם החובב משתמש במסובב אנטנה, יש לבחון התקנת אמצעי הגנה ייעודיים על כבל הבקרה של מסובב האנטנה. יצרני מסובבי אנטנה מפנים בדרך כלל לאמצעי ההגנה המתאימים, ככל שהם נדרשים.

נקודת הארקה מרכזית (Single Point Ground) חשובה מאוד

נושא חשוב בהגנת תחנת חובבי רדיו מפני פגיעת ברק היא התקנת נקודת הארקה מרכזית, אליה יחוברו כל פריטי הציוד השונים בתחנה. הדבר מונע זרימת זרם הברק להארקה בין פריטי הציוד השונים.

הדבר נעשה בדרך של התקנת פס נחושת עבה, אליו תחובר הארקה איכותית ייעודית (נפרדת מהארקת המגן החשמלית ומהארקה המיועדת לקליטת זרמי הברק), המבוססת על אלקטרוודות הארקה או על חיבור לצינור מים מתכתי. חשוב שהארקה זו תהיה איכותית – הארקה גרועה היא מתכון לאסון.⁴

רצוי להתקין את מגן הקו הקואקסיאלי ישירות על פס נחושת זה.

בפריטי ציוד אלקטרוני של חובבי רדיו יש בדרך כלל בורג ייעודי לחיבור הארקה, ויש לחבר כבל נחושת גמיש ורחב, חיבור ישיר וקצר, ללא 'פיתולים' מיותרים, בין כל פריט ציוד אלקטרוני לבין פס הארקה. דוגמאות לכבלי נחושת כאלה מוצגות באיור מס' 11.



איור מס' 11:
רצועות תילי
נחושת גמישות
מצופות בדיל
המיועדות לגישור
ציוד אלקטרוני
לפס הארקה

מסקנות

הגנת תחנת חובבי רדיו מפני פגיעת ברק פשוטה ולא יקרה. הגנה כזו, המתוארת במאמר, איננה מושלמת, אך מספקת הגנה טובה מפני רוב פגיעת הברק.

מומלץ לכל חובב להתקין אמצעי הגנה מתאימים – עלות תיקון נזק פגיעת ברק גבוהה פי כמה מעלות אמצעי ההגנה!

⁴ למדידות התנגדות הארקה, ראו: דניאל רוזן, **לרדת לקרקע – כיצד מודדים התנגדות הארקה?**, הגל החדש – 4X Bulletin, גיליון 33, נובמבר 2022, עמ' 10 – 14.
ראו: <https://www.iarc.org/wp-content/uploads/2024/08/4xbulletin-11-2022e.pdf>

פרק ה – הגנה מפני פגיעת ברק לתורן ועמוד נושא אנטנות העומד ב'תקנות הפטור'

תורן אנטנה ו/או אנטנה, שמעצם טבעם מותקנים באזור חשוף לברקים, מחייבים תשומת לב מיוחדת, כדי לצמצם את הנוק למבנה עקב פגיעת ברק באנטנה.

תורן לאנטנות ועמוד נושא אנטנות של חובבי רדיו העומד 'בתקנות הפטור',⁵ שהתקנתו איננה מחייבת היתר בנייה, נדרש לעמוד בדרישות תקן הישראלי ת"י 799: מתקני אנטנות לקליטה משותפת (אק"ם), מתקני אנטנות לקליטה אינדיווידואלית (אק"א) ועמוד נושא אנטנה אנכית של חובבי רדיו.⁶ התקן כולל, בין היתר, דרישות להגנה מפני ברקים.⁷

התקן מחייב כי כל חלקי המתכת של התורן והעמוד נושא האנטנות יוארקו, וכי גישור התורן או העמוד נושא האנטנות להארקה במוליך נחושת (תיל בשטח חתך 16 ממ"ר או מוליך מלבני במידות 20×1.5 מ"מ) או מוליך פלדה מגולוונת (תיל בשטח חתך 32 ממ"ר או מוליך מלבני במידות 20×2.5 מ"מ).

התקן קובע כי היה ובמבנה עליו מותקן התורן או העמוד, יש מערכת הגנה מפני פגיעת ברק, מוליך ההארקה יחובר אליה. אם בבניין יש 'הארקת יסוד', יחובר מוליך הארקה לעוקץ היוצא מטבעת הגישור התחתונה של מערכת זו. אם בבניין אין הארקת יסוד, המוליך יחובר לרשת אספקת מים העשויה צנרת מתכתית (לפני מד המים, בכיוון הרשת העירונית). בכל מצב אחר, יחובר המוליך לפחות לשתי אלקטרודות אופקיות, שאורך כל אחת מהן 5 מטר לפחות, והן טמונות בקרקע בעומק 0.5 מטר לפחות, או לחלופין, לאלקטרודה אנכית אחת שאורכה 2.5 מטר, הטמונה בקרקע כך שהקצה העליון יהיה בעומק 0.5 מטר לפחות. האלקטרודות צריכות להיות במרחק של 1 מטר לפחות מהבניין, ושטח החתך שלהן צריך להיות 50 ממ"ר לאלקטרודת נחושת או 80 ממ"ר לאלקטרודת ברזל.

עוד קובע התקן כי ההתנגדות החשמלית בין נקודת החיבור להארקה למסה הכללית של כדור הארץ צריכה להיות קטנה מ-10 אוהם.

חשוב לדעת כי הארקה להגנה מפני פגיעת ברק שונה מהארקות אחרות, כמו הארקות בטיחות במערכת החשמל או הארקות ת"ר בתחנת חובבים, שכן היא חייבת להיות בעלת השראות נמוכה במיוחד (ברק הוא אות חשמלי עם זמן עליה מהיר במיוחד, והשראות מעגל ההארקה יוצרת עכבה ההופכת את ההארקה לבלתי יעילה לטיפול בברק). התקן קובע כי ההתנגדות החשמלית בין נקודת החיבור להארקה מערכת ההגנה למסה הכללית של כדור הארץ צריכה להיות קטנה מ-10 אוהם. התקן מגדיר כי מדידת ההתנגדות החשמלית של החיבור למסה הכללית של כדור הארץ תיעשה בשיטת ארבעה הדקים.

⁵ תקנות התכנון והבנייה (עבודות ומבנים הפטורים מהיתר), תשע"ד–2014. אנטנות ותרינים של חובבי רדיו מוגדרים בסעיף 38 לתקנות.

⁶ ראו: דניאל רוזן, אנטנות פטורות מהיתר בנייה: מדריך לחובבי רדיו, אגודת תקשורת הרדיו הישראלית, תשרי תשפ"ה – אוקטובר 2024.

<https://www.iarc.org/wp-content/uploads/2025/01/1.01-אנטנות-פטורות-מהיתר-גרסה-1.01.pdf>

⁷ תקן זה מנחה בדבר הקמת תורן אנטנה ועמוד נושא אנטנות אנכיות בגובה עד 9 מ' בכללי תכן המפורטים בתקן, במסגרת פטור מהיתר בנייה, ותרינים כלשהם, שגובהם, מבנם ועיגונם שונים מהמפורט בתקן – בתכנון ספציפי, לפי הנחיות נספח א' לתקן.

האם הקמת תורן ואנטנה לפי 'תקנות הפטור' על מבנה מגדילה את סיכון פגיעת ברק במבנה לרמה המחייבת אמצעי הגנה ייחודיים? ניתוח 'פשטני' של מקרה טיפוסי, של התקנת אנטנה על פי ת"י 799 בגובה 9 מטר על מבנה העומד בהנחיות התקנים, המוצג בנספח, מראה שתוספת הסיכון איננה משמעותית, ולכן כאשר מתקינים אנטנה כזו חשוב להקפיד על התקנתה לפי התקן, אך לא נדרש לנקוט אמצעי הגנה נוספים, מעבר לאמור בתקן.

עם זאת, מומלץ לכל חובב המתקין אנטנה לרכוש ביטוח כלפי צד שלישי המכסה נזק לאדם או לרכוש עקב אנטנות ו/או תרנים.

בנספח צורפו דוגמאות חישוב, לפי התקן הישראלי ולפי התקן הבין-לאומי, הממחישות כי הקמת תורן נושא אנטנות או אנטנה אנכית של חובבי רדיו בהתאם להנחיות ת"י 799, בגובה 9 מ' על גג מבנה קיים, כאשר ההתקנה נעשית לפי הנחיות התקן, לא מגדילה את הסיכון למבנה, לאנשים הנמצאים בו ולציוד שבמבנה, מעבר לסף התקן.

פרק ו – ת"י 1173: התקן הישראלי להגנות מפני פגיעת ברק

התקן המחייב בישראל להגנות מפני פגיעת ברק הוא ת"י 1173 חלק 1: מערכת הגנה מפני ברקים למבנים ולמתקנים: מערכת הגנה חיצונית.⁸

התקן, תקן ישראלי מקורי שנכתב בשנת 2008, קובע את 'הרמה הקראונית' (שכיחות ימי סופות ברקים בשנה) באזורי הארץ השונים, שהיא מתחת 5 בדרום הארץ, מעל 30 בצפון הארץ, קובע שיטת ניקוד (באחוזים למאה) לקביעת צורך במערכת הגנה למבנה, ומגדיר מערכת הגנה מפני ברק שכללה 'מערכת קליטה' (קולטי ברק המותקנים על גג המבנה), 'מערכת הורדה' (מוליכים בין קולטי הברק להארקה) ו'מערכת הארקה'. מפה איזוקראונית של ישראל, לפי התקן, מוצגת באיור מס' 12.

התקן מגדיר כיצד לתכנן ולהקים מערכות אלה, בסוגים שונים של מבנים, וכיצד לבדוק את תקינות המערכות – בדיקות עם הקמתן ובדיקות תקופתיות במהלך חייהן.⁹

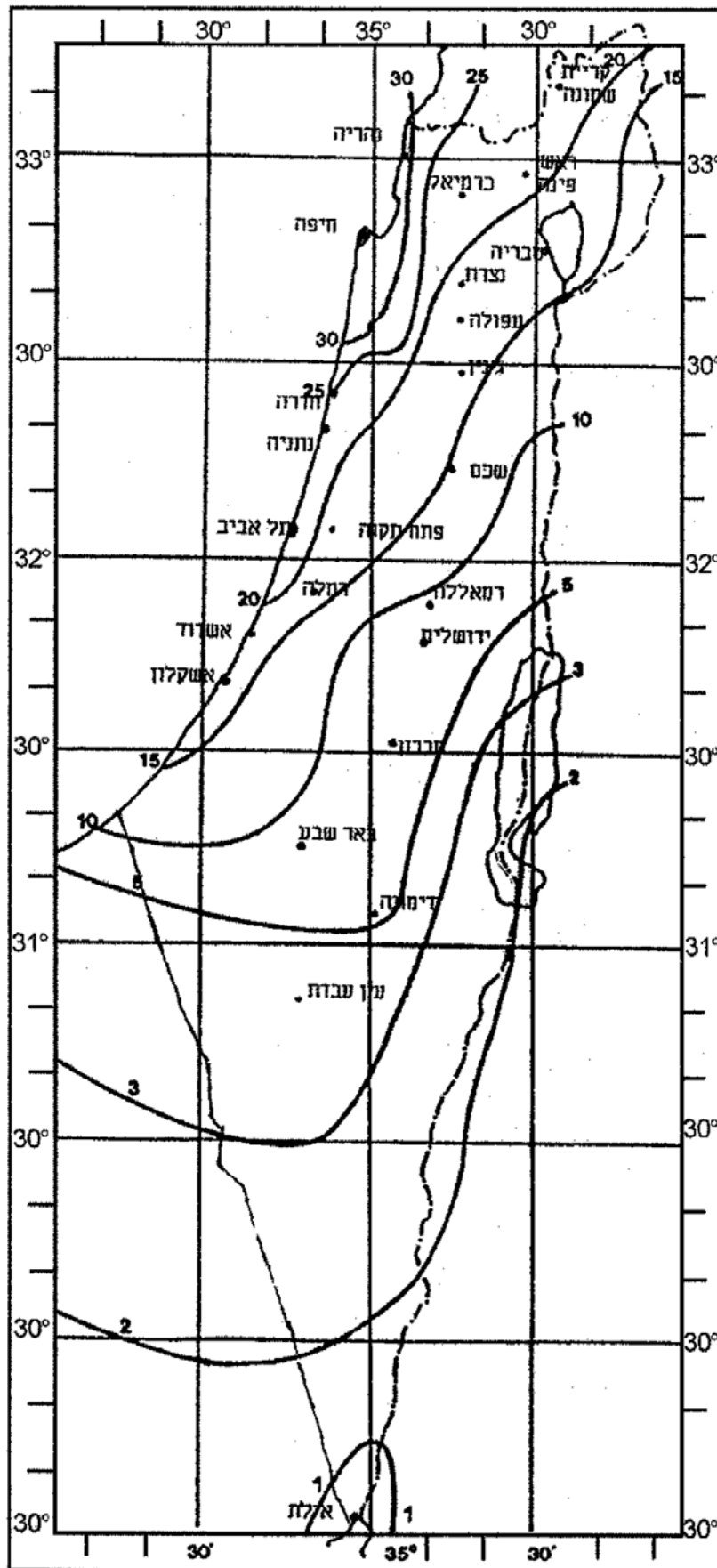
ניתן לצפות בתקן זה באתר מכון התקנים, <https://ibr.sii.org.il/>, במדור 'תקנים בחקיקה'.

חלק 2 של התקן, מערכת הגנה מפני ברקים למבנים ולמתקנים: מערכת הגנה פנימית, לא הוכן, וחסרונו מורגש.

הנספח למדריך זה, הדן בשאלה האם תוספת הסיכון לנוק פגיעת ברק במבנה עקב הקמת תורן נושא אנטנות או אנטנה אנכית הפטורה מהיתר בנייה, לפי הנחיות התקן הישראלי ת"י 799, בגובה עד 9 מטר, נמוכה או גבוהה מדרישות התקן, מציג במוסף 1 דוגמת חישוב לפי תקן זה.

⁸ התקן הישראלי הוא תקן מיושן וחסר, שהמומחים המקצועיים המוסמכים (ועדות התקינה במכון התקנים הישראלי) קבעו עוד בשנת 2022 שאיננו מתאים, ויש להחליפו בתקן בינלאומי מקובל, והקימו ועדת מומחים כדי לטפל בנושא, אך הדבר 'לא הסתייע' (דהיינו – הנושא לא עניין את השלטונות).

⁹ ראו: דניאל רוזן, **ברקים למטר עשה ויצא רוח מאצרתיו**, הגל החדש 4X Bulletin, גיליון 34, דצמבר 2022, עמ' 10–12. ראו <https://www.iarc.org/wp-content/uploads/2024/08/4xbulletin-12-2022-a.pdf>



איור מס' 12: מפה איזוקראונית של ישראל, 2008
 מקור: ת"י 1173

פרק ז – IEC 62305: התקן הבינלאומי להגנה מפני פגיעת ברק

התקן הבינלאומי המקובל להגנה מפני פגיעת ברק (Protection against lightning) הוא סדרת התקנים IEC 62305 של הנציבות הבינלאומית לאלקטרוטכניקה (IEC), המקובל במדינות רבות בעולם.¹⁰ הסדרה כוללת ארבעה חלקים:

- **חלק 1: עקרונות כלליים (General principles)** – חלק זה מציג את תופעת פגיעת ברק, מאפיין את נזקי הפגיעה, מתאר באופן כללי את אמצעי ההגנה, מציג את מאפייני הברק (רמות הברק, מפנין יש להתגונן), מאפיין את אזורי ההגנה (LPZ – Lightning Protection Zones) – האזור החשוף לפגיעת ברק ישירה, האזור המוגן מפני פגיעת ברק ישירה, אך חשוף לשדה האלקטרומגנטי של הברק, האזור בו נחשול זרם הברק מוגבל באמצעות 'מדכא נחשולי מתחיתרי' SPD (Surge Protection Device) והאזור בו נעשית הגבלה נוספת של נחשול זרם הברק – והגנה מפני תופעות אלקטרומגנטיות של ברק (LEMP (Lightning Electromagnetic Impulse). נספחים לתקן מאפיינים את זרם הברק ומסבירים כיצד מבצעים סימולציה של ברק לצורך בדיקות. התקן מגדיר ארבע רמות הגנה (LPL (Lightning Protection Levels): רמה I עם הסתברות הגנה של 99% מפגיעת ברק שבהסתברות 99% עוצמת מתקף הברק נמוכה מ-200 קילו אמפר, רמה II עם רמת הגנה של 97% מפגיעת ברק שבהסתברות 98% עוצמת מתקף הברק נמוכה מ-150 קילו אמפר, רמה III עם רמת הגנה של 91%, ורמה IV עם רמת הגנה של 84%, מפגיעת ברק שבהסתברות של 95% עוצמת מתקף הברק נמוכה מ-100 קילו אמפר.
- **חלק 2: ניהול סיכונים (Risk management)** – חלק זה מנחה כיצד להעריך את סיכון פגיעת ברק וכיצד לבחור אמצעי הגנה, כך שהסיכון יהיה נסבל. התקן מבוסס על חישוב ההסתברות לפגיעה בנפש או ברכוש וחישוב תדירות אירועי נזק. התקן קובע כיצד לחשב את אזור קליטת הברק (Collection Area) סביב המבנה והקווים (חשמל, תקשורת) המוליכים אליו, כיצד לחשב את כמות האירועים המסוכנים הצפויים בשנה, וכיצד להפוך את אלה להסתברויות פגיעה או לתדירות נזק. כאשר ההסתברות עולה על סף שנקבע, נדרשת מערכת להגנה מפני פגיעת ברק. שימוש בתקן זה מחייב להסתייע במפת צפיפות ברקים. חברת נגה העמידה לשימוש הציבור מפה המבוססת על מדידות שנעשו באמצעות רשת לאיתור ורישום הבזקי ברקים (Ground flash location network), הפועלת בישראל משנת 1994 (הנתונים שנלקחו הם משנת 2000 ואילך).¹¹ המפה מוצגת באיור מס' 13.
- **חלק 3: נזק פיזי למבנים וסיכונים חיים (Physical damage to structures and life hazard)** – חלק זה מנחה בעניין הקמת מערכת הגנה מפני פגיעת ברק, המורכבת ממערכת הגנה חיצונית למבנה הכוללת קולטי ברק (air termination), מוליכים להורדת זרם הברק לקרקע (down conductors) ומערכת ארקה (earth termination) לביזור זרם הברק בקרקע, ומערכת הגנה וקישוריה לפס השוואת הפוטנציאלים (equipotential bonding), בתוך המבנה. התקן מגדיר מה צריכות להיות תכונות מערכת ההגנה בהתאם לרמות ההגנה השונות.

¹⁰ תקן שפורסם לראשונה בשנת 2006. הגרסה העדכנית, Edition 3, פורסמה בשנת 2024.
¹¹ חברת נגה ניהול מערכת החשמל בע"מ היא חברה ממשלתית המובילה את הפיתוח והניהול של משק החשמל בישראל בשגרה ובחירום ואת השתנות משק החשמל בישראל לתחרותיות וסחר הוגן ושוויוני.

הארקה מומלצת היא בהתנגדות נמוכה מ־10 אוהם, והמדידה צריכה להיעשות במד הארקה בשיטת ארבעת ההדקים.¹²

• **חלק 4: מערכות חשמליות ואלקטרוניות בתוך מבנים**

(Electrical and electronic systems within structures) – חלק זה מנחה בעניין אמצעי הגנה המיועדים להפחית את הכשלים במערכות חשמל ומערכות אלקטרוניות במבנה. התקן מגדיר אזורי הגנה (LPZ - Lightning Protection Zones), ומנחה בתכנון התקנה ותחזוקה של אמצעים לצמצום נחשולי מתחיתר ולהגנה מפניהם (SPM - Surge Protection Measures), עבור מערכות חשמליות ואלקטרוניות במבנה.

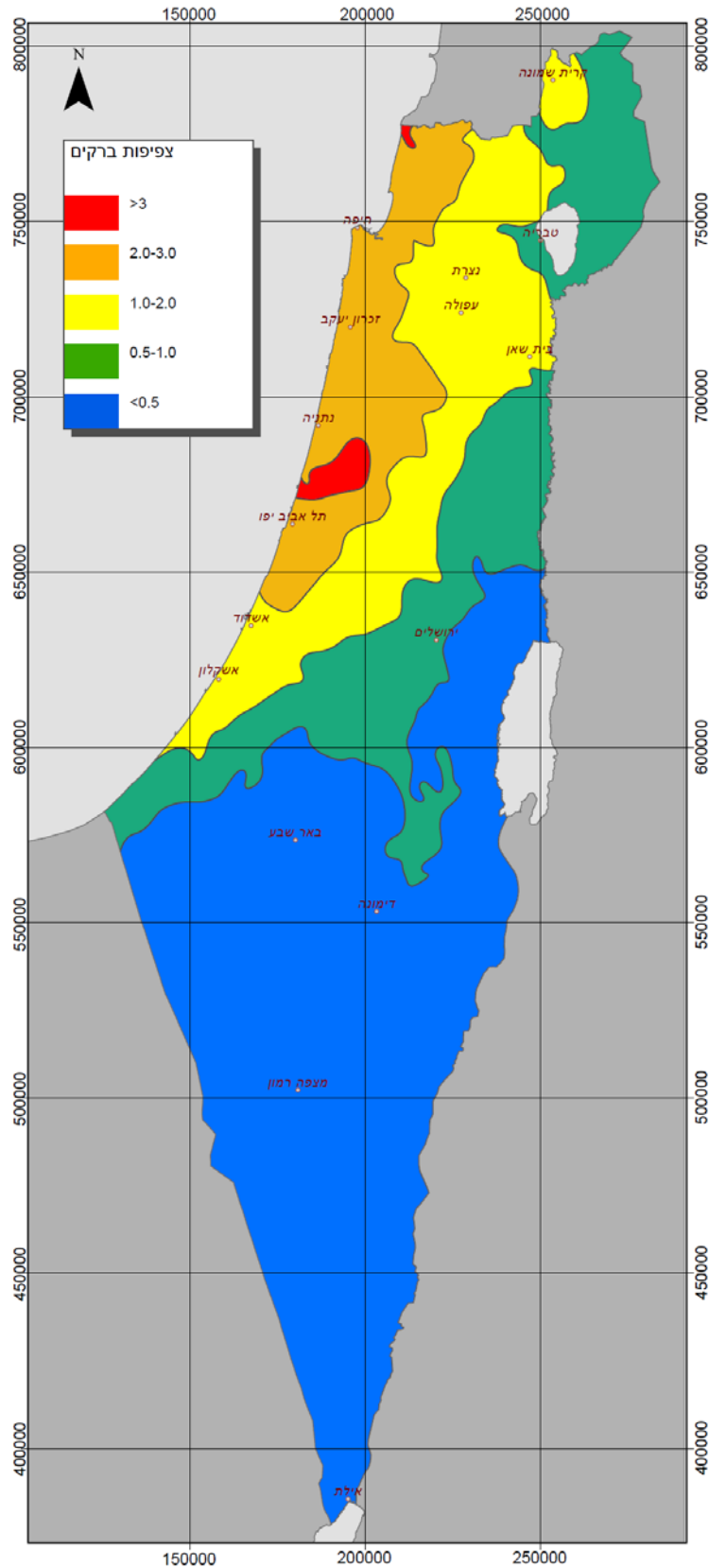
גופים שונים בישראל לא מסתפקים בדרישות התקן הישראלי ת"י 1173, ודורשים הגנה מפני פגיעת ברק בהתאם לדרישות התקן הבין־לאומי, לפי מפת צפיפות ברקים עדכנית.¹³

הנספח למדריך זה, הודן בשאלה האם תוספת הסיכון לנזק פגיעת ברק במבנה עקב הקמת תורן נושא אנטנות או אנטנה אנכית הפטורה מהיתר בנייה, לפי הנחיות התקן הישראלי ת"י 799, בגובה עד 9 מטר, נמוכה או גבוהה מדרישות התקן, מציג במוסף 2 דוגמת חישוב לפי חלק 2 של תקן זה; במוסף 3 מוצג גיליון חישובים המאפשר חישובים עצמיים, בסייגים המפורטים.

¹² ראו לעיל, הערה 4.

¹³ לדוגמה: הנחיות להתקנת רשת חשמל עילית במתח גבוה, רשות החשמל, 9 בינואר 2022. ראו:

https://www.gov.il/BlobFolder/generalpage/mm_ezer_tak_han_peir_hav_2025/he/Files_Minhal_Hashmal_Files_Seder_Hadash_2025_Hanhayot_files_Reshet_ilit_mg_Hanhayot_reshet_ilit_mg.pdf



איור מס' 13: מפת צפיפות ברקים בישראל – כמות הבזקי ברק לקמ"ר לשנה, עדכון 2024
 רשת ישראל החדשה (ITM (Israel Transverse Mercator
 באדיבות מחלקת פיתוח וניטור המערכת, חברת נגה.

נספח – האם הקמת אנטנה אנכית של חובב רדיו לפי הנחיות התקן הישראלי ת"י 799 מגדילה את סיכון פגיעת ברק במבנה עליו מותקנת האנטנה?

השאלה, שוודאי מטרידה חובבי רדיו רבים, היא האם תוספת הסיכון לנזק פגיעת ברק במבנה עקב הקמת תורן נושא אנטנות או אנטנה אנכית הפטורה מהיתר בנייה, לפי הנחיות התקן הישראלי ת"י 799, בגובה עד 9 מטר, נמוכה או גבוהה מדרישות התקן?

כדי לענות על שאלה זו, יש לבצע, לכל מקרה לגופו, חישוב לפי התקנים. החישוב חייב להתבצע בידי מהנדס חשמל מוסמך.

לצרכי התרשמות מוצגים חישובים לדוגמה להתקנה טיפוסית של אנטנה זו:

- מוסף 1 מציג חישוב לפי התקן הישראלי ת"י 1173 ;
- מוסף 2 מציג חישוב לפי התקן הבין-לאומי IEC 62305.
- מוסף 3 מציג גיליון חישובים המקל על ביצוע חישובים עצמיים, בסייגים המודגשים, באחריות המשתמש.

מוסף 1 – חישוב לפי תקן ישראלי ת"י 1173 חלק 1

דרישות התקן

התקן מציג שיטת ניקוד למבנה, מ'1 עד 100, וקובע כי אם הניקוד קטן מ'50 – אין חובה להתקין מערכת הגנה; אם הניקוד הוא בין 50 ל'60 – מומלץ להתקין מערכת הגנה; אם הניקוד גבוה מ'60 – חובה להתקין מערכת הגנה.

התקן קובע כי החישוב חייב להתבצע בידי מהנדס חשמל רשום לפי חוק המהנדסים והאדריכלים התשי"ח – 1958.

שיטת החישוב

השלב הראשון בחישוב הוא איסוף מידע על המבנה וסביבתו. לצורך הדוגמה נניח:

- האנטנה תוקם על גג מבנה מגורים קיים בן ארבע קומות, בגובה 15 מטר, בשטח 625 מ"ר, באזור עירוני בשפלת החוף; במבנה גרות 30 נפשות. המבנה 'חשוף' (כולו או חלקו הם מחוץ ל'מרחב המוגן' של מבנים הסמוכים לו, לפי סעיף 3.5.6 לתקן).
- גובה תורן נושא אנטנות או גובה האנטנה מעל המבנה הוא 9 מטר, הגובה המירבי לפי התקנות.

השלב השני הוא חישוב הניקוד, המוצג בטבלה מס' 2.

הערה	ניקוד		סימון	הערה	מאפיין
	עם אנטנה	ללא אנטנה			
נתוני המבנה:					
מ"ר	625		A		שטח המבנה
מטר	24	15	h		גובה המבנה
חישוב ניקוד:					
ציור 2	25				מספר ימי סופות רעמים בשנה
טבלה 3	20	18			גובה המבנה ושטחו
טבלה 4	5			סיכון קטן	מידת סיכון לסביבה
טבלה 5	0			שלד בטון מזוין	החומר שהמבנה עשוי ממנו
טבלה 6	11			30 איש	ייעוד המבנה – כמות אנשים
טבלה 6	5			מעטה	ייעוד המבנה – חשיבות
סעיף 6.6	0			שפלת החוף	אזור הררי
	66	64	סך הניקוד		

טבלה מס' 2: מידע על המבנה

ההערות בטבלה מפנות לגוף התקן – ת"י 1173 חלק 1

מסקנות

הניקוד המחושב הוא 64 ללא אנטנה, 66 עם האנטנה; האנטנה מוסיפה שתי נקודות בלבד – תוספת לא משמעותית. בדוגמה זו – נדרש להתקין מערכת הגנה מפני פגיעת ברק במבנה גם ללא התקנת אנטנה, ותוספת האנטנה אינה משנה את הדרישה.

מוסף 2 – חישוב לפי התקן הבינלאומי IEC 62305-2:2024

המלצות התקן

המלצות התקן הן כי ערכי סיכון ברק נסבל R_T (Tolerable Risk) ותדירות נזק ברק נסבלת F_T (Tolerable frequency of damage) המחושבים לפי הנחיות התקן יהיו קטנים מערכי הפרמטרים המייצגים (Representative Values) בטבלה מס' 1.

סעיף בתקן	ערך	פרמטר
7.3 Note 1	$10^{-5} [\text{year}]^{-1}$	סיכון נסבל R_T Tolerable risk: maximum value of the risk which can be tolerated for the structure to be protected
9.3 Note 1	$0.1 [\text{year}]^{-1}$	תדירות נזק נסבלת F_T Tolerable frequency of damage: maximum value of the frequency of damage which can be tolerated by equipment inside the structure or a zone to be protected

טבלה מס' 1: המלצות התקן

שיטת החישוב

השלב הראשון בחישוב הוא איסוף מידע על המבנה וסביבתו.

לצורך הדוגמה נניח:

- תורן נושא אנטנות או האנטנה, בגובה 9 מטר, יוקמו על גג מבנה מגורים קיים בן ארבע קומות, בגובה 15 מטר, באזור עירוני בשפלת החוף;
- המבנה מאוכלס ברציפות, כל השנה, ואין לו הגנת ברקים;
- צפיפות הבזקי הברק לקמ"ר בשנה N_{SG} תהיה 3 הבזקים לקמ"ר בשנה – הצפיפות המירבית בישראל;
- הזנת הכוח לבניין היא בקו מתח נמוך תת-קרקעי;
- הבניין מוזן בסיב אופטי, ולא מחוברים אליו קווי תקשורת מתכתיים.

ההערות בטבלאות מפנות לגוף התקן IEC 62305-2:2024.

המידע על המבנה מרוכז בטבלה מס' 2.

הערה	ערך		סימון	הערה	מאפיין
	עם אנטנה	ללא אנטנה			
	3.0		N_{SG}		צפיפות הבזקי הברק [הבזקים לקמ"ר לשנה]
	25, 25, 24	25, 25, 15	L, W, H		מידות המבנה [מטר]
A.1 טבלה	0.5		C_D	מבנה שבסביבתו מבנים בגובה דומה או נמוכים יותר	מקדם מיקום סביבתי
B.4 טבלה	0.5		P_S	שלב בטון מזוין	מקדם אופי המבנה
B.6 סעיף Note 6	1.0		K_{S1}	אין סיכוך	מקדם סיכוך במבנה
A.4 טבלה	0.1		C_E	עירוני	מקדם סביבת קו החשמל
B.3 טבלה	1		P_{LPS}	אין הגנה	מקדם הגנת נחשולי מתח"ת
B.1 סעיף Note 1	1		P_{TWS}	אין התראה	מקדם התראת ברקים

טבלה מס' 2: מידע על המבנה

המידע על קו הזנת חשמל למבנה מרוכז בטבלה מס' 3.

הערה	ערך	סימון	הערה	מאפיין
A.4 סעיף	1,000	L_L	לא ידוע	אורך הקו
A.2 טבלה	0.3	C_{IP}	תת־קרקע	מקדם אופן התקנת הקו
A.3 טבלה	1	C_{TP}	מתח נמוך	מקדם סוג הקו
A.4 טבלה	0.1	C_{EP}	עירוני	מקדם סביבת הקו
B.9 טבלה	1	C_{LDP}	תת־קרקע לא מסוכך	מקדמי בידוד, סיכוך והארקת הקו
	1	C_{LIP}		
B.13 טבלה	1	P_{EBP}	אין ¹⁴	מקדם קישור שווה פוטנציאל
	-		אין	מבנים סמוכים
A.1 טבלה	0.5	C_{DI}	מבנה שבסביבתו מבנים בגובה דומה או נמוכים יותר	מקדם מיקום סביבתי
לפי ת"י 60320 חלק 1	2.5	U_{WP}		נחשולי מתח"ת במערכות פנימיות [קילו־וולט]
	4	n_p	שלושה מוליכי פאזה ומוליך אפס	כמות מוליכים
B.11 טבלה	1	P_{LDP}		מקדם נזקי ברק
A.8 נוסחה	140	Γ_{MP}	$350/U_{WP}$	מקדם פגיעות בסמוך לקו
A.12 נוסחה	384	Γ_{IP}	$2,000/U_{WP}^{1.8}$	מרחק הצידה לפגיעות בסמוך לקו

טבלה מס' 3: מידע על חיבור חשמל למבנה

¹⁴ בישראל יש שני טיפוסים עיקריים של מבני מגורים: מבנים ישנים (שנבנו לפני שנת 1978) או מבנים טרומיים בהם אין יסודות בטון מוגנים בשיטת ארקת הגנה, המבוססת על אלקטרודות ארקה ייעודיות (בדרך כלל: מוטות פלדה באורך של מספר מטרים, שהחיבור אליהם נעשה בתא בקרה, המורכב מעליהם) או על חיבור לצנרת מתכתית לאספקת מים. עם מעבר מבני המגורים מהזנת חשמל חד־פאזית להזנת חשמל תלת־פאזית שונתה השיטה, ומבנים שנבנו אחרי שנת 1978 מוגנים בשיטת האיפוס, באמצעות יפס השוואת פוטנציאלים המחובר למוליך האפס של רשת הזנת החשמל וליארקת יסוד, שהיא חיבור מרוותך לחלקי פלדה הטמונים בזיון של המבנה וביסודותיו; במבנים אלה, שנבנו בארץ משנות ה־90, המקדם הוא 0.05. ראו: א. תקנות החשמל (הארקות יסוד), תשמ"א-1981. ב. תקנות החשמל (הארקות ואמצעי הגנה מפני חישובל במתח עד 1000 וולט), תשנ"א-1991.

השלב השני בחישוב יהיה ניתוח אזורי קליטת הברק, לפני הקמת האנטנה ואחרי הקמת האנטנה, כמוצג בטבלה מס' 4.

מאפיין	הערה	סימון	ערך	
			עם אנטנה	ללא אנטנה
מבנה	A.3 נוסחה	A_D	2.4×10^4	1.2×10^4
	A.8 נוסחה	A_M	7.5×10^4	
קו הזנת חשמל	A.10 נוסחה	A_{LP}	4×10^4	
	A.12 נוסחה	A_{IP}	7.68×10^5	

טבלה מס' 4: אזורי קליטת הברק

השלב השלישי בחישוב יהיה הערכת כמות האירועים המסוכנים בשנה, כמוצג בטבלה מס' 5.

מאפיין	הערה	סימון	ערך	
			עם אנטנה	ללא אנטנה
מבנה	A.5 נוסחה	N_D	3.6×10^{-2}	1.7×10^{-2}
	A.7 נוסחה	N_M	2.2×10^{-1}	
קו הזנת חשמל	A.9 נוסחה	N_{LP}	3.6×10^{-3}	
	A.11 נוסחה	M_{IP}	6.9×10^{-2}	

טבלה מס' 5: כמות אירועים מסוכנים בשנה

במבנה יש שני אזורי סיכון:

- Z_1 – מחוץ למבנה
- Z_2 – בתוך המבנה, כאשר אנו לוקחים בחשבון כי מערכת החשמל פרושה בכל המבנה, אין סיכויים פנימיים ומבחינת סיכונים אש, המבנה הוא חלל אחד.

מרכיבי הסיכון בתוך המבנה מוצגים בטבלה מס' 6.

מרכיבי סיכון									משך נוכחות [שעות לשנה]	אזור סיכון
R_Z	R_W	R_V	R_U	R_M	R_C	R_B	R_{AD}	R_{AT}		
		X	X			X		X	8,760	Z_2 (בתוך המבנה)

טבלה מס' 6: מרכיבי הסיכון בתוך המבנה

השלב הבא יהיה איסוף וחישוב ערכי מרכיבים אלה, המוצגים בטבלה מס' 7.

מאפיין	הערה	סימון	ערך	הערה
אופי הרצפה	מרצפות קרמיקה	r_t	1×10^{-3}	טבלה B.2
הגנה מפני הלם חשמלי	אין	P_{AM}	1	טבלה B.1
מיקום בני אנוש באזור החשוף	לא ישים	P_o	0	סעיף B.3
סיכון שריפה	נמוך	r_f	1×10^{-3}	טבלה B.6
מיגון אש	אין	r_p	1	טבלה B.5
מקדם לבני אנוש באזור		P_p	1	נוסחה B.14
מקדם לציוד באזור		P_e	1	נוסחה B.15
הסתברות שפגיעת ברק בקו תגרום לנזק ממוצע מתח בתוך המבנה	ראה להלן	P_U	1×10^{-3}	נוסחה B.10
הסתברות שפגיעת ברק בקו תגרום לנזק פיזי באמצעות שריפה או פיצוץ	ראה להלן	P_V	1×10^{-3}	נוסחה B.11
מקדם סיכון האזור	$0.12 \times w_{m2}$	K_{S2}	1	נוסחה B.9
מערכת כוח פנימית:				
תיול פנימי	תיול לא מסוכך ללא עניבות גדולות	K_{S3P}	0.2	טבלה B.10
נחשולי מתחיתר מירביים במערכות פנימיות [קילרוולט]		U_{WP}	2.5	
	הערה 15	P_{SPD}	1	טבלה B.7
מערכת תקשורת פנימית:				
תיול פנימי	תיול לא מסוכך ללא עניבות גדולות	K_{S3T}	0.2	טבלה B.10
נחשולי מתחיתר מירביים במערכות פנימיות [קילרוולט]		U_{WT}	1.5	
מדכא נחשולי מתחיתר	אין	P_{SPD}	1	טבלה B.8
אובדן:				
סוג אזור אובדן	אזור אובדן נמוך			
פגיעה בבני אנוש עקב הלם חשמלי בצימוד		L_T	1×10^{-2}	טבלה C.2
פגיעה בבני אנוש עקב הלם חשמלי ישיר		L_D	5×10^{-2}	
פגיעה בבני אנוש עקב שריפה		L_{F1}	1×10^{-2}	
נזק פיזי עקב שריפה		L_{F2}	1×10^{-2}	
פגיעה בבני אנוש עקב כשל במערכות פנימיות		L_o	5×10^{-5}	

טבלה מס' 7: ערכי מרכיבי הסיכון

כאשר:

- P_U , ההסתברות שפגיעת ברק בקו תגרום לנזק ממוצע מתח בתוך המבנה, תחושב לפי הנוסחה הבאה (נוסחה B.10 בתקן):

$$P_U = P_{am} \times P_{EBP} \times P_{LDP} \times P_{TWS} \times C_{LDP} \times r_t$$

- P_V , ההסתברות שפגיעת ברק בקו תגרום לנזק פיזי באמצעות שריפה או פיצוץ, תחושב לפי הנוסחה הבאה (נוסחה B.11 בתקן):

$$P_V = P_{EBP} \times P_{LDP} \times P_{TWS} \times C_{LDP} \times r_t \times r_p$$

15 אם נוסף בלוח החשמל הביתי הגנה Type II מפני נחשול מתחיתר, P_{SPD} יהיה 0.02.

לחישוב ההסתברות הסיכון יש לחשב את מרכיבי הסיכון, לפי הנוסחאות הבאות :

R_{AT} , רכיב הסיכון הקשור לאובדן L_1 , הנוצר מהלם חשמלי לבני אנוש עקב מגע ומתחי צעד (Step Voltages) בתוך המבנה ובמרחק עד 3 מטר ממוליכי הורדה (Down Conductors), כתוצאה מפגיעת ברק במבנה, יחושב לפי הנוסחה הבאה (טבלה 3 בתקן):

$$R_{AT} = N_D \times P_{AT} \times P_p \times L_{AT}$$

כאשר:

- P_{AT} , ההסתברות שהבזק ברק הפוגע במבנה יגרום להלם חשמלי לבני אנוש עקב מגע ומתחי צעד (Step Voltages) בתוך המבנה, תחושב לפי הנוסחה (נוסחה B.2 בתקן):

$$P_{AT} = P_{LPS} \times P_{am} \times r_t \times P_{TWS}$$

- L_{AT} , האובדן עקב פגיעה בבני אנוש כתוצאה מהלם חשמלי מצימוד התנגדותי או השראי להבזקי ברק הפוגעים במבנה, יחושב לפי הנוסחה (סעיף C.1 בתקן):

$$L_{AT} = L_{UT} = L_T$$

R_B , רכיב הסיכון הקשור לאובדן L_1 (R_{B1}) ולאובדן L_2 (R_{B2}), הנוצר מניצוץ מסוכן בתוך המבנה היוצר שריפה או פיצוץ, או גורם לתופעה מכנית או כימית היכולה גם להזיק לסביבה, כתוצאה מפגיעת ברק במבנה, מחושב לפי הנוסחאות הבאות (טבלה 3 בתקן):

$$R_B = R_{B1} + R_{B2}$$

$$R_{B1} = N_D \times P_B \times P_p \times L_{B1}$$

$$R_{B2} = N_D \times P_B \times L_{B2}$$

כאשר:

- P_B , ההסתברות שהבזק ברק הפוגע במבנה יגרום לנזק למבנה מחושב לפי הנוסחה הבאה (נוסחה B.4 בתקן):

$$P_B = P_S \times P_{LPS} \times r_f \times r_p$$

- L_{B1} , ההסתברות לפגיעה בבני אנוש עקב נזק פיזי למבנה הנוצר מפגיעת ברק, תחושב לפי הנוסחה (סעיף C.1 בתקן):

$$L_{B1} = L_{UV1} = L_{F1}$$

- L_{B2} , ההסתברות לנזק פיזי כתוצאה מפגיעת ברק במבנה, יחושב לפי הנוסחה (טבלה C.1 בתקן):

$$L_{B2} = L_{V2} = L_{F2}$$

R_U , רכיב הסיכון הקשור לאובדן L_1 , הנוצר מהלם חשמלי לבני אנוש עקב מתחים גבוהים בתוך המבנה כתוצאה מפגיעת ברק בקווים נכנסים למבנה, מחושב לפי הנוסחה הבאה (טבלה 3 בתקן):

$$R_U = (N_L + N_{DJ}) \times P_U \times P_p \times L_{UT}$$

כאשר :

- N_L , כמות האירועים המסוכנים כתוצאה מפגיעת ברק בקו המחובר למבנה, תחושב לפי הנוסחה הבאה (נוסחה A.9 בתקן) :

$$N_L = N_{SG} \times A_L \times C_{IP} \times C_{EP} \times C_{TP} \times 10^{-6}$$

- A_L , שטח האיסוף של הקו, יחושב לפי הנוסחה הבאה (נוסחה A.10 בתקן) :

$$A_L = 40 \times L_L$$

- N_{DJ} , כמות האירועים המסוכנים כתוצאה מפגיעת ברק במבנה שכן המחובר לקצה הרחוק של הקו, מחושב לפי הנוסחה הבאה (נוסחה A.6 בתקן) :

$$N_{DJ} = N_{SG} \times A_{DJ} \times C_{DJ} \times C_T \times 10^{-6}$$

A_{DJ} הוא שטח האיסוף של המבנה השכן. לענייננו, A_{DJ} הוא מתקן חשמל סמוך, שהוא קטן פיזית בממדיו ושטח האיסוף שלו אפסי, לכן רכיב זה מתאפס.

R_V , רכיב הסיכון הקשור לאובדן $(R_{V1}) L_1$ ולאובדן $(R_{V2}) L_1$, הנוצר מאש או פיצוץ (תוצר ניצוץ מסוכן בין תיול חיצוני וחלקי מתכת, בדרך כלל בכניסה למבנה) או גורם לתופעה מכנית או כימית כתוצאה מזרמי ברק בקווים נכנסים למבנה, מחושב לפי הנוסחאות הבאה (טבלה 3 בתקן) :

$$R_V = R_{V1} + R_{B2}$$

$$R_{V1} = (N_{LP} + N_{DJ}) \times P_V \times P_P \times L_{V1}$$

$$R_{V2} = (N_{LP} + N_{DJ}) \times P_V \times L_{V2}$$

כאשר :

- L_{UT} הוא האובדן המתייחס להלם חשמלי הפוגע בבני אנוש עקב צימוד התנגדותי או השראי, המחושב לפי הנוסחה הבאה (טבלה C.1 בתקן) :

$$L_{A1} = L_{V1} = L_{F1}$$

- L_{V2} הוא האובדן המתייחס לנזק פיזי למבנה, המחושב לפי הנוסחה הבאה (טבלה C.1 בתקן) :

$$L_{B2} = L_{V2} = L_{F2}$$

השלב הבא הוא חישוב R , הסיכון הכולל, לפי הנוסחאות הבאות (נוסחאות 6, 7 ו-8 בתקן) :

$$R = R_{L1} + R_{L2}$$

כאשר :

- R_{L1} הוא ההסתברות לאובדן חיי אדם (L_1) , המחושב לפי הנוסחה הבאה :

$$R_{L1} = R_{AT} + R_{AD} + R_{B1} + R_{C1} + R_{M1} + R_U + R_{V1} + R_{W1} + R_{Z1}$$

- R_{C1} , R_{M1} , R_{W1} ו- R_{Z1} מתייחסים למבנים בהם יש סיכון פיצוץ וציוד אלקטרוני מציל חיים, כמו בתי חולים, לכן ניתן להשתמש לענייננו בנוסחה מקוצרת :

$$R_{L1} = R_{AT} + R_{AD} + R_{B1} + R_U + R_{V1}$$

- R_{L2} הוא ההסתברות לנזק פיזי למבנה ולתוכנו (L_2) , המחושב לפי הנוסחה הבאה :

$$R_{L2} = R_{B2} + R_{C2} + R_{M2} + R_{V2} + R_{W2} + R_{Z2}$$

- R_{C2}, R_{M2}, R_{W2} ו- R_{Z2} מתייחסים למבנים בהם יש סיכון פיצוץ, לכן ניתן להשתמש לענייננו בנוסחה מקוצרת:

$$R_{L2} = R_{B2} + R_{V2}$$

ולכן:

$$R = R_{AT} + R_B + R_U + R_V$$

תוצאות החישוב מוצגות בטבלה מס' 8.

הערה	הסתברות		סימון	מרכיב סיכון
	עם אנטנה	לא אנטנה		
סעיף 6.2.1, טבלאות 2 ו-3	3.6×10^{-7}	1.7×10^{-7}	R_{AT}	נזקי הלם חשמלי לבני אנוש מפגיעת ברק במבנה
סעיף 6.2.1, טבלאות 2 ו-3	3.6×10^{-7}	1.7×10^{-7}	R_B	נזקי שריפה או פיצוץ מפגיעת ברק במבנה
סעיף 6.2.3, טבלאות 2 ו-3	3.6×10^{-8}	3.6×10^{-8}	R_U	נזקי הלם חשמלי לבני אנוש מפגיעת ברק בקווים הנכנסים למבנה
סעיף 6.2.3, טבלאות 2 ו-3	7.2×10^{-8}	7.2×10^{-8}	R_V	נזקי שריפה או פיצוץ מפגיעת ברק בקווים הנכנסים למבנה
נוסחאות 6, 7 ו-8	8.3×10^{-7}	4.52×10^{-7}	R	סיכון כולל
סעיף 7.3	1×10^{-5}	1×10^{-5}	R_T	סיכון נסבל

טבלה מס' 8: ערכי הסיכון

השלב האחרון הוא חישוב תדירות הנזק למערכות פנימיות במבנה. יש לחשב את תדירות הנזק של מרכיבי הנזק השונים, לפי הנוסחאות הבאות:

F_C , תדירות הנזק עקב הבזק ברק הפוגע במבנה, תחושב לפי הנוסחה הבאה (טבלה 4 בתקן):

$$F_C = N_D \times P_C \times P_e$$

כאשר P_C , ההסתברות שהבזק ברק הפוגע במבנה יגרום לתקלה במערכות פנימיות, תחושב לפי הנוסחה הבאה (נוסחה B.5 בתקן):

$$P_C = P_{SPD} \times C_{LD}$$

F_M , תדירות הנזק עקב הבזק ברק הפוגע בסמוך למבנה, תחושב לפי הנוסחה הבאה (טבלה 4 בתקן):

$$F_M = N_M \times P_M \times P_e$$

כאשר:

- P_M , ההסתברות שהבזק ברק סמוך למבנה יגרום לפגיעה במערכות פנימיות, תחושב לפי הנוסחה הבאה (נוסחה B.6 בתקן):

$$P_M = P_{SPD} \times P_{MS}$$

- P_{MS} , ההסתברות שהבזק ברק סמוך למבנה יגרום לפגיעה במערכות פנימיות כאשר לא מותקנת מערכת הגנה מפני נחשולי מתחיתר (SPD), תחושב לפי הנוסחה הבאה (נוסחה B.7 בתקן):

$$P_{MS} = (K_{S1} \times K_{S2} \times K_{S3})^2$$

F_W , תדירות הנזק עקב הבזק ברק הפוגע בקווים המחוברים למבנה, תחושב לפי הנוסחה הבאה (טבלה 4 בתקן):

$$F_W = (N_L + N_{DJ}) \times P_W \times P_e$$

כאשר P_W , ההסתברות שהבזק ברק הפוגע בקו יגרום לנזק למערכות הפנימיות, תחושב לפי הנוסחה הבאה (נוסחה B.12 בתקן):

$$P_W = P_{SPD} \times P_{TWS} \times P_{LD} \times C_{LDP}$$

F_Z , תדירות הנזק עקב הבזק ברק הפוגע בסמוך לקווים המחוברים למבנה, תחושב לפי הנוסחה הבאה (טבלה 4 בתקן):

$$F_Z = N_I \times P_Z \times P_e$$

כאשר P_Z , ההסתברות שהבזק ברק הפוגע בסמוך לקו יגרום לנזק למערכות הפנימיות, תחושב לפי הנוסחה הבאה (נוסחה B.13 בתקן):

$$P_Z = P_{SPD} \times P_{TWS} \times C_{LIP}$$

ותדירות הנזק F_C תחושב לפי הנוסחה הבאה (נוסחה בתקן):

$$F = F_C + F_M + F_W + F_Z$$

תוצאות החישוב מוצגות בטבלה מס' 9.

הערה	ערך [אירועים לשנה]		סימון	מרכיב סיכון
	עם אנטנה	ללא אנטנה		
סעיף 9.1	0.036	0.017	F_C	תדירות הנזק עקב הבזקי ברק הפוגעים במבנה
סעיף 9.1	0.036	0.036	F_M	תדירות הנזק עקב הבזקי ברק הפוגעים בסמוך למבנה
סעיף 9.1	0.004	0.004	F_W	תדירות הנזק עקב הבזקי ברק הפוגעים בקווים המחוברים למבנה
סעיף 9.1	0.07	0.07	F_Z	תדירות הנזק עקב הבזקי ברק הפוגעים בסמוך לקווים המחוברים למבנה
סעיף 9.1	0.145	0.126	F	תדירות נזק כוללת
סעיף 9.3	0.1	0.1	F_T	תדירות נזק נסבלת

טבלה מס' 9 – ערכי תדירות הנזק

ואם נוסיף מגן ברקים Type II על קו החשמל, בכניסה למבנה או בלוח החשמל הדירתי, ערך P_{SPD} ירד מ'1 ל'0.02, וערכי תדירות הנזק ירדו לרמה המוצגת בטבלה מס' 10.

הערה	ערך [אירועים לשנה]		סימון	מרכיב סיכון
	עם אנטנה	ללא אנטנה		
סעיף 9.1	0.0007	0.0004	F_C	תדירות הנזק עקב הבזקי ברק הפוגעים במבנה
סעיף 9.1	0.0007	0.0007	F_M	תדירות הנזק עקב הבזקי ברק הפוגעים בסמוך למבנה
סעיף 9.1	0.00007	0.00007	F_W	תדירות הנזק עקב הבזקי ברק הפוגעים בקווים המחוברים למבנה
סעיף 9.1	0.0014	0.0014	F_Z	תדירות הנזק עקב הבזקי ברק הפוגעים בסמוך לקווים המחוברים למבנה
סעיף 9.1	0.0029	0.0025	F	תדירות נזק כוללת
סעיף 9.3	0.1	0.1	F_T	תדירות נזק נסבלת

טבלה מס' 10 – ערכי תדירות הנזק אחרי התקנת מגן ברקים

מסקנות

המסקנות מן החישוב ברורות :

- בבניין המגורים בדוגמה יש לבחון התקנת 'מגן ברק' (מגן נחשולי מתחיתר – SPD) בלוח החשמל הביתי, שכן תדירות הנזק לציוד החשמל הביתי גבוהה מסף הנוהג המיטבי (best Practice) המומלץ בתקן, והתקנת 'מגן ברק' מורידה את תדירות הנזק מתחת לסף זה. על בעל הנכס לשקול האם הוא מוכן להסתפק בהסתברות לנזק ברק כל 7.9 שנים, או שחשוב לו לעמוד ב'סף' המלצת התקן שהוא הסתברות לנזק ברק בתקופה מעל 10 שנים, ולהשקיע סכום כספי כנדרש בהתקנת 'מגן ברק' בלוח החשמל של הנכס.
- תוספת הסיכון ('האובדן') עקב הקמת האנטנה המתוארת קטנה בסדר גודל מדרישות התקן, ולכן לא נדרש לנקוט באמצעי זהירות נוספים על אלה הנדרשים בת"י 799. אם בלוחות החשמל הביתיים מותקן 'מגן ברק', גם תדירות הנזק תהיה מתחת לסף התקן. היה ו'מגן ברק' לא מותקן, אזי ההסתברות לנזק ברק תגדל במקצת, ותהיה נזק ברק כל 6.9 שנים.

מוסף 3 – גיליון חישובים לפי התקן הבינלאומי

כללי

לנוחיות ציבור החובבים מצורף גיליון חישובים בפורמט Excel, המאפשר ביצוע חישובים עצמיים פשוטים לפי התקן הבינלאומי IEC 62503:2024, של סיכוני פגיעת ברק מאנטנות של חובבי רדיו המותקנות על בתי מגורים במבנה של תיבה פשוטה.

יש לשים לב לכך שהתאים המסומנים בכתום מיועדים להכנסת נתונים, בעוד התאים המסומנים באפור מיועדים לבחירת ערך מתוך רשימה מוכנה מראש (drop down list).

השימוש בגיליון החישובים הוא באחריותו הבלעדית של המשתמש. המחבר, חברת קיו.אר.פי בע"מ ועמותת תקשורת הרדיו הישראלית אינם נושאים באחריות או בחבות כלשהיא לשימוש לא נכון ולטעויות, שגיאות או השמטות בגיליון החישוב. הגיליון מוגש 'כמו שהוא' ללא אחריות, ללא מחוייבות וללא ערובה לשלמות, דיוק והתאמה של תוכנו לחישוב הנדרש.

גיליון החישובים

להלן תדפיס גיליון החישובים (הגיליון עצמו הוא קובץ נפרד):¹⁶

© 2025 QRP Ltd.

Main

Amateur Antenna, Residential Apartments Building, Case Study per IEC 62305-2:2024

Select drop-down list
Enter value

F1 - House: environment and Structure

Parameter	Symbol	Value	Reference
Lightning ground strike-point density [strike-point/sq km/year]	N_{SG}	3	
structure dimensions [m]	L	25	
	W	25	
	H	24	
Location factor of structure	C_0	0.5	Table A.1/Structure surrounded by higher objects
Probability that a flash to a structure will cause dangerous sparking	P_S	0.5	Table B.4/Type of structure - electrically-continuous reinforced concrete or interconnected metal framework
structure shielding factor	K_{SS}	1	Clause B.6
Environmental factor	C_E	0.1	Table A.4/Urban
LPS probability	P_{LPS}	1	Table B.3/Non protected
TWS probability	P_{TWS}	1	Clause B.1

¹⁶ גיליון החישובים זמין להורדה באתר אגודת תקשורת הרדיו הישראלית. ראו: <https://www.iarc.org/wp-content/uploads/2025/12/Amateur-Antenna-Case-Study.xlsx>

F2 - House power line

Parameter	Symbol	Value	Reference
Line length [m]	L_l	1,000	Clause A.4
Line installation factor	C_{ip}	0,3	Table A.2/Buried
Line type factor	C_{TF}	1	Table A.3/LV power, telecom line, HV power within HV/LV auto transformer
Environmental factor	C_{EP}	0.1	Table A.4/Urban
Shielding, grounding, isolation	C_{LDP}	1	Table B.9/ Aerial or buried, shielded or unshielded
	C_{LSP}	1	Table B.9/Aerial or buried, shielded or unshielded
Spark probability in spite of equipotential bonding	P_{LEP}	1	Table B.13/No SPD
Adjacent structure [m]	L_j	0	
	W_j	0	
	H_j	0	
Location factor of adjacent structure	C_{Dj}	0.5	Table A.1/Structure surrounded by higher objects
Withstand voltage of internal system [kV]	U_{WIP}	2.5	IEC 60664-1:2020
Number of conductors	n_p	4	
Probability reducing P_{U_i} , P_V and P_W according to withstand voltages of equipment	P_{LDP}	1	Table B.11
Lateral distance for S2 [m]	r_{MP}	140	Equation A.8
Lateral distance for S4 [m]	r_{IP}	384	Equation A.12

F4 - Equivalent collection areas of structure and lines

Parameter	Symbol	Result [m ²]	Reference
Structure equivalent collection area	A_D	2.41E+04	Equation A.3
structure	A_M	7.56E+04	Equation A.8
Equivalent collection area for flashes to power line	A_{LP}	4.00E+04	Equation A.10
Equivalent collection area for flashes near the power line	A_{IP}	7.69E+05	Equation A.12

F5 - Expected annual number of dangerous events

Parameter	Symbol	Result [1/year]	Reference
Number of dangerous events due to flashes to structure	N_D	3.62E-02	Equation A.5
Number of dangerous events due to flashes near the structure	N_M	2.27E-01	Equation A.7
Number of dangerous events due to flashes to the power line	N_{LP}	3.60E-03	Equation A.9
Number of dangerous events due to flashes near the power line	N_{IP}	6.92E-02	Equation A.11

F6 - Time of presence of persons and risk components

Risk Zones	Symbol	Result [1/year]	Risk components
Z ₂ (inside the building)	t_z	8,760	$R_{M1}=1, R_{M2}=0, R_B=1, R_C=0, R_M=0, R_U=1, R_V=1, R_W=0, R_Z=0$

F7 - Values for zone Z₂ (inside the building)

Parameter	Symbol	Value	Reference
Type of floor (structure)	r_f	1.E-03	Table B.2/Marble, ceramic
Probability of position of persons in the exposed area	P_{pim}	1	Table B.1/No protection measures
Risk of fire factor	r_f	1.E-03	Table B.6/Low fire risk, zone 2, 22 explosion
Fire protection factor	f_p	1	Table B.5/No provisions
Probability for persons in zone	P_p	1	Equation B.14
Factor for equipment in zone	P_e	1	Equation B.15
Probability flash to line damage voltage inside structure	P_U	1.E-03	Equation B.10
Probability flash to line physical damage fire	P_V	1.E-03	Equation B.11
Zone shielding factor	K_{S2}	1	Equation B.9
Power internal systems			
Internal wiring factor	K_{SSP}	0.2	Table B.10/Unshielded cables, avoiding 25 sqm loops
Withstand voltage factor [kV]	U_{WIP}	2.5	
SPD system probability	P_{SPD}	0.02	Table B.7/SPD class II
Telecom internal system			
Internal wiring	K_{SST}	0.2	Table B.10/Unshielded cables, avoiding 25 sqm loops
Withstand voltage factor [kV]	U_{WT}	1.5	
SPD system probability	P_{SPD}	1	Table B.8/No SPD
Type of zone according to loss			
L - Loss			
Persons injured by touch and step voltages	L_T	1.E-02	Table C.2
Persons injured by direct stroke	L_D	0	
Persons injured by fire	L_{F1}	1.E-02	
Physical damage by fire	L_{F2}	1.E-02	
Persons injured by failure of internal systems	L_O	5.E-05	

F8 - Risk

Risk	Symbol	Z₂	Reference
Risk component (injury to human beings caused by electric shock due to touch and step voltages – flashes to a structure)	R _{MT}	3.617E-07	Para 6.2.1. Table 2, Table 3
Risk component (physical damage to a structure – flashes to a structure)	R _B	3.617E-07	Para 6.2.1. Table 2, Table 3
Risk component (injury to human being – flashes to a connected line)	R _U	3.600E-08	Para 6.2.3. Table 2, Table 3
Risk component (physical damage to a structure – flashes to a connected line)	R _V	7.200E-08	Para 6.2.3. Table 2, Table 3
Risk	R	8.313E-07	Para 6.1, 6.3.1, 6.3.2
Tolerable risk	R _T	1.000E-05	Para 7.3

Frequency of damage

Frequency	Symbol	Z₂	Reference
Frequency of damage due to flashes to the structure (source S1)	F _C	0.00072333	Para 9.1
Frequency of damage due to flashes near the structure (source S2)	F _M	0.000725522	Para 9.1
Frequency of damage due to flashes to the line (source S3)	F _{WP}	0.000072	Para 9.1
Frequency of damage due to flashes near the line (source S4)	F _{ZP}	0.001383695	Para 9.1
Frequency of damage [events per year]	F	0.002904548	Para 9.1
Tolerable frequency of damage	F _T	0.1	Para 9.3

QRP Ltd. and IARC assume no responsibility or liability for any errors or omissions in the content of this spreadsheet. The information contained in this spreadsheet is provided on an "as is" basis with no guarantees of completeness, accuracy, usefulness or timeliness.