

רעש הרקע של רעש הרקע

על קביעת רעש הרקע וניכוי תרומתו מן הרעש המצטבר הנמדד לפי תקנות למניעת מפגעים (רעש בלתי סביר), התש"ן 1990

אינג' עמרי אבס M.Sc

omri.abas1@gmail.com

ORCID: 0009-0003-4857-0790

ספטמבר 2026

תקציר

בפרקטיקה האקוסטית בישראל רווח נהוג שלפיו רעש הרקע נקבע כ- L_{A90} המחושב מן המדידה בעת שמקור הרעש פועל, ומנוכה מן המפלס שווה הערך לקביעת תרומת המקור. מאמר זה בוחן את מעמדו המטרולוגי והנורמטיבי של הנוהג, ועוקב אחר מקבילה מוקדמת ב-BS 4142:1990, שבו נקבע מנגנון תיקון המבוסס על L_{A90} , ואשר תוקן במהדורת 1997. התקן הבריטי דרש למדוד את L_{A90} מן הרעש השיורי בלבד, אך השתמש בו גם לקביעת תיקון הקריאה הכוללת.

הניתוח מפריד בין שלוש פעולות: חילוץ אחוזון מן הרעש הכולל; זיהוי עם רעש הרקע; והצבתו בניכוי אנרגטי. אחוזון הוא סטטיסטיקת סדר של התפלגות המפלסים, לא מפלס רעש כהגדרתו בתקנות 1990; הוא אינו מזהה את מוצא הקול ואינו נושא ממד משך. לכן הצבתו הישירה מול מפלס שווה הערך אינה מפרידה פיזיקלית בין מקורות. תוצאה כזו תקפה רק מכוח מודל או הנחה חיצוניים שתנאי תחולתם הוכחו ואירודאותם כומתה.

תחת ההנחה הגאוסית שבנספח I ל-ISO 1996 חלק 2, ניכוי L_{A90} במקור מקוטע עשוי לייחס למקור תרומה גבוהה מזו המתקבלת לפי האומדן המודלי; במקור רציף ויציב עשויה להיווצר הטיה הפוכה. כיוון ההטיה ושיעורה תלויים במחזור הפעולה, בהתפלגות ובחלון המדידה, ואינם נלמדים מן האחוזון לבדו.

המאמר מנתח את הדרכים שבהן ISO 1996 חלק 2 מתיר להיעזר באחוזונים ואת תנאיהן. חוות דעת הקובעת רעש רקע באמצעות אחוזון בלא מדידה נפרדת, בלא ביסוס תנאי התחולה ובלא דיווח אי-ודאות, מציגה אומדן כאילו היה תוצאת מדידה של הגודל הנדרש בתקנות, ועלולה להיפגע במשקלה הראייתי.

מילות מפתח: רעש רקע; רעש שיורי; מפלס רעש שווה ערך; אחוזוני רעש; אחוזון L_{A90} ; תקנות למניעת מפגעים (רעש בלתי סביר) 1990; ת"י 1349; תקן ISO 1996; תקן BS 4142; אירודאות מדידה; חוות דעת אקוסטית

רקע

שימוש באחוזוני רעש כמתאר של רעש הרקע

בבחינת מטרד רעש נדרשת הפרדה בין תרומתו של מקור הרעש הנבדק לבין הרעש הקיים בסביבה גם בלעדיו. הפרדה זו היא תנאי מוקדם לקביעה אם המקור חורג מערכי הסף שבתוספת הראשונה לתקנות למניעת מפגעים (רעש בלתי סביר), התש"ן 1990 [6].

הדרך הישירה לביצועה היא מדידה נפרדת של רעש הרקע, כלומר של הרעש הנותר במקום כאשר מקור הרעש הנבדק אינו פועל. מונחיהן של תקנות 1990 (רעש רקע) ושל ת"י 1349 חלק 1 [5], המאמץ את ISO 1996-1:2003 (רעש שיויר) נבדלים כאן זה מזה, והם נדונים בסעיף העוסק בהגדרות הגדלים.

הערה על מעמד התקנים בישראל נדרשת כאן פעם אחת. מכון התקנים אימץ את ISO 1996-1:2003 כת"י 1349 חלק 1 [5]; התקן ISO 1996 חלק 2, שבו נדונים מדידת הרעש השיוירי ונספח ו, לא אומץ, ומאמר זה מביא אותו ישירות מתקן המקור [19]. סדרת ISO 1996 מניחה את היסודות המקצועיים לשיטת העבודה, ובאקוסטיקה אין עבודה בלא הנחות יסוד ושיטות מוסכמות. הדבר נכון לכל תחום ההנדסה האקוסטית בישראל: התקן ISO 9613, למשל, לא אומץ כתקן ישראלי, ואף על פי כן חיזוי והערכה של רעש סביבתי בישראל נשענים עליו כדבר שבשגרה. מעמדם של תקני ISO במאמר זה הוא אפוא מעמד של מקור מקצועי, בעוד שהמקור הנורמטיבי המחייב הוא תקנות 1990.

למדידה נפרדת זו כמה דרכים. הישירה שבהן היא השתקת המקור ומדידה בעת שהוא מושבת. חלופה לה היא מדידה בשעות שבהן המקור אינו פועל ממילא, ובלבד שתנאי הסביבה בשעות אלה דומים לאלה שבשעת המדידה הראשית. חלופה נוספת היא מדידה במיקום סמוך, שבו רעש הרקע דומה ואילו מקור הרעש הנבדק אינו נשמע או שתרומתו זניחה, למשל בשל מיסוך טופוגרפי או מבני.

לכל אחת מדרכים אלה מגבלות מעשיות. השתקת המקור מחייבת שיתוף פעולה או סמכות, ואינה אפשרית כאשר המקור פועל ברציפות. מדידה בשעות אחרות מחייבת רקע יציב בין שתי התקופות, ולעיתים אף מחייבת ביקור נוסף בשטח. מדידה במיקום סמוך מחייבת מיקום שבו מתקיימים שני התנאים בו זמנית, ואימותו אינו טריוויאלי. ביצוע מדידה מקבילה בשני מיקומים בו זמנית מחייב שני מכשירי מדידה ושני מפעילים, ומייקר את העבודה. בכל אחת מן הדרכים כרוכות אפוא עלות נוספת, זמן שטח נוסף, או שתיהן.

בהיעדר אפשרות מעשית לאחת מדרכים אלה, ולעיתים גם בהינתן אפשרות כזו, נעשה שימוש בדרך חלופית שאינה מחייבת מדידה נפרדת כלל, והיא הפקת ערך המיוחס לרעש הרקע מתוך המדידה שבמהלכה פעל המקור.

החלופה הרווחת בפרקטיקה האקוסטית בישראל מבוססת על אחוזוני רעש.¹ המודד מבצע מדידה אחת בעת שהמקור פועל, מחלץ מתוכה אחוזון רעש גבוה, על פי רוב L_{A90} , מזהה אותו כרעש הרקע, ומנכה אותו מן המפלס שווה הערך שנמדד. ההפרש המתקבל מוצג כתרומת המקור.

תקנות 1990 אינן מזכירות או מגדירות אחוזוני רעש, ואינן כוללות הוראה המתירה לזהות אחוזון עם מפלס רעש הרקע או לנכות את האחוזון עצמו ממפלס הרעש שווה הערך לצורך קביעת מפלס המקור לפי תקנה 6. לנוהג הישראלי דמיון מובהק למנגנון תיקון מפורש המבוסס על L_{A90} שהופיע בתקן הבריטי BS 4142 בגרסת 1990 [10]. מחברת דוח של המעבדה הפיזיקלית הלאומית הבריטית זיהתה פגם בנוסח ההוראה ובאופן יישומה כבר בשנת 1995 [24], וההוראה תוקנה בגרסת 1997 [11]. מקור קליטתו של הנוהג בישראל אינו

¹ קביעות המאמר בדבר הנוהג בישראל נשענות על ניסיונו המקצועי של המחבר בבחינת חוות דעת מומחים ודוחות מדידה, ולא על סקר שיטתי. המונחים "רווח", "נפח" ו"בדרך כלל" מתארים דפוס שחזר בחומר שנבחן, ולא שיעור שכיחות שנמדד סטטיסטית.

מתועד, אך התקן הבריטי הוא מקור מקצועי מוקדם למבנה הפעולה הנדון. להלן נסקרות התפתחותו, תיקונו בתקינה הבריטית וההשלכות הנובעות מכך לעניין השימוש בו בישראל.

מקורו של הנוהג

השימוש באחוזון רעש כמתאר של הרקע האקוסטי אינו חידוש ואינו שגיאה מקומית. מקורו במסמך יסוד בתחום הרעש הסביבתי: דוח ועדת Wilson משנת 1963, שנספח 15 שלו הציג פרוצדורה מפורטת להערכת תגובה לרעש תעשייתי באזורים מעורבים [14]. מתודולוגיה זו אומצה בתקן הבריטי BS 4142 בגרסתו הראשונה משנת 1967, ושם נקבעה לראשונה השוואה בין מפלס הרעש הספציפי לבין מפלס רעש הרקע הנמדד, אשר הוגדר כמפלס הנחצה בתשעים אחוזים מן הזמן [24].

אחוזון רעש הוא סטטיסטיקת סדר: ערך המתקבל ממיון כל דגימות המפלס שנרשמו במהלך המדידה, ומציין את המפלס שאחוז נתון מהן חצה. האחוזון L_{A90} הוא המפלס שתשעים אחוזים מדגימות המדידה היו מעליו, ו- L_{A10} הוא המפלס שעשרה אחוזים מהן היו מעליו. האחוזון מייצג אפוא נקודה בהתפלגות המפלסים, וסדרת אחוזונים מתארת את צורתה: ההפרש בין L_{A10} ל- L_{A90} מודד את פיזור המפלסים ואת מידת יציבותה של סביבת הרעש, הפרש קטן מעיד על סביבה יציבה והפרש גדול על סביבה תנודתית. לשם כך משתמשים בו: לאפיין את אופי הרעש, להבחין בין רעש רציף לרעש מקוטע, ולתאר את מבנה הסביבה האקוסטית לצד המפלס שווה הערך, המתאר את עוצמתה.

על רקע זה מובן תפקידו של האחוזון במתודולוגיה של BS 4142. מהדורת 1990 עצמה מגדירה שיטה להערכת הסבירות לתלונות באמצעות השוואה יחסית, ולא לבחינת עמידה בערך סף מוחלט. מפלס רעש הרקע מוגדר בה כ- L_{A90} של הרעש השיווי והמפלס הספציפי כ- L_{Aeq} של המקור. אם הרעש כלל צליל רציף ומובחן, אימפולסים מובחנים, או היה בלתיסדיר דיו כדי למשוך תשומת לב, נוסף תיקון יחיד של 5dB לקבלת מפלס הדירוג. ההפרש בין מפלס הדירוג למפלס רעש הרקע התפרש במונחים של סבירות לתלונות: הפרש של כ-10dB ומעלה הצביע על כך שתלונות צפויות, הפרש של כ-5dB הוגדר כבעל משמעות שולית, והפרש של מינוס 10dB כאינדיקציה חיובית לכך שתלונות אינן צפויות (סעיפים 1, 2.3, 2.8, 7.2 ו-8.2) [10].

האחוזון שימש אפוא בראש ובראשונה בסיס ייחוס להשוואה יחסית, שמולו נבחנה בולטותו של המקור. תפקיד זה כשלעצמו אינו מעורר את הקושי הנדון במאמר. הקושי נוצר משום שבסעיף 5.4.4 למהדורת 1990 הוענק לאותו אחוזון, לצד תפקיד ההשוואה, תפקיד נוסף בקביעת תיקון המפלס הספציפי הנמדד בגין הרעש השיווי. לא היה זה ניכוי ישיר באמצעות נוסחה, אלא תיקון טבלאי שנבחר לפי ההפרש בין קריאת L_{Aeq} לבין מפלס רעש הרקע L_{A90} ; משמעותו המטרולוגית נדונה בסעיף הבא. לעניין מאמר זה, הבחינה המטרולוגית בודקת מהו הגודל הנמדד, כיצד הוא מופק מן האות, באילו תנאים ניתן לייחס לו את המשמעות הנטענת, ומהי איהוודאות הנלווית לתוצאה. תקנות 1990 בישראל, לעומת זאת, קובעות משטר מוחלט: ערכי סף בתוספת הראשונה, שמולם מושווה מפלס המקור לאחר ניכוי תרומת רעש הרקע. במסגרת BS 4142 השימוש באחוזון כבסיס ההשוואה לגיטימי משום שהמתודולוגיה עצמה מגדירה כך את מדד ההערכה; במשטר המוחלט נדרש לקבוע את מפלס המקור עצמו, ולשם כך נדרשת הפרדה אנרגטית. מאמר זה בוחן את ההבחנה הזאת מיסודה: מהו מעמדו המטרולוגי של האחוזון, ומדוע הצבתו, מכוח זהותו בלבד ובלא מודל המרה או הנחות מבוססות, במקום שבו התקנות דורשות מפלס רעש שווה-ערך אינה מייצגת הפרדה פיזיקלית בין המקורות.

הכשל ותיקונו

בגרסת 1990 של התקן חל שבר בתפקידם של הגדלים. מפלס הרעש הספציפי הוגדר כ- L_{Aeq} של המקור על פני פרק הייחוס, ואילו מפלס רעש הרקע הוגדר כ- L_{A90} של הרעש השיורי. התקן הגדיר גם את הרעש השיורי עצמו כתופעה הפיזיקלית הנותרת כאשר המקור הספציפי מדוכא במידה שאינו תורם לרעש הסביבתי, אך לא הגדיר מפלס רעש שיורי נפרד במונחי L_{Aeq} (סעיפים 2.3, 2.7 ו-2.8) [10].

סעיף 5.4.4 קבע כי כאשר קריאת הרעש בעת פעולת המקור גבוהה ממפלס רעש הרקע ב-10dB לפחות, ניתן להשתמש בקריאה כפי שהיא. כאשר ההפרש קטן יותר והרעש השיורי יציב, הורה הסעיף להפחית מן הקריאה תיקון שנקבע בטבלה 1; כאשר הרעש השיורי תנודתי, הורה לבצע סדרת קריאות קצרות בעת שהוא שוכך לערכים נמוכים אופייניים או לערכי מינימום ממוצעים, לתקן כל קריאה לפי הטבלה ולחשב מהן L_{Aeq} . הטבלה קבעה את התיקון לפי ההפרש בין קריאת L_{Aeq} לבין מפלס רעש הרקע L_{A90} : הפחתה של 1dB בהפרש של 6dB עד 9dB, 2dB בהפרש של 4dB עד 5dB ו-3dB בהפרש של 3dB. בהפרש קטן מ-3dB לא הותר התיקון הטבלאי, והתקן הפנה למדידה קרובה יותר למקור ולחישוב התפשטותו אל מקום הקולטים (סעיפים 5.3.1 ו-5.4.4) [10].

חשוב לענייננו כי גם מהדורת 1990 של BS 4142 לא התירה לחלץ את L_{A90} מן הרעש הכולל בעת שהמקור פועל. כאשר המקור לא פעל ברציפות נדרש למדוד את מפלס רעש הרקע בהיעדרו, בהשבתה זמנית או בסמוך לפני פעולתו או אחריה; וכאשר המקור פעל ברציפות ולא ניתן היה להשביתו, נדרש למדוד במקום אחר שבו הונח כי הרקע שקול ולדווח את טעמי ההנחה (סעיפים 6.3.2 ו-6.4) [10]. הדמיון לנוהג הישראלי מוגבל אפוא לעצם השימוש ב- L_{A90} בקביעת התיקון בגין הרעש השיורי; הוא אינו משתרע על חילוץ האחוזון מן המדידה הכוללת.

מה שהתקן אינו קובע במפורש הוא יחס מטרולוגי שבכוחו להפוך את L_{A90} למפלס שווה-הערך של הרעש השיורי. דוח של המעבדה הפיזיקלית הלאומית הבריטית משנת 1995, שנערך כהערכה שיטתית של יישום BS 4142:1990 על בסיס 113 מקרים מן השטח, מסביר כי כוונת התקן הייתה להשתמש ב- L_{A90} כקירוב ל- L_{Aeq} של הרעש השיורי כאשר הרעש השיורי מצוי בערך מינימום ממוצע. לדעת מחברת הדוח נוסח סעיף 5.4.4 היה שגוי, הפרוצדורה לא פעלה כפי שהתכוונו, והשימוש בקירוב הכניס איודאות לחישוב [24].²

במסלול התיקון הטבלאי הוצב אפוא גודל סטטיסטי בתפקידו של אומדן לגודל אנרגטי, בלי שהתקן הגדיר את הקשר המטרולוגי ביניהם או כימת את איהוודאות הנובעת מן הקירוב. הדוח מביא מקרים מן השטח שבהם ההפרש בין L_{Aeq} ל- L_{A90} של הרעש השיורי עצמו עלה על 10dB, ומציין את חששם של משתמשים שהפרש כזה מנבא תלונות עוד לפני שהמקור הוכנס לסביבה. הדוח מבהיר כי מצב זה אינו אמור לשמש יישום מילולי של השיטה, משום שלא ניתן לקבוע מפלס רעש ספציפי לפני קיומו של המקור; עם זאת, עצם החשש ממחיש

² המקור באנגלית, דוח NPL RSA(EXT) 0057A, סעיף 8.15: "In the light of various comments, it is the author's view that clause 5.4.4 does not work as intended due to incorrect wording and that the procedures of sub-clauses (a), (b) and (c) are not being adopted correctly." "It has been recognised that using Table 1 of BS 4142 and comparing LAeq with LA90 may introduce an uncertainty into the calculation correcting for the influence of residual noise on the specific noise measurements. It would appear that the intention of the standard is to use the LA90 values in Table 1 as an approximation to an LAeq measure of the residual noise when the residual noise is at a mean minimum value."

כי ההפרש בין L_{Aeq} של הרעש השיורי לבין L_{A90} שלו אינו הפרש בין מקור לרקע. השימוש בשני הגדלים במבחן ההשוואה היחסי אינו הופך אותם לבני החלפה בחישוב התיקון. הדוח מסיק כי דרך מדויקת יותר לתקן את השפעת הרעש השיורי היא לקבוע את L_{Aeq} שלו לצורך הניכוי, וכי עדיף למדוד את הרעש הספציפי במישרין, כשהוא חופשי מהשפעת הרעש השיורי [24]. תיקון רעש רקע בוצע בפועל בכ-27% מן המקרים ביום ובכ-25% בלילה [24]; פרסום מאוחר יותר של משרד היועצים הבריטי Hayes McKenzie Partnership Ltd מתאר את הנוסח כפגם יסודי [18].

מהדורת 1997 קובעת בפתח דבריה כי היא "מבהירה היבטים של התקן לאור הערות המשתמשים", וכי "בפרט, המונח 'מפלס רעש שיורי' הוכנס, המונח 'רעש יציב' נמחק, והסעיף העוסק במדידת מפלס הרעש הספציפי הובהר" [11]³. אותו פתח דבר מזכיר למשתמש כי התקן "אינו מבוסס על מחקר מהותי אלא על ניסיון מצטבר" [11].

הנוסח הנוכחי, מהדורת 2014 עם התיקון מ-2019, מבחין בין השניים באופן מפורש. סעיף 3.9 מגדיר את הרעש השיורי כרעש הסביבתי במקום הבחינה כאשר מקור הרעש הספציפי מושתק, סעיף 3.10 מגדיר את מפלסו כ- $L_{Aeq,T}$, וסעיף 3.4 מגדיר את מפלס רעש הרקע כמפלס ש"הרעש השיורי" חורג ממנו ב-90% מן הזמן, $L_{A90,T}$ [12]. ההיררכיה ברורה: הרעש השיורי הוא התופעה הפיזיקלית הנמדדת, ומפלס רעש הרקע הוא מתאר סטטיסטי הנגזר ממנה. שני הגדלים נקבעים כגדלים נפרדים, ולכל אחד תפקיד אחר: התיקון בגין הרעש השיורי נעשה בסעיף 7.3.3, נוסחה (2), בין שני מפלסים שווים ערך, ומפלס רעש הרקע משמש להשוואה בלבד [12].

ראוי לעמוד על האופן שבו הנוסח הנוכחי של התקן הבריטי משתמש באחוזון, כי הוא ההפך מן הנוהג הנדון כאן. מפלס רעש הרקע נמדד מן הרעש השיורי בלבד: סעיפים 8.2 עד 8.4 מורים למדוד אותו בעת שהמקור הספציפי אינו פועל, בהשבתה זמנית, מיד לפני או אחרי פעולתו, בשעות שבהן הוא נעדר, או במיקום חלופי שבו הרעש השיורי דומה [12]. בחירת האחוזון התשעים לתפקיד זה נשענת על כך שהוא "אינו משקף התרחשויות של אירועים חולפים או בעלי מפלס גבוה, ונשלט בדרך כלל על ידי רעשים רציפים או חצי-רציפים" (סעיף 8.1) [12]⁴: משום כך אירועים בודדים, כמו חלוף אמבולנס או משאית בתוך רעש שכולו רקע, בדרך כלל אינם קובעים את ערכו. ומאחר שרעש הרקע אינו אחיד, התקן דורש מדידות מרובות, שמשך כל אחת מהן, ככלל, אינו פחות מ-15 דקות, רצופות או מפוצלות, על פני התקופה הנבחנת, וקובע כי "אין מפלס רעש רקע יחיד" וכי הערך המייצג אינו בהכרח המינימום או השכיח (סעיפים 8.1.3 ו-8.1.4) [12]⁵. וכן: "הממוצע החשבוני

³ המקור באנגלית, BS 4142:1997, פתח דבר: "This revision clarifies aspects of the standard in the light of comments from the users. In particular, the term 'residual noise level' has been introduced and the term 'steady noise' deleted, the section dealing with measurement of specific noise level has been clarified and requirements for verification and traceability of instrumentation have been aligned with BS 7445 (ISO 1996)." וכן: "The user is reminded that this standard is not based on substantive research but

rather on accumulated experience."

⁴ המקור באנגלית, BS 4142:2014+A1:2019, פירושו לסעיף 8.1: "The background sound level is an underlying level of sound over a period, T, and might in part be an indication of relative quietness at a given location. It does not reflect the occurrence of transient and/or higher sound level events and is generally governed by continuous or semi-continuous sounds."

⁵ המקור באנגלית, BS 4142:2014+A1:2019, סעיף 8.1.3: "This should comprise continuous measurements of normally not less than 15 min intervals, which can be contiguous or disaggregated." וכן: "In practice, there is no 'single' background sound level as this is a fluctuating parameter." A :1

של סדרת מפלסי רעש רקע שנמדדו אינו שווה מספרית למפלס רעש הרקע של התקופה כולה" (סעיף 8.1.4, הערה 2) [12]⁶. הנוהג הישראלי הופך כל אחד מן היסודות האלה: הוא מחלץ את האחוזון מן הרעש הכולל בעת שהמקור פועל, ומציב אותו לא להשוואה אלא לניכוי.

כשל מקביל בישראל

מקורו של הנוהג בישראל אינו מתועד, ומועד קליטתו אינו ידוע; אך הוא לא נוצר יש מאין, והוא מעולם לא עוגן בישראל בתקנה או בתקן. בבריטניה תוקן מנגנון התיקון בתקן עצמו. בישראל לא הייתה מעולם הוראה מקבילה לתקן, ולכן גם לא היה מה לבטל: הנוהג נקלט בלא מקור נורמטיבי ושרד, ככל הנראה, את תיקון המנגנון הבריטי שאליו היה דומה במבנהו.

ההשלכה הראייתית של הכשל

לתיקון שבוצע בשנת 1997 נודעת משמעות החורגת מן ההיבט הטכני. דוח NPL מציין כי תוצאות המתקבלות לפי BS 4142 משמשות גם כחלק מן הראיות בהליכי מטרד רעש בבתי משפט השלום בבריטניה [24]. מכאן שפגם בדרך קביעת הרעש השיורי אינו נותר בשולי החישוב: הוא עשוי לעבור במישרין אל התשתית המקצועית המוצגת בהליך ולהיות נתון לבחינה נגדית.

הטעם לכך נגזר ממהות הפגם. הצבה ישירה של גודל סטטיסטי בתפקידו של גודל אנרגטי, בלא מודל או הנחה מקצועית מבוססת המאפשרים זאת, אינה ניתנת להגנה באמצעות האריתמטיקה בלבד. מומחה הנשאל מכוח מה נוכח אחוזון ממפלס שווה ערך אינו יכול להפנות לתקנות 1990, שאינן מזכירות אחוזונים כלל; והוא יכול להסתמך על נספח I ל-ISO 1996 חלק 2 רק אם יראה כי פעל באחת הדרכים שהנספח מתיר וכי תנאיה התקיימו [19]. הנספח ותנאיו נדונים להלן בהרחבה.

תחולת ההשלכה בישראל

בישראל לא נערך תיקון מקביל, שכן תקנות 1990 מעולם לא קבעו את הנוהג. תקנה 3(א) מונה מניין ממצה של הגדלים הכשירים לשמש כמפלס הרעש לעניין המבחן, וכולם מפלסי רעש שווים ערך.

מכאן שמעמדו של הנוהג בישראל שונה מזה שהיה לו בבריטניה עד 1997. שם עשה התקן שימוש מפורש ב- L_{A90} בקביעת תיקון, אף שדרש למדוד את מפלס רעש הרקע בנפרד מן המקור; בישראל אין לניכוי הישיר של אחוזון מן המדידה הכוללת מקור נורמטיבי כלל. חוות דעת אקוסטית המוגשת בהליך משפטי או מנהלי ומציגה ניכוי אחוזון כקביעה של תרומת המקור חשופה אפוא לאותה ביקורת שהופנתה לנוסח הבריטי הקודם, ובלא שבידיה מקור סמכות שעליו ניתן להישען.

representative level should account for the range of background sound levels and should not automatically be assumed to be either the minimum or modal value."

⁶ המקור באנגלית, BS 4142:2014+A1:2019, סעיף 8.1.4, הערה 2: "The mean average of a series of measured background sound levels is not numerically equal to the overall period background sound level that would otherwise be obtained by a single measurement spanning individual measurement periods."

בית המשפט אינו נדרש להפוך למומחה באקוסטיקה, אך כדי לבחון חוות דעת עליו להיות מסוגל להבין מה נמדד, מה נאמד, אילו הנחות הופעלו ומהי הפעולה שהובילה לתוצאה. הניתוח במאמר נועד להעמיד מסגרת משותפת למומחים, לעורכי דין ולבתי המשפט, המאפשרת להבחין בין מדידה, אומדן והנחה.

רעש הרקע ורצפת הרעש

המונח "רעש רקע" מציין בישראל ובבריטניה שני גדלים שונים, ומכאן הבלבול הרווח בין רעש הרקע לבין רצפת הרעש.

תקנה 1 לתקנות 1990 מגדירה: "רעש הרקע" - הרעש הנגרם על ידי סך כל מקורות הרעש המצויים בסביבה למעט מקור הרעש. זוהי הגדרה לפי מוצא ולא לפי מפלס: אין בה התייחסות לגובהו של הרעש ביחס לרעש המקור, ואין בה כמות כלשהי. הגודל הוא הרעש עצמו, והוא נמדד כמפלס רעש שווה ערך.

ב-BS 4142 בנוסחו הנוכחי מציין "מפלס רעש הרקע" את ערך ה- L_{A90} של הרעש השיווי (סעיף 3.4) [12], כלומר מתאר סטטיסטי הנגזר מן הרעש ולא הרעש עצמו. הרעש השיווי הוא הגודל המקביל לרעש הרקע שבתקנות 1990, ומפלס רעש הרקע הוא רצפתו הסטטיסטית.

השאלת המונח מן המסגרת האחת אל האחרת היא שמייצרת את הזיהוי בין רעש הרקע לבין רצפת הרעש. זיהוי זה אינו עולה מלשון תקנות 1990.

אחוזוני רעש ומפלס רעש שווה ערך: מעמד מטרולוגי, תחולה ומגבלות

קביעת רעש הרקע באמצעות אחוזון מורכבת משלוש פעולות נפרדות, המבוצעות בדרך כלל ברצף ומבלי שהפרדתן נדונה: חילוץ אחוזון מתוך התפלגות המפלסים של הרעש המצטבר הנמדד, על פי רוב L_{A90} או L_{A95} ; זיהוי של אותו אחוזון עם רעש הרקע כהגדרתו בתקנות; והצבתו כקלט בפעולת ניכוי אנרגטית שתוצאתה מוצגת כתרומת המקור. שלוש הפעולות נבחנות במאמר זה בנפרד, משום שתקפותה של כל אחת מהן אינה גוררת את תקפותן של האחרות.

מאמר זה בוחן את מעמדם המטרולוגי של אחוזוני רעש: את הגודל הפיזיקלי שהם מייצגים, את אופן גזירתם מן האות הנמדד, ואת יחסם לרעש הרקע כהגדרתו בתקנות למניעת מפגעים (רעש בלתי סביר), התש"ן 1990, ולרעש השיווי כהגדרתו בסדרת התקנים ISO 1996. המאמר מיועד ליועצי אקוסטיקה, מודדי רעש, מתכננים, רשויות מקומיות, גורמי אכיפה ומשפטנים העורכים, בודקים או מפרשים חוות דעת אקוסטיות ודוחות מדידה.

הטענה הנטענת כאן היא שאחוזון רעש אינו מהווה, מכוח ערכו בלבד, קביעה של רעש הרקע ואינו בר-ניכוי ישיר ביחס למפלס רעש שווה ערך. טענה זו היא טענה פיזיקלית ומטרולוגית, ואינה נגזרת ממקור סמכות: אנרגיה אקוסטית היא גודל בעל תכונת חיבוריות, וניתן לצרף ולנכות בין ערכיו, בעוד שאחוזון הוא סטטיסטיקת סדר וחסר תכונה זו. התקנות והתקינה נדונות בהמשך משתי סיבות בלבד: משום שהן מגדירות את הגדלים שבהם נעשית העבודה בפועל, ומשום שהמסקנה העולה מהן זהה למסקנה הנגזרת מן הניתוח הפיזיקלי.

אין בטענה זו כדי לשלול את השימוש באחוזוני רעש. אחוזונים הם כלי מבוסס ורבי-ערך לתיאור אופיו של רעש, לאפיון התפלגותו ולבחירת יציבותה של סביבה אקוסטית, וראוי שידווחו לצד המפלס שווה הערך. הטענה

מתייחסת לזיהויים הישיר עם רעש הרקע ולהצבתם הישירה בחישוב תרומתו, בלא כלל אומדן חיצוני ובלא הוכחת תנאי תחולתו.

תיאורו של רעש סביבתי מחייב הבחנה בין שלוש שאלות נפרדות: מהו הגודל הפיזיקלי הנמדד, כיצד הוא נגזר מן האות בזמן, ולאיזה מקור הוא מיוחס. הגדלים המוגדרים להלן נבדלים זה מזה בכל אחת מן השאלות הללו.

הגדרות הגדלים והמונחים

מפלס הרעש שווה הערך

קול הוא תנודה של לחץ סביב לחץ האוויר הסטטי. הגודל הפיזיקלי הנמדד הוא לחץ הקול הרגעי, וצפיפות האנרגיה האקוסטית פרופורציונית לריבועו. מכאן שכל ניסיון לאפיין אות משתנה בזמן באמצעות מספר יחיד המשמר את תכולת האנרגיה שלו מחייב מיצוע של ריבוע הלחץ, ולא של הלחץ עצמו.

זהו בדיוק תפקידו של מפלס הרעש שווה הערך, המכונה גם רעש שקול: המפלס הקבוע שאילו התקיים לאורך כל פרק הזמן הנדון היה נושא את אותה אנרגיה אקוסטית שנשא בפועל האות המשתנה. משמעות הכינוי "שווה ערך" היא שקילות אנרגטית, ולא דמיון בצליל או בתחושה.

תקנה 1 לתקנות 1990 מגדירה גודל זה במפורש כ"מפלס רעש שווה ערך":

$$L_{Aeq,T} = 10 \lg \left[\frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} \frac{p_A^2(t)}{p_0^2} dt \right]$$

קריאת הנוסחה מבהירה את מבנהו של הגודל. הביטוי שבמונה הוא ריבוע לחץ הקול הרגעי, משוקלל בסקלת A, מנורמל ביחס לריבוע לחץ קול הייחוס העומד על 20 מיקרו-פסקל; זהו גודל יחסי חסר ממדים הפרופורציוני לאנרגיה. האינטגרל סוכם את האנרגיה על פני פרק הזמן, והחלוקה במשכו ממצעת אותה, כך שמתקבלת אנרגיה ממוצעת ליחידת זמן. הפעולה הלוגריתמית ממירה את התוצאה לסולם ה-dB. המקדם הוא עשר ולא עשרים, משום שהגודל שבתוך הסוגריים כבר מבוטא בריבוע.

מן ההגדרה נגזרות ארבע תכונות המשמשות בניתוח שלהלן.

הראשונה, זהו גודל אנרגטי ולא סטטיסטי: הוא מתאר את כמות האנרגיה שנשא האות, ולא את מיקומו של ערך כלשהו בהתפלגות.

השנייה, ערכו נקבע במלואו על ידי האות ועל ידי גבולות האינטגרציה, ואינו תלוי בקצב הדגימה של המכשיר או במשקל הזמן שנבחר בו.

השלישית, הוא נושא תכונת חיבוריות: מכיוון שהוא נגזר מריבוע הלחץ, וריבועי הלחץ של אותות בלתי מתואמים מצטרפים, ניתן לצרף ולנכות בין ערכים לאחר המרתם חזרה מן הסולם הלוגריתמי.

הרביעית, המשך הוא רכיב מכון בהגדרה ולא פרמטר נלווה. פרק הזמן מופיע בנוסחה פעמיים, כגבולות האינטגרציה וכמכנה, ולפיכך כל ערך של מפלס שווה ערך נושא עמו את המשך שעליו חושב. מכאן שהגודל אינו מוגדר במנותק ממנו: דיווח שאינו מציין את פרק הזמן אינו מגדיר תוצאה אקוסטית. מכאן נגזרת גם החובה שהמשך שנבחר יהיה מייצג את חלון הזמן הנדון, שכן שינוי בגבולות האינטגרציה מייצר גודל אחר.

החלוקה לפי מקורות: רעש מצטבר, רעש המקור ורעש הרקע

מד רעש מודד את לחץ הקול הכולל בנקודת המדידה. הוא אינו מבחין בין מקורות: כל המקורות המשפיעים על אותה נקודה, בכל מרחק ובכל מנגנון מעבר, מצטרפים בה לכדי אות אחד. מכאן שייחוס הרעש למקור אינו תוצר של המדידה אלא של פרוצדורה חיצונית לה, וזו הסיבה שההגדרות שלהלן מנוסחות לפי מוצא ולא לפי מפלס.

תקנה 1 לתקנות 1990 מגדירה:

"רעש מצטבר נמדד" - רעש המקור כולל רעש הרקע.

"רעש הרקע" - הרעש הנגרם על ידי סך כל מקורות הרעש המצויים בסביבה למעט מקור הרעש.

הרעש המצטבר הנמדד הוא אפוא מה שהמכשיר קולט בפועל; רעש המקור הוא מרכיב הרעש המיוחס למקור הנבדק; ורעש הרקע הוא כל השאר.

יובהר כי המונח "מקור הרעש" אינו מוגדר בתקנות, אף ששתי ההגדרות נסמכות עליו. זיהוי המקור נקבע לפי נושא הבדיקה, ולא לפי קריטריון פיזיקלי הקבוע בתקנות.

לצד אלה מגדירה תקנה 1 גם את המונח "מפלס רעש", ועושה זאת בהפניה: "עוצמת רעש הנקבעת כאמור בתקנה 3". תקנה 3(א) מונה ארבע חלופות, וכל אחת מהן מנוסחת במונחי מפלס רעש שווה ערך. מכאן נגזרת מסקנה החלה על התקנות כולן: בכל מקום שבו נוקטות התקנות את הביטוי "מפלס רעש", ובכלל זה ביחס לרעש הרקע, ביחס לרעש המצטבר וביחס לרעש המקור, הכוונה היא למפלס רעש שווה ערך. אין בתקנות מפלס רעש מסוג אחר.

היחס הפיזיקלי בין השלושה הוא יחס אנרגטי. באופן כללי, ממוצע ריבועו של לחץ הקול הכולל כולל גם איבר מכפלה צולבת:

$$\overline{p_{A,total}^2} = \overline{p_{A,source}^2} + \overline{p_{A,residual}^2} + 2\overline{p_{A,source}p_{A,residual}}$$

עבור אותות בלתי מתואמים על פני אותו פרק זמן T , כפי שמתקיים בדרך כלל במקורות בלתי תלויים, איבר המכפלה הצולבת מתאפס במיצוע, ולכן ממוצעי ריבוע לחץ הקול מצטרפים:

$$\overline{p_{A,total}^2} = \overline{p_{A,source}^2} + \overline{p_{A,residual}^2}$$

זהו הבסיס המאפשר לנכוחות מתמטית רעש רקע מרעש מצטבר, וממנו נגזרת הן טבלת התוספת השנייה לתקנות 1990 והן נוסחת התיקון שב-ISO 1996 חלק 2.

רעש שיורי: המונח בת"י 1349 חלק 1 לרעש הרקע ומדוע הוא המדויק מבין השניים

ת"י 1349 חלק 1, שאימץ את ISO 1996 חלק 1, מגדיר את אותה חלוקה בדיוק בשלושה מונחים.

רעש כולל (Total Sound) הוא כלל הרעש הקיים במיקום נתון ובמצב נתון, המקביל למונח "רעש מצטבר" שבתקנות 1990.

רעש ספציפי (Specific Sound) הוא מרכיב הרעש המיוחס למקור הרעש הנבדק, נשוא הבדיקה, המקביל למונח "רעש המקור".

רעש שיורי (Residual Sound) הוא הרעש הנותר במיקום נתון ובמצב נתון לאחר השתקת מקורות הרעש הספציפיים, המקביל למונח "רעש הרקע".

בפסיקת בית המשפט העליון תואר רעש הרקע באותו מבחן של היעדר המקור הנבחן: בעניין טויטו, בהקשר של רעש מטוסים, כ"רמת הרעש הקיים ללא רעש המטוסים" [3]; ובעניין מור כ"הרעש הסביבתי שאינו נובע ממקור הרעש" [4]. תיאורים אלה אינם קובעים שיטת מדידה, אך הם מחזקים את ההבחנה המושגית שביסוד התקנות והתקן: זהותו של רעש הרקע נקבעת לפי מוצאו, ולא לפי מיקומו של ערך בהתפלגות.

ההתאמה בין מערכות המונחים היא אפוא מלאה, והמונח "רעש שיורי" מחדד לשונית את ההגדרה. המונח "רעש רקע" נושא עמו קונוטציה מרחבית ואיכותית: משהו שנמצא מאחור, ברקע, שקט וזניח, ושמעליו מתרחש העיקר. קונוטציה זו מזמינה את הזיהוי בין הרקע לבין החלק הנמוך של המדידה, שנדון לעיל. המונח "שיורי" אינו נושא מטען מסוג זה; הוא נגזר מן השארית ומגדיר את הגודל באמצעות הפרוצדורה שמייצרת אותו: מה שנשאר לאחר השתקת המקור.

להבחנה זו משמעות מהותית: רעש שיורי אינו בהכרח שקט. הוא עשוי להיות גבוה מרעש המקור, תנודתי מאוד, ולכלול אירועים קצרים ורועשים כגון מעבר של כלי רכב, צפירה, רעש מכאני פתאומי או משב רוח. כל אלה הם רעש שיורי מלא, אף שאינם מצויים בשום רצפה של המדידה. ייתכנו כמובן נסיבות שבהן החלק הנמוך של המדידה קרוב לרעש השיורי, אך אלה נסיבות אפשריות ולא תכונה מוגדרת, והן טעונות הוכחה בכל מקרה לגופו.

יובהר כי גם ב-BS 4142 בנוסחו הנוכחי, שבו "מפלס רעש הרקע" מציין גודל סטטיסטי, אין הוא משמש לניכוי. התקן קובע את שני הגדלים כגדלים נפרדים ומייעד לכל אחד תפקיד אחר: הרעש השיורי, הנקבע כמפלס שווה ערך (סעיף 3.10), משמש לתיקון הרעש הנמדד (סעיף 7.3.3), ומפלס רעש הרקע משמש להשוואה בלבד [12]. אף במסגרת שבה מפלס רעש הרקע הוא סטטיסטיקת סדר, אין הוא בר-ניכוי מכוח הגדרתו זו.

בהמשך המאמר יובאו המונחים "רעש רקע" ו"רעש שיורי" כנרדפים, בהתאם למקור המצוטט.

אחוזוני רעש

כאשר מד רעש דוגם את המפלס הרגעי בקצב קבוע לאורך פרק זמן, מתקבל מדגם של מפלסים; מיונו לפי גובה מניב התפלגות מצטברת. אחוזון רעש הוא נקודת חיתוך בהתפלגות זו.

הסימון המקובל מוגדר כמפלס שנחצה כלפי מעלה במשך אחוז מוגדר מפרק זמן התצפית. כך L_{A90} הוא המפלס שהמדידה הייתה מעליו בתשעים אחוזים מן הזמן, L_{A50} הוא החציון, ו- L_{A10} הוא המפלס שנחצה בעשרה אחוזים מן הזמן.

מסדר זה נובע שערך של אחוזון גבוה אינו עולה על ערכו של אחוזון נמוך, אך אין להסיק מכך דבר על גודל ההפרש ביניהם. ההפרש נקבע כולו על ידי צורת ההתפלגות: במדידה שבה המפלס משתנה מעט, האחוזונים מתלכדים לערכים קרובים, ואילו במדידה תנודתית הם נפרשים על טווח רחב. אחוזון גבוה אינו מציין אפוא בהכרח מפלס נמוך, ואין בערכו כשלעצמו כדי ללמד על אופי הסביבה.

יצוין כי צורת ההתפלגות אינה בהכרח חלקה או סימטרית. היסטוגרמות של רעש סביבתי מדוד עשויות לכלול פסגות משניות, מקטעים שאינם מונוטוניים וזנבות א-סימטריים, ואין הכרח שמפלס נתון יופיע בשכיחות גבוהה יותר מזה שמתחתיו. החציון הוא נקודת חיתוך בהתפלגות ואינו מרכזה, ואינו זהה לממוצע האנרגטי.

מבחינה מטרולוגית, אחוזון הוא סטטיסטיקת סדר של מדגם מפלסים. הוא אינו ממוצע, אינו אנרגיה ואינו אינטגרל. מכיוון שהוא נגזר ממדגם, ערכו תלוי גם באופן שבו נדגם האות: במשקל הזמן, בקצב הדגימה ובמשך התצפית. שני מדי רעש תקינים מסוג 1, המודדים את אותו אות בדיוק, יחזירו L_{A90} שונה אם הוגדרו במשקל זמן או בקצב דגימה שונים, ויחזירו מפלס שווה ערך זהה. המפלס שווה הערך הוא גודל של האות; האחוזון הוא גודל של האות ושל שיטת הדגימה גם יחד.

תפקידם של אחוזונים הוא לתאר את אופיו של הרעש, ולא את עוצמתו. מפלס שווה ערך מוסר מספר אחד ואינו מבחין בין רחוב שקט שבו חלף אופנוע יחיד לבין מפוח שפעל ברציפות; סדרת האחוזונים היא המאפשרת להבחין ביניהם. באמצעותה ניתן לאפיין את פיזור המפלסים, את יציבות הסביבה ואת צורת ההתפלגות; לזהות משטר קולי אחד לעומת מקור דו-מצבי; לאתר אירועים בדידים על גבי רצפה יציבה; ולבדוק את אחידותו לעומת הדינמיות של חלון המדידה. מדדים ותיקים כגון אקלים הרעש, ההפרש בין L_{A10} ל- L_{A90} , בנויים על יכולת זו.

האחוזונים והמפלס שווה הערך של אותה מדידה נבדלים אפוא זה מזה, והיחס ביניהם משתנה לפי אופי הרעש. במדידה שבה המפלס משתנה מעט, המפלס שווה הערך של המדידה קרוב לחציון שלה; במדידה תנודתית הוא מתקרב ל- L_{A10} ; ובמדידה שבה מתקיימות תנודות קיצוניות הוא עשוי לעלות על L_{A90} ב-10dB ויותר [17]. המרחק בין אחוזון לבין המפלס שווה הערך של אותה מדידה אינו אפוא פרמטר של המדידה אלא של הסביבה הנמדדת, ואינו ידוע מראש.

מקימו של יחס זה אין להסיק כי מותר להציב אחוזון במקום מפלס שווה ערך בפעולת חישוב. גם אילו היה היחס יציב וידוע, לא היה בכך כדי להכשיר פעולה אריתמטית בין השניים. השאלה אינה עד כמה קרוב האחוזון למפלס שווה הערך, אלא אם הם גדלים מאותו סוג; הנימוק לכך מובא להלן, בסעיף הדן באייתכנותה של הפרדה אנרגטית ישירה.

מה שאחוזונים אינם עושים הוא הפרדה בין מקורות. אופרטור האחוזון ממיין מפלסים לפי גובהם ואינו יודע דבר על מוצאם, והוא מבצע את אותה פעולה בדיוק על אות מצטבר ועל אות שכולו רקע.

שני סוגי זמן

יש להבחין בין שני סוגי פרקי זמן הנקראים לעיתים באותו שם. עבור מפלס שווה ערך, פרק הזמן הוא זמן אינטגרציה: המרווח שעליו נצבר ריבוע הלחץ. עבור אחוזונים ועבור מדדי שיא, פרק הזמן הוא זמן תצפית: המרווח שממנו נלקח המדגם. תקן ISO 1996 חלק 2 מבחין ביניהם במפורש. אין זו הבחנה סמנטית, אלא ביטוי לכך ששני סוגי המדדים אינם נגזרים מן האות באותו אופן, ולפיכך אינם ניתנים לפעולת חשבון משותפת.

האחוזון כערך סף

מה האחוזון אומר ומה אינו אומר

נניח מדידה שהניבה $L_{A90} = 50\text{dB}$. לפי ההגדרה האידאלית, ובכפוף לשיטת חילוץ האחוזון, נתון זה מוסר דבר אחד בלבד: בתשעים אחוזים ממשך המדידה היה מפלס הרעש 50dB ומעלה, ובעשרה אחוזים הנוותרים היה נמוך מכך.

נדרשת הבהרה בדבר גבולות המידע שבנתון. האחוזון קובע את מיקומה של נקודת חיתוך אחת בהתפלגות, ואינו מוסר דבר על התפלגות הדגימות משני עבריה.

מעל נקודת החיתוך: אין בנתון מידע על ערכיהן של תשעים אחוזי הדגימות הגבוהות. הן עשויות כולן להיות 50dB בדיוק, והן עשויות להשתרע עד 90dB . מדידה שבה המפלס עמד על 50dB לאורך תשעים ותשעה אחוזים מן הזמן ומדידה שבה הוא נע בין 50dB ל- 90dB יניבו את אותו L_{A90} בדיוק.

מתחת לנקודת החיתוך: אין בנתון מידע על ערכיהן של עשרת האחוזים הנמוכים, על סדרן או על פרישתן בזמן; שיעורן בלבד ידוע. הוא אינו מציין את ממוצען, אינו מציין את ערך המינימום, ואינו מלמד כמה מהן קרובות ל- 50dB וכמה רחוקות ממנו.

זהו אפוא ערך סף המחלק את המדגם לשני חלקים ביחס של תשעים לעשרה, ותו לא. אין מדובר בערך שנמדד אלא בנקודה על עקומת ההתפלגות המצטברת: ייתכן שדגימה אחת או יותר נושאות בדיוק את ערכו, וייתכן שאף דגימה אינה נושאת אותו, והנתון עצמו אינו מלמד איזה משני המצבים התקיים.

איזה משני המצבים התקיים תלוי, בין השאר, בשיטת האומדן שבה חולץ האחוזון מן הדגימות, שכן מיקומו המדויק על העקומה אינו מוגדר באופן יחיד. בשיטת הדרגה הקרובה הוא מתלכד עם דגימה אחת מן המדגם; בשיטות האינטרפולציה המקובלות בסטטיסטיקה הוא מחושב בין שתי דגימות סמוכות בסדר, ובהתפלגות דו-שיאית עשוי ליפול בפער שבין השיאים, על ערך שלא נרשם באף רגע מן המדידה. מד רעש הבונה היסטוגרמה מדווח את גבול התא או את מרכזו, כלומר ערך שהרזולוציה שלו נקבעת על ידי רוחב התא ולא על ידי דגימה. תקן IEC 61672, המגדיר את דרישות הדיוק של מד הרעש⁷, אינו קובע כיצד ייווצרו ערכים אופייניים מהתפלגות המפלסים או מפלסי חריגה, ומכון התקנים הגרמני מציין זאת במפורש כנימוק לתקן לאומי משלים, DIN 45657, המוסיף הוראות אלה כדרישות אופציונליות [16]. בהיעדר הוראה מחייבת, כל יצרן בוחר את שיטתו: במכשיר המתואר במקור [23] נדגם המפלס בכל אלפית שנייה, הנתונים מעוגלים לתאים של 0.1dB או 1dB ורק מספר המופעים בכל תא נשמר; והיצרן מציין שערכי L_N המחושבים מנתונים שנרשמו במרווחי 100ms עשויים להיות שונים מאלה שהמכשיר מחשב מנתוני 1ms . מכאן ששני מכשירים העומדים באותו סוג דיוק עשויים לדווח ערכי L_{A90} שונים מאותו אות, בעוד שערכי L_{Aeq} שלהם יתלכדו בגבולות הדיוק המוצהר. דיוקו של האחוזון אינו דיוקה של המדידה; הוא דיוקה של פעולת החילוץ, שאינה מתוקנת ואינה מדווחת.

⁷ תקנה 1 לתקנות 1990 מגדירה "תקן IEC" כתקן IEC 651 משנת 1979, ותקנה 4 מפנה אליו לעניין מד הרעש. תקן זה הוחלף מאז בסדרת IEC 61672. לעניין הנדון כאן אין בכך הבדל: אף אחד משני התקנים אינו קובע כיצד יחושבו אחוזוני רעש.

האחוזון אינו מפלס רעש

מן האמור נגזרת קביעה שראוי לנסחה במפורש: אחוזון אינו מפלס רעש כהגדרתו בתקנות. הוא ערך על סולם המפלסים, מדווח ב-dB, וסדרת התקנים ISO 1996 מכנה אותו "מפלס חריגה"; אך אין הוא ממוצע ריבוע לחץ, ואינו נמנה עם הגדלים שתקנה 1 ותקנה 3 מגדירות כמפלס רעש. הקביעה נוגעת אפוא לשאלה מהו הגודל, ולא לשם שניתן לו.

הקביעה נגזרת מטבעו של הגודל, ולא מהיעדר אזכור בתקן או בתקנות. מפלס רעש הוא גודל המתאר את עוצמת הקול, והוא נגזר מלחץ הקול באמצעות פעולה מוגדרת על האות עצמו. אחוזון אינו נגזר מן האות אלא מהתפלגות הדגימות שהופקו ממנו: הוא מתקבל במיון הדגימות לפי גובהן ובבחירת נקודת חיתוך אחת מתוך הסדר שהתקבל. הפעולה המייצרת אותו היא פעולת מיון, ולא פעולה על גודל פיזיקלי.

מכאן שהאחוזון הוא ייצוג סטטיסטי של התפלגות מפלסי הרעש שנמדדו, ולא מפלס רעש כהגדרתו בתקנות. שני הגדלים שייכים לקטגוריות שונות: האחד גודל פיזיקלי המתאר אנרגיה אקוסטית, והאחר מדד סטטיסטי המתאר את מבנה המדגם. העובדה שהאחוזון מחושב ממפלסי רעש ומבוטא ביחידות dB אינה משנה זאת, כשם שהחציון של אוכלוסיית מדידות אינו עצמו מדידה ואינו ממוצע.

משנקבע זאת, נובעת גם המסקנה ביחס לתקנות. תקנה 1 לתקנות 1990 מגדירה "מפלס רעש" בהפניה לתקנה 3, וארבע החלופות שבה מנוסחות במונחי מפלס רעש שווה ערך, כפי שנדון לעיל. אחוזון אינו עונה להגדרה זו, ולפיכך אין הוא כשיר לשמש כמפלס רעש לעניין התקנות.

מאותה הבחנה נגזרת מגבלה נוספת, שהיא עיקר עניינו של מאמר זה. פעולת חשבון בין שני גדלים מותנית בכך שהם מבטאים את אותו גודל פיזיקלי ונושאים את אותה תכונה מתמטית. מפלס רעש שווה ערך נגזר מריבוע לחץ, וריבועי לחץ של אותות בלתי מתואמים מצטרפים; לאחוזון אין תכונה זו. מכאן שאחוזון אינו כשיר, מכוח הגדרתו בלבד, לשמש כאיבר בפעולת חיבור או חיסור מול מפלס רעש שווה ערך. הנימוק המלא לכך, על השלכותיו, נדון להלן בסעיף העוסק באי-היתכנותה של הפרדה אנרגטית ישירה.

רעש הרקע של רעש הרקע

מכאן נובעת המסקנה החושפת את מבנה הכשל. אילו היה האחוזון מהווה קביעה של רעש הרקע, הרי שחישובו על מדידה שכולה רעש רקע היה מניב את רעש הרקע של רעש הרקע. הפעולה תשוב ותניב ערך גם כאשר אין בנמצא מקור להפריד ממנו, שכן היא אינה בוחנת מוצא אלא סדר.

תוצאה זו אינה מקרית, והיא בדיוק מה שנעשה בפרקטיקה: ה- L_{A90} המחולץ ממדידה הוא סטטיסטיקת סדר של הרעש המצטבר, ובמקרה שבו כל הרעש הנמדד הוא רקע, הוא סטטיסטיקת סדר של רעש הרקע. זהו בדיוק המבנה שנדון לעיל ביחס לנוסח הנוכחי של BS 4142, שם מפלס רעש הרקע מוגדר כערך ה- L_{A90} של הרעש השיורי, כלומר כרצפתו הסטטיסטית ולא כרעש עצמו [12]. ההבדל הוא שבנוסח הנוכחי של התקן הבריטי המבנה מוצהר וממולא בתפקיד של השוואה בלבד, ואילו בנוסח הנדון כאן הוא נסתר ומוצב בתפקיד של גודל בר-ניכוי.

לכשל זה שני פנים. במישור המקצועי, הוא מרוקן את הגדרת רעש הרקע שבתקנה 1 מתוכנה: ההגדרה קובעת גודל לפי מוצא, כלומר סך כל מקורות הרעש למעט מקור הרעש הנבדק, ואילו האחוזון מציין נקודה בהתפלגות

שאינה מבחינה בין מוצאים. הערך המדווח נושא את שם הגודל שבתקנות, אך מכוח האחוזון לבדו לא הוכח כי הוא הגודל שהן מגדירות.

במישור הראייתי, ובהמשך לאמור בחלק הרקע, אין מדובר באי-דיוק שולי. חוות דעת המציגה ערך זה כרעש הרקע, בלא להציג את הכלל או המודל שמכוחם הוא משמש אומדן, מציגה כקביעה גודל שלא הוכח כי הוא הגודל שהתקנות דורשות. ערך האחוזון עצמו ניתן לחישוב חוזר בידי כל מומחה; מה שאינו ניתן לאימות מנתוני האחוזון לבדם הוא שיוכו לרעש הרקע. האחוזון אינו נושא מידע על מועד הדגימות שמתחתיו ועל מה שגרם להן, ולכן אין בידי מומחה אחר דרך לבחון אם הן מייצגות את הסביבה בלא המקור, את המקור עצמו, או תערובת של השניים. שיוך שאינו ניתן לאימות אינו ניתן להגנה.

הזנב התחתון

מאי-חלקותה של ההתפלגות, שנדונה לעיל, נגזרת מסקנה מעשית: אותו ערך אחוזון עצמו עשוי לנבוע ממדידות שונות לחלוטין.

אותו $L_{A90} = 50\text{dBA}$ יכול להתקבל במצבים שונים לחלוטין. במדידה האחת, כל עשרת האחוזים התחתונים מצויים בטווח שבין 48dBA ל- 50dBA ; ההתפלגות דחוסה, וערך המינימום הוא 48dBA . במדידה האחרת, אותם עשרה אחוזים משתרעים על טווח שבין 28dBA ל- 50dBA ; מתקיימים בה פרקי זמן שקטים באופן משמעותי מן האחוזון, וערך המינימום הוא 28dBA . ובמדידה שלישית, של מקור יציב ורציף כמפוח בעומס קבוע, כל המדידה מצויה בטווח של 1dB סביב 50dBA , ואין לה זנב תחתון כלל; שם האחוזון אינו מתאר רקע מכל סוג אלא את המקור עצמו, כפי שיידון להלן בסעיף העוסק במקור יציב ורציף.

בשלושת המקרים האחוזון זהה, והמצבים בלתי ניתנים להבחנה מתוכו. מכיוון שהטענה "האחוזון הוא רעש הרקע" משמעה בפועל טענה על אופיו של הזנב התחתון, כלומר שהוא מייצג מצב שבו המקור אינו תורם, הרי שהאחוזון אינו נושא את המידע שהטענה דורשת. פרישת הזנב התחתון עשויה לעלות על 20dB בסביבות שבהן הרקע דינמי, בהתאם למנגנון שתואר לעיל.

חדות האחוזון סביב מחזור הפעולה של המקור

נניח מפוח הפועל ברציפות ומייצר 75dBA בנקודת המדידה, בסביבה שרעש הרקע בה הוא 40dBA . רעש המפוח מונוטוני ואינו דינמי.

אם פעל המפוח בתשעים ואחד אחוזים לפחות מזמן חלון המדידה, נקודת החיתוך של האחוזון נופלת בתוך תקופת פעולתו, ומתקבל בקירוב $L_{A90} = 75\text{dBA}$, שכן תשעים אחוזים לפחות מן הדגימות עברו ערך זה. אם כלל חלון המדידה עשרה אחוזים ומעלה שבהם לא פעל המפוח, מתקבל בקירוב $L_{A90} = 40\text{dBA}$.

שינוי של נקודת אחוז אחת במחזור הפעולה מייצר אפוא קפיצה של 35dB בערך המדווח כרעש הרקע. באותם שני מצבים עצמם משתנה המפלס שווה הערך מ- 74.59dBA ל- 74.54dBA .

הניגוד בין שתי ההתנהגויות נגזר מן ההבדל בין הגדלים שנדון לעיל. המפלס שווה הערך נקבע באינטגרציה על פני חלון הזמן, ולפיכך שינוי זעיר במחזור הפעולה מייצר בו שינוי זעיר; האחוזון נקבע במיון המדגם, ופונקציית האחוזון קופצת בנקודה שבה מחזור הפעולה חוצה את 0.9 . מדובר באי-רציפות מהותית של האומדן, ולא בשגיאת מדידה.

מחזור הפעולה אינו נקבע רק על ידי המקור עצמו, אלא גם על ידי גבולות חלון המדידה. מדידה שראשיתה בטרם החל המקור לפעול, או שסופה לאחר שחדל, כמו גם מדידה שבמהלכה הופסקה פעולת המקור לפרק זמן, כוללות בתוכן פרקים שבהם נקלט רעש הרקע בלבד. כאשר פרקים אלה מהווים למעלה מעשרה אחוזים מן החלון, נקודת החיתוך של L_{A90} נופלת בתוכם, והערך המתקבל הוא סטטיסטיקת סדר של רעש הרקע. זהו המקרה המובהק של רעש הרקע של רעש הרקע שנדון לעיל: הערך המדווח אינו רעש הרקע אלא רצפתו, והוא נמוך ממנו במידה הנגזרת מתנודתיותו.

התוצאה היא הטיה שיטתית בכיוון אחד. ככל שהזנב התחתון של התפלגות הרקע רחב יותר, כן גדל הפער בין הערך המדווח לבין רעש הרקע כהגדרתו, וכן גדלה תרומת המקור המחושבת. ההטיה אינה נראית בתוצאה עצמה, שכן היא מוצגת כערך יחיד.

אומדן שערכו קופץ בעשרות dB בתגובה לשינוי זעיר בפרמטר שאינו נמדד ואינו מדווח אינו יכול לשמש קלט לחישוב שממנו נגזרת מסקנה תכנונית או משפטית. יתרה מזו, מחזור הפעולה של המקור אינו בהכרח נתון שבידי המודד; וכאשר הוא בידו, מיומן תפעול, ממערכת בקרה או מהקלטה, ממילא בידו גם החלונות הנקיים, או הידיעה שאין כאלה.

מקור יציב ורציף: התכנסות המדדים

כאשר מקור פועל ברציפות, בעומס אחיד, ומפלסו בנקודת המדידה גבוה מרעש הרקע ב-10dB ומעלה, מתקיימים שני תנאים בזמנית. המקור נוכח ביותר מתשעים אחוזים מן החלון, ולכן נקודת החיתוך נופלת בתוך תקופת פעולתו; ותרומת הרקע לסכימה האנרגטית זניחה, כ-0.41dB בהפרש של 10dB וכ-0.14dB בהפרש של 15dB. במצב זה פונקציית ההתפלגות המצטברת שטוחה בחלקה התחתון, ו- L_{A50} , L_{A90} והמפלס שווה הערך מתכנסים לערכים קרובים המשקפים כולם את עוצמת המקור.

התכנסות זו אינה אישור לשיטה אלא הדגמה של כישלונה: שלושת המדדים זהים, אך כולם מתארים את המקור ולא את הרקע. יועץ שינכה במצב זה את L_{A90} מן המפלס שווה הערך יקבל תרומת מקור השואפת לאפס.

שני המצבים שתוארו כאן ובסעיף הקודם הם אפוא שני קצותיו של אותו כשל, ולא שתי תקלות נפרדות. כאשר המקור נוכח כמעט בכל החלון, האחוזון מתאר את המקור ואת הרקע יחד, והניכוי עשוי לאפס כמעט את תרומתו. כאשר החלון כולל פרקים ניכרים שבהם המקור אינו פועל, האחוזון עשוי לתאר את הזנב התחתון של הרקע, והניכוי עשוי לייחס למקור תרומה עודפת. בשני המקרים הערך המדווח לא הוכח כרעש הרקע כהגדרתו, וכיוון ההטיה נקבע על ידי מחזור הפעולה ועל ידי גבולות החלון, כלומר על ידי פרמטרים שאינם נלמדים מן האחוזון עצמו.

יצוין כי במשטר זה קובעת תקנה 6(3) שכאשר הרעש המצטבר גבוה מרעש הרקע ב-10dB ויותר, אין לחשב את תרומת רעש הרקע כלל. בקצה הנגדי, כאשר ההפרש קטן מ-3dB, מטילה תקנה 6(1) על מבצע המדידה לחשב את תרומת הרקע "בשיטה המקצועית המהימנה והמתאימה ביותר" לפי שיקוליו המקצועיים; היקפו של שיקול דעת זה, ומה שאינו נכלל בו, נדונים בסעיף העוסק בתחולה בישראל. כאשר מפלס הרעש המצטבר ומפלס רעש הרקע זהים או קרובים מאוד זה לזה, הפרדת רעש המקור מן הרעש המצטבר אינה בת ביצוע.

ממד הזמן: משך המדידה, משכו הכולל של הרעש, ומה מכל זה נושא האחוזון

שלושת הסעיפים הבאים עוסקים בשלושה פנים של שאלה אחת. הראשון שואל כמה זמן יש למדוד, ומה נדרש לדעת כדי לקבוע זאת; השני שואל כמה זמן נמשך הרעש הנבחן, שהוא הגודל שתקנה 2 מתנה בו את המבחן; והשלישי שואל מה מכל זה נושא האחוזון. התשובה לשלישי היא שאינו נושא דבר, וזה מה שמחבר את השניים הראשונים אליו.

מעגליות התנאים: דרישת הזמן הסביר ומה שהיא מחייבת

תקנה 5(א)(4) לתקנות 1990 קובעת כי "משך המדידה יאריך זמן סביר בהתאם לנסיבות העניין ולא יפחת מ-10 שניות". הוראה זו כוללת שני תנאים נפרדים במעמדם. עשר השניות הן רצפה טכנית מוחלטת, ואין בהן המלצה או חזקה: מדידה ארוכה מהן אינה בהכרח סבירה. התנאי המהותי הוא הראשון, ולפיו משך המדידה יהיה סביר, וההגדרה למהו זמן סביר נגזרת מנסיבות העניין.

לדרישה זו מבנה שראוי לעמוד עליו. ראשית, היא קובעת פרמטר הכרחי, הוא המשך T . קביעה זו עולה מלשון התקנה ומתיישבת עם התכונה הרביעית של המפלס שווה הערך שנדונה לעיל, שלפיה המשך הוא רכיב מכונן בהגדרת הגודל: לא ניתן לקבוע מפלס רעש בהתעלם מפרמטר משך הזמן. בנוסף, התקנה אינה קובעת משך אלא מחייבת לקבוע אותו, ולנמק את הקביעה בנסיבות העניין. מכאן שהיא מטילה על מבצע המדידה חובת ניתוח מקדים, שכן לא ניתן לגזור משך מנסיבות בלא שנבחנו הנסיבות תחילה. נסיבות אלה כוללות שלושה רכיבים עיקריים.

הרכיב הראשון הוא אופיו הזמני של מקור הרעש הנבדק. מקור יציב ורציף, הפועל בעומס קבוע, עשוי להתייצב תוך זמן קצר, ולאחר שהוכח שהתייצב ניתן להסתפק בפרק מדידה קצר יחסית. לעומתו, מקור מחזורי, מקוטע או רב-מצבי מחייב פרק מדידה המכסה מספר מחזורי פעולה מייצגים, שאם לא כן התוצאה תתאר מצב פעולה אחד של המקור, אך לא את המקור במלואו. קביעת המשך מחייבת אפוא לדעת מראש אם המקור רציף או מקוטע, ואם הוא יציב או דינמי.

הרכיב השני הוא אופיו הזמני של רעש הרקע. נקודה זו נוטה להישכח, שכן הדיון במשך המדידה מתמקד בדרך כלל במקור בלבד. אלא שרעש הרקע עצמו אינו בהכרח יציב, והוא עשוי להשתנות באופן מהותי בתוך חלון המדידה או בין חלון אחד למשנהו. פרק מדידה עשוי להיות בלתי מייצג גם כאשר המקור הנבדק יציב לחלוטין, אם נבחר בשעה שבה רעש הרקע נמוך או גבוה באופן חריג ביחס למצב הרגיל. קביעת המשך מחייבת אפוא לדעת גם מהי מידת יציבותו של הרקע, וממילא לדעת מהו הרקע.

הרכיב השלישי הוא תנאי ההתפשטות. מפלס הרעש בנקודת הקבלה נקבע לא רק על ידי המקור והרקע, אלא גם על ידי המדיום שדרכו עובר הקול. תקן ISO 1996 חלק 2 מטפל בכך באמצעות המושג חלון מטאורולוגי, ומחייב שמדידה תיוחס לתנאי התפשטות מוגדרים. הטמפרטורה והלחות היחסית קובעות את מקדם הבליעה האטמוספירית, שהשפעתו תלויה תדר וגדלה עם המרחק. מהירות הרוח וכיוונה, יחד עם המדרג התרמי, קובעים את פרופיל מהירות הקול לגובה, ומכאן את עקמומיות קרני הקול. מפלס הרעש המצטבר הנמדד בנקודת המקבל עשוי אפוא להיות מושפע במידה ניכרת מתנאים אלה.

המשמעות המעשית היא ששינוי בתנאים המטאורולוגיים בלבד עשוי לשנות את המפלס בנקודת הקבלה במידה ניכרת, גם כאשר הספק המקור ורעש הרקע נותרו קבועים לחלוטין. השפעה זו זניחה במרחקים קצרים ובמסלולי מעבר פנימיים, וגדלה עם המרחק, עם הגובה ועם משקל המסלול החיצוני.

לרכיב זה נודעת חשיבות מיוחדת כאשר רעש הרקע ורעש המקור מגיעים אל נקודת המקבל במסלולים שונים ובמרחקים שונים. במקרה כזה שינוי בתנאי ההתפשטות אינו משפיע על שניהם במידה שווה, והיחס ביניהם משתנה גם אם אף אחד מהם לא השתנה במקורו. מדידת רעש רקע שבוצעה בחלון מטאורולוגי אחד אינה מייצגת בהכרח את רעש הרקע ששרר בחלון אחר, גם באותו מיקום ובאותה שעה ביום.

מכאן, כאשר תקופת הפעילות הנבחנת נפרשת על פני חלון זמן T שבו מתקיימים שינויים באחד משלושת הרכיבים, כלומר ברעש המקור, ברעש הרקע או בתנאים המטאורולוגיים, יש להתאים את משך הזמן כך שיכלול את השינויים הללו. כך או כך, משך הזמן שנבחר חייב להיות מנומק.

מכאן עולה הקושי שבנוהג הנדון במאמר זה.

הטענה שאחוזון מהווה קירוב סביר לרעש הרקע אינה טענה כללית אלא טענה מותנית: היא נכונה, אם בכלל, רק במצבים מסוימים. שלושת הרכיבים שנמנו הם גם התנאים הקובעים אם המצב הנתון הוא אחד מהם.

אם המקור פועל ברוב חלון המדידה, נקודת החיתוך של האחוזון נופלת בתוך תקופת פעולתו, והאחוזון מתאר את המקור. זהו המצב שנדון לעיל בסעיף העוסק בהתכנסות המדדים.

אם הרקע עצמו תנודתי, האחוזון נופל על הזנב התחתון של התפלגות הרקע ואינו מתאר את מפלסו האנרגטי, בהתאם למנגנון שנדון לעיל בסעיף הזנב התחתון.

ואם תנאי ההתפשטות משתנים בתוך החלון, ההתפלגות שממנה חולץ האחוזון מערבבת מצבים אקוסטיים שאינם בני השוואה. רכיב זה אינו מטופל באף אחד משני המצבים הקודמים, שכן הוא אינו נובע מן המקור או מן הרקע אלא מן המדיום שביניהם.

שלושת התנאים הללו אינם בהכרח ידועים למודד בטרם המדידה, ואף על פי כן עליו לקבוע את משך המדידה כך שיעמוד בדרישת הזמן הסביר בהתאם לנסיבות העניין.

כדי לדעת מהו היחס בין מפלס המקור לרעש הרקע יש לדעת תחילה מהו רעש הרקע. כדי לדעת מהו מחזור הפעולה של המקור יש לזהות את פרקי הזמן שבהם המקור אינו פועל, כלומר לאתר את החלונות הנקיים. כדי להעריך את יציבות הרקע יש למדוד אותו. וכדי לקבוע אם המדידה מצויה בחלון מטאורולוגי אחד יש לתעד את תנאי ההתפשטות לאורכה.

מי שהשלים את הניתוח המקדים שתקנה 5(א)(4) מחייב מחזיק במידע המאפשר לקבוע אם קיימים חלונות נקיים, אם הרקע יציב ואם תנאי ההתפשטות מייצגים. כאשר קיימים חלונות נקיים מתאימים, קביעת רעש הרקע כמפלס שווה ערך עליהם היא הדרך הישירה, והאחוזון מיותר. כאשר אין חלונות כאלה, אותו מידע אינו מספק את רעש הרקע עצמו, אך הוא מאפשר לתעד את המניעה ממדידה ישירה ולבחון אם מתקיימים התנאים לשיטת אומדן חלופית.

מי שלא השלים את הניתוח אינו יכול לדעת אם האחוזון שבידו מתאר את המקור, את הרקע, או את הזנב התחתון של רקע תנודתי. הוא גם אינו יכול לדעת אם משך המדידה שבחר הוא זמן סביר בהתאם לנסיבות, שכן הנסיבות לא נבחנו.

הקירוב האחוזוני דורש אפוא כתנאי לתקפותו את המידע שהוא אמור לספק. במקום שבו המידע קיים, האחוזון אינו נחוץ; במקום שבו הוא חסר, האחוזון אינו ניתן לאימות. אין דרך שלישית הנלמדת מן האחוזון עצמו: האחוזון אינו מוכיח את תנאי התחולה, והמידע הנדרש חייב להגיע ממקור חיצוני.

לקושי זה נלווה קושי נוסף, הנדון להלן: תקן ISO 1996 חלק 2 מחייב לאמוד את איהוודאות של התוצאה ולדווחה. ערך האחוזון לבדו אינו מספק אומדן כזה ואינו מלמד על מידת התאמתו לרעש הרקע שאותו הוא אמור לייצג. כאשר נעזרים בו לפי נספח I, יש לאמוד את איהוודאות באמצעות חזרה על פרוצדורת הקביעה ובמסגרת תקציב איהוודאות של התוצאה, בלא שלבים אלה אין בידי המודד בסיס לכמת את מהימנות הקירוב שביצע.

משכו הכולל של הרעש כיחידה אחת

תקנות 2(1) ו-2(2) מגדירות רעש בלתי סביר כ"רעש אשר משכו הכולל..." ביום או בלילה, כמפורט בטבלת התוספת הראשונה. המונח הקובע הוא "משכו הכולל", ומשמעו מלוא הזמן שבו הרעש הנבחן מתקיים בתוך תקופת היום או הלילה.

המשך הרלוונטי למבחן אינו רק סכום פרקי הזמן שבהם המפלס היה גבוה מסף שנבחר. שינויים במפלס במהלך פעולתו הנמשכת של המקור, ובהם ירידות, עליות ופרקים שקטים יחסית, הם חלק ממשך הרעש ולא הפסקות שלו. מקור הפועל שמונה שעות בעוצמה משתנה מייצר רעש שמשכו הכולל שמונה שעות, כל עוד הוא מוסיף ליצור את הרעש הנבחן לאורך פרק זה.

יש להבחין בין משך זה לבין משך המדידה שנדון לעיל. תקנה 5(א)(4) קובעת את משך המדידה, כלומר את פרק הזמן שבו נאסף האות; תקנות 2(1) ו-2(2) מתייחסות למשכו הכולל של הרעש, כלומר למלוא הזמן שבו התופעה הנבחנת מתקיימת. השניים עשויים להתלכד, אך אינם אותו גודל: הראשון הוא פרמטר של הפרוצדורה, והשני מאפיין של התופעה הנבחנת.

לקביעה זו שתי השלכות מעשיות.

ההשלכה הראשונה נוגעת לבחירת שורת הסף. משכו הכולל של הרעש הוא שקובע לאיזו שורה בטור הרלוונטי משתייך המקרה, וערכי הסף יורדים ככל שהמשך גדל. משך זה הוא מלוא משך קיומו של הרעש הנבחן בתוך תקופת היום או הלילה: לא משך הדגימות שמעל מפלס מסוים, ולא משך הנגזר מאחוזון. כאשר המקור ממשיך לפעול בעוצמה משתנה, גם פרקים שקטים יחסית הם חלק ממשך הרעש, ופירוקו למקטעים רועשים והצגת כל מקטע כאירוע עצמאי מוביל לשיון לשורה שאינה מתאימה. כאשר מדובר באירועים נפרדים, שביניהם המקור אינו יוצר את הרעש הנבחן, משכם הכולל הוא סכום משכי האירועים בתוך התקופה, ולא הזמן הקלנדרי שבין הראשון לאחרון.

ההשלכה השנייה נוגעת לחישוב המפלס. המפלס הנמדד צריך לייצג את הרעש על מצבי פעולתו לאורך משכו הכולל, אך אין פירוש הדבר בהכרח מדידה רצופה במשך כל אותה תקופה. כאשר המדידה משתרעת על מלוא

התקופה, היא כוללת גם את מצבי הפעולה השקטים יותר שבתוכה; כאשר נעשה שימוש במדגם קצר יותר, יש לבסס כי משך המדידה ומשקלם של מצבי הפעולה שנכללו בו מייצגים את התקופה הנבחנת. פרקים שבהם המקור מוסיף ליצור את הרעש הנבחן בעוצמה נמוכה יותר אינם זמן שבו הרעש חדל להתקיים, והשמטתם ללא ביסוס אינה מדידה מדויקת פחות אלא חישוב של גודל אחר.

היעדר המשך באחוזונים

לשתי ההשלכות מכנה משותף אחד: שתיהן מבוססות על כך שלגודל המשווה לערך הסף יש משך. המפלס שווה הערך עונה על כך בהגדרתו, כפי שנקבע לעיל בתכונה הרביעית שלו: המשך הוא רכיב מכונן בהגדרה, ולפיכך כל ערך של מפלס שווה ערך נושא עמו את פרק הזמן שעליו חושב.

לאחוזון אין משך. האחוזון נגזר ממיון המדגם לפי גובה המפלס, ומיון זה מוחק את ציר הזמן. הערך המתקבל מציין נקודת חיתוך בהתפלגות המצטברת, ואינו מציין פרק זמן שבו התקיים מפלס כלשהו.

הסימון $L_{A90,T}$ אמנם נושא את האות T , אך משמעותה שם שונה. כפי שנדון לעיל בהבחנה בין שני סוגי זמן, במפלס שווה הערך T הוא זמן אינטגרציה, כלומר המרווח שעליו נצבר ריבוע הלחץ; באחוזון T הוא זמן תצפית, כלומר המרווח שממנו נלקח המדגם. במקרה הראשון T מגדיר את הגודל עצמו; בשני הוא מגדיר את גבולות המדגם שממנו חולץ הערך, ואינו אומר דבר על משך התקיימותו.

השאלה שתקנה 2 מציבה אינה בעלת מענה בתוך האחוזון. כאשר מדידה מניבה $L_{A90} = 50\text{dBA}$ לא ניתן לומר כמה זמן נמשך רעש של 50dBA . כפי שנדון לעיל, ייתכן שמפלס כזה לא התקיים כלל למעט בדגימה בודדת שנפלה בנקודת החיתוך, וייתכן שהתקיים לאורך רוב המדידה; שני המצבים מניבים אותו ערך. הנתון היחיד שהאחוזון מספק הוא שעשרה אחוזים מדגימות המדידה היו מתחת לסף זה, ואין בו מידע על פרישתן של אותן דגימות בזמן, על רציפותן, על משכן או על ערכן.

מסקנה זו מצטרפת לקודמתה. לעיל נקבע כי האחוזון אינו מפלס רעש, ולפיכך אינו כשיר לשמש כמפלס הרעש שבתקנה 3(א). כאן מתברר כי אף אילו היה כשיר לכך, לא היה בידו לבסס את משך פעילות המקור או את רציפותו הכרונולוגית. ההבדל נעוץ במה שכל גודל עושה עם הזמן. המפלס שווה הערך נצבר מתחילת המדידה ועד סופה, דגימה אחר דגימה לפי סדר התרחשותן, ומשך המדידה משמש בו כמכנה: לזמן יש בו משמעות אריתמטית. האחוזון נוצר מאותן דגימות לאחר שעורבבו ומיון לפי גודלן, ולא לפי מועדן; הזמן שבסימונו, T , מציין רק את החלון שממנו נאספו, ואין לו כל תפקיד בחישוב. לכן המפלס שווה הערך נושא את המשך שעליו חושב, ואילו האחוזון אינו נושא משך כלל. את משכו הכולל של הרעש אין אף אחד מהם קובע לבדו, והוא נקבע מתצפית ומתיעוד; אך המפלס שווה הערך מוגדר על פני משך, והאחוזון מוגדר בהתעלם ממנו.

לשון תקנה 3(א) מאששת מסקנה זו. כפי שנדון לעיל, תקנה 1 מגדירה "מפלס רעש" בהפניה לתקנה 3, וזו קובעת כי "מפלס הרעש לענין תקנה 2(1) ו-2(2) הוא אחד מאלה", ומונה ארבע חלופות שכולן מנוסחות במונחי מפלס רעש שווה ערך: מפלס רעש שווה ערך בהתחשב בתרומת רעש הרקע כאמור בתקנה 6; אותו מפלס בתוספת 5dB לרעש עם טון בולט או לרעש התקפי; אותו מפלס בתוספת 5dB לרעש עם טון בולט; והגבוה מבין מפלסי הרעש שווי הערך הנמדדים בתוך בניין בשתי השיטות שבתקנה 5(ב), לאחר תיקון לרעש רקע. מדובר, לקריאת המחבר, במניין ממצה של הגדלים הכשירים לשמש כמפלס הרעש לעניין המבחן, ולא בשתיקה שניתן להשלימה בשיקול דעת מקצועי.

תקנה 3(ב) מחזקת זאת מכיוון נוסף. אף כאשר עוסקות התקנות ברעש עם טון בולט וברעש התקפי, שהם מטבעם קצרים ובלתי רציפים, הפתרון שהן בוחרות אינו מעבר למדד סטטיסטי אלא הגדרת משך מפורשת בתוך מסגרת המפלס שווה הערך: הרעש נבחן "כמפלס רעש שווה ערך שמשכו הוא" כל משך הרעש הנמדד, או משך אירוע הרעש בלבד בתוספת 5dB. גם במקרה הקשה ביותר מבחינת המבנה הזמני, ובדיוק בסוג הרעש שבו מדד סטטיסטי היה נראה כפתרון טבעי, התקנות אינן מוותרות על ממד המשך אלא מגדירות אותו במפורש.

איהיתכנותה של הפרדה אנרגטית ישירה באמצעות אחוזון

עד כאן נבחן הנוהג לחילוץ האחוזון ולזיהוי עם רעש הרקע. הפעולה השלישית, הצבת האחוזון כקלט בחישוב האנרגטי הקבוע בתקנות 6 ו-3(א)(1), נבחנת עכשיו בפני עצמה. איתקפותה של ההצבה הישירה אינה תלויה בשאלה אם האחוזון קרוב מספרית לרעש הרקע, אלא בהיעדר קשר מקצועי או מודלי המעניק לו מעמד של אומדן למפלס שווה הערך של הרעש השיורי.

הרעש המצטבר הנמדד נקבע כמפלס רעש שווה ערך, $L_{Aeq,T}$; ורעש הרקע נקבע כערכו של אחוזון שחולץ מאותה מדידה, $L_{A90,T}$; ההפרש בין השניים נבחן מול מדרג התיקון שבתקנה 6, ובהתאם לו מבוצע הניכוי:

$$L_{source} = 10 \lg \left(10^{\frac{L_{Aeq,T,total}}{10}} - 10^{\frac{L_{A90,T}}{10}} \right)$$

התוצאה מדווחת כמפלס רעש המקור, ומושווית לערך הסף שבתוספת הראשונה.

השאלה הנבחנת אינה אם החישוב מחזיר מספר, אלא אם הנתונים מאפשרים לייחס את האנרגיה בין המקורות באופן חד-ערכי. הבחינה נעשית תחילה מול התנאי שמכוחו מותרת אריתמטיקה של מפלסי רעש, ובהמשך מול מגבלות הזיהוי והייחוס.

התנאי לאריתמטיקה של מפלסים

חיבור מפלסי רעש אינו חיבור של ערכי ה-dB אלא של הגדלים הפיזיקליים שהם מייצגים. עבור שני מקורות בלתי מתואמים, ריבועי לחץ הקול מצטרפים, ומכאן נוסחת הצירוף:

$$L_{Aeq,total} = 10 \lg \sum_i 10^{\frac{L_{Aeq,i}}{10}}$$

תקפותה של הנוסחה נשענת על תכונה אחת: כל אחד מן האיברים בסכום הוא ממוצע ריבוע לחץ על פני פרק הזמן T . הפעולה $10^{\frac{L}{10}}$ מחזירה כל מפלס אל הגודל הפיזיקלי שממנו נגזר, הסכימה מתבצעת על גדלים אלה, והפעולה $10 \lg$ מחזירה את התוצאה לסולם ה-dB.

אילו היה אחד האיברים גודל שאינו ממוצע ריבוע לחץ, הסכום כולו לא היה מייצג ממוצע ריבוע לחץ, ותוצאתו לא הייתה מפלס רעש שווה ערך.

זהו התנאי לפעולות אנרגטיות בין מפלסים, ובהן חיבור, ניכוי ושקלול לפי משכי זמן. בכל אחת מהן הפעולה מתבצעת על ממוצעי ריבוע הלחץ, וה-dB משמש להצגת התוצאה בלבד. תיקוני התפשטות ומרחק עשויים

להיכתב כתוספות או כהפחתות בסולם ה-dB, אך גם הם נשענים על מודל פיזיקלי מוגדר ולא על עצם האפשרות לבצע חשבון במספרים המבוטאים ב-dB.

בחינת שני האיברים

מפלס הרעש שווה הערך עומד בתנאי מעצם הגדרתו בתקנה 1, שכן הוא מוגדר כאינטגרל של ריבוע לחץ הקול המנומל, המחולק במשך פרק הזמן.

האחוזון, מנגד, אינו עומד בתנאי זה מכוח הגדרתו בלבד. הוא נקבע במיון המדגם לפי גובה המפלס ובאיתור הערך שמעליו שהה מפלס הרעש בשיעור מוגדר מזמן המדידה. בפעולה זו לא מתבצע אינטגרל ולא מתבצע מיצוע. כשלעצמו, הביטוי $10^{\frac{L_{A90}}{10}}$ אינו ממוצע ריבוע הלחץ של הרעש השיורי, ולכן הצבתו הישירה בניכוי אינה נושאת זהות אנרגטית. רק כלל חיצוני, שהנחותיו ותנאי תחולתו הוכחו, עשוי להקנות לערך האחוזוני מעמד של אומדן לגודל האנרגטי הדרוש.

מכאן שבהיעדר כלל אומדן חיצוני, הפעולה האריתמטית שהוצגה לעיל אינה מייצגת הפרדה פיזיקלית בין מקורות. האיבר הראשון נגזר ממוצע ריבוע לחץ; השני הוא ערך סף סטטיסטי שלא הוכח כממוצע ריבוע הלחץ של הרעש השיורי. ההפרש מחזיר מספר, אך אין בו לבדו כדי להקנות למספר זהות של מפלס הרעש הספציפי. כאשר תקן או מודל מגדירים, בתנאים מוכחים, את האחוזון כאומדן למפלס הרעש השיורי, מתקבל אומדן של מפלס המקור ולא הפרדה ישירה הנובעת מן המדידה בלבד.

כשל הזיהוי

הקושי אינו אריתמטי בלבד, ולכן אין למצותו בהבחנה בין ממוצע ריבוע לחץ לבין ערך סף. האחוזון מדרג את דגימות המדידה לפי גובה המפלס, בלא לזהות את המקור שיצר כל דגימה. הערכים הנמוכים בהתפלגות עשויים לכלול רעש רקע בלבד, פעילות חלשה של המקור הנבדק, או שילוב של שניהם; ובאותו אופן, פעילות המקור עשויה להשפיע גם על חלק מן הערכים הנמוכים וגם על חלק מן הגבוהים.

מכאן נובעת שכבה שלישית של הכשל, מעבר לאי ההתאמה האנרגטית ולעיוורון המוצא: אייחידות הפתרון, כלומר היעדר פתרון יחיד. אותו מפלס שווה ערך כולל ואותם אחוזונים מתיישבים עם יותר מחלוקה אחת בין אנרגיית המקור לבין אנרגיית רעש הרקע. בלא מדידה נפרדת, מידע תפעולי, זיהוי אירועים או מודל נוסף, אי אפשר לקבוע איזו מן החלוקות היא שהתקיימה בפועל. הנתונים הסטטיסטיים של הרעש הכולל אינם מכילים די מידע להפרדה חד-ערכית, ולכן הצבת אחוזון במקום מפלס רעש הרקע אינה רק ערוב של שני גדלים מסוגים שונים; היא מניחה, בלא בסיס, שהאחוזון מזהה הן את מוצא הרעש והן את האנרגיה הממוצעת שלו. הפעולה האריתמטית מחזירה מספר, אך האריתמטיקה אינה מקנה למספר זהות של מפלס המקור.

ההבחנה הזאת היא שמיישבת את מסקנת הפרק עם ההיתרים שבתקנים, הנדונים להלן. תקן רשאי לקבוע, בנסיבות מוגדרות, קשר אומדני שבו אחוזון משמש נתון לאומדן של מפלס רעש הרקע. הקשר עשוי להיות נוסחת המרה המפיקה מן האחוזונים אומדן של מפלס שווה-ערך, והוא עשוי להיות הוראה להניח, בתנאים מוגדרים, שערך האחוזון מייצג את מפלס הרעש השיורי. בשני המקרים תוקף ההצבה אינו נובע מזהותו הפיזיקלית של האחוזון, אלא מן הכלל החיצוני ומתנאי תחולתו. התוצאה היא אומדן מותנה של מפלס המקור, ולא הפרדת מקורות ישירה. אי-ההיתכנות הנדונה כאן היא אפוא אי-היתכנותה של הפרדה ישירה וחסרת

הנחות באמצעות אחוזון של הרעש הכולל; אין היא שוללת אומדן תקני או מודלי בתנאים מוגדרים, אלא את הצגת האומדן כתוצאה הנובעת מן המדידה עצמה כאשר התנאים וההנחות שאפשרו אותו אינם מתקיימים או אינם מוצגים.

היקפה של המסקנה

יש לתחום את המסקנה במדויק, שכן היא נוגעת לפעולה ולא לגודל.

הנטען אינו שאין להשתמש באחוזון בשום שלב של קביעת הרעש השיורי. כפי שיידון להלן, תקן ISO 1996 חלק 2 מכיר בשימוש כזה בתנאים מוגדרים, ובאחת מן הדרכים שהוא מציג אף מורה להניח שאחוזון מייצג את הרעש השיורי לצורך התיקון.

הנטען הוא שהצבה ישירה של אחוזון בפעולה האריתמטית אינה מייצגת, מכוח החשבון בלבד, הפרדה פיזיקלית בין מקורות. תקפותה עשויה לנבוע מהנחה חיצונית שלפיה האחוזון הוא אומדן מתאים למפלס הרעש השיורי. הנחה זו אינה מובנת מאליה והיא מותנית בתנאים. כאשר התנאים מתקיימים, ניתן להציג את התוצאה כאומדן; וכאשר רגישות התיקון נמוכה, גם אידיק מסוים באומדן עשוי להיות חסר נפקות מעשית. כאשר התנאים אינם מתקיימים או אינם מוצגים, אין בידי הקורא דרך להעניק לתוצאה את זהות מפלס המקור. כיוון ההטיה ושיעורה ניתנים לאמידה במשטרים מסוימים ותחת הנחות מוצהרות, כפי שיידון להלן.

ההבחנה מהותית לענייננו. מי שמציב אחוזון בפעולת הניכוי מבצע חישוב שתוקפו תלוי בהנחה, ועליו לבססה. מבחינה מקצועית, מי שמציג את התוצאה הוא שנדרש להציג את הטעם להנחה ואת הנתונים המאפשרים לבחון את תקפותה.

עדות מן הפרקטיקה: כיצד נמסרים נתוני רעש

היעדר תכונת החיבוריות ניכר, לדוגמה, כאשר בוחנים ארבעה מקורות רעש שנדרשים לצרפם: אם עבור שלושה נמסר נתון L_{Aeq} ועבור הרביעי נמסר L_{A50} , לא ניתן להשלים את החישוב.

מקרה כזה אינו מתקבל בדרך התקנית שבה נמסרים נתוני פליטה של מקורות רעש. במפרטים טכניים נמסר הנתון כמפלס לחץ קול L_p במרחק מוגדר או כמפלס הספק אקוסטי L_w , ולא כאחוזון כגון L_{A50} . הסיבה אינה מוסכמה לשונית בלבד, אלא נובעת מן הגודל הדרוש לחיזוי: גודל אנרגטי שממנו ניתן לחשב מפלס בנקודת קבלה, לצרפו לתרומות של מקורות אחרים ולהעריך את השפעתו במעטפת. אחוזון לבדו אינו מאפשר פעולות אלה.

הדבר נכון גם במקרה של מדידות שטח: קלט לניכוי אנרגטי נדרש לייצג מפלס שווה-ערך או גודל אנרגטי שקול. אחוזונים מדווחים לצד המפלס שווה הערך לאפיון הסביבה, ולעתים אף משמשים כמדד הערכה מול סף. המתודולוגיה הבריטית לרעש כבישים היא דוגמה בולטת לחריג מודלי: היא מחשבת מפלס L_{A10} חזוי לכל מקטע כביש ממאפייני התנועה והתנאים הגאומטריים ומצרפת את תרומות המקטעים לפי פרוצדורה שנקבעה בתוך המודל [15]. הצירוף שם אינו פעולה כללית על אחוזונים מדודים; כל אחד מן הערכים הוא תוצר ביניים של אותה מתודולוגיית חיזוי אמפירית, והצירוף הוא חלק אינטגרלי ממנה. תוקף הפעולה נובע ממבנה המודל ומבסיסו האמפירי, בתוך תחום תחולתו, ולא מזהות מטרולוגית המתירה לצרף כל ערכי L_{A10} . כאשר נדרשת המרה ל- L_{Aeq} , היא נעשית באמצעות יחסי המרה אמפיריים ייעודיים, שתנאי תחולתם ואי-הוודאות שלהם

נבחנים בנפרד [7], ולא מכוח האריתמטיקה של האחוזון עצמו. זהו מקרה של מודל או המרה מוצהרים, והוא ההפך מהצבת אחוזון מדוד בנוסחה מכוח זהותו.

ראוי לעמוד על כך שנוסחת הניכוי ונוסחת הצירוף הן פעולה אחת, בסימן הפוך: שתיהן מחזירות את המפלסים לממוצעי ריבוע לחץ, מבצעות עליהם סכימה או ניכוי, ומחזירות את התוצאה לסולם ה-dB. בצד הצירוף אין מציבים אחוזון מדוד כנתון פליטה עצמאי: אין מהנדס שיחבר את L_{A90} של מדחס עם L_{Aeq} של מאוורר כדי לקבל את המפלס המצטבר, ואין תוכנת חיזוי שתקבל אחוזון מדוד כנתון פליטה של מקור. החריגה הנדונה במאמר מופיעה כאשר אחוזון מכונה "רעש רקע" ומוצב בשל כך בנוסחה שבה נדרש רעש הרקע, בלא שנבחן אם הוא מייצג את הגודל שהנוסחה דורשת. אותו תנאי חל בשני צדי הפעולה: אחוזון שאינו כשיר לצירוף מכוח הגדרתו בלבד אינו נעשה כשיר לניכוי רק משום שניתן לו שם מתאים; לשם כך נדרש כלל אומדן חיזוי ומבוסס.

קביעה זו אינה ייחודית למאמר זה. בהליך רישוי סטטוטורי במדינת ניו יורק דחה הרגולטור קביעת רעש רקע שנעשתה במיצוע אריתמטי של ערכי L_{90} יומיים, בנימוק שממוצע כזה דומה לחציון של דגימות ה- L_{90} ואינו ה- L_{90} של התקופה הנדרשת, ודרש עיבוד מחדש של הנתונים הגולמיים [8]. יצוין כי המסגרת הרגולטורית שם מגדירה את רעש הרקע כ- L_{90} לצורך השוואה מול מפלסי הפרויקט, בתפקיד זהה לזה שבנוסח הנוכחי של BS 4142, ולא לצורך ניכוי; ההליך מדגים אפוא שני דברים, שאחוזונים אינם ניתנים למיצוע, ושהאחוזון משמש להשוואה בלבד.

הדבר ניכר בדוגמה מרחבית. במפעל נמדד הרעש במשך שעה בכל אחד משני אזורים. באזור הראשון התקבלו $L_{Aeq,1h} = 70\text{dB}$, $L_{A10} = 74\text{dB}$, $L_{A50} = 69\text{dB}$ ו- $L_{A90} = 64\text{dB}$; באזור השני התקבלו $L_{Aeq,1h} = 62\text{dB}$, $L_{A10} = 66\text{dB}$, $L_{A50} = 61\text{dB}$ ו- $L_{A90} = 56\text{dB}$. משני המפלסים שווי הערך ניתן לחשב גודל מוגדר: ממוצע אנרגטי בעל משקל שווה של שתי נקודות המדידה, 67.6dB . אין זה "מפלס המפעל" אלא גודל מצרפי מוגדר, שמשמעותו תלויה בשיטת הדגימה ובמשקל שניתן לכל נקודה. משלושת זוגות האחוזונים לא ניתן לחשב אחוזון מקביל של שתי המדידות המאוחדות. הממוצע האריתמטי של שני ערכי ה- L_{A90} , 60dB , אינו ה- L_{A90} של המפעל, אינו ה- L_{A90} של אף אחד מן האזורים, ואינו אחוזון של שום מדגם; כך גם 65dB ו- 70dB ממוצעי ה- L_{A50} וה- L_{A10} . האחוזונים של מדגם מאוחד נקבעים על ידי צורתן המלאה של שתי ההתפלגויות, משקלן היחסי ומידת החפיפה ביניהן, וניתן לחשבם רק מן הנתונים הגולמיים או מהתפלגות משולבת מספקת. האחוזונים של כל אזור מתארים אותו אזור בלבד; מפלסים שוויערך, לעומתם, ניתנים לצירוף אנרגטי כאשר מוגדרים ההקשר והמשקלים.

אותה תכונה היא שמכריעה גם בתחום שבו סטטיסטיקה של חשיפה הייתה נראית כמדד הטבעי ביותר, החשיפה התעסוקתית לרעש. מפלס החשיפה היומית, $L_{EX,8h}$, הוא מפלס שווה ערך מנורמל לשמונה שעות, מנת הרעש היא יחס של אנרגיות, והקריטריון לרעש התקפי הוא מפלס השיא הרגעי L_{Cpeak} ; אף אחוזון אינו משמש בקביעת החשיפה, לא בתקינה הבינלאומית [20] ולא בתקנות הבטיחות בעבודה. גם שם, במקום שבו הפעולה האריתמטית מכריעה בשאלת בריאותו של אדם, הגודל היחיד שהותר לצרף הוא הגודל האנרגטי.

החציון והמפלס שווה הערך

שאלה פשוטה הממחישה זאת: אם $L_{Aeq,T}$ הוא הממוצע האנרגטי של המדידה על פני פרק הזמן T , מדוע לא מדווחים את ממוצע המדידה כ- $L_{A50,T}$, שהוא החציון? התשובה זהה: החציון ומפלס שווה הערך אינם מודדים את אותו הדבר.

החציון הוא הערך שמחצית הדגימות מעליו ומחציתן מתחתיו, והוא אינו רגיש כלל לגודלן של הדגימות הרחוקות ממנו. המפלס שווה הערך נקבע על ידי סכום האנרגיה של כל הדגימות, ולפיכך אירוע קצר ורועש משפיע עליו במידה ניכרת ואינו משפיע על החציון כמעט כלל. בסביבה שבה מתקיימים אירועים בודדים ובולטים, ההפרש בין השניים עשוי לעלות על 10dB, ובהתפלגות שאינה סימטרית הוא עשוי גם להתהפך, כפי שיידון להלן בסעיף העוסק בהתפלגות הגאוסית.

הדבר מקבל משמעות מעשית כאשר האירועים הבולטים שייכים לרקע ולא למקור. נניח מדידה בדירה הסמוכה לאולם אירועים בעיר גדולה, על ציר המוביל לבית חולים. מדובר בתדירות גבוהה מאוד: בישראל הוזנקו צוותי מגן דוד אדום 1,383,026 פעמים בשנת 2025, כלומר הזנקה בכל 22.8 שניות בממוצע [2]; בניו יורק מגיב שירות החירום הרפואי לכ-4,400 אירועים ביום [13]; ובברצלונה, שבה נמדד הנתון הרלוונטי ישירות, שירות החירום הרפואי מבצע כ-400 נסיעות ביום בהפעלת סירנה, שעוצמתה הנדרשת בתקנות העיר היא 78 עד 103dBA במרחק 3 מטר [9]. נתונים אלה אינם מלמדים על מספר הסירנות בנקודת מדידה נתונה; הם מובאים כדי להראות שמדובר במקור רעש שכיח ומזוהה, שכל קורא מכיר ויודע לייחס לו את מידת ההפרעה, ושהוא בהגדרתו רעש רקע ולא מקור נבדק. הסירנות אינן חלק ממקור הרעש הנבדק; הן רעש רקע לכל דבר, לפי הגדרת תקנה 1. בתרחיש המתואר, כל עוד משכן המצטבר קטן מן השיעור הקובע את L_{A90} , מפלסן הגבוה לא יקבע את ערכו, אף שהוא עשוי להשפיע על L_{A10} או על L_{A5} . במפלס שווה הערך, לעומת זאת, הן נספרות במלואן, ובשל האופי האנרגטי של המיצוע הן מושכות אותו כלפי מעלה יותר מכל פרק שקט. מי שמנכה את L_{A90} מן ה- L_{Aeq} במצב זה שוגה פעמיים ובאותו כיוון: המפלס המצטבר הוגבה על ידי רקע שלא נוכה, ורעש הרקע שנוכה נקבע בלא אותם אירועים שהגביהו את המצטבר. אירועי הרקע החזקים ביותר, שהם דווקא אלה שמשפיעים ביותר על התוצאה, הוצאו מן האומדן האחוזוני של הרקע והוכנסו במלואם לתרומת המקור המחושבת.

יש להבחין כאן בין שתי מסגרות. בתקן הבריטי, מפלס רעש הרקע הוא מתאר סטטיסטי של הרעש השיורי, ולכן L_{A90} אינו משקף בדרך כלל אירועים חולפים או אירועים בעלי מפלס גבוה. אירועים אלה אינם מוצאים מן הרעש השיורי עצמו: הם נכללים במפלס הרעש השיורי $L_{Aeq,T}$, שבאמצעותו מבוצע התיקון, אך אינם שולטים במדד L_{A90} , המשמש להשוואה. בתקנות 1990, לעומת זאת, רעש הרקע הוא סך כל הרעשים הנשמעים במקום המדידה, למעט הרעש שמקורו במקור הנבדק, ואין בהן הוראה להוציא ממנו אירועי רעש אחרים. הסירנות הן אפוא חלק מלא מרעש הרקע כהגדרתו בישראל. תשובה שניתנה בסמינר של מכון התקנים הבריטי, המצוטטת בדוח NPL, מסבירה כי רעש זר אינו חלק מן הרעש הספציפי, כי הוא עשוי להיכלל במדידת רעש הרקע כאשר הוא מתקיים בחלק ניכר מן הזמן, וכי רעש זר זה הוא היוצר את ההפרש בין L_{Aeq} ל- L_{A90} במדידת הרקע [24].

זו תכונה מובנית של השיטה ולא מקרה גבול: בחירה ב- L_{A90} כרעש הרקע משמעה, בהגדרה, אי-שקלול עוצמתן האנרגטית של תשעים אחוזים מדגימות הרקע, ובהן כל הדגימות הרועשות ביותר שבו. ככל שמשך המדידה

ארוך יותר, כפי שתקנה 5(א)(4) ותנאי התחולה שנדונו לעיל מחייבים במקורות מקוטעים או משתנים, כן גדל הסיכוי שייכללו בו אירועי רקע חזקים שמדידה קצרה הייתה מחמיצה, והם נצברים במפלס שווה הערך ונשמטים מן האחוזון; הסטייה עשויה אז להגיע לסדר גודל של דציבלים רבים.

הבדל זה אינו איכותי בלבד וניתן לכימות. כפי שידון להלן, נוסחת ההמרה שבנספח I ל-ISO 1996 חלק 2 קובעת שהמפלס שווה הערך של התפלגות נורמלית גדול מן החציון שלה בשיעור הפרופורציוני לריבוע סטיית התקן. התקן עצמו מכמת אפוא את הפער בין שני הגדלים, ובכך מאשש שאינם ניתנים להחלפה.

מכאן שאין מדובר בשני קירובים לאותו גודל, שביניהם ניתן לבחור לפי נוחות, אלא בשני גדלים המתארים תכונות שונות של אותו אות. פעולה אריתמטית ישירה ביניהם אינה מייצגת הפרדה פיזיקלית בלא כלל אומדן נוסף, וזאת בין אם היא מבוצעת בין L_{Aeq} לבין L_{A90} , בין L_{Aeq} לבין L_{A50} או בכל צירוף אחר של מפלס שווה-ערך ואחוזון.

הבחנה מקבילה בתקינה האמריקאית והגרמנית

מסמך ההנחיות של מנהל הכבישים הפדרלי האמריקאי בדבר מתארי מפלס קול קובע את ההבחנה במפורש: אין לבלבל בין L_{EQ} לבין L_{50} , שכן L_{EQ} הוא מדד של אנרגיית קול ואינו מדד סטטיסטי [17]. המסמך מגדיר את L_{90} כמתאר סטטיסטי של המפלס הנחצה בתשעים אחוזים מזמן המדידה, ומציין כי הוא נחשב כמייצג את רעש הרקע בהיעדר המקור הנבחן.

המסמך מוסיף כי כאשר פליטת הרעש של המקור הנבחן קבועה, כגון מאוורר, מזגן או משאבת בריכה, ומפלס הרעש הסביבתי משתנה, המתאר L_{90} עשוי לתאר במידה מספקת את מקור הרעש עצמו [17]. הערה זו מתארת את המצב שנדון לעיל בסעיף העוסק במקור יציב ורציף.

יש לדייק במה שהמסמך אומר ובמה שאינו אומר, שכן ניסוחו עלול להיקרא כהיתר. המסמך מציג את L_{90} כמתאר סטטיסטי הנחשב כמייצג את רעש הרקע, ולא כמפלס רעש הרקע עצמו. הוא אינו מורה להציבו בפעולת חישוב כלשהי, אינו מציג נוסחת ניכוי הכוללת אותו, ואינו מתיר את שילובו בחישובי צירוף או בהערכת תרומת מקור. נהפוך הוא: הבחנתו המפורשת בין מדד אנרגטי לבין מדד סטטיסטי מובאת דווקא כאזהרה מפני ערבוב בין השניים.

מכאן שהמסמך מציב את L_{90} באותו תפקיד שבו מציב אותו הנוסח הנוכחי של BS 4142, כפי שנדון בחלק הרקע: מתאר להשוואה ולאפיון הסביבה, ולא גודל ברניכוי מכוח הגדרתו. שני המסמכים, האמריקאי והבריטי, מגיעים לאותה עמדה בדרכים שונות ובלא תלות זה בזה.

המסגרת הגרמנית מוסיפה ראייה מכיוון שלישי. גרמניה היא אחת המדינות הבודדות שהסדירו בתקן את אופן חישוב האחוזונים במד הרעש: התקן DIN 45657 קובע דרישות להיווצרות התפלגות תדירות המפלסים ומפלסי החריגה, בדיוק משום שסדרת IEC 61672 אינה קובעת זאת [16]. ואולם, המסגרת הגרמנית להערכת רעש תעשייתי, ההנחיה הטכנית TA Lärm [25] אינה עושה באחוזונים שימוש כלשהו בקביעת מפלס הדירוג. מפלס הדירוג נגזר ממפלס המיצוע האנרגטי בתוספת תיקונים לטון ולאיימפולסיביות, ואת הרעש התנודתי והאיימפולסיבי היא מטפלת לא במדד סטטיסטי אלא במיצוע אנרגטי של המקסימומים בחלונות של חמש שניות, L_{AFTeq} ; רעש שאינו מן המקור הנבדק נקבע במדידה בעת שהמקור מושבת או בתיקון אנרגטי, ולא באחוזון של הרעש הכולל. המדינה שהקדישה תקן לאופן חילוף האחוזון היא גם המדינה שאינה מציבה אותו

בשום שלב של ההערכה: התקן הגרמני מכיר באחוזון כמתאר של ההתפלגות, ומטפל במבנה הזמני של הרעש בתוך המסגרת האנרגטית, כפי שעושה תקנה 3(ב) בישראל.

לקורא הישראלי נודעת לכך משמעות ישירה. ארבע מסגרות מקצועיות נפרדות עוסקות ביחס שבין האחוזון לרעש הרקע: תקנות 1990, שאינן מזכירות אחוזונים כלל ומונות בתקנה 3(א), לקריאת המחבר, מניין ממצה של מפלסי רעש שווייט; התקן הבריטי BS 4142, שכלל בגרסת 1990 מנגנון תיקון המבוסס על L_{A90} ואשר תוקן בגרסת 1997; המסמך האמריקאי, המבחין בין מדד אנרגטי לסטטיסטי ומייעד לאחוזון תפקיד של השוואה; והמסגרת הגרמנית, המסדירה את חישוב האחוזון במכשיר ואינה מציבה אותו בהערכה. בנוסחיהן החלים כיום, אף אחת מהן אינה מקנה לאחוזון מדוד של הרעש הכולל, מכוח הגדרתו בלבד, מעמד של רעש שיורי הניתן לניכוי ממפלס שווייט.

הנוהג הרווח בישראל אינו נשען אפוא על מסגרת מקצועית המתירה ניכוי בלתי מותנה של אחוזון מכוח שמו בלבד. הוא נשען על הרגל, ועל קריאה של מקורות המציגים את האחוזון כמתאר של הרקע כאילו הציגוהו בהכרח כגודל ברחישוב. ההבחנה בין השניים היא לב העניין: מתאר משמש להשוואה, ואילו שימוש בו כקלט לניכוי דורש כלל אומדן נוסף. נספח I ל-ISO 1996 חלק 2, הנדון להלן, מספק כללים כאלה בתנאים מוגדרים; הוא אינו מכשיר את הנוהג מחוץ לתנאיהם. השאלה אינה אם מותר לדווח אחוזון, שכן דיווחו רצוי ואף נדרש, אלא מכוח איזו הנחה ובאילו תנאים ניתן להציבו במקום שבו נדרש אומדן של מפלס רעש שווייט.

התכנסות שני מסלולי הביסוס

לטענה הנדונה בסעיף זה שני ביסוסים בלתי תלויים. הראשון פיזיקלי ומטרולוגי, ונגזר מכך שהאחוזון אינו ממוצע ריבוע לחץ ואינו נושא תכונות חיבוריות. השני מבוסס פרקטיקה, ונגזר מכך שגוף תקינה לאומי קבע מנגנון תיקון שבו L_{A90} שימש לקביעת התיקון בגין הרעש השיורי [10], מחברת דוח NPL זיהתה בתוך חמש שנים פגם בנוסח ההוראה ובאופן יישומה [24], והתקן תוקן במהדורה שבה הוכנס לראשונה מונח למפלס הרעש השיורי [11], ומכך שהתקן הנוכחי קובע את הרעש השיורי ואת מפלס רעש הרקע כשני גדלים נפרדים ומייעד לכל אחד תפקיד אחר [12]. אף אחד משני המסלולים אינו נשען על האחר.

כיצד ומתי מותר להיעזר באחוזונים

הסעיפים הקודמים קבעו כי האחוזון אינו מפלס רעש כהגדרתו בתקנות, אינו נושא ממד משך ואינו כשיר מכוח הגדרתו בלבד לשמש כאיבר בפעולה אריתמטית מול מפלס שווייט. מכאן עולה שאלה מתבקשות: אם כך, מדוע מתיר ISO 1996 חלק 2 בגרסתו העדכנית להיעזר באחוזונים בקביעת הרעש השיורי?

התשובה היא שהתקן מתיר זאת בתנאים מוגדרים וקושר את רמת הביסוס הנדרשת לרגישות התוצאה לאומדן. כאשר רגישות התוצאה נמוכה עשוי להספיק אומדן גס; ככל שהתיקון מהותי יותר, גוברת החובה לבסס את האומדן ולכמת את אי-הוודאות. בחינת ההיתר שהוא נותן, ובעיקר של גבולותיו, מחזקת את המסקנות שקדמו לה במקום לסתור אותן. סעיף זה בוחן את נספח I לתקן, את תנאי התחולה של כל אחת מן הדרכים שבו, את הפרוצדורה שהוא מתווה ואת מעמדה של התוצאה המתקבלת ממנה.

מעמדו של נספח I

נספח I הוא נספח אינפורמטיבי ולא נורמטיבי, וכותרתו "Measurement of residual sound". הוא נפתח בקביעה המגדירה את מעמדן של כל השיטות שבו:

"Residual sound is often difficult to measure directly and the only possibility to determine it is to make approximate estimates. Some methods are outlined in the following clauses. In each case, the measurement uncertainty shall be measured or estimated."

התקן עצמו מכנה אפוא את השיטות שבנספח אומדנים מקורבים, ולא מדידה. המשפט בדבר איהוודאות מנוסח בנספח בלשון shall. מאחר שהנספח אינפורמטיבי, אין לייחס לו לבדו מעמד של הוראה נורמטיבית; החובה לאמוד ולדווח את איהוודאות נשענת גם על סעיפים 9.3.3 ו-13 שבגוף התקן, כמפורט להלן. מכאן שמי שנעזר בדרך מן הנספח אינו יכול לנתק את האומדן מתקציב איהוודאות ומדיווחו.

הסעיף מוסיף דרישה שאינה נוגעת לרעש הסביבתי אלא למכשור: על רעש הרקע של מערכת המדידה עצמה להיות נמוך דיו, ורצוי ב-5dB לפחות מן הרעש הנמדד. יצוין כי המונח "background noise" משמש כאן במשמעות שלישית, נפרדת מן הרעש השירי והן ממפלס רעש הרקע שב-BS 4142.

מיקומו של הנספח במערך התקן נקבע בסעיף 9.3.3, שלפיו כדי לבצע תיקונים לפי סעיף 10.4 ולקבוע את איהוודאות נדרש למדוד את הרעש השירי ולקבוע את סטיית התקן שלו. הערה שבאותו סעיף מפנה לנספח I כמקור ההנחיה כיצד לעשות זאת.

שלוש הדרכים

נספח I מציג שלוש דרכים לקביעת הרעש השירי. שתיים מהן נעזרות באחוזונים, וכל אחת כפופה לתנאי התחולה ולהנחות המיוחדים לה.

הדרך הראשונה, בסעיף I.2.1, נשענת על מדידה ישירה של אחוזון גבוה. ההנחיה מתייחסת ל- L_{A95} ולא ל- L_{A90} , והיא מותנית בכך שמקור הרעש הנבדק אינו תורם באופן משמעותי במשך חמישה אחוזים או יותר מזמן המדידה. בהתקיים תנאי זה, ורק בהתקיימו, מורה הנספח למדוד את המפלס הנחצה במשך תשעים וחמישה אחוזים מן הזמן, ולהניח שערך זה מייצג את מפלס הרעש השירי. סעיף 13(d) מאשש את בחירת הערך, בקבעו בהערה כי הערך האופייני לאומדן הרעש השירי הוא $N = 95\%$.

יצוין כי בדרך זו אין המרה: התקן מורה להניח שהאחוזון מייצג את הרעש השירי, ולא להמירו לגודל אחר. משמעותו של תנאי חמשת האחוזים היא שבהתקיימו הדגימות שמתחת ל- L_{A95} עשויות לנבוע מפרקי זמן שבהם מקור הרעש הנבדק אינו נוכח. האחוזון אינו מזהה פרקי זמן אלה, שכן המיון מחק את ציר הזמן; הוא מספק אומדן הנשען על הזנב התחתון של ההתפלגות, בהנחה, שעל מבצע המדידה להוכיחה, שהזנב הזה הוא הרקע.

סעיף I.2.1 אינו קובע את פער 15dB כתנאי תחולה נוסף. עם זאת, אין לקרוא אותו במנותק מיתר הוראות התקן: סעיף I.3 קושר את מהימנות האומדן לרגישות התיקון, ונספח C מזהה את תחום 15dB כתחום שבו תרומת הרעש השירי לתוצאה זניחה. הוראות אלה יוצרות מדרג מקצועי ברור, שבו ניתן להסתפק באומדן גם כאשר רגישות התוצאה נמוכה; ככל שהתיקון מהותי יותר, גדלים מקדם הרגישות, דרגת הביסוס הנדרשת

והשפעתה של איהוודאות על התוצאה. אין מדובר בתנאי תחולה טקסטואלי נוסף, אלא במגבלת מהימנות מקצועית הנגזרת ממבנה התקן. סעיף C.1 קובע כי בבחינת התאמתו של אתר מדידה יש לבחון את היחס בין הרעש השירורי לבין מפלסי הרעש שיימדדו, וכי כאשר ההפרש עולה על 15dB, השפעתו של הרעש השירורי זניחה. סעיף C.3 מוסיף את הכיוון המעשי, ולפיו יש להתקין מכשור רק באתרים שבהם מפלסי הרעש המרביים של האירועים הנבחנים גבוהים ב-15dB לפחות מן הרעש השירורי הממוצע.

בתחום זה נותרת חובת התיקון שבסעיף 10.4 על כנה, אך ערכה חסר נפקות: בהפרש של 15dB התיקון עומד על 0.14dB, ובהפרש של 20dB על 0.04dB. ערכים אלה נמצאים בתוך שגיאת העיגול של הדיווח, ולפיכך אין נפקות מעשית לשאלה כיצד נקבע הרעש השירורי: כל ערך סביר יניב את אותה תוצאה. בהתאם לכך קובע סעיף I.3 כי כאשר המרווח גדול, מקדם הרגישות קטן, ולפיכך עשוי להספיק אומדן גס בלבד.

האומדן האחוזוני שבסעיף I.2.1 הוא אומדן של מפלס הרעש השירורי, והוא עשוי לשמש הן בדיווח ובתקציב איהוודאות והן כקלט לתיקון שבסעיף 10.4. פער 15dB אינו תנאי לשימוש בו. חשיבותו בכך שהוא קובע את רגישות התוצאה: כאשר המרווח גדול, גם שגיאה באומדן הרעש השירורי משפיעה מעט על מפלס המקור; ככל שהמרווח קטן, גוברת השפעתה ונדרש ביסוס מחמיר יותר של ההנחה ושל איהוודאות.

הדרך השנייה, בסעיף I.2.2, אינה מזהה את האחוזון עם הרעש השירורי אלא ממירה אחוזונים לאומדן של מפלס שווה ערך. הנוסחאות מנוסחות כתקפות למקרה שבו הרעש השירורי ניתן לתיאור בהתפלגות גאוסית, המובילה להתפלגות דו-שיאית של הרעש הכולל. בהתקיים מצב זה ניתן לאמוד את המפלס שווה הערך של הרעש השירורי לפי נוסחאות (I.1) ו-(I.2):

$$L_{eq,Gauss} = L_{50} + 0.115 \left(\frac{L_{50} - L_{90}}{1.28} \right)^2 \quad (I.1)$$

$$L_{eq,Gauss} = L_{50} + 0.115 \left(\frac{L_{50} - L_{95}}{1.65} \right)^2 \quad (I.2)$$

התקן כותב את הנוסחאות בסימון כללי; במאמר זה הן מיושמות על מפלסים משוקללי A, ולכן בגוף הטקסט הסימון הוא $L_{A50}, L_{A90}, L_{A95}$.

התקן מציין כי הנוסחאות נלקחו מן התקן הצרפתי NF S 31 – 010 [22].

בדרך זו הפלט אינו אחוזון המזהה ישירות עם הרעש השירורי אלא אומדן של מפלס שווה-הערך שלו, המתקבל באמצעות מודל התפלגותי. אף הוא עשוי לשמש כקלט לתיקון שבסעיף 10.4. מבנה הנוסחאות ומשמעותו נדונים להלן.

הדרך השלישית היא חישוב הרעש השירורי בשיטות חיזוי מהימנות, כאשר מקורו בתנועה או במקורות אחרים הניתנים לחישוב, והנחה שהתוצאה מייצגת את הרעש השירורי. אף בדרך זו הגודל המתקבל הוא מפלס שווה ערך, שכן שיטות החיזוי מחשבות גודל אנרגטי.

סיכום שלוש הדרכים

מבין השלוש, הדרך הראשונה מאמצת את ערך האחוזון עצמו כאומדן למפלס הרעש השירורי. שתי האחרות מניבות אומדן של מפלס שווה-ערך, בין אם בהמרה מנוסחה ובין אם בחישוב.

הדרך הראשונה כפופה לתנאי הכתוב שלפיו המקור אינו תורם באופן משמעותי במשך חמישה אחוזים לפחות מזמן המדידה, והיא קובעת את L_{A95} כסטטיסטיקה שיש למדוד. לצדם חלה דרישת המהימנות הנגזרת מסעיף I.3 ומנספח C: יש לבחון כיצד איהודאות באומדן הרעש השיורי משפיעה על התוצאה לאחר התיקון. אין זו דרישת תחולה שלישית ואין היא מגבילה את הסעיף לפער העולה על 15dB; היא קובעת את רמת הביסוס הנדרשת ואת משקלו המקצועי של האומדן. בתחום שבו הרגישות נמוכה עשוי להספיק אומדן גס, וככל שהתיקון מהותי יותר נדרשים ביסוס וכימות קפדניים יותר.

מבנה הנוסחאות ומשמעותו

מבנה הנוסחאות שבסעיף I.2.2 מלמד על מעמדם של האחוזונים בתוכן. הפלט אינו אחוזון אלא מפלס שווה ערך. עצם קיומה של נוסחת המרה מעיד כי האחוזון והמפלס שווה הערך אינם אותו גודל, וכי המעבר מן האחד אל האחר מחייב פעולה מוגדרת הנשענת על הנחה בדבר צורת ההתפלגות.

האחוזונים אינם משמשים כמפלס הרעש השיורי באף שלב בדרך זו. הבסיס לחישוב הוא החציון L_{A50} , ואילו ההפרשים $L_{A50} - L_{A90}$ ו- $L_{A50} - L_{A95}$ משמשים לאמידת סטיית התקן בלבד. שתי הנוסחאות מתלכדות אפוא לצורה אחת:

$$L_{Aeq,Gauss} = L_{A50} + 0.115\sigma^2, \quad \sigma = \frac{L_{A50} - L_{A90}}{1.28} = \frac{L_{A50} - L_{A95}}{1.65}$$

מקורם של המקדמים

המקדמים שבנוסחאות אינם ערכים אמפיריים אלא ערכים מעוגלים של קבועים הנגזרים אנליטית. המקדם 1.28 הוא ציון התקן של האחוזון העשירי בהתפלגות נורמלית. האחוזון L_{A90} הוא המפלס שנחצה בתשעים אחוזים מן הזמן, כלומר האחוזון העשירי מלמטה, והוא מצוי 1.28 סטיות תקן מתחת לחציון. חלוקת ההפרש $L_{A50} - L_{A90}$ במקדם זה מחזירה אפוא את סטיית התקן. באותו אופן, L_{A95} מצוי 1.65 סטיות תקן מתחת לחציון.

המקדם 0.115 אינו מקדם אמפירי. זהו הערך ההנדסי, בדיוק שבו נוקט התקן, של $\ln(10)/20$, הנגזר מן המעבר בין הסולם הלוגריתמי לסולם הטבעי. ההפרש מן הערך המתמטי המלא זניח ביחס לרזולוציית החישוב והדיווח האקוסטית, בדומה לשימוש המקובל ב-0.161 כקבוע חישובי מעוגל בנוסחת סבין. התקן עצמו מציג את הקשר הזה בנספח H, נוסחה (H.1): בהתפלגות גאוסית של מפלסים ההפרש בין הממוצע האנרגטי לממוצע האריתמטי הוא $L_{em} - \bar{L} = 0.05 \ln(10)s^2$ (בסימון התקן, שבו הפסיק משמש סימן עשירי והסימן s מציין את סטיית התקן, המסומנת במאמר זה σ), המוצג בדיוק החישובי שבו נוקט התקן כ- $0.115\sigma^2$; ואותו נספח מוסיף כי אם יש ספק, מומלץ לבדוק אם ההתפלגות בפועל גאוסית [19].⁸

⁸ המקור באנגלית, ISO 1996-2:2017, נספח H, סעיף H.2: "For a Gaussian distribution with the standard deviation, s, the relationship between energy mean value L_{em} and arithmetic mean value L is given by Formula (H.1): $L_{em} - L = 0.05 \ln(10) \cdot s^2$ dB. [...] If in doubt, it is recommendable to check if the actual distribution is Gaussian."

מדוע הממוצע האנרגטי גבוה מן החציון בהתפלגות גאוסית

מקורו של המקדם השני נעוץ בכך שה-dB הוא סולם לוגריתמי, בעוד שהמיוצע נעשה על האנרגיה. בהתפלגות סימטרית, מספר הדגימות מעל החציון שווה למספרן מתחתיו. אך תרומתן לאנרגיה אינה סימטרית: דגימה הגבוהה ב-10dB מן החציון נושאת פי עשרה אנרגיה, ואילו דגימה הנמוכה ב-10dB נושאת עשירית ממנה. הראשונה מוסיפה תשעה חלקים, השנייה גורעת תשע עשיריות של חלק. הצירוף אינו מתאזן, והממוצע האנרגטי מוסט כלפי מעלה.

מכאן שבהתפלגות סימטרית של מפלסים, ובפרט בהתפלגות הגאוסית שסעיף 1.2.2 מניח, הממוצע האנרגטי גדול מן החציון בכל מקרה שבו יש פיזור, והפער תלוי בפיזור בלבד ולא בגובה המפלסים. בהתפלגות שאינה סימטרית הקביעה אינה כללית: מקור רציף עם הפסקות קצרות ושקטות מייצר חציון הגבוה מן הממוצע האנרגטי, וזהו המצב הנדון לעיל בסעיף העוסק במקור יציב ורציף.

התלות הריבועית

האיבר $0.115\sigma^2$ הוא תוספת האנרגיה הנובעת מפיזור ההתפלגות, והוא גדל בריבוע סטיית התקן. הכפלת רוחב ההתפלגות אינה מכפילה את התוספת אלא מגדילה אותה פי ארבעה.

מכאן ששני נתונים בלבד קובעים את התוצאה: החציון, המשמש כבסיס, וההפרש בינו לבין האחוזון הגבוה, הקובע את התוספת. גובהם המוחלט של האחוזונים אינו משפיע על התוספת כלל.

מדידה שבה $L_{A50} = 45\text{dBA}$ ו- $L_{A90} = 39\text{dBA}$ ומדידה שבה $L_{A50} = 70\text{dBA}$ ו- $L_{A90} = 64\text{dBA}$ מניבות אותה תוספת בדיוק, שכן ההפרש בשתייהן זהה.

התוצאה מסומנת בתקן כאומדן. הסימון $L_{Aeq,Gauss}$ נושא את שם ההנחה שביסודו.

המסקנה העיקרית העולה מן הנוסחה

הנוסחה קובעת, בתחום תחולתו של המודל הגאואסי, שאומדן המפלס שווה הערך של הרעש השיווי גבוה מן החציון של ההתפלגות הגאוסית, ושמידת ההפרש נקבעת על ידי פיזור.

מכאן נגזרת מסקנה החלה במישרין על הנוהג הנדון במאמר זה, ככל שהנחת המודל מתקיימת. אם אומדן הרעש השיווי גבוה מ- L_{A50} , הוא גבוה בהכרח גם מ- L_{A90} , הנמוך מן החציון מלכתחילה. מי שמנכה L_{A90} כרעש שיווי מנכה אפוא ערך הנמוך מן האומדן המודלי בשני מרכיבים מצטברים: המרחק שבין L_{A90} לחציון, ותוספת האנרגיה שמעל החציון.

בהתפלגות שבה ההפרש בין L_{A50} ל- L_{A90} עומד על 6dB, סטיית התקן היא 4.7dB, התוספת האנרגטית 2.5dB, והפער הכולל בין L_{A90} לבין הרעש השיווי המחושב עומד על 8.5dB. ניכוי ערך הנמוך ביותר מ-8dB מאומדן מפלס רעש הרקע המתקבל לפי המודל מייחס למקור תרומה גדולה מזו המתקבלת כאשר הניכוי נעשה באמצעות האומדן המודלי. ככל שהנחות המודל מתקיימות והוא מתאר היטב את ההתפלגות, החלוקה המתקבלת באמצעותו מקרבת את החלוקה בפועל בין המקור לרקע טוב יותר מזהו ישיר של האחוזון עם רעש הרקע.

ההפרש הנובע מכך אינו אקראי: בתחום תחולתה של הנוסחה כיוונו קבוע, והוא מביא לתרומת מקור גבוהה יותר מזו המתקבלת באמצעות האומדן המודלי. גודלו נקבע על ידי פיזור ההתפלגות, ולפיכך הוא גדל דווקא בסביבות תנודתיות שבהן ההפרש בין האחוזונים גדול.

גבולות תחולתה של הנוסחה

התלות הריבועית גורמת לכך שהנוסחה נעשית רגישה מאוד כאשר ההפרש בין האחוזונים גדל. בהתפלגות שבה ההפרש בין L_{A50} ל- L_{A90} קטן, התוספת האנרגטית מתונה. בהפרש של 10dB התוספת מגיעה ל-7dB; בהפרש של 15dB, לכ-16dB; ובהפרש של 18dB, ליותר מ-22dB. תוצאות גדולות אלה אינן מוכיחות שגיאה בנוסחה או את כישלון ההנחה הגאוסית, אך הן מחייבות בדיקה מחמירה של התאמת המודל לנתונים ושל סבירות התוצאה בהקשר הפיזיקלי המסוים.

התפלגות נורמלית שסטיית התקן שלה 14dB משמעה שטווח של שלוש סטיות תקן משתרע עד 42dB מעל החציון. נתון כזה עשוי לעורר ספק מקצועי אם הוא מתיישב עם הסביבה הנמדדת, אך אין בו לבדו כדי להוכיח שההתפלגות מורכבת מכמה משטרים או לדחות את ההנחה הגאוסית. ההכרעה צריכה להישען על צורת ההתפלגות המלאה ועל בדיקות התאמה וסבירות, ולא על שני אחוזונים בלבד.

בדיקת סבירות חזקה נובעת מן החלוקה הפיזיקלית עצמה: במסגרת ההנחה המקובלת של מקורות בלתי מתואמים, אומדן מפלס הרעש השיורי אינו יכול לעלות על מפלס הרעש הכולל שנמדד באותו מיקום ובאותו פרק זמן. אם הפעלת הנוסחה מניבה תוצאה כזו, ברור שלפחות אחת מהנחות המודל, זיהוי ההתפלגות או התאמת פרקי הזמן אינה מתקיימת. גם כאשר האומדן נמוך מן המפלס הכולל, הפרש גדול בין L_{A50} ל- L_{A90} הוא אות אזהרה המחייב להציג את ההתפלגות ולבסס את ההנחה הגאוסית, ולא להניחה מעצם האפשרות להציב מספרים בנוסחה.

היחס בין שתי הדרכים שבנספח

לכאורה עומדות שתי הדרכים בסתירה. סעיף 1.2.1 מורה, בתנאי התחולה שלו, להניח ש- L_{A95} מייצג את מפלס הרעש השיורי, ואילו מן הנוסחה שבסעיף 1.2.2 עולה שאומדן המפלס שווה הערך של הרכיב הגאואסי גבוה מן החציון וממילא גבוה מ- L_{A95} .

הסתירה מדומה, משום שאין מדובר בשתי זהויות פיזיקליות כלליות אלא בשני אומדנים הנשענים על הנחות שונות.

סעיף 1.2.1 חל כאשר המקור אינו תורם באופן משמעותי במשך חמישה אחוזים לפחות מזמן המדידה. הוא מאמץ את L_{A95} כאומדן ישיר למפלס הרעש השיורי, בלא נוסחת המרה. מהימנותו והשפעת הטעות האפשרית בו תלויות ברגישות התיקון: כאשר המרווח גדול השפעתה קטנה, וכאשר המרווח מצטמצם נדרש ביסוס קפדני יותר של האומדן ושל איהוודאות.

סעיף 1.2.2 נשען על הנחה אחרת: זיהוי רכיב גאואסי מתאים בהתפלגות ושימוש באחוזונים לאמידת ממוצעו האנרגטי. בדרך זו האחוזון אינו מאומץ ישירות כמפלס הרעש השיורי אלא משמש נתון במודל המרה.

ההבדל בין שתי הדרכים הוא אפוא במודל הזיהוי. הראשונה מניחה, בתנאי חמשת האחוזים, שהזנב התחתון מספק אומדן ישיר לרעש השיורי; השנייה אומדת מפלס שווה הערך מתוך צורתה של התפלגות גאוסית. אין

להסיק מעצם קיומן כי אחד משני האומדנים מדויק תמיד מן האחר. יש לבחון בכל מקרה את תנאי התחולה, את התאמת הנתונים ואת איהוודאות.

תנאי התחולה

דו-שיאיות עשויה להתקבל כאשר הרעש השיורי והמקור הנבדק נפרדים זה מזה בהתפלגות, למשל כאשר מצבי הפעולה וההשבתה של המקור יוצרים שני שיאים מובחנים. מקור הפועל ברציפות ובעומס קבוע ותורם באופן משמעותי לאורך כל החלון אינו יוצר בדרך זו מקטע נפרד של רעש שיורי בלבד, ולכן התנאים המאפשרים לזהותו מתוך ההתפלגות הכוללת אינם מתקיימים מעצמם.

התנאי בסעיף 1.2.1 נשלל כאשר המקור רציף ויציב ותורם באופן משמעותי לאורך כל זמן המדידה. עצם העובדה שמקור פועל ברציפות אינה מספיקה אם תרומתו משתנה או נעשית בלתי משמעותית בחלק מן הזמן. שתי הדרכים דורשות אפוא מידע המאפשר לבודד סטטיסטית מצב או רכיב שניתן לייחס לרעש השיורי. מקור מקוטע או משתנה עשוי לספק מצב כזה, אך הסיווג לבדו אינו מוכיח את תנאי התחולה. מנגד, במקור רציף ויציב התורם באופן משמעותי לאורך כל החלון, האחוזון של הרעש הכולל עשוי לתאר את המקור ואת הרקע יחד ולא את הרעש השיורי לבדו, כפי שנדון לעיל בסעיף העוסק בהתכנסות המדדים.

משך מדידת הרעש השיורי

יצוין כי לא בתקנות 1990 ולא ב-ISO 1996 חלק 2 נקבעת הוראה מפורשת בדבר היחס בין משך מדידת הרעש השיורי לבין משך מדידת הרעש הכולל. עם זאת, מן הדרישה שהניכוי ייעשה בין שני מפלסים שווי ערך נגזרת מסקנה מותנית: מדידה קצרה יותר של הרעש השיורי משמשת כאומדן תקף רק בהינתן שהרעש השיורי יציב לאורך התקופה הנבחנת. שאלת יציבותו של הרקע, שנדונה לעיל, היא אפוא תנאי לתקפות האומדן. מסקנה זו היא פרשנות מקצועית הנגזרת מאופיים של הגדלים, ואינה קבועה בתקנות או בתקן.

אי הוודאות כתנאי לתקפות

סעיף 1.1 קובע בלשון shall שבכל אחד מן המקרים תימדד או תוערך איודאות המדידה. במסגרת התקן כולו אין זו בחירה הנתונה לשיקול דעתו של מבצע המדידה: סעיפים 9.3.3 ו-13 מעגנים את הצורך בקביעת אי הוודאות ובדיווחה, ואילו נספח I מפרט את יישומה בשיטות האומדן שבהן הוא עוסק.

סעיף 1.3 מפרט את אופן קביעתה: אומדן סטיית התקן u_{res} ייעשה בחזרה על הפרוצדורה ששימשה לקביעת L_{res} שלוש עד חמש פעמים ובחישוב סטיית התקן של התוצאות. התקן מוסיף כי כאשר המרווח בין המפלס הנמדד לרעש השיורי גדול, מקדם הרגישות קטן, ואז עשוי להספיק אומדן גס בלבד.

מקדם הרגישות נקבע בסעיף F.2. הנוסחה הבסיסית היא (F.6), וממנה נגזרים שני מקדמי הרגישות, (F.7) ו-(F.8):

$$c_{L'} = \frac{1}{1 - 10^{-0.1(L' - L_{res})}} \quad (F.7)$$

$$c_{res} = \frac{-10^{-0.1(L' - L_{res})}}{1 - 10^{-0.1(L' - L_{res})}} \quad (F.8)$$

ואי הוודאות המשולבת לפי נוסחה (F.9):

$$u_L = \sqrt{c_{L'}^2 u_{L'}^2 + c_{res}^2 u_{res}^2} \quad (F.9)$$

ככל שההפרש $L' - L_{res}$ קטן, המכנה שואף לאפס והמקדם גדל ללא גבול. שגיאה נתונה באומדן הרעש השיורי מתורגמת לשגיאה גדולה יותר בתוצאה הסופית דווקא כאשר ההפרש בין המפלס הנמדד לרעש השיורי קטן. הפרש זה אינו המרחק מערך הסף הרגולטורי; כאשר גם התוצאה קרובה לערך הסף, הרגישות הגבוהה מקשה במיוחד על קביעת חריגה או עמידה.

התקן קובע לכך שער מוקדם. סעיף 10.4 קובע כי כאשר מפלס הרעש השיורי קטן ב-3dB או פחות מן המפלס הנמדד, תיקון אינו מותר, ואיודאות המדידה תהיה במקרה זה גדולה. התקן מתיר לדווח את התוצאה כחסם עליון למפלס המקור, ובלבד שיצוין בגוף הדוח, בגרפים ובטבלאות, שדרישות שיטת הבדיקה לא קוימו. בכך נבדל התקן מתקנות 1990, המותירות במצב זה שיקול דעת מקצועי למבצע המדידה.

מצטרפים אפוא שלושה תחומים לפי המרווח בין המפלס הנמדד לרעש השיורי, ולכל אחד מהם מעמד שונה. במרווח העולה על 15dB השפעת הרעש השיורי זניחה, והתקן מתיר אומדן גס. במרווח שבין 3dB ל-15dB התיקון בעל נפקות ומקדם הרגישות גדל ככל שהמרווח קטן. חובת אומדן אי-הוודאות חלה בכל המקרים, אך בתחום זה השפעתה על התוצאה נעשית מהותית יותר. ובמרווח שאינו עולה על 3dB אוסר התקן את התיקון כליל.

מן המדרג שיוצרים סעיף I.3 ונספח C עולה כי מהימנותו המעשית של אומדן הרעש השיורי תלויה ברגישות התוצאה לערכו. סעיף C.3 מנסח את הקריטריון בקבעו כי הדרך המהימנה לקבוע אם מפלס הרעש השיורי קביל היא לאמוד את השפעתו על איודאות המדידה. אין בכך כדי לצמצם את תחולתו הפורמלית של סעיף I.2.1 לתחום שבו התיקון זניח; המשמעות היא שככל שהאומדן משפיע יותר על תוצאת התיקון, כך גוברת החובה לבססו ולכמת את אי-הוודאות הנובעת ממנו.

היקפה של אי-הוודאות הנובעת מן הרעש השיורי נבחן במחקר שנערך בחסות Brüel & Kjær והוצג ב-Forum Acusticum 2005 בשנת 2005 [21]. המחקר מציג פרוצדורה לקביעת אי-הוודאות התואמת את ISO 1996, ומכמת את השפעתו של ההפרש בין הרעש הכולל לרעש השיורי.

כאשר הרעש השיורי נמוך ב-10dB מן הרעש הכולל, ובשימוש במכשור מסוג 1, אי-הוודאות התקנית של מפלס הרעש הספציפי עומדת על 3.3dB ותרומתו התקנית של הרעש השיורי לאי-הוודאות עומדת על 1.3dB. כאשר ההפרש קטן ל-5dB בלבד, ובאותו מכשור, אי-הוודאות התקנית של המפלס הספציפי עולה ל-7.5dB ותרומת הרעש השיורי עולה ל-6.8dB. במכשור מסוג 2, בהפרש של 5dB, הערכים עומדים על 8.7dB ו-7.7dB בהתאמה [21]. אלה ערכי איודאות תקנית; בקירוב המקובל שבו $k = 2$, אי-הוודאות המורחבת כפולה מהם.

המחקר משנת 2005 מציין כי באותה עת קבוצת העבודה של ISO האחראית לפיתוח התקן טרם פיתחה הנחיות ספציפיות לקביעת אי-הוודאות הנובעת מן הרעש השיורי [21]. קביעה היסטורית זו אינה מתארת במלואה את מהדורת 2017, שסעיף I.3 שלה מורה לאמוד את סטיית התקן בחזרה על פרוצדורת קביעת הרעש השיורי שלוש עד חמש פעמים. עם זאת, גם הפרוצדורה הנוכחית אינה פוטרת את מבצע המדידה מזיהוי מקורות אי-הוודאות המיוחדים לשיטת האומדן ומכימות השפעתם על התוצאה.

מנתונים אלה נגזרת מסקנה מעשית. בתחום שבו התוצאה קרובה לערך הסף, אייחודאות עשויה לעלות על המרחק שבין התוצאה לערך הסף. במצב זה, כאשר בידי מבצע המדידה אפשרות לקבוע את הרעש השיורי במדידה ישירה, בחירה בפרוצדורה חלופית המבוססת על אחוזון אינה בחירה בין שתי דרכים שקולות: בשתי הדרכים יש לאמוד את אייחודאות, אך הפרוצדורה החלופית מוסיפה איודאות הנובעת מן המודל, מזיהוי הרכיב ומהתקיימות תנאי התחולה. המדידה הישירה נמנעת משכבת איודאות נוספת זו.

מכאן שעל מבצע המדידה למצות את האפשרויות לקביעת הרעש השיורי במדידה בטרם יפנה לפרוצדורה החלופית. אפשרויות אלה, שנדונו בחלק הרקע, כוללות השתקת המקור, מדידה בשעות שבהן המקור אינו פועל, ומדידה במיקום חלופי שבו הרעש השיורי דומה והמקור אינו נשמע. רק לאחר שנבחנו ונמצאו בלתי ישימות, ולאחר שהדבר תועד, קמה ההצדקה לפנות לפרוצדורה החלופית.

מיקומו של הנהג הרווח ביחס למדרג

הנהג הנדון במאמר זה נעשה בעייתי במיוחד בתחום שבו רגישות התוצאה גבוהה: כאשר תרומת המקור אינה ברורה מאליה, כאשר ההפרש בין המפלס הכולל לרעש השיורי קטן, וכאשר התוצאה קרובה לערך הסף. בתחום שבו ההפרש גדול והתיקון זניח, גם אומדן גס עשוי להספיק; בתחום שבו התיקון מהותי, הצבה בלתי מבוססת של אחוזון עשויה להשפיע במישרין על המסקנה.

לצד זאת, קיום התנאים שקובע הנספח אינו נבחן בדרך כלל ואינו מתועד. השימוש הנפוץ הוא ב- L_{A90} , אף שהנספח מתייחס ל- L_{A95} ; ואף כאשר נעשה שימוש ב- L_{A95} , לא מצוין בדרך כלל אם נבדק תנאי חמשת האחוזים, ואם נבחן המרווח בין המקור לרעש השיורי. אף בדרך השנייה, ההמרה שסעיף 1.2.2 קובע אינה מבוצעת בדרך כלל, והאחוזון מוצג כערך הרעש השיורי עצמו.

מכאן שבמקרים אלה לא ניתן לקבוע מתוך הדוח אם התקיימה אחת מן הדרכים שבנספח, שכן הנתונים הנדרשים לבחינה זו אינם מדווחים.

דרישות הדיווח

סעיף 13 לתקן מונה את המידע שיירשם וידווח, והוא כולל רכיבים החורגים מן הדיווח באחוזונים. הרלוונטיים לענייננו מפורטים להלן.

זיהוי המדידה ותנאיה. מועד המדידה, יומה ומקומה; פירוט המכשור ואופן הכיול; תיאור מפורט של אתר המדידה, ובכלל זה כיסוי הקרקע ומצבה, מיקומי המיקרופון והמקור וגובהם מעל פני הקרקע.

פרקי הזמן. מרווחי הזמן של המדידות. דרישה זו מקבילה למשך המדידה שקובעת תקנה 5(א)(4), ומחייבת לציין את המשך בפועל ולא רק את התוצאה.

תנאי הפעולה של המקור. תיאור תנאי הפעולה, ובכלל זה מספר האירועים או מספר כלי הרכב, הרכבות או המטוסים החולפים, מחולק לקטגוריות מתאימות. נתון זה הוא שמאפשר לבחון את תנאי חמשת האחוזים שבסעיף 1.2.1.

התנאים המטאורולוגיים. תיאור מפורט של תנאי מזג האוויר, ובכלל זה מהירות הרוח וכיוונה, יציבות האטמוספירה, הטמפרטורה, הלחץ הברומטרי, הלחות, נוכחות משקעים ומיקומם של חיישני הרוח והטמפרטורה. דרישה זו מקבילה למושג החלון המטאורולוגי שנדון לעיל בסעיף המעגליות.

המפלסים שנמדדו. המפלסים הנמדדים, ולפי העניין המתוקנים, בשקלול A, ולפי הצורך גם ברצועות תדר. האחוזונים. האחוזון הנמדד לרבות הבסיס שעליו חושב, ובכלל זה קצב הדגימה ויתר הפרמטרים. בכלל "יתר הפרמטרים" נכלל משקל הזמן שנבחר, FAST או SLOW, שכן כפי שנדון לעיל, ערכו של האחוזון תלוי בו, בעוד שהמפלס שווה הערך אינו תלוי בו.

איהוודאות. אומדן של איהוודאות המורחבת, יחד עם הסתברות הכיסוי שנבחרה.

שיטת האקסטרפולציה, אם התוצאה הוסבה לתנאים אחרים מאלה שנמדדו.

אופן דיווח התוצאה עם איהוודאות

התקן דורש אומדן של איהוודאות המורחבת בציון הסתברות הכיסוי, ולא של איהוודאות התקנית בלבד. איהוודאות המורחבת מתקבלת מהכפלת איהוודאות התקנית במקדם כיסוי k . בתנאים המקובלים של התפלגות קרובה לנורמלית ומספר דרגות חופש מספק, $k = 2$ מקביל בקירוב להסתברות כיסוי של 95%.

דיווח מלא של תוצאה יכלול אפוא את הערך, את איהוודאות המורחבת, את מקדם הכיסוי ואת הסתברות הכיסוי. לדוגמה:

מפלס הרעש השיורי: $L_{Aeq,T} = 44.0\text{dB}$, $U = 3.0\text{dB}$ ($k = 2$, הסתברות כיסוי כ-95%)

דיווח המציין ערך יחיד בלא איהוודאות אינו עומד בדרישה, ואינו מאפשר לבחון את מידת הביטחון שבה התוצאה נבדלת מערך הסף. כאשר ערך הסף מצוי בתוך תחום איהוודאות, לא ניתן לקבוע חריגה או עמידה ברמת ביטחון מוצהרת בלי לקבוע ולהחיל כלל החלטה מתאים.

סימון התוצאה כאומדן

הערך יסומן כאומדן ולא כתוצאת מדידה. יובהר כי דרישה זו אינה קבועה בסעיף 13 כדרישת דיווח עצמאית, והיא נגזרת מצירוף של הגדרת הנספח את עצמו כמכיל אומדנים מקורבים, מחובת דיווח איהוודאות שבסעיף 13(e) ומחובת דיווח הבסיס שעליו חושב האחוזון שבסעיף 13(d). הצגתו של ערך כזה תחת הכותרת "רעש רקע", בלא ציון שמדובר באומדן, מציגה אומדן כמדידה.

לצד זאת ייחשפו ההנחות במפורש: התפלגות גאוסית של הרעש השיורי ודו-שיאיות של הרעש הכולל, או היעדר תרומה של המקור בחלק המתאים מן הזמן, לצד הראיה לכל אחת מהן.

תחולה בישראל

המסגרת המחייבת לקביעת רעש סביבתי, מדידתו וקביעת ספי רעש בלתי סבירים בישראל היא תקנות למניעת מפגעים (רעש בלתי סביר), התש"ן 1990, שהותקנו מכוח החוק למניעת מפגעים, התשכ"א 1961 [1]. התקנות אינן מזכירות או מגדירות אחוזוני רעש, ואינן כוללות הוראה המתירה לזהות אחוזון עם מפלס רעש הרקע או

לנכות את האחוזון עצמו ממפלס הרעש שווה-הערך לצורך קביעת מפלס המקור לפי תקנה 6. תקנה 3(א) מונה, מניין ממצה של הגדלים הכשירים לשמש כמפלס הרעש לעניין המבחן, וכולם מפלסי רעש שווים ערך.

חובת המדידה ומעמדו של שיקול הדעת המקצועי

תקנה 5(ד) קובעת כי מדידת רעש הרקע תיעשה במידת האפשר כאמור בתקנה 5(א), ובאין אפשרות כזו לפי שיקוליו המקצועיים של מבצע המדידה ובהתאם להנחיות המנהל הכללי של המשרד לאיכות הסביבה ולשיטות שיקבע. תקנה 6 נסמכת על הוראה זו במפורש, בקבעה כי תרומת רעש הרקע תיקבע באמצעות מדידות כאמור בתקנה 5(ד).

מבנה ההוראה מלמד על שלושה דברים.

ראשית, המדידה היא ברירת המחדל, ושיקול הדעת המקצועי קם רק כאשר היא אינה אפשרית.

המונח "אין אפשרות" מחייב הבהרה. הוא מתייחס למניעה אובייקטיבית, הנעוצה במאפייני המקרה הנבדק ולא בנסיבותיו של מבצע המדידה. מניעה כזו מתקיימת, למשל, כאשר המקור פועל ברציפות ואין סמכות להשביתו, כאשר מקורות אחדים פועלים בו זמנית ואינם ניתנים להפרדה בזמן, או כאשר לא נמצא מיקום שבו הרעש השיורי דומה והמקור אינו נשמע.

שיקולים הנוגעים למשאביו של מבצע המדידה, כגון עלות נוספת של מכשיר שני או מפעיל שני, זמן שטח לביקור חוזר, או היעדר מכשור מתאים ברשותו, הם מאפייני נותן השירות ולא מאפייני המקרה הנבדק, וניתן בדרך כלל לתת להם מענה בהקצאת משאבים או בהעברת הביצוע לגורם אחר. לשון התקנה מתנה את שיקול הדעת בהיעדר אפשרות, ולא בקושי או בעלות, ולפיכך ראוי לקרוא אותה כך ששיקולים אלה, כשלעצמם, אינם מקימים את התנאי. זו פרשנותו המקצועית של המחבר ללשון התקנה.

לשיקולים אלה יש גם צד שאינו מטרולוגי. ההחלטה לוותר על מדידה אינה עניינו של המודד בלבד, כי הגודל שנקבע כך מכריע לגבי כל מי שנסמך על חוות הדעת. מבחינת האתיקה המקצועית, הנטל הוא על המודד לבצע את ההליך כראוי או לתעד מדוע לא ניתן היה לבצעו, גם כשהדבר כרוך בקושי; קושי שלא תועד ולא נומק אינו הגנה.

שנית, מי שנסמך על שיקול הדעת נדרש להראות שאין אפשרות למדוד, שכן זהו התנאי לקיומו. הדרישה היא מקצועית ואינה קביעה בדבר נטל ההוכחה בהליך, שנקבע לפי דיניו; מבחינה מקצועית היא מחייבת תיעוד: אילו דרכי מדידה נבחנו, מדוע נמצאה כל אחת מהן בלתי ישימה, ומה היה בסיס הקביעה.

שלישית, שיקול הדעת אינו חופשי אלא כפוף להנחיות המנהל הכללי ולשיטות שיקבע. מכאן שמבצע מדידה הנסמך על שיקול דעת מקצועי לפי תקנה זו נדרש לציין את המקור המקצועי שעליו נשענת השיטה שבחר. למחבר לא ידוע על הנחיה כלשהי של המנהל הכללי בעניין זה. המאמר נמנע מקביעה בדבר קיומן או תוכנן של הנחיות, שכן אלה עשויות להתפרסם, להתבטל או להתחלף, ועל מבצע המדידה לברר בעת המדידה אם קיימת הנחיה תקפה. מכל מקום, הנחיה מנהלית עשויה לכוון את הפעלת שיקול הדעת המקצועי לפי תקנה 5(ד), אך אין בכוחה לשנות את הגדרות התקנות או ליצור גודל מדידה רגולטורי חדש; מפלס הרעש לעניין תקנה 2 נותר כהגדרתו בתקנה 3. בהיעדר הנחיה ספציפית החלה על המקרה, סדרת התקנים ISO 1996 היא מקור מקצועי בין-לאומי מרכזי ורלוונטי, ובכלל זה תנאי התחולה ודרישות הדיווח שנדונו לעיל. הסתמכות על שיקול

דעת מקצועי בלא ציון המקור שממנו נגזרת השיטה אינה מאפשרת להראות כי הבחירה היא מקצועית, מהימנה ומתאימה לנסיבות.

יש להוסיף ולהבהיר את היקפו של שיקול הדעת עצמו, שכן הביטוי "לפי שיקוליו המקצועיים של מבצע המדידה" עשוי להיקרא כהיתר לקבוע את רעש הרקע באחוזון מכוח בחירתו של המודד. קריאה זו אינה עומדת. הביטוי מגדיר מי בוחר את השיטה, ולא מהו מנעד השיטות הכשירות; שיקול דעת מקצועי הוא בחירה מנומקת בין דרכים מוכרות ומבוססות, ואינו סמכות לנקוט פעולה שאין לה הגדרה מטרולוגית ואין לה סימוכין במקור מקצועי כלשהו. התקנות עצמן קובעות את אמת המידה: תקנה 6(1), שאף היא נסמכת על שיקוליו המקצועיים של מבצע המדידה, דורשת "השיטה המקצועית המהימנה והמתאימה ביותר". הצבה ישירה של אחוזון שלא הוכח כאומדן לרעש השיורי אינה יכולה להיחשב למהימנה רק מכוח שיקול דעתו של המודד. שיקול דעת מקצועי אינו מחליף תנאי תחולה, הנחות ומקור מקצועי; הוא פועל בתוכם ובוחר בין דרכים מוגדרות, ואינו יוצר זהות מטרולוגית שאין לה בסיס.

מעמדו של נספח I במסגרת הישראלית

סדרת ISO 1996 היא המסגרת המקצועית שבה נעשית העבודה, במעמד שתואר בחלק הרקע. אין בכך כדי להוסיף גדלים למניין שבתקנה 3(א) או כדי לייתר את חובת המדידה שבתקנה 5(ד). מעמדו של נספח I הוא מעמד של הנחיה מקצועית אינפורמטיבית, החלה במצבים שבהם מדידה ישירה של הרעש השיורי אינה בת ביצוע, ובמסגרת שיקול הדעת המקצועי שתקנה 5(ד) מתירה למצבים כאלה.

מכאן שהיעזרות באחוזון אינה חלופה שוות מעמד למדידה, אלא פרוצדורה חלופית הכפופה לשלושה תנאים מצטברים: שמתקיימת מניעה אובייקטיבית מלבצע מדידה ישירה; שמתקיימים תנאי התחולה שהנספח קובע, ובכללם תנאי חמשת האחוזים או ההנחה הגאוסית לפי הדרך הנבחרת; ושהפרוצדורה תתבצע במלואה, כפי שקבועה בתקן.

התנאי השלישי מחייב הבהרה. אקוסטיקה אינה תחום שבו ניתן להסתפק בהערכה כללית: כל שלב במדידה, מהצבת המיקרופון ותהליך הכיול ועד לדיווח, כפוף לפרוצדורה שהתקנות והתקן קובעים במדויק. כך למשל קובעות תקנות 1990 עצמן את מצב המדידה, בהורותן בתקנה 5(א)(3)(ב) כי מד הרעש יכוון למצב "מהיר", ובאין מצב "מהיר" למצב "איטי", ולסקלת A. הנספח אינו מציע כלל אצבע אלא פרוצדורה שלמה, הכוללת תנאי תחולה, לפי הדרך הנבחרת גם נוסחת המרה, חובת אמידת איודאות ודרישות דיווח. ביצוע חלקי שלה אינו יישום חלקי של הנספח; הוא מהלך שאינו מוסדר, ותוצאתו אינה נושאת את התוקף שהפרוצדורה מקנה.

ההשלכה הראייתית

לכך נודעת משמעות ראייתית ישירה. חוות דעת אקוסטית המוגשת בהליך משפטי או מנהלי נבחנת ביכולתה להיבדק ולהיות משוחזרת על ידי מומחה אחר. ערך המוצג כרעש רקע, בלא שצוין אם נמדד או הוערך, בלא שנחשפו תנאי התחולה וההנחות, ובלא שדווחה איהוודאות, אינו ניתן לבחינה כזו. הפגם אינו רק באידיקום התוצאה אלא באפשרות לאמתה, ומשקלה של חוות דעת שאינה ניתנת לאימות נגזר בהתאם.

בעניין מור נחלקו מומחי האקוסטיקה, בין היתר, על עוצמת רעש הרקע ועל אופן מדידתו. בית המשפט המחוזי ניתח בפירוט את חוות הדעת ואת עדויות המומחים והעדיף, בשלב בקשת האישור, אחת מהן; בית המשפט העליון הדגיש כי קביעה שמקורה באימוץ חוות דעת מומחה היא קביעה שבמומחיות ובמקצועיות, שערכאת

הערעור אינה נוהגת להתערב בה [4]. פסק הדין אינו מכריע איזו מתודולוגיה למדידת רעש הרקע נכונה, אך הוא ממחיש את חשיבות חשיפתה באופן המאפשר לבית המשפט ולמומחה שכנגד לבחון אותה.

מבצע המדידה נדרש אפוא, כאשר הוא נזקק לפרוצדורה החלופית, לנקוט את מלוא הצעדים שהיא קובעת: לתעד את המניעה מלבצע מדידה ישירה ואת החלופות שנבחנו, לציין את המקור המקצועי שעליו נשענת השיטה שבחר, להוכיח את התקיימות תנאי התחולה, לבצע את ההמרה כאשר הדרך הנבחרת מחייבת אותה או לציין במפורש את הנחת הייצוג שבסעיף 1.2.1, לחשב ולדווח את א־הוודאות, ולסמן את התוצאה כאומדן. עמידה במלוא הצעדים מבססת את מעמדה המקצועי של התוצאה; בהיעדרה לא הוכח כי הערך שהתקבל מייצג את רעש הרקע כמשמעותו בתקנות 1990.

מסקנות

מעמדו המטרולוגי של האחוזון

אחוזון רעש אינו מפלס רעש כהגדרתו בתקנות. הוא ייצוג סטטיסטי של התפלגות מפלסי הרעש שנמדדו: ערך המציין נקודת חיתוך בהתפלגותם, המתקבל בפעולת מיון ולא בפעולה על האות הפיזיקלי. העובדה שהוא מחושב ממפלסי רעש ומבוטא ביחידות dB אינה משנה זאת.

מכאן שאחוזון אינו נמנה עם הגדלים שתקנה 3(א) מונה כמפלס הרעש לעניין המבחן שבתקנה 2, ואינו עונה להגדרת "מפלס רעש" שבתקנה 1, המפנה לתקנה 3.

מעמדו של האחוזון כקביעה של רעש הרקע

הגדרת רעש הרקע בתקנה 1 היא הגדרה לפי מוצא: הרעש הנגרם על ידי סך כל מקורות הרעש המצויים בסביבה למעט מקור הרעש. האחוזון מציין נקודה בהתפלגות ואינו מבחין בין מוצאים; פעולת המיון שמייצרת אותו מבוצעת באופן זהה על אות מצטבר ועל אות שכולו רקע.

ערך אחוזוני המדווח כרעש הרקע מכוח שמו בלבד נושא את שם הגודל שבתקנות, אך לא הוכח כי הוא הגודל שהן מגדירות.

היעדר ממד המשך

תקנות 2(1) ו-2(2) מתנות את מבחן הרעש הבלתי סביר במשכו הכולל של הרעש, וזה הקובע לאיזו שורה בתוספת הראשונה משתייך המקרה. האחוזון אינו נושא ממד משך, שכן פעולת המיון מוחקת את ציר הזמן.

האחוזון אינו יכול לבסס את משך פעילות המקור או את רציפותו, ואלה חייבים להיקבע ולדווח בנפרד; במפלס שווה הערך המשך הוא רכיב מכונן בהגדרה ובעל משמעות אריתמטית, ובאחוזון הוא גבול תצפית בלבד.

תקפותה של הפעולה האריתמטית

אריתמטיקה אנרגטית של מפלסי רעש תקפה כאשר כל אחד מן האיברים מייצג ממוצע ריבוע לחץ על פני מסגרת זמן מתאימה. המפלס שווה הערך מקיים תנאי זה מעצם הגדרתו בתקנה 1; האחוזון אינו מקיימו מכוח הגדרתו בלבד.

ניכוי ישיר של אחוזון ממפלס שווה־ערך אינו אפוא הפרדה פיזיקלית בין מקורות. תקפותו כאומדן, אם היא קיימת, אינה נובעת מן החשבון אלא מהנחה חיצונית שלפיה האחוזון מייצג את מפלס הרעש השיורי. מבחינה מקצועית, ביסוס הנחה זו מוטל על מי שמציג את התוצאה.

כיוון השגיאה וגודלה

נוסחאות ההמרה שבנספח I ל-ISO 1996 חלק 2 קובעות שאומדן המפלס שווה־הערך של התפלגות נורמלית גדול מן החציון שלה, בשיעור הפרופורציוני לריבוע סטיית התקן. מכאן שבתחום תחולת המודל האומדן הגאומטרי של הרעש השיורי גבוה מ- L_{A50} , וממילא גבוה מ- L_{A90} הנמוך מן החציון מלכתחילה.

ניכוי L_{A90} כרעש שיורי מנכה אפוא, בתחום תחולת המודל, ערך הנמוך מן האומדן הגאומטרי בשני מרכיבים מצטברים: המרחק בין L_{A90} לחציון, ותוספת האנרגיה שמעל החציון. ההפרש שיטתי וכיוונו ידוע ביחס לאומדן המודל: במקור מקוטע שהאחוזון נופל בזנב התחתון של הרקע הוא מביא לתרומת מקור גבוהה יותר; במקור רציף ויציב, שבו האחוזון מתאר את המקור ואת הרקע יחד, ההטיה עשויה להיות בכיוון ההפוך, כפי שידון להלן בסעיף "סימטריה בין הצדדים". בשני המשטרים הערך המנוכה לא הוכח כרעש הרקע, ושיעור ההטיה ניתן לאמידה תחת הנחה מוצהרת. בהתפלגות שבה ההפרש בין L_{A50} ל- L_{A90} עומד על 6dB, הפער מן האומדן הגאומטרי מגיע לכ-8.5dB.

המסגרת הנורמטיבית החלה בישראל

תקנות 1990 קובעות בתקנה 5(ד) כי מדידת רעש הרקע תיעשה במידת האפשר כאמור בתקנה 5(א), ובאין אפשרות כזו לפי שיקוליו המקצועיים של מבצע המדידה ובהתאם להנחיות המנהל הכללי של המשרד לאיכות הסביבה ולשיטות שיקבע. תקנה 6 נסמכת על הוראה זו במפורש.

מלשון ההוראה נגזרות שלוש מסקנות. המדידה היא ברירת המחדל. שיקול הדעת המקצועי קם רק בהיעדר אפשרות אובייקטיבית למדוד, ולא מחמת עלות, זמן, מכשור או נסיבות אחרות הנוגעות למבצע המדידה. ושיקול הדעת כפוף למקור מקצועי שיש לציין, ואינו סמכות לזהות אחוזון עם מפלס רעש הרקע בלא בסיס מטרולוגי, תנאי תחולה ואומדן איזודאות.

גם בפסיקת בית המשפט העליון תואר רעש הרקע לפי היעדרו של המקור הנבחן – כרעש הקיים ללא רעש המטוסים וכרעש סביבתי שאינו נובע ממקור הרעש [3,4]. תיאור זה עולה בקנה אחד עם הגדרת תקנה 1 ואינו מעניק לאחוזון זהות נורמטיבית של רעש רקע.

מעמדה של הפרוצדורה החלופית

נספח I ל-ISO 1996 חלק 2 הוא נספח אינפורמטיבי, והוא מגדיר את השיטות שבו כאומדנים מקורבים ולא כמדידה. השימוש בו כפוף לשלושה תנאים מצטברים: מניעה אובייקטיבית מלבצע מדידה ישירה; התקיימות תנאי התחולה של הדרך הנבחרת; וביצוע מלא של הפרוצדורה, לרבות אמידת אי־הוודאות ודיווחה.

ביצוע חלקי של הפרוצדורה אינו יישום חלקי שלה, אלא מהלך שאינו מוסדר, ותוצאתו אינה נושאת את התוקף שהפרוצדורה מקנה.

התחום שבו ההיתר ניתן

התקן מתיר להיעזר באומדן אחוזוני בתנאים מוגדרים, ובכל אחת משתי הדרכים גבולות ההיתר נקבעים באופן אחר.

בדרך הראשונה, שבסעיף I.2.1, תנאי התחולה הוא שהמקור אינו תורם באופן משמעותי במשך חמישה אחוזים לפחות מזמן המדידה, והערך שנקבע לשימוש הוא L_{A95} . לצד תנאי זה, סעיף I.3 ונספח C יוצרים מדרג מהימנות לפי רגישות התיקון. כאשר המרווח בין המפלס הכולל לרעש השיורי עולה על 15dB, השפעת הרעש השיורי זניחה והתיקון אינו עולה על עשיריות dB, ולכן עשוי להספיק אומדן גס. ככל שהמרווח קטן, מקדם הרגישות גדל ונדרש ביסוס קפדני יותר של האומדן ושל איהוודאות; ובמרווח שאינו עולה על 3dB אוסר סעיף 10.4 את התיקון. המדרג אינו תנאי תחולה נוסף לסעיף I.2.1 אלא מבחן למהימנות האומדן ולהשפעתו על התוצאה.

בדרך השנייה, שבסעיף I.2.2, ההיתר תחום על ידי צורת ההתפלגות. הנוסחאות תקפות למקרה שבו הרעש השיורי ניתן לתיאור בהתפלגות גאוסית, וזהו תנאי מהותי ולא הצהרה פורמלית. מבנה הנוסחה, ובו תוספת אנרגטית הגדלה בריבוע סטיית התקן, גורם לכך שהתוצאה נעשית רגישה מאוד ככל שההפרש בין האחוזונים גדל.

בהתפלגות שבה ההפרש בין L_{A50} ל- L_{A90} קטן, התוספת האנרגטית מתונה. בהפרש של 10dB התוספת מגיעה ל-7dB; בהפרש של 15dB, לכ-16dB; ובהפרש של 18dB, ליותר מ-22dB. תוצאות גדולות אלה מחייבות בדיקה מחמירה של התאמת המודל ושל סבירות האומדן בנסיבות המדידה.

הפרש גדול בין האחוזונים אינו מוכיח לבדו שההתפלגות אינה גאוסית ואינו מוכיח קיומם של כמה משטרים אקוסטיים. הוא אות אזהרה לכך שהתוצאה נשענת על שונות גדולה ולכן מחייבת בדיקת התאמה מול ההתפלגות המלאה ובדיקות סבירות פיזיקליות.

בפרט, במסגרת ההנחה המקובלת של מקורות בלתי מתואמים, אומדן מפלס רעש שיורי אינו יכול לעלות על מפלס הרעש הכולל שנמדד באותו מיקום ובאותו פרק זמן. תוצאה הסותרת גבול זה מלמדת שלפחות אחת מהנחות המודל, זיהוי ההתפלגות או התאמת פרקי הזמן אינה מתקיימת. גם כאשר הגבול נשמר, מבצע המדידה נדרש להציג את בסיס ההנחה הגאוסית ולא להסתפק בעצם האפשרות להציב את האחוזונים בנוסחה.

המשותף לשתי הדרכים הוא שהאחוזון אינו רוכש מעמד של רעש שיורי מעצמו. בדרך הראשונה המעמד נובע מתנאי חמשת האחוזים ומהנחת הייצוג שקובע הסעיף; בדרך השנייה הוא משמש נתון במודל התפלגותי. בשתיהן יש לבחון את רגישות התוצאה ואת איהוודאות. הנוהג הרווח נוקט אומדן אחוזוני בלא שבחינת התנאים וההנחות האלה מוצגת בדרך כלל.

נפקות מעשית ומשקל ראייתי

מעמדה של התוצאה

ערך אחוזוני המוצג כרעש הרקע אינו קביעה של רעש הרקע כמשמעותו בתקנות 1990, אלא אומדן שתקפותו מותנית. הצגתו כתוצאת מדידה, בלא ציון היותו אומדן ובלא חשיפת ההנחות שביסודו, מייחסת לו מעמד שאינו שלו.

היכולת לבחון ולשחזר

משקלה של חוות דעת מומחה נקבע, בין היתר, לפי יכולתו של מומחה מטעם הצד שכנגד, או של בית המשפט, לבחון את דרך הגעתה למסקנותיה ולשחזרה. תנאי לכך הוא שהמסקנה תיגזר מפרוצדורה מוגדרת, שניתן לזהותה, ליישמה מחדש ולהשוות את תוצאותיה.

ערך רעש רקע שהופק מהצבה ישירה של אחוזון, בלא שהוצגה הפרוצדורה המקנה לו מעמד של אומדן, אינו עומד בתנאי זה. את ערך האחוזון עצמו ניתן לחשב מחדש; מה שלא ניתן לשחזר הוא שיוכו לרעש הרקע, ואין גודל מוגדר שמולו ניתן לבחון אם הערך המדווח מפרז או ממעיט. מומחה נגדי יכול לחזור על החשבון, אך אינו יכול לאשר את השיוך או לסתור אותו מנתוני האחוזון לבדם, שכן אין בידו המידע שהשיוך מניח.

משמעות הדבר היא שהפגם אינו מתמצה בשאלת הדיוק, הנתונה לעדות נגדית ולהכרעה בין מומחים, אלא נוגע לעצם היכולת לאמת את הראיה. חוות דעת שקביעה מהותית בה אינה ניתנת לאימות אינה מאפשרת למומחה נגדי לבחון אותה, ומשקלה הראייתי נגזר מכך. אין באמור משום חוות דעת משפטית; המסקנות הן מקצועיות ומטרולוגיות, וההשלכה הראייתית בכל הליך נתון נבחנת לפי דיניו.

המסגרת המוצעת במאמר נועדה לאפשר גם למי שאינו אקוסטיקאי – ובכלל זה עורכי דין ובתי משפט – לזהות מה נמדד, מה נאמד ואילו הנחות עומדות ביסוד התוצאה. היא אינה מחליפה הכרעה שיפוטית בין מומחים, אלא מאפשרת לבחון אם המחלוקת נסבה על דיוקו של אומדן תקף או על עצם תקפותה של הפרוצדורה. הצורך בכך אינו מוגבל לקורא שאינו מקצועי: שימוש במונחים אקוסטיים ובציוד מדידה תקני אינו כשלעצמו מבטיח שהפעולה שנעשתה בנתונים תקפה.

היעדר מקור סמכות

קודם לשאלת המקור יש לומר דבר על השאלה עצמה. הדיון במאמר זה בתקינה הבריטית, האמריקאית והגרמנית והאירופאית (בנספח I) נועד להראות שאף מסגרת מקצועית מובילה אינה מבססת את קביעת רעש הרקע על חילוץ אחוזון מן המדידה הכוללת בעת שהמקור פועל. אך אין הטענה תלויה בסקר הזה, ואף לא בשלמותו. תקנות 1990 אינן שותקות בעניין רעש הרקע; הן קובעות בו שני דברים מפורשים. הראשון, מהו: "הרעש הנגרם על ידי סך כל מקורות הרעש המצויים בסביבה למעט מקור הרעש" (תקנה 1). השני, כיצד הוא נקבע: תקנה 3(א)(1) קובעת שמפלס הרעש הוא מפלס רעש שווה ערך "בהתחשב בתרומת רעש הרקע כאמור בתקנה 6"; תקנה 6 קובעת שתרומת רעש הרקע "תיקבע באמצעות מדידות כאמור בתקנה 5(ד)"; ותקנה 5(ד) קובעת שמדידת רעש הרקע "תיעשה במידת האפשר כאמור בתקנת משנה (א)", כלומר באותה מדידה, באותו מכשיר ובאותו מצב מדידה שבהם נקבע מפלס הרעש עצמו, שהוא על פי הגדרתו מפלס שווה ערך. השרשרת שלמה: הגדרה, גודל, דרך מדידה. אין בה חלל שהמחוקק שכח למלא ושיש להשלימו ממקור חיצוני.

מכאן שגם אילו נמצאה, בתקינה של מדינה כלשהי, הוראה המתירה להציג אחוזון של הרעש הכולל כרעש רקע, לא היה בה כדי לשנות דבר בישראל. הוראה כזו הייתה עונה על שאלה שהתקנות כבר ענו עליה אחרת. מה שהתקנות קובעות עשוי להיות קשה לביצוע, ומאמר זה דן בקשיים ובחלופות שהתקן מתיר כשאין

אפשרות אובייקטיבית; אך קושי אינו חוסר, וההסדר שבתקנות מספיק מבחינה מקצועית לקביעת רעש הרקע בלא כל תוספת. הנוהג אינו ממלא חסר בתקנות; הוא סוטה מהוראה שקיימת בהן.

מומחה הנשאל מכוח מה נוכח גודל סטטיסטי מגודל אנרגטי אינו יכול להפנות לתקנות 1990, שאינן מזכירות אחוזונים כלל. הוא יכול להפנות לנספח I רק אם יראה כי פעל באחת הדרכים שהנספח מתיר, כי תנאי תחולתה התקיימו וכי התוצאה הוצגה כאומדן בצירוף איהוודאות הנלווית לו. התקן הבריטי BS 4142 אינו מספק בסיס לנוהג הישראלי: המנגנון שנכלל בגרסת 1990 תוקן בגרסת 1997 [11], והנוסח העדכני מבחין בין מפלס הרעש השיורי האנרגטי לבין מפלס רעש הרקע האחוזוני. גם DIN 45657 מסדיר את חישוב האחוזון במד הרעש ואינו מקנה לו, מעצם חישובו, מעמד של מפלס רעש שיורי לצורך ניכוי.

מצב זה אינו ייחודי לישראל, אך מעמדו כאן חלש מזה שהיה לשימוש ב- L_{A90} בבריטניה עד 1997: שם נקבע מנגנון תיקון מפורש בתקן, ואילו בישראל אין לניכוי הישיר של אחוזון מן המדידה הכוללת מקור נורמטיבי כלל.

התוצאה ביחס לערך הסף

תוצאת מדידה נבחנת מול ערך הסף שבתוספת הראשונה. כאשר תוצאה התקבלה מניכוי אחוזון שלא בוסס כאומדן לרעש השיורי, עצם הימצאותה מעל ערך הסף אינה מספקת בסיס מקצועי לקביעת חריגה בלי שיוצגו הנחות השיטה, כיוון ההטיה האפשרי ושיעורה.

לכך מצטרפת איהוודאות. כאשר ערך הסף מצוי בתוך תחום איהוודאות של התוצאה, לא ניתן לקבוע חריגה או עמידה ברמת ביטחון מוצהרת בלי לקבוע ולהחיל כלל החלטה מתאים. דיווח המציין ערך יחיד בלא אירודאות אינו מאפשר לבחון זאת כלל.

סימטריה בין הצדדים

המסקנות שלעיל אינן פועלות לטובת צד אחד. במקור מקוטע שהאחוזון נופל בזנב התחתון של הרקע, ניכוי עשוי להציג תרומת מקור גבוהה מזו המתקבלת לפי אומדן מודלי מתאים; ובמקור רציף ויציב, שבו האחוזון מתאר את המקור ואת הרקע יחד ולא את הרקע לבדו, הוא עשוי להציג תרומת מקור השואפת לאפס. כיוון ההטיה נקבע על ידי מחזור הפעולה, מאפייני ההתפלגות וגבולות חלון המדידה, שאינם נלמדים מן האחוזון עצמו וחייבים להיקבע ולדווח בנפרד.

בחינתה של חוות דעת קיימת

שלוש שאלות מבחינות בין קביעה לבין אומדן, וניתן להפנותן אל כל חוות דעת הנשענת על ניכוי רעש רקע: האם רעש הרקע נמדד או הוערך, ואם הוערך, מה הייתה המניעה האובייקטיבית מלמדדו ואילו חלופות נבחנו. אילו תנאי תחולה נבדקו והוכחו, ומהו המקור המקצועי שעליו נשענת השיטה שנבחרה. מהי איהוודאות המדווחת, ומה יחסה להפרש בין המפלסים ולמרחק מערך הסף.

הלכה למעשה

בקביעת רעש הרקע יש למצות תחילה את האפשרויות למדידה ישירה: השתקת המקור, מדידה בשעות שבהן אינו פועל, או מדידה במיקום חלופי שבו הרעש השיורי דומה והמקור אינו נשמע או שתרומתו זניחה. בחינה זו ותוצאתה יתועדו.

בהיעדר אפשרות אובייקטיבית למדוד, ובהתקיים תנאי התחולה שבנספח I, תבוצע הפרוצדורה החלופית במלואה: תיעוד המניעה והחלופות שנבחנו; ציון המקור המקצועי שעליו נשענת השיטה; הוכחת התקיימות תנאי התחולה; ביצוע ההמרה כאשר הדרך הנבחרת מחייבת אותה; חישוב איהוודאות ודיווחה; וסימון התוצאה כאומדן.

בכל מקרה, האחוזון עצמו לא יוצג כרעש הרקע ולא יוצב כקלט בפעולת ניכוי מול מפלס שווה ערך, אלא בכפוף להנחה מוצהרת ומבוססת ובתחום שבו התקן מתיר זאת.

בדיווח ייכללו, לצד התוצאה, פרק זמן המדידה בפועל, מצב המדידה שנקבע בתקנה 5(א)(3)(ב), התנאים המטאורולוגיים ששררו, תנאי הפעולה של המקור, והבסיס שעליו חושב כל אחוזון שדווח.

מבחינה מקצועית, ובפרט כאשר נעשה שימוש באומדן במקום במדידה ישירה, התוצאה תדווח בציון אי-הוודאות המורחבת, מקדם הכיסוי והסתברות הכיסוי, ולא כערך יחיד.

מקורות

- [1] חוק למניעת מפגעים, התשכ"א 1961.
- [2] מגן דוד אדום (2025). סיכום שנת 2025, מגן דוד אדום במספרים. אתר הארגון, נצפה בספטמבר 2026.
<https://www.mdais.org/about/2025sikoum>
- [3] ע"מ 683/13 רשות שדות התעופה נ' טויטו (3.9.2015), פסקה 82.
- [4] רע"א 440/19 מור – המכון למידע רפואי בע"מ נ' בן צור (28.1.2020), פסקאות 4, 5 ו-11.
- [5] ת"י 1349 חלק 1 (דצמבר 2012). אקוסטיקה - תיאור של רעש סביבתי ומדידתו: גדלים ונהלים בסיסיים. אימוץ ISO 1996-1:2003 (מהדורה שנייה). מכון התקנים הישראלי. התקן הבין-לאומי עודכן מאז למהדורת 2016; התקן הישראלי לא עודכן בהתאם.
- [6] תקנות למניעת מפגעים (רעש בלתי סביר), התש"ן 1990. ק"ת 5288, כ"ט באלול התש"ן (23 באוגוסט 1990), עמ' 1006.
- [7] Abbott, P.G., Nelson, P.M. (2002). Converting the UK Traffic Noise Index LA10,18h to EU Noise Indices for Noise Mapping. TRL Limited Project Report PR/SE/451/02, prepared for the AEQ Division, Department for Environment, Food and Rural Affairs.
- [8] Avangrid Renewables / Environmental Design & Research (2019). Mohawk Solar, Case No. 17-F-0182, Supplement to the Article 10 Application (Deficiency Response), Exhibit 19, Item 2, footnote 2. New York State Board on Electric Generation Siting and the Environment, October 2019.
- [9] Balastegui A., Romeu J., Clot A., Martín S.R. (2013). New siren tones optimised for increased detectability distances of emergency vehicles. Applied Acoustics. doi:10.1016/j.apacoust.2012.12.007

- [10] BS 4142:1990. Method for rating industrial noise affecting mixed residential and industrial areas. British Standards Institution. Foreword; clauses 1, 2.1, 2.3, 2.7, 2.8, 3.2, 5.3.1, 5.4.4, 6.1–6.4, 7.1–7.3 and 8.1–8.2; Table 1 and Appendix A.
- [11] BS 4142:1997. Method for rating industrial noise affecting mixed residential and industrial areas. British Standards Institution. Foreword.
- [12] BS 4142:2014+A1:2019. Methods for rating and assessing industrial and commercial sound. British Standards Institution.
- [13] City of New York (2026). Preliminary Mayor's Management Report, Fiscal 2026, Fire Department, pp. 61-69.
- [14] Committee on the Problem of Noise (1963). Noise: Final Report, Appendix 15: Simplified Procedure for Assessing Reaction to Industrial Noise in Mixed Residential and Industrial Areas. HMSO, London.
- [15] Department of Transport and Welsh Office (1988). Calculation of Road Traffic Noise. Her Majesty's Stationery Office, London. ISBN 0-11-550847-3.
- [16] DIN 45657:2014-07. Schallpegelmesser - Zusatzanforderungen für besondere Messaufgaben (Sound level meters - Additional requirements for special measuring tasks). DIN, Berlin. Official abstract.
- [17] Federal Highway Administration (2017). Sound Level Descriptors. FHWA-HEP-17-053. U.S. Department of Transportation.
- [18] Hayes McKenzie Partnership Ltd (2018). What is BS 4142? <https://hayesmckenzie.co.uk/news/what-is-bs4142>
- [19] ISO 1996-2:2017. Acoustics - Description, assessment and measurement of environmental noise - Part 2: Determination of sound pressure levels. International Organization for Standardization.
- [20] ISO 9612:2009. Acoustics - Determination of occupational noise exposure - Engineering method. International Organization for Standardization.
- [21] Manvell, D., Aflalo, E. (2005). Uncertainties in Environmental Noise Assessments - ISO 1996, Effects of Instrument Class and Residual Sound. Forum Acusticum 2005, Budapest.
- [22] NF S 31-010. Acoustique - Caracterisation et mesurage des bruits de l'environnement. AFNOR.
- [23] NTi Audio AG. How are Percentile Statistics measured? <https://www.nti-audio.com/en/support/know-how/how-are-percentile-statistics-measured>
- [24] Porter, N.D. (1995). Study of the Application of British Standard BS 4142:1990 "Method for Rating Industrial Noise Affecting Mixed Residential and Industrial Areas" (The Data Sheet Study). NPL Report RSA(EXT) 0057A, National Physical Laboratory, Teddington. Sections 3.1, 3.2.1, 3.2.2, 7.3.4, 8.15 and 8.16; Figure 1 and Table 1 (pp. 2-5, 14, 36-38).
- [25] TA Lärm (1998). Sechste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz (Technische Anleitung zum Schutz gegen Lärm), as amended 2017. Bundesministerium für Umwelt.