



המשרד להגנת הסביבה

מדריך לתכנון התקנה ותחזוקה של מערכות לגילוי גזים

מרץ 2021

תוכן:

3	תקציר
4	1 רקע – מערכות לגילוי גזים מסוכנים
4	1.1 מהו SIL?
5	1.2 אופן קביעת רמת SIL במערכת לגילוי גזים
6	1.3 תקנים למערכות לגילוי גז ולעמידה ב-SIL
7	1.4 היישום האירופאי לתקינה בנושא SIL
7	2 הנחיות לבחירת מערכות גז להתקנה
8	3 הנחיות להצבת גלאים
11	4 תחזוקה

תקציר

בתעשייה בה נעשה שימוש בגזים מסוכנים, בהם גזים רעילים, גזים דליקים וגזים דוחקי חמצן, קיים סיכון לדליפת הגזים ממתקניהם הייעודיים (מיכלים, ריאקטורים, צנרות וכו'). לצורך שמירה על בריאות הציבור ובטיחות הסביבה ממתקנים אלו, נדרשת יכולת מהירה ואמינה של גילוי וזיהוי של גזים באוויר באמצעות מערכות ייעודיות לגילוי גזים (להלן: "מערכת לגילוי גזים"), הכוללות גלאי המנטר דליפות (להלן: "גלאים"), רכזת ממוחשבת לאיסוף הנתונים והעברתם (להלן: "הרכזת") ומערכת המופעלת בעת זיהוי דליפה. הוראות המדריך חלות על התקנה והפעלה של גלאים, לפי דרישות תנאי היתר רעלים של מפעלים.

היות שלמערכות לגילוי גזים תפקיד קריטי בהפחתת הסיכונים במפעלי תעשייה וביכולתם להגיב במהרה וביעילות בעת קרות דליפה, לצורך צמצום הנזק האפשרי ממנה, קיים צורך להתאמה מיטבית של המערכות למפעל ולסיכונים הנובעים מפעילותו. התאמה זו באה לידי ביטוי בתחומים הבאים אליהם מתייחס מדריך זה:

1. **תכנון** – בחירת מערכות לגילוי גז המתאימות לסיכונים הנובעים מהמפעל, ובפרט: בהתייחס לסוג הגלאי (חומרים או פרמטרים נבדקים), סף רגישות הגלאי וכו'; ורמת האמינות של הגלאים לרבות ההסתברות לפעולה תקינה בעת קרות דליפה.
2. **התקנה** – הצבת הגלאים במפעל באופן שיאפשר זיהוי מיידי של דליפה. בפרט בהיבט של מיקום הגלאים ומספרם;
3. **תחזוקה** – ביצוע בדיקות, תיקונים וכיולים בתדירות המתאימה למערכת לגילוי גזים.

בהיבט התכנון, המדריך יעסוק בבחירת מערכות לגילוי גז על פי תקינה רלוונטית נדרשת ובפרט בבחירת גלאים ברמות אמינות לפי דירוג SIL (Safety Integrity Level) נדרשת רמת בטיחות ואמינות גבוהה של המערכת למניעת פגיעה בבריאות הציבור. בהיבט ההתקנה, יובאו הנחיות וכללי אצבע להצבת הגלאים.

1 רקע – מערכות לגילוי גזים מסוכנים

היות שלמערכות לגילוי גזים תפקיד חיוני ביותר בצמצום סיכונים לאדם ולסביבה, קיימת לגביהן מערכת תקינה מורכבת ומדיניות מתאימה לסימון מוצרים. לצורך כך, פותחו תקנים המאפשרים לקבוע ולתייג מערכות לגילוי גז על פי רמת האמינות שלהם, באמצעות דירוג SIL. בפרק הרקע מובא הסבר אודות דירוג SIL והקשר שלו למערכות לגילוי גזים והצגה של מערכת התקנים הרלוונטית למערכות לגילוי גזים.

1.1 מהו SIL?

SIL הינו מדד המייצג רמת אמינות של מערכות (או רכיבים במערכות) האחראים על פונקציות בטיחותיות. רמות אלו הנעות בין SIL 1 ל-SIL 4, כאשר ככל שרמת ה-SIL גבוהה יותר, כך גם הביצועים הבטיחותיים והפחתת הסיכונים להם אחראית המערכת עולים בהתאמה. בטבלאות הבאות מובא הייצוג של רמות ה-SIL, למערכות בביקוש נמוך (בהן דירוג SIL מייצג את הסיכוי הממוצע לכשל בעת דרישה להפעלה) ולמערכת רציפות (בהן דירוג SIL מייצג את הסיכוי לכשל לשעה):

Safety integrity level	Low demand mode of operation (Average probability of failure to perform its design function on demand)
4	$\geq 10^{-5}$ to $< 10^{-4}$
3	$\geq 10^{-4}$ to $< 10^{-3}$
2	$\geq 10^{-3}$ to $< 10^{-2}$
1	$\geq 10^{-2}$ to $< 10^{-1}$

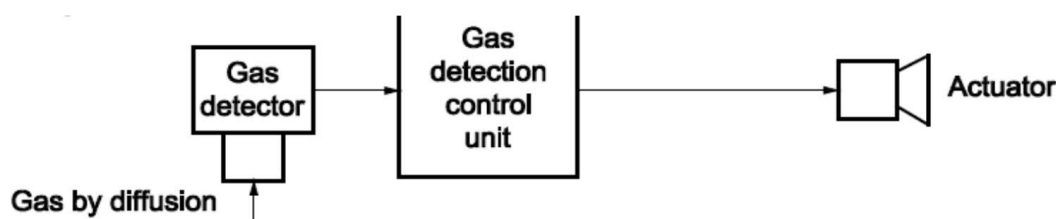
Safety integrity level	High demand or continuous mode of operation (Probability of a dangerous failure per hour)
4	$\geq 10^{-9}$ to $< 10^{-8}$
3	$\geq 10^{-8}$ to $< 10^{-7}$
2	$\geq 10^{-7}$ to $< 10^{-6}$
1	$\geq 10^{-6}$ to $< 10^{-5}$

מתוך תקן EN 61508-1

דירוג SIL משמש לקביעת רמות בטיחות ואמינות נדרשת, על ידי הגדרה או חישוב רמת SIL הדרושה למערכת או תהליך מסוים. בנוסף, ניתן להשתמש בדירוג זה לצורך חישוב רמת הבטיחות והאמינות של מערכת קיימת או מתוכננת. את הדירוג ניתן לקבוע הן עבור רכיב בודד והן עבור מערכות מורכבות הכוללות רכיבים רבים.

1.2 אופן קביעת רמת SIL במערכת לגילוי גזים

בכלליות ניתן להתייחס למערכת לגילוי גזים כמורכבת משלושה חלקים: גלאי, מערכת בקרה ומערכת המופעלת לאור הגילוי (אקטואטור). זאת, כמובא באיור הסכמטי להלן.



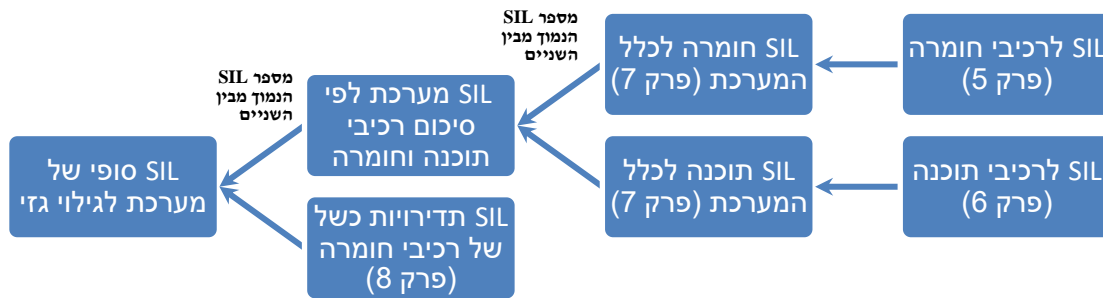
מתוך תקן EN 50402

כאמור, רמת SIL ניתנת לקביעה עבור רכיב יחיד במערכת (ואף עבור תת רכיביו) וכן עבור המערכת כולה. רמת SIL של כלל המערכת תלויה ברמות ה-SIL של מרכיביה, אופן החיבור ביניהם (במקביל או בטור) ובסיכוייהם לכשל. בהיבט מרכיבי המערכת, ישנן דרישות מחייבות בהן המערכות צריכות לעמוד על מנת להתאים לרמות ה-SIL השונות. בהיבט חיבור רכיבי המערכת, ככל שבמערכת מורכבים רכיבי חומרה במקביל, באופן היוצר יתירות במערכת, רמת ה-SIL שלה תהייה גבוהה יותר. בהיבט סיכוי המערכת לכשל, ניתן באמצעות חישוב למצוא מהי רמת ה-SIL התואמת את הסיכוי לכשל במערכת. בתוך כך יש לייחס חשיבות לתדירות תחזוקת המערכת ולמשך הזמן הנדרשת לתיקונה. שכן, ככל שתדירות הדיגום תהייה תכופה יותר ומשך הזמן הנדרש לתיקון נמוך יותר, כך המערכת תחשב אמינה יותר. אופן ביצוע החישובים הנדרשים לקביעת רמת SIL של מערכת מפורט בין היתר בתקנים EN 50271, EN 50402 ו-EN 61508, שיוצגו בהמשך.^{1,2,3} יש לציין כי על פי תקנים אלו, יצרני וספקי המערכות מחויבים לספק מידע ונתונים הנחוצים לצורך החישובים לקביעת רמת ה-SIL של המערכת (לרבות פרמטרים לקביעת שיעור הכשל כגון: סיכויי כשל, תכיפות תחזוקה נדרשת, זמן מוערך לתיקונים במערכות ועוד). בהתבסס על תקן EN 50402, ניתן לפרק את שלבי קביעת רמת ה-SIL של מערכת לגילוי גזים למתואר באיור להלן.

¹ EN 61508: Functional safety of electrical/electronic/ programmable electronic safety-related systems.

² EN 50402: Electrical apparatus for the detection and measurement of combustible or toxic gases or vapors or of oxygen - Requirements on the functional safety of gas detection systems.

³ EN 50271: Electrical apparatus for the detection and measurement of combustible gases, toxic gases or oxygen - Requirements and tests for apparatus using software and/or digital technologies.



ההפניה לפרקים באיור מתייחסת לפרקי תקן EN 50402

1.3 תקנים למערכות לגילוי גז ולעמידה ב-SIL

ישנם תקנים רבים העוסקים במערכות לגילוי גז אשר מתייחסים להיבטים שונים הנדרשים מהמערכות. התייחסות התקינה לדירוג SIL במערכות לגילוי גז מופיעה בעיקר במערכת התקינה האירופאית.

בהיבט האירופאי ובהתייחס לרמות SIL, אחד התקנים החשובים והרלוונטיים ביותר הוא התקן האירופאי EN 50402, העוסק ברכיבים חשמליים לגילוי ולמידת גזים דליקים או רעילים או חמצן ובפרט בדרישות בדבר התפקוד הבטיחותי של מערכות לגילוי הגזים. תקן EN 50402 הוא תקן מוצר הישים עבור מערכות לגילוי גז והרכיבים או הפעולות הבאים בה: דוגם גז, גלאי, העברת סיגנל, מערכת בקרה (ובה קבלת נתונים, עיבוד נתונים והעברת פלט). תקן זה אינו כולל את הפעלת המכשור הנדרש לפעולה בעקבות גילוי הגז (האקטואטור). התקן מפרט את הדרישות למערכות לגילוי גז כך שתעמודנה ברמות ה-SIL השונות, 1 עד 3 (כאשר על פי האמור בתקן, רמת SIL 4 אינה ישימה עבור מערכות לגילוי גז). תקן EN 50402 מבוסס על התקן הראשי EN 61508 העוסק באופן כללי במערכות חשמל בעלות פונקציה בטיחותית.

לצד תקן EN 50402, תקן נוסף העוסק בגלאי גזים ובתפקודם הבטיחותי, המבוסס גם כן על התקן הראשי EN 61508, הוא תקן EN 50271. האחרון מפרט דרישות בסיסיות למערכות לגילוי גזים בהיבטים דיגיטליים ובתחום התכנה. נוסף על כך, התקן מפרט דרישות נוספות, מעבר לדרישות הבסיסיות המחויבות בתקן, על מנת שהמערכת תעמוד ב-SIL 1. דרישות נוספות אלו, לעמידת המערכת ב-SIL 1, מתאימות למערכות פשוטות יחסית (למשל מערכת בהם אין יתירות לגלאים ואלו מחוברים בטור לרכוז אחת). עבור מערכות מורכבות הנדרשות לעמוד ברמת SIL 1 ועבור מערכות הנדרשות לעמידה ב-SIL 2 או ב-SIL 3 התקן הרלוונטי ליישום הוא תקן EN 50402.

מלבד לתקנים העוסקים ב-SIL קיימים תקנים "מטאורולוגים" העוסקים במערכות לגילוי גזים מסוגים שונים, בהם תקן EN 45544 למערכות לגילוי גזים רעילים, תקן EN 50104 למערכות

לגילוי גזי דוחקים חמצן ותקן (1,4) EN 60079-29 (הקיים גם באופן זהה כתקן ישראלי - 60079 (1,4) 29) לגילוי גזים דליקים (ואווירה נפיצה). תקנים אלו נוגעים לביצועי המערכות לגילוי גזים, בתנאים תפעוליים רגילים ומבטיחים כי יהיו הולמים. תקנים EN 50271 ו-EN 50402 מוסיפים על דרישות התקנים המטאורולוגיים ומפנים אליהם. למעשה, בכדי שמערכת תעמוד בדרישות תקן EN 50402, עליה לעמוד גם בדרישות התקן המטאורולוגי הרלוונטי לה. זאת ועוד, עמידה של המערכת בדרישות התקן EN 50402 מחייבת כי המערכת תעמוד גם בדרישות תקן EN 50270 העוסק בתאימות האלקטרומגנטית של המערכת.

1.4 היישום האירופאי לתקינה בנושא SIL

התקינה המחייבת באזור הכלכלי האירופאי נקבעת על פי דירקטיבות אירופאית השונות. דירקטיבות אלו מהוות את דרישות המינימום המחייבות למוצרים בכדי שניתן יהיה לסחור ולעשות בהם שימוש באירופה. בין הדירקטיבות הרלוונטיות לנושא מערכות לגילוי גזים, דירקטיבת ATEX (Atmosphères Explosibles) והדירקטיבה להתאמה אלקטרומגנטית.^{4,5} כמפורט בדירקטיבות אלו, ישנה חובה בסימון המוצרים המתאימים לשוק האירופאית בתיוג CE (Conformité Européenne). תיוג זה מבטיח המוצר עומד בדרישות המינימום של הרגולציה האירופאית.

באופן פרטני, אחד התקנים המשמש ליישום דירקטיבת ATEX הוא תקן EN 50271. משמעות הדבר היא כי כל מערכת להצבת גלאים נדרשת בעמידה בדרישות תקן EN 50271, על מנת שתוכל לעמוד בדרישות דירקטיבת ATEX ובהתאם לקבל את תיוג ה-CE. חשוב להבהיר כי תיוג CE אינו מבטיח כי מערכת לגילוי גזים עומדת ברמת SIL 1, אלא שהמערכת עומדת בדרישות המינימום של התקן בלבד (כאמור, תקן EN 50271 קובע תנאים לעמידת המערכת ב-SIL 1 כדרישות נוספות, שאינן מחויבות לצורך עמידה בתקן).

2 הנחיות לבחירת מערכות גז להתקנה

מחזיק בחומרים מסוכנים הנדרש בהתקנה של גלאים לגילוי גז יפעל על פי האמור בפרק זה לצורך בחירה ותכנון של המערכת לגילוי הגז אותה הוא מעוניין להתקין.

1. גלאים ורכזות יהיו בעלי סימון CE המעיד על עמידה המערכת ברגולציה האירופאית המחייבת.

4 Directive 2014/30/EU of the European Parliament and of the Council of 26 February 2014 on the harmonisation of the laws of the Member States relating to electromagnetic compatibility (recast)

5 Directive 2014/34/EU of the European Parliament and of the Council of 26 February 2014 on the harmonisation of the laws of the Member States relating to equipment and protective systems intended for use in potentially explosive atmospheres (recast)

2. מכשור של מערכות לגילוי גזים המיועד לשימוש באווירה העלולה להיות נפיצה ובפרט גלאים לגזים דליקים יעמדו בדרישות המתאימות של דירקטיבת ATEX.
3. גלאים יעמדו בתקנים המפורטים בפרק 1.3 לעיל.
4. במידה והגלאים הקיימים אינם עומדים בתקנים המפורטים לעיל, המפעיל יציג לאישור הממונה חלופה שוות ערך תוך פירוט הפערים בין התקנים של הגלאים שיש ברשותו לבין אלו המתוארים במדריך.
5. מערכת לגילוי גזים דליקים ורעלים הקיימת במפעל, תעמוד לכל הפחות בדירוג SIL 2, לפי תקן EN 50402. הממונה רשאי לקבוע דירוג מחמיר (SIL-3) או דירוג מקל (SIL-1), בהתאם להערכת הסיכונים ובכפוף לנימוק. במידה והמערכת הקיימת במפעל אינה עומדת בדירוג SIL, המפעיל יציג לאישור הממונה חלופה שוות ערך, ובכלל זה את רמת האמינות של המערכת הקיימת ואת זמינות המערכת. ככל שהחלופה תאושר על ידי הממונה, יקבעו תנאים פרטניים מתאימים להיתר הרעלים.
6. על בעל המערכות לגילוי גזים להחזיק אישור ממעבדה מוסמכת לכיול הגלאים ולבדיקת עמידתם בתקנים.

3 הנחיות להצבת גלאים

לצד בחירת גלאי מתאים בעל רמות SIL מתאימות ישנה חשיבות גדולה ביותר להצבתו במיקום מתאים, כך שיזהה דליפה במהירות וביעילות. בפרק זה מובאים הנחיות כלליות בדבר אופן בחירת המיקומים להצבת הגלאים במפעל.

יובהר כי בנוסף להנחיות הכלליות המפורטות בפרק זה, את קביעת הצבת הגלאים יש לקבוע בהתבסס על ניתוח פרטני ומקצועי על ידי מומחה או איש מקצוע בעל ידע מתאים ותוך התייחסות לתהליכים הרלוונטיים באתר. אין לראות באמור בפרק זה כתחליף לביצוע ניתוח סיכונים מפורט ולקביעת מיקום הגלאים לפי ניהול סיכונים מתאים.

את מיקומי הגלאים שנקבעו והליך קביעתם יש לתעד ולשמור במסגרת "תכנית להצבת גלאים". בתכנית זה יופרט לגבי כל גלאי, סוג הגלאי, החומרים והריכוזים אליהם הוא מכויל ואת הנימוקים לבחירת מיקומו, בפרט במקרים שעל פי ניתוח פרטני ומעמיק שבוצע, הוחלט על מיקום גלאים בשונה מהאמור פרק זה.

1. את גלאי הגז יש למקם באזורים בהם הגז צפוי להיאסף או להיווצר ענן גז בעת דליפה. לצורך כך בעת קביעת מיקום הגלאים יש לבחון ולהתייחס לנושאים הבאים:
 - הסיכוי לדליפת גז (תקלה, כשל בתפעול, שינויים במרכיבי החומרים ועוד).
 - כמות הגז העשויה להיפלט.

- אופן תנועת הגז בעת דליפה והגורמים המשפיעים עליה ובכלל זה: תנאים סביבתיים כגון (מהירות וכיוון רוח, מתקני אוורור, טמפרטורה ועוד) וכן קצבי דילול, דיפוזיה ואוורור.
 - צפיפות הגז ויחס משקלו לאוויר.
2. את הגלאים יש למקם בקרבה למקורות פליטה אפשריים, כגון: מיכלי גז מטלטלים, מכשירים בהם נעשה שימוש בגזים, מדחסים, נשמים, מחברים, פלאנגים, אטמי משאבות, מיכלי גז בלחץ, צנרות גז, מונים, חיבורי מילוי וריקון ועוד.
 3. על אף האמור בסעיף 2 לעיל, במקרים של הצבת גלאים ליד מתקנים ומכשור בלחץ גבוה, יש למקם את הגלאי במרחק מתאים המאפשר מדידה של היווצרות ענן גז בעת דליפה. הצבה במיקום סמוך מדי למקור הדליפה האפשרי עשויה להביא לידי כך שדליפה תעבור ליד הגלאי בזרם סילוני ולא תקלט על ידו ואילו ענן הגז יוצר באזור מרוחק מהגלאי.
 4. יש למקם את הגלאים בהתאם לצפיפות החומר (משקלו ביחס לאוויר – האם קל או כבד ממנו) כאשר ככלל:
 - א. גלאים של גזים כבדים ימוקמו בגובה נמוך.
 - ב. גלאים של גזים קלים ימוקמו בגובה גבוה (יש לשקול את האפשרות להשתמש במשפך המכוון את הגזים לכיוון הגלאי).
 - ג. בבחינת צפיפות הגזים יש לקחת בחשבון את תנאי התהליך המשפיעים על צפיפות הגז ובראשון טמפרטורת הגז (למשל גזים מסוימים, כדוגמת אמוניה ובוטאן, שכבדים מהאוויר בטמפרטורת החדר, יהיו דווקא קלים ממנו בטמפרטורות גבוהות ובתאני לחץ מתאימים).
- בטבלה הבאה מפורטים מספרים גזים נבחרים ומשקלים ביחס לאוויר.

גזים (ואדי נוזלים) נבחרים ומשקלים ביחס למשקל האוויר

משקל ביחס לאוויר	גז
קל מהאוויר	אמוניה
כבד מהאוויר	בוטאן
כבד מהאוויר	פחמן דו חמצני
קל מעט מהאוויר	פחמן חד חמצני
קל מהאוויר	מתאן
כבד מהאוויר	כלור
כבד מעט מהאוויר	אתאן
קל מעט מהאוויר	אתילן
כבד מהאוויר	הפטאן
קל מהאוויר	מימן
כבד מהאוויר	מימן כלורי
קל מהאוויר	מימן ציאנדי

משקל ביחס לאוויר	גז
כבד מהאוויר	מימן גופרתי (H ₂ S)
כבד מעט מהאוויר	חנקן חמצני (NO)
כבד מהאוויר	חנקן דו חמצני
כבד מהאוויר	מתנול
כבד מהאוויר	פנטאן
כבד מהאוויר	פרופאן
כבד מהאוויר	גופרית דו חמצנית
כבד מהאוויר	טולואן

5. יש להתקין גלאים במקומות בהם הגז עלול להצטבר למשל, תקרה, חדרי מדרגות, חללי אחסון ואזורים אחרים אליהם הגז צפוי לנוע בעקבות צפיפותו ותנאי האוויר.
6. בנוסף למיקום גלאים בהתאם לאזורים בהם הגז צפוי להיאסף בעת דליפה (בהתבסס על למקור הדליפה, תכונות החומר, אוורור וכד'), גלאים לגזים רעילים וגלאי חמצן יש למקם ב"גובה נשימה" (הניתן לרוב לאפיון כגובה של 1.2-1.8 מטר מעל הרצפה).
7. יש למקם את הגלאים באופן שלא יהיו חשופים לנוזי מזג אוויר העלולים לפגוע בתפקודם כדוגמת גשם והצפות. הנחיה זו רלוונטית ביתר שאת לגלאים המוצבים מחוץ למבנים אשר לגביהם יש להשתמש במכשור מתאים.
8. למעט מקרים פרטניים וייחודיים יש למקם את הגלאים כך שהם פונים כלפי מטה. זאת על מנת להבטיח כי אבק ומים לא יצטברו מול החיישן.
9. לגלאים החשופים לשמש ישירה מומלץ לשקול שימוש בצלון מתאים.
10. ככל שרלוונטי מוצע לשקול, בין היתר, הצבת גלאי גז בתעלות אוורור מתאימות.
11. בעת התקנת גלאי מסוג open path infra-red, יש לוודא כי אין כל חסימה קבועה לקרן האינפרא-אדום. כמו כן, יש להבטיח כי הגלאי מותקן במיקום ובאופן שלא יהיה צפוי לתנודות.
12. מומלץ למקם לפחות גלאי אחד בכל חדר מכונות, ציוד, אחסון רלוונטי (היכן שעלולה להתרחש דליפה של הגז).
13. מומלץ לעשות שימוש בגלאים נוספים למדידה הריכוז הכללי בחללים בנוסף לגלאים פרטניים הנמצאים בקרבת מקורות הפליטה הסבירים העיקריים.
14. לאחר קביעת המיקום על פי האמור לעיל, יש לקחת בחשבון סוגיות של גישה לצורך תחזוקה וכיול. לעיתים שינוי קל במיקום הגלאי יביא לגישה טובה יותר אליו מבלי לפגוע בתפקידי הבטיחות.
15. את הריכוזים בהם על הגלאי להתריע (כמו גם החומרים אותם נועד לגלות) יש להתאים למקרה, לצורך ולמטרת הגילוי.

4 תחזוקה

יש לבצע בדיקות, תיקונים וכיולים בתדירות המתאימה למערכת בהתאם להוראות היצרן.