

תאריך: 21.8.16

סימוכין: 237-16

מאשר: אבי חיים- רא"ג שפכי תעשייה, קרקעות מזוהמות ודלקים.

גרסה: 1

הנחיות מקצועיות למיגון מבנים בפני חדירת גזי קרקע



תוכן עניינים

3.....	הקדמה
3.....	הגדרות
4.....	רקע
4.....	תחולה
5.....	אמות מידה לדרישת מיגון מבנים
6.....	מגבלות על שימוש בחללים תת קרקעיים בהם נדרש מיגון
8.....	שלבי תכנון וביצוע מיגון
8.....	1. שלב א' – חקירה לבחינת הצורך במיגון
9.....	2. שלב ב' – ניתוח ממצאי תכנית החקירה, קביעת הצורך במיגון
9.....	2.1. מבנה קיים
10.....	2.2. מבנה מתוכנן
11.....	2.3. פטור ממיגון
11.....	3. שלב ג' – תכנון מערכת המיגון
11.....	3.1. תכנון פריסת מערכת המיגון
13.....	3.2. תכנית מיגון
14.....	4. שלב ד' – ביצוע וניטור תקופתי
14.....	4.1. ביצוע
14.....	4.2. ניטור תקופתי
14.....	5. שלב ה' – התקנת מערכות המיגון – אוורור ואיטום
15.....	5.1. מערכות אוורור
15.....	5.1.1. פטור מהתקנת מערכות אוורור
15.....	5.1.2. סוגי מערכות אוורור
26.....	5.2. מערכות איטום
26.....	5.2.1. קריטריונים לבחירת חומרי איטום
28.....	5.2.2. הכנת השטח לפני התקנת מערכת איטום
29.....	5.2.3. התקנת מערכת איטום
30.....	5.2.4. סוגי מערכות האיטום

הקדמה

זיהום הקיים בקרקע יכול להימצא בשלוש פאזות –

- פאזה ספוחה – מזהם הספוח לקרקע באופן שמתקיים קשר כימי בין הקרקע ובין החומר המזהם.
- פאזה חופשית (נוזל) – מזהם שאינו ספוח לקרקע ונמצא בחללי הקרקע. במצב זה המזהם ינוע באופן מהיר בתת הקרקע ויצטבר במי התהום כפאזה חופשית.
- פאזה גזית – מזהם במצב צבירה גזי, הכלוא בתוך חללי הקרקע.

המעבר בין הפאזות, מתרחש על בסיס שיווי משקל כימי בין החומרים המזהמים לבין הקרקע ומי התהום. כאשר מדובר בחומרים בעלי פוטנציאל נדיפות לחללי הקרקע (מזהמים שהם נדיפים או חצי נדיפים), קיימת אפשרות להימצאות מזהמים בפאזה גזית (להלן – "גז קרקע"). גזי הקרקע נודדים בחללי הקרקע ועלולים לחדור למבנים דרך סדקים, חורים ופתחים ברצפה ובקירות המבנה, מה שמוכר כ- Vapor Intrusion (להלן – "VI"). חדירת גזי קרקע רעילים ומסרטנים למבנה מסכנת את בריאות הציבור השוכן במבנים אלה. התופעה נפוצה בחללים תת-קרקעיים כגון מרתפים וחניונים, אך מתקיימת גם במבנים על קרקעיים המצויים במגע ישיר עם הקרקע.

במסגרת הנחיות אלו, ייקבעו השיקולים המקצועיים לדרישת מערכות אוורור ואיטום (להלן: "מיגון"). כמו כן, יעסקו הנחיות אלה גם באופן התקנת המיגון. יובהר, כי הנחיות אלה מתייחסות הן למבנים קיימים והן למבנים מתוכננים.

הגדרות

- "חומרים בעלי נדיפות מספקת" - חומרים כימיים בעלי משקל מולקולרי של 200 גרם/מול (g/mole) ופחות או בעלי לחץ אדים של 1 מ"מ כספית ומעלה או עם קבוע הנרי (המבטא יחס בין לחץ האדים של הכימיקל באוויר למסיסותו במים) גבוה מ- 1×10^{-5} atm-m³/mole או אם הריכוז בפאזה הגאזית של מרכיב טהור (pure component) חורג מערך הסף באוויר תוך-מבני או אם במי תהום, ריכוז הרוויה של האדים חורג מערך הסף באוויר תוך-מבני.
- "מסמך ה-IRBCA" או "IRBCA" – מתודולוגיה ישראלית להערכת הסיכון הנשקף מהזיהום בקרקע לקולטנים בסביבה. המסמך מפורסם באתר האינטרנט של המשרד להגנת הסביבה ועלול להתעדכן מעת לעת.
- "ערכי הסף למיגון" – ערכי הסף המפורסמים באתר המשרד להגנת הסביבה במסגרת מסמך ערכי סף לגזי קרקע וחללי מבנים של מדינת ניו ג'רסי NJDEP MASTER TABLE

GENERIC VAPOR INTRUSION SCREENING LEVELS, או מסמך חלופי שיפרסם
המשרד באתר.

- "ערכי סף מבוססי סיכון" – ערכי הסף שנקבעו במסמך IRBCA, בטבלה 7-2(a) בעמודה שכותרתה Indoor Inhalation of Vapor Emissions, על עדכוניה מעת לעת.

רקע

עיסוק בחומרים מסוכנים בתעשייה, בחקלאות, בתחנות תדלוק וכיוצא בזה עלול להוביל לזיהום קרקע ומי תהום בחומרים אורגניים מזהמים. חומרים אלה כוללים חומרים אורגניים רעילים ומסרטנים שחלקם נדיפים (להלן: "VOC") וחלקם חצי נדיפים (להלן: "S-VOC"), לרבות פחמימני דלקים לא-מוכלרים כגון BTEX, PAHs, נפתלן וכן פחמימנים מוכלרים כגון PERC, TCE, CCl₄ וניל כלוריד, וכן תוצרי פירוק נוספים של פחמימנים מוכלרים, חומרי הדברה ו-PCBs. ישנם גם מזהמים אנאורגניים נדיפים כגון כספית, עופרת וסולפיד.

כאשר קיימים גזים בקרקע, תיתכן היווצרות ענן גז קרקע (vapor cloud) מתחת או בסמיכות למבנה. כאשר קיימים ענני גזי קרקע של חומרים אורגניים נדיפים או חצי נדיפים בעלי נדיפות מספקת (להלן – "גזי קרקע נדיפים") בריכוז העולה על ערכי הסף למיגון - קיים פוטנציאל לחדירת גזי קרקע למבנים (להלן: "פוטנציאל VI"). פוטנציאל VI מהווה סיכון לאדם שישהה במבנה שמעל ובסמוך לעננת הגז. במקרים אלה, ניתן להפחית את הסיכון לאדם לרמה קבילה באמצעים שונים בהם טיפול במקור הזיהום ומיגון של המבנה להפחתת חדירת הגזים אליו (mitigation).

יצוין, כי ככל שתעשה בדיקה פרטנית באתר, ובהתאם להערכת סיכונים לפי ה-IRBCA, שתכלול את סוג המזהם, סוג המבנה, החלפות האוויר במבנה, השימושים בו וכו', ייקבעו ערכים פרטניים מבוססי סיכון עבור אותו מזהם (ערכי Tier 1 או ערכים פרטניים Tier 2).

מומלץ לכל רוכש או שוכר נכס, שלגביו עלול להתעורר חשד כי הוא בנוי או עתיד להיבנות על קרקע מזוהמת, או שהוא כולל מערכת למיגון מפני גזי קרקע, לבדוק אפשרות לקיומה של קרקע מזוהמת או זיהום, בין היתר באמצעות בדיקה בטאבו. יודגש בהקשר זה, כי לא קיים כיום הסדר ייעודי להערת אזהרה בטאבו בנושאי קרקעות מזוהמות, וברוב המקרים הרלבנטיים לא קיים רישום כאמור, אך ניתן לערוך בירור בדרכים חלופיות.

תחולה

כאמור לעיל, הנחיות אלה מתאימות הן למבנים קיימים והן למבנים מתוכננים. ככלל, הדרישות במסמך זה, יוטמעו במסגרת הליכי התכנון ורישוי הבניה. כמו כן, הנחיות אלה יוכלו לשמש את

הרשות להסמכת מעבדות או כל גוף מקצועי אחר, לצורך הסמכת מעבדות או גורמים מקצועיים אחרים, לצרכים שונים הנוגעים במיגון מבנים נגד חדירת גזי קרקע.

יודגש, כי מסמך זה מהווה גם כלי עזר מקצועי שמטרתו לפרט את האופן שבו יש לבצע מיגון מבנים מפני חדירת גזי קרקע, כאשר זה נדרש במסגרת הפעלת סמכויות המשרד לפי כל דין, לרבות חוק החומרים המסוכנים, התשנ"ג – 1993, חוק רישוי עסקים, התשכ"ח – 1968, וחוק המים, התשי"ט – 1959.

למען הסר ספק, אין בהנחיות אלה משום הטלת אחריות על גורם כלשהו שלא על פי סמכות שבדין.

אמות מידה לדרישת מיגון מבנים

ככל שקיימים גזים נדיפים בקרקע, בערכים העולים על ערכי הסף למיגון, וקיימים מסלולי הסעה למבנים קיימים או מתוכננים בהם צפויה לשהות אוכלוסייה, קיים פוטנציאל VI המחייב טיפול במקור או מיגון או שניהם, לפי המפורט בהנחיות אלה.

ככלל, יכולים להיות שני גורמים להימצאות גזים במבנים – האחד, פעילות שנעשתה בשטח האתר כאשר המבנה נמצא מעל מוקד הזיהום או בסמוך לו, והשני, נדידת גזים או הסעת גזים במי התהום כאשר המבנה מושפע מגזים אלה למרות שהוא לא נמצא מעל או בסמוך למקור הזיהום. גורם נוסף, שאינו רלבנטי להנחיות אלה, הוא זיהום בחלל המבנה הנגרם מכניסת אוויר מזוהם מבחוץ לתוך המבנה או זיהום הנגרם מחומרים המצויים בתוך המבנה אשר משחררים בתוכם גזים.

יובהר, כי מיגון מבנים מפחית את הסיכון מגזי הקרקע לאוכלוסייה השוהה בתוך המבנה, אך לעיתים מיגון אינו כלי מספיק, ונדרשות פעילויות נוספות להפחתת הסיכון, כפי שיפורט להלן.

כאשר מוקד הזיהום נמצא מתחת או בסמוך למבנה תידרש בחינת הצורך לטפל במוקד הזיהום עצמו בנוסף או במקום מיגון המבנה. כאשר מוקד הזיהום אינו נמצא בקרבת המבנה או באחריות בעל המבנה או הגורם המחזיק בו, יאפשר המשרד מיגון בלבד, ובלבד שערכי הזיהום אינם עולים על פי 1000 (3 סדרי גודל) מערכי 1 - Tier שנקבעו במסמך ה-IRBCA.

בכל מקרה, ומכל סיבה שהיא, כאשר ערכי זיהום הגז בקרקע עולים על פי 1000 (3 סדרי גודל) מערכי 1 - Tier שנקבעו במסמך ה-IRBCA, יש לטפל בזיהום הגז בקרקע, בנוסף למיגון המבנה, ואם מדובר במבנה עתידי – טרם בנייתו. לדוגמה – עבור TCE נקבע ב-1 של ה-IRBCA ערך חדירה למבנה מגורים של 76.9 מיקרוגרם לקוב. לכן יש להפחית את ריכוזי הגז בקרקע לריכוז מקסימאלי של 76,900 מיקרוגרם לקוב בנוסף למיגון. הטיפול המקדים בשילוב המיגון, יבטיח הגנה טובה יותר על בריאות הציבור בהתאם לעיקרון הזהירות המונעת.

כאשר קיים פוטנציאל VI, יש לבחון את הצורך בביצוע מיגון וטיפול מקדים ולבחור את שיטת המיגון המתאימה. לבסוף יש ליישם את שיטת המיגון לפחות לפי הקבוע בהנחיות אלה, על מנת להפחית את הסיכון לאוכלוסייה השוהה במבנה הממוגן, וזאת בשלבים כמפורט להלן –

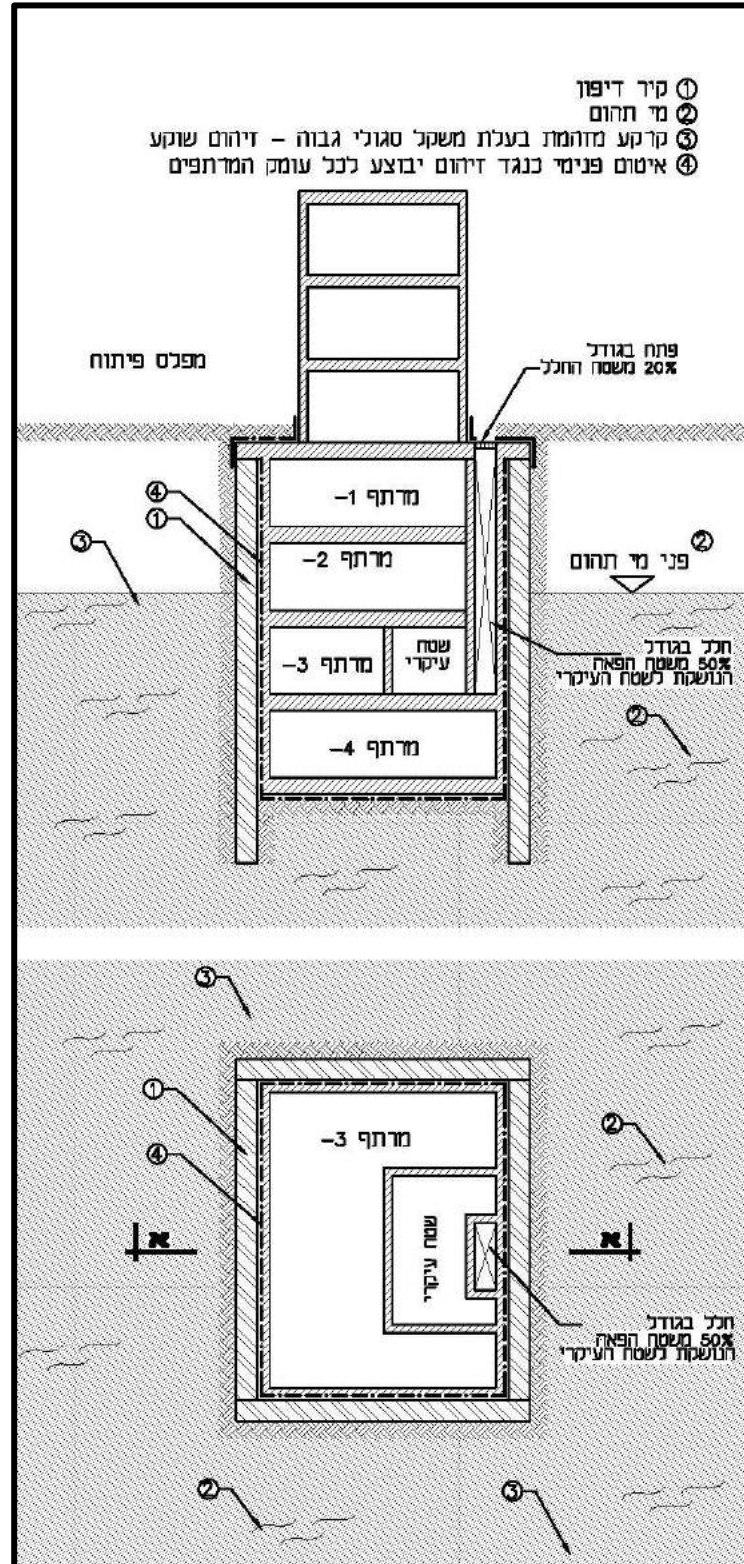
- א. חקירה לבחינת הצורך במיגון.
- ב. ניתוח ממצאי תכנית החקירה, קביעת הצורך במיגון.
- ג. תכנון מערכת המיגון – בחירת מערכת המיגון המתאימה, לרבות מערכות אוורור ואיטום.
- ד. ביצוע, ניטור ודיווח
- ה. התקנת מערכות המיגון – אוורור ואיטום.

מגבלות על שימוש בחללים תת קרקעיים בהם נדרש מיגון

כאשר נדרש מיגון של חללים תת קרקעיים, אין לקיים שהייה של אוכלוסייה מעל לארבע שעות ביממה, אלא אם הגורם המאשר במשרד אישר זאת מראש, ובכפוף לאמור להלן:

- בנוסף למערכת המיגון – יתוכנן חלל אוויר היקפי לקירות התת קרקעיים בשטח כולל של 50% מסך שטח הפאה, כאשר פתח לכניסת האוויר יהווה 20% משטחו של החלל כאשר עבור כל חלל יהיו 2 פתחים במינימום. כלומר: פאה באורך 100 מ' ידרש 50 מ' של חלל אוויר המחולק באופן שווה לאורך הפאה, רוחב מינימאלי של החלל לא יפחת מ- 20 ס"מ ובלבד שיאפשר כניסת אוויר צח באופן רציף.
- חלל האוויר יעשה תמיד בין מערכת האיטום האנכית לקיר המבנה הפנימי כלומר: אין מעבר של גזים מהקרקע לחלל האוויר. חלל זה יכול לשמש גם כחצר אנגלית בהתאם לתכנון האדריכלי.
- תכנון החלל הנ"ל יבוא לידי ביטוי בתכנון הראשוני של המבנה ויוגש לאישורו של האגף עוד בזמן התכנון.

איור מס' 1: תרשים הנחיות לשהיית אוכלוסיה בחללים תת קרקעיים ממוגנים



שלבי תכנון וביצוע מיגון

1. שלב א' – חקירה לבחינת הצורך במיגון

כאשר קיים אתר החשוד כמזוהם בגזי קרקע בהתאם לסקר ההיסטורי שבוצע במקום, דהיינו התקיימה באתר פעילות שכללה שימוש בחומרים נדיפים, יש לבצע חקירת גזי קרקע לקביעת פוטנציאל VI. זאת, במטרה לבדוק את קיומם של גזי קרקע, סוג הגזים, מסלולי ההסעה והקולטנים הרלבנטיים. קולטנים לעניין הנחיות אלה, הם מבנים קיימים או מתוכננים לשהות אוכלוסייה. לעניין הנחיות אלה, שהות אוכלוסייה היא שהות במבנה סגור העולה על ארבע שעות ביממה, למעט שהות עובדים החשופים במסגרת עבודתם לחשיפה הדומה במהותה לחשיפה לגזי הקרקע, למשל עובדי תדלוק בתחנות דלק.

שלבי ביצוע חקירה לבחינת פוטנציאל VI ובחינת הצורך במיגון וטיפול מקדים :

1. בדיקת קיומם של מבנים באתר – יש לבדוק האם קיימים מבנים או מתוכננים מבנים באתר בהם צפויה לשהות אוכלוסייה (להלן – "מבנים").

2. בדיקת קיומם של גזי קרקע בעלי נדיפות מספקת באתר –

א. במבנה מתוכנן – יש לבצע דיגום גז קרקע אקטיבי בשטח המיועד לבניה.

ב. במבנה קיים – יש לבצע דיגום בהתאם למפורט להלן –

▪ דיגום גז קרקע אקטיבי בסמוך למבנה – כאשר התעורר חשד לפוטנציאל VI במהלך חקירת קרקע בסמוך למבנה.

▪ דיגום תוך מבני – יידרש במקרים בהם התעורר חשד לזיהום אוויר תוך מבני בשל קיום גזי קרקע בסמוך למבנה או בשל תלונות אודות תופעות לוואי שעשויות להיגרם מזיהום כאמור (כאבי ראש, ריח וכדומה).

ככל שיימצאו גזי קרקע מעל לערכי הסף למיגון מסביב למבנה (soil gas screening levels) או ככל שיימצאו ריכוזי גזים בחלל המבנה העולים על ערכי הסף למיגון (indoor air screening levels), תידרש הכנת תכנית חקירה לתיחום הזיהום שתוצאותיה ייקבעו את הצורך במיגון ואופן המיגון. החקירה תתבצע עד לגבול המגרש בו קיים או מתוכנן המבנה, ולכל היותר עד לעומק של 1.5 מטרים מתחת למבנה, לרבות מי תהום מזוהמים, ועד לרדיוס של 10 מטר מהמבנה. החקירה תעשה על פי תכנית חקירה שתאושר על ידי המשרד ולפי ההנחיות המקצועיות של המשרד לעניין סקר קרקע. בנוסף על האמור תכלול **תכנית החקירה** מענה לשאלות המפורטות להלן –

- האם מתוכנן מבנה חדש או מדובר במבנה קיים?
- למה משמש המבנה (מגורים/מסחר/תעשייה/מעורב)?
- האם המבנה מאוכלס או מתוכנן לשהיית אוכלוסייה בקביעות? ומה משך החשיפה המקסימלי של השוהים השונים?



- האם קיימים או מתכוננים חללים תת-קרקעיים, למה הם משמשים ומה תדירות החלפות האוויר הצח בהם?
- מה כמות החלפות האוויר הצח הצפויות במבנה ואופן ביצוע החלפות אוויר אלה (פסיבי ואקטיבי)?
- האם המבנה כולל או מתוכנן לכלול מחיצות פנימיות ואם כן כמה החלפות אוויר צח צפויות בכל חלל פנימי?
- האם המבנה נמצא או מתוכנן מיד מעל קרקע מוליכה (חול גס, אבנים, חצץ) כך שמועד יותר לחדירת גזי קרקע?
- מהם ריכוזי הגזים בקרקע? וככל שנמדדו גזים בחלל המבנה – מה ריכוז הגזים במבנה?
- האם קיימות או מתוכננות מעליות או שדרת תשתיות העולות מתת הקרקע למבנה?

לאחר איסוף כל המידע התומך, ניתן לבצע סקר סיכונים ספציפי לאתר לפי הנחיות IRBCA והרצת מודל Johnson & Ettinger (להלן: "מודל J&E"), פירוט המודל **בנספח א'** להנחיות אלה. במידה ויש סיכון החורג מערכי הסיכון הפרטניים שנקבעו לפי הסקר, נדרש מיגון המבנה בהתאם להנחיות אלה.

2. שלב ב' – ניתוח ממצאי תכנית החקירה, קביעת הצורך במיגון

לאחר השלמת החקירה בהתאם לתכנית החקירה, יש לנתח את הממצאים לצורך קביעת הצורך במיגון ותכנון המיגון לפי הנדרש, לפי המפורט להלן –

2.1. מבנה קיים

1. אם נמצא בחקירה שאין חריגה מערכי הסף למיגון מתחת או בסמוך למבנה בדיגום מייצג ואמין שנערך באתר, אין צורך למגן את המבנה או לבצע ניטור תקופתי.
2. אם נמצא בחקירה כי קיימים גזי קרקע מעל לערכי הסף למיגון מסביב למבנה (SGSL - soil gas screening levels) או שקיימים ריכוזי גזים בחלל המבנה העולים על ערכי הסף למיגון (IASL - indoor air screening level), יש לקבל החלטה בדבר הצורך במיגון או בהמשך ניטור בהתאם לרמות החריגה וכמפורט בטבלה¹ שלהלן:

¹ מקור הטבלה New jersey department of environmental protection site remediation program: Vapor Intrusion Technical Guidance March; 2013

טבלה 1: מטריצת קבלת החלטות למיגון מבנה קיים

ריכוזי מזהמים באוויר תוך-מבני			
>IASL (יש חריגות מערכי סף לאוויר תוך מבני)	<IASL ¹ (אין חריגות מערכי סף לאוויר תוך מבני)		
אם לא זוהה מקור מזהמים בתת-הקרקע, יונח שהמקור לזיהום אינו מתת הקרקע ולא תידרש פעולה נוספת הקשורה למיגון	לא נדרשת פעולה נוספת	<SGSL ² (אין חריגות בגזי הקרקע)	ריכוזי מזהמים בגז קרקע תת-ריצפתי
נדרש מיגון או פעולות אחרות להפחתת הריכוזים באוויר	נדרש ניטור אוויר תוך – מבני	SGSL >עד 10X SGSL (ערך גזי הקרקע אינו עולה על פי 10 מערך המיגון למבנים)	
נדרש מיגון או פעולות אחרות להפחתת הריכוזים באוויר	נדרש ניטור אוויר תוך מבניים תקופתי. במקרים ספציפיים יידרש מיגון או פעולות אחרות להפחתת הריכוזים בקרקע	10X <SGSL (ערך גזי הקרקע עולה על פי 10 מערך המיגון למבנים)	

3. ניטור מבנים תקופתי – כאשר נדרש ניטור לפי הקבוע בטבלה, יש לבצעו כל שנתיים עד לקבלת 3 בדיקות ברצף שהינן מתחת לערכי הסף IASL (תקופה של 6 שנים). כאשר יימצאו חריגות מערכי הסף באחת הבדיקות נדרש להתקין מערכת אוורור (ראה שלב ג') ולהפעילה להפחתת הריכוזים עד לירידה מערכי הסף.
4. ככל שזוהה ותוחם מקור הזיהום, ניתן לקבוע את הצורך במיגון על בסיס ערכים מבוססי סיכון לפי Tier-1 של מסמך ה-IRBCA, או Tier-2.

2.2. מבנה מתוכנן

אם קיימת חריגה מערכי הסף למיגון (SGSL - soil gas screening levels) בשטח המבנה המתוכנן נדרש מיגון. ככל שזוהה ותוחם מקור הזיהום, ניתן לקבוע את הצורך במיגון על בסיס ערכים מבוססי סיכון לפי Tier-1 של מסמך ה-IRBCA, או Tier-2.

2.3. פטור ממיגון

ניתן לתכנן הקמת מבנה, באזור בו נדרש מיגון לפי האמור לעיל, ללא התקנת מערכת מיגון, בכפוף לאישור המשרד להגנת הסביבה, כל עוד מתקיימים התנאים המפורטים להלן:

- חלל השהיה מוגבה ואינו במגע עם הקרקע, למשל הבניין עומד על עמודים.
- מבנה שבו הקומה הראשונה פתוחה לפחות בצד אחד ומאווררת היטב, כך שאין סיכון להצטברות גזים בתוך חלל המבנה (לפחות 8 החלפות אוויר בשעה).

יצוין, כי גם אם יינתן פטור כאמור, כל התשתיות הקיימות בקרקע הקשורות למבנה באופן ישיר (כגון פירי מעליות, שוחות, צנרת ביוב וכד') , ימוגנו כנדרש בהנחיות אלו.

3. שלב ג' – תכנון מערכת המיגון

יש לבחור מתוך שיטות המיגון המוצעות במסמך זה (שלב ד') ולהתאימן לתנאי האתר ולמבנה. יש לבחון חלופות ולתעד את תהליך בחינת חלופות מערכות המיגון, יתרונות וחסרונות והרציונל לבחירת המערכת.

במקרים פרטניים יאושרו מערכות מיגון נוספות רק לאחר שאושרו ע"י האגף ובהתאם לכל השיקולים המפורטים במסמך זה.

לצורך בחירת המערכת המתאימה למבנה, יש צורך לבחון, על בסיס נתונים רב-שנתיים של גובה מפלס מי תהום באתר, האם רצפת המבנה תהיה טבולה כל השנה במי תהום. כמו כן, במקרים בהם המיגון הוא בשטח שאינו רווי, יש לוודא שאין בעיית ניקוז העלולה ליצור הצטברות מים סביב מערכת האוורור באופן שתהפוך ללא אפקטיבית.

יודגש כי מיגון כולל מערכת איטום ומערכת אוורור. מערכת איטום ללא מערכת אוורור לא תאושר. כמו כן, ככלל, לא יאושר אוורור ללא איטום, אלא במבנים קיימים בהם מגבלות האתר אינן מאפשרות ביצוע איטום.

3.1. תכנון פריסת מערכת המיגון

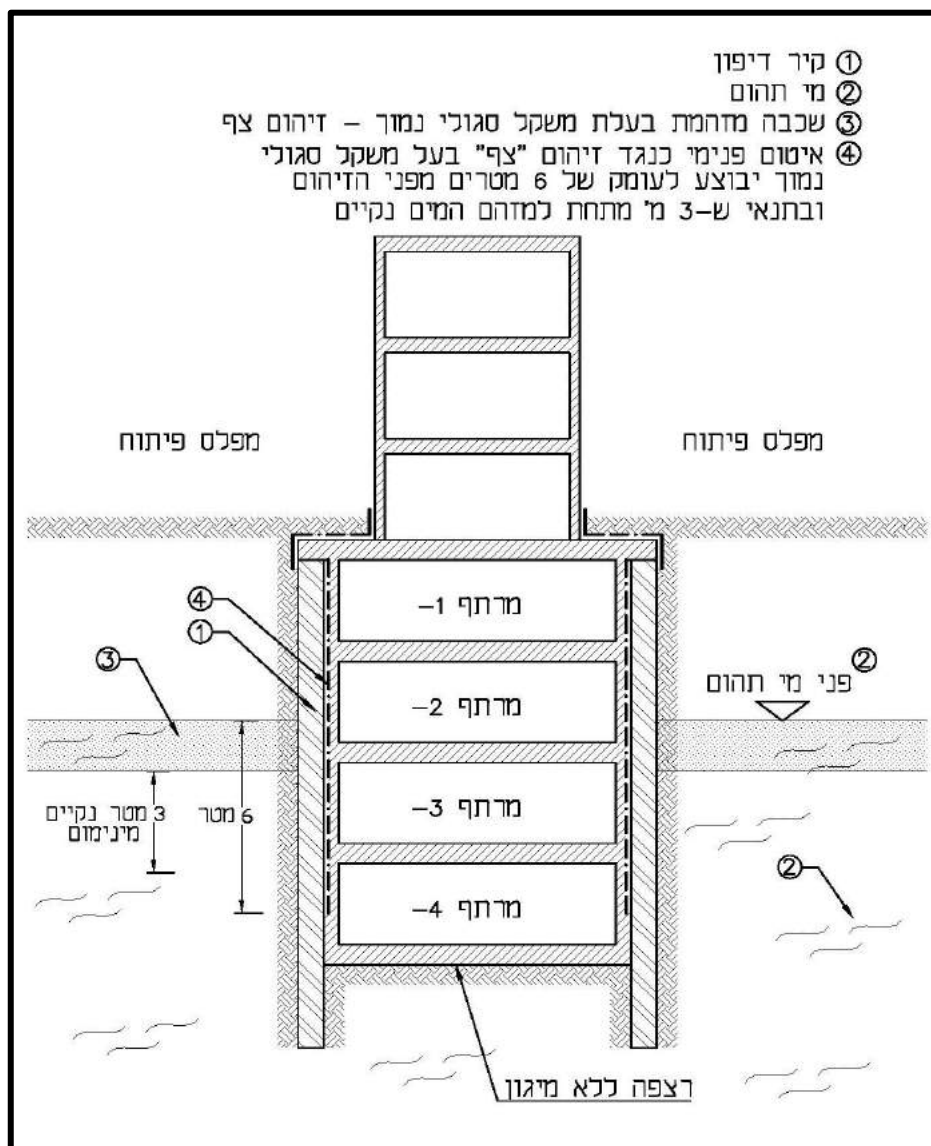
ישנם שלושה תרחישים להימצאות זיהום בתת הקרקע -

1. **מבנה הכולל חלל הנמצא בתווך הבלתי רווי** – נדרש מיגון לכל אורך קירות ורצפת המבנה התת קרקעי.
2. **מבנה הכולל חלל הנמצא בתווך הרווי והזיהום בעל משקל סגולי קל מהמים ($LNAPL^2$)** – במבנה הכולל חלל הנמצא בתווך הרווי (דרך קבע במי התהום), כאשר הזיהום בעל משקל סגולי קל כך שהזיהום מצטבר בחלק העליון של מי התהום, יש למגן את המבנה עד

² Light Non-Aqueous Phase Liquid - בעל משקל סגולי נמוך ממשקלם הסגולי של מי התהום (1 ג"ר/סמ"ק).

לעומק שלושה מטרים מתחתית נקודת הדיגום הנקייה במי התהום ולפחות 6 מטרים מעומק מפלס מי התהום.

איור מס' 2: תרשים איטום מבנה כאשר המזהם בעל משקל סגולי קל

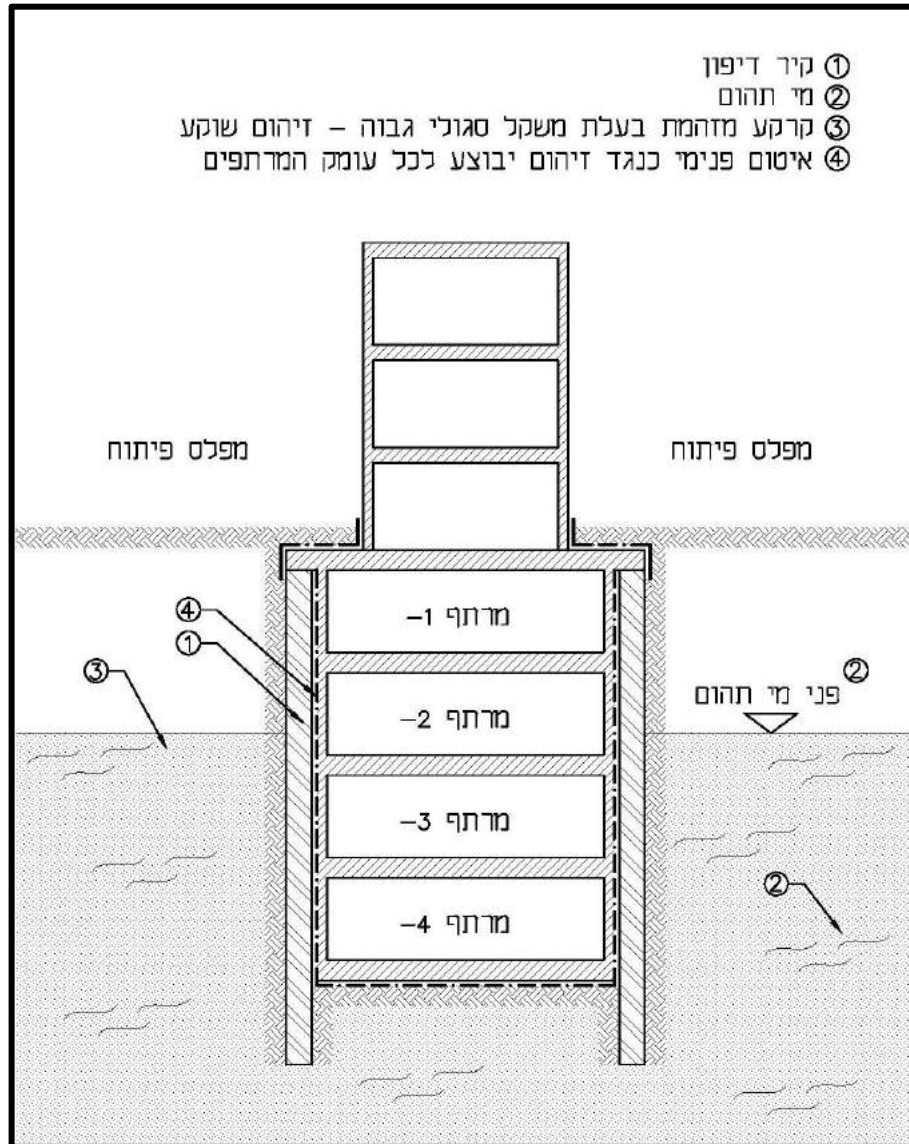


3. מבנה הכולל חלל הנמצא בתווך הרווי והזיהום בעל משקל סגולי כבד מהמים ($DNAPL^3$)

- במבנה הכולל חלל הנמצא בתווך הרווי (דרך קבע במי התהום), כאשר הזיהום בעל משקל סגולי כבד כך שהזיהום מצטבר בחלק התחתון של מי התהום, נדרש מיגון לכל אורך קירות ורצפת המבנה התת קרקעי.

³ Dense non-aqueous phase liquid - בעל משקל סגולי גבוה ממשקלם הסגולי של מי התהום (1 ג"ר/סמ"ק).

איור מס' 3: תרשים איטום מבנה כאשר המזהם בעל משקל סגולי כבד



3.2. תכנית מיגון

לאחר שהתקבלה החלטה על מיגון המבנה, תוכן תכנית מיגון. התכנית תכלול את אמצעי המיגון הנבחרים, שרטוטים, אמצעי ניטור ובקרה לאורך זמן ואמצעים למניעת פגיעה במערכת המיגון.

במידה שהמיגון נעשה בשלב הבניה של המבנה על מתכנן האיטום לוודא שכל הקבלנים וקבלני המשנה מודעים לתוכנית המפורטת למיגון המבנה ולא יפגעו במערכת שתותקן ובאיטום.

מומלץ לכל בעל נכס לקבל אישור בכתב מיועץ איטום שהוא מעסיק כי התכנית הוכנה בהתאם להנחיות אלה.

4. שלב ד' – ביצוע וניטור תקופתי

4.1. ביצוע

המיגון יבוצע בהתאם להנחיות אלה. מומלץ לכל בעל נכס לקבל אישור בכתב מיועץ איטום שהוא מעסיק, כי המיגון בוצע בהתאם להנחיות אלה, וכי בכל מקרה בו התגלתה סתירה מהותית בין הוראות היצרן לבין הנחיות אלה קיים היועץ בדיקה מקצועית מול גורמי המשרד להגנת הסביבה.

4.2. ניטור תקופתי

מעת התקנת המערכת יש לנטר ניטורי בקרה בתוך המבנה, כמפורט להלן:

1. ניטור ראשוני עד שנה מיום ההתקנה, ככל שתוצאת הניטור תהיה תקינה יש לחזור עליו כל עשר שנים.

2. ניטור מתמשך –

א. ככל שתימצא חריגה מערכי הסף בתוך המבנה יופעלו מערכות האורור ותעשה בדיקה חוזרת, אם יימצא שאין חריגות בתוך המבנה יש לחזור על הבדיקה לאחר שנתיים. אם שוב נמצא שאין חריגות יש לחזור על הבדיקה אחת לעשור. אם נמצא שיש חריגות יש להגביר את האורור ולחזור שוב על הבדיקה בהקדם האפשרי וחוזר חלילה עד להגעה לריכוז הנמוך מערך הסף בתוך המבנה. אם לאחר שלושה סבבים של הגברת מערכת האורור ודיגום חוזר, נותרו ערכים גבוהים מערך הסף בתוך המבנה, יש לבצע הערכת סיכונים לבחינת השפעת הריכוזים על האוכלוסייה השוהה במבנה, ולפעול בהתאם לתוצאות הערכת הסיכונים.

ב. במידה ויש כוונה לעשות שינוי במבנה או במערכות המיגון לרבות בעוצמת מערכות האורור יש להתחיל בניטור מתמשך.

על מנת לוודא כי המיגון משיג את ייעודו לאורך זמן, לאחר השלמת ביצוע המיגון, על בעל הנכס להחזיק תכנית מיגון, דו"חות התקנה, דו"ח סיום, דו"חות ניטור גז קרקע ואוויר תוך-מבני תקופתיים.

5. שלב ה' – התקנת מערכות המיגון – אורור ואיטום

פרק זה דן בהיבטים המקצועיים של התקנת מערכות המיגון עצמן (איטום ואורור). התקנת מערכות מיגון וטיפול במקור הזיהום הם מרכיבים משלימים בשיקום הקרקע. כאמור לעיל, יש להתקין את מערכת המיגון בכל חלקי המבנה הבאים במגע עם הקרקע (קירות ורצפה), גז הקרקע או מי תהום מזוהמים, הן במבנים עם חללים תת-קרקעיים (sub-slab) והן במבנים בהם רצפת המבנה הינה במגע ישיר עם הקרקע (slab-on-grade) ללא חלל. יודגש כי ככלל, במבנים חדשים כל מיגון יכול מערכת אורור ואיטום, ואילו במבנים קיימים, ניתן יהיה, בהתאם לתנאי השטח,

להסתפק במערכת אוורור בלבד. המערכת תתוכנן בהתאם למקור הזיהום, סוג הזיהום ורמת ריכוזי המזהמים באתר.

5.1. מערכות אוורור

פרק זה יסקור את מערכות האוורור הקיימות, מגבלותיהן ואופן התקנתן. מערכות אוורור עלולות לגרום להפרעה לסביבה, ובעיקר במבני מגורים עם מפוחים וצינורות פליטה המותקנים ליד דירות גג ועליות גג. לכן, בהתקנת והפעלת מערכת אוורור יש להימנע מהפרעה לשכנים בהיבטי סביבה לרבות רעש, ריח, רעידות, הפרעות אסתטיות וכד'. לצורך קביעת סוג מערכת האוורור ומיקומה יש לבחון חלופות במבנה, להתקין מערכת בידוד מתאימה נגד רעש, להתקין מפוחים רחוק מאזורי שינה ולהתקין את רכיבי המערכת במקומות נגישים לפיקוח.

5.1.1. פטור מהתקנת מערכות אוורור

ככלל, במבנים חדשים יידרשו מערכות אוורור כחלק ממיגון המבנה. יחד עם זאת, אם יוכח כי מפלס מי התהום נמצא ברום של 1 מ' לפחות כל השנה מעל מפלס פני רצפת החלל התת קרקעי באופן קבוע, על בסיס מפות מפלסים מקומיים במהלך 20 השנים האחרונות שיתקבלו מרשות המים, לא תבוצע התקנה של מערכות אוורור בתווך הרווי.

5.1.2. סוגי מערכות אוורור

ישנן מספר סוגי מערכות אוורור תת קרקעיות המתאימות ולמבנים חדשים (מתוכננים) – SSV ולמבנים קיימים כגון – SSD, SMD. כמו כן, קיימות מערכות אוורור על קרקעיות המתאימות למבנים קיימים ומתוכננים כגון – HVAC.

א. מערכת תת קרקעיות למבנים חדשים - מערכת SSV (Sub Slab ventilation)

מערכת פסיבית הפועלת למיהול גזי הקרקע על ידי ניתוב גזי הקרקע מחוץ למבנה, במקום שיחדרו לתוכו, ומושכת אל מתחת למבנה או להיקפו אוויר חיצוני שחודר ומתערבב עם גזי הקרקע ועל ידי כך מוהל אותם באמצעות צנרת תת רצפית.

אופן התקנת המערכת:

- יש לחפור תעלות אוורור (ventilation trenches) בעומק של כ- 50 ס"מ מתחת לרצפה ובפריסה אחידה, שבתוכן יונחו הצינורות השרשרתיים המחוררים לצורך איסוף הגזים והוצאתם מחוץ למבנה.
- ממדי חתך תעלות אוורור חפורות: 30X30 ס"מ.
- המרחק בין תעלה לתעלה לא יעלה על 7 מטר והתעלות יפרסו בכל שטח רצפת המבנה. יש להבטיח כי התעלות נמצאות בשכבת קרקע או מצע המוליך גז בין התעלות. במידה והקרקע במקום הינה קרקע שאינה מוליכה כלל (חרסית, סלע) יש להניח שכבת חצץ בעובי מינימאלי של 10 ס"מ עם גודל אגרגט עד 1 ס"מ או לחילופין יריעת ניקוז המורכבת פוליאטילן בכיסוי

בד גאוטכני, כאשר עובי השכבה מינימלית הוא 10 מ"מ ויכולת נשיאת משקל של 25 טון/מ"ר במינימום.

- תעלות האוורור ימולאו בשכבת חצץ או כל חומר שווה ערך אחר. עובי השכבה בהיקף הצינור השרשורי לא יפחת מ - 10 ס"מ, עם גודל אגרגט עד 1 ס"מ.
- במרכז כל תעלה יונח צינור שרשורי מחורר בקוטר של 4 צול (כ- 10 ס"מ) לפחות, מפלסטיק קשיח ועמיד לתנאי הקרקע והלחות. הצינור יהיה עטוף בבד גיאוטקסטיל לא-ארוג איכותי מפולירופילן העומד בת"י 1463.
- הצינורות השרשורים האופקיים יהיו מחוררים בכל היקפם.
- הצינורות השרשוריים יונחו בשיפוע בהתאם לתקן הישראלי 1205.2 סעיף 2.3.1 [3] כשהקצה הגבוה הוא תמיד הקצה המחובר לצינור האנכי העולה.
- הצינורות השרשורים האופקיים יחוברו לצינור אנכי קשיח עולה מסוג פלסטיק, פלדה וכו' ויעשה בהתאם לתקן הישראלי 1205.2 סעיף 2.2.1 טבלה 1 [3]. הצינורות העולים יותקנו בתוך קירות או עמודים או בתוך פיר בבניין ויסתיימו בגובה של 2 מ' מעל לפני הגג בגגות שאינם בשימוש או 3.5 מ' מעל לפני הגג בגגות שהינם לשימוש, ומרוחק לפחות 3 מטר מפתחים, מערכות אוורור, חלונות או כל מקום בו שוהים אנשים דרך קבע.
- במקרים בהם ישנה בעיה טכנית להוצאת הצינור בגג יש להציג חלופה לאישור המשרד או מי מטעמו.
- מספר הצינורות האנכיים (להלן: "צינור עולה") ייקבע לפי קוטר הצינור המותאם לשטח טביעת הרגל של המבנה באופן הבא:

טבלה מס' 2 : מספר צינורות עולים וקוטר הצינור לפי שטח המבנה הנדרש למיגון

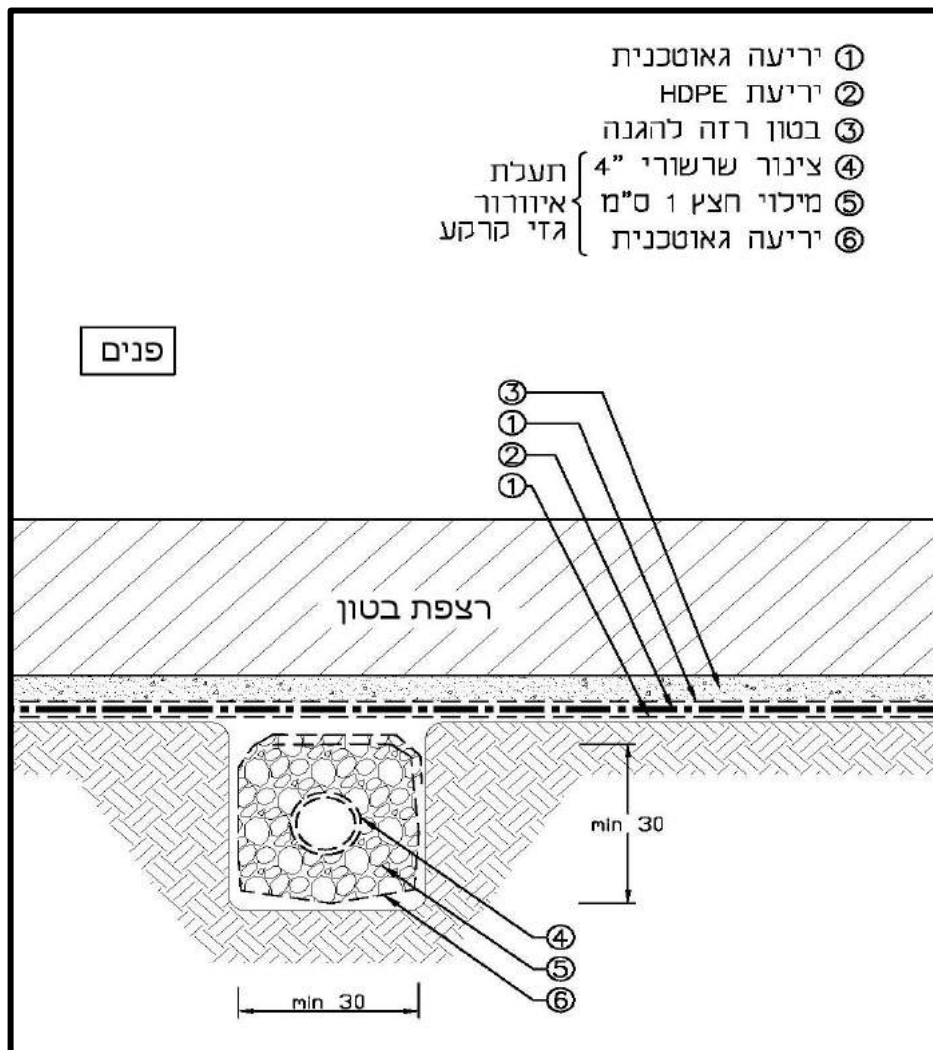
שטח מבנה [מ"ר]	קוטר צינור עולה [אינץ']	כמות מינימלית של צינורות עולים
עד 115	1.5	2
115-250	2	2
250-450	2.5	3
450-900	3	4
900 ומעלה	4	4

- קצה צינור האוורור יסתיים בגובה כמפורט לעיל, ומרוחק לפחות 3 מטר מפתחים וחלונות המבנה וממקום בו שוהים אנשים דרך קבע וכן ממערכות אוורור, יניקת והכנסת אויר מבחוץ לתוך המבנה. זאת על מנת למנוע אפשרות של יניקת והחזרה המזהמים בחזרה לתוך חלל המבנה.



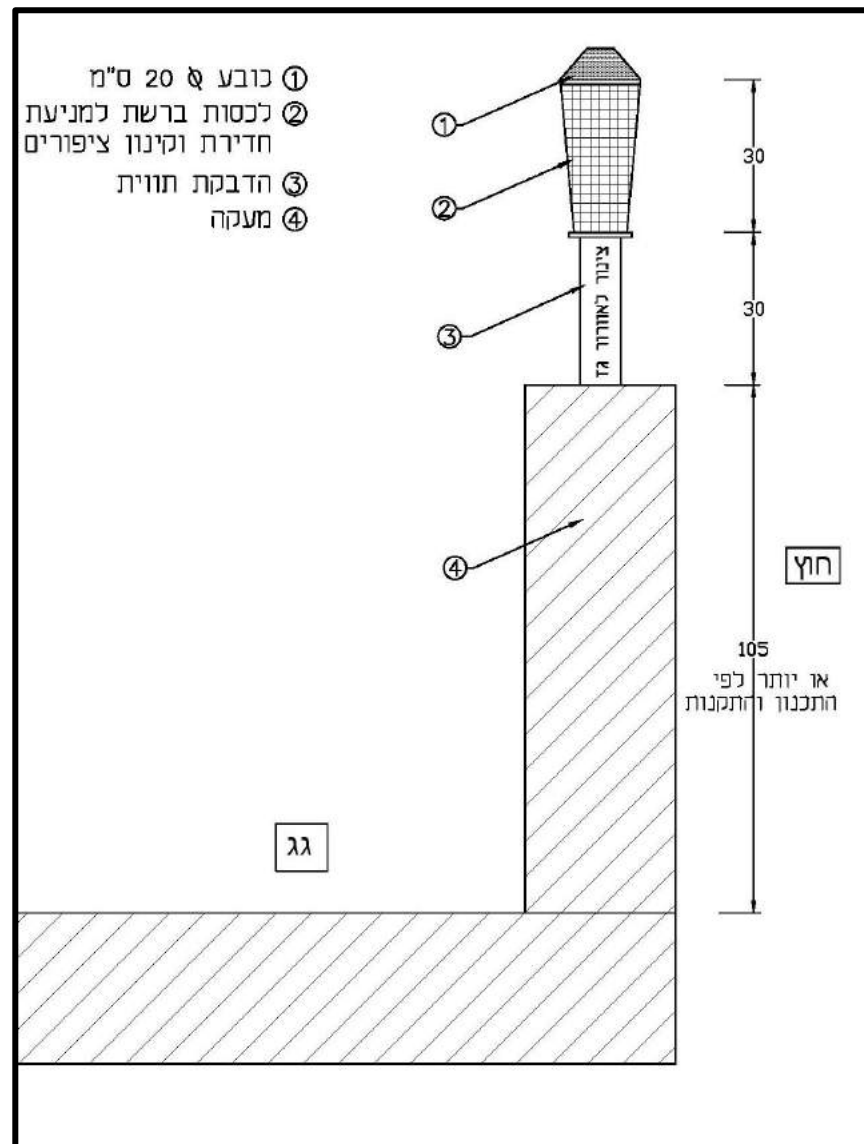
- בקצה העליון של צינור האוורור תותקן כיפה- "כובע סיני" בקוטר 20 ס"מ ובגובה 20 ס"מ מעל קצה הצינור, שיכוסה ברשת או "T" שנועדו כדי למנוע חדירת גשם, חדירת ציפורים וקינון- ראה איור מס' 5 שלהלן.
- יש להשאיר מקום מתאים ונגיש ולהכין יציאת "T" סגורה ואטומה להתקנת מפוח בתחתית צינור האוורור במידה ויתברר בעתיד כי יש צורך במפוח להעלאת הגזים המצטברים בצינור כלפי מעלה.
- בגג המבנה במקום שבו מסתיים צינור האוורור, יש לתכנן מקום נוסף פנוי בשטח של כ- 1 מ"ר לפחות, להוספה בעתיד, במידה ויידרש, של מסנני פחם פעיל או כל מערכת סינון וטיפול אחרת, לטיפול אפשרי בגזים הנפלטים מצינור האוורור.
- יש להכין נקודת חשמל מוגנת מים (בהתאם לתקנים) בסמוך ליציאת הצינור העולה בגג כדי לאפשר חיבור מפוח יניקה לצינור, אם יהיה צורך לשאוב דרך המערכת הנ"ל. יש להתייעץ עם מומחה לאוורור בנוגע לסוג המפוח ועוצמתו, בהתאם לתוכנית הבניין, נתוני הצנרת וגודל תת-הלחץ הדרוש.
- יש לאטום את כל החדירות באופן מלא כך שיימנע מעבר גזים ואדים דרך חדירות צנרת בחומרי אטימה מתאימים ומאושרים. תיושם מערכת איטום מספקת כך שתכסה באופן מוחלט את אזור החדירה. האיטום יבוצע סביב כל צנרת החודרת מהקרקע לתוך המבנה: מצד הקרקע ומצד רצפת המבנה באמצעות איטום המרווח שמסביב לצנרת וסגירתו בחומר המתאים לסוג הצינור ולשיטת האיטום הנבחרת בהתאם להוראות היצרן.

איור מס' 4: מערכת SSV- צינורות שרשריים לאיסוף גזים



(מקור: הנחיות רשות איכה"ס עירית ת"א)

איור מס' 5: מערכת SSV- דוגמא לחיבור צינור העולה ל"כובע סיני"



(מתוך: פרט ראדון)

מערכות תת קרקעיות למבנים קיימים –

ב. מערכת SSD (Sub-Slab Depressurization)

מערכת SSD היא מערכת אקטיבית המפחיתה את הזיהום על ידי הורדת הלחץ באופן רצוף מתחת לרצפת המבנה ביחס ללחץ בתוך המבנה. כתוצאה מהלחץ השלילי הנוצר מתחת לרצפת המבנה ולהיקפו, הגזים לא חודרים למבנה. קריטריונים לבחירת מערכת SSD ומפרט ההתקנה של המערכת מפורטים בהמשך.

קיימות מערכות SSD מסוגים שונים לפירוט בנושא זה ניתן לעיין בהנחיות קליפורניה⁴ בנושא (VIMA October 2011 DTSC) VAPOR INTRUSION MITIGATION ADVISORY.

לצורך תכנון המערכת יש לבצע מבחן דיאגנוסטי מקדים לבדיקה האם ניתן לייצר שדה לחץ שלילי בתת-הקרקע. לשם כך יש לקבוע את תכולת הקרקע בה תותקן המערכת ואת מאפייני זרימת הגזים בתת הקרקע מתחת לרצפת המבנה. כמו כן, נדרש לוודא כי לא קיימות שוחות ניקוז או מערכות ניקוז בחלל התת-קרקעי (מרתף, חניון) שכן אלה עלולות לגרום ל"קצר" ביצירת שדה לחץ שלילי מתחת לרצפת המבנה. במקרה שקיימות שוחות או מערכות ניקוז כאמור, יש להתקין מכסה אוטם אוויר מעל השוחה וחבקים שיחזיקו את המכסה סגור ואטום.

כמו כן, ככל שידרש על המערכת לכלול אמצעי ניטור, התראה ובקרה במקרה של כשל במערכת.

תמונה מס' 1: מערכת אקטיבית ליצירת לחץ שלילי מתחת לרצפה בטון/אריחים



(מקור: ITRC ומדינת Kansas)

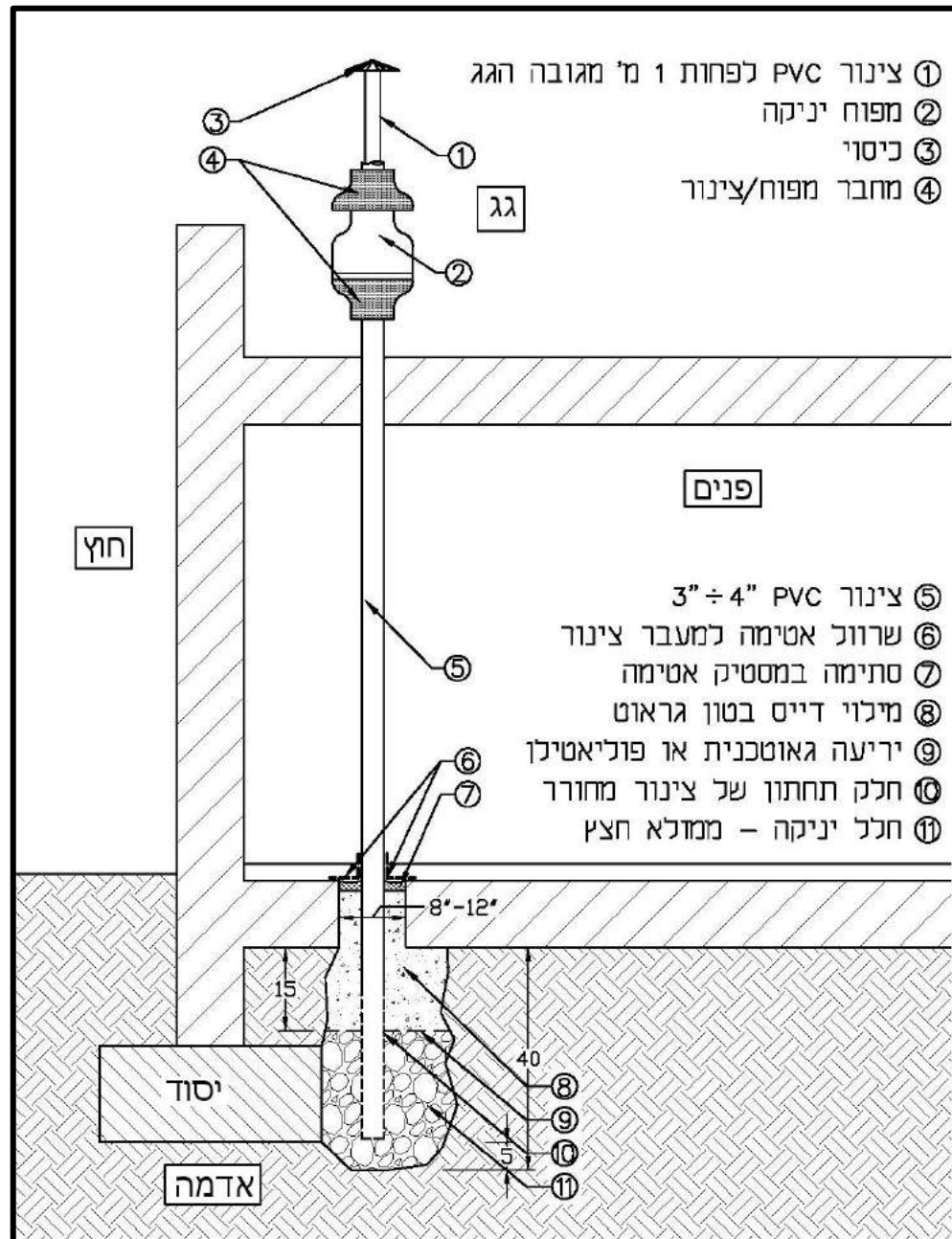
⁴ https://dtsc.ca.gov/SiteCleanup/upload/VIMA_Final_Oct_20111.pdf

אופן התקנת המערכת :

- התקנה של בורות יניקה החצובים ברצפת המבנה הקיימת תחת לחץ שלילי (4- עד 10- פאסקל), שמתוכם יש להוציא את הקרקע כדי לייצר בור פתוח בקוטר של מינימום 10 ס"מ ובעומק של מינימום 45 ס"מ.
- ככלל, נדרש להתקין בורות יניקה בכמות מספקת כך שכל גזי הקרקע בשטח המבנה ינוקזו ביעילות ולא יהיה ריכוז חורג של גזים בתוך המבנה. כך למשל בבית מגורים משפחתי צמוד קרקע מספיקים בד"כ בור שאיבה אחד או שניים כדי לסלק את גזי הקרקע ביעילות.
- בתוך בור היניקה הפתוח יותקן צינור יניקה קשיח אנכי המיועד לאיסוף הגזים לצורך שחרורם המבוקר אל מחוץ למבנה, שיקובע לקיר שיעלה עד הגג ובקצהו יותקן כובע סיני.
- חלקו התחתון של צינור היניקה יהיה פתוח וצדדיו יהיו מחורצים מעומק של 15 ס"מ מתחתית רצפת המבנה ועד לסוף הצינור הפתוח.
- בתחתית הבור ובצדדיו של הצינור המחורץ יש למלא חומר מוליך (חצץ דק) לגובה של 15 ס"מ מתחתית רצפת המבנה.
- על גבי החצץ יש להניח בד גאוטכני או פוליאאתילן ולמלא את גובה החלל הנותר בשכבת דייס בטון גראוט, עד למילוי כל החלל והיקף הצינור עד לגובה רצפת החדר.
- את היקף פתח הקדח סביב היקף הצינור יש למלא בחומר אטימה עד למפלס פני רצפת הבטון. את חלקו העליון על פני הרצפה יש לסגור בעזרת אביזר אטימה בעל שוליים וסגירה בחבק סביב הצינור.
- בחלקו העליון של הצינור יותקן מפוח חשמלי (motorized fan) הפועל באופן רציף.

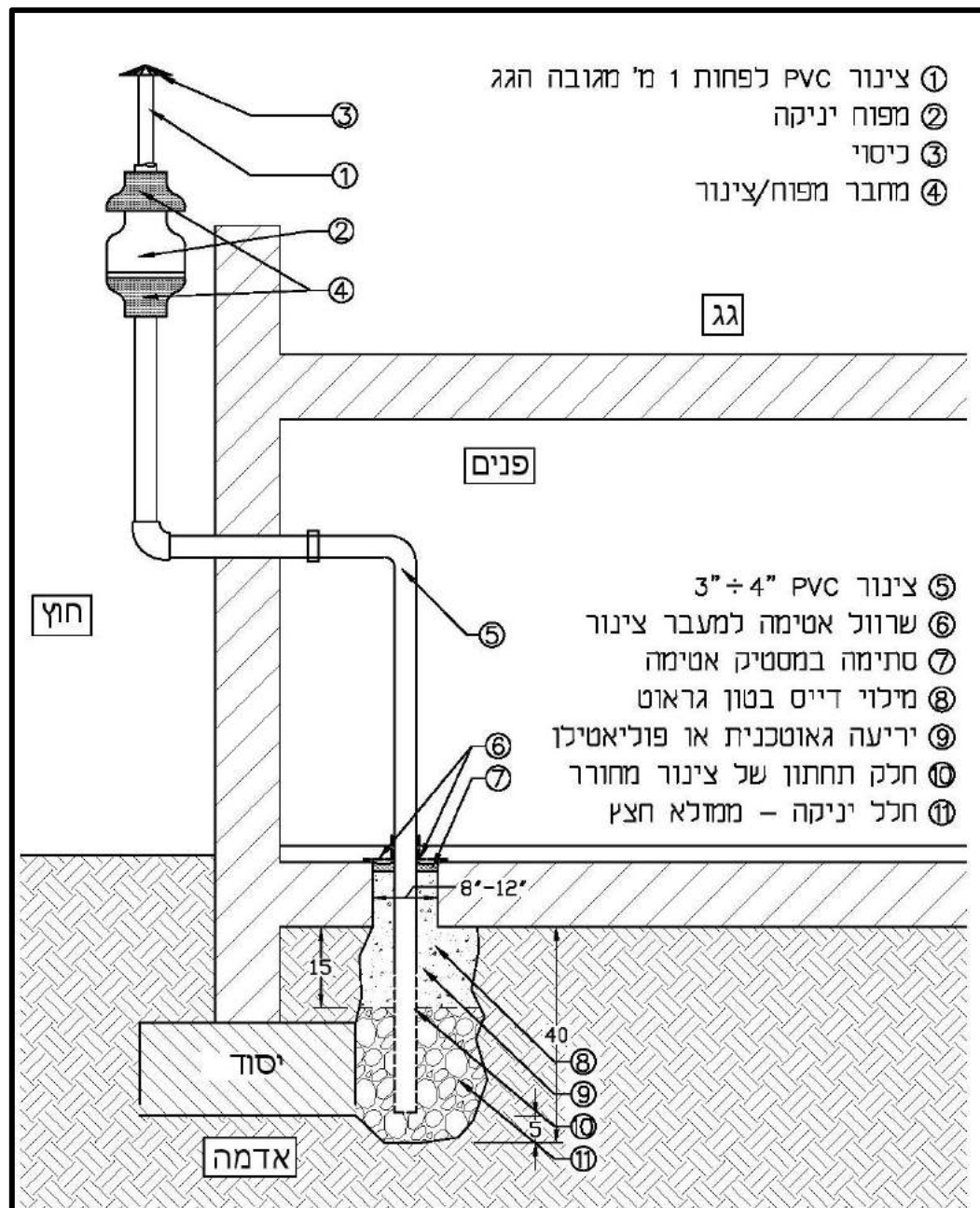
להלן שתי דוגמאות של צינור עולה היוצא מגג המבנה וצינור עולה שיוצא אל הקיר החיצוני וממנו לגג המבנה :

איור מס' 6א': דוגמא למערכת מיגון מסוג SSD כשצינור עולה יוצא היישר מתוך המבנה אל גג המבנה.



מקור: חב' א.מ.ן המכון לבדיקת קרינה ובריאות סביבתית בע"מ

איור מס' 36: דוגמא למערכת מיגון מסוג SSD כשצינור עולה יוצא לקיר החיצוני וממנו אל גג המבנה.



מקור: חב' א.מ.ן המכון לבדיקת קרינה ובריאות סביבתית בע"מ

ג. SMD - Sub-Membrane Depressurization –

מערכת מיגון (איטום ואוורור) הכוללת יריעה שתפקידה להוות תחליף לרצפה מבטון, על גבי הקרקע ומתחתיה תותקן מערכת יניקה היוצרת תת-לחץ ותימנע מהגזים לחדור למבנה שמעליה (SSV או SSD). מתאים למקרים בהם אין רצפת בטון והמבנה מוגבה מן הקרקע. כאשר נעשה שימוש במערכת זו, יש לבצע איטום מלא של היריעה סביב למבנה. אין להדק את היריעה ויש לאפשר לה גמישות מסוימת כדי שלא תיקרע. יש לבדוק תקופתית את שלמות היריעה כי בתנאים אלה היא עלולה להינזק ולהיקרע.

מאחר שבארץ הבניה היא בעיקר מבטון ויסודות תת קרקעיים, שיטה זו לרוב לא תהיה ישימה.

מערכת אוורור על קרקעיות המתאימות למבנים קיימים ומתוכננים

ד. מערכת ייצור לחץ חיובי בחלל המבנה - HVAC –

מערכת אקטיבית, המתאימה למבנים תעשייתיים ומסחריים קיימים ומתוכננים וניתנת ליישום כאמצעי מסייע למערך המיגון רק אם המבנה אטום יחסית ועם מעט פתחים.

תפקידה של המערכת ליצור לחץ אוויר חיובי בתוך המבנה ביחס ללחץ האוויר מתחת לרצפה, במטרה לסייע במניעת חדירת גזי קרקע למבנים עקב אדווקציה (בלבד) ואוורור המבנה ע"י התאמת מערכת החימום, אוורור, ונטיילציה, מיזוג אוויר או התקנת מערכת חדשה ייעודית לשם כך, לרבות מערכות החלפת אוויר. על מנת שהמערכת תשמור על לחץ חיובי, יש להעלות את לחץ האוויר התוך מבני ב – 0.001 אינץ' מים, לפחות, ולהפעיל את המערכת באופן שיבטיח שמירה על לחץ זה במשך כל שעות היממה, כל השנה. בדרך כלל יהיה צורך לשמור על לחץ חיובי בקומה הנמוכה ביותר במבנה הבאה במגע עם הקרקע, יחד עם זאת במקרים מיוחדים בהם יש חשש לחדירה של גזים מתת הקרקע לקומות עליונות דרך פירי מעלית וכדומה ייתכן שיידרש לשמור על לחץ גבוה גם בקומות אלה.

התוכנית והמפרט של מערכות האוורור הנ"ל יוכנו ע"י מהנדס מיזוג אוויר.

אופן התקנת המערכת :

- בשטחים תת קרקעים המשמשים כחניון תת-קרקעי או מרתף תותקן מערכת אוורור בהספק של לפחות 8 החלפות אוויר בשעה (עם הכנת המערכת לאפשרות להגברה בעתיד ל- 10 החלפות אוויר בשעה).
- בשטחים תת-קרקעיים בתוך חניון שאינם משמשים לחניה (חדרי מכונות, מערכות טכניות וכו') נדרשת מערכת אוורור בהספק של לפחות 4 החלפות אוויר בשעה. מערכת זו יכולה לכלול וונטות, משאבות, מפוחים וכיוב'.

- במקרים בהם מערכת האוורור מותקנת בחניון תת קרקעי בתוך מבנה שנדרש במיגון, ומשמשת כאמצעי מיגון יחיד (למשל במבנה קיים בו לא ניתן היה להתקין מערכת איטום) או שקיים חשש לשלמות מערכת המיגון הקיימת, על המערכת יהיה לפעול באופן רציף שאינו מותנה בפעולתו של גלאי CO. מערכת זו תופעל בכל שעות הפעילות ונוכחות אדם במבנה, ותבטיח קצב החלפות האוויר הנדרש.
- אם נדרש לבדוק את עמידת קצב החלפות האוויר בנדרש במסמך זה – יש לעשות זאת באמצעות רימון עשן או עם חומר עוקב בשיטת Tracer gas ASTM E741 test שיוכחו כי התבצעה עמידה בקצב החלפות האוויר הנדרש.
- יש להתקין נקודת פליטה למערכת האוורור מעל גג המבנה או עפ"י תוכנית אחרת שתאושר ע"י המשרד להגנת הסביבה או גוף המוסמך מטעמו.

טבלה מס' 3 : סיכום אפשרויות יישום למערכות האוורור השונות

מבנה ללא רצפת בטון	מבנה הכולל רצפת בטון	סוג המערכת
-----	V	SSV - מערכת אוורור תת רצפתית (במבנים חדשים)
-----	V	SSD - מערכת יניקה מקומית תת רצפתית (מותאם למבנה קיים)
V	-----	SMD - מערכת אוורור (SSV) או מערכת יניקה (SSD) כולל יריעת מיגון (במבנים חדשים וקיימים)
V	V	HVAC - לחץ גבוהה בתוך המבנה (במבנים קיימים)

5.2. מערכות איטום

פרק זה יסקור את מערכות האיטום הקיימות, מגבלותיהן, הכנת השטח לפני התקנתן ואופן התקנתן. לגבי כל סוג מערכת איטום יפורטו אמות המידה והכללים להתקנתה, כך שתימנע חדירת גזי קרקע למבנה באופן מיטבי. בחירת סוג מערכת האיטום תעשה בהתאם לאופן הבניה.

תכנון והתקנת מערכת האיטום תעשה על ידי עובדים מיומנים, בעלי ידע וניסיון, ותבוצע תחת פיקוח מקצועי. בהעדר הסמכה או רישוי ייעודי, מומלץ להעסיק יועץ בעל מומחיות בנושא איטום למניעת חדירת גזי קרקע (להלן – "יועץ איטום").

5.2.1. קריטריונים לבחירת חומרי איטום

קיימים חומרי איטום שונים. בחירת חומר האיטום המתאים תתבצע על פי אופיו של המבנה, נתוני הקונסטרוקציה, סוג הביסוס, צורת פני החפירה באתר, סוגי קירות התמך של המבנה, סוג הקירות התת קרקעיים של המרתפים וכדומה.

החומר המשמש לאיטום השטח ישמש גם לאיטום חדירות צנרת, תפרים או כל אלמנט אחר המפריע לרצף האיטום. כל חומר אחר שיידרש לשימוש במקרים אלו, נדרש לעמוד בסטנדרטים המפורטים לעניין חומר האיטום המשמש בכלל המשטח.

יועץ האיטום יוודא כי החומרים בהם נעשה שימוש עומדים בקריטריונים המפורטים במסמך זה למשך 10 שנה לפחות, בהתאם להצהרת היצרן.

על חומרי האיטום להיות בעלי גמישות ויכולת היצמדות טובה לאלמנטים השונים של המבנה אותם הם אמורים לאטום ולהיות עמידים ובלתי חדירים לחומרים המזהמים שכנגדם הם אמורים לאטום. כמו כן, על חומרי האיטום שיבחרו לעמוד בין היתר גם בסטנדרטים הקבועים במסמך - City of Los Angeles standards for Methane and gas mitigation⁵ כמו כן, יש לקחת בחשבון שיקולים סייסמיים של תזוזות אדמה לצורך התכנון.

עמידות כימית למזהמים עיקריים

טרם תכנון מערכת האיטום יש לאפיין את המזהמים המצויים באתר שבפניהם נדרש האיטום. אפיון זה יעשה באמצעות סקרי גז קרקע בשיטת דיגום אקטיבית לפי ההנחיות המקצועיות של המשרד עד לעומק של 1 מ' מתחתית רצפת המבנה המתוכננת, כל עוד שהוא אינו בתווך הרווי, במסגרתו ייקבעו ריכוזי המזהמים.

⁵ <https://dpw.lacounty.gov/epd/swims/OnlineServices/methane-mitigation-standards.aspx>

לאחר אפיון המזהמים בקרקע, יש לבצע בדיקות עמידה של חומרי האיטום בקריטריונים של עמידות למזהמים. בדיקות אלה כוללת – בדיקות בסיסיות הנדרשות לכלל חומרי האיטום, בדיקות שנדרשות באזורים מסוימים בארץ, ובדיקות שנדרשות באופן פרטני, כמפורט להלן:

- בדיקת חובה - דרישת סף הנדרשת בכל אזורי הארץ. יצוין, כי הדרישה נוגעת למהות החומר ולכן מספיק לבצע אותה באופן חד פעמי כל עוד אין שינוי בהרכב או צורת חומר האיטום.
- בדיקה אזורית- נדרשת כאשר האיטום מבוצע באזור המאופיין בבעיה סביבתית, כגון: ראדון לפי המלצת יועץ האיטום.
- בדיקה פרטנית- תידרש באתרים ספציפיים בהתאם לתנאים השוררים בהם, לפי המלצת יועץ האיטום, לדוגמא כאשר באתר קיימים ריכוזים הגבוהים מהערכים להם יש בדיקת חובה ידרשו בדיקות נוספות להבטחת עמידות חומר האיטום גם בריכוזים הגבוהים של החומר המזהם.

פירוט בדיקות החובה:

בדיקות החובה יוכיחו שחומר האיטום עמיד בפני החומרים וריכוזם המופיעים כפי שמפורט בטבלה שלהלן:

טבלה מס' 4: רשימת מזהמים וריכוזים לעמידות חומר האיטום

Name	CAS No	Minimum Resistant proof ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Benzene	71-43-2	500,000
Bromoform	75-25-2	10,000
Carbon tetrachloride	56-23-5	10,000
Chloroform	67-66-3	10,000
Ethylbenzen	100-41-4	500,000
Ethylene dichloride (EDC)	107-06-2	10,000
Methyl tertiary butyl ether (MTBE)	163-404-4	500,000
Naphthalene	91-20-3	10,000
Tetrachloethylene (PCE)	127-18-4	100,000
Trichloroethylene (TCE)	79-01-6	100,000
Vinyl Chloride	75-01-4	10,000
Methane	74-82-8	Site specific
Hydrogen Sulfide	7783-06-4	Site specific
Radon	10043-92-2	Site specific

יובהר, שהחומרים הקבועים בטבלה אינם כלל החומרים שיכולים להימצא בקרקע. לכן, כאמור לעיל באתרים בהם קיימת בעיה אזורית של גזי קרקע יש לבצע בדיקות עמידות גם עבור גזים אלה, וכן באתרים בהם ריכוזי המזהמים שיימצאו, עולים על הריכוזים המופיעים בטבלה זו, נדרש יהיה לבצע בדיקות ספציפיות לעמידות מערכת האיטום בתנאים הקיימים.

עמידות מכאנית

חומר האיטום נדרש להיות עמיד בפני חדירת מזהמים בפאזה גזית ובפאזה נוזלית מבחינה מכאנית בהתאם לקריטריונים הקבועים בטבלה 5, המשרד יאפשר שימוש בשיטות מדידה אחרות בכפוף להצהרת המעבדה כי שיטת הבדיקה שקולה לשיטה המפורטת בטבלה שלהלן.

טבלה מס' 5: רשימת בדיקות לעמידות מכאנית של חומר האיטום

Properties	Test Method	Test Value
Water vapor Transmission rate (ng/ m ² *s*Pa)	EN 1931 ASTM E96 method B	Less than: 5ng/(m ² *s*Pa)
Gas Diffusion Coefficient (m ² /s) According to Table 4 Minimum Resistant proof	שיטה המשלבת מודיפיקציה של שיטת ASTM E96/E96M בשילוב ASTM F1770 או ASTM 1769 או ASTM D1434-82	1.0x10 ⁻¹² m ² /s
Chemical Resistant According to Table 4 Minimum Resistant proof	ASTM D 543	Less than 10% different

לצורך בחינת העמידות המכאנית והכימית של חומרי האיטום יש לבדוק את עמידות חומרי האיטום לפי המפורט להלן במעבדות מוסמכות לביצוע בדיקות בשיטות הנדרשות ובעלות ניסיון מוכח בבדיקת חומרי איטום נגד גזים. המעבדות תהיינה מוסמכות על ידי הרשות הרשות הלאומית להסמכת מעבדות או על ידי רשות לאומית אחרת הקשורה בהסכם הכרה הדדית עם הרשות הישראלית או על ידי ארגון ההסמכה הבינ"ל ILAC.

5.2.2. הכנת השטח לפני התקנת מערכת איטום

- שטח אנכי או אופקי המיועד לאיטום יהיה מוחלק ככל הניתן. השטח יהיה נקי מאבק, לכלוך, חומר רופף. יש לעבד תפרי יציקה כך שיהיו חלקים וללא זיזים בולטים.
- יש לקצץ חוטי קשירה בעומק 2 ס"מ בתוך הבטון, לסתת ולהסיר אזורי סגרגציה ולמלא את כל החורים, השקעים וחללים בתערובת צמנטית עד להחלקת השטח, על פי הנחיות יועץ האיטום.
- יש להכין את כל החדירות בקיר והרצפה לפני תחילת עבודות האיטום, יש לטפל בכל החדירות דרך מערכת האיטום על ידי אלמנטים מתועשים, חבקים, מסטיקים וכדומה על פי הנחיות יועץ האיטום.

- בהתאם לסוג המערכת הנבחרת, יבוצעו בכל המפגשים בין מישורים אופקיים ואנכיים לרבות מפגשי קיר - ריצפה, קיר- קיר וכדומה, העגלות של הפינה כדי "לשבור את הפינה" ("רולקות") בתערובת צמנטית בגודל מינימאלי שלא יפחת מ- 4 ס"מ X 4 ס"מ.
- יישום יריעה אופקית על גבי מצעים מהודקים, יבוצע רק לאחר שהמצעים הודקו על פי הנחיות יועץ האיטום.
- באיטום קירות תמך (כלונסאות/סלארי) יש לוודא כי פני הקיר יהיו מוחלקים לרמה שתאפשר ע"י יועץ האיטום, ובכל מקרה לא יהיו בקיר בליטות מעל לגובה של 2 מ"מ. במידת הצורך תבוצע שכבה צמנטית להחלקת השטח בהתאם לסוג המערכת שתיבחר והנחיות יועץ האיטום.
- האיטום יבוצע מתחת ובהיקף שטח המבנה התת-קרקעי ועד לגובה של 50 ס"מ מעל פני הקרקע הסופיים בצידי המבנה.

5.2.3. התקנת מערכת איטום

- התקנת מערכת האיטום הנבחרת תעשה על ידי עובדים מיומנים, בעלי ידע וניסיון בשיטה בה אמור להתבצע האיטום ולפי הוראות היצרן, ובכלל זה לעניין הגורמים שהיצרן קבע כי הם מאושרים לבצע את ההתקנה.
- בכל הנוגע לחומרי איטום שהבטון נדבק אליהם יש לבדוק כי הדבק עמיד למזהמים באמצעות בדיקות מתאימות בטווח ריכוזי וסוגי מזהמים התואמים את תנאי האתר (פירוט הבדיקות הנדרשות בהמשך המסמך).
- בכל מעטפת המבנה התת-קרקעי, רצפות וקירות יצוקים, דיפון כלונסאות או סלאריים נדרש איטום מלא ורציף כנגד חדירת מזהמים נדיפים.
- יש לאטום את כל החדירות באופן מלא כך שיימנע מעבר גזים ואדים דרך מעברים שונים בחומרי אטימה מתאימים ומאושרים.
- מערכת האיטום תכסה באופן מוחלט את פתחי החדירה מהקרקע למבנה. האיטום יבוצע סביב כל צנרת החודרת מהקרקע לתוך המבנה: מצד הקרקע ומצד רצפת המבנה באמצעות איטום המרווח שמסביב לצנרת וסגירתו בחומר המתאים לסוג הצינור ולשיטת האיטום הנבחרת בהתאם להוראות היצרן.
- יש לאטום את כל תפרי החיבור בין הרצפה לקיר, את תפרי ההתפשטות, את תפרי הפסקת היציקה, סדקים וכדומה.
- יש לאטום את כבלי החשמל והתקשורת בתת-הקרקע בתחום המבנה. אם כבלים אלו מוכנסים לתוך שרוול (צינור) מגן, יש להקפיד שהשרוול יהיה ללא חורים. כל החיבורים של הצינורות והכבלים ייעשו כך שתהיה אטימה מוחלטת למניעת בריחת גזים מהם. בנקודות המוצא בתוך ארונות חשמל, התקשורת, כיבוי אש וכד' יש לאטום את הרווחים שבין השרוולים לבין הכבלים או הצנרות בחומרים עמידים בעומדים באותם הקריטריונים המתאימים למערכת האיטום הנבחרת.

- בין מקטעי איטום שונים יש לוודא חפיפה של לפחות 50 ס"מ. בחיבור איטומים אנכיים לאופקיים יבוצע חיבור בחפיפה שלא יפחת מ – 30 ס"מ.
- בגמר ביצוע מערכת האיטום הנבחרת יש לוודא את תקינות המערכת, שלמותה וכד'. הבדיקה תעשה בהתאם לסוג המערכת שנבחרה: קרי מבחן עשן, בדיקת החיבורים בלחץ אוויר, עובי ושלמות של שכבות מותזות או אחרות וכדומה.
- בשטחים אופקיים: בהתאם למערכת האיטום שתיבחר, ישקול יועץ האיטום את הנחיצות בביצוע משטחי בטון שישמשו תשתית לקבלת המערכת.
- לביצוע ממברנות מותזות תבוצע שכבת בטון בעובי מינימאלי של 5 ס"מ משוריית ברשת ברזל.

5.2.4. סוגי מערכות האיטום

בפרק זה יסקרו חלק ממערכות האיטום הקיימות. על כל מערכת איטום לעמוד בכלל הקריטריונים שפורטו לעיל הן מבחינה מכאנית והן מבחינת אטימות למזהמים. באחריות יועץ האיטום לוודא עמידה בקריטריונים.

ה. יריעת HDPE חלקה (ללא הדבקה) –

- יריעת ה HDPE (להלן – "היריעה") תהיה בעובי שלא יפחת מ - 1.25 מ"מ (50 mill).
- היריעה תעמוד בתקן GRI Test Method GM13, בהתאם לתכונות המופיעות בטבלה מספר 6.
- היריעה תהיה בעלת צפיפות של 0.940 גרם/מ"ל או יותר לאחר שנבדקה בשיטת ASTM D1585 או ASTM D792 Method B.
- היריעה תהיה עשויה מ HDPE בתול קרי: רזין (resin) של פוליאאתילן בריכוז של 97.5% לפחות.
- צפיפות הרזין תהיה בטווח של 0.932 גרם/מ"ל וערך אינדקס ההתכה (melt index) יהיה לפי שיטת ASTM D1238 < 1 gram/10 min.
- לא יתווסף כל PCR (Post Consumer Resin) מכל סוג שהוא לפורמולציה.

טבלה מס' 6: רשימת בדיקות לעמידות יריעת HDPE חלקה

SI (METRIC) UNITS

Table 1(b) – High Density Polyethylene (HPDE) Geomembrane - Smooth

Properties	Test Method	Test Value							Testing Frequency (minimum)
		0.75 mm	1.00 mm	1.25 mm	1.50 mm	2.00 mm	2.50 mm	3.00 mm	
Thickness - mils (min. ave.) • lowest individual of 10 values	D5199	nom. (mil) -10%	nom. (mil) -10%	nom. (mil) -10%	nom. (mil) -10%	nom. (mil) -10%	nom. (mil) -10%	nom. (mil) -10%	per roll
Density (min.)	D 1505/D 792	0.940 g/cc	0.940 g/cc	0.940 g/cc	0.940 g/cc	0.940 g/cc	0.940 g/cc	0.940 g/cc	90,000 kg
Tensile Properties (1) (min. ave.) • yield strength • break strength • yield elongation • break elongation	D 6693 Type IV	11 kN/m 20 kN/m 12% 700%	15 kN/m 27 kN/m 12% 700%	18 kN/m 33 kN/m 12% 700%	22 kN/m 40 kN/m 12% 700%	29 kN/m 53 kN/m 12% 700%	37 kN/m 67 kN/m 12% 700%	44 kN/m 80 kN/m 12% 700%	9,000 kg
Tear Resistance (min. ave.)	D 1004	93 N	125 N	156 N	187 N	249 N	311 N	374 N	20,000 kg
Puncture Resistance (min. ave.)	D 4833	240 N	320 N	400 N	480 N	640 N	800 N	960 N	20,000 kg
Stress Crack Resistance (2)	D 5397 (App.)	500 hr.	500 hr.	500 hr.	500 hr.	500 hr.	500 hr.	500 hr.	per GRI GM-10
Carbon Black Content - %	D 4218 (3)	2.0-3.0%	2.0-3.0%	2.0-3.0%	2.0-3.0%	2.0-3.0%	2.0-3.0%	2.0-3.0%	9,000 kg
Carbon Black Dispersion	D 5596	note (4)	note (4)	note (4)	note (4)	note (4)	note (4)	note (4)	20,000 kg
Oxidative Induction Time (OIT) (min. ave.) (5) (a) Standard OIT — or — (b) High Pressure OIT	D 3895 D 5885	100 min. 400 min.	100 min. 400 min.	100 min. 400 min.	100 min. 400 min.	100 min. 400 min.	100 min. 400 min.	100 min. 400 min.	90,000 kg
Oven Aging at 85°C (5), (6) (a) Standard OIT (min. ave.) - % retained after 90 days — or — (b) High Pressure OIT (min. ave.) - % retained after 90 days	D 5721 D 3895 D 5885	55% 55% 80%	55% 55% 80%	55% 55% 80%	55% 55% 80%	55% 55% 80%	55% 55% 80%	55% 55% 80%	per each formulation
UV Resistance (7) (a) Standard OIT (min. ave.) — or — (b) High Pressure OIT (min. ave.) - % retained after 1600 hrs (9)	D 7238 D 3895 D 5885	N. R. (8) 50%	N.R. (8) 50%	N.R. (8) 50%	N.R. (8) 50%	N.R. (8) 50%	N.R. (8) 50%	N.R. (8) 50%	per each formulation

- (1) Machine direction (MD) and cross machine direction (XMD) average values should be on the basis of 5 test specimens each direction
Yield elongation is calculated using a gage length of 33 mm
Break elongation is calculated using a gage length of 50 mm
- (2) The yield stress used to calculate the applied load for the SP-NCTL test should be the manufacturer's mean value via MQC testing.
- (3) Other methods such as D 1603 (tube furnace) or D 6370 (TGA) are acceptable if an appropriate correlation to D 4218 (muffle furnace) can be established.
- (4) Carbon black dispersion (only near spherical agglomerates) for 10 different views:
9 in Categories 1 or 2 and 1 in Category 3
- (5) The manufacturer has the option to select either one of the OIT methods listed to evaluate the antioxidant content in the geomembrane.
- (6) It is also recommended to evaluate samples at 30 and 60 days to compare with the 90 day response.
- (7) The condition of the test should be 20 hr. UV cycle at 75°C followed by 4 hr. condensation at 60°C.
- (8) Not recommended since the high temperature of the Std-OIT test produces an unrealistic result for some of the antioxidants in the UV exposed samples.
- (9) UV resistance is based on percent retained value regardless of the original HP-OIT value.

GM13 - 8 of 11

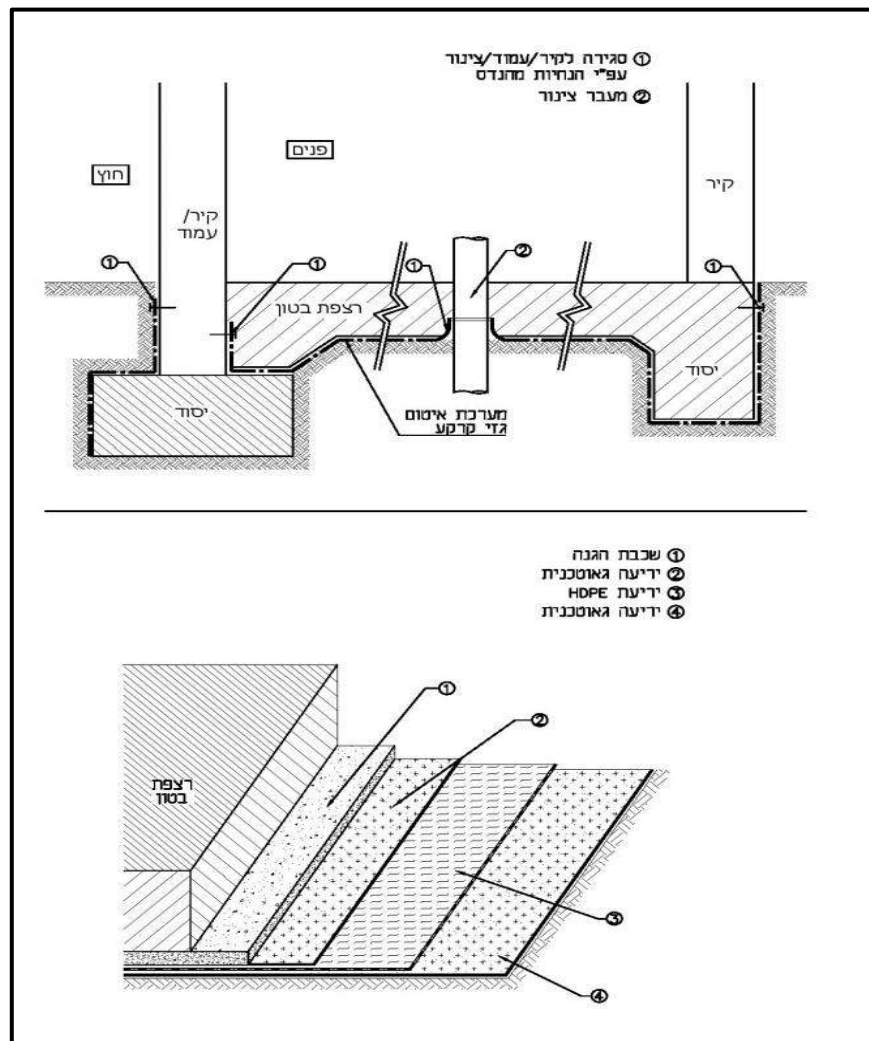
Revision 12: 11/14/14

אופן התקנת המערכת :

- אם היריעה מותקנת על גבי שכבת בטון יש לבצע הכנה של הבטון כך שיהיה מיושר וללא בליטות (מוחלק) כמפורט לעיל.
- אם היריעה מותקנת שלא על גבי משטח בטון, יש להניח את היריעה על גבי שכבת מצעים או על בד גיאוטכני במשקל 400 גרם/מ"ר.
- היריעה תונח בצורה חופשית על גבי המשטח – הבטון, המצעים או הבד הגאוטכני.
- הקבלן המבצע בשטח את עבודות האיטום יהיה בעל ניסיון מוכח בפריסה והלחמת יריעות איטום מסוג HDPE ויאושר על ידי יועץ האיטום טרם תחילת העבודה.

- פריסה והלחמת יריעות HDPE תבוצע בהתאם לעמידות החומר, להנחיות היצרן ולתנאי מזג אוויר כמפורט להלן: לא תותר פריסה והלחמת יריעות בזמן גשם, בטמפרטורה העולה על 35°C , בזמן סופות אבק וחול ובתנאי מזג אוויר קיצוניים.
- בזמן הפריסה יתחשב הקבלן בהתפשטות והתכווצות תרמית של היריעות וישאיר עודף של כ- 5% למניעת היווצרות מתיחת יתר.
- חפיפות בין היריעות לאורכן יהיה של כ- 10 ס"מ.
- חיבור בין יריעות ייעשה באחת השיטות המפורטות להלן:
 1. הלחמת Hot wedge welding או Hot shoe fusion welding.
 2. ריתוך מלא במשיקים - Fusion fillet seaming (אקסטרוזיה)
- חיבור היריעות ייעשה בדרך כלל בשיטה הראשונה בשתי נקודות ריתוך מקבילות האחת לשנייה וביניהם חלל להזרמת אוויר. אך ורק במקומות שאין אפשרות לבצע את הריתוך בשיטה הראשונה, בכפוף לאישור יועץ האיטום, ניתן יהיה לבצע את ריתוך היריעות בשיטה השנייה.
- לאחר גמר הריתוך תבוצע בדיקת לחץ אוויר במקטע החלול בעזרת משאבת אוויר (ידנית או מכאנית) מצוידת בשעון לחץ המסוגלת לייצר לחץ אוויר העולה על 25PSI (1.8 אט") הכוללת צינור גומי המצויד באביזרי חיבור ומתאמים שונים, מחט חלולה להזנת אוויר ושעון לחץ אוויר בעל דיוק של 1PSI (0.07 אט"). המשאבה תונח על גבי מצע רך למניעת פגיעה בממברנה.
- הלחמת יריעות האיטום זו לזו תעשה בעזרת ציוד הלחמה לריתוך כפול (Wedge – Weld) ההלחמה תבוצע ע"י מכונת הלחמה תקינה. מפעיל מכונת ההלחמה יקבע את טמפרטורות ההלחמה, קצב ההלחמה (מטר / לדקה) וכן את לחץ הגלגליות בהתאם לתנאים באתר העבודה.
- הקבלן יבצע בדיקת Peeling בעזרת טנסיומטר. בדיקת ההלחמות תבוצע 3 פעמים במשך יום העבודה. יש לתעד את הלחמת היריעות ולצרף דו"ח איכות היריעה ודו"ח ההתקנה כולל פירוט המשטחים, האם הונחה היריעה על גבי בד גיאוטכני או על גבי מצע של בטון רזה, האם מכסה את כל המשטח האופקי והקירות וכד'.
- התקנת יריעה במפגש הרצפה עם קיר או סביב ראש כלונס או כל שטח אנכי אחר, תעשה ע"י סרט הדבקה בוטילי דו-צדדי ועיגון היריעה והסרט הבוטילי באמצעות סרגל מנירוסטה בעובי 4 מ"מ וברוחב 40 מ"מ. נקודות העיגון תהיינה ע"י ברגי נירוסטה שיקובעו לסרגל במרווחים של כל 12 ס"מ. יובהר, כי חומרי ההדבקה במיקומים אלה יהיו עמידים בפני גזי הקרקע כימית ומכאנית.
- על גבי היריעה לאחר השלמתה, יש לפרוס בד גיאוטכני במשקל 200 גרם/מ"ר להגנת היריעה.
- על גבי הבד הגאוטכני תבוצע שכבת הגנה קשיחה מבטון למניעת פגיעה ביריעה.

איור מס' 7: מערכת סכמתית לחסימת גזים באמצעות יריעת HDPE חלקה



1. יריעה בהדבקה עצמית

קיימים מספר סוגים של יריעות בהדבקה עצמית העמידות בפני חדירת גזים, להלן נתייחס לשני הסוגים השכיחים ולהנחיות ליישומם.

יריעת HDPE בהדבקה

יריעת ה HDPE בהדבקה עצמית לא תפחת מעובי של 0.8 מ"מ (30 mill) נטו – ללא שכבת הדבק. יריעת איטום זו עשויה מפוליאתילן בצפיפות גבוהה, כאשר לאחר תגובה של שכבת הדבק (גיל) על היריעה עם המים והצמנט שבבטון, נוצר חיבור ללא תפר בין שכבת האיטום לבין הבטון, הדבקות מלאה של כ - 100% לשטח פני הבטון. היריעה תכלול פס חפיפה ברוחב שלא יפחת מ - 70 מ"מ.

היריעה כוללת:

- פוליאאתילן בצפיפות גבוהה (HDPE) בעובי של 0.8 מ"מ.
- שכבת דבק (גיל) המשמשת לראקציה עם הבטון הטרי. הדבק יהיה עמיד במים, כך שהרטבתו בעת העבודה לא תפגע באיכות ההדבקה.
- שכבת הגנה מכנית מכלוך סביבית.

יריעת איטום על בסיס FPO

יריעת על בסיס פוליאוליפין FPO בהדבקה שעובייה לא תפחת מ – 0.8 מ"מ (30 mill) (נטו – ללא שכבת הבד הגאוטכני וגיל ההדבקה). פני היריעה מצופים GRID בעל גיל אטימה משחתי ועליו מצופה בד פלז.

היריעה מורכבת מהשכבות הבאות:

- פוליאוליפין בצפיפות גבוהה (FPO בעובי מינימאלי של 0.8 מ"מ).
- שכבת גיל לאטימה.
- וציפוי בד פלז.

יריעות בהדבקה עצמית יעמדו בכל הדרישות המופיעות בטבלה מס' 7 שלהלן (בכל מקום בו נאמר HDPE הדבר מתייחס גם ל FPO).

טבלה מס' 7: רשימת בדיקות לעמידות יריעת HDPE בהדבקה עצמית

No	Properties+ Units	Test method	Test Value
1	Thickness HDPE free of additional layers Min (mm)	D5199 GB/T23457	≥ 0.8 mm
2	Density min free of additional layers (Gr/cm ³)	D1505	0.94- 0.97 gr/ cm ³
3	Content of HDPE min free of additional layers (%)		$\geq 97\%$
4	Tensile strength- For two direction (A) Min (N/mm ²) or Tensile force-For two direction(B) Min (N/50mm)	ASTM D412 EN 12311-2	≥ 25 N/mm ² dir.A ≥ 25 N/mm ² dir.B ≥ 800 N/50mm dirA/dirB

No	Properties + Units	Test method	Test Value
5	Elongation (A) For two direction (B) min(%)	ASTM D412	≥500% dir.A ≥500% dir.B
		EN 12311-2	≥500% dir A ≥500% dir B
		GB/T23457	≥1000% dir.A ≥100% dir.B
6	Tear resistance (A) For two direction(B) Min(N)	EN 12310-1	≥450N dir.A ≥500N dir.B
		GB/T23457	≥500N dir.A ≥500N dir.B
7	Puncture resistance Min(N)	ASTM E154	≥900 N
8	Thermal ageing(70°C,168h)	GB/T23457	≥ 90% dir.A ≥ 90% dir.B
	Elongation retention rate (A)		
	For two direction(B) Min (%)		
9	Adhesion Strength (After exposure to the voc) Min (%)	ASTM D543	≥ 90%
10	Shear resistance of joints	EN 12317-2	≥450N

אופן התקנת המערכת (היריעות):

- התשתית להנחת היריעה תהיה שכבת בטון רזה מוחלק ללא אגרגט גס, כאשר עובי שכבת הבטון לא יפחת מ - 5 ס"מ. ניתן להניח את היריעה על גבי תשתית לחה או רטובה, אך ללא שלולית, לרבות על תשתית משופעת.
- חיבור בין היריעות לאורך או לרוחב יהיה בחפיפה של כ-100-70 מ"מ ע"י הידוק היריעה על גבי שכבת הדבק הקיימת על פני היריעות ושימוש ברצועת יריעה בהדבקה עצמית (להלן "רצועת הדבקה").
- רצועת ההדבקה תהיה בהדבקה חד צדדית ברוחב שלא יפחת מ - 100 מ"מ או בהדבקה דו צדדית ברוחב שלא יפחת מ - 70 מ"מ, בהתאם למערכת האיטום הנבחרת ולהוראות היצרן.
- חיבור בין היריעות לקורות היסוד, ראשי כלונסאות או כל שטח אנכי אחר יעשה ע"י רצועת הדבקה דו צדדית ברוחב של כ-100 מ"מ מינימום. הצמדת היריעה לשטח הבטון תושלם בעזרת חומרים משחתיים סמיכים, קיבוע בסרגלי אלומיניום ומילוי במסטיק וכו' בהתאם למערכת האיטום הנבחרת והוראות היצרן.

- לפני הרכבת ברזל זיון ליציקת רצפת הבטון הקונסטרוקטיבית, יש להסיר את שכבת ההגנה המכסה את שכבת פוליאטילן ושכבת הדבק (הגיל).
- מעברי צינורות דרך יריעת האיטום יטופלו באופן פרטני ויאטמו לחלוטין סביב מעבר הצינורות ובחיבור ליריעת האיטום בהתאם להנחיות היצרן.
- על גבי היריעה יש לפזר שומרי מרחק מתועשים או אריחי בטון בתאום עם הקונסטרוקטור להרכבת הברזל הקונסטרוקטיבי על גבי היריעה.
- במקרים בהם נדרש לבצע הלחמה לחיבור מוטות הברזל מעל ליריעה הפרוסה בשטח, יש להרטיב את היריעה במים להבטיח שגיצים לא ימיסו את היריעה.
- אין להניח על היריעה מוטות ברזל או כלי עבודה או כל חפץ שעלול לגרום לפגיעה ביריעה.
- במקומות בהם יתגלו פגעים, קרעים, חורים וכד' בשטח היריעה, תודבק רצועת הדבקה נוספת כטלאי של אותה היריעה, שתכסה את הפגיעה ברדיוס ביטחון של כ- 20 ס"מ לכל כיוון. ככל שיהיה חשד להימצאות חורים נוספים שלא תוקנו, יש לבצע בדיקת עשן או כל בדיקה אחרת לגילוי אותם החורים.

ז. מערכת ביטומנית מותזת נוזלית לאיטום

שימוש בממברנה נוזלית מותזת, לצורך איטום ומיגון מבנים בפני חדירת מזהמים נדיפים המצויים בגזי קרקע, למבנים תת-קרקעיים ומבנים במגע עם הקרקע, מקובלת בארה"ב ובעוד מדינות בעולם המערבי, בכפוף לעמידת איכות הממברנה במספר קריטריונים.

הממברנה הנוזלית המותזת מורכבת מאמולסיה ביטומנית ולטקס פולימרי בריכוז גבוה. על הממברנה לעמוד בקריטריונים המפורטים להלן על מנת למנוע חדירת גזים לתוך המבנה לאורך עשרות שנים:

- עובי שכבת הממברנה המותזת לא תפחת מ - 1.5 מ"מ שכבה יבשה (60 mill) בכל נקודה שתימדד, אלא אם תנאי האתר מצריכים שכבה בעובי אחר. בנוגע להפחתת העובי יש לקבל את אישור המשרד מראש.
- הממברנה תהיה עמידה לקריעה מכנית.
- הממברנה תהיה עמידה בפני חדירת אדי מים.
- הממברנה תהיה עמידה בפני פירוק מיקרוביאל.
- הממברנה תהיה עמידה בתנאי מזג האוויר בזמן התקנתה.

אופן התקנת המערכת -

- תנאי מזג אוויר מתאימים ליישום החומר :
- יש לבצע את עבודת האיטום בתנאי מזג אוויר המאפשרים ע"י יצרן הממברנה ואין לבצע התזה בימי גשם או במים עומדים, בין השאר, עקב החשש כי לחות תגרום לזמני curing ארוכים יותר.
- אין לבצע התזה בתנאי רוח חזקה עקב חשש לפיזור החומר באוויר.
- אין לבצע התזה בטמפרטורת אוויר נמוכה מ- 7°C .
- גורם מורשה ליישום החומר : ההתקנה תבוצע ע"י עובדים מיומנים, בעלי ידע וניסיון בשיטה בה אמור להתבצע האיטום ולפי הוראות היצרן בנושא הגורמים המורשים לביצוע ההתזה.
- הנחיות משלימות לפני ביצוע העבודה :
- יישום חומרי האיטום ייעשה בהתאם להוראות היצרן והנחיות אלו, לפי המחמיר ביניהן.
- כאשר ריכוז הגזים בקרקע עולה על פי 100 מערכי tier 1 של ה IRBCA לא תותר התזת ממברנה נוזלית בקירות דיפון שאינם חלקים לרבות על גבי קוצים קונסטרוקטיביים. כאשר ריכוז הגזים מאפשר התזת ממברנה על "קוצים" יש להקפיד על הגנה על כל "קוץ" בזמן ההתזה כך שהחומר המותז לא יבוא במגע עם הברזלים ולהבטיח שהחומר המותז יכסה את כל השטח מסביב ל"קוץ".
- יש לקבע ולהגן על אביזרי אינסטלציה, חשמל, תקשורת וכו' לפני ביצוע ההתזה.
- יש לבדוק את השטח שנאטם לאחר 48 שעות על מנת לוודא שהממברנה הינה חלקה וללא חורים, נפיחויות וכד'. יש לוודא כי אין בועות וכי החומר מחובר היטב לתשתית ואינו ניתן לקילוף בקלות.
- כל המשטחים המיועדים להתזה ייבדקו ע"י המתקין יום אחד לפני ההתזה.
- עבודות האיטום יבוצעו לפי מסמכי תכנון האיטום.
- אופן אחסון חומרי האיטום באתר ייעשה לפי הנחיות היצרן.
- יש להחזיק מסמך שמקורו ביצרן הממברנה המעיד כי המוצר שסופק לאתר הספציפי עומד בכל הספציפיקציות שהצהיר עליהן וכי חומר האיטום להתזה נטול פגמים.
- אין להשאיר משטחים שהותזה עליהם ממברנה נוזלית ושלא כוסו באופן קבוע בבטון הגנה או קיר או יריעה, חשופים לקרינת שמש או לפגיעות ונזקים עקב העבודות באתר הבניה, למעלה משבוע. במקרה וכיסוי קבוע של הממברנה צפוי להתארך למעלה משבוע יש להניח כיסוי זמני על כל המשטחים המותזים החשופים.
- באחריות יועץ האיטום להחליט האם להוסיף שכבות התזה נוספות של הממברנה הנוזלית כדי לעבות אותה.

- אם נדרשת התזת שכבה שניה של ממברנה לאיטום נגד גזים יש לסלק מים שהצטברו על גביה. אם הותזה שכבה שניה כאמור, יש לבדוק את השטח שנאטם לאחר 48 שעות. יש לוודא כי אין בועות וכי החומר מחובר היטב לתשתית ואינו ניתן לקילוף בקלות.
- אין לבצע התזה ישירה של ממברנה נוזלית על קירות דיפון מחוספסים כמו: דיפון כלונסאות, קיר סלארי, קיר שיגומים וכד'. יש לבצע החלקת בטון בצורה ידנית או "SHOTCRET" לצורך החלקת השטח וקבלת ממברנת האיטום. עובי שכבת ההחלקה יהיה מינימום של כ-4-5 ס"מ ויצור משטח רציף לקבלת הממברנה. במידת הצורך תוכנס רשת מגולוונת לתפיסת השכבה וקיבוע לקיר הדיפון.
- במקרה שקיר הבטון הוא מונוליטי חלק מבטון מזוין קונסטרוקטיבי, בעל סידוק מירבי של 0.3 מ"מ, תבוצע עבודת הכנת פני השטח והסרת כל ציפוי, שמן, לכלוך או דבר מה אחר שיפגע בהידבקות הממברנה
- הגנת מערכת האיטום :
 - על גבי מערכת האיטום המותזת תבוצע שכבת הגנה קשיחה למניעת פגיעה בממברנה. בשום מקרה, אין לנסוע (לדוגמא בחניון) או להתהלך ישירות על מערכת האיטום או לבצע כל פעולה אחרת הכוללת מגע ישיר עם המערכת עקב החשש להינזקותה וחובה תמיד לבצע מעליה שכבת הגנה, כמפורט להלן:
 - הגנה אופקית: לצורך הגנה על הממברנה ברצפה/יסודות וכד' מפני גרימת נזק יש לבצע מעליה שכבת הגנה על ידי פריסה של יריעת גיאוטקסטיל מפוליפרופילן או פוליאסטר במשקל של 400 גר"/מ"ר ומעליה יציקת בטון הגנה 6 בעובי מינימאלי של 5 ס"מ.
 - הגנה אנכית: לצורך הגנה על הממברנה בקירות יש לבצע יציקה של קיר בטון בעובי מינימאלי של 12 ס"מ כנגד האיטום. בקירות יצוקים הגנת האיטום תעשה על ידי הצמדת לוחות פוליסטרן מוקצף בעובי 5 ס"מ או הצמדה של יריעות HDPE בהתאם להחלטת מהנדס האיטום. ככל שקיים חשד כי לוחות הפוליסטרן יסבו נזק למערכת האיטום כתוצאה משקיעתם ניתן להגן על הממברנה ע"י פריסת בד גיאוטכני, 200 גר"/מ"ר על הממברנה הצמודה לקיר ולאחר מכן פריסת יריעת HDPE בעובי מינימאלי של 0.55 מ"מ.

⁶ בטון הגנה- על גבי היריעה/ממברנה יש ליצוק רצפת בטון קונסטרוקטיבי ב-30 ללא זיון בעובי 5 ס"מ לפחות. שכבה מגינה מסוג אחר תותקן רק לאחר מתן המפרט כולל ממצאי בדיקות לעמידות וחוזק וקבלת אישור הרשויות מראש



מערכות איטום למבנים קיימים

מיגון במבנים קיימים כולל לרוב מערכות אוורור בלבד, יחד עם זאת ניתן לבצע גם איטום של מבנה קיים, כאשר אוורור בלבד אינו מספיק לצורך הפחתת הריכוזים לרמה הנדרשת או מסיבה אחרת.

קיימים חומרי איטום שונים המשמשים לאיטום פנימי במבנים קיימים. החומר שיבחר יתאים לתנאי היישום במבנה קיים ולתפקוד המקום המיועד לאיטום ומתאים לסוגי המזהמים ולריכוז הקיים במבנה.

קיימים חומרים הניתנים ליישום רק בתנאים מסוימים. חומרים אשר לא ניתן להשאירם גלויים ויש להגן עליהם על מנת להשמיש את המקום שנית, וישנם חומרים המסוגלים להישאר חשופים ולשמש כגמר סופי.

יריעות HDPE, ממברנות ביטומניות נוזליות בהתזה וכד', יכולים לשמש כחומרי אטימה למבנים קיימים מצידם הפנימי רק אם עמדו בכל הקריטריונים הנדרשים לפי מסמך זה.

יודגש, כי לאחר ביצוע האיטום יש לערוך ניטור תקופתי כמפורט בנושא ביצוע, ניטור ודיווח.

נספח א' - הנחיות IRBCA תוך הרצת מודל Johnson & Ettinger

סקר סיכונים למסלול חשיפה לסיכון של שאיפת מזהמים שחדרו בגזי הקרקע למבנים יתבצע לפי הנחיות IRBCA תוך הרצת מודל Johnson & Ettinger יש להוריד את המודל SG-Advanced מאתר US EPA ולהזין את הפרמטרים הספציפיים לאתר.

פרמטרים לסקר הסיכונים במסלול חשיפה של שאיפת גזים החודרים למבנים מתוך הנחיות IRBCA אוג' 2014 (פרמטרים אלו עלולים להתעדכן מעת לעת) :

טבלה א': פקטורי חשיפה בהנחיות IRBCA למסלול חשיפה לסיכון של שאיפת גזי קרקע החודרים למבנים

Parameter	Symbol	Unit	Default
Averaging Time for Carcinogen	AT _c	year	70
Averaging Time for Non-Carcinogen	AT _{nc}	year	=ED
Body Weight:			
Resident Child	BW	kg	15
Resident Adult	BW	kg	70
Non-Residential Worker	BW	kg	70
Construction Worker	BW	kg	70
Exposure Duration:			
Resident Child	ED	year	6
Resident Adult	ED	year	24
Non-Residential Worker	ED	year	25
Construction Worker	ED	year	1
Exposure Frequency:			
Resident Child	EF	day/year	360
Resident Adult	EF	day/year	360
Non-Residential Worker	EF	day/year	250
Construction Worker	EF	day/year	90
Soil Ingestion Rate:			
Resident Child	IR _{soil}	mg/day	200
Resident Adult	IR _{soil}	mg/day	100
Non-Residential Worker	IR _{soil}	mg/day	100
Construction Worker	IR _{soil}	mg/day	330
Groundwater Ingestion Rate:			
Resident Child	IR ^w	L/day	1
Resident Adult	IR ^w	L/day	2
Exposure Time for Indoor Inhalation:			
Resident Child	ET _{in}	hr/day	18
Resident Adult	ET _{in}	hr/day	18
Non-Residential Worker	ET _{in}	hr/day	18
Exposure Time for Outdoor Inhalation:			
Resident Child	ET _{out}	hr/day	16
Resident Adult	ET _{out}	hr/day	16
Non-Residential Worker	ET _{out}	hr/day	12
Construction Worker	ET _{out}	hr/day	10
Skin Surface Area for Incidental Dermal Contact with Soil:			
Resident Child	SA _{soil}	cm ² /day	2800
Resident Adult	SA _{soil}	cm ² /day	5700
Non-Residential Worker	SA _{soil}	cm ² /day	3300
Construction Worker	SA _{soil}	cm ² /day	3300

טבלה א': המשך

Parameter	Symbol	Unit	Default
Skin Surface Area for Incidental Dermal Contact with Water:			
Resident Child	SA_{gw}	cm^2/day	2800
Resident Adult	SA_{gw}	cm^2/day	5700
Non-Residential Worker	SA_{gw}	cm^2/day	3300
Construction Worker	SA_{gw}	cm^2/day	3300
Skin Surface Area for Whole-Body Dermal Contact with Water:			
Resident Child	SA_{gw-wb}	cm^2/day	6600
Resident Adult	SA_{gw-wb}	cm^2/day	18000
Soil to Skin Adherence Factor:			
Resident Child	AF	mg/cm^2	0.2
Resident Adult	AF	mg/cm^2	0.07
Non-Residential Worker	AF	mg/cm^2	0.2
Construction Worker	AF	mg/cm^2	0.3
Event Frequency for Incidental Dermal Contact with Soil			
Resident Child	EV_{soil}	event/day	1
Resident Adult	EV_{soil}	event/day	1
Non-Residential Worker	EV_{soil}	event/day	1
Construction Worker	EV_{soil}	event/day	1
Event Frequency for Incidental Dermal Contact with Water			
Resident Child	EV_{gw}	event/day	1
Resident Adult	EV_{gw}	event/day	1
Non-Residential Worker	EV_{gw}	event/day	1
Construction Worker	EV_{gw}	event/day	1
Event Frequency for Whole-Body Dermal Contact with Water			
Resident Child	EV_{gw-wb}	event/day	1
Resident Adult	EV_{gw-wb}	event/day	1
Event Duration for Incidental Dermal Contact with Water			
Resident Child	t_{event}	hr/event	1
Resident Adult	t_{event}	hr/event	1
Non-Residential Worker	t_{event}	hr/event	1
Construction Worker	t_{event}	hr/event	1
Event Duration for Whole-Body Dermal Contact with Water			
Resident Child	t_{event_wb}	hr/event	0.33
Resident Adult	t_{event_wb}	hr/event	0.25

**טבלה ב: פקטורי הסעת מזהמים ומאפייני בניין (Fate and transport) בהנחיית IRBCA
למסלול חשיפה לסיכון של שאיפת גזי קרקע החודרים למבנים**

Parameter	Symbol	Unit	Default Value
SOIL PARAMETERS:			
Soil Source Dimension Parallel to Wind Direction	W_a	cm	1500
Depth to Subsurface Soil Sources from Bottom of Building Slab	d_{ts}	cm	100
Depth of Surficial Soil Zone	d_s	cm	100
Depth to Soil Vapor Measurement from Bottom of Building Slab	d_{sv}	cm	100
VADOSE ZONE:			
Total Soil Porosity	θ_T	$\text{cm}^3/\text{cm}^3\text{-soil}$	0.40
Volumetric Water Content	θ_{ws}	cm^3/cm^3	0.10
Volumetric Air Content *	θ_{as}	cm^3/cm^3	0.30
Thickness	h_v	cm	295
Dry Soil Bulk Density	ρ_s	g/cm^3	1.64
Fractional Organic Carbon Content	f_{ocv}	$\text{g-C}/\text{g-soil}$	0.001
SOIL IN CRACKS:			
Total Soil Porosity	θ_{Tcrack}	$\text{cm}^3/\text{cm}^3\text{-soil}$	0.4
Volumetric Water Content	θ_{wcrack}	cm^3/cm^3	0.1
Volumetric Air Content *	θ_{acrack}	cm^3/cm^3	0.30
CAPILLARY FRINGE:			
Total Soil Porosity	θ_{Tcap}	$\text{cm}^3/\text{cm}^3\text{-soil}$	0.40
Volumetric Water Content	θ_{wcap}	cm^3/cm^3	0.36
Volumetric Air Content*	θ_{acap}	cm^3/cm^3	0.04
Thickness	h_c	cm	5
GROUNDWATER PARAMETERS:			
Depth to GW from Ground Surface	L_{GW}	cm	300
GW Source Dimension Parallel to GW Flow Direction	W_{ga}	cm	3000
GW Source Dimension Perpendicular to GW Flow Direction	Y	cm	3000
Total Porosity in the Saturated Zone	θ_{TS}	cm^3/cm^3	0.4
Dry Soil Bulk Density (Saturated Zone)	ρ_{ss}	g/cm^3	1.64
Fractional Organic Carbon Content in the Saturated Zone	f_{ocs}	$\text{g-C}/\text{g-soil}$	0.001
Groundwater Mixing Zone Thickness	δ_{gw}	cm	153
Hydraulic Conductivity in the Saturated Zone	K	cm/year	730000
Hydraulic Gradient in the Saturated Zone	i	cm/cm	0.001
Groundwater Darcy Velocity	U_{gw}	cm/year	730
Infiltration Rate of Water Through Vadose Zone	I	cm/year	21
AMBIENT AIR PARAMETERS:			
Breathing Zone Height	δ_a	cm	200
Inverse of Mean Concentration at Center of Square Source	Q/C	$(\text{g}/\text{m}^2\text{-s})/(\text{kg}/\text{m}^3)$	68.81
Fraction of Vegetative Cover	V	m^2/m^2	0.5
Mean Annual Wind Speed	U_m	m/s	3.98
Equivalent Threshold Value of Windspeed	U_t	m/s	11.32
Windspeed Distribution Function from Cowherd et. al. 1985	$F(x)$	unitless	0.194

*: Calculated value. $\text{Volumetric Air Content} = \text{Total Soil Porosity} - \text{Volumetric Water Content}$

*הערה:

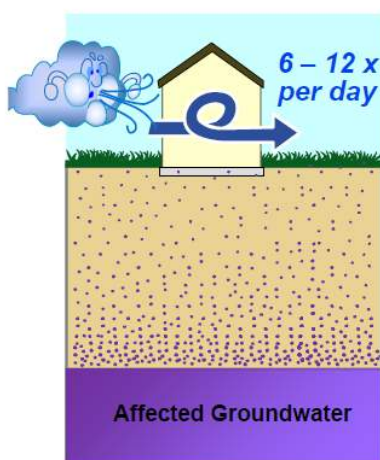
פרמטר קריטי הינו קצב החלפות האוויר בשעה (Air Exchange Rate - AER). פרמטר זה אינו זהה למספר החלפות האוויר המכאניות שמסוחררות וממוחזרות במבנה, לרבות בחניון והפרמטר הנדרש להזנה למודל J&E הינו קצב החלפות אוויר צח בשעה, כלומר קצב החלפת נפח חלל מלא

באוויר פנימי בנפח מלא של אוויר צח. מספר החלפות האוויר המכאניות בשעה, שהוא מספר גבוה בד"כ (כגון : 8 החלפות בשעה), נמוך בהרבה ממספר החלפות האוויר המלאות בשעה של אוויר צח. יצוין בנוסף כי בחניונים תת-קרקעיים מערכת האוורור אינה פועלת באופן רציף אלא רק מעט שעות ביממה, מאחר והיא מתוכננת כך שתופעל רק אם גלאי CO בחניון מצביע על ריכוזי CO מאד גבוהים. על מנת לבדוק מהו קצב החלפות האוויר המלאות של האוויר הפנימי באוויר צח בשעה, ניתן לבצע בדיקה בתנאים המדמים את המצב השגרתי ואת התרחיש הגרוע ביותר עם 1) רימון עשן שייזרק לתוך החלל ולבדוק תוך כמה זמן לא מגלים יותר את העשן באותו חלל וזה יהיה קצב החלפת אוויר צח האמיתי או 2) בשיטת ASTM E741.

הנחיית האגף היא שכל שלא בוצעו בדיקות פרטניות ומייצגות באתר הספציפי באחת השיטות שלעיל באופן שיוכיח מהו קצב החלפות אוויר פנימי באוויר צח בשעה, יש להשתמש בסקר הסיכונים במודל ג'ונסון ואטינגר J&E ב tier-2 וב tier-3 עבור הפרמטר AER (קצב של החלפות אוויר צח בשעה) של 'ברירת המחדל' של : כלומר 0.5 החלפות אוויר בשעה למגורים ו- 0.83 החלפות אוויר בשעה במבנה שאינו משמש למגורים. ערך זה הינו הערך המופיע במסמך הנחיות IRBCA בטבלה Table E-4(b).

קצב החלפות האוויר שנבחר ייושם בפועל באתר ויישמר ויהיה אחיד ורציף לאורך כל שעות השהייה והפעילות במבנה.

איור מס' 1: קצב החלפות אוויר פנימי באוויר צח בשעה הנדרש כבירית מחדל ב tier 1.
מקור לאיור: מצגת מאת SERDP, ESTCP, GSI



Vapor Movement Through Building

- Ventilation:** Air in building is exchanged with fresh air 6 to 12 times/ day.