

בחינת מודל הבקרה המדורגת לבחירת אמצעי בקרה לגורמי סיכון גיהותיים במקומות עבודה בישראל

חוקרים:

ד"ר אשר פרדו - מנהל מחלקת מחקר, המוסד
לבטיחות ולגיהות
ד"ר מיכאל מימן – אמפימד בע"מ

המוסד לבטיחות ולגיהות

המחקר בוצע במימון קרן "מנוף" למימון פעולות למניעת תאונות
בעבודה – המוסד לביטוח לאומי

חודש ניסן התשע"ח
מרץ 2018

תמצית המחקר

הגישה המסורתית הקלאסית להערכת החשיפה ותכנון של אמצעי בקרה הנדרשים לתחנת עבודה מסתמכת על ידע, ניסיון ושיפוט מקצועי של אנשי מקצוע ומומחים ונעזרת בניטור סביבתי כאמצעי אובייקטיבי. במקרים רבים בהם חסרים מדדים סטנדרטיים לבחינת קבילות חשיפה תעסוקתית לחומרים כימיים חל קושי בהתאמת אמצעי הגנה באופן מיטבי, והסתמכות על שיפוט או ניסיון אינה מונעת שגיאות תפיסתיות או תכנוניות של הגנה נכונה. יתרה מזאת, רבים מקומות העבודה הקטנים והבינוניים בהם אמצעי ההגנה ההנדסיים אינם נאותים או חסרים והעובדים נחשפים לסיכונים בריאותיים. חלק מהסיבות לכך הוא הקושי של מקומות אלה לבצע תהליך מלא של הערכת חשיפה, ניהול סיכונים ותכנון הגנה מיטבי עקב העדר משאבים כלכליים וטכניים. זאת, בהשוואה לעסקים גדולים, שלרשותם כוח אדם מיומן או יועצים זמינים, אפשרויות פיננסיות ותרבות ארגונית מתאימה לניהול סיכונים מתקדם.

כמענה למגבלות הנ"ל ולאחרות התפתחו כלי עזר שונים לבקרת סיכונים בריאותיים מחומרים כימיים וניהול הסיכון. אחת התפיסות שהתפתחה נקראת "בקרה מדורגת" או "רצועות הבקרה" (control banding) ומתבססת על יישום דרגות בקרה שונות בהתאם לגודל הסיכון וחומרתו. המודל שפותח על בסיס התפיסה הוא פרגמטי, מספק כללים מנחים לבחירה והתאמה של אמצעי בקרה הנדסיים לתהליך עבודה או פעילות נתונים, ומאפשר את יישומו גם על ידי מקומות עבודה קטנים ובינוניים שאין בהם מומחים מקצועיים. המודל נתמך ברכיבים סטנדרטיים, כגון גליון בטיחות (MSDS) ומשתמש בפרמטרים חצי-כמותיים, כגון כמות החומר הכימי בשימוש, משך חשיפה ועוד, לצורך שיפוט בסיסי ושיפוט מקצועי.

המודל פותח כמטריצה ומגדיר ארבע קטגוריות או מדרגות של בקרה הנדסית – איורור כללי, בקרה הנדסית-איורור מקומי, הכלה, אמצעים מיוחדים - ולא נקודת בקרה אינדיווידואלית. המדרגות משקפות תנועה מרמת בקרה נמוכה לרמה גבוהה יותר בהתאם לרמת הסיכון. כל מדרגה או רצועה היא רמה הירארכית של בקרה ונכללים בה אמצעים הנדסיים שונים לבקרת חשיפה. מודל הבקרה המדורגת מציג שלושה משתנים ששילובם מסייע לבחירת אמצעי בקרה: (1) חומרת ההשפעה הבריאותית והנזק הפוטנציאלי של חומר כימי המסווגים בחמש קבוצות (A,B,C,D,E) וניתן לתייגם באמצעות המידע בגליון בטיחות; (2) כמות החומר הפוטנציאלי לחשיפה, על פי שלוש דרגות בסקלה כמותית: קטנה, בינונית, גבוהה; (3) מצב הצבירה והמופע הפיסיקלי של החומר באוויר כגורם המייצג את פוטנציאל פיזורו הסביבתי ואת הפוטנציאל היחסי של חשיפה אליו. ניתן לשקלל במטריצה זו גם את משך החשיפה לגורם הסיכון ככלי עזר להחלטה על מדרגת הבקרה הנחוצה. יחד עם קבלת הכוונה להירארכיית בקרה הנדסית מתאימה לתרחיש עבודה נתון קיימת ההבנה ששיטת הבקרה המדורגת היא כלי עזר שאינו מתיימר להיות תחליף אבסולוטי ליעוץ והסתייעות באנשי מקצוע ומומחים או לניטור סביבתי תעסוקתי. לצד יתרונות הקיימים בה ישנם גם חסרונות שעלולים לפגום באיכות הערכת הסיכון ודיוק בבחירת רמת הסיכון ע"י המשתמש. העדר נתונים מספיקים וזמינים על חומר כמו גם אי ודאות בבחירת הקטגורייה של חומרת הנזק יכולים להוות חסרון. חסרון נוסף הוא העובדה שהמודל אינו מכוון באופן ספציפי לבחירת האמצעי המתאים ביותר מבין מספר אפשרויות וכל רמת בקרה השייכת לאותה מדרגה עשויה להיות מושגת על ידי מספר אמצעי בקרה בעלי יעילות שונה.

על אף ביסוסה של גישת הבקרה המדורגת כגישה מעשית ובעלת אפשרות יישום במגזרי תעשייה נרחבים, וכגישה מומלצת על ידי גופים סטטוטוריים במדינות שונות, קיים עדיין פער בתשתית סיסטמתית של תיקוף השיטה ובאנליזת הרגישות שלה בהשוואה לגישות הקלאסיות. גופים שונים שניסו לבצע סטנדרטיזציה בשיטה הגיעו למסקנה שיש צורך בהתאמות בכל חברה או מדינה עקב שוני במאפיינים תעשייתיים ורגולטוריים כגון שוני ברמות חשיפה מרביות. ניטור סביבתי-תעסוקתי שימש כאחד האמצעים לוולידציה של השיטה תוך חיפוש התאמה בין תוצאת המדידה לבין הצלחת מדרגת בקרה נתונה להגן על עובדים מחשיפה בלתי קבילה.

מטרת מחקר החתך התצפיתי היתה לבחון על סמך נתונים הקיימים בתעשייה הישראלית עד כמה השימוש במודל ובשיטה יוצר שוני בין מדרגות בקרה שמומלצות על ידו לבין מדרגות הבקרה הקיימות במקומות עבודה בפועל. כמו כן בדק המחקר באמצעות הדמיה אם שימוש במדרגת הגנה הנגזרת ממודל הבקרה המדורגת עשוי להביא לשיפור ברמות חשיפה חורגות מהמותר שנמדדו באמצעות ניטור סביבתי-תעסוקתי.

מקור הנתונים היה מאגר סקרים גיהותיים וניטורים סביבתיים-תעסוקתיים שבוצעו במקומות עבודה ע"י בודקי גיהות מוסמכים. רשומות נתונים ממאגר סקרי גיהות הכילו נתונים של משתנים תאוריים (שמיים) וסודרים בתרחיש עבודה נתון שיש בו פוטנציאל לחשיפה תעסוקתית. רשומות אלה הכילו את כל המשתנים הבלתי תלויים הנדרשים לחיזוי מדרגת בקרה על פי המודל והכילו את מדרגת הבקרה הקיימת בפועל בתרחיש עבודה נתון. במקביל, זווגו עם כל רשומה נתוני בדיקות סביבתיות-תעסוקתיות השייכות אליה. באופן זה התקבל מדגם תרחישים כאשר כל תרחיש כלל את מדרגת הבקרה הקיימת בפועל ומולה הוצבה רמת החשיפה הנשימתית התואמת כדי לבדוק אם המדרגה מגנה מחשיפה בלתי קבילה. סימולציה לגזירת מדרגת בקרה מומלצת על פי המודל בוצעה עבור כל תרחיש נתון. המדרגה החזויה שהתקבלה בסימולציה הוצבה בתרחיש מול נתוני הניטור שהתקבלו בו.

השוואה נערכה בין מדרגת הבקרה בפועל לבין מדרגת הבקרה החזויה בכל תרחיש כדי לבדוק את ההתאמה ביניהן. בעיבוד התוצאות סווגה ההשוואה בשלוש קבוצות סיווג הכוללות קבוצה של התאמה בין מדרגת המודל למדרגה בפועל ושתי קבוצות בהן מדרגת המודל גבוהה או נמוכה מהמדרגה בפועל.

תוצאות הניטור בתרחישים מוינו בין שתי קבוצות שבאחת מהן נכללו תרחישים בהם רמות החשיפה שהתקבלו גבוהות מרמה מירבית מותרת (חשיפה חריגה) לבין תרחישים שבהם רמת החשיפה קבילה עקב היותה נמוכה מהרמה המרבית המותרת. בכל קבוצה כזו בוצע מיון נוסף לפי שלוש קבוצות הסיווג של ההתאמה או אי התאמה בין מדרגת התרחיש בפועל לבין המדרגה החזויה על פי הסימולציה במודל. באופן זה התקבלו שש קטגוריות משנה בהן נבחן מה מידת הצלחתה של רמת ההגנה החזויה בתרחיש למנוע חשיפה חריגה. בתרחישים בהם התקבלה מדרגת בקרה סימולטיבית גבוהה מהמדרגה בפועל נערכה על פי קריטריונים נהוגים הדמייה של רמות חשיפה אילו בתרחיש היתה מופעלת מדרגת בקרה שנגזרה על פי המודל. מול כל רמת חשיפה בפועל בתרחיש נתון הוצבה תוצאת ההדמייה כדי לקבל זוג תוצאות השייכות לאותו תרחיש. סדרת רמות החשיפה שהתקבלו בהדמייה הושוותה לסדרת רמות החשיפה שהתקבלו בפועל לאחר נירמול התוצאות כדי להביאן למכנה משותף. שתי הסדרות

טופלו בהשוואה כמדגם מזווג והבדלי הממוצעים של שתיהן נבדקו באמצעות מבחן t דו זנבי למדגמים מזווגים כדי לבדוק את מובהקות ההבדל ברמת $p \leq 0.05$. במחקר נבדקו שני מדגמים בני 3265 ו-2134 רשומות המהוות תרחישים. המדגם הגדול נוצל רק לבדיקת היתכנות הסימולציה לקבלת מדרגות בקרה על פי המודל

והשוואה למדרגות בפועל. מקורו של המדגם הקטן יותר במאגר מבוקר שנתוניו הופקו במתודולוגיה אחידה והוא שימש לסימולציה וניתוחים שונים שנעשו בו. פער משמעותי נמצא בין מדרגת הבקרה המומלצת ע"י מודל הבקרה המדורגת לבין המדרגה שנמצאה בפועל בקטגוריות אלה בתרחישים שנסקרו. אחוז התרחישים במדגם המבוקר בהם הציע המודל מדרגת בקרה גבוהה, או נמוכה, מזו בפועל הגיע, בהתאמה, ל- 40.7% ו- 21.9% מכלל המדגם כאשר מדרגה גבוהה יותר הומלצה לגבי מדרגות ההכלה והאמצעים המיוחדים ונמוכה יותר לגבי שתי המדרגות האחרות. בעת שימוש בכמות חומר קטנה הסתמנה נטייה גבוהה יותר להתאמה בין מדרגת הבקרה הסימולטיבית לבין זו בפועל (41.5% בסך התרחישים המכילים כמות חומר קטנה) בניגוד לאי התאמה עולה בכמויות בינוניות וגדולות. ב- 75% מהתרחישים בהם נעשה שימוש בחומר נוזלי התקבלה אי התאמה בין המדרגות. עבור כ- 69% מהתרחישים בהם עובדים בחומרים מוצקים חזה המודל צורך במדרגת בקרה גבוהה מהקיימת בפועל. מיעוט התרחישים בהם נצפו חומרים במצב צבירה גזי מצביע על שימוש מועט בגזים מזיקים כחומרי גלם במפעלים קטנים ובינוניים. תרחישים בהם מופיעים חומרים מקטגוריית C הופיעו בשכיחות הגבוהה ביותר (38%) ולאחריה תרחישי עבודה בחומרים מקטגוריית E (28%).

שיעור התרחישים בהם נמדדה רמת חשיפה חורגת מהרמה המרבית המותרת הוא 16%, רובם בתרחישים בהם מצב הצבירה של החומר הוא מוצק וכמות החומר בינונית. רוב החריגות נמצאו בחומרים המסווגים בדרגת החומרה הגבוהה ביותר (E). שיעורי החריגות הגבוהים ביותר נצפו על פי סדר יורד בתהליכי עיבוד עץ (נגריות), בתהליכי הזנה והכנת חומרים כגון עבודה בקמח, ובתהליכי ריתוך, ובהתאמה, בתוך תהליכים אלה הגיעו שיעורי החריגות ל- 51.6%, 46.7% ו- 44.3%. ברוב התרחישים החריגים בתהליכים אלה חזה המודל צורך במדרגת בקרה יותר גבוהה מזו הקיימת בפועל. השיעור האחוזי הגבוה ביותר הן של רמות חשיפה קבילות (60.6%) והן של חריגות (64.6%) נמצא בתרחישי קבוצת הסיווג בה מדרגת הבקרה החזויה גבוהה מזו שנצפתה בפועל. לא נמצאו רמות חריגות בתרחישים בקבוצת הסיווג בה מדרגת הבקרה החזויה על פי המודל נמוכה ממדרגת הבקרה בפועל. אחוז גבוה יחסית (35.4%) בכלל החשיפות החריגות נמצא בתרחישים בהם יש התאמה במדרגות הבקרה בין המצב בפועל למצב החזוי, אולם מספר התרחישים בקטגוריה זו מהווה כ- 5.7% מכלל מדגם התרחישים. אלה הם התרחישים בהם המודל מגלה חולשה בהגנה מפני חשיפה כיוון שהחשיפה תהיה חריגה גם אם תופעל בתרחיש מדרגת בקרה חזויה על פי המודל.

בקבוצת התרחישים בעלי חשיפה חריגה שבהם חזה המודל צורך במדרגה גבוהה מהקיימת נערכה הדמיה למצב בו הבקרה היא על פי המודל. בהדמיה התקבלו רמות חשיפה היפותטיות והן הושוו לסדרת רמות החשיפה שהתקבלו בניטור בפועל. ההשוואה נערכה לרמות חשיפה מנורמלות שהן מנה המתקבלת מחלוקת כל ריכוז סביבתי נמדד של חומר נתון ברמה המרבית המותרת לחשיפה לאותו חומר. מנה זו היא שקולת ריכוז ביחס לרמה מרבית מותרת. כל שקולה בסדרת ההדמיה הוכפלה במקדם צמצום הריכוזים על פי ההבדל בין מדרגת הבקרה בפועל לבין מדרגת הבקרה החזויה על פי המודל. הבדל סטטיסטי מובהק ($p < 0.0001$) נמצא בין ממוצע השקולות בסדרת ההדמיה לבין הממוצע בסדרת השקולות בפועל. התקבלה השערת המחקר לפיה ישום רמת הגנה הנדסית שנגזרה ממודל הבקרה המדורגת יקטין את שיעור החשיפות החורגות כאשר הרמה המומלצת גבוהה מרמת ההגנה הקיימת בפועל. בסדרה שנבחנה הגיע שיעור הצמצום אל מתחת לרמה המרבית המותרת ל-

56% מכלל התרחישים שנמצאה בהם חשיפה חריגה ול- 8.3% מכלל התרחישים במדגם.

תועלת השימוש בשיטת הבקרה המדורגת ככלי עזר מכוון בולטת בעיקר עבור מצבים שבהם רמת ההגנה האקטואלית אינה מספיקה כדי למנוע חשיפה החורגת מרמות מרביות מותרות והמודל מציע מדרגת בקרה גבוהה יותר. באותם תרחישים שבהם אין חריגה מרמות מרביות מותרות והם מהווים 84% מכלל התרחישים אין, להלכה, צורך בשינוי רמת הבקרה הקיימת. גם באותם תרחישים בהם נמצאה חשיפה חריגה ומדרגת הבקרה החזויה ע"י המודל לא סייעה בהקטנת רמת החשיפה ניתן לחשוב שישום השיטה לא ישפר את רמת החשיפה. אולם, יש לזכור שממצאי המחקר הנוכחי מסתמכים על חתך תוצאות ניטור שהושג בנקודת זמן מסויימת. בניהול בטיחות נכון יש להכניס שיקולים של שינוי אפשרי לרעה ברמות חשיפה, בין השאר מהטעמים הבאים:

מבחינת תפיסה בטיחותית, ניהול בטיחות נכון ושיקולי זהירות מונעת ואבטחת בריאות העובד, הפעלת מדרגת בקרה גבוהה יותר מהנדרש מעלה את מקדם הבטיחות וההגנה של העובד ויוצרת היערכות למצבים חריגים בלתי צפויים, או מצבים של שינויים בקצבי יצור עקב הזמנות עבודה גדולות, שינויים עונתיים בייצור, או אירועי תקלה. ההסתברות להיתכנות רמות חשיפה גבוהות יותר, שיצדיקו את המדרגה החזויה, אינה ידועה. הכנסת שיקולים של שינוי אפשרי לרעה ברמות חשיפה מוצדקת גם בגלל שינויים ברמות החשיפה על ציר זמן, העדר ניתוח של נתוני ניטור מצטברים כדי להשיג פרופיל חשיפה ומגמות ושינויים ברמות חשיפה לאורך זמן, שינויים בטכנולוגיית תהליך ובנהלי עבודה, שונות סביבתית ברמות החשיפה הנמדדות עקב הבדלים בין קיץ לחורף ושינויים בתנאים מטאורולוגיים, הארכת שעות עבודה במשמרת מעל משך המשמרת המהווה בסיס לקביעת רמה מרבית מותרת לחשיפה. בחינת רעיון השימוש בשיטת הבקרה המדורגת מהיבט תחיקתי ורגולטורי מראה שאין סתירה בין השימוש בשיטה ככלי עזר לבין התחיקה הישראלית. במדינת ישראל נאספים הנתונים שיש להזין במודל ע"י אנשי מקצוע בגיהות תעסוקתית במסגרת ביצוע סקרים מקדימים לניטור במקומות עבודה. סקרים אלה נאספים ונשמרים על פי חוק ולכן ניתן להשתמש בהם כמאגר לבניית בסיס נתונים למחקר וסקרים. איכות הנתונים תלויה באופן האיסוף ומידת הדיוק של המידע הנאסף. סימולציה של מודל הבקרה המדורגת תוך שימוש בנתוני הסקרים וכדי להגיע למדרגת הבקרה המומלצת מתאפשרת אם קיימים כל הנתונים הדרושים להזנה במודל. איכות החיזוי של מדרגת הבקרה תלויה אף היא באיכות ודיוק הנתונים.

עיבוד התוצאות ובחינת ההתאמה של מודל הבקרה המדורגת שימש בסיס לפיתוח תוכנה בסיסית פשוטה לגזירת דרגת הבקרה המומלצת עבור גורמי סיכון כימיים בתרחיש עבודה נתון שיש בו פוטנציאל לחשיפה תעסוקתית. התוכנה פותחה בתחילה בתוכנת Microsoft Access ולאחר מכן כתוכנת Web אינטרנטית בפלטפורמת dot.net ובפורמט SQL. כדי להגיע לתצורה הסופית של התוכנה היא נוסתה בקרב אנשי מקצוע בגיהות ובקרב בעלי תפקידים בבטיחות במקומות עבודה בליווי קבלת משוב על תצורתה ויכולת יישומה בשטח. בעקבות תובנות וליקויים שעלו מהמשוב שופרה התוכנה.

המסקנות העיקריות העולות מהמחקר הן הבאות:

1. שיטת הבקרה המדורגת ניתנת ליישום ככלי עזר בתכנון אמצעי הגנה ובקרה הנדסיים חדשים.
2. השיטה מסייעת בהערכת אמצעי בקרה קיימים ויתרונה בעיקר במצבים בהם נמצאו בניטור סביבתי-תעסוקתי ממצאי חשיפה חריגים.

3. השיטה והתוכנה שפותחה על בסיסה ניתנים, לאחר הדרכה, לשימוש ע"י אנשי מקצוע העוסקים בבטיחות ובגיהות, כגון גיהותנים, מהנדסי בטיחות, ממוני בטיחות, גורמים מפעליים האחראים על בטיחות וגיהות, כגון נאמני בטיחות ונציגי וועדות בטיחות. בתי מלאכה ומפעלים שלא עברו הכשרה כלשהי בתחומים אלה, או אינם עוסקים בנושא במקום העבודה עלולים להתקשות ליישם את שיטת הבקרה המדורגת, אלא אם יעברו הדרכה בסיסית בנושא.
4. השיטה יכולה לסייע בתכנון והתאמת אמצעי בקרה הנדסיים במצבים בהם לא נקבעה לחומר רמה מרבית מותרת לחשיפה.
5. מודל הבקרה המדורגת אינו מתאים לתרחישי עבודה בשטח פתוח אלא במבנה (סגור או פתוח חלקית), כיוון שבשטח פתוח אין זה מעשי בד"כ להפעיל אמצעי בקרה הנדסיים קבועים. מסקנה זו משליכה על מגבלת המודל בענפי בניין וחקלאות.
6. התקנת אמצעי הגנה הנדסיים תוך הסתייעות בשיטת הבקרה המדורגת עשויה להוביל לצמצום רמות חשיפה גבוהות מרמה מרבית מותרת לחשיפה לחומרים כימיים.

ליישום מודל הבקרה המדורגת בתעשייה הישראלית נדרשות התאמות כלהלן:

- צורך בהצטיידות מקומות עבודה בגליונות בטיחות בעלי קוד חומרת סיכון עדכני על פי מערכת ההרמוניזציה הגלובלית (GHS).
- בחירת טמפרטורת פשרה אחת כטמפרטורת תהליך שתנחה מעבר מדרגת פוטנציאל פיזור אחת לדרגה אחרת גבוהה יותר. דרגת פוטנציאל הפיזור היא משתנה במודל וטמפרטורת הפשרה שנבחרה היא 40°C .
- התחשבות בגורם בעל קטגוריית חומרת הסיכון הגבוהה ביותר והפעלת השיטה על פיו.
- יישום מדרגת בקרה אחת גבוהה יותר מזו המוצעת במספר תהליכים ובהם תהליכי עבודה בקמח, תהליכי עיבוד עץ, תהליך ריתוך חשמלי בסגסוגת מתכת מכילה מנגן. יישום זה הוטמע בתוכנה שפותחה.

ברוח המסקנות ניתנו המלצות תואמות ובנוסף עליהן הומלץ להכיל בתכנית לניהול בטיחות ובריאות תעסוקתית, המחוייבת על פי תקנה, את המידע על רמת הבקרה הנדרשת על פי המודל ביחס לרמה הקיימת בפועל; לשקול התייחסות בסקר מקדים, הנערך על פי דרישת תקנת "גורמים מזיקים" להשוואה בין מדרגת הבקרה הנצפית בסקר בפועל לבין מדרגת הבקרה המוצעת ע"י מודל "מדרגות הבקרה".

תוכן עניינים

עמ'

10	..... רקע מדעי	
11	..... תאור מודל "בקרה מדורגת"	
14	..... יתרונות וחסרונות	
16	..... ישום וולידציה של השיטה והתאמתה לתנאים מקומיים	
19	..... כלים ממוחשבים להערכה ולבקרה של חשיפה	
19	..... מטרות המחקר	
20	..... השערת המחקר	
21	..... שיטות מחקר	
21	..... מקור הנתונים ומיונם	
21	..... משתני המחקר	
22	..... מהלך המחקר	
23	..... עיבוד וניתוח נתונים	
24	..... תוצאות המחקר	
24	..... השוואת מדרגות בקרה בפועל למדרגות בקרה על פי מודל	
	..... בחינת התאמה של מדרגות בקרה להגנה מחשיפה על פי תוצאות	
31	..... ניטור סביבתי-תעסוקתי	
39	..... דיון	
46	..... ביבליוגרפיה	
50	..... מסקנות המחקר	
52	..... המלצות	
	..... פיתוח תוכנה להחלטה על מדרגת בקרה מתאימה על פי מודל הבקרה	
54	..... המדורגת ובדיקת אפשרות יישומה	
57	..... נספחים	
	..... נספח מס' 1 : קטגוריות ראשיות וקטגוריות משנה של המשתנים	
57	..... המופיעים במודל הבקרה המדורגת	
60	..... נספח מס' 2 : סיווג ותיאור מדרגות הבקרה במודל הבקרה המדורגת	
70	..... נספח מס' 3 : הוראות שימוש והפעלה של תוכנת הבקרה המדורגת	

רשימת טבלאות

עמ'

- טבלה מס' 1:** שכיחות מדרגות בקרה בתרחישי עבודה בפועל ולאחר סימולציה על פי מודל בשני מדגמים.....
- טבלה מס' 2:** השוואה בין מדרגות בקרה חזויות על פי מודל לבין מדרגות בקרה בפועל במקומות עבודה, עבור כמויות משתנות של גורמי סיכון כימיים בתהליכי עבודה.....
- טבלה מס' 3:** התפלגות השוואה בין מדרגות בקרה החזויות על פי מודל הבקרה המדורגת לבין מדרגות בקרה שנמצאו בפועל בעמדות עבודה בחתך מצבי צבירה של חומרים בתרחישים.....
- טבלה מס' 4:** התפלגות תוצאות ניטור חריגות בתרחישים על פי כמות החומר, מצב צבירתו וחומרת ההשפעה שלו.....
- טבלה מס' 5:** התפלגות תרחישים של חשיפה קבילה וחריגה בין קבוצות גורמי סיכון כימיים והמופע הפיסיקלי שלהם באוויר.....
- טבלה מס' 6:** התפלגות רמות חשיפה קבילות וחריגות בין שלוש קבוצות סיווג להשוואה בין מדרגות בקרה חזויות על פי המודל לבין מדרגות בקרה בפועל.....
- טבלה מס' 7:** התפלגות תרחישי תהליכים בעלי רמת חשיפה חריגה בין קבוצת סיווג בה מדרגת הבקרה החזויה על פי מודל תואמת את מדרגת הבקרה בפועל לבין קבוצת סיווג בה מדרגת המודל גבוהה מהמדרגה בפועל.....
- טבלה מס' 8:** תוצאות המבחן הסטטיסטי לבדיקת השערת המחקר.....

עמ'

- איור מס' 1 : סיווג קטגורי של השפעות בריאותיות ותחומי חשיפה נשימתית כבסיס להגדרת "הבקרה המדרגת" של
..... COSHH Essential
- איור מס' 2 : המודל הגרפי של "בקרה מדרגת"
איור מס' 3 : שכיחות אחוזית של מדרגות בקרה בתרחישי עבודה בפועל ולאחר סימולציה על פי מודל במדגם ראשון (a) ושני (b) במחקר.....
- איור מס' 4 : השוואה בין מדרגות בקרה הנדרשות על פי מודל הבקרה המדרגת לבין מדרגות בקרה שנמצאו בפועל בתרחישי עבודה עבור כלל הקטגוריות של כמות חומר.....
- איור מס' 5 : התפלגות אחוזית של תרחישי עבודה בין חמש קטגוריות (A – E) של חומרת השפעה של גורמי סיכון כימיים.....
- איור מס' 6 : התפלגות ממצאים של חשיפה חריגה על פי כמות החומר (a) ועל פי מצב צבירה (b) בתוך קבוצות הסיווג להשוואה בין מדרגת בקרה חזויה על פי המודל לבין מדרגת בקרה בפועל.....
- איור מס' 7 : השוואה בין שיעורי רמות חשיפה חריגות (גבוהות מרמה מרבית מותרת) בשלוש קבוצות סיווג של מדרגות בקרה חזויות לעומת בפועל בכלל תרחישי העבודה.....

1. רקע מדעי

מטרתה של הערכת חשיפה תעסוקתית נשימתית לחומרים כימיים היא לקבוע האם חשיפתו של העובד לחומר נתון, או תערובת חומרים, היא קבילה והאם העובד מוגן באופן משביע רצון כדי להמנע מהשפעות מזיקות. הגישה המסורתית הקלאסית להערכת החשיפה ותכנון של אמצעי בקרה הנדרשים לתחנת עבודה מסתמכת על ידע, ניסיון ושיפוט מקצועי של גיהותן ונעזרת בניסוח סביבתי כאמצעי אובייקטיבי. על פי הגישה, קבילות החשיפה הנשימתית של עובד נקבעת על בסיס השוואת רמה מדודה של חומר באוויר לרמה מרבית מותרת לחשיפה. חריגה מרמה מרבית מותרת מוגדרת כחשיפה בלתי קבילה ונדרשת הגנה הנדסית, ניהולית, או אישית כדי לצמצם את החשיפה הבלתי קבילה לפחות לרמות קבילות. עם זאת, רמות מרביות מותרות לחשיפה קיימות עבור כ-700 – 800 חומרים, ומכאן נובע שרמות אלה חסרות לאלפי חומרים הנמצאים בשימוש תעסוקתי (Deveau et al, 2015). בהעדר מדד סטנדרטי לקביעת קבילותה של חשיפה במקרים אלה, חל קושי להתאים אמצעי הגנה באופן מיטבי והמעסיק מסתמך על ידע, שיפוט ומסורת מקצועית, ניסיון או ברירת מחדל. הסתמכות זו אינה מונעת שגיאות תפיסתיות או תכנוניות של הגנה נכונה. העדר הנחיות מקצועיות אחידות לתכנון בקרה הנדסית ואישית למצבי חשיפה שונים, ומעורבותם של מספר גורמים בתכנון הבקרה מביא לא אחת לתכנון ויישום בלתי נכונים של ההגנה והבקרה הדרושים וכתוצאה מכך להגנה בלתי נאותה על העובד. יתרה מזאת, עקב העדר משאבים כלכליים וטכניים מתקשים בתי מלאכה קטנים (במ"ק) ובינוניים לבצע תהליך מלא של הערכת חשיפה, ניהול סיכונים ותכנון הגנה מיטבי יותר מאשר עסקים גדולים, שלרשותם כוח אדם מיומן, אפשרויות פיננסיות ותרבות ארגונית מתאימה לניהול סיכונים מתקדם. קושי זה חושף את מקומות העבודה הקטנים והבינוניים לשגיאות רבות יותר בתכנון והתקנה של אמצעי בקרה ולאי התאמה בין אמצעי הבקרה הנדרשים לבין אלו בפועל. סקירה של פעילות גיהותית שנערכה ע"י המוסד לבטיחות ולגיהות בשנת 2017 בבתי מלאכה קטנים הכוללים 1 – 25 עובדים הראתה שרק בחלק קטן מהבמ"קים שנסקרו – 12% בלבד – הותקנו מערכות יניקה מקומיות, ביוזמת הבמ"ק, שמטרתן לפתור בעיית חשיפה. בנגריות, לדוגמה, עבודה ידנית בכלים אינה מבוקרת ע"י יניקה מקומית ובמסגרות בוצע ריתוך תחת מערכת יניקה מקומית רק ב- 6% מבמ"ק שנסקרו. העדר מודעות במקומות אלה היא אחד הגורמים העיקריים להעדר בקרה הולמת בתהליכי עבודה, ועלות גבוהה של תכנון, התקנה ותחזוקת מערכת מהווה גורם רב משמעות באי הצטיידות של במ"קים בבקרה מתאימה כנגד חשיפה תעסוקתית (קנוביץ, 2018). ראוי לציין, שבעשור הקודם, כ- 35% מהעובדים בשכר בארה"ב הועסקו בחברות המעסיקות בין 1 – 99 עובדים ומתוכם למעלה מ- 50% הועסקו בחברות המעסיקות פחות מ- 20 עובדים (US Census Bureau, 2011). בשנים האחרונות מגיע האחוז הממוצע של עובדים בקטגוריית מפעלים זעירים, קטנים ובינוניים (SMEs) בקרב מדינות האיחוד האירופי לכ- 67% מכלל כוח העבודה במדינות אלה בסקטורים הלא פיננסיים הכוללים תעשייה, בנייה ומסחר, ואחוז המפעלים בקטגוריה זו עולה על 90% (Muller et al, 2016). גם במדינת ישראל אחוז המפעלים הקטנים ובינוניים גבוה מאד (כ-80%).

ההבנה שהתגבשה בקרב גופים מקצועיים ורשויות רגולטוריות היא שמקומות עבודה קטנים זקוקים לשיטות פשוטות בהרבה, שניתנות להבנה וליישום על ידי אנשים שאינם מקצועיים בבטיחות ובבריאות תעסוקתית, בשיטות זולות שמסוגלות לזהות את הבעיות בניהול סיכונים ולתת פתרונות מידיים ופשוטים לבקרתם.

הקונפליקט לעיל מדרבן מפעם לפעם לבנות באופן יצירתי אסטרטגיה או גישה אחרת של ניהול סיכונים. רצוי שגישה זו תהיה בעלת עלות מופחתת לעומת הגישה המסורתית ותאפשר למקום העבודה למלא את חובת ההגנה על העובד. התפיסה/גישה החליפית צריכה להיות בעלת הקבלה רעיונית לתפיסה המסורתית, מבוססת מספיק כדי למלא את המטרה שלשמה הוקמה, ובמידת האפשר ניתנת לצמצום התלות ביועצים חיצוניים מלוויים וליישום ברמת המעסיק וצוותיו המקצועיים. התפתחות הידע והטכנולוגיה בתחומים רבים מביאה לעתים לרמת התפתחות המאפשרת לידע להיות נגיש גם לאנשים שאינם מומחים מקצועיים. כלי עזר שונים יחד עם סטנדרטיזציה וקידוד המתפתחים בתחום תורמים רבות להעברת הידע ומאפשרים לאנשים אלו להגיע לרמת שיפוט בסיסי. בדומה לתחומים אחרים, גם בגיהות תעסוקתית התפתחות הידע כיום מאפשרת פיתוח אלגוריתמים לשיפוט מקצועי בסיסי. לצד התפתחות האלגוריתמים מתפתחים גם כלי העזר המסתמכים על האלגוריתמים ומיועדים ליישום חוקים ותקנות לבקרת סיכונים במקומות עבודה על ידי אנשים שאינם גיהותנים. הכלים הללו באים בד"כ לתת פתרון באותם ההיבטים בהם השיטות הרגילות המקובלות בתחום אינן מספקות או אינן יעילות. על בסיס זה וכמענה למגבלות שתוארו, התפתחה תפיסה חדשה של ניהול סיכונים בשם "בקרה מדורגת" או "רצועות הבקרה" (control banding) המתבססת על דרגות בקרה שונות בהתאם לגודל הסיכון (Nelson & Chiusano, 2007; Nelson & Zalk, 2008).

תפיסה זו הותאמה בעיקר למקומות עבודה קטנים ובינוניים. המודל שפותח בעקבות התפיסה הוא פרגמטי, מספק כללים מנחים לבחירה והתאמה של אמצעי בקרה הנדסיים לתהליך עבודה או פעילות נתונים, ומאפשר את יישומו גם על ידי מקום העבודה ואנשים שאינם מומחים מקצועיים תוך הבנת רמות הבקרה הדרושות למקור סיכון ותכנון הבקרה. זאת מערכת אלטרנטיבית ופשוטה להגנת העובדים מחומרים כימיים מסוכנים. המודל נתמך בידי שנצבר בתחום של גיהות תעסוקתית ובריכבים סטנדרטיים, כגון MSDS ומשפטי סיכון (Risk Phrases) ואחרים, המהווים מקור ידע לסיכון. המודל משתמש בפרמטרים חצי-כמותיים, כגון כמות החומר הכימי בשימוש, משך חשיפה ועוד, לצורך שיפוט בסיסי ושיפוט מקצועי.

תיאור מודל "בקרה מדורגת" (Control Banding)

באופן מקביל ובלתי תלוי פותחו בסוף שנות השמונים ובשנות התשעים של המאה הקודמת שתי גישות לבקרה וניהול סיכונים במקומות עבודה, האלטרנטיביות לגישה המסורתית.

גישת הבקרה הראשונה פותחה ע"י חברות לייצור תרופות (Naumann et al, 1996). הטוקסיקולוגים של החברות תארו את תכונות והשפעות המרכיבים הפעילים בתרופות במטריצה של עלייה באפקט ותופעות הלוואי של התרופה תוך ירידה במינונה (רמה פוטנטית), והגיהותנים של החברות התאימו, בהתאם למטריצה זו ולפוטנציאל החשיפה, דרישות בקרה שיצרו סביבת עבודה קבילה ובטוחה לעובדים. דירוג הסיכון על פי המטריצה יחד עם רמת הבקרה הדרושה סווגו בארבע או חמש (וכיום גם שש) דרגות הירארכיות שלכל אחת מהן הותאם גבול חשיפה מרבית מותרת. חומרים שעדיין לא פותחה עבורם רמה מרבית מותרת לחשיפה על בסיס מדעי מספק, הוכללו בדרגה של ברירת מחדל מתוך העיקרון שכל חומר עלול להזיק עד שלא הוכח אחרת. הגישה תפסה תאוצה בתחילה בחברות לייצור תרופות ואחר כך התפשטה למגזרים תעשייתיים נוספים.

גישת הבקרה השנייה, שהיא גישת "הבקרה המדורגת" (Control Banding), פותחה ע"י הרשות הבריטית לבריאות ובטיחות (HSE) כפרוטוקול במסגרת ה-COSHH (Control of Substances Hazardous to Health Regulations) שהן תקנות לבקרת חומרים מזיקים לבריאות, ובמטרה לעזור למפעלים להיענות לדרישות ה-COSHH (Russel et al, COSHH Essentials ומיישמת תפיסות של בטיחות בסיכונים לצורך טיפול בנושא הבריאות התעסוקתית במקומות עבודה. Money וגם Naumann ועמיתיו הציעו מערכת לניהול כימיקלים שבה רמת הבקרה, בדומה לגישה הראשונה, היתה קשורה באופן ישיר לרעילות החומר. לטענת Money, מקור שיטת הבקרה המדורגת הינו התרשימים, שפותחו בתעשייה הכימית להערכת סיכונים בטיחותיים ובריאותיים הנובעים מתאונות גדולות במפעלים כימיים גדולים (Money, 2003). למעשה, התרשימים האלה פותחו כמטריצות סיכון (risk matrix) המתארות חיתוך בין הסתברות להתרחשות אירוע לבין חומרתו האפשרית. הגישה פיתחה מטריצת סיכון המשלבת קטגורייה של סיכון בריאותי על פי משפטי סיכון (Risk Phrases) (שפותחה ע"י האיחוד האירופי) יחד עם אומדן דרגות חשיפה במעבדות וזיהוי בקרה הולמת לסיכון (Royal Society of Chemistry, 1989). מאוחר יותר יוחסו משפטי הסיכון לרמות מרביות מותרות לחשיפה כתחליף לאומדן דרגת הסיכון וכדי להרכיב את מטריצת הסיכון (Gardner & Oldershaw, 1991). פיתוח נוסף של ה-COSHH נועד להרחיב את השימוש במודל לעיל במגזרים תעשייתיים נוספים והוא אמד את פוטנציאל החשיפה ע"י שימוש בפרמטרים חצי-כמותיים, כמו שילוב של כמות החומר בשימוש ופוטנציאל הפיזור שלו באוויר (כאבק, חומרים נדיפים, נוזלים) (Health & Safety Executive, 1999).

כיום המודל של בקרה מדורגת (Control Banding) מאפשר להשתמש במידע קיים וזמין, כגון רשימות של סיווגים סטנדרטיים וכן מידע שקיים בספרות ואצל יצרני וספקי כימיקלים, והוא מאפשר, על ידי צעדים פשוטים, לבחור מתוך הירארכיה של קטגוריות בקרה את קטגוריית הבקרה ההנדסית ההולמת להפחתת חשיפה לרמות קבילות הנמוכות מרמה מרבית מותרת לחשיפה. כל קטגוריה היא רמת בקרה המוגדרת כמדרגה או רצועת בקרה – control banding ולא כנקודת בקרה אינדיוידואלית, כיוון שכל קטגוריית בקרה – או "מדרגת בקרה" מתאימה לבקרה של תחום נתון של ריכוזים סביבתיים וממילא מספר קטגוריות ההגנה קטן ממספר ערכי החשיפה המרביים האפשריים לחומרים כימיים ומבוטאים כרמות חשיפה נשימתית או ריכוזי חומרים כימיים באוויר.

האיור הבא מציג סיווג קטגורי של חומרת השפעה בריאותית, הנגרמת ע"י גורמי סיכון כימיים, במקביל לתחומי רמות מרביות מותרות לחשיפה. סיווג זה, המוצג באיור מס' 1, לקוח ממערכת הפיקוח הבריטית על חומרים מזיקים לבריאות (COSHH Essentials) ויכול לשמש כבסיס להגדרת מדרגות/רצועות בקרה שמטרתן למנוע חשיפות והשפעות בלתי קבילות של החומרים, דהיינו מניעת סיכון בלתי קביל (Evans, 2005).

מודל הבקרה המדורגת מציג שלושה קריטריונים לבחירת אמצעי בקרה: קריטריון 1: סיווג חומרת ההשפעה הבריאותית והנזק הפוטנציאלי על פי חמש קבוצות (A,B,C,D,E) המייצגות רמת נזק לפי ידע טוקסיקולוגי ורפואי או לפי רמה מרבית מותרת לחשיפה. הסיווג נעזר במשפטי סיכון (Risk Phrases) לסיווג וקידוד חומרת ההשפעה של חומרים כימיים. ניתן לתייג חומר מסוכן על ידי קוד המצביע על רמת הסיכון הבריאותי, כמו, למשל, חומר מגרה, חומר רעיל, חומר הגורם לנזק גנטי

וכדו'. הקוד מופיע ב-MSDS שהוא גיליון המכיל מידע הנוגע למאפייניו של חומר נתון.

קריטריון 2: מצב הצבירה והמופע הפיסיקלי של החומר באוויר ופוטנציאל הפיזור המצביע על פוטנציאל החשיפה. בקריטריון זה שלוש דרגות של פוטנציאל פיזור: נמוך, בינוני, גבוה, וזאת לפי גודל החלקיקים אם מדובר במוצקים, ולפי נקודת הרתיחה כביטוי לכושר התנדפות אם מדובר בנוזלים. גזים מהווים פוטנציאל גבוה לחשיפה נשימתית כברירת מחדל.

קריטריון 3: כמות החומר הפוטנציאלי לחשיפה, על פי שלוש דרגות: קטנה, בינונית, גבוהה.

COSHH essentials

- Hazard band – depends on **CHIP** classification

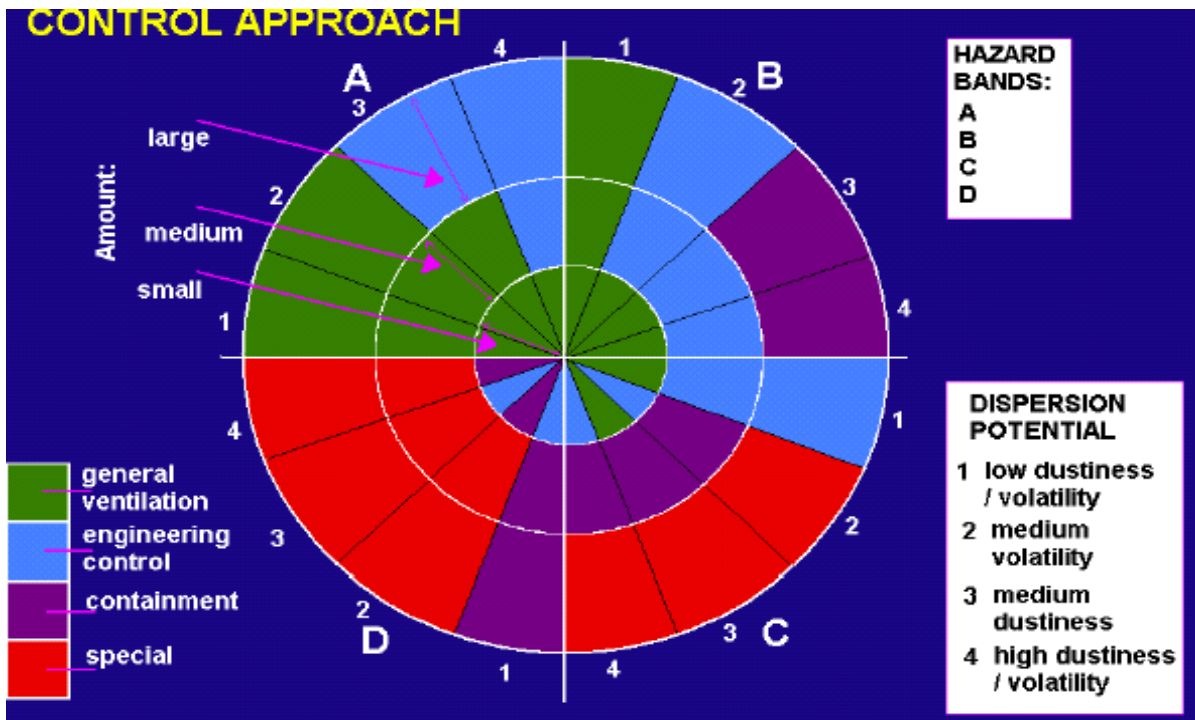
Band	Effect	Exposure range	
		mg/m³	ppm
A	irritant, flammable, unclassified	1-10	50-500
B	harmful (single exposure)	0,1-1	5-50
C	toxic, corrosive, respiratory irritant, etc	0.01-0.1	0.5-5
D	very toxic, toxic to reproduction, etc	<0.01	<0.5
E	carcinogen, mutagen, asthmagen	"ALARP"	

Applies to all substances and products

איור מס' 1: סיווג קטגורי של השפעות בריאותיות ותחומי חשיפה נשימתית כבסיס להגדרת "הבקרה המדורגת" של COSHH Essentials

משך החשיפה אינו קריטריון עצמאי במודל, אך הוא כלי עזר כאשר החלוקה היא מעל ומתחת ל- 30 דקות. אם משך החשיפה קצר, עשויה להיות הקלה במדרגת הבקרה הנדרשת על פי הבקרה המדורגת בהתאם לפוטנציאל החשיפה.

בפועל, בשטח העבודה, ניתן לבחור את מדרגת הבקרה המתאימה של COSHH Essentials לכל עבודה או תהליך ולתת תשובה לסוג האמצעי הדרוש לבקרה הנדסית באמצעות הצלבה בין שלושת הקריטריונים על תרשים של עיגול מחולק לגזרות כפי שמוצג באיור מס' 2. כאמור, כל מדרגה או רצועה היא רמה הירארכית של בקרה ונכללים בה אמצעים הנדסיים שונים לבקרת חשיפה.



איור מס' 2: המודל הגרפי של "בקרה מדורגת"

מדרגה ראשונה (רמה הירארכית נמוכה): general ventilation – שימוש באוורור מוהל/כללי.

מדרגה שניה (רמה הירארכית בינונית): Engineering - שימוש בטכניקות אוורור מקומי (LEV) או בקרה סביבתית שוות ערך אחרת.

מדרגה שלישית (רמה הירארכית גבוהה): Containment - מערכות מוכלות וסגורות כגון בידוד התהליך (בקרת מקור).

מדרגה רביעית (רמה הירארכית גבוהה מאד): Special - צורך בהתייעצות עם מומחה לקבלת אמצעי בקרה "תפורים" (tailor made) למערכת פיסית וסיכון נתונים.

אפשר להיעזר בעלוני הדרכה מסוג good practice ו-control guidance sheet כדי להגיע למדרגה המתאימה.

יתרונות וחסרונות

יתרונות גישת הבקרה המדורגת נעוצים קודם כל ביעילותה ובצמצום עלויות עבור מפעלים קטנים וגדולים. כמו כן, קיימים לשיטה יתרונות חשובים אחרים:

- א. הגישה מאפשרת סטנדרטיזציה של הערכת סיכונים עם גמישות בניהול סיכון.
- ב. הגישה מספקת מנגנון פשוט להערכת גורם סיכון, חשיפה, סיכון וניהול הסיכון. אלו יכולים להיקבע ע"י גיליונות בטיחות ונתוני יצור כאשר המשאבים הדרושים לבחירה זניחים. הפשטת הדירוג של חומרת הסיכון, דירוג החשיפה וסיווג אופציית הבקרה ע"י סיווג לקטיגוריות ותחומים היא בעלת פוטנציאל לצמצום טעויות אנוש בהערכות אלה. קל יותר לתכנן מערכת בקרה עבור תחום ריכוזים של גורם סיכון מסוים מאשר עבור ערך ספציפי. קל יותר להעריך סיכון המורכב משילוב של דרגת חשיפה (איכותנית) והשפעת גורם

הסיכון, באמצעות תחימה ברצועות יחוס מוגדרות מאשר קבלת ערך סיכון ספציפי ע"י הכפלה חוזרת של גורמים באנליזת סיכון עבור כל גורם סיכון נוכח במערכת.

ג. השיטה מאפשרת התאמת בקרה לגורמי סיכון שלא נקבעה להם עדיין רמה מרבית מותרת כמדד להערכת חשיפה וקביעת הבקרה הנדרשת.

ד. הגישה מאפשרת יישום ושימוש טובים יותר בניסיון שהצטבר במקומות עבודה לגבי טיפול בחומרים, בקרת חומרים, תקשורת סיכונים, סימון ותיווי והדרכה. היא ניתנת ליישום על ידי גורמים מפעליים ללא צורך בהתמחות מקצועית בשטחים שונים כגון טוקסיקולוגיה ובריאות תעסוקתית, אלא ידע ראשוני בלבד. קל יותר להטמיע גישה זו בתרבות הארגונית והעסקית של מקום עבודה.

ה. רמות מרביות מותרות לחשיפה הן גבולות סף, בעלות אלמנט שרירותי בקביעתן ואינן מהוות קו גבול עדין בין נזק להעדר נזק וגם אינן מתייחסות לסיכון באופן ליניארי. במקרים רבים יש יתרון לתחימת הסיכון ברצועה לעומת התייחסות לנקודה בודדת.

החסרונות העיקריים של המודל נובעים מאיכות ההערכה של הקריטריונים המופיעים בו: דיוק בבחירת רמת הסיכון ע"י המשתמש, דיוק המידע המופיע ב- MSDS, דיוק הסיווג של רמת הסיכון המבוצע על ידי ספקי החומרים והמופיע בתוויות ובנוסף, הגדרות משפטי סיכון (Phrases) (Risk) שהן לא אוניברסליות ודיוק בכמויות החומרים הכימיים בשימוש. חסרונות נוספים הם מגבלת המודל במקרים מורכבים ופחות ידועים ויעודו בעיקר לבקרת חשיפה נשימתית. כמו כן, קיימות לשיטה מגבלות נוספות:

א. אי ודאות בבחירת קטגורייה של חומרת השפעה (קטגוריית סיכון) עבור גורם סיכון נתון עלולה לנבוע מהעדר מאגר נתונים מספק על רעילות אקוטית, השפעות כרוניות, רמת ה- "אין אפקט" (NOEL) או הרמה הנמוכה ביותר לאפקט (LOEL), אקסטרפולציה של מנה-תגובה מחיות לאדם, תכונות פיסיקו-כימיות מסויימות וכד'. חסרון זה משותף גם להערכת סיכונים בגישה המסורתית אף על פי שלדוגמה, פרמטר המנה-תגובה בגישת הערכת הסיכונים הקלאסית הוא כמותי בעוד שבגישת הבקרה המדורגת הוא חצי כמותי. גם הערכת השפעה וסיכון לחומר חסר נתונים על פי אנלוגיה של מבנה כימי לחומר שלגביו קיימים נתונים עלולה לגרום לטעות בהערכה אם בכל זאת ההשפעות הבריאותיות השליליות שונות. באופן כללי מניחה תפיסת הבקרה המדורגת שתכונות פיסיקו-כימיות בודדות יחד עם סוללה מצומצמת של מבחנים טוקסיקולוגיים יספקו אומדן סביר לזיהוי הסיכון ודרגתו.

ב. מגבלה נוספת היא האפשרות לטעות באומדן רמת החשיפה הפוטנציאלית ללא ניטור ובהשוואה לרמות מרביות מותרות. אומדן מוטעה עלול להסיט את שיוך הסיכון למדרגת בקרה מתאימה ולגרום לתת הערכה או שמרנות מוגזמת. חסרון זה מפוצה בדרך כלל על ידי ניסיון או נקיטה בגישת ה"מקרה החמור ביותר" ומחקרים מראים שב- 50%-60% מהמקרים יש התאמה בין אומדן החשיפה לבין רמתה בפועל וב- 85%-95% מהמקרים האומדן אינו סוטה מהחשיפה בפועל ביותר מקטגוריית חשיפה אחת (Stewart & Stenzel, 2000; Dosemeci et al, 1990).

ג. גישת הבקרה המדורגת נשענת על מדדי סיכון קביל קלאסיים הכוללים רמת סף לתגובה ומקדמי בטחון, כגון מדד תוספת סיכון להארעות סרטן במגזר

התעסוקה בגובה 1:1000 – 1:10000 , אך שקלול הנתונים של הערכת סיכון (על פי גישת הבקרה המדורגת) לערך מייצג אחד כדי להתאימו למדרגה מסוימת עלול להקשות על היכולת לבדוק אם הושגה רמת הסיכון הקביל (Jayjock et al, 2001).

ד. רמת בקרה המותאמת לאחת ממדרגת בקרה עשויה להיות מושגת על ידי מספר אמצעי בקרה השייכים לאותה מדרגה והם בעלי יעילות שונה. מדרגת הבקרה אינה מכוונת באופן ספציפי לבחירת האמצעי המתאים ביותר מבין מספר אפשרויות.

ישום וולידציה של השיטה והתאמתה לתנאים מקומיים

בבריטניה עושה רשות הבריאות והבטיחות מאמצים להפיץ ולהטמיע את השיטה במקומות עבודה בינוניים וקטנים (SME) תוך צירוף חומר הדרכה. כתוצאה מההצלחה של COSHH Essentials, פותחה ערכה ממוחשבת לשימוש המבוסס על שיטת הבקרה המדורגת, ה- chemical control toolkit, על ידי מומחים בגהות תעסוקתית שכונסו על ידי הרשות לבטיחות ובריאות תעסוקתית בארה"ב (OSHA) יחד עם נציגות של בריטניה, דרום אפריקה ואסיה. יזמה נוספת (לרבות גירסה אינטרנטית) קודמה ע"י ארגון העבודה הבינלאומי (ILO, 2006). יוזמה זו מביאה בחשבון צרכים שונים של מדינות מפותחות ומתפתחות ומדינות בכלכלת מעבר. היוזמה מכילה בין השאר: פיתוח עלונים חדשים להדרכת בקרה, פיתוח מנגנון לבקרת עמיתים ולשיתוף מידע, הוספת דרך החדירה העורית להערכת הסיכון (כיום ההערכה מתבססת על הערכה נשימתית בלבד), תרגום הנחיות לשפת המדינה המשתמשת, שיתוף פעולה בין מדינות, פיתוח מחקר ופרסום והקמת קבוצה טכנית בינלאומית. המכון הלאומי האמריקאי לבטיחות ובריאות תעסוקתית (NIOSH) בדק את אפשרות היישום של השיטה בארה"ב. באנליזה מקיפה שסוכם במסמך משנת 2009 ניתנת המסקנה ששיטת הבקרה המדורגת היא שיטה פוטנציאלית בעלת ערך לניהול סיכונים מגורמי סיכון כימיים, לרבות גורמים שלא נקבעה להם רמה מרבית מותרת לחשיפה, אולם השיטה אינה תחליף לחוות דעת של איש מקצוע בגיהות או לניטור סביבתי-תעסוקתי. כמו כן, על מנת ליישמה בארה"ב יש לבצע התאמות הקשורות בתחיקה האמריקאית ויש צורך במערכת דינמית המשלבת גורמים משתנים על פני זמן (National Institute for Occupational Safety and Health, 2009). בשלב מאוחר יותר הכיר NIOSH בתועלת השיטה למפעלים קטנים בליווי גורמים מקצועיים וניטור (National Institute for Occupational Safety and Health, 2015) ואף החל בפיתוח כלי שיסייע להחלטה על קטגוריית הסיכון של חומר, שהיא אחד המשתנים שיש להשתמש בו בהפעלת שיטת הבקרה המדורגת (McKernan et al, 2016). בקרה מדורגת מוצאת ישום גם בתחום הננוטכנולוגיה וחלקיקים מהונדסים. חוקרים, מפתחים ועובדים בתחום זה הם אוכלוסיית החזית החשופה לחלקיקי ננו. בתחום זה פותחו מספר כלי ישום להערכה וניהול סיכון, וביניהם כלים כגון ANSES CB Tool ו-NanoSafer, Stoffenmanager. כלי הערכה אלה שונים אחד מהשני ויש צורך בהרמוניזציה של הפרמטרים שהם מייצגים להערכת הסיכון כדי לייצר כלי אחיד (Liguori et al, 2016; Brouwer, 2012; Anses, 2010).

על אף ביסוסה של גישת הבקרה המדורגת כגישה מעשית ובעלת אפשרות יישום במגזרי תעשייה נרחבים, וכגישה מומלצת על ידי גופים סטטוטוריים במדינות שונות, קיים עדיין פער בתשתית סיסטמתית של תיקוף השיטה ובאנליזת הרגישות שלה בהשוואה לגישות הקלאסיות. הפער קיים בנושאים של תיקוף פנימי, תיקוף חיצוני ואנליזה תפעולית. הגוף הבריטי האחראי על התקנות לבקרת חומרים מזיקים לבריאות (COSHH Essentials) ביצע ולידציות שונות לשיטה. חוקרים אמריקאים ביצעו הערכה של מודל הבקרה המדורגת של COSHH וזה שפותח על ידי ארגון העבודה הבינלאומי (ILO). הם הגיעו למסקנה שיש הבדלים בין שני הפיתוחים עקב שימוש בסיווגים שונים של משפטי הסיכון (Risk Phrases), והצביעו על אחוז ניכר של אי התאמות בין התוצאה המתקבלת על פי המודל לבין זו המתקבלת על פי תוצאות מדידה בפועל. אי ההתאמות פעלו בשני הכיוונים, כלומר, תת הערכה של מודל הבקרה המדורגת או הערכת יתר (Jones & Nicas, 2004; Jones & Nicas, 2006a; Jones & Nicas, 2006b; Oldershaw, 2003; Jones, 2005; Tischer et al, 2003; Jones, 2005).

יישום שיטת הבקרה המדורגת אינו מבטיח באופן אוטומטי שהחשיפות יהיו מבוקרות בהתאם לערכים מרביים מותרים רשמיים, אם ערכים אלו אינם זהים לאלה של הגוף שפיתח את השיטה. תרבות קהילה עובדת וחקיקה לאומית עלולים להשפיע על יישום השיטה, כמו גם שינויים בין מדינות בחוק המקומי ובגורמים גיאוגרפיים, כלכליים, חברתיים ואחרים, עקב כך עלולות להיווצר אי התאמות אם היא מיושמת כלשונה. נדרשת בדיקת השיטה ובדיקת התאמתה לקהילה תעסוקתית מסוימת בטרם יישומה יש לבדוק גם אם הערכת הבקרה הדרושה בתהליכים על פי שיטת הבקרה המדורגת אינה יוצרת הבדלים מהותיים בינה לבין הערכה על פי גישת הגיהות המסורתית המיושמת על ידי גיהותנים. כמו כן נשאלת השאלה אם תוצאות ניטור סביבתי תעסוקתי, לאחר הפעלת בקרה מדורגת, מבוקרות דיין ביחס לרמות מרביות מותרות. בתרחישי חשיפה שונים עשוי מודל הבקרה המדורגת לספק בקרת יתר (over controlled) כמו גם תת-בקרה. באותה מידה, גם אמצעי בקרה בפועל, שמוחקן לא על פי מודל הבקרה המדורגת, עשוי לספק בקרת יתר או בקרה מתאימה או תת-בקרה. מדידה סביבתית של רמת חשיפה היא כלי שיפוט אובייקטיבי שיכול לקבוע מי מבין שתי האפשרויות – בקרה על פי בקרה מדורגת או בקרה קיימת בפועל – מספקת עבור תרחיש חשיפה נתון. אם רמת הבקרה בפועל בתרחיש נתון היא בדרגה נמוכה מזו המוצעת ע"י מודל הבקרה המדורגת, אבל רמת החשיפה המדודה מצביעה על בקרה מספקת, הרי שהמודל מציע הגנת יתר. לעומת זאת, בקרה בפועל התואמת את הבקרה המוצעת ע"י המודל אבל אינה מספקת על פי ניטור סביבתי מצביעה על כשל של המודל לנבא בקרה מספקת.

ניטור שימש לוולידציה של מודל "הבקרה המדורגת". Tischer ועמיתיו (Tischer et al, 2003) מהמכון הפדרלי הגרמני של בריאות ובטיחות תעסוקתית (Federal Institute of Occupational Safety and Health - BAuA) ניהלו את הוולידציה החיצונית הראשונה והמלאה של COSHH Essentials עד היום. הוולידציה מבוססת על מדידות שהתקבלו מעבודות של BAuA בעשור האחרון בתעשיות שונות, כמו דפוס וטקסטיל, ובנוסף נתונים ומידע על גהות תעסוקתית המסופקים על ידי התעשייה הכימית. התאמה נמצאה בין המודל לבין המדידות לחומרים המוצקים ותחום הערכים המנובא. בנוזלים התקבל מצב שונה. במקומות עבודה בהם כמות הממסים האורגניים בשימוש הייתה בסדר גודל של ליטרים, רמות החשיפה היו

בתחום שנובא ע"י המודל או יותר נמוכות, אך בעת שימוש ברמות קטנות יותר, בסדר גודל של מיליליטרים, רמות החשיפה חרגו מהתחום המנובא כלפי מעלה בעוד שעל פי המודל הספיקו אמצעי בקרה כגון אוורור מוהל (כדאי לציין שמאגר המידע לגבי מקרים של שימוש בכמויות קטנות של חומר היה קטן).

בשנת 2001, ארגון הבריאות העולמי (WHO) בדק את השיטה ומצא אותה מאוד שימושית, במיוחד למדינות מתפתחות ולתעשייה זעירה במדינות מפותחות. דליית המידע על הסיכון הבריאותי לפי הערכה זו יכול להתבצע על פי המידע המקובל באיחוד האירופי עבור משפטי סיכון או על פי המידע הקיים לגורם הסיכון בתחום התווי והסימון במערכת ההרמוניזציה העולמית Globally Harmonized System (Classification and labeling) of Chemicals - GHS.

NIOSH הקים צוות מיוחד לבדיקת השיטה (NIOSH Control Banding Team). בשנת 2004 הצוות הציג את פרויקט הייצוג (demonstration project) ל - Control Banding במפעלים קטנים. כמו כן, מנסה NIOSH לשלב את השיטה בשיטות איכותניות אחרות לבקרת החשיפה, למשל, שימוש במאגר פתרונות לבקרת חשיפה (Niemeier et al, 2004).

לאורך השנים בוצעו לשיטת רצועת בקרה וולידציות רבות אשר עזרו בהטמעת השיטה במדינות שונות בעלות שוני בחוקים ותקנות, תנאי עבודה ותרבות (Fingerhut, Miller et al, 2002; Tischer & Scholaen, 2003; 2005). המודל הוערך גם

בתחום הננוטכנולוגיה על ידי Paik וחב' על בסיס יישום של חגורות בקרה לנו חומרים - (Control Banding Nanotool). בארבע מחמש הפעולות שהוערכו במחקר נמצאה התאמה של תוצאות המודל עם האמצעים ההנדסיים (Paik et al, 2008). לאחרונה נערכה ולידציה נוספת תוך ביצוע השוואה בין וולידציה של השיטה באמצעות מאגרי המידע הגיהותיים של מינהל הבטיחות והבריאות התעסוקתית

בישראל קיימת מתודולוגיה אחידה להערכת החשיפה של עובדים. הערכת החשיפה בארץ מתבצעת על פי הגישה המסורתית. עם זאת, המתודולוגיה המקורית מבוססת על סיווג אחיד של תהליכי עבודה המכיל כ- 400 תהליכים והגדרותיהם, ועל רישום וקידוד חומרים כימיים בעזרת המאגר המכיל כ- 43,000 שמות מסחריים של החומרים וכ- 6,600 שמות חומרים טהורים המקושרים לתקנות ישראליות ורשימת TLV של ACGIH, רשימות מסרטנים של IARC ול- Risk and Safety Phrases. תוצאות הניטור של גורמי סיכון, אשר נערך על ידי גיהותנים בארץ, מדווחות למעבדה הארצית לגיהות תעסוקתית שבמינהל הבטיחות והבריאות התעסוקתית, ונאגרות במאגר בדיקות סביבתיות של המעבדה. כיום המאגר מכיל מעל 650,000 בדיקות.

החל משנת 2011, עם הכנסת תקנות הבטיחות בעבודה (ניטור סביבתי וניטור ביולוגי של עובדים בגורמים מזיקים), התשע"א-2011, החל רישום אחיד ותיקני של סקר סיכונים מכין לכל ניטור המתבצע על ידי הגיהותנים. ממצאי הסקרים מועברים גם למעבדה הארצית לגיהות תעסוקתית.

כמו כן, במינהל הבטיחות והבריאות נמצא מאגר של פרויקט הסיוע למפעלים הקטנים בו נאגרו, החל משנת 2004, נתונים של סקרי סיכונים גיהותיים, כולל אמצעי בקרה, וזאת במקביל לתוצאות ניטור אשר בוצע באותו מפעל במסגרת הפרוייקט. נכון להיום המאגר של הפרוייקט מכיל ממצאים של סקרים אשר בוצעו במעל 8,000 מפעלים.

הנתונים המופיעים במאגרים נאספו ע"י בודקים מוסמכים בשיטות מקובלות להערכת החשיפה של עובדים ובחלק מהם נמצאים כל הנתונים הנדרשים לקביעת מדרגה על פי מודל "בקרה מדורגת". ממצאי סקרים, לרבות תיאור אמצעי בקרה אשר נרשמו, והתוצאות של ניטור יכולים לשמש בסיס לוולידציה של שיטת הבקרה המדורגת בהיבט מטרתה להגן על העובד ולמנוע חשיפה לחומרים כימיים גבוהה מרמה מרבית מותרת לחשיפה.

כלים ממוחשבים להערכה ולבקרה של חשיפה

כאמור, התפתחות הידע בגיהות תעסוקתית כיום מאפשרת פיתוח כלי עזר המיועדים ליישום חוקים ותקנות לבקרת סיכונים במקומות העבודה על ידי אנשים שאינם גיהותנים.

אחת הדוגמאות לכלי עזר כאלה משמש מאגר החומרים הכימיים, אשר פותח בארץ עוד בשנות ה-90. באמצע שנות ה-2000 יושם המאגר ככלי עזר בפרויקט סיוע למפעלים קטנים המאפשר למומחים בבטיחות בעבודה, שאינם גיהותנים, לבצע במפעל קטן סקר בסיסי גם לסיכונים גיהותיים. כלי עזר נוספים פותחו בארץ וביניהם כלי ממוחשב אשר פותח על ידי מציעי הפרויקט להערכה חצי כמותית הסתברותית של חשיפה תעסוקתית במוסכים (הכלי מוצג באתר <http://empimed.com/carmatrix>), והכלי "נוהג טוב בביצוע תהליכי עבודה", המוצג באתר האינטרנט של המוסד לבטיחות ולגיהות ומכיל דפי מידע על ביצוע בטיחותי של תהליכי עבודה שונים (הכלי מוצג באתר

https://www.osh.org.il/UploadFiles/m_320_noag_tov.pdf) (מיימן, 2009).

בעולם פותחו כלים דומים משוכללים יותר המיועדים להערכה עצמית של סיכונים גיהותיים על ידי מעסיקים במקומות עבודה. אחת הדוגמאות העדכניות של כלי מסוג

הזה הינה תוכנה של האיחוד האירופאי בשם – OIRA (**European Agency for Safety and Health at Work, 2017**). דוגמה לכלי נוסף לביצוע הערכת סיכונים

תוך שילוב שיטת הבקרה המדורגת הוא זה של חברת CHEMWATCH, שהיא חברה בינלאומית בעלת מטה היושב באוסטרליה, ופתחה את התכנה

הבריטית פתחה גם היא כלי ממוחשב לביצוע בקרה מדורגת המופיע באתר הרשות

<http://coshh->

[tool.hse.gov.uk/?_ga=2.60737389.1540238896.1514754323-](http://coshh-tool.hse.gov.uk/?_ga=2.60737389.1540238896.1514754323-)

[Stoffenmanager](http://coshh-stoffenmanager.de) (629888299.1514754323). לערכת ההערכה ההולנדית -

גירסה ממוחשבת גם כן.

מטרות המחקר

מטרת המחקר היתה לבחון את אפשרות יישומו של מודל הבקרה המדורגת ככלי עזר להתאמת הגנה הנדסית כנגד חשיפה לחומרים כימיים בתרחישי עבודה במקומות עבודה בישראל.

מטרה זו נבחנה באמצעות ארבע מטרות משנה:

1. לבצע סימולציה של מודל ה"בקרה מדורגת" על נתונים מתרחישי עבודה שונים בחומרים כימיים ולבדוק פערים בין אמצעי בקרה הנדסית קיימים בתרחישים אלו בפועל לבין אלו המומלצים על פי המודל.

2. להשוות בין שיעור חזוי של רמות חשיפה חריגות תחת הגנה הנדסית ממולצת ע"י מודל הבקרה המדורגת לבין שיעור חריגות קיים בפועל על פי ניטור סביבתי-תעסוקתי בתרחישי עבודה בחומרים כימיים.
3. לבדוק הלימה בין יישום שיטת הבקרה המדורגת במקומות עבודה לבין חובות המעסיק להגנת העובד כפי שמופיעות בתקנות הנוגעות לגורמים כימיים מזיקים.
4. לפתח תוכנה אינטרנטית לבחירת קטגוריות מתאימו של מדרגות בקרה להגנה הנדסית מחומרים כימיים בתהליכי עבודה על פי מודל הבקרה המדורגת, ולבחון האם ניתנת ליישום עצמי ע"י גורמים מקצועיים וע"י בעלי תפקיד במקומות עבודה.

השערת המחקר

בהדמיית תרחיש בו מיושמת רמת הגנה הנדסית שנגזרה ממודל הבקרה המדורגת יהיה שיעור החשיפות החורגות מהמותר קטן מהשיעור שנצפה בפועל כאשר הרמה החזויה גבוהה מהקיימת.

II. שיטות מחקר

המחקר בוצע בשני שלבים עוקבים והתבסס על חתך נתונים תצפיתיים ונתוני מדידה המופיעים במאגרים של סקרים וניטור סביבתי-תעסוקתי. בשלב הראשון נעשה שימוש במאגר נתונים מתוך סקרי גיהות ונבחנה ההתאמה של נתונים אלה לביצוע סימולציה של מודל הבקרה המדורגת עליהם. בשלב השני נעשה שימוש במאגר מבוקר יותר של נתוני סקרים וניטורים על מנת לצמצם הטיות ולבדוק את מידת ההכללה של המודל לגבי תרחישי עבודה וחשיפה שונים. כמו כן, נבדק השיעור החזוי של צמצום חריגות מחשיפה קבילה תחת סימולציה של שיטת הבקרה המדורגת בהשוואה לשיעור בפועל כפי שנצפה בתוצאות ניטור סביבתי-תעסוקתי.

מקור הנתונים ומיונם

מקור הנתונים היה מאגר סקרים גיהותיים וניטורים סביבתיים-תעסוקתיים שבוצעו במקומות עבודה ע"י בודקי גיהות מוסמכים. סקר גיהותי כולל רישום מידע ופרטים המהווים בסיס להערכת חשיפה תעסוקתית פוטנציאלית במקום עבודה. סקר מלא כולל בד"כ את נתוני הפרמטרים שמהווים משתנים בלתי תלויים במחקר זה. ניטורים סביבתיים-תעסוקתיים של חומרים כימיים מספקים רמות חשיפה של עובדים בתרחישי עבודה נתונים. לצורך שמירה על חסיון לא נעשה שימוש בפרטים מזהים של מקום העבודה כגון שם המקום וכתובת.

קובץ הנתונים הגולמיים במדגם השלב הראשון כלל כ- 18,000 רשומות נתונים מסקרי גיהות, כאשר כל רשומה בסקר כוללת קבוצת נתונים של משתנים תאוריים (שמיים) וסודרים בתרחיש עבודה נתון שיש בו פוטנציאל לחשיפה תעסוקתית. רשומות רבות חסרו נתונים תצפיתיים הנדרשים לביצוע הסימולציה ובעיקר נתונים על כמות החומר בשימוש בתהליך העבודה הנבדק ועל כן נופו מהקובץ. הרשומות שנותרו הוצלבו עם נתוני ניטור במאגר תוצאות בדיקות סביבתיות-תעסוקתיות. בהצלבה זו לא נמצאו נתוני ניטור לחלק מהרשומות והן נופו. תוצאות ניטור בתרחיש עבודה כלשהו מהוות נתון הכרחי במחקר לצורך הסימולציה והבחינה של מודל הבקרה המדורגת בהשוואה למצב הקיים בשטח העבודה, ולכן נבחרו רק רשומות שניתן היה לקבל מהן את נתוני הסקר הדרושים לביצוע הסימולציה יחד עם נתוני ניטור תואמים לאותו תרחיש. בחירה מסוג זה והעובדה שהנתונים במאגר לא הופקו בשיטה אחידה ע"י הגופים שבצעו את הסקרים והניטורים מהווה מקור אפשרי להטיות. לאחר המיון והניפוי נותרו במדגם הראשון 3265 רשומות של תרחישי עבודה, אולם ניתוח נתונים נערך על 3234 תרחישים. התרחישים במדגם זה הקיפו 290 גורמי סיכון כימיים ב- 200 תהליכים תעשייתיים. מדגם הנתונים בשלב השני נלקח באופן אקראי מקובץ שנתוניו הופקו בשיטה אחידה ומוקפדת ולכן רמת הבקרה של נתוניו טובה. מדגם זה כלל 2134 רשומות של תרחישים מ- 173 מקומות עבודה. תרחישים אלו הכילו מידע על 100 גורמי סיכון כימיים במיגוון רחב של תהליכי עבודה תעשייתיים.

משתני מחקר

משתנים בלתי תלויים

1. שם גורם הסיכון הכימי המופיע בתרחיש העבודה הנבדק;
2. קוד קטגוריית גורם הסיכון שמייצג את חומרת ההשפעה הבריאותית של חומר כימי נתון על פי סיווג משפטי סיכון (risk phrases) של COSHH

Essentials, GHS, REACH. המשתנה חולק ל- 5 קטגוריות משנה בעלות קודי האותיות E – A.

3. כמות החומר בתרחיש. משתנה זה חולק ל- 3 קבוצות משנה: קטנה, בינונית, גדולה.

4. מופע פסיקלי של החומר באוויר בתרחיש. משתנה זה מורכב ממספר אפשרויות על פי מצב הצבירה ומופע הפיזור של החומר באוויר

5. אמצעי הבקרה ההנדסית בפועל בתרחיש. במשתנה זה 4 קטגוריות משנה: איוורור כללי, בקרה הנדסית-איוורור מקומי, הכלה, אמצעים מיוחדים.

6. רמת החשיפה באוויר בתרחיש על פי ניטור סביבתי-תעסוקתי.

פירוט קטגוריות המשנה עבור כל משתנה בלתי תלוי בתת סעיפים 5-2 ניתן בנספח מס' 1.

משתנה תלוי

1. מדרגת הבקרה הנגזרת מהמשתנים הבלתי תלויים על פי מודל הבקרה המדורגת.

מדרגות הבקרה שמכיל המודל בסדר עולה של איכות הבקרה הן:

• איוורור כללי/מוהל

• בקרה הנדסית – איוורור מקומי

• הכלה

• אמצעים מיוחדים

הסבר ופירוט האפשרויות בכל מדרגה ניתן בנספח מס' 2.

מהלך המחקר

בהתאמה עם שלבי המחקר נבנו שני מדגמי נתונים שהתקבלו לאחר הצלבת המאגרים והניפויים והם טופלו לחוד. כל תרחיש עבודה בכל מדגם התייחס למועד זמן אחד אליו שייכים הנתונים שנדלו מסקרים וניטורים או בעת ביקורים יזומים שנערכו במקומות עבודה לאיסוף נתונים באמצעות תצפית.

תרחיש עבודה מלא ברשומת נתונים הוגדר כזה הכולל מידע לגבי הנתונים הבאים: שם החומר המהווה גורם סיכון כימי וקטגוריית הסיכון שלו על פי משפטי סיכון (risk phrases) בשיטת ה-GHS, שם תהליך ומטלת העבודה בהם מופיע החומר ברמת עמדת עבודה, שם הענף התעשייתי (ברמת קוד למ"ס בן 4 ספרות) אליו שייך מקום העבודה שממנו נלקחו הנתונים, כמות החומר בתהליך, מצב צבירה של החומר בתהליך, מופע פסיקלי של החומר באוויר, סוג הבקרה ההנדסית בתהליך, תוצאת הניטור הסביבתי-תעסוקתי בתרחיש, רמה מרבית של חומר נתון באוויר, המותרת לחשיפה לעובד, לצורך סיווג תוצאת הניטור מעל או מתחת לרמה זו.

על אף שחלק גדול מרשומות המדגם הראשון לא הכיל נתון על כמות החומר בשימוש בתרחיש, לא נופו רשומות אלה אלא שימשו לסימולציות חוזרות של המודל כאשר בכל פעם נבחרה דרגת כמות אחרת מבין שלוש אפשרויות. במדגם הנתונים השני כללו הנתונים רשומות תרחיש מלאות. סימולציה על בסיס מודל הבקרה המדורגת הופעלה על כל אחד מהתרחישים לאחר שהנתונים קודדו כמפורט בסעיף עיבוד וניתוח הנתונים.

עיבוד התוצאות ובחינת ההתאמה של מודל הבקרה המדורגת שימש בסיס לפיתוח תוכנה בסיסית פשוטה לגזירת דרגת הבקרה המומלצת עבור גורמי סיכון כימיים בתרחיש עבודה נתון שיש בו פוטנציאל לחשיפה תעסוקתית. התוכנה פותחה בתחילה בתוכנת Microsoft Access ולאחר מכן כתוכנת Web אינטרנטית בפלטפורמת dot.net ובפורמט SQL. כדי להגיע לתצורה הסופית של התוכנה היא נוסתה בקרב אנשי מקצוע בגיהות ובקרב בעלי תפקידים בבטיחות במקומות עבודה בליווי קבלת משותף על תצורתה ויכולת יישומה בשטח.

עיבוד וניתוח נתונים

נתוני התצפיות והניטור בתרחישים ונתוני העיבוד נערכו וקודדו בגיליונות אקסל. לכל גורם סיכון כימי הוצמדו הפרמטרים הבאים:

- קוד גורם הסיכון – חומרת ההשפעה הבריאותית של החומר בתרחיש עבודה. לכל חומר הוצמד קוד אות מתוך חמש האותיות, E - A המקובלות לסיווג החומרה.
- מופע פיסיקלי של החומר באוויר, כאשר ההתייחסות היא לצורה הזמינה לחשיפת עובד. לאחר הגדרת המופע הוצמד לכל נתון קוד דרגת הפיזור הפוטנציאלי באוויר בהתאם לקודים של פרמטר זה במודל הבקרה המדורגת. אבק, נדפים, נוזלים בעלי דרגת נדיפות גבוהה וגזים סווגו תמיד בדרגת הפיזור הגבוהה ביותר. במקרה של תרחיש שמעורבים בו נוזלים נדיפים וטמפרטורת התהליך בתרחיש היתה גבוהה מ-40°C ניתן קוד פיזור גבוה בדרגה אחת מעל הקוד המתאים לדרגת פיזור בטמפרטורות סביבה רגילות.
- כמות החומר בשימוש בתרחיש העבודה: קטנה, בינונית או גדולה.
- מדרגת הבקרה ההנדסית הקיימת בפועל בתרחיש שבו מופיע החומר. מדרגה זו סווגה על פי סוג אמצעי הבקרה שנוכח בתרחיש העבודה. העדר בקרה לא סווג כמדרגה כלשהי, למעט במדרגת האיוורור הכללי במדגם בראשון, כיוון שאינו מהווה מדרגה במודל. הכלה מלאה סווגה כמדרגה הגבוהה ביותר. המדרגות הנמוכות יותר מהכלה מלאה כוללות שתי דרגות ביניים הנוגעות בעיקר לאמצעי האיוורור המאולץ שנכחו בתרחישים. אמצעים שונים של בקרה הנדסית השייכים קטגורית לאותה מדרגה סווגו במדרגה זו.
- שלושת הגורמים הנ"ל – קוד חומרת הסיכון הבריאותי, כמות החומר בשימוש ודרגת הפיזור הפוטנציאלי הוצלבו ביניהם בתרשים המודל של הבקרה המדורגת כדי לגזור את מדרגת הבקרה הנדרשת בתרחיש על פי המודל. כאשר בתרחיש העבודה הופיעו מספר חומרים נבחרה המדרגה עבור כל חומר בנפרד כחומר טהור, אולם עבור כל התרחיש נבחרה מדרגת הבקרה המחמירה ביותר.

מהנתונים חולצה התפלגות השכיחויות של מדרגות הבקרה בתרחישים הן עבור המצב בשטח בפועל והן עבור התוצאות המודליות על פי הסימולציה שנערכה. ההשוואה בין מדרגות הבקרה מנתוני התרחישים בפועל לבין מדרגות בקרה מקבילות על פי תוצאות הסימולציה נערכה בחתכים על פי כמות החומר, מצב צבירה בתהליך התרחיש, סוגי תהליכים תעשייתיים בולטים וקטגוריות גורם הסיכון הכימי בתוך שלוש קבוצות סיווג כלהלן:

1. מדרגת הבקרה הנדרשת על פי המודל תואמת את מדרגת הבקרה בשטח בפועל.

- II. מדרגת הבקרה הנדרשת על פי המודל גבוהה ממדרגת הבקרה שקיימת בפועל.
- III. מדרגת הבקרה הנדרשת על פי המודל נמוכה ממדרגת הבקרה שקיימת בפועל.

נתוני הניטור פולגו בין שתי קטגוריות: (1) חשיפה חריגה, המצביעה על ערכים החורגים מהרמה המרבית המותרת לחשיפה במדינת ישראל, (2) קטגוריית חשיפה קבילה המצביעה על ערכים שאינם חורגים מרמה זו. הרמות המרביות היו בד"כ רמות מרביות משוקללות למעט התרחישים שבהם נמדדה רמת תקרה. נערכה השוואה בין מדרגת הבקרה בפועל בשטח ומדרגת הבקרה הנדרשת על פי מודל הבקרה המדורגת לבין קטגוריית התוצאה של הניטור (חריגה או קבילה). ההשוואה סווגה ב- 6 קטגוריות משנה:

1. תוצאת הניטור אינה חורגת מהחשיפה המותרת וקיימת התאמה בין מדרגת הבקרה בפועל לבין זו הנדרשת על פי המודל. במקרה זה הוגדרה מדרגת הבקרה כמספיקה והמודל חזה נכון את צרכי ההגנה.
2. תוצאת הניטור אינה חורגת וקיימת אי התאמה בין מדרגת הבקרה בפועל לבין זו הנדרשת על פי המודל כאשר מדרגת המודל נמוכה מהמדרגה בפועל. במקרה זה הוגדרה מדרגת הבקרה בפועל כמדרגת יתר ואילו מדרגת הבקרה הנדרשת על פי המודל הוגדרה כמספיקה, כלומר המודל חזה נכון את צרכי הבקרה.
3. תוצאת הניטור אינה חורגת מהחשיפה המותרת, אך קיימת אי התאמה בין מדרגת הבקרה בפועל לבין זו הנדרשת על פי המודל כאשר מדרגת המודל גבוהה מהמדרגה בפועל. במקרה זה הוגדרה מדרגת הבקרה בפועל כמספיקה ומדרגת הבקרה החזויה על פי המודל כמדרגת יתר.
4. תוצאת הניטור חורגת מהחשיפה המותרת ומדרגת הבקרה בפועל בשטח אינה מונעת את החריגה, אך מדרגת הבקרה הנדרשת על פי המודל גבוהה יותר מזו בפועל ולכן סביר להניח שהיתה מונעת את החריגה. במקרה זה הוגדרה מדרגת הבקרה הנדרשת ע"י המודל כמספיקה ומדרגת הבקרה בפועל כבלתי מספיקה. המודל חזה נכון את צרכי ההגנה.
5. תוצאת הניטור חורגת מהחשיפה המותרת ומדרגת הבקרה בפועל בשטח אינה מונעת את החריגה, אך גם מדרגת הבקרה הנדרשת על פי המודל אינה מונעת את החריגה כיוון שהיא תואמת את המדרגה בפועל בשטח. במקרה זה הוגדרו מדרגות הבקרה המסופקות הן ע"י המודל והן בפועל כבלתי מספיקות. ההגנה המומלצת שחזה המודל לא תגרום לצמצום רמות החשיפה בתרחיש מתחת לרמה מרבית מותרת.
6. תוצאת הניטור חורגת מהחשיפה המותרת ומדרגת הבקרה בפועל בשטח אינה מונעת את החריגה, אך מדרגת הבקרה הנדרשת על פי המודל נמוכה מזו הקיימת בפועל ולכן מדרגת המודל לא היתה מונעת את החריגה בסבירות גבוהה. גם כאן ההגנה המומלצת שחזה המודל לא תגרום לצמצום רמות החשיפה בתרחיש מתחת לרמה מרבית מותרת.

על פי בסיס אמפירי, כל עלייה במדרגת בקרה בסולם המדרגות מקטינה בממוצע בסדר גודל אחד את ריכוז החומר שנמדד תחת מדרגת בקרה נמוכה יותר. לדוגמה, ריכוז נתון בתרחיש המבוקר ע"י מדרגת הבקרה של איורור מוהל יקטן פי 10 בממוצע אם בתרחיש תופעל מדרגת האיורור המקומי ויקטן פי 100 אם בתרחיש תופעל מדרגת הכלה שהיא גבוהה יותר. באופן הפוך, כל ירידה במדרגת בקרה מעלה

את הריכוז בסדר גודל. הכפלת תוצאת הניטור בפועל במקדם הצמצום או ההרחבה בהתאם להבדל בין מדרגת הבקרה בפועל לבין מדרגת הבקרה הסימולטיבית על פי המודל הפיקה את תוצאת הניטור החזויה אילו התרחיש היה נתון לבקרה הנדרשת על פי המודל.

עבור נתוני הניטור הוגדרה מנה המהווה את היחס בין ריכוז החומר בתרחיש באוויר (כפי שנמדד) לבין הרמה המרבית המותרת לחשיפה לחומר זה. המרה למנת היחס בוצעה בכל תרחיש עבור הרמות שנמדדו בניטור בפועל ועבור הרמות החזויות באותו תרחיש תחת הפעלת מודל הבקרה המדורגת. התפלגות נתוני הניטור ונתוני מנת היחס הן בפועל והן החזויות על פי מקדמי הצמצום או ההרחבה התאימו להתפלגות א-סימטרית חיובית ולכן בוצעה לנתונים טרנספורמציה לוגריתמית כדי להעבירם להתפלגות סימטרית (לוג-נורמלית). חושבו הממוצע הגיאומטרי וסטיית התקן הגיאומטרית של שתי הקבוצות. לבדיקת השערת המחקר וההבדל בין ממוצע הקבוצה של מנות הריכוז בפועל לבין ממוצע הקבוצה של מנות החזויות ($H_0: D_\mu = 0$); $H_1: D_\mu \neq 0$) תחת הפעלת הבקרה על פי המודל נערך מבחן t דו-זנבי למדגם מזווג. קריטריון ההחלטה למובהקות סטטיסטית היה $p \leq 0.05$.

III. תוצאות המחקר

השוואת מדרגות בקרה בפועל למדרגות בקרה על פי מודל

תוצאות הפעלת הסימולציה של מודל הבקרה המדורגת על רשומות התרחישים התפלגו בין ארבע מדרגות הבקרה: איורור כללי, בקרה הנדסית – איורור מקומי, הכלה, אמצעים מיוחדים. התפלגות מדרגות הבקרה בין התרחישים על פי התצפיות בפועל בשדה כנגד התפלגותן לאחר הפעלת סימולציה מוצגת כשכיחויות מספריות עבור שני מדגמי המחקר בטבלה מס' 1 ובאחוזים באיור מס' 3.

טבלה 1: שכיחות מדרגות בקרה בתרחישי עבודה בפועל ולאחר סימולציה על פי מודל בשני מדגמים

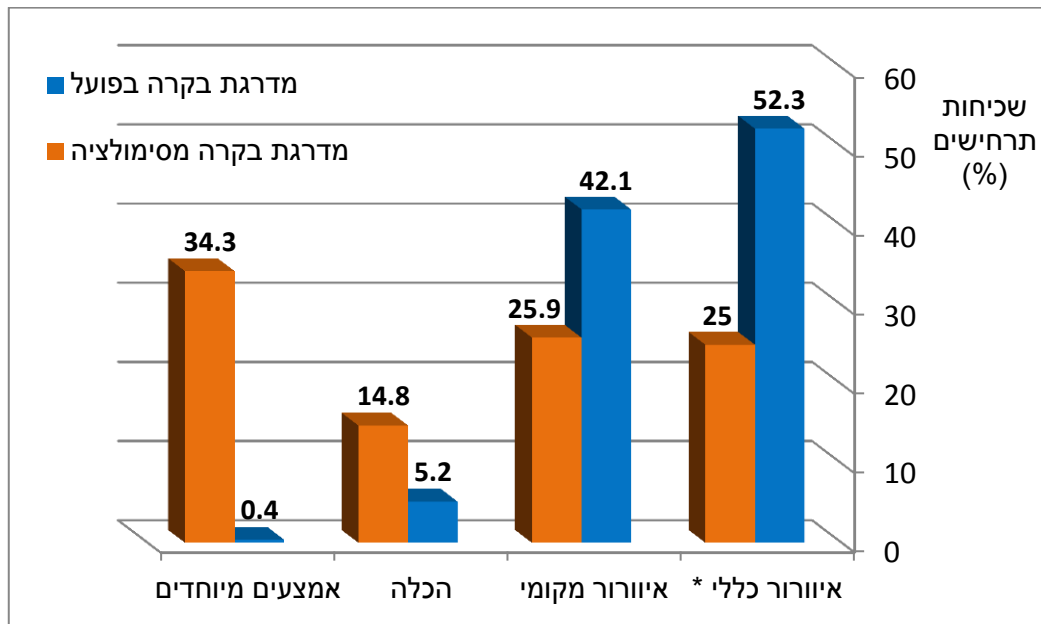
שכיחות לאחר הפעלת הסימולציה	שכיחות בתרחישי תצפיות בפועל	מדרגת בקרה	סך תרחישים	
817*	1,705	איורור כללי + ללא בקרה	3,265	מדגם 1
846	1,375	איורור מקומי		
484	171	הכלה		
1,118	14	אמצעים מיוחדים		
372	476	איורור כללי	2,134	מדגם 2
819	1,183	איורור מקומי		
371	58	הכלה		
572	17	אמצעים מיוחדים		
-	400	ללא בקרה		

*- שכיחות זו אינה מתייחסת לתרחישים שאין בהם בקרה כלל.

הנתונים בטבלה מס' 1 ובאיור 3 מציגים פער גדול בין רמת הבקרה המומלצת ע"י מודל הבקרה המדורגת בקטגוריות ההכלה והאמצעים המיוחדים לבין רמת הבקרה שנמצאה בפועל בקטגוריות אלה בתרחישים שנסקרו. מספר התרחישים שבהם נמצאו בפועל מדרגות בקרה השייכות לקטגוריות איורור כללי ואיורור מקומי כבקרה הנדסית גדול ממספר התרחישים שהומלצו למדרגות אלה ע"י המודל. במדגם הראשון (טבלה 1 ואיור 3a) נכללו תרחישי עבודה בפועל שאין בהם כלל בקרה הנדסית כלשהי יחד עם תרחישים הנכללים בקטגוריית איורור כללי כיוון שההפרדה בין השניים לא היתה ברורה לחלוטין בנתוני המאגר. אולם, סביר להניח על סמך התפלגות מדרגות

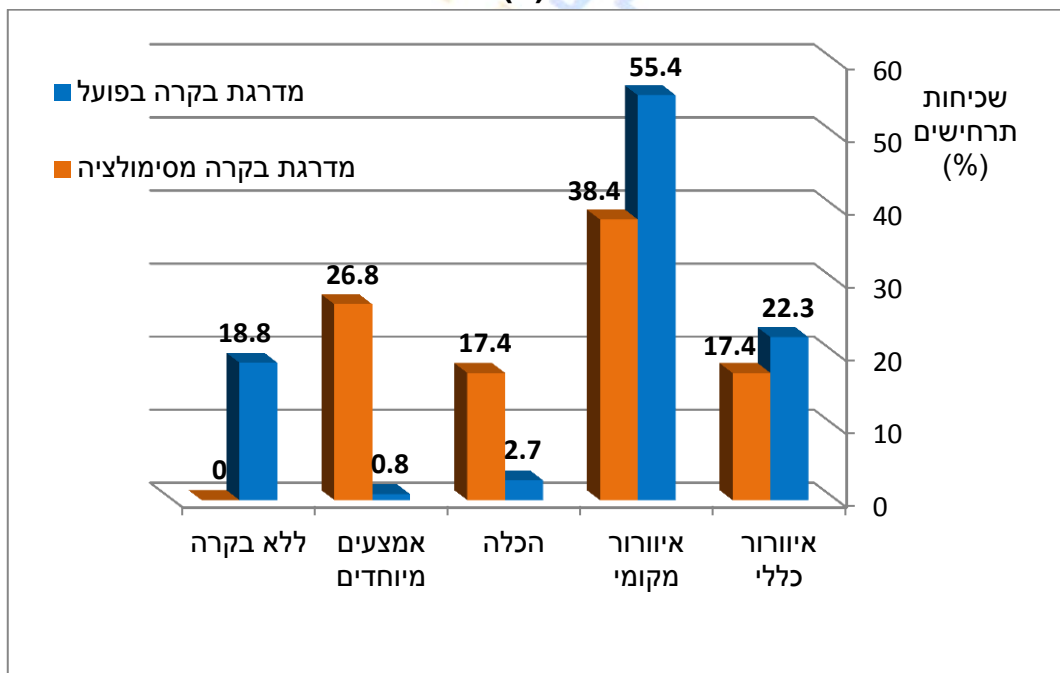
הבקרה במדגם השני ששכיחות התרחישים הכוללים בקרת איוורור כללי גבוהה במקצת משכיחותם על פי המלצת המודל לאחר הסימולציה. במדגם השני, המבוקר (איור 3b), אחוז התרחישים בהם המודל מציע רמת בקרה גבוהה יותר מזו בפועל הוא 40.7% מכלל התרחישים לעומת 21.9% בהם המודל מציע רמת בקרה נמוכה יותר.

איור 3: שכיחות אחוּזית של מדרגות בקרה בתרחישי עבודה בפועל ולאחר סימולציה על פי מודל במדגם ראשון (a) ושני (b) במחקר



* הטור של מדרגת בקרה בפועל בקטגוריית איוורור כללי כולל גם תרחישים בקרה הנדסית כלשהי

(a)



(b)

ניתוח תוצאות הניטורים בתרחישים, בהמשך, מספק אינדיקציה אם המלצת המודל על בקרה גבוהה יותר מהווה דרישה לבקרת יתר והמלצה למדרגת בקרה נמוכה יותר מהווה תת-בקרה שאינה מבטיחה הגנה מרמות ריכוזי חמרים באוויר הגבוהות מרמות מרביות מותרות לחשיפה. באופן יחסי, מספר התרחישים במדגם השני בהם מוצעות ע"י המודל מדרגת הכלה ומדרגת אמצעים מיוחדים גבוה פי 6.4 ו- 33.6, בהתאמה, ממספר התרחישים בהם קיימות מדרגות אלה בפועל, ומספר התרחישים בהם מוצעות ע"י המודל מדרגת איוורור כללי ומדרגת איוורור מקומי נמוך פי 1.3 ו- 1.4, בהתאמה, ממספר התרחישים המקבילים בפועל.

ההשוואות בין מדרגות הבקרה שהתקבלו לאחר סימולציה לבין מדרגות שנמצאו בפועל באותם תרחישים נערכו בשלושה חתכים. החתכים שנבחרו הם חתך על פי כמות החומר בתרחיש, חתך על פי מצבי צבירה של החומרים וחתך של קטגוריות גורם הסיכון הכימי מבחינת השפעתו הבריאותית. כל חתך פולג בין שלוש קבוצות סיווג: (1) מדרגת הבקרה על פי המודל תואמת את מדרגת הבקרה של המצב בפועל; (2) מדרגת הבקרה על פי המודל גבוהה ממדרגת הבקרה בפועל; (3) מדרגת הבקרה על פי המודל נמוכה ממדרגת הבקרה בפועל.

השוואה בין תוצאות הסימולציה לבין התרחיש בפועל במדגם השני בחתך על פי כמות החומר בתרחיש מוצגת בטבלה מס' 2 כאשר ההתפלגות האחוזית היא בכל קטגוריית כמות נפרדת. אזור מס' 4 מציג תמונה מסכמת של שיעור ההתפלגות בין שלוש קבוצות הסיווג לעיל בשני המדגמים על פי קריטריון כמות החומר שהוא אחד הפרמטרים הנחוצים להפעלת המודל.

בכ- 28% מכלל התוצאות נמצאה התאמה בין מדרגת הבקרה שנקבעה על פי מודל הבקרה המדורגת לבין מדרגת הבקרה שנצפתה בפועל במקומות העבודה. למעלה מ- 70% מהממצאים מצביעים על אי התאמה בין מדרגת הבקרה הנדרשת על פי המודל לבין זו הקיימת בפועל במקומות עבודה. שיעור התרחישים בהם המליץ המודל על מדרגת בקרה נמוכה יותר מזו בפועל הגיע בכלל הכמויות ל- 10.5%.

טבלה 2: השוואה בין מדרגות בקרה חזויות על פי מודל לבין מדרגות בקרה בפועל במקומות עבודה, עבור כמויות משתנות של גורמי סיכון כימיים בתהליכי עבודה

מספר תרחישי בדיקה				כמות חומר בתהליך
סה"כ תרחישים	מדרגת הבקרה החזויה על פי המודל נמוכה ממדרגת הבקרה בפועל	מדרגת הבקרה החזויה על פי המודל גבוהה ממדרגת הבקרה בפועל	מדרגת הבקרה החזויה על פי המודל תואמת את מדרגת הבקרה בפועל	
601 (100%)	73 (12.1%)	279 (46.4%)	249 (41.5%)	קטנה
1499 (100%)	151 (10.1%)	1000 (66.7%)	348 (23.2%)	בינונית
34 (100%)	0 (0%)	28 (82.4%)	6 (17.6%)	גדולה

ברוב התרחישים התאימה כמות החומר לקטגוריה של כמות בינונית. מספר התרחישים בהם התקבלה התאמה בין המודל לבין רמת הבקרה בפועל בשטח היה הגבוה ביותר בעת שימוש בכמות בינונית, אולם אחוז ההתאמה הגבוה ביותר התקבל בתרחישים שבהם נעשה שימוש בכמות חומר קטנה (41.5%). בכ- 61% מהתרחישים בכלל קטגוריות הכמות, מדרגת הבקרה שהמליץ המודל היתה גבוהה ממקבילתה בפועל, כאשר שיעור ההבדל הגבוה ביותר נמצא עבור כמות חומר גבוהה ולאחריה כמות חומר בינונית.

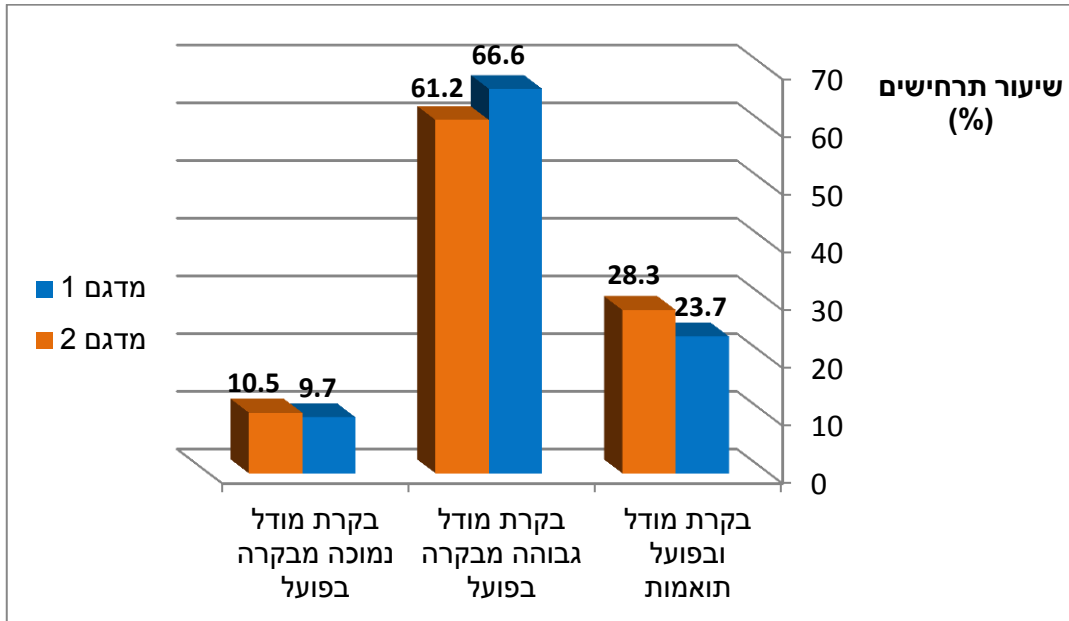
ההשוואה בחיתוך של כמות החומר בתרחיש נערכה במדגם הראשון רק עבור 1,470 תרחישים בהם היה קיים במאגר הנתונים מידע לגבי משתנה זה. במדגם זה היו התוצאות קרובות למדגם האחר, כאשר ב- 23.7% מהתרחישים נמצאה התאמה בין מדרגת הבקרה של המודל לבין זו בפועל. אחוז ההתאמה הגבוה ביותר בין המודל לבין רמת הבקרה בשטח בתרחישים התקבל עבור כמות חומר קטנה (67.9%). בכ- 67% מהתרחישים בכלל קטגוריות הכמות במדגם זה היתה מדרגת הבקרה שהמליץ המודל גבוהה ממקבילתה בפועל, כאשר שיעור ההבדל הגבוה ביותר נמצא עבור כמות חומר בינונית, ושיעור ההבדל בכמות חומר גדולה קרוב אליו ביותר. שיעור התרחישים בהם המליץ המודל על מדרגת בקרה נמוכה יותר מזו בפועל הגיע בכלל הכמויות ל- 9.7%, בהשוואה ל- 10.5% במדגם השני.

השוואה בין תוצאות הסימולציה לבין ממצאים בפועל בחתך על פי מצב הצבירה של החומר בתרחיש מוצגת עבור המדגם השני בטבלה מס' 3, כאשר ההתפלגות האחוזית היא בכל מצב צבירה בנפרד.

בשתי קבוצות הסיווג להשוואה שבהן נמצאה אי התאמה בין תחזית המודל לבין המצב בפועל הגיע שיעור אי ההתאמה בכלל מצבי הצבירה יחד ל- 71.7% מהתרחישים. אי ההתאמה גבוהה יותר בחומרים שמצב צבירתם הוא נוזל, ועשויים להופיע באוויר כאווירוסול טיפתי או כאדים, מאשר במוצקים – 74.8% בנוזלים, 69% במוצקים. רק בכ- 10% מכלל התרחישים התקבלה לאחר סימולציה מדרגת בקרה על פי המודל נמוכה ממדרגת בקרה שנמצאה בפועל וב- 96% ממקרים אלה הופיע החומר הכימי במצב צבירה נוזלי. לקבוצת סיווג זו השתייכו רוב אי ההתאמות בשלושת מצבי הצבירה לתרחישים בהם הוגדרה כמות החומר כבינונית. אחוז גבוה של מתן הגנה גבוהה מהדרוש בעבודה עם חומרים נוזליים עשוי להצביע על תשומת לב גבוהה יותר הניתנת לחומרים אלו מאשר לחומרים מוצקים.

בחתך קטגוריות חומרת ההשפעה של החומרים בתוך 2134 תרחישים של המדגם השני היתה התפלגותם של התרחישים בין קטגוריות החומרה A, B, C, D, E, בהתאמה, 349, 8, 821, 356, 600. ההתפלגות באחוזים מוצגת באיור מס' 5. תרחישים בהם מופיעים חומרים מקטגורייה C הופיעו בשכיחות הגבוהה ביותר ולאחריה תרחישי עבודה בחומרים מקטגורייה E. מספר החומרים השייכים לקטגוריית חומרת הסיכון B קטן ביותר לעומת גודל המדגם (0.4%), כנראה בגלל שימוש מועט בהם במפעלים קטנים ובינוניים.

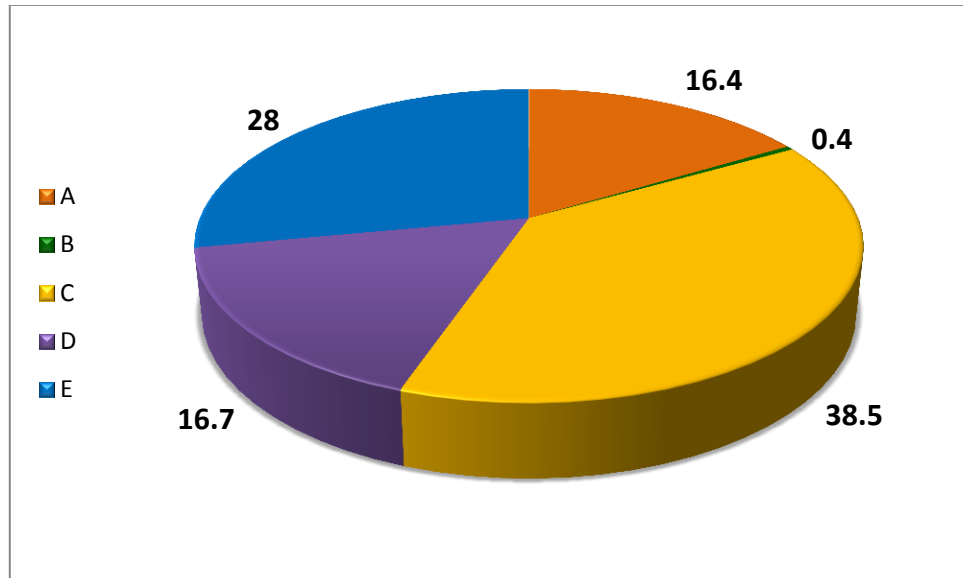
איור 4: השוואה בין מדרגות בקרה הנדרשות על פי מודל הבקרה המדורגת לבין מדרגות בקרה שנמצאו בפועל בתרחישי עבודה עבור כלל הקטגוריות של כמות חומר



טבלה 3: התפלגות השוואה בין מדרגות בקרה החזויות על פי מודל הבקרה המדורגת לבין מדרגות בקרה שנמצאו בפועל בעמדות עבודה בחתך מצבי צבירה של חומרים בתרחישים

מספר תרחישי בדיקה				מצב צבירה בתרחיש
סה"כ תרחישים	מדרגת הבקרה החזויה על פי המודל נמוכה ממדרגת הבקרה בפועל	מדרגת הבקרה החזויה על פי המודל גבוהה ממדרגת הבקרה בפועל	מדרגת הבקרה החזויה על פי המודל תואמת את מדרגת הבקרה בפועל	
885 (100%)	2 (0.2%)	609 (68.8%)	274 (31%)	מוצק
1,220 (100%)	216 (17.8%)	696 (57.0%)	308 (25.2%)	נוזל
29 (100%)	6 (20.7%)	2 (6.9%)	21 (72.4%)	גז
2134 (100%)	224 (10.5%)	1307 (61.2%)	603 (28.3%)	סה"כ

איור 5: התפלגות אחוזית של תרחישי עבודה בין חמש קטגוריות (A – E) של חומרת השפעה של גורמי סיכון כימיים



בחינת התאמה של מדרגות בקרה להגנה מחשיפה על פי תוצאות ניטור סביבתי-תעסוקתי

ניתוח המדגם השני, המבוקר יותר, על פי תוצאות הניטור בתרחישים מבחין בין רמות חשיפה קבילות, שהן נמוכות מהרמה המרבית המותרת לחשיפה לחומר נתון, לבין רמות חריגות הגבוהות מרמה מרבית מותרת לחשיפה. המדגם כלל 342 תוצאות חריגות מרמה מרבית מותרת המהוות 16% אחוז מתוך כלל מדגם התרחישים (2134). התפלגות התוצאות החריגות על פי כמות החומר בתרחיש, מצב הצבירה של החומר וקטגוריית החומרה שלו מוצגים בטבלה מס' 4 יחד עם האחוז מכלל התרחישים במדגם בכל קטגוריה.

רוב החריגות נמדדו עבור חומרים במצב מוצק שפיזורם באוויר הוא כאבק או נדפים. ברוב החריגות היתה כמות החומר בשימוש בינונית וקטגוריית החומרה של החומר היתה E, הגבוהה ביותר מבין חמש הקטגוריות. התוצאות החריגות במצב הצבירה הגזי שייכות לחומר פורמאלדהיד.

מספר החריגות המתרחשות בעת עבודה בכמויות בינוניות של חומר (1 – 1,000 ק"ג), מהווה 17.4% מסך התרחישים במדגם שבהם השתמשו בכמויות מסדר גודל זה. לעומת זאת, סך התרחישים בהם השתמשו בכמויות גדולות היה קטן, אבל ב- 100% מתרחישים אלה היתה חשיפה חריגה מהרמה המרבית המותרת. חריגות בחומרים מוצקים ונוזלים הגיעו, בהתאמה, ל- 89.5% ו- 9.6% מסך החריגות. רוב החשיפות החריגות בעת שימוש בכמויות חומר קטנות (62%) ובינוניות (92%) שייכות לעבודה במוצקים.

טבלה מס' 5 מציגה את שכיחות החשיפה בתרחישים השונים, כאשר היא מחולקת בין חשיפה קבילה לחשיפה חריגה, תוך מיון התרחישים על פי המופע הפיסיקלי של גורמי סיכון כימיים באוויר וקטגוריות קבוצתיות של חומרים בעלות מכנה משותף בכל קטגוריה. רוב החריגות מרמה מרבית מותרת אירעו באבק אורגני (קמח) ונדפי מתכות (עבודות חמות במתכת כגון התכה, יציקה, ריתוך). ממצא חיובי במדגם הוא האחוז

הנמוך ביותר (1%) של חריגות בחשיפה לממיסים אורגניים, עובדה המקרינה על יסום אמצעי בקרה נכונים במפעלים בעבודה בקבוצת חומרים זו.

טבלה 4: התפלגות תוצאות ניטור חריגות בתרחישים על פי כמות החומר, מצב צבירתו וחומרת ההשפעה שלו

תוצאות ניטור חריגות			
משתנה	קטגוריה	מספר תרחישים	% מסך התרחישים במדגם
כמות	קטנה	47	2.2
	בינונית	261	12.2
	גדולה	34	1.6
מצב צבירה	מוצק	306	14.3
	נוזל	33	1.6
	גז	3	0.1
חומרת השפעה	A	3	0.1
	B	0	0
	C	85	4.0
	D	14	0.7
	E	240	11.2

בקבוצת תוצאות הניטור החריגות מהרמה המרבית המותרת וקבוצת הבלתי חריגות נערכה השוואה בין מדרגות הבקרה שנצפו בתרחישים בפועל לבין מדרגות הבקרה החזויות דרך הסימולציה, כאשר הבקרה מתנהלת בתרחיש לפי מודל הבקרה המדורגת. השוואה זו מוינה, כאמור קודם, בשלוש קבוצות סיווג כאשר באחת מהן מדרגת הבקרה הקיימת בפועל תואמת למדרגה החזויה ע"י המודל ובשתיים האחרות מדרגת הבקרה החזויה ע"י המודל גבוהה או נמוכה מזו הקיימת בפועל. התפלגות תוצאות הניטור בין שלוש קבוצות הסיווג מוצגת בטבלה מס' 6.

האחוז הגבוה ביותר הן של רמות חשיפה קבילות והן של חריגות נמצא בתרחישי קבוצת הסיווג בה מדרגת הבקרה החזויה גבוהה מזו שנצפתה בפועל. לא נמצאו רמות חריגות בתרחישים בקבוצת הסיווג בה מדרגת הבקרה החזויה על פי המודל נמוכה ממדרגת הבקרה בפועל. בתוך קבוצת החשיפות החריגות מעל הרמה המרבית המותרת נמצא אחוז גבוה יחסית של תרחישים בהם יש התאמה במדרגות הבקרה בין המצב בפועל למצב החזוי, אולם מספר התרחישים בקטגוריה זו מהווה כ- 5.7% מכלל מדגם התרחישים.

השוואה נוספת בין שלוש קבוצות הסיווג נערכה עבור תוצאות ניטור חריגות בלבד בחתכי כמות חומר, מצב צבירה, קטגוריות חומרת השפעה ותהליכי עבודה בולטים בתרחישים. איור מספר 6 מציג את תוצאות ההשוואה עבור חתכי כמות החומר ומצב הצבירה רק עבור החשיפות החריגות.

טבלה 5: התפלגות תרחישים של חשיפה קבילה וחריגה בין קבוצות גורמי סיכון כימיים והמופע הפיסיקלי שלהם באוויר

מס' תרחישים			קטגוריית חומרים	מופע חומרים באוויר
גבוה מרמה מרבית מותרת	נמוך מרמה מרבית מותרת	סה"כ		
14	175	189	מתכות	אבק
6	53	59	אבק מינרלי	
208	48	256	אבק אורגני	
-	1	1	חומרי הדברה	
228	277	505	סה"כ	
50	246	297	מתכות	נדפים
26	72	98	חומרים אורגניים	
76	319	395	סה"כ	
6	18	24	מתכות	אווירוסול טיפתי
5	122	127	נוזלי קירור	
-	7	7	חומרים אנאורגניים	
-	3	3	חומרים אורגניים	
11	150	161	סה"כ	
9	847	856	ממיסים אורגניים	אדים וגזים
3	8	11	אלדהידים	
14	101	115	חומרי הרדמה	
-	76	76	חומרים אורגניים שונים	
-	5	5	חומצות אורגניות	
-	10	10	חומרים אנאורגניים	
23	1,047	1,073	סה"כ	

איור 6 מראה שמודל הבקרה המדורגת ממליץ על מדרגת בקרה גבוהה יותר הן כאשר החומרים בתרחיש הם מוצקים והן כאשר הם נוזלים. התאמה בין מדרגת בקרה במודל לזו בפועל נמצאה בעיקר לגבי כמויות קטנות של חומרים, אולם מספר התרחישים בהם הכמות קטנה אינו גבוה ונמוך בהרבה מהתרחישים שבהם הכמות בינונית. כל התוצאות החריגות שנמדדו בתרחישים בהם כמות החומר גדולה השתייכו לחומרים במצב צבירה מוצק וכך גם רוב התוצאות החריגות בכמויות חומר קטנות ובינוניות.

טבלה 6: התפלגות רמות חשיפה קבילות וחריגות בין שלוש קבוצות סיווג להשוואה בין מדרגות בקרה חזויות על פי המודל לבין מדרגות בקרה בפועל

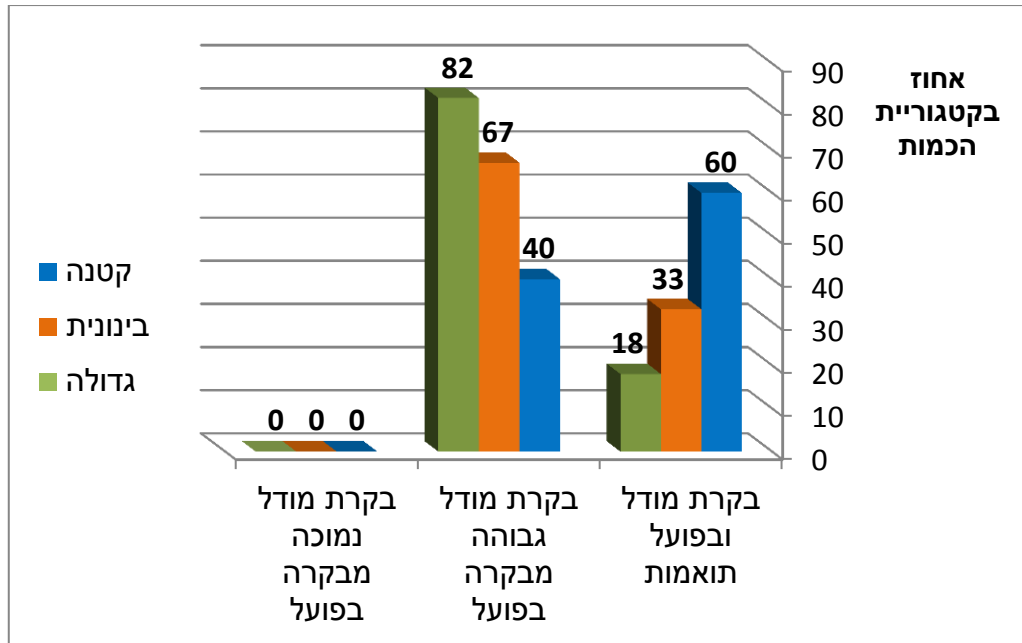
מספר תרחישי בדיקה				
סה"כ תרחישים	מדרגת הבקרה החזויה על פי המודל נמוכה ממדרגת הבקרה בפועל	מדרגת הבקרה החזויה על פי המודל גבוהה ממדרגת הבקרה בפועל	מדרגת הבקרה החזויה על פי המודל תואמת את מדרגת הבקרה בפועל	
1,792 (100%)	224 (12.5%)	1,086 (60.6%)	482 (26.9%)	רמות חשיפה קבילות
342 (100%)	0 (0%)	221 (64.6%)	121 (35.4%)	רמות חשיפה חריגות
2134 (100%)	224 (10.5%)	1307 (61.2%)	603 (28.3%)	סה"כ

בכ- 15.5% מכלל התרחישים של חומרים המסווגים בקטגוריית חומרה E ארעו חריגות מחשיפה מרבית מותרת דווקא כאשר מדרגת הבקרה החזויה על פי המודל תאמה את מדרגת הבקרה הקיימת בפועל. מצב זה אפיין תרחישים בהם החשיפה היא לאבק של חומרים מוצקים ובעיקר קמח. בקבוצת הסיווג של התאמה בין בקרת המודל לבקרה בפועל היו האחוזים המקבילים של חשיפה חריגה בתרחישי קטגוריות החומרה A ו- C, בהתאמה, 0.6% ו- 2.9% מכלל התרחישים (חריגים ובלתי חריגים) בקטגוריה ולא נצפו תרחישי חשיפה חריגה בקטגוריות החומרה B ו- D. בשאר התרחישים החריגים נדרשה ע"י המודל מדרגת בקרה גבוהה יותר.

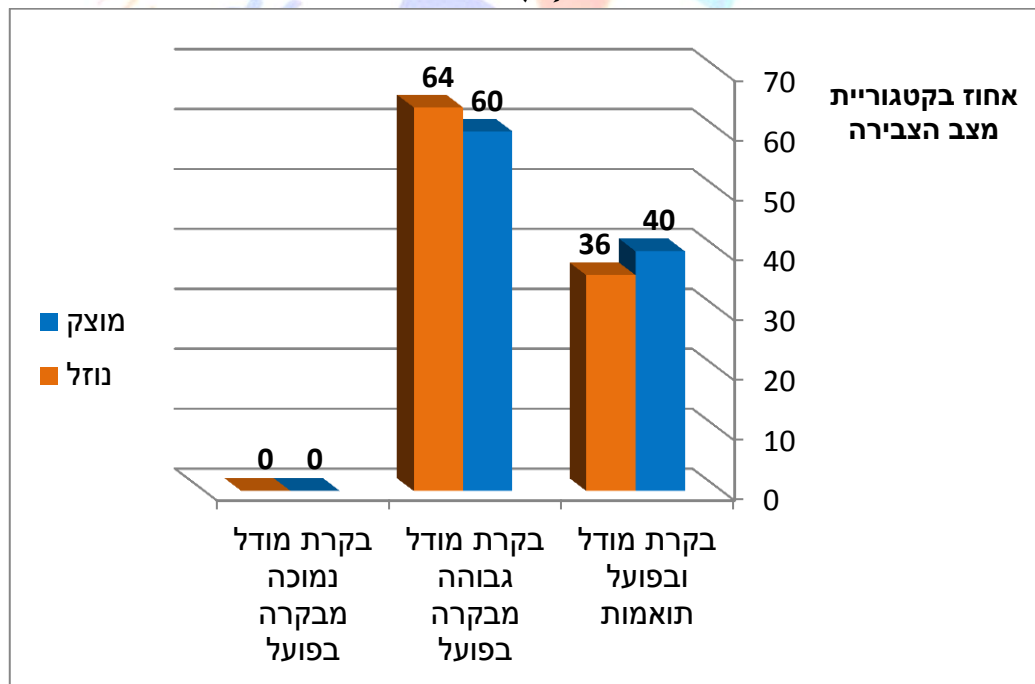
במדגם נכללו עשרות תהליכי עבודה שמינוחם הוא על פי המינוח הקיים במינהל הבטיחות והבריאות התעסוקתית לגבי תחום הגיהות התעסוקתית וניטורים סביבתיים-תעסוקתיים. רוב התהליכים נבדקו במפעלים קטנים ובינוניים. סקטור זה מאופיין במספר ענפי עיסוק עיקריים כגון ענף המתכת (מסגרות, עיבוד שבבי, גימור של מוצרים אלקטרוניים, מוסכים, צבעיות), ענף העץ (נגריות), ענף הדפוס. לצורך ניתוח נבחרו תהליכים שסווגו ב-10 קבוצות, כאשר בכל קבוצה תהליכים בעלי מכנה תהליכי משותף ומספר תרחישי העבודה בה הוא 50 ומעלה. מספר התרחישים בקבוצות התהליכים מהווה כ- 52% מכלל התרחישים במדגם. סך החריגות מרמה מרבית מותרת בתרחישי עשר הקבוצות הגיע ל- 68.7% מסך החריגות בכל מדגם התרחישים.

קבוצת תהליכי הצביעה, שמספר תרחישיה הוא הרב ביותר, כוללת שיטות צביעה שונות, כאשר הבולטת בהן היא שיטת הצביעה בריסוס, אולם אחוז תוצאות הניטור החריגות בתרחישיה הגיע בסך הכל ל- 0.9% ובכל החריגות האלה תאמה מדרגת הבקרה החזויה ע"י המודל את זו שנצפתה בפועל בתרחיש. אחוזי החריגות הגבוהים ביותר בקבוצות התהליכים נצפו על פי סדר יורד בתהליכי עיבוד עץ (נגריות), בתהליכי הזנה והכנת חומרים כגון עבודה בקמח, ובתהליכי ריתוך, ובהתאמה, 51.6%, 46.7%, 44.3%.

איור 6: התפלגות ממצאים של חשיפה חריגה על פי כמות החומר (a) ועל פי מצב צבירה (b)¹ בתוך קבוצות הסיווג להשוואה בין מדרגת בקרה חזויה על פי המודל לבין מדרגת בקרה בפועל



(a)



(b)

¹ מצב הצבירה הגזי לא הוכנס עקב מיעוט תוצאות חריגות.

התפלגות התרחישים, בעלי רמת חשיפה חריגה, בין מצב בו מדרגות הבקרה שחזה המודל תואמות את מדרגות הבקרה בפועל לבין מצב בו מדרגות הבקרה על פי המודל גבוהות מאלו בפועל בתוך 10 קבוצות התהליכים מוצגת בטבלה מס' 7. לא התקבלו רמות חשיפה חריגות במצב בו מדרגת הבקרה המודלית היתה נמוכה מזו בפועל.

טבלה 7: התפלגות תרחישי תהליכים בעלי רמת חשיפה חריגה בין קבוצת סיווג בה מדרגת הבקרה החזויה על פי מודל תואמת את מדרגת הבקרה בפועל לבין קבוצת סיווג בה מדרגת המודל גבוהה מהמדרגה בפועל

סך התרחישים בקבוצת התהליכים	תרחישים שנמצאה בהם רמת חשיפה חריגה		קבוצת תהליכים
	מדרגת הבקרה הנדרשת על פי המודל גבוהה ממדרגת הבקרה בפועל	מדרגת הבקרה הנדרשת על פי המודל תואמת את מדרגת הבקרה בפועל	
341	-	3	צביעה
150	48	22	הזנה והכנת חומרים
115	48	3	ריתוך
91	2	24	הלחמה רכה
90	4	-	הדבקה
72	11	10	בקורת תהליכי יצור
72	1	-	ציפוי
70	7	1	עיבוד אברזיבי יבש – מתכת ואבן
62	32	-	עיבוד שבבי יבש- עבודות בעץ
50	3	13	מילוי/ריקון מיכלים
1113 (100%)	159 (14.3%)	76 (6.8%)	סה"כ

בכל המדגם נוכחים 221 תרחישים בעלי תוצאות ניטור חורגות מרמה מרבית מותרת, שלגביהן חזה המודל צורך במדרגת בקרה גבוהה מהקיימת בפועל. מספר תרחישים זה גבוה פי 1.85 מ- 121 תרחישים אחרים שהמודל חזה בהם מדרגת בקרה תואמת למדרגה בפועל למרות שנמדדו בהם רמות חשיפה חריגות. חולשת מודל הבקרה המדורגת לחזות מדרגת בקרה נדרשת על מנת שהחשיפה תהיה קבילה באה לביטוי באותם 121 תרחישים, המהווים כ- 5.7% מכלל תרחישי המדגם. לעומת זאת, בתרחישים בעלי רמת חשיפה חריגה, שבהם חזה המודל צורך במדרגת בקרה גבוהה מזו בפועל, קיימת הסתברות שרמת החשיפה היתה נמוכה מהרמה המרבית המותרת אילו הופעלה מדרגת הבקרה המומלצת ע"י המודל.

על פי מודל הבקרה המדורגת, נבדלות מדרגות הבקרה זו מזו בפוטנציאל הצמצום של ריכוזי חומר באוויר הנובעים ממקור פליטה נתון. הנחיות המדריך הבריטי (COSHH Essential) לשימוש בשיטה ככלי עזר לתכנון הבקרה מכוון לעקרון של צמצום ריכוזי

חומר באוויר ורמות חשיפה בסדר גודל אחד עם כל עלייה במדרגת בקרה בהשוואה למדרגה הנמוכה ממנה. על פי זה, לדוגמה, ניתן לחזות שהפעלת מדרגת הבקרה המסווגת כבקרה הנדסית-איוורור מקומי בתרחיש נתון עשויה לצמצם רמות של ריכוזי חומר באוויר פי 10 יותר מאשר הפעלת מדרגת בקרה נמוכה ממנה – איוורור כללי – באותו תרחיש. על פי כלל זה, אם מדרגת בקרה המוצעת ע"י המודל גבוהה בשתי מדרגות ממדרגה קיימת בפועל בתרחיש נתון, ניתן לחזות צמצום ריכוזים בשני סדרי גודל. באופן הפוך, כל ירידה במדרגת בקרה עלולה להעלות את הריכוז בסדר גודל.

הכללים הנ"ל נוצלו לבחינת התועלת בהפעלת מדרגות בקרה המוצעות ע"י המודל בקבוצת תרחישים בעלי חשיפה חריגה שבהם חזה המודל צורך במדרגה גבוהה מהקיימת. קבוצה זו כללה 221 תרחישים. בהדמייה שנערכה בתרחישים למצב בו הבקרה היא על פי המודל התקבלו רמות חשיפה היפותטיות והן הושוו לסדרת רמות החשיפה שהתקבלו בניטור בפועל. עקב הבדלים ברמות מרביות מותרות בין חומר לחומר נורמלו התוצאות בשתי הסדרות כדי לנטרל הבדלים אלו. הנירמול נעשה ע"י חלוקת כל ריכוז סביבתי נמדד של חומר נתון ברמה המרבית המותרת לחשיפה לאותו חומר. תוצר החלוקה הוא שקולת ריכוז ביחס לרמה המרבית המותרת. כל שקולה בסדרה ההיפותטית הוכפלה במקדם צמצום הריכוזים על פי ההבדל בין מדרגת הבקרה בפועל לבין מדרגת הבקרה החזויה על פי המודל. הבדל בין ממוצע השקולות בסדרת ההדמייה לממוצע השקולות בסדרה האקטואלית נבדק במבחן t דו-זנבי למדגמים מזווגים על מנת לבדוק את השערת המחקר. תוצאות המבחן הסטטיסטי להבדלי הממוצעים בשתי הסדרות מוצג בטבלה מס' 8. נמצא הבדל מובהק בין ממוצעי השקולות של שתי הסדרות. השערת האפס נדחתה והתקבלה ההשערה האלטרנטיבית, כלומר השערת המחקר אומתה.

טבלה 8: תוצאות המבחן הסטטיסטי לבדיקת השערת המחקר

¹ N	² \bar{X}_1	³ \bar{X}_2	⁴ S ₁	⁵ S ₂	⁶ \bar{D}	⁷ S _d	⁸ Df	⁹ t	¹⁰ Ci	¹¹ P
221	9.391	0.565	15.896	1.313	8.825	14.94	220	8.782	6.845 – 10.806	<<0.0001

¹ מספר תרחישי עבודה

² ממוצע שקולות רמת חשיפה בפועל

³ ממוצע שקולות רמת חשיפה לאחר הדמייה

^{4,5} סטיות תקן של ממוצעי המדגמים

⁶ הבדל הממוצעים

⁷ סטיית התקן של ההבדלים בין כל צמד נתונים מזווגים במדגם

⁸ דרגות חופש

⁹ ערך t-statistic

¹⁰ רווח בר-סמך להבדל הממוצעים

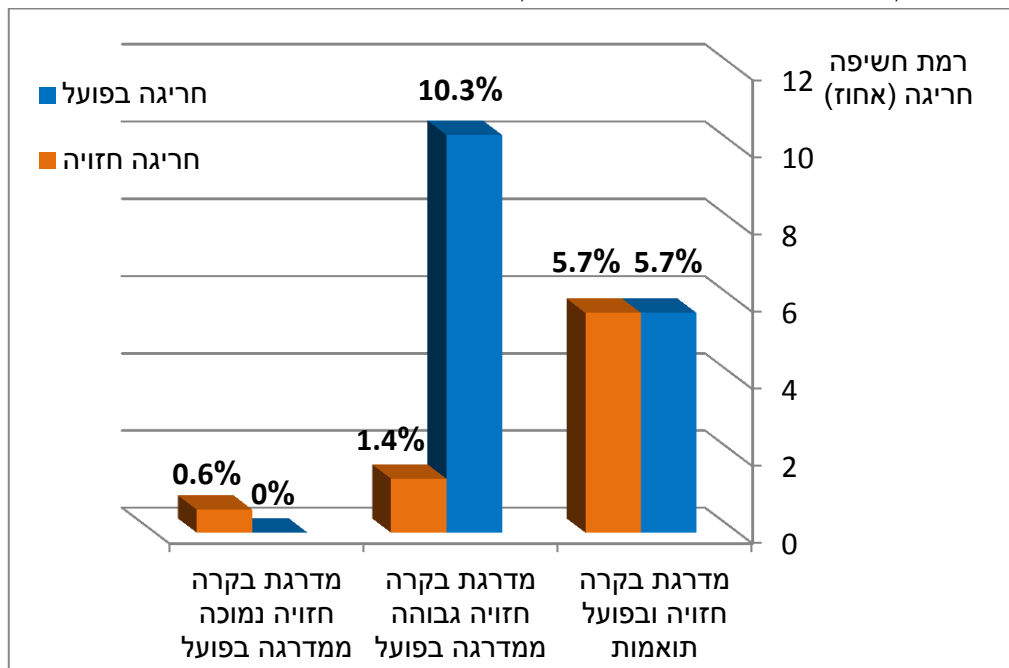
¹¹ רמת המובהקות הסטטיסטית (הסתברות מחושבת לקבלת השערת האפס).

לאחר הפעלת ההדמייה והכפלת הריכוז במקדם הצמצום נותרו 30 תרחישים שמדרגת הבקרה החזויה, הגבוהה יותר מזו בפועל, לא הצליחה להקטין את רמת החשיפה אל מתחת לרמה מרבית מותרת. לעומת זאת, נמצא שמדרגת הבקרה החזויה הצליחה לצמצם את החשיפה אל מתחת לרמה מרבית מותרת ב- 191 תרחישים בסדרת

ההדמייה. אלו מהווים כ- 56% מכלל התרחישים שבהם נמדדה רמת חשיפה חריגה בפועל. שיפור זה הוא משמעותי.

לא נמצאו חשיפות חריגות כלל בתרחישים שבהם מדרגת הבקרה החזויה על פי המודל היתה נמוכה ממדרגת התרחיש בפועל. כאן נבדק אם הקטנת מדרגת הבקרה לעומת זו הקיימת בפועל היתה גורמת לחריגות בניטור הסביבתי. ערכי השקולות של רמות החשיפה בסדרת ההדמייה הוגדלו פי 10 כיחס ההגדלה המקובל במעבר ממדרגת בקרה אחת למדרגה נמוכה יותר. לאחר ההגדלה התקבל אחוז חריגות מהרמה המרבית המותרת נמוך מ- 0.6%. איור מס' 7 מציג את ההבדל בשיעור רמות החשיפה החריגות בקבוצות הסיווג המשוות בין מדרגות בקרה חזויות על פי המודל לבין מדרגות בפועל.

איור 7: השוואה בין שיעורי רמות חשיפה חריגות (גבוהות מרמה מרבית מותרת) בשלוש קבוצות סיווג של מדרגות בקרה חזויות לעומת בפועל בכלל תרחישי העבודה



החיזוי ההיפותטי על פי מודל הבקרה המדורגת הראה שהתנהלות הבקרה לפיו עשויה להביא לצמצום כלל התרחישים החריגים ב- 52%, כאשר צמצום זה מהווה 8.3% כלל התרחישים במדגם. סך אחוז התרחישים בהם גילה המודל חולשה בהתאמה נכונה של מדרגת בקרה כדי למנוע חשיפה חריגה הגיע ל- 7.7% מכלל התרחישים במדגם. ביצוע התאמות של מדרגות בקרה בתרחישים בהם גילה המודל חולשה צפוי להקטין חשיפה חריגה במידה גדולה יותר.

IV. דיון

מודל הבקרה המדורגת פותח ככלי עזר ושיטה לבניית בקרה והגנה הנדסית הולמים על עובדים כנגד חשיפה אפשרית לחומרים כימיים בתהליכים תעשייתיים. המודל מציע סולם של 4 דרגות המייצגות גישות בקרה שונות, כאשר כל דרגה מהווה מדרגה או מעטפת הגנה הנדסית שמטרתה להגן על העובד כנגד פוטנציאל לחשיפה בלתי קבילה. ככל שהמדרגה גבוהה יותר בסולם היא מכוונת למעטפת הגנה הנדסית בדרגה גבוהה יותר. על מנת לבצע חיזוי של מדרגה מומלצת בתרחיש עבודה נתון באמצעות סימולציה יש להזין במודל נתונים המהווים משתנים ששילובם באופן מסויים יוצר תבנית לחילוץ מדרגת הבקרה ההולמת ביותר.

מטרת מחקר החתך התצפיתי היתה לבחון על סמך נתונים הקיימים בתעשייה הישראלית עד כמה השימוש במודל ובשיטה יוצר שוני בין מדרגות בקרה שמומלצות על ידו לבין מדרגות הבקרה הקיימות במקומות עבודה בפועל. כמו כן בדק המחקר באמצעות הדמיה אם שימוש במדרגת הגנה הנגזרת ממודל הבקרה המדורגת עשוי להביא לשיפור ברמות חשיפה חורגות מהמותר שנמדדו באמצעות ניטור סביבתי-תעסוקתי.

תיחום ההגנה מסיכונים בריאותיים בעבודה במדרגות או רצועות בקרה מבוסס על שני צירי תפיסה: (1) יש מספר מוגבל של אמצעי בקרה בהשוואה לריבוי גורמי סיכון ותרחישי שימוש בהם; (2) התאמת מדרגת בקרה לייעודה "נהנית" מנסיון מומחים והעבר המראים שמדרגה מסויימת תתאים לגורם סיכון כימי נתון בתרחיש חשיפה נתון. כל מדרגת בקרה בהירארכיית הבקרות מכילה בתוכה מגוון אמצעי הגנה הנדסיים פרטניים ואינה מכוונת באופן ספציפי לאמצעי זה או אחר. עובדה זו אולי נתפסת כחסרון, אבל ההבנה צריכה להיות שהשיטה אינה מהווה תחליף לייעוץ או הסתייעות באנשי מקצוע ומומחים ואינה תחליף לניטור סביבתי תעסוקתי. תפיסה זו

רווחת גם בקרב מפתחי השיטה וגורמים מקצועיים בחו"ל (NIOSH, 2015; Candian CCOSH, 2017). שיטת המודל לא פותחה להיות כלי בלעדי לתכנון בקרה על חשיפה תעסוקתית, אלא אמצעי עזר בקבלת החלטות על בחירת אמצעי בקרה והגנה ראויים במקומות עבודה שיעוץ מקצועי וניטור סביבתי תעסוקתי אינם זמינים בהם באופן שוטף ולכל צורך ומשאביהם לכך מוגבלים. מקומות עבודה כאלה הם לרוב בתי מלאכה ומפעלים קטנים, אך גם מפעלים בגודל בינוני. העדר ידע מקצועי וטכנולוגי מספיק לתכנון אמצעי בקרה הנדסיים במפעלים רבים המריץ את מפתחי המודל לפתח שיטה פשוטה להגדרת מדרגת הבקרה הדרושה ולהסתפק בהזנת נתונים בודדים לצורך הפעלת השיטה. שונה המצב במפעלים גדולים שהם בד"כ בעלי אמצעים להשקיע ביעוץ ותכנון של בקרת חשיפה ולגביהם יכולה שיטת הבקרה המדורגת לסייע בבדיקה ואישוש של החלטה על אמצעי זה או אחר.

במדינת ישראל נאספים הנתונים שיש להזין במודל ע"י אנשי מקצוע בגיהות תעסוקתית במסגרת ביצוע סקרים מקדימים לניטור במקומות עבודה. סקרים אלה נאספים ונשמרים על פי חוק ולכן ניתן להשתמש בהם כמאגר לבניית בסיס נתונים למחקר וסקרים. איכות הנתונים תלויה באופן האיסוף ומידת הדיוק של המידע הנאסף. סימולציה של מודל הבקרה המדורגת תוך שימוש בנתוני הסקרים וכדי להגיע למדרגת הבקרה המומלצת מתאפשרת אם קיימים כל הנתונים הדרושים להזנה במודל. איכות החיזוי של מדרגת הבקרה תלויה אף היא באיכות ודיוק הנתונים.

במחקר הנוכחי הופעלה סימולציה של המודל על חתך תהליכים תעשייתיים ותרחישי עבודה בהם משתמשים בחומרים כימיים תוך שימוש בנתונים ממאגרי סקרים ותוצאות בדיקות סביבתיות-תעסוקתיות של רמות ריכוזים של חומרים שונים

באוויר. איכות הנתונים במדגם הראשון מתוך שני מדגמי המחקר לקתה בחסר בשל חוסר בשלמות נתונים ובשל איסוף הנתונים בשיטה לא אחידה ע"י גופים שונים המוסמכים לביצוע סקרים וניטור. אי לכך קובצו במדגם זה נתוני תרחישים רבים מאד מתוך הנחה שניפוי הנתונים הלא שלמים וטיוב הנתונים הנותרים יאפשר לקבל מדגם תרחישים שנתונים יאפשרו לבדוק היתכנות לביצוע סימולציה מלאה לקבלת מדרגת בקרה באמצעות המודל. בתרחישים שבהם תועדו באיכות מספקת האמצעים ההנדסיים שהופעלו לבקרת פליטות של חומרים כימיים ממקורות שונים ולפיזורם בסביבת העבודה שבה שוהים עובדים ניתן היה לסווג אמצעים אלו באחת ממדרגות הבקרה במודל. בכל תרחיש שהכיל את הנתונים הדרושים והופעלה עליו הסימולציה התאפשרה קבלת צמד מדרגות בקרה שאחת מהן היא המדרגה שנכחה בפועל בתרחיש השדה עצמו והשניה היא זו שנחזתה כמתאימה ע"י הסימולציה. באופן זה ניתן היה להשוות בין צמד המדרגות ולבדוק את מידת ההתאמה ביניהן.

לכל תרחיש הוצמדו תוצאות של בדיקות סביבתיות-תעסוקתיות שמטרתן לבדוק רמות של חשיפה תעסוקתית בתרחיש. תוצאות הניטור שהושג באופן בלתי תלוי בסימולציה מהוות אינדיקטור לתיקוף היכולת של מדרגת הבקרה החזויה ליצור סביבת חשיפה קבילה לעובד בהשוואה לסביבה שמספקת מדרגת הבקרה הקיימת בתרחיש בפועל. סביבת עבודה קבילה הוגדרה כזו שריכוז החומר באוויר בה נמוך מרמה מרבית מותרת לחשיפה לחומר זה.

ניתוחים פרטניים יותר בוצעו במדגם נתונים נוסף שנתוניו נאספו במתודולוגיה אחידה וכללו את כל המשתנים הנחוצים לסימולציה. מדגם זה שימש גם לבחינת התועלת ביישום השיטה כהכוונה לתכנון אמצעי בקרה הנדסיים להגנה בפני חשיפת עובדים לחומרים כימיים.

ההתאמה בין מדרגות הבקרה הקיימות בתרחישים בפועל לבין המדרגות המקבילות שהתקבלו בחיזוי דרך הסימולציה באותם תרחישים היתה חלקית בלבד. שתי המדרגות הנמוכות יותר – איורור כללי ואיורור מקומי - נצפו בפועל בכמות גבוהה יותר של תרחישים מאשר כמות התרחישים שבהם חזה המודל את המדרגות האלה כמתאימות לבקרה מספקת. מצב הפוך התקבל לגבי שתי מדרגות הבקרה הגבוהות – הכלה ואמצעים מיוחדים. אמצעים מיוחדים כוללים בד"כ הנדסה איכותית יותר לבקרת פליטות של מזהמים או שילוב אמצעים המעלה את רמת הבקרה, אך יכולים לכלול גם אמצעים השייכים למדרגות בקרה נמוכות יותר. הנטייה המסורתית היא להשתמש באיורור כללי ומקומי במספר רב של מקרים, בייחוד במפעלים קטנים ובינוניים, ולהעדיף על גישת הכלה, לרבות משיקולים כלכליים, גם כאשר היא מתאימה יותר. העדפה זו יכולה להיות אחת הסיבות להבדל בין מדרגות הבקרה שנצפו בפועל לבין אלה שנחזו ע"י המודל. ברוב התרחישים חזה המודל צורך במדרגת בקרה גבוהה יותר מזו הקיימת בפועל, כלומר, המודל חזה שלמדרגה גבוהה יותר הסתברות טובה יותר לבקרת חשיפות ושמירתן כקבילות ונמוכות מרמה מרבית מותרת לחשיפה. רק באחוז קטן מ- 30% מכלל התרחישים נמצאה התאמה בין התחזית לבין המצב בפועל בשני המדגמים כאשר באופן יחסי (טבלה 2) ההתאמה גבוהה יותר כשכמות החומר קטנה. השליטה על פיזור סביבתי של כמויות חומר נמוכות מ- 1 ק"ג בתרחיש עשויה להיות אפקטיבית גם כאשר מדרגת הבקרה אינה מהגבוהות. מדרגת בקרה חזויה נמוכה מהמדרגה בפועל התקבלה רק בכ- 10% מהתרחישים, כלומר המודל סבר שגם מדרגה נמוכה יותר מהקיימת היא בעלת הסתברות גבוהה להבטיח שחשיפת העובד תהיה קבילה תחת תנאי העבודה הקיימים. אי ההתאמה הגבוהה בין המודל למצב הקיים בתרחישים בהם יש שימוש בכמויות חומר בינוניות וגבוהות, יחד עם העובדה שבהרבה מהתרחישים האלה קטגוריית

החומרה של החומרים היא בינונית וגבוהה (E – C) מעוררת את השאלה (שלא נבדקה במחקר זה) האם המשקל שנותנים מקומות עבודה לשילוב זה והמודעות אליו מספיקים בעת בחינת שיקולים לתכנון והתקנה של מדרגת בקרה מתאימה לבקרת הסיכון בתרחיש העבודה. לעומת זאת, קיימת במקומות עבודה הסתמכות על הגנה אישית כפיצוי לחסר בהגנה הנדסית, אעפ"י שהגנה אישית היא הדרגה הנמוכה והפחות רצויה בהירארכיית סדרי העדיפויות ליישום אמצעי הגנה על העובד.

כאשר מדרגת הבקרה החזויה על פי המודל תאמה את מדרגת הבקרה בשטח נצפה ריבוי תרחישים בהם קטגוריית החומרה של החומרים היא E - הקטגוריה החמורה ביותר. ממצא זה מעיד על הצורך בהתאמת מדרגת בקרה אפקטיבית תוך קבלת ייעוץ מקצועי. רמה מרבית מותרת היא בד"כ נגזרת המגלה התאמה עם קטגוריית חומרת הסיכון בסדרה E – A. השתייכות גורם סיכון כימי לקטגוריה A מצביעה על כך שחומרת ההשפעה מהחומר במתווים רגילים של חשיפה תעסוקתית היא נמוכה ומדובר בד"כ על אפקטים חולפים שההסתברות לגרימת נזק כרוני מהם נמוכה מאד באותם מתווים. לעומת זאת, לקטגוריה E שייכים גורמי סיכון כימיים שהשפעותיהם לטווח ארוך עלולות להיות בלתי הפיכות ואפילו מסכנות חיים, כגון חומרים מסרטנים. בנגזר מכך, סביר להניח שהרמה המרבית המותרת לחשיפה לחומר בקטגוריה A תהיה גבוהה יחסית לרמות של חומרים בקטגוריות אחרות ואילו זו לחומר בקטגוריה E תהיה נמוכה מאד. מודל הבקרה המדורגת מציע, כאחת האפשרויות, להעזר ברמה המרבית המותרת לחשיפה כדי לבחור את קטגוריית חומרת הסיכון עבור חומר נתון, אולם במקביל ממליץ המודל לנקוט בזהירות ולא להשתמש באופן בלעדי וגורף בשיטת בחירה זו, אלא לבדוק לגופו של חומר את השפעותיו הבריאותיות לטווח קצר ולטווח ארוך. אם הרמה המרבית המותרת גבוהה יחסית אז, כתלות בתנאי תהליך העבודה ומאפיינים שלו כגון כמות ומשך זמן חשיפה, ההסתברות לחרוג ממנה במהלך הפעלת תהליך עבודה רלוואנטי עשויה להיות נמוכה יותר מהסתברות לחריגת חשיפה לחומרים מקטגוריית חומרה חמורות יותר, שם הרמה המרבית המותרת נמוכה יותר. הכלל הזה מקבל ביטוי בטבלה מס' 4 המראה שכל שעולים בחומרת הקטגוריה מ-A ל-E גדל בכל קטגוריה אחוז החשיפות החורגות מרמה מותרת, כאשר הוא מגיע בכלל התרחישים במדגם ל- 0.1%, 4% ו- 11.2%, בהתאמה בחומרים מקטגוריה A, קטגוריה C וקטגוריה E.

מיעוט התרחישים בהם נצפו חומרים במצב צבירה גזי מצביע על שימוש מועט בגזים מזיקים כחומרי גלם במפעלים קטנים ובינוניים. חריגות מרמה מרבית מותרת במצב צבירה זה נצפו בעיקר כאשר כמות הגז בשימוש היתה בינונית ומדרגת הבקרה בפועל תאמה את מדרגת הבקרה החזויה על פי המודל. זהו אמנם מצב של תת-הערכה של המודל לגבי מדרגת הבקרה הנדרשת לצמצום החשיפה, אך אחוז החריגות מרמה מרבית מותרת במצב צבירה זה לא עלה על האחוז המקביל בכל מדגם התרחישים. אינפורמטיבית יותר התמונה שהתקבלה לגבי חומרים המופיעים כמוצק או נוזל בתרחיש עקב מספר תרחישים גבוה עבור מצבי צבירה אלה. אחוז גבוה של מוצקים בכמות בינונית התקבל כאשר המודל חזה צורך במדרגת בקרה גבוהה מזו בפועל (טבלאות 2, 3). בשילוב זה נצפה גם האחוז הגבוה ביותר של חריגות מחשיפה מרבית מותרת (איור 6b). בשונה מכך, בנקודה זו מצא מחקר אחר (Tischer et al, 2003) שבמצב צבירה מוצק קיימת התאמה בין המודל לבין המדידות בחומרים המוצקים ותחום הערכים המנובא יותר מאשר בנוזלים. ריכוזים חריגים נמצאו במחקר האחר בשימוש בכמויות קטנות של נוזלים כאשר מדרגת המודל תאמה את המדרגה בפועל בעוד שהמחקר כאן מראה חריגות בודדות בעת שימוש בכמויות קטנות של חומר

נוזלי. מספר החריגות בניטור עלה כאשר כמות הנוזל היתה בינונית. בתהליכים קרים מתפזר חומר מוצק כאבק ובתהליכים חמים, בעיקר במתכות, הוא מתפזר במידה רבה כנדפים. רוב הנוזלים במדגם הם חומרים נדיפים ולכן מתפזרים באוויר בעיקר כאדים. חלקיקי אבק מרחפים באוויר ומתפזרים למרחקים קטנים יותר מאשר אדים של נוזלים נדיפים. הסיבה לכך היא מסה גבוהה וכושר ריחוף נמוך יותר מאלו של אדים, ושילוב של גודל, תנע גבוה כתלות במסה וגודל ופעולת כוח הגרביטציה עליהם. לעומת זאת נדרש עבור החלקיקים המוצקים כוח סחף חזק יותר כדי לסלקם מהאוויר. מדרגות הבקרה הנמוכות כגון איורור כללי וחלק מאמצעי האיורור המקומי עלולות להתקשות יותר בצמצום אפקטיבי של ריכוזים חריגים של חלקיקים מוצקים באוויר בהשוואה לאדי נוזלים וכתלות בכמות המתפזרת. זו סיבה אפשרית לכך שאחוז התרחישים בהם חוזה המודל צורך במדרגת בקרה גבוהה יותר כדי להגיע לחשיפה קבילה לעובד שייך לחומרים במצב מוצק. תהליכי עבודה בקמח, עץ וריתוך חשמלי של מתכות (מנגן) במדגם אחראים להרבה מהחריגות מרמה מרבית מותרת. במקרים אלה מדרגת ההכלה, השלישית בסולם מדרגות הבקרה, היתה יכולה לתת מענה למניעת פיזור של ריכוזי אבק גבוהים באוויר. ראוי לציין שאותם תהליכים תעשייתיים הופיעו הן בתרחישים בהם תחזית המודל כשלה לנבא מדרגת בקרה הולמת ורמות החשיפה חרגו מהמותר והן בתרחישים שבהם המודל חזה באופן מוצדק צורך במדרגת בקרה גבוהה יותר מזו שהיתה בפועל בהתאמה עם מציאת ריכוזים גבוהים מהמותר (טבלה 7). תהליכים אלה הם תהליכי הכנה והזנה של תערובות אבקתיות כגון עבודה בקמח, תהליכי ריתוך, הלחמה רכה, עבודות עץ ונגרות, עיבוד אברזיבי יבש של מתכת ואבן (עבודה בעיבוד שיש), מילוי וריקון מיכלים ועבודת השגחה ובקורת של עובדים בצמוד לתהליכי יצור.

באחוז לא מבוטל מהתרחישים שבהם תחזית המודל הראתה צורך במדרגת בקרה גבוהה יותר מהקיימת בפועל הראו תוצאות הניטור שמדרגת הבקרה הקיימת מספקת כיוון שלא היתה חריגה מרמה מרבית מותרת (טבלה 6). לכאורה, המדרגה החזויה עשויה להוות הגנת יתר. ממצא זה מעלה את השאלה האם יש מקום להפעלת מדרגת בקרה גבוהה יותר מזו שנצפתה בשטח. מבחינת תפיסה בטיחותית, הפעלת מדרגת בקרה גבוהה יותר מהנדרש מעלה את מקדם הבטיחות וההגנה של העובד ויוצרת היערכות למצבים חריגים בלתי צפויים, או מצבים של קצב עבודה לא שגרתי, או אירועי תקלה. כמו כן, יש לזכור שעקב שימוש במדגם חתך המספק תמונה נקודתית זמן נתונה נעשתה ההשוואה לתוצאת ניטור חד-פעמית המתאימה לתנאים ששררו בפועל באותה נקודת זמן. ההסתברות להיתכנות רמות חשיפה גבוהות יותר, שיצדיקו את המדרגה החזויה, אינה ידועה. לכן, מתוך שיקול של זהירות מונעת ואבטחת בריאות העובד, מצב של בקרת יתר הנדסית מועיל אם הוא כבר קיים בפועל, ואין בכך מגרעת, אלא להפך, כאמור, מקנה לעובד מקדם בטיחות ובטחון גבוה.

סיבה משוערת לפער הגדול בהמלצה למדרגת בקרה גבוהה יותר ע"י המודל בהשוואה למצב הקיים בפועל עבור עבודה בחומרים מוצקים ונוזלים ולמרות העדר חשיפה חריגה עשויה להיות העובדה שמודל הבקרה המדורגת פותח בבריטניה והותאם לתעשייה שם. שונות אקלימית ושונה במאפיינים בתעשייה בין בריטניה לישראל עשויים להסביר הבדלים במדרגות הבקרה. בבריטניה האקלים קר יותר במוצע מאשר בישראל ולכן רוב התהליכים מתבצעים בחללים סגורים, בעוד שבשראל מתבצע אחוז לא מבוטל של תהליכים במבנים בעלי פתחים רחבים ובעלי חלונות פתוחים, בשטח מקורה כסככה או מקורה חלקית וגם בשטח פתוח. ביצוע תהליכים בסביבה פתוחה מקטין את הריכוזים באוויר עקב מקדם מיהול גבוה לעומת חלל מקורה מכל כיוונו. עובדה זו מעודדת הפחתה במדרגת אמצעי בקרה הנדסיים עד כדי אי התקנתם והסתמכות על אמצעי הגנה אישיים. ברירת מחדל של הסתמכות על הגנה

אישית בתעשייה הישראלית מביא מראש לפער בין המודל לבין המצב הקיים כיוון שהמודל אינו מאפשר מצב של העדר בקרה הנדסית כלל. כאן ראוי לציין, שביצוע תהליכים בהם מתפזרים אבק ונדפים אבל הם נעדרי בקרה הנדסית כלל בוודאי מצדיק מדרגת בקרה יותר גבוהה גם אם לא נמדדים ריכוזים גבוהים מרמה מרבית מותרת. ניטורים סביבתיים-תעסוקתיים מתבצעים בתדירות נמוכה מאד על פי החוק ושונוות הריכוזים מיום ליום באותו תהליך עלולה להביא לתרחישים בהם רמת החשיפה חורגת מרמה מרבית מותרת ללא ידיעה עקב העדר ניטור.

תובנה דומה עקב פערים, אבל מזווית הפוכה ניתן לגזור כאשר נמצא שמדרגת הבקרה המומלצת ע"י המודל נמוכה מהמדרגה הקיימת בתרחיש בפועל, אבל רמות החשיפה אינן חורגות מרמה מרבית מותרת. תרחישים אלו היוו 10.5% מכלל התרחישים (טבלה 6). להלכה, המודל מקל במדרגת הבקרה הדרושה אם כי זו עדיין פרוטקטיבית. רוב התרחישים שבהם השוואה למודל הראתה שמדרגת הבקרה בפועל בשטח גבוהה יותר מהנדרש הם תרחישים בהם מעורב שילוב של חומרים מקטגוריה נמוכה של חומרת הסיכון הבריאותי (A), כגון ממיסים אורגניים מסויימים, וכמות בינונית של חומר בשימוש. חומרת הסיכון הבריאותי בחומרים אלה נמוכה ובד"כ הרמה המרבית המותרת לחשיפה אליהם גבוהה יחסית לחומרים אחרים. שילוב שני גורמים אלה בצירוף כמויות חומר לא גבוהות במיוחד מביאות למצב בו ההסתברות לחשיפות בלתי מותרות קטנה גם אם מדרגת הבקרה המומלצת נמוכה יותר מזו הקיימת בשטח בפועל. בבריטניה, בה פותח המודל, חלק גדול מהרמות המרביות המותרות הרגולטוריות גבוהות מאלו הנהוגות בישראל. ככל שהרמה המרבית המותרת לחשיפה גבוהה יותר אפשרית מדרגת בקרה נמוכה יותר כדי לעמוד ברמה זו. הבדל ברמות מרביות מותרות לחשיפה עשוי להסביר את הפער בתרחישים בהם נמצא שמדרגת הבקרה המומלצת ע"י המודל נמוכה מזו בפועל בשטח. גם במקרים אלה השארת המדרגה כפי שהיא בפועל יוצרת סביבת עבודה בעלת מקדם בטיחות ובריאות תעסוקתית גבוהה לטובת העובד בעיקר במקרה של תרחישי חשיפה בלתי צפויים, מתכונת עבודה לא שגרתית, או תקלות. באותם מקומות בהם עדיין לא קיימת מערכת בקרה והגנה על החשיפה ויש לתכננה עשוי מודל הבקרה המדורגת להציע מדרגת בקרה נמוכה יותר ולהביא בכך לחסכון בעלויות, אולם, כאמור, יש להכניס בתכנון הבקרה שיקולים של הערכות למצבים בלתי שגרתיים.

שונה המצב בתרחישים שבהם נחזתה ע"י המודל מדרגת בקרה גבוהה מהקיימת, אולם תוצאות הניטור במצב הקיים בפועל מצביעות על חריגה מרמה מרבית מותרת לחשיפה. בתרחישים אלה, המהווים כ- 10% מכלל המדגם, היתה מדרגת הבקרה החזויה מקטינה את החשיפה לרמה קבילה. בהדמיה שנערכה לבדיקת השערת המחקר התקבל צמצום ריכוזים סביבתיים חריגים באופן סטטיסטי מובהק בסוג התרחישים הזה.

תועלת השימוש בשיטת הבקרה המדורגת ככלי עזר מכוון בולטת בעיקר עבור מצבים שבהם רמת ההגנה האקטואלית אינה מספיקה כדי למנוע חשיפה החורגת מרמות מרביות מותרות והמודל מציע מדרגת בקרה גבוהה יותר. באותם תרחישים שבהם אין חריגה מרמות מרביות מותרות והם מהווים 84% מכלל התרחישים אין, להלכה, צורך בשינוי רמת הבקרה הקיימת. גם באותם תרחישים בהם נמצאה חשיפה חריגה ומדרגת הבקרה החזויה ע"י המודל לא סייעה בהקטנת רמת החשיפה ניתן לחשוב שיישום השיטה לא ישפר את רמת החשיפה. אולם, יש לזכור שממצאי המחקר הנוכחי מסתמכים על חתך תוצאות ניטור שהושג בנקודת זמן מסויימת. בניהול בטיחות נכון יש להכניס שיקולים של שינוי אפשרי לרעה ברמות חשיפה, בין השאר מהטעמים הבאים:

- על ציר זמן עלולים לעתים לחול שינויים ברמות החשיפה ובתוצאות הניטור לכיוון רמות גבוהות יותר שעבורן נדרשת מדרגת בקרה יותר גבוהה.
 - בד"כ לא מתבצע בארץ ניתוח של נתוני ניטור מצטברים כדי להשיג פרופיל חשיפה ומגמות ושינויים ברמות חשיפה לאורך זמן. ההסתברות להופעת רמות חשיפה ממוצעות ומשוקללות גבוהות מאלה שהתקבלו בניטור איננה ידועה, אך לא ניתן לשלול היתכנות להופעה כזו.
 - במקומות עבודה עשויים לחול שינויים בקצבי יצור עקב הזמנות עבודה גדולות שינויים עונתיים בייצור, שינויים בטכנולוגיית תהליך, שינויים בנהלי עבודה ועוד. אלו עלולים לגרום לרמות חשיפה גבוהות יותר מאלו שהופיעו בניטורים שנבדקו המחקר.
 - שונות סביבתית שעלולה להשפיע על רמות החשיפה הנמדדות. בשונות זו נכללים שונות בין קיץ לחורף, שינויים בתנאים מטאורולוגיים (רוח, גשם, טמפרטורה, לחות) וכו'. התייחסות לשינויים אלה אינה מתועדת בדוחות ניטור של בודקים מוסמכים וברוב המקרים אינה מובאת בחשבון לצורך תכנון ניטור והערכת חשיפה ולכן עלולים להיות מקרים בהם רמת החשיפה הנמדדת תהיה גבוהה מזו ששימשה לשיפוט במחקר זה.
 - הארכת שעות עבודה. הרמות המרביות המותרות לחשיפה מותאמות ליום עבודה בן 8 שעות. במצב בו שעות העבודה ארוכות יותר (מצב שכיח במשק הישראלי) מותאמת רמת החשיפה לשעות עבודה ארוכות והיא יותר גבוהה מהרמה הנמדדת (על פי נוהל מחייב של מינהל הבטיחות והבריאות התעסוקתית).
- הסיבות הנ"ל מצדיקות את אי-הקטנת מדרגת הבקרה ההנדסית שנגזרה ממודל הבקרה המדורגת גם אם היא מראה בקרת יתר. מתוך תגובה של זהירות מונעת למקרים אפשריים בהם רמת החשיפה תהיה גבוהה יותר אין צורך לשנות ולהתאים מודולה נפרדת בשיטת הבקרה המדורגת למקרים אלה. היתרון בשימוש בשיטה ככלי עזר בתכנון הגנה הנדסית נעוץ בעובדה שמודל הבקרה המדורגת פותח במטרה לסייע למקומות עבודה להקטין את ההסתברות לחשיפת עובדים בלתי קבילה.
- בחירת רעיון השימוש בשיטת הבקרה המדורגת מהיבט תחיקתי ורגולטורי מראה שאין סתירה בין השימוש בשיטה ככלי עזר לבין התחיקה הישראלית. פקודת הבטיחות מטילה על המעסיק את האחריות להגנה על העובד. הגנה זו מסווגת בקטגוריות שונות שהעיקריות בהן מופיעות בתקנות הבטיחות והגיהות לעבודה עם גורמים מזיקים כימיים ופיסיקליים ואחרים. בין קטגוריות ההגנה מופיעות הגנה בשיטות ואמצעים הנדסיים, הגנה באמצעים אדמיניסטרטיביים, הגנה ע"י ציוד מגן אישי, הדרכה, שמירה על גיהות אישית ועוד. לקטגוריות אלה קיימת הירארכיה כאשר הגנה הנדסית היא במדרגת הירארכיה גבוהה יותר ממדרגות אחרות כגון זו של שימוש באמצעי מגן אישיים המהווה את דרגת ההירארכיה בעדיפות אחרונה. האחרונה. לדוגמה, על פי תקנות קיימת חובה להורדת הסיכון לחשיפה לגורמים מזיקים במקום בו נעשה בהם שימוש כאשר בראש הדרישות להורדת הסיכון ככל האפשר יש לנקוט באמצעים הבאים:
- א. להתקין ולקיים אמצעי אוורור, יניקה, ניקוז ופליטה מתאימים ויעילים, או כל שיטה אחרת להורדת ריכוז הגורם המזיק, ובצורה שלא תזיק לבריאות עובד או לבריאות הציבור;
 - ב. להתקין מנדפים מתאימים ויעילים שבהם יתבצעו פעולות בגורם מזיק.

אמצעים אלה נוגעים ישירות לענייננו כיוון שהבקרה המדורגת עוסקת בהגנה הנדסית בעיקר. דרישת החוק משתלבת עם הרעיון העיקרי העומד מאחורי ישום מודל הבקרה המדורגת והוא צמצום החשיפה התעסוקתית הנשימתית אל מתחת לרמה מרבית מותרת לחשיפה והורדת הסיכון לרמת סיכון קביל.

אין בשיטת הבקרה המדורגת תנאים או דרישות שאינם עומדים או יוצרים ניגוד עם דרישת החוק הישראלי ותקנות הפיקוח על העבודה. תקנות הפיקוח מכוונות לשימוש באמצעי הגנה אישיים להגנה על העובד רק כאשר רמת החשיפה גבוהה מרמות מרביות מותרות וגם כך רק באופן זמני עד לפתרון הבעיה בשיטות הנדסיות. דרישה זו מחזקת את הצורך להציג שיטה/מודל שמבטיחים מצב הגנה קבוע ללא תלות באופן עבודת העובד או במשמעת שלו. התאמת מדרגות הבקרה על פי המודל עבור גורם סיכון מסויים בתרחיש עבודה מסויים נועדה כדי להבטיח שחשיפת העובד תהיה קבילה.

נקודה נוספת היוצרת התאמה בין מודל הבקרה המדורגת לתקינה הישראלית נוגעת לשימוש בקוד חומרת גורם סיכון. קוד זה (A – E) נדרש להפעלת המודל וניתן לחלוץ מתוך משפטי הסיכון המופיעים בגליון סיכונים של חומר (MSDS). גליון סיכונים נדרש על פי תקנה ישראלית ומקומות עבודה צריכים להצטייד בגליון עדכני כדי לנהל סיכונים ולעמוד בתקנה.

.V ביבליוגרפיה

ANSES – French Agency for Food, Environmental and Occupational Health & Safety [2010]. Development of a specific control banding tool for nanomaterials. Report of the Expert Committee (CES) on Physical Agents, Scientific edition, Request No. 2008-SA-0407.

Brouwer DH, [2012]. Control Banding Approaches for Nanomaterials. *Ann. Occup. Hyg.*, 56(5):506-514.

Canadian Centre for Occupational Health and Safety (CCOHS),[2017]. Control banding. Fact sheets, October.

http://www.ccohs.ca/oshanswers/chemicals/control_banding.html#_1_1

CHEMWATCH®, [2012]. Control Banding Risk Assessment, Health (hazardous substances) and dangerous goods risk assessment, COBRA/COSHHpliant.

Deveau M, Chen CP, Johanson G, Krewski D, Maier A, Niven KJ, Ripple S, Schulte PA, Silk J, Urbanus JH, Zalk DM, Niemeier RW, [2015]. The global landscape of occupational exposure limits – Implementation of harmonization principles to guide limit selection. *J. Occup. Environ. Hyg.*, 25:12(supl), S127-S144.

Dosemeci M, Stewart PA, Blair A, [1990]. Three proposals for retrospective, semi quantitative exposure assessment and their comparison with other assessment methods. *Appl. Occ. and Env. Hyg.*, 5(1):52-59.

European Agency for Safety and Health at Work [2017]. Welcome to OIRA, the Online Interactive Risk Assessment project. <http://www.oiraproject.eu/>.

Evans P, [2005]. US National Control Banding Workshop, Washington, DC, March 9-10, Dawn Seminar.

Fingerhut M, [2005]. International Activities. Risk Management Toolbox (formerly 'Control Banding'). US National Control Banding Workshop, Washington, DC, March 9-10.

Gardner RJ, Oldershaw PJ, [1991]. Development of pragmatic exposure-control concentration based on packaging regulation risk phrases. *Ann. Occup. Hyg.*, 35(1): 51-59.

Garrod A, Rajan-Sithamparananadarajah R, [2003]. Developing COSHH essentials; dermal exposure, personal protective equipment and first aid. *Ann. Occup. Hyg.*, 47(7):577–588.

Health & Safety Executive (HSE), COSHH Essentials. Easy steps to control health risks from chemicals. <<http://www.coshh-essentials.org.uk>>

Health and Safety Executive (HSE), [1999]. COSHH Essential – easy steps to control chemicals. HSE Books. <http://www.coshh-essentials.org.uk/>.

ILO – International Labor Organization, [2006]. International chemical control toolkit. Programme on Safety and Health at Work and the Environment (SafeWork). http://www.ilo.org/legacy/english/protection/safework/ctrl_banding/toolkit/icct/

Jayjock MA, Lewis PG, Lynch JR, [2001]. Quantitative level of protection offered to workers by ACGIH Threshold Limit Values Occupational Exposure Limits. *Am. Ind. Hyg. Assoc. J.*, 62(1):4-11.

Jones RM, Nicas M, [2004]. Evaluation of the ILO Toolkit with Regards to Hazard Classification and Control Effectiveness. Poster presented at the 2nd International Control Banding Workshop/ Cincinnati, OH, March 1-2.

Jones RM, [2005]. COSHH-Essentials Validation: Control Errors, Hazard Classification and Health Protection. US National Control Banding Workshop, Washington, DC, March 9-10.

Jones RM, Nicas M, [2006a]. Evaluation of COSHH Essentials for Vapor Degreasing and Bag Filling Operations. *Ann. Occup. Hyg.*, 50: 137-147.

Jones RM, Nicas M, [2006b]. Margins of Safety Provided by COSHH Essentials and the ILO Chemical Control Toolkit. *Ann. Occup. Hyg.*, 50: 149 -156.

Jones W, [2005]. Control Banding: Avoiding Standards or a New Way to Limit Exposures? American Public Health Association 133rd Annual Meeting & Exposition. December 10-14, Philadelphia, PA.

Liguori B, Hansen SF, Baun A, Jensen KA, [2016]. Control banding tool for occupational exposure assessment of nanomaterials – ready for use in a regulatory context? *Nanoimpact*, 2:1-17.

Maidment SC, [1998]. Occupational Hygiene Considerations in the Development of a Structured Approach to Select Chemical Control Strategies. *Ann. Occup. Hyg.*, 42: 391-400.

Marquart H, Heussen H, Le Feber M, Noy D, Tielmans E, Schinkel J, West J, Van Der Schaaf D, [2008]. "Stoffenmanager", a web-based control banding tool using an exposure process model. *Annals Occup. Hyg.*, 52(6):429-441.

McKernan LT, Seaton M, Gilbert S [2016]. The NIOSH Decision Logic for OEBs: Applying Occupational Exposure Bands. *The Synergist*(March 2016).

Miller J, Tischer M, Vosseler C, [2008]. Chemical Management Guide. Improve Chemical Management to Gain Cost Savings, Reduce Hazards and Improve Safety. Deutsche Gesellschaft fur Technische Zusammenarbeit (GTZ).

Mone, CD, [2003]. European Experiences in the Development of Approaches for the Successful Control of Workplace Health Risk. *Ann. Occup. Hyg.*, 47:533-540.

National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH), [2015]. Qualitative risk characterization and management of occupational hazards: Control banding (CB). Department of Health and Human Services, DHHS (NIOSH) Publication No. 2009-152. National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH), [2015]. Control banding. Workplace Safety & Health Topics. <https://www.cdc.gov/niosh/topics/ctrlbanding/>

Naumann BD, Sargent EV, Starkman BS, Fraser WJ, Becker GT, Kirk GD, [1996]. Performance-based exposure control limits for pharmaceutical active ingredients. *Am. Ind. Hyg. Assn. J.*, 57(1):33-42.

Nelson DI, Chiusano SV – AIHA Control Banding Working Group, [2007]. Guidance for Conducting Control Banding Analysis. American Industrial Hygiene Association, Guidelines, 9

Nelson DI, Zalk DM, [2008]. History and evolution of control banding: a review. *J Occup. Environ. Hyg.*, 5(5):330-346.

Niemeier R, Lentz TJ, Ahlers, H W, Shulte P A, [2004]. Control Banding: Is U.S. Ready? CDC. NIOSH. The NIOSH Control Banding Team – Applying the Concept to U.S. Small Business Industries. (AIHCe May 11, 2004). <http://www.aiha.org/aihce04/handouts/rt223niemeier.pdf#search=%22The%20niosh%20control%20banding%20team%22>.

Oldershaw PJ, [2003]. Editorial. Control Banding Workshop, 4-5 November 2002, London. *Ann. Occup. Hyg.*, 47: 531-532.

Paik SY, Zalk DM, Swuste P, [2008]. Application of a Pilot Control Banding Tool for Risk Level Assessment and Control of Nanoparticle Exposures. *Ann. Occup. Hyg.*, Vol. 52, No. 6, pp. 419–428.

Royal Society of Chemistry (RSC), [1989]. COSHH in Laboratories. London.
Russell RM, Maidment SC, Rooke I, 1998]. Topping, M. D.: An Introduction to a UK Scheme to Help Small Firms Control Health Risks from Chemicals. *Ann. Occup. Hyg.*, 42: 367-376.

Stewart P, Stenzel M, [2000]. Exposure assessment in the occupational setting. *Appl. Occ. Env. Hyg.*, 15(5):425-444.

Tischer M, Bredendiek-Kamper S, Poppek U, [2003]. Evaluation of the HSE COSHH Essentials exposure predictive model on the basis of BAuA field studies and existing substances exposure data. *Ann. Occup. Hyg.*, 47:557-569.

Tischer M, Scholaen S, [2003]. Chemical Management and Control Strategies: Experience from the GTZ Pilot Project on Chemical Safety in Indonesian Small and Medium-sized Enterprises. *Ann. Occup. Hyg.*, 47: 571-575.

United States Census Bureau: Statistics of US businesses, [2011].
http://www.census.gov/econ/susb/about_the_data.html

מיימן מ, [2009]. נוהג טוב בביצוע תהליכי עבודה, בטיחות, 320:21-22.
קנוביץ ר, בריאות בעבודה בבתי מלאכה קטנים – 2017. בטיחות online, עלון אלקטרוני של המוסד לבטיחות ולגיהות, ינואר 2018.

VI. מסקנות המחקר

1. שיטת הבקרה המדורגת ניתנת ליישום ככלי עזר בתכנון אמצעי הגנה ובקרה הנדסיים חדשים.
2. השיטה מסייעת בהערכת אמצעי בקרה קיימים ויתרונה בעיקר במצבים בהם נמצאו בניטור סביבתי-תעסוקתי ממצאי חשיפה חריגים.
3. השיטה והתוכנה שפותחה על בסיסה ניתנים, לאחר הדרכה, לשימוש ע"י אנשי מקצוע העוסקים בבטיחות ובגיהות, כגון גיהותנים, מהנדסי בטיחות, ממוני בטיחות, גורמים מפעליים האחראים על בטיחות וגיהות, כגון נאמני בטיחות ונציגי וועדות בטיחות. בתי מלאכה ומפעלים שלא עברו הכשרה כלשהי בתחומים אלה, או אינם עוסקים בנושא במקום העבודה עלולים להתקשות ליישם את שיטת הבקרה המדורגת, אלא אם יעברו הדרכה בסיסית בנושא. עם זאת, יש להצטייד מראש במידע מתאים ואמין על המשתנים הדרושים להפעלת המודל.
4. השיטה יכולה לסייע בתכנון והתאמת אמצעי בקרה הנדסיים במצבים בהם לא נקבעה לחומר רמה מרבית מותרת לחשיפה. במקרים אלה ובליטוי ייעוץ מקצועי ניתן להסיק על סמך שיפוט מקצועי מה היא חומרת הסיכון של החומר ולהתאים לו קוד חומרה על פי המודל.
5. הפערים שנמצאו בין מדרגות הבקרה הנדרשות על פי המודל לבין מדרגות הבקרה בפועל בשדה אינם נובעים מגורמים מובנים בתוך השיטה או מאי יכולת להשיג את הנתונים הדרושים להפעלת המודל, ולכן אינם פוגמים ביכולת היישום של השיטה בתעשייה בארץ. הסיבות המשוערות לפערים הוסברו.
6. מודל הבקרה המדורגת אינו מתאים לתרחישי עבודה בשטח פתוח אלא במבנה (סגור או פתוח חלקית), כיוון שבשטח פתוח אין זה מעשי בד"כ להפעיל אמצעי בקרה הנדסיים קבועים. במקרה זה יכולה ההגנה האישית המסופקת לעובד להתבסס על מודולת הבקרה המדורגת לצידוד מגן אישי נשימתי, אולם יהיה צורך בייעוץ מקצועי של איש גהות ולכן מודולה זו אינה מוצעת כרגע ליישום עצמי במקום עבודה. מסקנה זו משליכה על מגבלת המודל בענפי בניין וחקלאות.
7. התקנת אמצעי הגנה הנדסיים תוך הסתייעות בשיטת הבקרה המדורגת עשויה להוביל לצמצום רמות חשיפה גבוהות מרמה מרבית מותרת לחשיפה לחומרים כימיים.
8. מספר התאמות נדרשות ליישום מודל הבקרה המדורגת בתעשייה הישראלית.
 - א. קוד חומרת הסיכון שבו משתמשים במודל הבקרה המדורגת הוא קוד שמוטמע כיום באופן בינלאומי דרך דירקטיבת ה- REACH של האיחוד האירופי ושיטת הסימון והתיווי של מערכת ההרמוניזציה הגלובלית (GHS). בגליונות סיכונים (MSDS) מוחלפים כיום הקודים הישנים של משפטי סיכון המסומנים באות R בקודים החדשים של ה- GHS המסומנים באות H. כדי להשתמש במודל יהיה על מקום עבודה להחליף את גליונות הסיכונים הישנים בגליונות סיכונים הבנויים לפי הפורמט כיום, אם טרם עשה זאת. גליון סיכונים נדרש גם על פי תקנה ישראלית וממילא יצטרכו מקומות עבודה להצטייד בגליון סיכונים עדכני לצורך מילוי התקנה.
 - ב. כאשר בתרחיש נתון מופיעים מספר גורמי סיכון כימיים יש צורך להתחשב בגורם בעל קטגוריית חומרת הסיכון הגבוהה ביותר ולהפעיל את המודל על פיו.

- ג. אחד המשתנים בהרכבת מדרגת הבקרה הנדרשת ע"י המודל הוא דרגת פוטנציאל הפיזור של חומר באוויר על פי מצב הצבירה שלו ובנוזלים נדיפים, כגון ממיסים אורגנים, גם על פי טמפרטורת הרתיחה של החומר וטמפרטורת התהליך. מספר הצירופים של טמפרטורות תהליך וטמפרטורת רתיחה במכלול חומרים יוצר מורכבות בבחירת הדרגה של פוטנציאל הפיזור ומורכבות זו עלולה לגרום לירידה ברצון להשתמש במודל בעיקר במפעלים קטנים. על מנת לפשט את הבחירה נבחרה טמפרטורת פשרה אחת כטמפרטורת תהליך שתנחה מעבר מדרגת פוטנציאל פיזור אחת לדרגה אחרת גבוהה יותר. טמפרטורה זו היא 40°C ובספקטרום החומרים הנדיפים הנמצאים בשימוש שכיח בתעשייה הישראלית היא מהווה מקדם בטיחות גבוה להבטיח בחירה של מדרגת בקרה נאותה כאשר עולה לחץ האדים של נוזל נדיף וריכוזו באוויר עם עלייה בטמפרטורת התהליך.
- ד. כאשר חומר מוצק מומס בתמיסה מימית יש לבחור עבורו את הדרגה הנמוכה ביותר המוצעת עבורו בסרגל הדרגות של פוטנציאל הפיזור במודל.
- ה. כאשר חומר מוצק מומס בתמיסה אורגנית יש לבחור עבורו את דרגת פוטנציאל הפיזור כזו הנבחרת עבור הממיס בתמיסה.

VII. המלצות

1. מומלץ להשתמש במודל הבקרה המדורגת תוך הסתמכות על מתכונתו המקורית, יחד עם ההתאמות הנדרשות, כמנחה עזר לצורך תכנון בקרה הנדסית בעת תכנון תהליכים תעשייתיים במקומות עבודה.
2. מומלץ להסתייע במודל הבקרה המדורגת ככלי עזר לביצוע שינויים ושיפורים בבקרה ההנדסית במקומות עבודה קיימים.
3. מומלץ לממוני בטיחות, נאמני בטיחות, ועדות בטיחות להסתייע, לאחר הדרכה מתאימה בשיטת הבקרה המדורגת לבדיקה עצמית של התאמת אמצעי ההגנה ההנדסיים במקומות עבודה בהם הם מועסקים.
4. מומלץ לבצע הדרכה מתאימה במקום עבודה קטן המעוניין להשתמש בשיטת הבקרה המדורגת ובתוכנת העזר.
5. מומלץ שמקומות עבודה יכילו בתכנית לניהול בטיחות ובריאות תעסוקתית, המחוייבת על פי תקנה, את המידע על רמת הבקרה הנדרשת על פי המודל ביחס לרמה הקיימת בפועל. הכללה זו תסייע למקום העבודה בסקירת פערים ובתכנון שיפורים להקטנת סיכונים בריאותיים בעבודה.
6. בתהליכים שבהם מתקבלת חריגה בניטור הסביבתי-תעסוקתי על אף יישומה של מדרגת הבקרה המוצעת ע"י המודל מומלץ ליישם מדרגת בקרה אחת גבוהה יותר מזו המוצעת. בנקודה זו מומלץ לתת תשומת לב בעיקר לתהליכים הבאים:
 - תהליך ריתוך חשמלי בסגסוגת מתכת מכילה מנגן
 - תהליכי עבודה בקמח
 - תהליכים מכניים בעיבוד עץ: חיתוך, ניסור, שיוף וליטוש
 - תהליכי גימור אבן שיש מלאכותית
 - שימוש בחומר ההרדמה sevoflurane בחדרי ניתוח בבתי חולים.
 - תהליכי הכנה של תערובות והזנת חומרים
 - תהליכי עיבוד שבבי יבש כגון חריטה וכרסום מתכת
 - תהליכים מסיביים של הלחמה רכה (בדיל-עופרת)
 - תהליכי מילוי ואריזה של אבקות יבשות
7. מומלץ שבעת עריכת סקר מקדים (כדרישת תקנת "גורמים מזיקים") יתייחסו גהותנים בודקים מוסמכים להשוואה בין מדרגת הבקרה הנצפית בסקר בפועל לבין מדרגת הבקרה המוצעת ע"י מודל "מדרגות הבקרה".
8. אחד המשתנים שיש לכלול בעת ביצוע הערכה על פי מודל הבקרה המדורגת הוא רמת החומרה של גורם הסיכון הכימי. מומלץ שבסקר המקדים יוסף המידע על קטגוריית החומרה של חומרים בשימוש על פי קוד הסיכון הבריאותי בגליון הסיכונים – MSDS – של גורם הסיכון.
9. מומלץ שכאשר טמפרטורת התהליך, בו משתמשים בנוזל נדיף, גבוהה מ-40°C תיבחר בעת הפעלת המודל דרגת פוטנציאל פיזור גבוהה בדרגה אחת מהדרגה המותאמת לאותו חומר בטמפרטורת הסביבה.
10. לא מומלץ ליישם את שיטת הבקרה המדורגת בתרחישי עבודה המתנהלים בשטח פתוח שבו אין אפשרות להפעלת אמצעי הגנה הנדסיים קבועים. במקרה זה יכולה ההגנה האישית המסופקת לעובד להתבסס על מודולת הבקרה המדורגת

לציוד מגן אישי נשימתי, אולם יהיה צורך בייעוץ מקצועי של איש גהות ולכן מודולה זו אינה מוצעת כרגע ליישום עצמי במקום עבודה.

VIII. פיתוח תוכנה להחלטה על מדרגת בקרה מתאימה על פי מודל הבקרה המדורגת ובדיקת אפשרות יישומה.

יעדים

- ❖ התוכנה שפותחה מיועדת להערכה ובדיקה עצמית של רמת הבקרה ההנדסית הנדרשת בתהליך תעשייתי על פי שיטת הבקרה המדורגת.
- ❖ התוכנה שפותחה מיועדת לספק למקום העבודה תובנה לגבי התאמה או פערים בין בקרה הנדסית קיימת בפועל במקום העבודה לבין זו המומלצת ע"י מודל הבקרה המדורגת.
- ❖ התוכנה שפותחה מיועדת להפעלה עצמית בידי ממוני בטיחות במקום העבודה, או נאמני בטיחות, או נציגי בטיחות אחר במקום העבודה, וכן בידי אנשי גהות ומדריכי בטיחות הבאים לסייע למקום עבודה בבחירת אמצעי הגנה הנדסיים או בבחינת ההתאמה והאפקטיביות של האמצעים הקיימים.

האלגוריתם שפותח מתבסס על המודל הנ"ל כאשר בבסיסו עומדים המאפיינים הבאים:

- סוג התהליך
- סוג החומר הכימי בו משתמשים בתהליך
- קטגוריית חומרת הסיכון של כל חומר המותאמת לקוד ה- Hazard Statement על פי מערכת ה- (GHS Globally Harmonized System of Classification and Labeling of Chemicals)
- כמות החומר בתהליך
- מצב הצבירה של החומר ופוטנציאל הפיזור שלו בסביבת העבודה.

התוכנה פותחה בתחילה בתוכנת Microsoft Access היושבת במערכת הפעלה Windows ולאחר מכן כתוכנת Web אינטרנטית בפלטפורמת dot.net ובפורמט SQL.

טבלאות תשתית

- טבלת חומרים כימיים - הורכבה מרשימות החומרים הבאות: רשימת מינהל הבטיחות והבריאות התעסוקתית, רשימה המופיעה בספרון תקני החשיפה של האיגוד האמריקאי לגיהותנים תעשייתיים ממשלתיים (ACGIH) (אומצה באופן רשמי בישראל למטרות תקינה), רשימת חומרים של האיחוד האירופי אשר לגביהם נדרשת רגולציה במסגרת תקנות Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals (REACH). זו האחרונה מתוחזקת על ידי הסוכנות האירופאית לחומרים הכימיים (European Chemicals Agency (ECHA)).
- טבלאות של קטגוריות חומרת הסיכון (Hazard Bands) - בהתאם לסיווג הקיים במודל הבקרה המדורגת (CB).
- טבלה של כמות החומר בשימוש - בהתאם לסיווג הקיים במודל הבקרה המדורגת (CB).

- טבלה של מצבי צבירה ודרגת פוטנציאל הפיזור של חומר באוויר – בהתאם לסיווג הקיים במודל הבקרה המדורגת.
- טבלה של מדרגות בקרה – בהתאם לסיווג הקיים במודל הבקרה המדורגת. על בסיס תרשים המודל נבנתה טבלה של רמות החלטה, המכילה את הפרמטרים ואת הוראות הבחירה של אמצעי הבקרה הנדרשים.
- טבלה של דוגמאות אמצעי בקרה הנדסיים לכל מדרגת בקרה.

מסכים בתוכנה

- מסך כניסה למערכת, בו מגדיר המשתמש את שם המשתמש וסיסמת הכניסה.
- מסך ניווט ראשי המכיל כפתורים לניווט בתוכנה.
- מסך לבחירה חופשית של תהליך והובלה לבחירת הפרמטרים שיגדירו כסינתיזה את מדרגת הבקרה שממליץ המודל.
- מסך הגדרת פרמטרים, בו נבחרים הפרמטרים להגדרת מדרגת הבקרה הנדרשת. המסך מכיל רשימות נגללות לבחירת הפרמטרים. לרשימת החומרים הכימיים קיימת כניסה למסכי משנה (חלונות) הכוללים את הרשימה שממנה מתבצעת הבחירה ע"י הצבעה על הנתון הרצוי.
- מסך להפעלת האלגוריתם לבחירת מדרגת בקרה. המסך מפעיל את האלגוריתם לקבלת מדרגת הבקרה הנדרשת ע"י השוואת הפרמטרים שנבחרו במסך קודם.
- מסך המציג דוגמאות רבות של אמצעי בקרה בתוך הקטגוריות של מדרגות הבקרה.

הגדרת אמצעי הבקרה מבוצעת בכל תהליך בנפרד לכל חומר כימי הנמצא בשימוש בתהליך. הבקרה הנדרשת לגבי תהליך משולב במספר חומרים מוגדרת לפי מדרגת הבקרה המחמירה מבין המדרגות של כל החומרים.

לאחר כניסה לתוכנה מתבקש המפעיל כשלב ראשון להגדיר באופן חופשי סוג תהליך טכנולוגי. שמות התהליכים נבחרים במלל חופשי לנוחיות המשתמש כדי לאמץ מינוח מוכר לו ולהמנע מאפשרות שאינו מכיר את המינוח הקיים ברשימה של מינהל הבטיחות והבריאות התעסוקתית.

בשלב שני נבחר מתוך רשימה חומר כימי הנמצא בשימוש בתהליך. אם בתהליך מופיעים מספר חומרים משלים המפעיל את כל מעגל השלבים לחומר הנבחר עד למדרגת הבקרה המודלית בטרם יזין במערכת חומר נוסף כדי לבצע את מעגל השלבים לגביו. שמות החומרים המופיעים ברשימת מינהל הבטיחות והבריאות התעסוקתית תורגמו לעברית וכל חומר ברשימה זו מופיע בעברית ובאנגלית זה לצד זה. הכנסת שמות מסחריים ועממיים לחומרים או תערובות כפי שהם עשויים להופיע במפעל לא ניתנת ליישום כיוון שהמודל והתוכנה מתבססים על שמות חומרים כימיים טהורים ולא על תערובות או סגסוגות או תמיסות.

בחירת החומר מספקת גם את קוד קטגוריית חומרת הסיכון (A, B, C, D, E) המקושר לחומר. קוד זה הוא נגזרת של משפטי סיכון (Hazard statement) המופיעים בגליון הסיכונים (MSDS) של החומר. אין צורך לחפש את משפטי הסיכון

בגליון הבטיחות (MSDS) של החומר ואת קודי חומרת הסיכון הנגזרים ממשפטים אלו כיוון שהם מקושרים ביניהם באלגוריתם עבור כל חומר באמצעות טבלאות תשתית. כאשר חומר מסווג בקטגוריית חומרה E התוכנה אינה מובילה לקבלת מדרגת בקרה מוגדרת אלא מפנה לקבלת ייעוץ מקצועי.

בשלב שלישי מוגדרת כמות החומר בתהליך על ידי המשתמש בהתאם לקיים בפועל ומתאמת למדרגות המודל על פי קודים מכוונים.

בשלב רביעי נבחר מצב הצבירה של החומר בתהליך ופוטנציאל הפיזור שלו באוויר. פוטנציאל הפיזור הינו פרמטר מדורג על סולם דרגות, אשר תלוי במצב הצבירה של החומר, ובנוזלים תלוי גם בטמפרטורת התהליך ונקודת הרתיחה של הנוזל. הקריטריונים לבחירה ולהחלטה לגבי פוטנציאל זה:

א. עבור גזים נבחר ערך הדרגה הגבוהה ביותר בסולם דרגות הפוטנציאל.

ב. בחירת פוטנציאל הפיזור של מוצקים (dustiness) מתנהלת על פי צורת ההופעה של החומר באוויר - פתיתים, גרגרים או אבקות. מבחינת המשתמש, צורה זו היא תכונה חזותית ולכן אינו צריך להשתמש במתווך, שהוא המופע הפיסיקלי של החומר באוויר - אבק, נדפים, עשן, ונמצא בטבלאות תשתית מקושרות למסך הבחירה.

ג. פוטנציאל הפיזור של נוזלים כאדים (volatility) הוגדר על בסיס היחס בין טמפרטורת הרתיחה של החומר וטמפרטורת התהליך תוך שימוש בעקומה לינארית מכוונת על פי היחסים בין שני הפרמטרים האלה. בחירת טמפרטורת התהליך ושם החומר מאפשרת לקבל את פוטנציאל הפיזור של הנוזל ודרגתו של פוטנציאל זה במודל.

עם בחירת הפרמטרים הנדרשים ע"י המשתמש מופעלת טבלת החלטות ובאמצעותה מוגדרת בשלב האחרון מדרגת הבקרה הנדרשת לתרחיש ספציפי. כאמור, במקרה של תערובת חומרים הנמצאת בשימוש בתהליך מספקת התוכנה את מדרגת הבקרה הגבוהה ביותר מבין מדרגות הבקרה של החומרים בקבוצה.

משוב נערך במדגם קטן בקרב שלוש קבוצות משתמשים פוטנציאליים: גיהותנים בודקים מוסמכים, ממוני בטיחות, נציגי מפעלים מגדלים שונים ובעיקר מנהלים.

גיהותנים לא התקשו בהפעלת התוכנה עקב הידע בו הם מצויידיים בעיקר לגבי חומרים כימיים והתנהגותם בסביבת עבודה. המשוב הראה שניתן ליישם את התוכנה בקרב גורמים מקצועיים לאחר הדרכה קצרה, אך לצורך ישומה במקומות עבודה יהיה צורך להדריך נציגי מפעלים בהפעלתה. קושי בשימוש בתוכנה יתגלה אם המשתמש לא יהיה מצוייד במידע על שם החומר הכימי הטהור המופיע בגליונות בטיחות.

ראו לציין שהתוכנה אינה מכוונת לבחירת אמצעי הגנה פרטני לתרחיש נתון אלא למדרגת ההגנה המתאימה לתרחיש על פי הנתונים המוזנים. בחירה פרטנית של כל אמצעי ואמצעי קיים בתוך מדרגת הבקרה המתאימה צריכה להעשות לגופו של תרחיש ספציפי בעזרת אנשי מקצוע.

IX. נספחים

נספח מס' 1

קטגוריות ראשיות וקטגוריות משנה של המשתנים המופיעים במודל הבקרה המדורגת

קטגוריית גורם סיכון - חומרת ההשפעה של החומר

המודל מציג 5 קטגוריות המתבססות על סיווג בינלאומי להערכת השפעה בריאותית של גורם סיכון כימי (hazard assessment). סיווג זה נהוג בתחיקת ה- REACH (Registration, Evaluation, Authorization and Restriction of Chemicals) ותכנית ה- GHS (Globally Harmonized System), ומקובל גם על גופים נוספים העוסקים בסיווג השפעות של גורמי סיכון. לכל קטגוריה מבין החמש קוד מסומן באות אנגלית בין האותיות E – A. הקטגוריות מתארות במשפטי סיכון (Risk phrases) את חומרת הנזקים הבריאותיים העלולים להגרם מחומרים כימיים. ניתן לשייך כל חומר טהור (או תערובת) לאחת הקטגוריות. בטבלה הבאה ניתנת רשימת המרה ממשפטי סיכון המופיעים במערך הסימון והתיווי על פי ה- GHS אל קוד הקטגוריה של גורם הסיכון במודל הבקרה המדורגת.

Control banding category	H-Statement (GHS)	Risk Phrase
A	304	May be fatal if swallowed and enter airways
A	315	Causes skin irritation
A	319	Causes serious eye irritation
A	336	May cause dizziness or drowsiness
B	302	Harmful if swallowed
B	312	Harmful in contact with skin
B	332	Harmful if inhaled
B	371	May cause damage to organs (organ if known, route if relevant)
C	301	Toxic if swallowed
C	311	Toxic in contact with skin
C	314	Causes severe burns and eye damage
C	317	May cause an allergic skin reaction
C	318	Causes serious eye damage
C	331	Toxic if inhaled
C	335	May cause respiratory irritation
C	370	Causes damage to organs (organ if known, route if relevant)
C	373	May cause damage to organs through prolonged or repeated exposure (organ if known, route if relevant)
D	300	Fatal if swallowed
D	310	Fatal in contact with skin

Control banding category	H-Statement (GHS)	Risk Phrase
D	330	Fatal if inhaled
D	351	Suspected of causing cancer (route if relevant)
D	360	May damage fertility or the unborn child (effect if known, route if relevant)
D	361	Suspected of damaging fertility or the unborn child (effect if known, route if relevant)
D	362	May cause harm to breast-fed children
D	372	causes damage to organs through prolonged or repeated exposure (organ if known, route if relevant)
E	334	May cause allergy or asthma symptoms or breathing difficulties if inhaled
E	340	May cause genetic defects (route if relevant)
E	341	Suspected of causing genetic defects (route if relevant)
E	350	May cause cancer (route if relevant)

כמות החומר בתרחיש עבודה

על פי מודל הבקרה המדורגת מסווגות הכמויות ב- 3 דרגות: (1) כמות קטנה – עד 1 ק"ג למוצק ונפח עד 1 ליטר לנוזל; (2) כמות בינונית – למעלה מ- 1 ק"ג ועד 1 טון למוצק, או מעל 1 ליטר ועד 1 מ"ק לנוזל; (3) כמות גדולה – מעל 1 טון למוצק ומעל 1 מ"ק לנוזל.

מופע פיסיקלי של החומר באוויר בתרחיש עבודה

צורות המופע נגזרות משלושת מצבי הצבירה הבסיסיים של חומר: מוצק, נוזל, גז/אדים. מופע החומר מייצג את מידת הפיזור החלקיקי שלו (מוצק) או מידת הנדיפות(נוזל וגז) באוויר. במוצקים נכללו חלקיקים המופיעים בתהליך העבודה כאבק או כנדפים; בנוזלים נכללו חומרים שמצב הצבירה הבסיסי שלהם הוא נוזל, אך הם בעלי נדיפות משתנה ומתפזרים בתהליך העבודה כאווירוסול טיפתי או כאדים (ממיסים אורגנים) כתלות בנדיפותם (לחץ אדים), בטמפרטורת הרתיחה שלהם ובטמפרטורת התהליך התעשייתי בו הם מופיעים; מופע גזי שוייך לחומרים שהמופע הבסיסי שלהם בתנאי תהליך העבודה הוא גז או אדים. בטבלה הבאה מפורטות אפשרויות המופע השונות.

קוד סיווג מספרי	הגדרה/הסבר	מינוח מופע פיסיקלי	מצב צבירה של החומר באוויר
1	חלקיקים גדולים בעלי כושר ריחוף נמוך מאד באוויר	פתיתים (pellets)	מוצק
3	חלקיקים שעשויים לרחף לזמן קצר באוויר ושוקעים סמוך לנקודת היווצרותם	גרגירים (granules)	

קוד סיווג מספרי	הגדרה/הסבר	מינוח מופע פיסיקלי	מצב צבירה של החומר באוויר
4	חלקיקים מרחפים שנוצרו בתהליכים מכניים	אבק (dust)	
4	חלקיקים זעירים מאד שנוצרו מדחיסת אדים במעבר מטמפרטורה גבוהה מאד לטמפרטורת הסביבה בליווי תגובות כימיות עם חמצן או חומרים אחרים	נדפים (fumes)	
2	טיפות מרחפות שמקורן בנוזלים ונוצרו בתהליכים מכניים או מעיבוי אדים	אווירוסול טיפתי	נוזל
1	נוזלים שנקודת רתיחתם גבוהה מ- 150°C	נוזלים בעלי נדיפות נמוכה	
2	נוזלים שנקודת רתיחתם בין 50°C ל- 150°C	נוזלים בעלי נדיפות בינונית	
4	נוזלים שנקודת רתיחתם נמוכה מ- 50°C	נוזלים בעלי נדיפות גבוהה	נוזל
4	מופע החומר כפאזה גזית בטמפרטורה ולחץ סביבתיים	גז	גז

אמצעי הבקרה ההנדסית בתרחיש

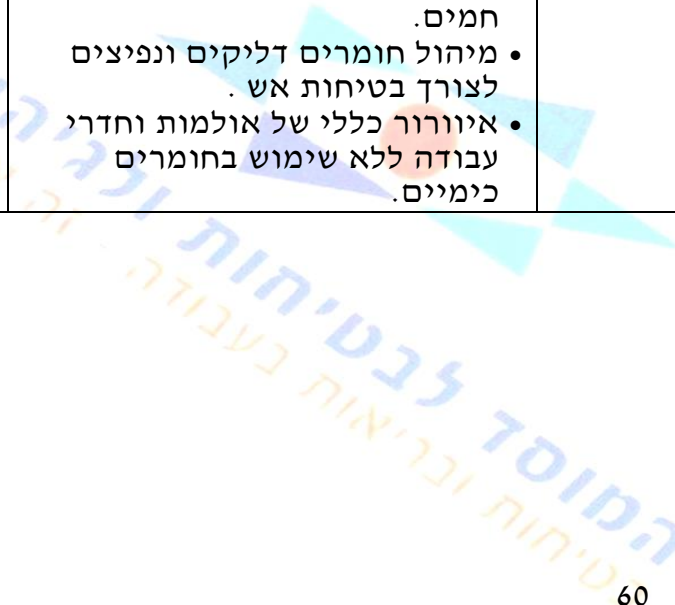
האמצעים סווגו בשלוש קבוצות לפי הסיווג הבא:

איוורור כללי/מוהל (general ventilation) - הרחקה או מיהול של מזהמים באוויר ע"י החלפת כל חלל האוויר בו הם מתפזרים במבנה באוויר נקי.

איוורור מקומי (local exhaust ventilation) - לכידה וסילוק של מזהם באוויר באמצעות יניקת המזהם במקור הפליטה, או הכלה חלקית של מקור הפליטה. באמצעי זה וריאציות רבות של מערכות יניקה שקובצו תחת השם "בקרה הנדסית".

הכלה (containment) - מתקן או מבנה/תבנית או אמצעי אחר הכולאים את מקור הזיהום ומונעים ממנו לצאת מחוצה להם אל סביבת העובד.

דוגמאות לאתרים/מצבים/ תרחישים מתאימים לשימוש בסוג הבקרה	מצבים/תרחישים/תנאים מתאימים לשימוש	הגדרה/מאפיינים/הסבר	רמת בקרה
<ul style="list-style-type: none"> ▪ מעבדות בעלות מנדפים ▪ חדרים נקיים ▪ נגריות בעלות מתקני יניקה ▪ תחתית בשולחנות העבודה ▪ משרדים ▪ אולמות אלקטרוניקה ללא הלחמה ▪ מוסכים לטיפולים ברכב ▪ ללא צביעה וללא פחחות ▪ בתי חולים ומרפאות ▪ מטבחים וחדרי אוכל ▪ מכבסות ▪ חדרי איחסון כימיקלים ▪ מחסנים, חדרי איחסון ▪ ניקוי מכונות ▪ עיבוד שבבי במכונות CNC ▪ סגורות ▪ מספרות, מכוני יופי ▪ אולמות התכנסות 	<ul style="list-style-type: none"> • שימוש בכמויות קטנות של חומרים נדיפים לא מסוכנים, או אבק וחלקיקים עדינים בלתי מזיקים המתפזרים בריכוזים סביבתיים נמוכים. • פליטות קטנות של חומרים לא מסוכנים ואחידות על פני זמן בתהליכים קבועים בעמדות עבודה המפוזרות בשטח רחב. • מקומות מבוקרים ע"י יניקה מקומית בנוסף לאיוורור המוהל. • מקורות זיהום ותהליכים ניידים. • השגת נוחות תרמית במקומות חמים. • מיהול חומרים דליקים ונפיצים לצורך בטיחות אש. • איוורור כללי של אולמות וחדרי עבודה ללא שימוש בחומרים כימיים. 	<p>הרחקה או מיהול של מזהמים באוויר ע"י החלפת כל חלל האוויר בו הם מתפזרים במבנה באוויר נקי. איוורור מוהל/כללי מספק למבנה ומוציא ממנו נפחי אוויר גבוהים דרך פתחים בקירות או גג המבנה באמצעות מפוחים או מאווררי כנף (ונטות). בקרת המזהמים באוויר מתבצעת ע"י החלפות אוויר באולם עבודה או בחדרי עבודה. מספר ההחלפות הדרוש תלוי בחומר המזהם ובריכוזו הצפוי באוויר. סילוק האוויר המזוהם מחלל כלשהו מחייב אספקת אוויר משלים נקי.</p>	<p>איוורור מוהל / איוורור כללי (general ventilation)</p>





דוגמאות לאתרים/מצבים/ תרחישים מתאימים לשימוש בסוג הבקרה	מצבים/תרחישים/תנאים מתאימים לשימוש	הגדרה/מאפיינים/הסבר	רמת בקרה
<p>תהליכי ייצור, עיבוד, דגימה, בדיקה, אנליזה, תחזוקה של חומרים כימיים (ראו פירוט למטה)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • בקרת פליטות והגנה מאבק, נדפים, עשן, אווירוסול טיפתי, אדים וגזים. • הגנה מחומרים נדיפים מסוכנים או אבק וחלקיקים עדינים מזיקים בריכוזים סביבתיים שעלולים לסכן את בריאות העובד. • בקרת פליטות ממוקדות של חומרים מסוכנים, אחידות או בלתי אחידות על פני זמן בתהליכים ועמדות עבודה. • צורך בהגנה על המוצר 	<p>לכידה וסילוק של מזהם באוויר באמצעות יניקת המזהם במקור הפליטה. סילוק האוויר המזהם באמצעות יניקה מקומית מחייב אספקת אוויר משלים נקי. מערכת האיוורור המקומי מורכבת ממנדף בעל פתח יניקה בצורות שונות (מנדפים למיניהם), צנרת, מתקן לטיהור האוויר, מפוח. לעתים הבקרה היא ע"י מערכות יניקה בעלות הכלה כולאת (containment) חלקית או מלאה, או מערכת הפועלת בשילוב דחיפה-משיכה של אוויר.</p>	<p>בקרה הנדסית ע"י איוורור מקומי (יניקת אוויר) (engineering control)</p> <p>תיאור כללי</p>
<ul style="list-style-type: none"> • כל מעבדה בה מתנהלת עבודה בחומרים כימיים (כימית, ביולוגית, רפואית, פיסיקלית, אלקטרונית וכו') • מחקר ופיתוח • הלחמות רכות (בדיל-עופרת) • הלחמת רדיאטורים • טיפול בכמויות קטנות של חומרים כימיים • שקילת כמויות קטנות ובינוניות (קילוגרמים) של נוזלים נדיפים ואבקות • מילוי, מזיגה, ערבוב כמויות קטנות, ריקון כלים ומיכלים קטנים, 	<ul style="list-style-type: none"> • בקרת פליטות הגנה מאבק, נדפים, עשן, אווירוסול טיפתי, אדים וגזים, כאשר ניתן להציב את מקור הפליטה בתוך התא. • הגנה מחומרים נדיפים, מתכות, חומצות ובסיסים, חומרים אורגניים, חומרי הדברה, חומרים מינרליים ואנאורגניים בריכוזים סביבתיים שעלולים לסכן את בריאות העובד. 	<p>תא קובייתי, חמש מפאותיו סגורות ורק הפאה החזיתית פתוחה. יניקת האוויר ע"י המנדף יוצרת בו בד"כ זרימה ערבולית. מופיע כתא המוצב על משטח עבודה או כתא לאורך קיר תומך המאפשר כניסה לאדם בגובה מלא (מנדף הליכה). התא יכול להיות מחובר לצנרת פליטה של אוויר מזוהם אל מחוץ למבנה (דרך מסנן), או תא המסחרר אוויר לאחר טיהורו חזרה לחלל חדר העבודה ללא צנרת. בד"כ מצוייד בחלון קדמי עולה ויורד לשינוי גובה הפתח בהתאם לצרכים.</p>	<p>איוורור מקומי - תא מנדף</p>



דוגמאות לאתרים/מצבים/ תרחישים מתאימים לשימוש בסוג הבקרה	מצבים/תרחישים/תנאים מתאימים לשימוש	הגדרה/מאפיינים/הסבר	רמת בקרה
<ul style="list-style-type: none"> • סגירת אריזות עם חומרים אבקתיים • הכנת צבעים • התזה וריסוס נפחי נוזל קטנים • מריחת חומרים נדיפים על משטחים קטנים • הדבקת פריטים קטנים • ניפוי בנפות • בקורת טיב מעבדתית • אריזה ידנית של אבקות 			
<ul style="list-style-type: none"> • מעבדות שירות, מחקר, פיתוח, אבטחת איכות בסיווג של מעבדות ביולוגיות, ביו-רפואיות, רפואיות, וטרינריות, מזון, פרמצבטיות, תסיסה, מים ושפכים, קרקע • מחקר חקלאי • מוסדות בריאות • ביוטכנולוגיה • יצור והפקת תרכיבים, חלבונים, הורמונים, נוגדנים, אנזימים • מאובייקטים ביולוגיים • תעשיות ביומסה, קומפוסט, מיחזור פסולת 	<p>הגנה מגורמי סיכון ביולוגיים (חיידקים, נגיפים, פטריות, טפילים, ריקציות, פרוינים)</p>	<p>תא קובייתי, חמש מפאותיו סגורות ורק הפאה החזיתית פתוחה. המנדף מיועד להגנה על העובד ולהגנה על המוצר והסביבה ועל כן משלב יניקת אוויר מחזית המנדף ומחללו והחדרת אוויר מסונן טרי ו/או מסוחרר מתקרת המנדף לשטיפת המוצר. זרימת האוויר למינרית.</p>	<p>איוורור מקומי - תא מנדף ביולוגי</p>
<ul style="list-style-type: none"> • מעבדות ביולוגיות, רפואיות, כימיות, אלקטרוניות, פרמצבטיות 	<ul style="list-style-type: none"> • שמירה על נקיון מוצר ע"י הזרמת אוויר מסונן • צורך בסביבה סטרילית או דרגת 	<p>תא קובייתי, חמש מפאותיו סגורות ורק הפאה החזיתית פתוחה. המנדף מיועד להגנה על העובד ו/או להגנה על המוצר.</p>	<p>איוורור מקומי - תא מנדף למינרי</p>



רמת בקרה	הגדרה/מאפיינים/הסבר	מצבים/תרחישים/תנאים מתאימים לשימוש	דוגמאות לאתריים/מצבים/תרחישים מתאימים לשימוש בסוג הבקרה
	משטר הזרימה בו הוא למינרי, כלומר שכבות האוויר נעות בקווים ישרים מקבילים במהירות קבועה ואינן מתערבבות זו בזו.	<ul style="list-style-type: none">נקיון גבוהה מאדמניעת הפרעה של זרימה ערבולית לפעולהשקילת כמויות זעירות וקטנות	<ul style="list-style-type: none">תעשיית חצי מוליכים/מיקרואלקטרוניקהתאים או חדרים נקיים ניידיםשקילת אבקות עדינות בכמויות זעירותביוטכנולוגיה
איוורור מקומי - תא צביעה פתוח בחזיתו	תא מתוחם בדפנות צדדיים, תקרה ורצפה וקיר שאיבה אחורי - עם או בלי מפל מים, או תא קובייתי, חמש מפאותיו סגורות ורק הפאה החזיתית פתוחה.	התזה/ריסוס של צבע או חומר ציפוי נוזלי על פריטים שמימדיהם קטנים ממימדי התא	<ul style="list-style-type: none">צביעה בריסוסמריחת כמויות צבע גדולות במברשתצביעת רשתהתזה/ריסוס נוזלים על פריטי מתכת, פלסטיק וכו'
איוורור מקומי - יניקת צד	מערכת יניקה מקומית. למנדף הקצה שלה פתח בעל צורה גיאומטרית מרובעת, עגולה, חצי סהר, או אחרת, והפתח ממוקם סמוך למקור הפליטה של הזיהום מצידו או מאחוריו במקביל למישור האופקי או באלכסון אליו.	<ul style="list-style-type: none">פינוי נדפים, עשן, אווירוסול טיפתי, אדים וגזים ממקורות פליטה שלא ניתן להציב אותם בתוך תא מנדף וגודל מוקד הפליטה קטן בד"כ מהמימד האופקי של המנדףדרגשי/משטחי עבודה אופקייםמילוי וריקון	<ul style="list-style-type: none">ריתוך אלקטרודה מצופהתהליכים כימיים וצביעה בטבילה באמבט קטן ובינוני (עד רוחב 1 מטר)תהליכים מעבדתיים בעמדה קבועה שאין בה תא מנדףמשפכי הזנה למכונות יצורהלחמה רכהשפיכה עלית לכלי קיבול ומיכלים עגולים (יונק חצי סהר) ושקיםהשחזה/שיוף מתכת בגלגל (השחזה)מכונת ליטוש רוטטת (חליל איוורור צד)ריקון מיכלים, חביות,



דוגמאות לאתרים/מצבים/ תרחישים מתאימים לשימוש בסוג הבקרה	מצבים/תרחישים/תנאים מתאימים לשימוש	הגדרה/מאפיינים/הסבר	רמת בקרה
<ul style="list-style-type: none">שקים בשפיכה לתוך תאאריזה ידנית לשק או שקית (יונק חצי סהר)תא עיבוד שבבי רטובעיבוד שבבי יבש (חריטה)תאים קטנים וסגוריםלהפרדת יציקות מתכת מתבניותיצור ליבות (core)ו"קליפות" ליציקת מתכת בתאתנורים (צידי דלת התנור)תנורי אלקטרודה סגורים להתכהתנור אינדוקציה סגורעמדה קטנה קבועה ליציקת תבניותמסוע פתוחטחינה, גריסה בתא סגורמיקסרחישול			
<ul style="list-style-type: none">תהליכי נגרות (ניסור במסורים שונים, שיוף וליטוש, הקצעה, חריצה)תא עיבוד שבבי יבשניסור מתכתהשחזה ושיוף מתכת בתאתהליכים פולטי אבק המתבצעים על משטח אופקי	<ul style="list-style-type: none">יניקת אבק הנפלט ממערכות עיבוד מכני או ידני על משטח אופקייונקים צמודים לדופן חיצונית של תא שבתוכו מתבצע תהליך פולט חומר	מערכת יניקה מקומית. למנדף הקצה שלה פתח בעל צורה גיאומטרית מרובעת, עגולה או אחרת, והפתח ממוקם מתחת למקור הפליטה של הזיהום וסמוך אליו במישור אופקי או אנכי כך שכיוון היניקה של האוויר הוא כלפי מטה.	איוורור מקומי – יניקה תחתית



רמת בקרה	הגדרה/מאפיינים/הסבר	מצבים/תרחישים/תנאים מתאימים לשימוש	דוגמאות לאתריים/מצבים/תרחישים מתאימים לשימוש בסוג הבקרה
			<ul style="list-style-type: none">ריקון מיכלים, חביות, שקים בשפיכה לתוך תא
איוורור מקומי - יניקה עלית	מערכת יניקה מקומית. למנדף הקצה שלה פתח בעל צורה גיאומטרית מרובעת, עגולה או אחרת, והפתח ממוקם מעל מקור הפליטה של הזיהום וסמוך אליו או צמוד אליו כך שכיוון היניקה של האוויר הוא כלפי מעלה.	<ul style="list-style-type: none">פינוי נדפים, עשן, אווירוסול טיפתי, אדים וגזים ממקורות פליטה שניתן לעגן מעליהם את פתח המנדף במרחק קטן משטח הפנים של פליטת המזהם או בצמוד למישור הפליטהיונקים צמודים לדופן חיצונית של תא או חלל סגור שבתוכו מתבצע תהליך פולט חומר	<ul style="list-style-type: none">מסוע סגור (מנהרה)מילוי מיכלים וחביותפתיחת אריזות של חומר רעיל בתאתאים קטנים וסגורים להפרדת יציקות מתכת מתבניותיצור ליבות (core) ו"קליפות" ליציקת מתכת בתאתאי עישוןתאי סטריליזציה רפואיתתנורי יבוש (סמוך לשפה העליונה של דלת התנור)שרוולי מפסלות פניאומטיותמעלית כפות סגורהערגול גומי סגור
איוורור מקומי - מנדף חופה	מערכת יניקה מקומית. מנדף הקצה שלה מותקן כחופה מעל מקור הפליטה של הזיהום ובמרחק נתון ממנו.	פינוי אדים ועשן, ממקורות פליטה שניתן לעגן מעליהם את פתח המנדף במרחק קטן משטח הפנים של פליטת המזהם או בצמוד למישור הפליטה, החופה מכסה את כל שטח הפליטה או חלק ממנו.	<ul style="list-style-type: none">כוריות התכה ויציקה קטנות (פתח החופה סמוך מאד לשטח פני המתכת המותכת)תהליכים מעבדתיים חמים (פתח החופה סמוך מאד לשטח פני המתכת המותכת)מדיחי כלים תעשייתיים (פתח החופה קרוב לתקרת



רמת בקרה	הגדרה/מאפיינים/הסבר	מצבים/תרחישים/תנאים מתאימים לשימוש	דוגמאות לאתרים/מצבים/תרחישים מתאימים לשימוש בסוג הבקרה
			<p>המדיח)</p> <ul style="list-style-type: none">מתקני בישול, צלייה וטיגון (פתח החופה קרוב לשטח פני העבודה)תנורים (פתח החופה סמוך לתקרת התנור)הדפסת תלת-מימד (פתח החופה סמוך מאד לנקודת הפליטה)
איוורור מקומי - מנדף חריץ או רב חריצי	מערכת יניקה מקומית. למנדף הקצה שלה פתח חריצי אחד או מספר פתחים חריציים, והיחס בין רוחב החריץ לאורכו אינו גדול מ-0.2. מישור החריצים יכול להיות אנכי לצד או בגב מקור הפליטה של הזיהום, או אופקי מתחת למקור הפליטה, או חצי סהר.	פינוי אבק, נדפים עשן ואווירוסול טיפתי ממקורות פליטה שניתן לעגן לצידם או בגבם את פתח המנדף במרחק מתאים משטח הפנים של פליטת המזהם או בצמוד למישור הפליטה.	<ul style="list-style-type: none">תהליכים באמבט (ציפוי מתכות, טיפול שטח במתכת, צביעה בטבילה, הסרת שמנים)כוריות התכה קטנותריתוך חשמלי ללא גז מגן על משטח אופקי או שולחן (מנדף רב חריצי)אריזה ידנית על שולחן
איוורור מקומי - יניקה היקפית	מערכת יניקה מקומית. למנדף הקצה שלה פתח חריצי או אחר בעל גיאומטריה מרובעת או עגולה או אחרת, והפתח ממוקם בהיקף המישור האופקי של שטח הפליטה של הזיהום או בחלק מהיקף זה.	פינוי אבק, אווירוסול טיפתי, אדים וגזים משטח פנים של כלי קיבול גדולים בהם מתבצע תהליך (כגון אמבט, דוד, סיר, מיכל עמוק).	<ul style="list-style-type: none">תהליכים באמבט (ציפוי מתכות, טיפול שטח במתכת, צביעה בטבילה, הסרת שמנים)כוריות התכה קטנותהזנת מיקסרים פתוחים (חצי סהר)
איוורור מקומי - דחיפה-משיכה	מערכת איוורור משולבת בה מרכיב אחד פולט סילון אוויר כלפי מקור הפליטה של הזיהום ומרכיב שני יונק את האוויר מהצד הנגדי של מקור הפליטה.	<ul style="list-style-type: none">בקרת מקורות פליטה הנפלטים בפיזור שטח רחב או בחלל גדולבקרת מקור פליטה הפולט חומר במהירות גבוהה ובפיזור מניפתי	<ul style="list-style-type: none">תהליכים באמבט (ציפוי מתכות, טיפול שטח במתכת, צביעה בריסוס, הסרת שמנים, תהליכים



דוגמאות לאתרים/מצבים/ תרחישים מתאימים לשימוש בסוג הבקרה	מצבים/תרחישים/תנאים מתאימים לשימוש	הגדרה/מאפיינים/הסבר	רמת בקרה
<ul style="list-style-type: none">בשטחי פנים)• מילוי ושקילת כמויות גדולות בתא• הפרדת יציקת מתכת מתבנית• ליטוש סרט			
<ul style="list-style-type: none">• מילוי חביות• עמדות שירות במוסכים• חיתוך אבן• ריתוך חשמלי נקודתי (ללא גז מגן)• פתיחת אריזות או מיכלים של חומרים נדיפים• ערבוב חומרים• הלחמה רכה• קידוח במהירויות נמוכות ובינוניות• תיקוני צבע של פריטים קטנים	<p>פליטת חלקיקים (נדפים, עשן, אבק) או גזים ואדים בתהליכים בהם ניתן לקרב את פתח צינור היניקה למוקד הפליטה ומוקד זה הוא נקודתי או צר ומימדיו קטנים או שווים לקוטר פתח היניקה.</p>	<p>מערכת איורור מקומי קבועה או ניידת, שהקצה היונק אוויר בה מורכב מצינור שרשורי גמיש או קשיח בעל פתח בגיאומטריה עגולה או מרובעת או אחרת כגון "חדק פיל" או "כובע סיני", עם או בלי אוגנים (flanges).</p>	<p>איורור מקומי – צינור יניקה גמיש או קשיח</p>
<ul style="list-style-type: none">• שבירת תבניות לאחר יציקת מתכת• שקילה, הזנה, מילוי ופריקה של אבקות עדינות של מתכת בכמויות גדולות• שיחול (אקסטרוזיה) פלסטיק	<ul style="list-style-type: none">• צורך במחיצת אוויר נקי בין עובד לבין מקור פליטת מזהם.• חלל עבודה שיש לחצוץ בינו לבין חלל שכן (בד"כ באמצעות הפתח ביניהם) ע"י מסך אוויר בעל לחץ חיובי כדי למנוע כניסת חומרים אל חלל זה מהחלל השכן.	<p>מערכת איורור המזרימה אוויר על פני חתך באזור העבודה כמסך או וילון, כאשר זרימת האוויר היא מלמעלה למטה.</p>	<p>איורור מקומי - מסך אוויר</p>
<ul style="list-style-type: none">• חיתוך שיש ואבן• ליטוש שיש ואבן• חציבת תעלות במבנים	<p>פיזור אבק בכוח ומהירות גבוהה ממכשירים פניאומטיים או חשמליים ידניים, או ממכונות</p>	<p>מערכת צמודה לכלי עבודה או התקן אחר המשלבת יניקה מקומית של אוויר ממוקד פליטת המזהם יחד עם התזת רסס מים על המקור כדי למנוע את פיזור המזהם.</p>	<p>איורור מקומי - הרטבה ויניקה מקומית</p>

דוגמאות לאתרים/מצבים/ תרחישים מתאימים לשימוש בסוג הבקרה	מצבים/תרחישים/תנאים מתאימים לשימוש	הגדרה/מאפיינים/הסבר	רמת בקרה
ראו פירוט להלן	<ul style="list-style-type: none"> • חומרים בעלי רעילות גבוהה בכל צורות הפיזור באוויר • פעילויות בהן מתפזר אבק עדין ורעיל • ננוטכנולוגיה 	מתקן או מבנה/תבנית או אמצעי אחר הכולאים את מקור הזיהום ואינם מאפשרים לו לצאת מחוצה להם אל סביבת העובד. הכליאה היא שלמה או חלקית בתנאי והזיהום אינו פורץ מגבולותיה.	<p>בקרת הכלה (containment)</p> <p>תיאור כללי</p>
<ul style="list-style-type: none"> • תא צביעה למכונות • יצור חומרי הדברה • יצור תרופות 	<ul style="list-style-type: none"> • שימוש בחומרים רעילים מאד • ננוטכנולוגיה 	מקור הזיהום כלוא לחלוטין במעטפת אטומה ומבודדת מהסביבה השכנה.	הכלה ע"י בידוד מלא ואטימה
<ul style="list-style-type: none"> • התזת חומרים שוחקים (חול, אלומיניום אוקסיד, גארנט, גרגרי פלדה, קליפות קשות) • שיחול, הזרקה וכבישה של חומרים פלסטיים • שינוע של חומרים רעילים, ו/או מסרטנים במסוע סגור • קו יצור אוטומטי (רובוטי) לריתוך או חיתוך מתכות • התזת פלסמה • התזת אבקה יבשה • גריסה • תנורים סגורים בתהליכי יצור, במעבדה וכו' • הזנה, מילוי או שפיכת חומר למיכל או שק • איחסון דרך קו סגור כאשר המיכל או השק מהווים תא סגור 	<ul style="list-style-type: none"> • שימוש בחומרים רעילים מאד בכל צורות הפיזור באוויר • ננוטכנולוגיה 	תא סגור מכל צדדיו ובתוכו מקור הזיהום והפליטה. התא אינו בהכרח אטום לחלוטין וקצה מערכת היניקה מחובר לחללו כהמשך בלתי נפרד	הכלה בתא סגור בעל יניקת אוויר



דוגמאות לאתרים/מצבים/ תרחישים מתאימים לשימוש בסוג הבקרה	מצבים/תרחישים/תנאים מתאימים לשימוש	הגדרה/מאפיינים/הסבר	רמת בקרה
<ul style="list-style-type: none">פריקת חומר ממיכל או שקמעלית כפותעיבוד שבבי ממוחשב (CNC)הדפסת לייזרהדפסת תלת-מימד			
<ul style="list-style-type: none">תהליך בחומרים רעילים מאדתהליך בחומרים מסרטנים וציטוטוקסייםתהליכים במעבדהפרמצבטית עם חומרים פוטנטיםטחינת חומרים בעלי רעילות גבוההתהליכים בננוטכנולוגיהעבודה באורגניזם פתוגני	<ul style="list-style-type: none">תהליכים בחומרים בעלי רעילות גבוההתהליכים שיש צורך לבודד אותם מסביבת העבודה לצורך הגנה על המוצר והעובד		הכלה בתא כפפות

דוגמאות לאתרים/מצבים/ תרחישים מתאימים לשימוש בסוג הבקרה	מצבים/תרחישים/תנאים מתאימים לשימוש	הגדרה/מאפיינים/הסבר	רמת בקרה
	על פי התוצאה המתקבלת בתוכנה	יש לפנות למומחה כדי להחליט ולתכנן את הבקרה הדרושה	בקרה באמצעים מיוחדים (special, tailor- made)

נספח מס' 3

הוראות שימוש והפעלה של תוכנת הבקרה המדורגת

הקדמה

ברוכים הבאים לתוכנת "בקרה מדורגת" של המוסד לבטיחות ולגיהות שמטרתה לסייע בסיווג ראשוני והתאמה של אמצעי הגנה ובקרה הנדסיים להגנה על בריאות העובד ובקרת חשיפה תעסוקתית לחומרים כימיים מזיקים. התוכנה מיועדת לשימוש ע"י גורמים מקצועיים, כגון אנשי בטיחות וגיהות, וע"י אחראים על הבטיחות והגיהות במפעלים ובתי מלאכה קטנים. התוכנה מיועדת לתחום הבקרה וההגנה ההנדסית מחשיפה נשימתית לחומרים כימיים העלולים לגרום לסיכון בריאותי.

יש להשתמש בתוכנה עבור חומרים בהם עובדים בעמדות עבודה פרטניות בתוך מבנה. התוכנה אינה מיועדת לתהליכים המתבצעים בשטח פתוח או במקום פסי שלא ניתן להתקין בו אמצעי הגנה ובקרה הנדסיים, ואינה מציעה אמצעים למיגון אישי. התוכנה מכוונת לחיפוש קטגוריית הגנה מתאימה לחומר בתהליך נתון. התוכנה אינה מספקת נתונים טכניים לקטגוריה זו או נתוני בנייה והתקנה ולשם כך יש לפנות לגורמים מקצועיים בתחום ההנדסה.

הוראות כלליות לשימוש והפעלה

I. קבלת שם משתמש וסיסמת כניסה

יש לקבל את שם המשתמש והסיסמה באמצעות המוסד לבטיחות ולגיהות בטלפון:

לאחר כניסה לאתר התוכנה דרך כתובת הקישורית יש להכניס בשדות המתאימים את שם המשתמש והסיסמה. שם המפעל ישתל בתוכנה ע"י המוסד לבטיחות ולגיהות.

II. צעדים מקדימים להפעלה

בטרם הפעלת התוכנה על המשתמש להיות מצויד בנתונים הבאים:

1. שם תהליך העבודה או התהליך הטכנולוגי בו משתמשים בחומר אליו עלולים עובדים להחשף ויש בו סיכון בריאותי.
2. גליון סיכונים (MSDS) של החומר שאותו מעוניינים לבדוק בתוכנה.
3. שם החומר הנבדק כפי שהוא מופיע בגליון הסיכונים (עברית או אנגלית).
4. סדר גודל של כמות החומר הנמצאת בשימוש בתהליך הנבחר (גרמים, קילוגרמים, טונות).
5. מצב הצבירה של החומר בתהליך ומבין האפשרויות הבאות: מוצק, נוזל, גז.
6. אם מצב הצבירה בתהליך הוא מוצק נחוצה צורת ההופעה של החומר באוויר מבין האפשרויות הבאות: פתיתים זעירים, אבקה (אבק), נדפים (חלקיקים מוצקים תת-מיקרוניים שהם תוצאה של תהליך עם חומר מוצק כאשר הטמפרטורה של התהליך היא מאות או אלפי מעלות צלסיוס).
7. אם מצב הצבירה של החומר בתהליך הוא נוזל חשוב לדעת אם הטמפרטורה של התהליך גבוהה או נמוכה מ-40°C.

III. הוראות הפעלה

1. לאחר לחיצה על כתובת הקישור ייפתח מסך ראשון ובו עליכם למלא את שם המשתמש והסיסמה שקבלתם מהמוסד לבטיחות ולגיהות ואחרי כן ללחוץ על מקש Enter.
2. התוכנה מתקדמת משלב אל שלב על פי סדר הלשוניות המופיעות בשורת התפריט העליונה ומילוי הנתונים הנדרשים בכל לשונית בטרם מעבר ללשונית הבאה.
3. לחצו על הלשונית "מפעלים" כדי להכנס לשורת המפעל שלכם. בסוף אותה שורה לחצו על תיבת "תהליכים" כדי לעבור למסך הבא.
4. לחצו על תיבת "הוסף תהליך" (+). במסך שייפתח מלאו את שם התהליך והוסיפו הערה אם יש צורך. אשרו את בחירת התהליך ע"י הקלקה על סימן V בתחתית המסך. סמנו את הריבוע הקטן הריק, שמופיע לצד הכיתוב "רמת סיכון מוגברת" רק אם אחד התהליכים שרשמתם זהה לאחד או יותר התהליכים המופיעים ברשימה משמאל לריבוע. תוכלו לחזור לרשימת התהליכים ע"י לחיצה על החץ האופקי בתחתית לצורך הוספת תהליך נוסף.
5. לחצו על תיבת "חומרים" המופיעה בסוף שורת התהליך שהוספתם. לאחר מכן לחצו על תיבת "הוסף חומר" (+). במסך שייפתח עומדות בפניכם שתי אפשרויות:
 - 5.1 אם שם החומר ידוע במלואו (אנגלית בלבד) תוכלו להקלידו בתיבה הריקה ולאחר מכן לעבור לסעיף מנחה מס' 6.
 - 5.2 אם יש צורך לבחור שם חומר מרשימה לחצו על התיבה "חומרים" בצד ימין של המסך. מתוך רשימת החומרים שנפתחה אתרו את שם החומר בעברית או באנגלית על פי שמו בגליון הסיכונים של החומר (MSDS) ולאחר מכן לחצו על תיבת "בחר" המופיעה בסוף שורת החומר שבחרתם. לחילופין, ניתן להקליד חלק מהשם בתיבה הריקה בראשית המסך וללחוץ על תיבת "חפש" (זכוכית מגדלת). התוכנה תציג את האפשרויות המתאימות להקלדתכם. אתרו את האפשרות המתאימה ולחצו על תיבת "בחר". הבחירה תחזיר אתכם למסך הפעולה המתאים.
6. בחרו מתיבת הבחירה לצד הכיתוב "כמות" את האפשרות הנכונה לכמות החומר בתהליך עבור החומר שנבחר.
7. בחרו מתיבת הבחירה לצד הכיתוב "מצב צבירה" את מצב הצבירה של החומר בתהליך. אם בחרתם במצב מוצק תפתח תיבה נוספת ומתוכה בחרו את צורת ההופעה של החומר המוצק (פתיים, אבקה או נדפים). לאחר מכן אשרו את בחירתכם ע"י הקלקה על סימן V במסך. התוכנה תחזיר אתכם למסך מסכם המתאר בשורת הנתונים את קטגוריית הבקרה המתאימה עבור החומר שבחרתם.
8. אם עליכם להוסיף חומר נוסף בתהליך הקליקו במסך האחרון שקבלתם על התיבה המסומנת ב +. התוכנה תחזיר אתכם למסך החומרים ויש לחזור על הפעולה בסעיף 5 הנ"ל (לבחירתכם 5.1 או 5.2) ע"י לחיצה על תיבת "הוסף חומר" (+).
9. במסך המסכם (תהליכים) תוכלו לראות תחת הכותרת "רמת הבקרה" את רמת הבקרה המתאימה לבקרת הסיכונים בתהליך הנתון. אם הזנתם מספר חומרים

תתקבל במסך זה רמת הבקרה עבור החומר בעל הסיכון הגבוה ביותר מביניהם ללא תלות בכמותו בתהליך. רמה זו מתאימה גם לגורמי הסיכון הכימיים האחרים בתהליך.

10. לחצו על תיבת "אמצעי הגנה" הנמצאת בסוף שורת התפריטים. הטבלה הנפתחת היא טבלת עזר המפרטת אפשרויות שונות לאמצעי הגנה ובקרה הכלולים ברמת ההגנה שהתקבלה. הטבלה מחולקת ל- 4 קטגוריות (מדרגות) בקרה המהוות רמות הגנה. בטור הימני של הטבלה מופיעות 4 הקטגוריות בכתב מודגש והן הנושאות את השמות: **איוורור מוהל/איוורור כללי, בקרה הנדסית ע"י איוורור מקומי, בקרת הכלה, בקרה באמצעים מיוחדים**. השורה המכילה את שם הקטגוריה היא שורת הגדרה כללית שלה ומתחתיה בכל קטגוריה מופיעים אמצעי הגנה שונים השייכים לאותה קטגוריה. טבלה זו יכולה לשמש לתכנון אמצעי הגנה הנדסי מתאים באמצעות מומחה מקצועי, או לבדיקה האם אמצעי שכבר קיים עבור החומר בתהליך הנתון הוא אמצעי נכון לסוג החומר, הכמויות בשימוש וצורת הפיזור של החומר באוויר.