

פיתוח תבנית הסתברותית להערכת חשיפה במקומות עבודה בישראל

ד"ר אשר פרדו*
ד"ר מיכאל מיימן**
מר מיכאל זילברמן**
גב' נילי גרינברג***
מר אלכס טקצ'מן****
מר סלבה אומנסקי*

המוסד לבטיחות ולגיהות *

אמפימד אינפורם ביורו בע"מ **

ענף בריאות תעסוקתית, צה"ל ***

קרן מעבדות גיהות בע"מ ****

המחקר בוצע במימון הפעולה המונעת במשרד התמ"ת

חודש שבט התש"ע
ינואר 2010



תודת החוקרים נתונה :

למוסד לבטיחות ולגיהות על התמיכה והאכסניה לביצוע המחקר

לפעולה המונעת על המימון המחקר והתמיכה בו

לגב' נילי גרינברג שהייתה מיוזמי המחקר וסייעה רבות בביצועו במגזר הצבאי

תקציר מורחב

מבוא

קיימות מספר גישות להערכת חשיפה תעסוקתית נשימתית, כאשר העיקריות בהן הן אלו המטפלות בהערכה איכותנית או "חצי-כמותית" (Semi-quantitative exposure) assessment) ובהערכה כמותית. הערכה איכותנית מבוססת על פרמטרים שונים, רובם תיאוריים, ודרגת החשיפה מבוטאת בד"כ על סקלה אורדינלית של רמות חשיפה (חשיפה נמוכה, בינונית וגבוהה), ללא מימד כמותי שהתקבל בשיטות מדידה יעודיות. הערכה איכותנית או חצי-כמותית מתבצעת בד"כ בעזרת סקר סיכונים שנערך במקומות עבודה בשיטת ה- *Walkthrough*. בהשוואה לשיטה החצי-כמותית, השיטה הכמותית להערכת חשיפה נשימתית מבטיחה יותר ספציפיות ודיוק, היות שהיא מסתמכת על מדידה, שנערכת במקומות העבודה, אולם הניטור התעסוקתי מתבצע אחת לתקופה מסויימת והתוצאה תלויה בתנאים שנוצרו במקום העבודה בעת לקיחת דגימות. הסיכוי להערכה שגויה אינו נמוך כאשר מחפשים מיתאם בין הערכה בשיטות חצי-כמותיות לבין תוצאות של ניטור סביבתי ולכן פותחו בעשורים האחרונים גישות הערכה שונות ומודלים סטטיסטיים כדי להגביר את דיוק ואמינות ההערכה האיכותנית ביחס לכמותית. אסטרטגיות ההערכה הגיהותיות העמידו את התהליך הטכנולוגי (process) במקום עבודה כיחידה בסיסית למיון קבוצת עובדים בעלת חשיפה דומה, המהווה אלמנט מרכזי בגישה תקנית להערכת חשיפה. על אף השימוש בתהליך כגורם בסיסי בתבנית להערכת חשיפה פוטנציאלית, נוצר קושי לאפיין חשיפה באופן ממצה רק ע"י מיון כוח עבודה לפי תהליכים ועיסוקים. קושי זה הביא להמלצות מקצועיות להתמקד גם באפיון מטלות (tasks) בעת הערכת חשיפה איכותנית וכמותית והגדרת קבוצה בעלת חשיפה דומה. פירוץ התהליך להירארכיה נוספת של מטלות ואיסוף מידע עליהן יצר אפשרות לאפיון חשיפה מדוקדק יותר ולצמצום טעויות בהערכת החשיפה ומיון עובדים לקבוצות בעלות חשיפה דומה. חלוקת תהליך למטלות צמצמה את האפשרות למסך שיאי חשיפה בעת הערכת רמת חשיפה נשימתית ממוצעת ומשוקללת על פני תהליך ארוך. אולם, גם לשיטה זו נמצאו מבקרים שהראו שלא בכל מקרה הערכת חשיפה על פי מטלות היא יתרונית ולא בכל מקרה מתקבלת התאמה גבוהה בין רמות חשיפה ממוצעות המתקבלות על סמך שילוב תהליכים בהערכה לעומת אלו המתקבלות על סמך שילוב מטלות. יש, אפוא, לחפש שילוב מתאים לגופו של עיסוק ותרחיש חשיפה. אחת ההמלצות להתמודד עם מורכבויות שונות בהערכת סיכון בריאותי בתרחישי חשיפה, ועם שיפור ההתאמה בין הערכה איכותנית וחצי כמותית של חשיפה לבין הערכה כמותית היא שימוש בתבניות (מטריצות) חשיפה הסתברותיות. תוצאת התרומה היחסית של כל מאפיין בתבנית וגורם האינטראקציה בין המאפיינים מספקת מוצר משוקלל המוגדר כדרגת חשיפה. המתודולוגיה של תבניות חשיפה נמצאת בשימוש רחב והוכיחה עצמה כיעילה בהערכת הסיכונים בעבודה. בין הענפים, שלגביהם כדאית הערכה הסתברותית של תבניות חשיפה ובעלת תרומה מרבית נבחר ענף המוסכים וטיפול ברכב.

המחקר הנוכחי שם לו למטרה לבנות תבנית (מטריצה) שניתן יהיה לאמוד באמצעותה את ההסתברות לדרגות חשיפה שונות לגורמי סיכון במוסכים כתלות בתנאי העבודה והחשיפה של תרחיש נתון בעבודת מוסך. המחקר בוחן כלי בקרה המכוון להפרדת התהליך למטלותיו וניתוח החשיפה בכל אחת מהן על מנת לצמצם את אי הוודאות בגילוי חשיפות חריגות קצרות. כמטרה נוספת הציב לעצמו המחקר לפתח תוכנה ממוחשבת לתבנית החשיפה על פי מודל.

שיטות מחקר

במחקר נכללו 50 מוסכים, מתוכם 35 מוסכים אזרחיים ו-15 מוסכים צבאיים (סדנאות). המדגם כלל מוסכים מאזור הצפון, המרכז (לרבות אזור ירושלים) והדרום. מאגרי נתונים של סקרים וניטורים סביבתיים שנאספו במשרד התמ"ת בשנים האחרונות שימשו כבסיס למיין תהליכי עבודה במוסכים. בכל מוסך התבצע מיון תהליכים ומטלות ונערך סקר לאיפיון תהליכי העבודה והמטלות ולאיפיון משתני החשיפה הרלוואנטיים. נבחרו קטיגוריות התהליכים השכיחים ביותר על מנת להשיג מספר מספיק של תצפיות לצורך הסקת מסקנות והשגת מטרות המחקר. לאיסוף נתוני הסקר במוסך שימש שאלון מובנה. השגת פרטי הנתונים התבססה על תצפיות במוסך ועל מידע מבעלי המוסך ועובדיו. לאחר זיהוי התהליכים הנפרדים במוסך פורק כל תהליך למטלות על פי שלביו. בכל תהליך כיחידה שלמה ובכל מטלה בתהליך נאספו בנפרד נתונים שהיוו את המשתנים הבלתי תלויים: משך, תדירות, שיטת עבודה מאפיינת, גורמי סיכון כימיים נוכחים והרמה המרבית שלהם המותרת לחשיפה, כמות גורם הסיכון בעת ביצוע התהליך או המטלה, צורת הופעת גורם הסיכון באוויר בעת החשיפה, אמצעי הבקרה הנדסיים, ניהוליים ואישיים בכל תהליך ובכל מטלה. כל משתנה בלתי תלוי כלל מספר קטגוריות והסוקר בחר כתשובה את הקטגוריה המתאימה לתיאור המצב. לכל קטיגוריה ניתן ציון המתאר את דרגתה על סולם דרגות איכותי על פי תרומתה היחסית לפוטנציאל החשיפה בתרחיש העבודה והחשיפה הנתון. ציון של כל קטגוריה נורמל בהשוואה לציון המקסימלי באותה קטיגוריה. המשתנים חולקו לשלושה גושים וציון כל גוש נבנה כציון משוקלל של הציונים החלקיים וגורם האינטראקציה בין המשתנים בגוש. ציוני שלושת הגושים אוגדו לציון אחד שהוגדר כדרגת חשיפה פוטנציאלית עבור תרחיש עבודה וחשיפה נתון בתהליך עבודה במוסך.

תבנית חשיפה הוגדרה כמטריצה המאגדת בתוכה צירוף דרגות של קטגוריות מכל גושי המשתנים כאשר הצירוף, כאמור, משקף תרחיש עבודה וחשיפה נתון בתהליך. דרגת החשיפה הפוטנציאלית האיכותנית שהושגה מאיגוד הציונים החלקיים המשוקללים מייצגת את התבנית. במודל גרפי שפותח, הוצבו שלושת הציונים המשוקללים משלושת הגושים כנקודות על מערכת צירים אורתוגונאלית היוצרת טטרהאדר מרחבי ישר זווית. חיבור שלושת הנקודות יוצר במרחב הטטרהאדר משולש ששטחו ניתן לחישוב על פי נוסחה. שטח המשולש במרחב הוא דרגת החשיפה הפוטנציאלית האיכותנית ומייצג את תבנית החשיפה. השטח המקסימלי האפשרי להשגה על פי צירופי המשתנים

בתרחישי החשיפה שימש כשטח יחוסי אליו הושוו אומדני תבניות החשיפה. שטח זה חולק לשלושה תת אזורים כאשר כל אחד מהם משקף אומדן של פוטנציאל חשיפה: נמוך (אומדן חשיפה פוטנציאלית עד 50% מהרמה המרבית המותרת (TLV)), בינוני (אומדן חשיפה פוטנציאלית בין 50% ל- 100% ה-TLV), גבוה (מעל 100% ה-TLV).

בכל תהליך ומטלה נערכו דגימות אוויר להערכת רמת החשיפה לגורמי סיכון כימיים בשיטות בדיקה המבוססות על שיטות תקפות ומאושרות על ידי אגף הפיקוח של משרד התמ"ת. רמות החשיפה שהתקבלו בניטור חושבו כמנת חשיפה. הרמה המירבית המשוקללת (TLV-TWA) שימשה כבסיס לחישוב מנת החשיפה בתהליך, ורמה מרבית לזמן קצר או רמה הגבוהה פי שלוש מהרמה המרבית המשוקללת שימשה לחישוב מנת החשיפה במטלה.

בכל תהליך ומטלה נבדקה התפלגות מנות החשיפה של החומרים השונים והופעלה סטטיסטיקה תיאורית. נבנו קווי מגמה הסתברותיים לתהליכים ומטלות המתארים את רמות החשיפה על נייר הסתברות כנגד האחוזונים ההסתברותיים של הופעתן. קווי המגמה מהווים נקודת החלטה להמלצה האם עדיף להתמקד בהערכת חשיפה בתרחיש נתון על פי החשיפה על פני תהליך או על פני החשיפה על פי מטלה.

על מנת לחפש מיתאם ניבוי בין תוצאת המודל של תבנית החשיפה הפוטנציאלית בתהליך לבין החשיפה הנשימתית בפועל הושוו תוצאות תבנית החשיפה לתוצאות הניטור המתייחס לאותה תבנית ונקבעה מידת ההתאמה ביניהם. מידת התאמה זו תורגמה לאומדן ההסתברות למנת חשיפה נשימתית בתרחיש נתון כתלות במאפייני החשיפה וגורמיה באותו תרחיש.

לצורך שימוש בתבניות חשיפה ע"י משתמשים פוטנציאליים פותחה תוכנה באפליקציית WEB לגישה דרך אינטרנט.

תוצאות

מיון התהליכים הוביל לחמש קטיגוריות בולטות של תהליך ולקטיגוריה ששית המופיעה במוסכים צבאיים בלבד ושכיחותה מעטה. תהליך המכונאות הוא השכיח ביותר ושכיחותו במוסכים האזרחיים הייתה גבוהה מזו בצבאיים. תהליך הצביעה שני בשכיחותו ושכיחות זהה התקבלה לגבי תהליכי המסגרות ותיקון תקרים כאשר תהליך המסגרות שכיח יותר במוסכים הצבאיים מאשר באזרחיים. תהליך תדלוק מלא נצפה בשני מוסכים צבאיים בלבד ולא הופיע באזרחיים.

מגוון רחב של מטלות נצפה בתהליכים שהוכללו במחקר. מספר המטלות בתהליך המכונאות הוא הגבוה ביותר מבין התהליכים כמו גם שכיחות הופעתן של המטלות בתהליך זה.

מגוון גדול של גורמי סיכון כימיים נמצא בשימוש במוסכים. קבוצות הסיכון השכיחות היו ממיסים אורגניים, מתכות, וכן חומרים אנאורגניים ופולימרים אורגניים שצורת הפיזור של רובם מוגדרת כחלקיקים בלתי מסווגים. בנוסף נמצאו שמנים וחומרים סיביים.

שכיחות תהליכים מעל 4 שעות ביום עבודה היא נמוכה (12.6% מכלל התצפיות) ומשך הזמן השכיח ביותר למחזור תהליך, כפי שנצפה, נע בין 15 – 60 דקות. רוב התהליכים מתבצעים בכל יום (66%)

מכלל התצפיות) ו- 30% מהתצפיות היו של תהליכים המתבצעים 3 – 4 פעמים בשבוע. ב- 70% מהתצפיות נכללת בתהליכים עבודה ידנית ממוכנת. כמות החומר המהווה פוטנציאל לפיזור באוויר ושכיחה ביותר בתהליכים, כפי שנאמדה בסקרים, קטנה מ- 100 גרם (כ- 49% מכלל התצפיות). בתהליך המסגרות נצפתה שכיחות גבוהה של שימוש בכמויות המגיעות עד- 1 ק"ג ושכיחות יחסית גבוהה של כמויות גבוהות מ- 1 ק"ג. גורמי הסיכון הכימיים שנבדקו הופיעו באוויר בחמישה סוגי מופעים: אבק, סיבים, נדפים, אווירוסול טיפתי ואדים. אחוז התצפיות הגבוה של אדי ממיסים אורגניים נובע מהשימוש בהם במוסכים באופן שכיח בכל חמשת התהליכים שנבדקו. במוסכים אין בדרך כלל אמצעי בקרה הנדסיים. עובדים אינם משתמשים בדרך כלל בציוד מגן אישי נשימתי והשימוש בכפפות פלסטיות להגנה מחומרים הוא דל.

בולט משכן הקצר של המטלות ומשכן של 70% מהן קצר מ- 15 דקות. רוב המטלות במוסכים (65%) הן ידניות ממוכנות. מיעוט שימוש בשיטות אוורור ובהגנה אישית נשימתית כמו גם בהגנה עורית מאפיינים גם את המטלות.

פיזור רמות החשיפה באוויר הוא רחב מאוד והתפלגות מנות החשיפה התאימה להתפלגות לוג-נורמאלית. רמות החשיפה לחומרים בתהליכים נמוכות בדרך כלל. הממוצעים הגיאומטריים של מנות החשיפה לא חרגו אף מרמות הפעולה בכל החומרים. למעט מתכות, גם הממוצעים האריתמטיים הבלתי מוטים של מנות החשיפה לא היו גבוהים ממנת החשיפה של רמת הפעולה. הבדלים ברמות החשיפה נמצאו בין מוסכים השייכים למיגזר האזרחי לבין אלו השייכים למיגזר הצבאי. עקב ההתפלגות הגיאומטרית בעלת זנב ימני ארוך היו הממוצעים האריתמטיים הבלתי מוטים של מנות החשיפה גבוהים מהממוצעים הגיאומטריים. מספר החריגות מרמה מירבית מותרת בתהליכים במוסכים היה נמוך והגיע ל- 4.6%. אחוזי החריגות מהרמה המרבית המותרת על פי קבוצות הסיכון הגיעו בכלל הבדיקות של ממיסים, מתכות, וחלקיקים ל- 3.5%, 4% ו- 8%, בהתאמה. גם במטלות היה אחוז החריגה מעל רמות מרביות מותרות נמוך מאד ואינו עולה על 5%. ממיסים חרגו בתהליך הצביעה והתידלוק, רמות חלקיקים חרגו בתהליך הפחחות ורמות מתכות במטלות ריתוך.

קווי המגמה ההסתברותיים של רמות גורמי הסיכון באוויר בתהליכים ובמטלות סמוכים גם הם זה לזה ומצביעים על מגמות התנהלות דומות בין אם החשיפה מנותחת על פי ניטור על פני תהליך או בין אם היא מנותחת על פי ניטור על פני מטלות. פרופיל מנות החשיפה על פני מטלות אינו מצביע על מטלה כלשהי שבה רמת החשיפה חריגה במיוחד ביחס לרמה מרבית מותרת לזמן קצר וממוסכת אם מבצעים מדידה של ממוצע משוקלל על פני מחזור תהליך שלם או משמרת מלאה.

רוב דרגות החשיפה שנובאו לתרחישי החשיפה שנצפו במוסך על פי תבנית החשיפה שפותחה שייכות לתחום החשיפה הזניחה עד נמוכה. ההתאמה בין דרגת החשיפה הפוטנציאלית, שחושבה על פי המודל לתצפיות של תרחישי חשיפה, לבין תחום תוצאות הניטור הגיעה ל- 92%. ההערכה הפוטנציאלית על פי המודל היתה גבוהה מתחום החשיפה בפועל (false positive) ב- 2.3% מהתצפיות ונמוכה מתחום החשיפה ב- 5.6% מהתצפיות (false negative), עובדה המצביעה על כך שבמקרים אלה לא חזתה

תבנית החשיפה במדויק את רמת החשיפה בפועל והעובד למעשה עלול להיות חשוף מעל המותר או בדרגת חשיפה גבוהה יותר מזו שנחזתה על ידי תבנית המודל.

דיון ומסקנות

המחקר הנוכחי בחן שימוש בתבניות הסתברותיות ואת מעמדם של תהליך (process) ושל מטלה (task) בארגז הכלים של הגיהותן למטרת הערכת חשיפה תעסוקתית נשימתית במוסכים. פירוק תכולת הפעילות המפעלית לתהליכי עבודה תורם לאיתור והבנה של מקורות חשיפה ופוטנציאל העוצמה שלהם ומסייע לדרג סיכונים תעסוקתיים על סולם איכותי של רמות סיכון. אולם במצבים מורכבים או ריבוי תת פעילויות בתהליך עבודה, קיים קושי לאפיין חשיפה באופן ממצה רק ע"י מיון כוח העבודה לפי תהליכים ועיסוקים. עובדה זו הביאה להמלצות מקצועיות להתמקד גם באפיון מטלות בעת הערכת חשיפה איכותנית וכמותית. פירוק תהליך למטלות מסייע בהערכת שיאי חשיפה. במקומות שטיב העבודה בהם תחזוקתי או שירותי, כגון מוסכים, קשה יותר להרכיב קבוצות בעלות חשיפה דומה לצורך הערכת חשיפה ועל כן שימוש בתהליכים ובמטלות במקביל או לסירוגין יחד עם שימוש בקווי מגמה הסתברותיים ככלי להערכת חשיפה בתהליכים ובמטלות מומלץ ועשוי לענות על קושי זה.

ברוב המקרים, היו קווי המגמה ההסתברותיים שהתקבלו במחקר לתהליך ומטלותיו דומים מספיק כדי להסיק שניתוח חשיפה על פי מטלות בענף המוסכים אינו יתרוני במקרים אלה על פני ניתוח חשיפה לפי תהליכים. בחלק קטן מאוד של מדידות חשיפה במוסכים רמת החשיפה במטלה חורגת מרמות מרביות מותרות בעוד שהרמה בתהליך אינה חורגת מרמה מרבית משוקללת. במקרים אלה הערכת חשיפה על פי תהליך ממסכת את המצב לפיו עובדים חשופים מעל המותר בפרקי זמן חלקיים של התהליך, ועלולה ליצור תת הערכה של החשיפה האמיתית. בחלק קטן אחר המצב הפוך ואי חריגה במטלה אינו מרמז על חריגה המתרחשת בתהליך אליו שייכת המטלה.

בחירת המשתנים האופרטיביים שהרכיבו את סקר החשיפה הפוטנציאלית במוסך ואת מודל תבנית החשיפה התבססה על הרעיון של אפשרות להערכת חשיפה נשימתית פוטנציאלית על פי מספר מינימאלי של מאפיינים (משתנים). מודל תבנית החשיפה במחקר יחד עם התוכנה למשתמש מוצעים ככלי עזר לשיפוט המקצועי של הגיהותן, אולם אינם מיועדים לבוא כתחליף לשיפוט המקצועי או הכלים הסטטיסטיים לניתוח חשיפה.

פיתוח תבנית החשיפה הגיע ליכולת ניבוי של תחומי חשיפה בפועל החופפים לתחומים הפונקציונליים בתקנות הגיהות. דרגת הרזולוציה שהושגה בתבנית שפותחה לניבוי רמת החשיפה בפועל אינה רגישה לאבחנה בין רצועות צרות מאד של חשיפה ביחס לרמה המרבית המותרת לחשיפה. תרחישי חשיפה בתהליך נתון, שלגביהם מתקבלת על פי תבניות המודל תת הערכה של חשיפה בהשוואה לרמת חשיפה על פי ניטור במדגם פיילוט, יכולים לשמש כנקודת התרעה לגבי האפשרות לקבל תת הערכה של חשיפה בתרחישים כאלה בעתיד.

יש לעודד שימוש בתבנית חשיפה כיוון שהוא עשוי לסייע לגיהותנים בהערכת חשיפה ויכול לתרום להגברת האחידות של ההערכה ביניהם ולהקטנת השונות בסולם הדרגות של הערכה המורכבת ממשתנים רבים. מומלץ לעודד שימוש בקווי מגמה הסתברותיים המספקים כלי ניתוחי להחלטה אם עדיף שימוש בתהליך או במטלה כמכוון להערכת חשיפה. על אף שמודל התבנית עשוי להיות ישים בתעשיות אחרות, יש לבדוק ישימות זו על פי נתוני ניטור וסקר שנאגרו עבור כל ענף תעשייה.

תוכן עניינים

<u>עמוד</u>	
3	תקציר מורחב (עברית)
13	מבוא
20	שיטות מחקר
20	תפיסת תהליך ומטלה והגדרותיהם
20	מתודולוגיית במחקר
23	סיווג תהליכים ושיטות איסוף נתונים להערכה איכותנית של חשיפה
24	מדידת רמות חשיפה נשימתית
25	ניתוח נתוני ניטור והערכת חשיפה
27	פיתוח תבנית חשיפה פוטנציאלית לתהליך עבודה על פי מודל ומדידה
31	תוצאות המחקר
31	תיאור אוכלוסיית המוסכים
35	תיאור משתני חשיפה בתהליך ובמטלות
39	רמות חשיפה תעסוקתית לחומרים כימיים במוסכים
44	פרופיל רמות חשיפה בתהליכים לעומת מטלות

52	התאמת אומדן תבנית החשיפה לתוצאות הניטור
53	דיון ומסקנות
61	מקורות ספרות
67	ישום והמלצות
67	הערכת פוטנציאל ישום
71	טכניקת היישום במוסכים
72	טכניקת היישום במקומות עבודה קטנים בעלי קווי דמיון למוסכים
73	נספחים
95	תקציר מורחב (אנגלית)

טבלאות

עמוד

23	טבלה מס' 1: מיון מידע על כמות מוסכים ותהליכי עבודה בהם על פי מאגרי מידע שונים.
32	טבלה מס' 2: שכיחות הופעת תהליכים במוסכים.
33	טבלה מס' 3: שכיחות הופעה של מטלות בתהליכי עבודה במוסכים אזרחיים וצבאיים.
34	טבלה מס' 4: מיון גורמי סיכון כימיים על פי קבוצות סיכון גיהותיות ותהליכי עבודה במוסכים.
36	טבלה מס' 5: התפלגות תצפיות של קטגוריות (סיווגי משנה) בתוך משתנים המשפיעים על החשיפה בתהליכי עבודה במוסכים.
38	טבלה מס' 6: התפלגות תצפיות של קטגוריות (סיווגי משנה) בתוך משתנים המשפיעים על החשיפה במטלות עבודה במוסכים.
39	טבלה מס' 7: התפלגות מספר בדיקות סביבתיות בין קבוצות חומרים כימיים בתהליכים במוסכים.
40	טבלה מס' 8: התפלגות מספר בדיקות סביבתיות בין קבוצות חומרים כימיים במטלות במוסכים.
41	טבלה מס' 9: מנות חשיפה (באחוזים) בבדיקות סביבתיות תעסוקתיות

- בתהליכי עבודה במוסכים.
- טבלה מס' 10: מנות חשיפה (באחוזים) בבדיקות סביבתיות תעסוקתיות 43 במטלות עבודה במוסכים.
- טבלה מס' 11: דרגת ההתאמה בין חשיפה פוטנציאלית חזויה על פי מודל 52 תבנית החשיפה לבין רמת החשיפה בפועל על פי ניטור סביבתי.

איורים

עמוד

- איור מס' 1: תרשים זרימה של מתודולוגיית המחקר. 22
- איור מס' 2: שכיחות מחלקות במוסכים אזרחיים וצבאיים. 31
- איור מס' 3: התפלגות (%) רמות חשיפה של קבוצות סיכון כימיות במוסכים 43 בין תחומי חשיפה שונים.
- איור מס' 4: קווי מגמה הסתברותיים של רמות מנורמלות של חלקיקים 45 באוויר בתהליך פחחות.
- איור מס' 5: קווי מגמה הסתברותיים של רמות מנורמלות של ממיסים 46 בודדים באוויר בתהליך פחחות.
- איור מס' 6: קווי מגמה הסתברותיים של רמות מנורמלות של תערובות 46 ממיסים באוויר בתהליך פחחות.
- איור מס' 7: קווי מגמה הסתברותיים של רמות מנורמלות של תערובות 47 ממיסים באוויר בתהליך צביעה.
- איור מס' 8: קווי מגמה הסתברותיים של רמות מנורמלות של ממיסים 47 בודדים באוויר בתהליך צביעה.
- איור מס' 9: קווי מגמה הסתברותיים של רמות מנורמלות של ממיסים 48

	בודדים באוויר בתהליך מסגרות.	
48	קווי מגמה הסתברותיים של רמות מנורמלות של מתכות באוויר בתהליך מסגרות.	איור מס' 10:
49	קווי מגמה הסתברותיים של רמות מנורמלות של תערובות ממיסים באוויר בתהליך תיקון תקרים.	איור מס' 11:
49	קווי מגמה הסתברותיים של רמות מנורמלות של ממיסים בודדים באוויר בתהליך תיקון תקרים.	איור מס' 12:
50	קווי מגמה הסתברותיים של רמות מנורמלות של חלקיקים באוויר בתהליך מכונאות.	איור מס' 13:
50	קווי מגמה הסתברותיים של רמות מנורמלות של ממיסים בודדים באוויר בתהליך מכונאות.	איור מס' 14:
51	קווי מגמה הסתברותיים של רמות מנורמלות של תערובות ממיסים באוויר בתהליך מכונאות.	איור מס' 15:
51	קווי מגמה הסתברותיים של רמות מנורמלות של אווירוסולים באוויר בתהליך מכונאות.	איור מס' 16:

נספחים

עמוד

73	שאלון לעריכת סקר גיהותי במוסך/סדנה.	נספח מס' 1:
77	לוח הציונים של קטגוריות המשתנים בתבנית חשיפה.	נספח מס' 2:
80	שיטות חישוב למציאת גודלי הצירים בתבנית החשיפה, שטח גזרת החשיפה ומפתח השטחים לפי תחומי חשיפה	נספח מס' 3:
82	אפיון מערכת ממוחשבת לתבניות הסתברותיות להערכת חשיפה במקומות עבודה.	נספח מס' 4:
92	סיווג מטלות ושכיחותן היחסית בתהליכי עבודה במוסכים אזרחיים וצבאיים.	נספח מס' 5:

מבוא

הערכת חשיפה (Exposure Assessment) לגורמי סיכון בריאותי במקומות עבודה הינה אתגר מתמיד לאנשי המקצוע בתחום הבריאות התעסוקתית. קיימת ספרות רבה בנושא, ובשנים האחרונות, עם ירידה ברמות החשיפה לחומרים כימיים מחד ועליה בערנות הציבור לגבי חשיפות כבר ברמות נמוכות (בעיקר לגבי גורמים מסרטנים) מאידך, נדרש לשנות, לעדכן ולהרחיב שיטות חדשות להערכת סיכונים בריאותיים (Ramachandran, 2008). אחד היעדים בהערכת חשיפה פרטנית של עובד כולל זיהוי וצמצום טעויות מערכתיות או מקריות על סמך מידע קיים (Seixas & Checkoway, 1995). טעויות אלה עלולות לנבוע מגורמים שונים כגון אי זיהוי מדוייק של גורם הסיכון, תנאי העבודה, תהליך העבודה, משימות שהעובד מבצע, שימוש באמצעי מיגון אישיים ואף ממדים אנטרופומטריים של העובד (לדוגמה, גובה). לכל אלה השפעה על דרגת חשיפתו של העובד למזהמים. במקרים של חוסר מידע שלם לגבי חשיפת העובד, ניתן להשתמש בכלים סטטיסטיים כדי להעריך את דרגת חשיפתו של העובד על סמך נתונים מחשיפות דומות של עובדים אחרים. קיימות מספר גישות להערכת החשיפה, אשר תלויות במספר גורמים, כגון מטרת ההערכה, המידע הקיים ברשות המעריכים, אפשרויות כספיות ועוד.

ניתן לסווג את השיטות הקיימות להערכת חשיפה למזהמים לשתי קבוצות: הערכה איכותנית או "חצי-כמותית" (Semi-quantitative risk assessment) והערכה כמותית. לשיטות אלה יתרונות וחסרונות בהצגת תמונה אמינה של חשיפת עובדים.

הערכה איכותנית מבוססת על פרמטרים שונים, רובם תיאוריים, כגון: עוצמת הרעילות של החומר, משך החשיפה, סוג התהליך, אופן החשיפה וכדו'. המשתנים התיאוריים כוללים לעתים נתונים כמותיים כגון משך חשיפה בשעות או כמות גורם סיכון ביחידות מידה, אבל הערכת דרגת החשיפה מבטאת בד"כ על סקלה אורדינלית של רמות חשיפה (חשיפה נמוכה, בינונית וגבוהה), ללא מימד כמותי שהתקבל בשיטות מדידה יעודיות.

הערכה איכותנית או חצי-כמותית מתבצעת בד"כ בעזרת סקר סיכונים שנערך במקומות עבודה בשיטת ה- *Walkthrough*. תוך כדי סקירה משתמש הגיהותן בפרמטרים כמותיים כדי להעריך את רמת החשיפה הפוטנציאלית של העובדים במהלך עבודתם במקומות הנסקרים.

שיטה נוספת להערכת החשיפה החצי כמותית נקראת *Interview-based evaluation* ומבוססת על ראיונות עם העובדים (self-assessment), או על הערכה אישית של החוקרים או אנשי מקצוע בתחום הבריאות התעסוקתית (Hawkins & Evans, 1989).

מחקר תקפות (validity) השיטה עולה שבעזרתה ניתן אמנם לסווג תנאי עבודה וחשיפה, אך קיימת שונות גדולה של תוצאות ההערכה בין המעריכים (Teschke et al, 2002).

שיטה נוספת להערכת חשיפה הינה שיטת ההשלכה (*Interpolation and Extrapolation*) המשתמשת באלגוריתם פשוט. בשיטה זאת המידע הקיים מושלך ומיושם על אוכלוסייה שלגביה אין מידע אודות החשיפה.

ניתן לבצע הערכת חשיפה באמצעות בניית מודלים (*Exposure Modeling*). בשיטה זו, החוקרים מנסים לבנות מודלים ותרחישים או הדמיות של חשיפה אמיתית כדי להעריך את תפקידיהם ותרומתם של הפרמטרים השונים שיכולים להשפיע על רמת החשיפה (Wadden et al, 1991., De Cock et al 1998).

הערכה בשיטה "חצי כמותית" היא כללית, ואינה תלויה במצב של מקום העבודה ברגע נתון. בהשוואה לשיטה החצי-כמותית, השיטה הכמותית מבטיחה יותר ספציפיות ודיוק, היות שהיא מסתמכת על מדידה, שנערכת במקומות העבודה, אולם הניטור התעסוקתי מתבצע אחת לתקופה מסויימת והתוצאה תלויה בתנאים שנוצרו במקום העבודה בעת לקיחת דגימות. במחקר שהסתמך על בסיס נתונים גדול (כ- 20,000 נתוני חשיפה לחומרים כימיים) נמצא שהשינוי בתוצאות הניטור יכול לנוע בין פי 3 - עד פי- 4,000 פעמים ביחס לתוצאות ניטור קודם (Kromhout et al, 1993). לגבי חומרים כימיים ידוע, שמידת ההשתנות (variability) של ריכוזיהם באוויר במקומות עבודה קטנה יותר כאשר מחשבים ממוצעים על בסיס מדידות לאורך זמן (לדוגמה, ממוצעים שנתיים) מאשר ממוצעים מחושבים על בסיס מדידה על פני זמן קצר (כגון, משמרת של 8 שעות).

הפתרון המוצע להקטנת השונות של תוצאות הבדיקות הוא הגדלת מספר הבדיקות, ביצוע בדיקות חוזרות ושמירה על אקראיות (randomization) הדגימות (Kromhout, 2002). דוגמה לתוכנית מתקדמת

להערכת חשיפה מוצגת בעבודה אחרת (Lazovich et al, 2002). שיטות אלה מייקרות את הבדיקות באופן משמעותי ולא תמיד ניתנות לביצוע.

הערכה כמותית יכולה להתבסס גם על של חומרים המשמשים כסמני חשיפה בתוך הגוף. אולם מספר גורמי הסיכון שלגביהם קיימים מדדים ושיטות לניטור ביולוגי מוגבל מאוד והערכת החשיפה בשיטות אלה יקרה ולא תמיד ניתנת לביצוע.

קיימת התאמה בין הערכה בשיטות חצי-כמותיות לבין תוצאות של ניטור סביבתי, אך הסיכוי להערכה שגויה (misclassification) בשיטות אלה אינו נמוך (Kromhout et al, 1987).

שיטה המקובלת יותר מהאחרות ומתפתחת לאחרונה הינה שיטה להערכת חשיפה בעזרת מודלים סטטיסטיים (*Statistical Exposure Modeling*) המבוססים על תבניות חשיפה (Exposure Data Matrix - EDM). תבנית חשיפה היא מטריצה המאגדת בתוכה מאפייני וגורמי חשיפה. התפיסה של Exposure Matrix פותחה בשנות ה-80 של המאה הקודמת על ידי חוקרת אמריקאית Shelia Hoar ומתבססת על נתונים שנאספו בשיטות שונות (Hoar, 1983 – 1984). גורם ההגדרה והמכנה המשותף של אוכלוסייה בעלת חשיפה דומה היה המקצוע או העיסוק של העובד. השיטה מוכרת בשם Job Exposure Matrix (JEM) ובין התבניות לבנייתה גם התבניות שנבנו על בסיס הנתונים של פרויקט לאומי למיפוי סיכונים שבוצע על ידי NIOSH (Sieber et al, 1991).

גישת ה-JEM לוקה בחולשה כאשר עובד מבצע מספר תהליכי עבודה או מטלות בתוך העיסוק והחשיפה בהם שונה. שיבוץ עובדים בקבוצת עיסוק דומה כאשר העיסוק מורכב ממספר מטלות שונות עלול לגרום לטעות בסיווג דרגת החשיפה המצטברת והסיכון בו נמצאים חלק מהעובדים (Benke et al, 2000).

גישה תקנית להערכת חשיפה של עובדים מחייבת הגדרה של קבוצות עובדים הנתונים לחשיפות דומות (Similar Exposure Group - SEG) וביצוע הערכה המייצגת חשיפות של הקבוצה. כדי לפצות על החולשה של גישת ה-JEM הדגישו מעצבי אסטרטגיות להערכת חשיפה את התהליך הטכנולוגי (process) כיחידה בסיסית למיון קבוצה בעלת חשיפה דומה.

בשנים 1994-2000 נערך בארץ פרויקט מיפוי סיכונים גיהותיים פוטנציאליים בתעשייה. לצורך ביצוע סקר סיכונים. בפרויקט פותחה מתודולוגיה של הגדרת חשיפה של עובדים על בסיס תהליך טכנולוגי שהם מבצעים. פותחה רשימת תהליכים טכנולוגיים שמכילה כ-400 תהליכים והגדרותיהם, שפורסמה כדפדפת בשנת 1993 (פרדו ועמיתיו, 1993). המתודולוגיה שפותחה נמצאה כמתאימה ביותר לאיסוף נתונים על חשיפות עובדים בסוגים שונים של מקומות עבודה לצורך בניית מאגר נתונים ברמה ארצית. רשימת התהליכים בדפדפת התקבלה ע"י אגף הפיקוח על העבודה של משרד התמ"ת כרשימה תקנית לכל המעבדות המוסמכות לבדיקות סביבתיות תעסוקתיות במקומות עבודה, והדיווח על תוצאות של בדיקות אלה מתבצע על פיה. השימוש הרחב במתודולוגיה הביא לכך שבארץ נאספו מאגרי מידע שונים המבוססים על אותו מרכיב מידע – שהוא התהליך הטכנולוגי.

על אף השימוש בתהליך כגורם בסיסי בתבנית להערכת חשיפה פוטנציאלית, נוצר קושי לאפיין חשיפה באופן ממצה רק ע"י מיון כוח העבודה לפי תהליכים ועיסוקים. קושי זה הביא להמלצות מקצועיות להתמקד גם באפיון מטלות (tasks) בעת הערכת חשיפה איכותנית וכמותית והגדרת קבוצה בעלת חשיפה דומה. להגדרת קבוצה כזו הוצעו מספר שיטות. Hawkins וחבריו הציעו גישות המבוססות על משימות או מטלות שמבצעים עובדים (Task-Based Approach), על תיאור מקצוע/עיסוק של עובד (Job-Description-Based Approach), על גורם החשיפה הכימי (Chemical-Based Approach) וגישה של שילוב תהליך, עיסוק, גורם ומטלה (Hawkins et al, (Process/Job/Agent/Task-Based Approach (1995). עוד קודם לכן הוצגה שיטה המבוססת על הגדרת חשיפה אזורית להגדרת קבוצת חשיפה דומה (Zone Exposure Method) (Corn & Esmen, 1979).

פירוק התהליך להירארכיה נוספת של מטלות ואיסוף מידע עליהן יצר אפשרות לאיפיון חשיפה מדוקדק יותר ולצמצום טעויות בהערכת החשיפה ומיון עובדים לקבוצות בעלות חשיפה דומה. חלוקת תהליך למטלות צמצמה את האפשרות למסך שיאי חשיפה בעת הערכת חשיפה ממוצעת על פני תהליך ארוך. ניתן לראות את הדוגמה ליחס בין תהליכים לבין המטלות שהם מכילים בעבודה שעסקה בשיקום גשר (Goldberg et al, 1997).

נעשו ניסיונות להעריך השפעה של מטלות נתונות, שעובד מבצע, על החשיפה הכוללת במשך משמרת מלאה (Hansen & Whitehead, 1998).

הגדרת SEG לפי מטלות נחשבת בעיני רבים כשיטה המדויקת ביותר. שיטה זו מתמקדת בפעילויות ספציפיות וניתן להשתמש בה בהערכת חשיפה למקומות עבודה ברמה של מפעל או ענף תעסוקה ספציפי. השיטה אינה מתאימה במקרים הדורשים הכללה (generalization) בהערכת הסיכונים, לדוגמה, בהערכת חשיפה ברמה הלאומית או במקומות עבודה ששייכים לקבוצת ענפי תעסוקה שונים.

על אף החשיבה על היתרון בחלוקת תהליך ועיסוק למטלות, נמצאו לגישה זו גם מבקרים שהראו שלא תמיד ניתן למצוא מיתאם בין הערכת חשיפה על פי תהליך לבין הערכתה באופן מקביל תוך שימוש במטלות. במחקר על חשיפה לרעש נמצא מיתאם גרוע בין שני אופני ההערכה של החשיפה שלא איפשר לחזות את חשיפת הפרט גם כאשר כל המטלות במהלך משמרת העבודה היו ידועות (Seixas et al, 2003). במחקרים מתחום הארגונומיה, לחץ בעבודה וזנקי שלד שריר ניסו חוקרים לאמוד את מידת הדיוק של הערכת חשיפה על פי ממוצע משוקלל של מדידות באוסף מטלות לעומת הערך המתקבל ממדידה אחת על פני תהליך. החוקרים קבלו בחלק גדול מהמקרים הערכת יתר על פי מטלות בהשוואה להערכה על פי תהליך (Svendson et al, 2005; Mathiassen et al, 2005; Marissa et al, 2003).

החוקרים הסיקו שהערכת חשיפה על פי מטלות איננה מדויקת ויתרונה על הערכת חשיפה על פי תהליך הוא שולי.

מחקר אחר (Verma et al, 2004) בדק את האפשרות להגדיר שתי קבוצות של נהגי משאיות כקבוצות בעלות חשיפה דומה על סמך דמיון בתהליכים ומטלות בין הקבוצות. המחקר בדק גם את ההתאמה בין הערכת רמות החשיפה פי ניתוח תהליך לעומת הערכתן על פי ניתוח מטלות. קבוצת נהגים אחת הובילה

מיכליות ליעד מסויים והשניה פיזרה את תכולת המיכליות ביעד. על אף הדמיון בתהליך ובמטלות היתה החשיפה לבנזן קטנה יותר בקבוצה אחת בהשוואה לשניה. המשך המצטבר של מטלות בתוך התהליך הגיע בקבוצה אחת ל- 37% ובקבוצה השנייה ל- 36%, אולם משך כל מטלה בנפרד היה שונה בין שתי הקבוצות. כ- 63% ממשך המשמרת היווה זמן הנסיעה במשאיות שבו אין בד"כ חשיפה. משכי זמן שונים של מטלות הביאו לרמות חשיפה שונות בין הקבוצות באותה מטלה על אף ששתי הקבוצות הוגדרו כקבוצות בעלות חשיפה דומה. בנוסף, משך הזמן הארוך שבו לא היה מגע בחומר במשך התהליך גרר קבלת ממוצע חשיפה נמוך על פני התהליך בעוד שמדידת רמת החשיפה רק על פני מטלה הראתה חשיפה גבוהה מאד לבנזן. הבדל זה מצביע על סכנת החמצה של רמת חשיפה משמעותית לזמן קצר בהשוואה לרמה ממוצעת ומשוקללת על פני זמן ארוך אם מתבצעת הערכת חשיפה רק על פני תהליך. חוקרים דנו ביתרונות ובחסרונות של השיטות המקובלות להערכת חשיפה ועל בעייתיות שבה עלול להתקל סיווג עובדים לקבוצה בעלת חשיפה דומה. Ramachandran סובר שבעייתיות זו נובעת מפשטנות הסיווג המתחשב רק בהגדרה של עיסוק דומה בין עובדים השייכים לאותה קבוצת חשיפה, ואינו מביא בחשבון מצבים מורכבים יותר שיש בהם שינוי זמן ומקום בתוך העיסוק, העשויים להשפיע על החשיפה (Ramachandran, 2008). פשטנות הסיווג מעודדת מדגם קטן של ניטורים סביבתיים בעוד שכדי להתמודד עם שונות מצבים בתוך העיסוק יש צורך במדגמי בדיקות גדולים יותר. שיפוט מקצועי של גיהותן נוטה להיות שגרתי ואינו מתחשב בשונות של משתני החשיפה. כתוצאה מכך, לרוב מסתיים השיפוט בתת-הערכה של החשיפה. לדעת אותו חוקר, הערכת חשיפה על פי מודלים מהווה כלי סיוע רב עוצמה לשיפוט מקצועי, אך נדרש מגיהותנים להבין את משתני החשיפה, את אופי מקום העבודה ואת הרציונאל העומד מאחורי ביצוע הניטור.

אחת ההמלצות להתמודד עם מורכבויות שונות בהערכת סיכון בריאותי בתרחישי חשיפה, ועם שיפור ההתאמה בין הערכה איכותנית וחצי כמותית של חשיפה לבין הערכה כמותית היא שימוש בתבניות (מטריצות) חשיפה הסתברותיות. תוצאת התרומה היחסית של כל מאפיין בתבנית וגורם האינטראקציה בין המאפיינים מספקת מוצר משוקלל המוגדר כדרגת חשיפה. העיסוק, וגורם הסיכון הם עדיין מרכיבים חשובים של התבנית כמו בתבנית ה-JEM, אך בנוסף נבנית מטריצה זו גם מגורם התהליך או המטלה, או שניהם, ומגורמים חשובים כגון משך חשיפה, תדירות התהליך, כמות גורם הסיכון בתהליך, שיטת העבודה, תנאי סביבה, גורמי בקרה ומניעה וגורמים נוספים. על חשיבות מרכיב הזמן בתבנית ניתן ללמוד מהעבודה שעובד יכול למלא מספר מטלות במשמרת עבודה ושקלול גורם הזמן במטלה חשוב לשקלול מנת החשיפה של העובד במטלה זו. מנת החשיפה מובעת כמכפלה של רמת החשיפה ומשך החשיפה ומכפלה זו עשויה להבנות מצירופים רבים ושונים של רמת חשיפה ומשך חשיפה (Nicas & Spear, 1993).

המתודולוגיה של תבניות חשיפה נמצאת בשימוש רחב והוכיחה עצמה כיעילה בהערכת הסיכונים בעבודה. החוקרים מנסים לשלב בתוך התבניות פרמטרים, כגון תוצאות ניטור כמותי של גורמי הסיכון, והתבניות מתפתחות לכיוון של ריבוי פרמטרים שנכללים בתוכן (Mekel et al, 2004)

(multidimensionality). שילוב פרמטרים חצי כמותיים ותוצאות של ניטור כמותי בתוך מודל סטטיסטי מאפשר לקבל הערכה יותר מדויקת לחשיפות ארוכות טווח (Long term exposure) לעומת ביצוע ניטור סביבתי בלבד. חוקרים מאירופה, לדוגמה, מתכוונים להשתמש בנתונים הסתברותיים להערכת סיכונים עפ"י תקינה (regulatory risk assessment) של אוכלוסייה החשופה לחומרי ההדברה (Van Hemmen, 2001).

התפתחות המיחשוב וטכנולוגיות מידע איפשרה ניהול מידע בתחומים שונים בבריאות תעסוקתית ובתוכם חשיפות עובדים ותנאי עבודה. ניהול מידע לא פסח גם על אגירת נתונים המשמשים בסיס לבניית תבניות חשיפה. החל משנות ה-80 של המאה הקודמת החלו להשתמש בכלים ממוחשבים לניהול מידע עם דגש על ארגון מידע ובניית מודלים של חשיפות. בשנת 1993 הוצגה שיטה לבניית פרופיל חשיפה לפי עיסוק (Job Exposure Profile) (Holzner et al, 1993). באותה תקופה הציג Tait שיטה להערכת חשיפה תוך התבססות על סוג תבנית הכוללת מספר רב של פרמטרים שיכולים להשפיע על רמת החשיפה (Tait 1992, Tait 1993). שיטה זו הופיעה גם בצורה ממוחשבת כתוכנה למשתמש. נעשו גם ניסיונות אחרים לבניית תוכנות להערכה ממוחשבת של חשיפת עובדים (Steward et al, 1995). בעבודות שנעשו בשנים האחרונות ניתן לראות ניסיונות לתרגם את רמת החשיפה לרמת סיכון בריאותי, תהליך שיכול להיות מאוד שימושי בקביעת סדרי עדיפויות לחלוקת משאבים לאומיים של מערך בטיחות ובריאות תעסוקתית (2001 Donaghue). במדינות שונות קיימות תבניות שחלקן בנויות באמצעות כלים ממוחשבים, למשל Job Exposure Matrix for exposures associated with occupational asthma (Kennedy, 2006). במשרד התמ"ת, אגף הפיקוח על העבודה, יוצרו תבניות, שמבוססות על נתוני פרוייקט מיפוי סיכונים גיהותיים בתעשייה וכוללת חשיפה פוטנציאלית בלבד, ללא התייחסות לתוצאות של בדיקות ניטור.

בין הענפים, שלגביהם כדאית הערכה של תבניות חשיפה הסתברותיות נבחר ענף המוסכים וטיפול ברכב. הגדרת הענף על פי סיווג הלשכה המרכזית לסטטיסטיקה היא: כלי רכב, אופנועים ואופניים – מכירה, אחזקה ותיקון, ומספרו בסיווג הוא 50.

אוכלוסיית העובדים במוסכים היא מהגדולות ביותר מבין ענפי התעשייה, בפרט בסקטור של מפעלים קטנים. סה"כ מספר מקומות עבודה בענף קרוב ל-4,700 ובהם עובדים כ-33,000 איש – מקום שני במספר עובדים אחרי מסגרות.

בזמן האחרון, עם הוצאת האסבסט משימוש בעבודה במוסכים, ירדה ההתעניינות בענף זה מצד אנשי מקצוע בתחום הגיהות ובריאות תעסוקתית. יחד עם זאת, מחקרים שנערכו לאחרונה מצביעים על הימצאות של חשיפות משמעותיות לגורמים אחרים בענף (Sparer et al, 2004., Barregard, 2003, Ennander et al, 2004). קיים מיגוון גורמי סיכון כימיים ופיסיקליים בענף ומספר החשופים הפוטנציאליים גדול יחסית לענפים אחרים.

בספרות במקצועית חסרים דיווחים על הערכת חשיפה בענפים בעלי אופי שירותי ותחזוקתי, כדוגמת ענף המוסכים, לפי גישה המנתחת חשיפה במטלות בהשוואה לניתוח חשיפה בתהליכים.

המחקר הנוכחי שם לו למטרה לבנות תבנית (מטריצה) שניתן יהיה לאמוד באמצעותה את ההסתברות לדרגות חשיפה שונות לגורמי סיכון במוסכים כתלות בתנאי העבודה והחשיפה של תרחיש נתון בעבודת מוסך. זאת ע"י שילוב שיטה חצי כמותית להערכת חשיפה פוטנציאלית במוסכים יחד עם ניטור של גורמי סיכון מייצגים. בשלב ניתוח חשיפה בתהליך עבודה על פי השיטה, בוחן המחקר כלי בקרה המכוון להפרדת התהליך למטלותיו וניתוח החשיפה בכל אחת מהן על מנת לצמצם את אי הוודאות להתרחשות חשיפות חריגות קצרות. כמטרה נוספת הציב לעצמו המחקר לפתח תוכנה ממוחשבת לתבנית החשיפה על פי מודל.

שיטות מחקר

תפישת תהליך ומטלה והגדרותיהם

בטרם הפעלת המתודולוגיה של המחקר ניתנו הגדרות לתהליך ולמטלה שהיוו בסיס לבחירתם ולמיונם. תהליך הוגדר כיחידת עבודה בלתי תלויה של טיפול ברכב או במכלול חלקים ממנו, המאופיינת בשרשרת פעולות, לעתים בעלות מכנה טכנולוגי או טכני משותף, והיא מביאה למוצר טיפול מוגמר בסיומה, או לסיומו של שלב בטיפול. מטלה הוגדרה כפעולה מוגדרת או שלב בשרשרת הפעולות של תהליך. לעתים יש תלות בין המטלות כדי להביא לסיום תהליך.

מתודולוגיית המחקר

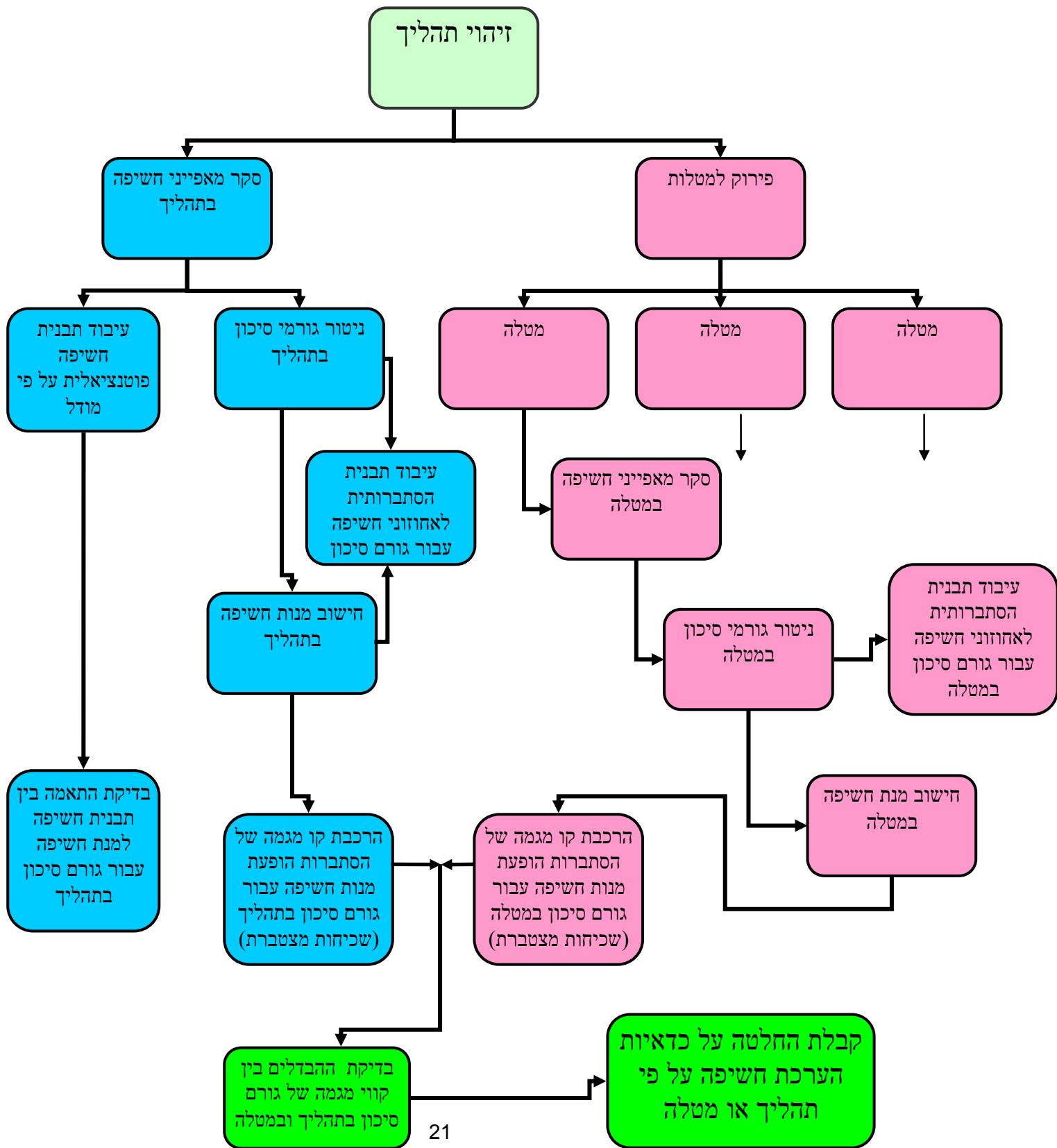
במחקר נכללו 50 מוסכים, מתוכם 35 מוסכים אזרחיים ו-15 מוסכים צבאיים (סדנאות). המדגם כלל מוסכים מאזור הצפון, המרכז (לרבות אזור ירושלים) והדרום. הגדרות התהליך והמטלה, או שלב הפעילות, יצרו מסגרת בעלת השלכה על המתודולוגיה ושיטות העבודה במחקר. על פי ההגדרות, משך העבודה בתהליכים ותדירותם יכולים להשתנות בין סוג תהליך אחד לסוג תהליך אחר וכך גם משך מטלה ותדירותה. תהליך יכול להיות מחזורי ביום עבודה ועל כן תחזורנה גם מטלותיו. משתני חשיפה תעסוקתית במחקר, כגון משך, תדירות, שיטת עבודה, אמצעי בקרה, רמות חשיפה וכו' אופיינו עבור יחידת תהליך מכל סוג ויחידת מטלה בתהליך ולא עבור מספר מחזורים שלהם במשמרת עבודה. משמעות הפרדה זו היא שתבניות החשיפה שפותחו במחקר מאפיינות חשיפה על פני תהליך או על פני מטלה ולא על פני משמרת עבודה. נגזרת מכאן ההשלכה על החשיפה המשוקללת ביום עבודה. ההנחה הבסיסית במחקר היתה שכל מחזור של אותו תהליך ואותה מטלה במקום נתון מתבצעים באופן דומה באותן שיטות עבודה ולכן כל המשתנים המאפיינים את החשיפה בכל מחזור של תהליך נתון או מחזור מטלה דומים ביניהם ומכך תיגזר חשיפה ממוצעת דומה במחזורים דומים של תהליך או מטלה. ההצדקה לבחירת יחידת תהליך כיחידת עבודה מייצגת נובעת מאופי העבודה במוסך. עבודה זו אינה בעלת אופי של תעשייה יצרנית, אלא תעשייה תחזוקתית. עקב כך, פס ה"יצור" במוסך מורכב מאוסף תהליכים שיש ביניהם הפסקות לא שוות וניתן להגדיר גבולות התחלה וסיום ביניהם, לדוגמה, סדרת תהליכים המופעלת על רכב אחד עד לסיום הטיפול ברכב והתחלת כל סדרת התהליכים מחדש באופן מחזורי ברכב אחר באותה משמרת עבודה. שונות העבודה גבוהה בין מוסכים. תדירות המחזורים תלויה

בגודל המוסך ומספר עובדיו ובמספר הרכבים המטופל בו-זמנית, או באותו יום עבודה במוסך. השונות בתדירות אינה מאפשרת יצירה של בסיס אפיון אחיד בין מוסכים ואופי העבודה אינו מאפשר הגדרה אחידה של תבנית חשיפה שהבסיס שלה הוא משמרת עבודה. במוסכים שונים יכולים עובדים לבצע תהליכים שונים במשמרת עבודה, אך עובד אחד לא בהכרח מיועד לבצע תהליך מסוג אחד באופן מחזורי על פני משמרת עבודה.

לאור כל זאת סברו החוקרים שהגדרה של יחידת תהליך או יחידת מטלה בענף המוסכים מתאימה לצורך יצירת תבנית חשיפה יותר מהגדרת יחידת משמרת עבודה. אפיון יחידת תהליך מייצגת, כפי שהוגדרה, מאפשר הסקה לגבי חשיפה משוקללת על פני משמרת אם ידוע מספר מחזוריו ביום עבודה ומשך מרווח ההפסקות ביניהם. מצב זה עשוי להשתנות בתעשיות אחרות כתלות באופי ומשטר העבודה והחשיפה בהן.

תרשים הזרימה של מתודולוגיית המחקר מוצג באיור מס' 1.

איור מס' 1: תרשים זרימה של מתודולוגיית המחקר



סיווג תהליכים ושיטות איסוף נתונים להערכה איכותנית של חשיפה

מאגרי נתונים של סקרים וניטורים סביבתיים שנאספו במשרד התמ"ת בשנים האחרונות שימשו כבסיס למיון תהליכי עבודה במוסכים שהשתתפו במחקר. בכל מוסך התבצע מיון תהליכים ומטלות ונערך סקר לאיפיון תהליכי העבודה והמטלות ולאיפיון משתני החשיפה הרלוואנטיים. נבחרו קטיגוריות התהליכים השכיחים ביותר על מנת להשיג מספר מספיק של תצפיות לצורך הסקת מסקנות והשגת מטרות המחקר.

מיון התהליכים והתפלגות מספרי המוסכים על פי מקורות המידע השונים מוצגים בטבלה מס' 1. מיון תהליכים אלה נקבע במחצית הראשונה של שנות התשעים (המאה שעברה) כחלק מפרוייקט למיפוי סיכונים במקומות עבודה, שנערך בישראל בתמיכת הועדה לפעולה מונעת במשרד התמ"ת (פרוייקט מיפוי סיכונים גיהותיים פוטנציאליים בתעשייה, 2004). בוצע ניתוח של שישה מאגרי מידע בהם נמצאים נתונים לגבי סיכונים בענף מוסכים: מאגר מידע של מערכת 'אפיק', מאגר מידע של מערכת 'מב"ת' של צה"ל, מאגר של פרוייקט מיפוי סיכונים גיהותיים פוטנציאליים בתעשייה 1994-2000, מאגר של פרויקטים סקר מכין (כולל פרוייקט מפעלים קטנים) של המכון לבריאות תעסוקתית וסביבתית ושל המוסד לבטיחות ולגיהות ומאגר פרוייקט סיוע למפעלים קטנים של תמ"ת. המאגר השישי הינו מאגר בדיקות סביבתיות של המעבדה לגיהות תעסוקתית של תמ"ת. נתוני צה"ל לא היו ממוחשבים ולכן נסקרו דרך מסמכים רלוואנטיים.

טבלה מס' 1: מיון מידע על כמות מוסכים ותהליכי עבודה בהם על פי מאגרי מידע שונים.

מספר מוסכים ומקור מאגר המידע					סיווג מוסכים על פי עיסוק	קוד ענף
דוח"ת סקר מכין	דוח"ת סקר (מיפוי)	דוח"ת ניטור סביבתי	מפעלים קטנים	מערכת הפיקוח של התמ"ת		
36	288	317	516	3575	מוסכים כלליים לתיקון כלי רכב מנועיים	5010
24	149	149	138	1256	פחחות וצבעות רכב	5011
	12	13	43	614	חשמלאות רכב	5012
	1	1	2	58	תיקון מאיידים (קרבורטורים)	5013
	1	1	1	32	ריפוד רכב	5014
	12	17	47	402	תיקון צמיגים ואבובים	5015
	1	2	5	141	שירותי סיכה ורחיצה	5016

מספר מוסכים ומקור מאגר המידע					סיווג מוסכים על פי עיסוק	קוד ענף
דוחו"ת סקר מכין	דוחו"ת סקר (מיפוי)	דוחו"ת ניטור סביבתי	מפעלים קטנים	מערכת הפיקוח של התמ"ת		
2	7	8	13	148	תיקון כלי רכב מנועיים לנמ"א	5019
62	471	508	765	6226	סה"כ	

לאחר בדיקת התאמת המינוח שבטבלה הנ"ל למצוי בשטח התברר שלא בכל המקרים תאם המינוח את רמת הפרדה והמיון שנדרשה לביצוע המחקר ולכן היה צורך לקבץ פעולות ותהליכי עבודה באופן שונה שישקף את התצפיות במוסכים ויתאים למטרות המחקר.

במחקר נכללו 50 מוסכים, מתוכם 35 מוסכים אזרחיים ו-15 מוסכים צבאיים (סדנאות). המדגם כלל מוסכים מאזור הצפון, המרכז (לרבות אזור ירושלים) והדרום. בעת ההתקשרות עם המוסך הוסברה מטרת המחקר ושיטת איסוף הנתונים.

בכל מוסך התבצע מיון תהליכים ומטלות ונערך סקר לאפיון תהליכי העבודה והמטלות ולאפיון משתני החשיפה הרלוואנטיים. נבחרו קטגוריות התהליכים השכיחים ביותר על מנת להשיג מספר מספיק של תצפיות לצורך השגת מטרות המחקר ובדיקת השערותיו. לא נכללו תהליכים שלא משתמשים בהם בחומרים כימיים או שאין בהם פיזור וחשיפה ועל כן לא ניתן לבנות בהם תבניות חשיפה מתאימות למטרות המחקר.

לאיסוף נתוני הסקר במוסך שימש שאלון מובנה המוצג בנספח מס' 1. חלק אחד בשאלון התייחס לתהליך וחלק אחר למטלה. השגת פרטי הנתונים התבססה על תצפיות במוסך ועל מידע מבעלי המוסך ועובדיו. על מנת לבדוק את חד ערכיות הפירוש של כל שאלה בשאלון ואת אחידות ועקביות המידע המושג והתאמתו להשגת מטרת המחקר מולא שאלון כפיילוט ע"י ארבעה סוקרים בעלי ניסיון בעריכת סקרי חשיפה ונבדקה הבנת התוכן ורמת האחידות בבחירת התשובות לשאלות בשאלון.

לאחר זיהוי התהליכים הנפרדים במוסך פורק כל תהליך למטלות על פי שלביו. בכל תהליך כיחידה שלמה ובכל מטלה בתהליך נאספו בנפרד נתונים שהיוו את המשתנים הבלתי תלויים: משך, תדירות, שיטת עבודה מאפיינת, גורמי סיכון כימיים נוכחים והרמה המרבית שלהם המותרת לחשיפה, כמות גורם הסיכון בעת ביצוע התהליך או המטלה, צורת הופעת גורם הסיכון באוויר בעת החשיפה, אמצעי הבקרה הנדסיים, ניהוליים ואישיים בכל תהליך ובכל מטלה.

כל משתנה בלתי תלוי כלל מספר קטגוריות והסוקר בחר כתשובה את הקטגוריה המתאימה לתיאור המצב. כך, לדוגמה, הכילו השאלות על משך התהליך ותדירותו, כל אחד מהם, שש קטגוריות אפשריות לבחירת תשובה, שיטת העבודה הכילה שבע קטגוריות אפשריות כתשובה ובקרת סביבה הכילה עשר קטגוריות אפשריות.

מדידת רמות חשיפה נשימתית (ניטור סביבתי – תעסוקתי)

בכל תהליך ומטלה נערכו דגימות אוויר אישיות להערכת רמת החשיפה לגורמי סיכון כימיים. הערכת רמת החשיפה של גורמי סיכון בתהליך התבצעה על פני משך התהליך וזו של גורם סיכון במטלה התבצעה על פני הזמן המלא של אותה מטלה.

בחירת חומרים לניטור סביבתי התבססה על הקריטריונים הבאים:

1. השימוש בהם שכיח ושגרת,;
2. ניתן להשיג מהם מדגם דגימות מספק בתהליך ובמטלה,
3. קיימות עבורם שיטות ניטור זמינות,
4. נקבעו להם תקני חשיפה או ניתן לייחס להם תקן חשיפה הכולל רמה מירבית מותרת לחשיפה.
5. פיזורם באוויר הוא כחלקיקים מוצקים או טיפתיים או כגזים ואדים.

מספר חומרים לא ענו על כל הקריטריונים לעיל ולכן לא הוכנסו למדגם. לדוגמה, בנזואיל פראוקסיד, המשמש כמאיץ לפולימרים, לא הוכלל כיוון שלא ניתן היה להגיע למספר מספק של דגימות. חלקיקים בלתי מסווגים או אבק מחלקיקים מעורבים נדגמו על מסנן PVC (קוטר 37 מ"מ, גודל נקבים 5µ) וריכוזם באוויר נקבע בשיטה גרבימטרית. נדפי מתכות או אבק מתכות נדגמו על מסנן מאסטר צלולוזה מעורב (MCE, קוטר 37 מ"מ, גודל נקבים 0.8µ) וריכוזם באוויר נקבע בשיטת ICP לאחר איכול המסנן בחומצה. אדי ממיסים אורגניים נדגמו על חומר סופח - פחם פעיל מסוג Anasorb CSC (אצטון, בנזן, בוטיל אצטט, אתיל אצטט, בוטנול, ציקלוהקסן, דיזל, אתיל בנזן, הקסן, הפטן, טולואן, קסילן, סטירן, קרוסין, פטרוליאום נפטא, ספירט לבן, טרפנטין מינרלי, טרימתיל בנזן, איזופרופנול), או פחם פעיל מסוג Anasorb CMS (מתיל אתיל קטון, מתיל איזובוטיל קטון). אווירוסול טיפתי של שמנים מינראליים נדגם על מסנן מאסטר צלולוזה מעורב (MCE) או על מסנן PVC. אנליזת השמן נעשתה בשיטת הספקטרופוטומטריה של אינפרה אדום. סיבים מינראליים מלאכותיים נדגמו על מסנן MCE מרושת (קוטר 25 מ"מ, גודל נקבים 0.8µ) ונספרו במיקרוסקופ אור מקוטב על פי שיטת RTM1. שיטת הבדיקה של סיבים מבוססת על פרוטוקול בדיקה שאומץ ע"י משרדי התמ"ת והגנת הסביבה כשיטה רשמית וכל שיטות הבדיקה האחרות מבוססות על שיטות המכון הלאומי האמריקאי לבטיחות ובריאות (NIOSH). שיטות אלה מאושרות על ידי אגף הפיקוח של משרד התמ"ת (<http://www.cdc.gov/niosh/docs/2003-154/method-a.html>).

ניתוח נתוני ניטור והערכת חשיפה

רמות החשיפה שהתקבלו בניטור חושבו כמנת חשיפה. מנת חשיפה הוגדרה כיחס שבין ריכוז גורם הסיכון באוויר לבין הרמה המירבית המותרת לחשיפה לגורם זה. מנות חשיפה של ממיסים אורגניים חושבו הן כממיסים בודדים והן עבור תערובת ממיסים באותו תהליך או באותה מטלה על פי הנחיות ה-ACGIH (2009). מנת חשיפה היא תוצאה מנורמלת ועל כן ניתנת להשוואה בין גורמי סיכון שונים. הרמה המירבית המשוקללת (TLV-TWA) של החומרים שנבדקו שימשה כבסיס לחישוב מנת החשיפה לחומרים אלו בתהליך, גם אם משך התהליך היה קצר מ-8 שעות שמהוות את בסיס הזמן

בתקן החשיפה של הרמה המירבית המשוקללת. בכל התהליכים והמטלות לא הופיע חומר שנקבעה לו רמת תקרה. לעומת זאת, משך הזמן הקצר של מטלות התאים יותר להגדיר את מנת החשיפה בהן כיחס שבין רמת החומר באוויר לבין הרמה המירבית המותרת לזמן קצר (TLV-STEL). לחלק מהחומרים לא נקבעה רמה מירבית לזמן קצר ולכן, על פי הנחיית ACGIH, מותרת חריגה עד חצי שעה לרמות הגבוהות פי 3 עד פי 5 מהרמה המירבית המשוקללת של החומר בתנאי ועל פני כל המשמרת החשיפה לא חרגה מהרמה המרבית המשוקללת. רמה הגבוהה פי שלוש מה – TLV-TWA שמשה כבסיס לחישוב מנת החשיפה של גורמי הסיכון במטלות. הרמה המירבית המשוקללת שנבחרה כנקודת יחוס לאבק בתהליכים מכניים הייתה 10 מ"ג/מ"ק. רמה זו נקבעה עבור חלקיקים בלתי מסווגים. רוב החלקיקים בתהליכים או מטלות מכניים המעבדים חומרים מינרליים ופולימרים אורגאניים מתאימים להגדרת חלקיקים בלתי מסווגים. זהותם של חלקיקי אבק שאינו בלתי מסווג, כגון מרכיבים באבק צמיגים, אינה ידועה ולכן הוחלט ליחס את ריכוזיהם באוויר לרמה של 10 מ"ג/מ"ק מתוך הנחה שערך יחוס זה לא יפגע ביכולת ההשוואה בין התנהגות מנת החשיפה בתהליך לבין התנהגותה במטלה אם שניהם מנורמלים לפי אותו בסיס. במספר מקרים לא ניתן היה לבדוד טלק מתערובת חלקיקים של חומרים שונים. ריכוז המשקלי בתערובת מילוי עשוי להגיע עד 35%, אולם בדרך כלל הוא נמוך יותר ורוב התערובת מכיל חומרים המסווגים כחלקיקים בלתי מסווגים. בתערובות שהכילו טלק הועדף להחיל על כל התערובת את הרמה המירבית המשוקללת של טלק. כאמור, העדפה זו אינה פוגעת ביכולת הסקת מסקנות לגבי הבדלים בחשיפה בין תהליך למטלה, מה גם שמטרת הבדיקה במחקר לא היתה להעריך את החשיפה המשוקללת של עובד המוסך על פני משמרת עבודה.

בכל תהליך ומטלה נבדקה התפלגות מנות החשיפה של החומרים השונים והופעלה סטטיסטיקה תיאורית לחישוב ממוצע וסטיית תקן על בסיס התפלגות לוג-נורמלית.

ההנחה הבסיסית בטיפול הסתברותי סטטיסטי במדגם כלשהו, שבבסיסו מונחת התפלגות סטטיסטית מוגדרת, היא שהמדגם הוא נציג של אוכלוסייה שמתוכה ניתן לחלץ אינסוף מדגמים וכולם יראו התנהגות דומה אם הם מייצגים את האוכלוסייה שממנה נדגמו. סידור נתונים של מדגם רמות חשיפה בסדר עולה בתוך קבוצה בעלת חשיפה דומה (Similar Exposure Group) מתאר מיקום הסתברותי של כל רמה בקבוצה זו. מיקום רמת חשיפה נתונה בתוך סולם עולה של קבוצת רמות חשיפה מצביע על האחוזון ההסתברותי להופעה של רמה זו במדגם ועל השכיחות המצטברת שמייצגת רמה זו במדגם. ציור הערכים של רמות החשיפה על נייר הסתברות כנגד האחוזונים ההסתברותיים של הופעתן והעברת קו בעל טיב התאמה מיטבי דרך הערכים מספק קו מגמה הסתברותי המתאר את התנהגות אוכלוסיית רמות חשיפה עבור תרחיש חשיפה נתון. על מנת לבדוק את קווי המגמה ההסתברותיים של תוצאות ניטור, ציורו מנות החשיפה השייכות לקבוצה משותפת של חומרים באותו תהליך ובאותה מטלה על צירי נייר הסתברות לאחר שנבדק סוג ההתפלגות של המדגם. קווים אלה הושגו כצמידים עבור כל תהליך ועבור כל המטלות השייכות אליו. השוואת העמדה היחסית של קו מגמה ההסתברותי של מנות חשיפה בתהליך לקו מגמה שלהן במטלות מראה את ההבדלים בין התנהגות רמות החשיפה בזמן קצר לבין

התנהגותן כממוצע משוקלל בזמן ארוך יותר. תמונת קווי מגמה שבה התקבל מרחק משמעותי בין קו התהליך לקו המטלה מצביעה על כך שהתנהגות החשיפה לגורם סיכון נתון על פני תהליך שונה מהתנהגותה לאותו גורם סיכון על פני מטלה. תמונת קווי מגמה סמוכים או חופפים בין תהליך למטלה מצביעה על התנהגות דומה של חשיפה בשני המצבים. קווי המגמה היוו נקודת החלטה להמלצה האם עדיף להתמקד בהערכת חשיפה בתרחיש נתון על פי החשיפה על פני תהליך או על פני החשיפה על פי מטלה.

פיתוח תבנית חשיפה פוטנציאלית לתהליך עבודה על פי מודל ומדידה

תבנית חשיפה היא מטריצה המאגדת בתוכה מאפייני וגורמי חשיפה. תוצאת התרומה היחסית של כל מאפיין וגורם האינטראקציה ביניהם מספקת מוצר משוקלל המוגדר כדרגת חשיפה. במחקר זה התבנית מכילה מאפיינים וגורמים של חשיפה נשימתית בלבד והיא נקראת תבנית חשיפה נשימתית. כאשר התרומה היחסית של כל מאפיין וגורם לחשיפה הוערכו על פי שיפוט מקצועי (Professional judgment) שניזון מסקר החשיפה שנערך במוסך, שם התבנית הוא "תבנית חשיפה פוטנציאלית" ודרגת החשיפה המהווה מוצר משוקלל היא דרגת חשיפה איכותנית. כאשר דרגת חשיפה זו כתוצר של מטריצת התבנית הושוותה לתוצאות הניטור סביבתי כדי לקבל את אומדן ההתאמה ביניהם, שם התבנית הוא "תבנית הסתברותית" והיא אומדת את ההסתברות למנת חשיפה נשימתית בתרחיש נתון כתלות במאפייני החשיפה וגורמיה באותו תרחיש. דרגת החשיפה האיכותנית נקבעה כדרגה בסולם חשיפה בן שלושה תחומים יחסיים: תחום חשיפה זניחה עד נמוכה, תחום חשיפה בינונית, תחום חשיפה גבוהה עד גבוהה מאד. תחום החשיפה הפוטנציאלית הנמוכה הוגדר כתחום האומד פוטנציאל לקבלת מנת חשיפה נשימתית נמוכה במדידה, הנעה בין מנה זניחה לבין רמת הפעולה (50% מהרמה המירבית המותרת). תחום החשיפה הפוטנציאלית הבינונית הוגדר כתחום האומד פוטנציאל לקבלת מנת חשיפה נשימתית במדידה, הנעה בין רמת הפעולה לבין הרמה המירבית המותרת. תחום החשיפה הפוטנציאלית הגבוהה אומד פוטנציאל לקבלת מנת חשיפה נשימתית במדידה של רמות הגבוהות מהרמה המירבית המותרת. מאפייני החשיפה בתהליך שהוכנסו כמשתנים לתבנית החשיפה הפוטנציאלית הם:

1. משך החשיפה לגורם סיכון נתון
2. תדירות החשיפה לגורם
3. צירוף של שיטת העבודה ותנאי החשיפה בתהליך
4. הרמה המירבית המותרת לחשיפה
5. צורת הפיזור של גורם הסיכון באוויר
6. כמות גורם הסיכון בתרחיש החשיפה
7. בקרת המקור בתהליך
8. סוג בקרת הסביבה בתהליך.

בקרת הגנה אישית לא הוכנסה לתבנית כיוון שאינה משפיעה על פיזור החומר באוויר כתוצאה מהתהליך. כיוון שבכל משתנה יש מספר אפשרויות בחירה שאחת מהן מתאימה לתרחיש נתון בעבודת

המוסך, ניתן ציון או ניקוד לכל אפשרות כך שתבנית חשיפה פוטנציאלית הורכבה מאוסף ציונים בהתאם לתרחיש. הציונים שנקבעו לכל האפשרויות למשתנה אחד ניתנו כסולם הירארכי מנמוך לגבוה או מגבוה לנמוך בהתאם לעוצמת האפשרות בתוך המשתנה ותרומה לחשיפה על פי שיפוט מקצועי. נספח מס' 2 מציג את לוח הציונים של האפשרויות השונות בכל משתנה.

משתני החשיפה בתהליך חולקו בין שלושה גושים:

גוש אחד הכיל את משך החשיפה, תדירות החשיפה וצירוף שיטת העבודה בתהליך. גוש שני הכיל את הרמה המירבית המותרת לחשיפה, צורת הפיזור של גורם הסיכון באוויר ואומדן כמות גורם הסיכון בתרחיש החשיפה. גוש שלישי הכיל את כל סוגי הבקרה בתהליך. כל גוש היווה ציר בעל ציון משוקלל שניתן על פי הכללים הבאים:

1. ציר X: גוש תנאים בחשיפה ושיטת עבודה.

הציר של כל משתנה בשלושת המשתנים בגוש זה נורמל כיחס בין הציון של האפשרות הנבחרת בתרחיש החשיפה לבין הציון המקסימאלי באותו משתנה. הציון המנורמל של משך החשיפה שוקלל עוד ע"פ היחס בין משך החשיפה בתהליך לבין 8 שעות חשיפה במשמרת עבודה (בסיס הזמן בתקן החשיפה). הציון המנורמל במשתנה תנאי החשיפה ושיטת העבודה שוקלל עוד ע"י הכפלה במקדם כוח פיזור (מקדם אגרסיביות) המבטא את פוטנציאל הפיזור הסביבתי עקב הכוח המופעל על גורם הסיכון בתהליך. המקדם הוא מקדם איכותי המנסה להעריך את פוטנציאל הפיזור כתוצאה של שילוב בין מקור הכוח של כלי העבודה בשיטת העבודה כגון כוח הידראולי, או חשמלי, או פניאומאטי לבין מהות החומר המעובד והכוח המופעל ע"י העובד.

הציון המשוקלל של גוש תנאי החשיפה (ציר X) נקבע ע"י חיבור הציונים המשוקללים של כל משתנה בגוש מתוך ההנחה שתרומת המשתנים היא אדיטיבית.

2. ציר Y: גוש תכונות גורם הסיכון הכימי.

הציון של כל משתנה בשלושת המשתנים בגוש זה נורמל כיחס בין הציון של האפשרות הנבחרת בתרחיש החשיפה לבין הציון המקסימאלי באותו משתנה. הציון המנורמל של הרמה המירבית המותרת לחשיפה שוקלל עוד ע"פ היחס בין משך החשיפה בתהליך לבין 8 שעות חשיפה במשמרת (בסיס הזמן בתקן חשיפה). השקלול הנוסף של רמת החשיפה נעשה כדי להתחשב בשקולת מנת החשיפה בפועל לעומת מנת החשיפה המקסימאלית המותרת אילו היה התהליך מתבצע משמרת מלאה ברציפות. הציון המשוקלל של גוש תנאי החשיפה (ציר Y) נקבע ע"י חיבור הציונים המשוקללים של כל משתנה בגוש מתוך ההנחה שתרומת המשתנים היא אדיטיבית.

3. ציר Z: גוש אמצעי הבקרה ההנדסיים.

הציונים של המשתנים בגוש זה מבטאים את הצמצום של רמת החשיפה כתוצאה מסוג הבקרה המופעלת ולכן הירארכיית הציונים הפוכה והציון של אפשרות בכל משתנה עולה ככל שעוצמת הצמצום המבוטאת באפשרות גבוהה יותר. לכן הופכי הציון של כל אפשרות נבחרת נלקח כתרומה החלקית של כל משתנה.

כאשר לא הייתה כל בקרה בתהליך נקבע הציון על ציר Z כברירת מחדל שהיא הממוצע של שני הציונים המשוקללים משני הצירים האחרים. כאשר הייתה בקרה בתהליך נקבע הציון המשוקלל של תרומת הבקרה על ציר Z על ידי הכפלת הציון של כל אחד מהצירים האחרים בהופכי הציון של האפשרות הנבחרת בגוש הבקרה וסיכום המכפלות.

במודל גרפי שפותח, הוצבו שלושת הציונים המשוקללים משלושת הגושים כנקודות על מערכת צירים אורתוגונאלית היוצרת טטרהאדר מרחבי ישר זווית. חיבור שלושת הנקודות יוצר במרחב הטטרהאדר משולש ששטחו ניתן לחישוב על פי הנוסחה:

$$S = [(xy/2)^2 + (xz/2)^2 + (yz/2)^2]^{0.5}$$

שטח המשולש במרחב הוא דרגת החשיפה הפוטנציאלית האיכותנית ומייצג את תבנית החשיפה. נספח מס' 3 מציג את שיטות החישוב של הציונים המשוקללים בכל ציר המייצג גוש מאפייני חשיפה וכן את חישוב שטח המשולש במרחב הכלוא בין הצירים. שטח המשולש מייצג תבנית בעלת דרגת חשיפה פוטנציאלית. במקביל חושב שטח משולש מקסימאלי המייצג דרגת חשיפה מקסימאלית אפשרית ע"פ המודל המוצג. השטח המקסימאלי חולק ל- 3 גזרות יחוסיות, המקבילות לשלושת תחומי החשיפה הייחוסיים לעיל, כאשר כל גזרה מייצגת תחום חשיפה פוטנציאלית איכותנית מתחום נמוך לגבוה. שטח המשולש בתרחיש חשיפה נתון ועפ"י הציונים שחושבו הושווה לשטח של גזרה יחוסית ועל פי השוואה זו נקבעה דרגת החשיפה הפוטנציאלית של תרחיש החשיפה הנתון.

על מנת לחפש מיתאם ניבוי בין תוצאת המודל של תבנית החשיפה הפוטנציאלית לבין החשיפה הנשימתית בפועל הושוו תוצאות התבנית הפוטנציאלית לתוצאות הניטור המתייחס לאותה תבנית ונקבעה מידת ההתאמה ביניהם.

לצורך שימוש בתבניות חשיפה ע"י משתמשים פוטנציאליים פותחה תוכנה באפליקציית WEB לגישה דרך אינטרנט. יעד התוכנה הוא להציג למשתמשים מידע לגבי רמת החשיפה הפוטנציאלית בעבודה בחומרים כימיים. התוכנה כוללת אפליקציה אחידה לכל המשתמשים המבוססת על אינטרנט (בטכנולוגיית ASP) עם התקנה אחת בשרת אינטרנט. היתרון בשיטה זאת הוא ביכולת התחזוקה. המערכת שפותחה שייכת למערכות תומכות החלטות ומבוססת על אלגוריתם שפותח על סמך המידע לגבי חשיפות עובדים לחומרים כימיים ועל המתודולוגיה הייחודית של קביעת רמות הסיכון עקב חשיפה נתונה בהתאם לתנאי עבודה. כבסיס הנתונים שימש My SQL. מבנה הנתונים במערכת מאורגן כך שבליבת התוכנה עומדת טבלה (T_Main) הכוללת את כל צירופי הנתונים שנאספו בשטח. עם זאת, מול כל צירוף יעמדו ערכים מחושבים של הסתברות להופעתו בשטח והערכים של רמת הסיכון לעובד שיחושבו על סמך האלגוריתם שפותח. נספח מס' 4 מציג את איפיון המערכת הממוחשבת לתבניות הסתברותיות להערכת חשיפה.

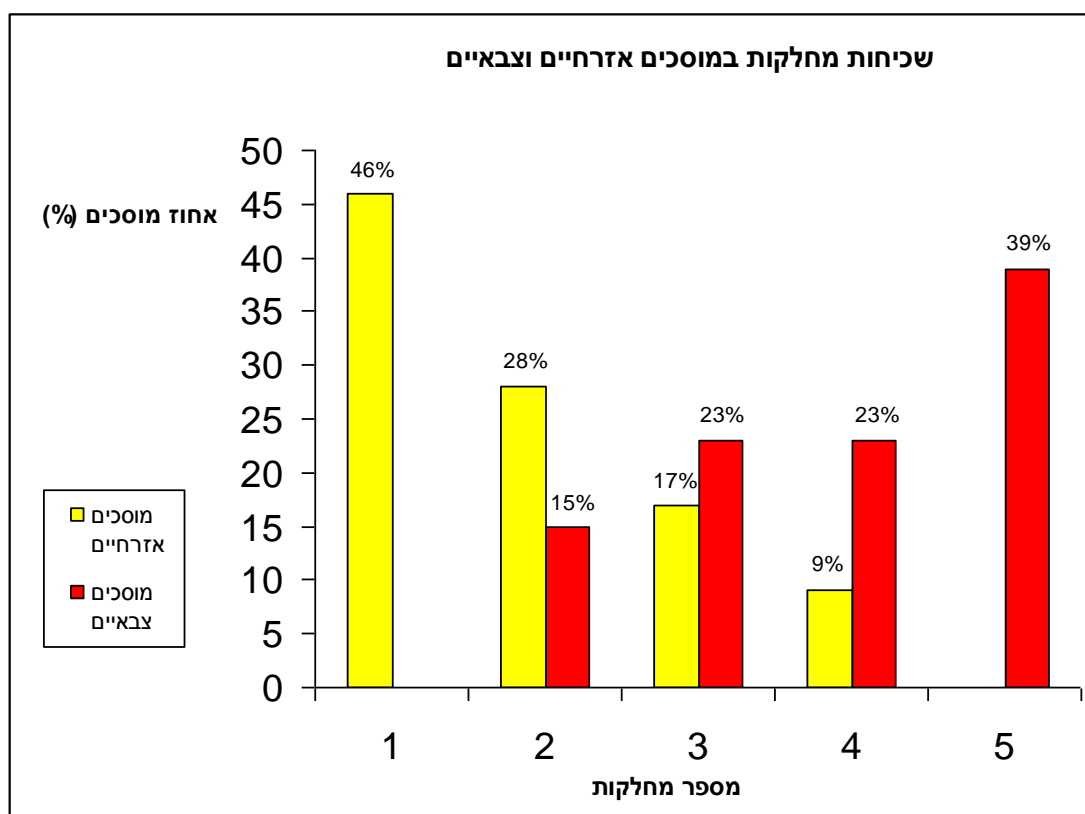
תוצאות המחקר

תיאור אוכלוסיית המוסכים

מוסכים הם בדרך כלל מקומות עבודה קטנים למעט מוסכים של חברות רכב גדולות. מוסכיהם של גופים כגון חברות אוטובוסים ומשטרה אינם גדולים כיוון שהם מפוזרים במספר אתרים כיחידות תפעול נפרדות ובכל אתר מספר העובדים אינו גדול. מספר העובדים ברוב במוסכים האזרחיים שנכללו במחקר אינו עולה על 15 ומכאן שהם מקומות עבודה קטנים.

מדד לגודל המוסך הוא מספר המחלקות או התהליכים המתבצעים בו. איור מס' 1 מציג את שכיחותן של מחלקות עקריות במוסכים אזרחיים וצבאיים כביטוי לגודל מקום העבודה. ב- 16 מוסכים אזרחיים היתה מחלקה אחת וברוב המקרים היא מחלקת מכונאות. ב- 10 מוסכים אזרחיים היו שתי מחלקות, בעיקר מחלקות פחחות וצביעה, או מחלקות מכונאות ותיקון תקרים. ב- 6 מוסכים אזרחיים היו שלוש מחלקות, בעיקר מחלקות מכונאות, פחחות וצביעה. רק ב- 3 מוסכים אזרחיים הופיעו ארבע מחלקות: מכונאות, פחחות צביעה ומסגרות. מדד המחלקות מראה שכ- 75% מהמוסכים האזרחיים מכילים עד שתי מחלקות בעלות מספר עובדים מצומצם.

איור מס' 2: שכיחות מחלקות במוסכים אזרחיים וצבאיים.



התמונה הפוכה במוסכים צבאיים, אך גם בהם מספר העובדים אינו מקביל לזה של מפעל בינוני או גדול בתעשייה הישראלית. המוסכים הצבאיים משרתים רכבים באופן אזורי ולכן מכילים במקובץ מספר מחלקות ותהליכים המאופיינים במספר גבוה יותר של עובדים בהשוואה למספרם במוסכים אזרחיים. מסיבה זו, רוב המוסכים הצבאיים מכילים גם את מרבית התהליכים מבין התהליכים המאופיינים. כמעט כל המוסכים הצבאיים מתבצעים תהליכי מכונאות, מסגרות וצביעה. תהליכי פחחות ותיקון תקרים מתבצעים בכ- 60% מהם.

מיון התהליכים הוביל לחמש קטיגוריות בולטות של תהליך ולקטיגוריה ששית המופיעה במוסכים צבאיים בלבד ושכיחותה מעטה. טבלה מס' 2 מציגה את קטיגוריות התהליכים שנבדקו ואת שכיחות ופעתם

במוסכים אזרחיים וצבאיים. תהליך המכונאות הוא השכיח ביותר ושכיחותו במוסכים האזרחיים היתה גבוהה מזו בצבאיים. תהליך הצביעה שני בשכיחותו ושכיחות זהה התקבלה לגבי תהליכי המסגרות ותיקון תקרים כאשר תהליך המסגרות שכיח יותר במוסכים הצבאיים מאשר באזרחיים. תהליך תדלוק מלא נצפה בשני מוסכים צבאיים בלבד ולא הופיע באזרחיים. במוסכים האזרחיים נצפו תהליכים נוספים, אך שכיחותם המעטה לא איפשרה להשיג בהם מדגם מספק של תצפיות, סקרי חשיפה ודגימות אוויר ולכן לא הוכללו בחקירת התבניות ההסתברותיות של חשיפה תעסוקתית.

טבלה מס' 2: שכיחות הופעת תהליכים במוסכים

סה"כ	מוסכים צבאיים (סדנאות)	מוסכים אזרחיים	קטגוריית תהליך
45 (36%)	16 (28%)	29 (42%)	מכונאות
21 (16%)	9 (16%)	12 (18%)	פחחות
24 (18%)	11 (19%)	13 (18%)	צביעה
17 (14%)	12 (20%)	5 (7%)	מסגרות
17 (14%)	8 (14%)	9 (15%)	תיקון תקרים
2 (2%)	2 (3%)	0 (0%)	תדלוק
126	58 (100%)	68 (100%)	סה"כ

מגוון רחב של מטלות נצפה בתהליכים שהוכללו במחקר. טבלה מס' 3 מציגה את התפלגות המטלות בכל תהליך ואת שכיחותן היחסית בכלל התהליכים במגזר האזרחי ובמגזר הצבאי. שכיחותם של חלק מהמטלות במוסכים הצבאיים נמוכה מפני שאינן מתבצעות או מפני שתדירות ביצוען נמוכה מאד ולא באה לידי מימוש בשלב איסוף הנתונים.

טבלה מס' 3: שכיחות הופעה של מטלות בתהליכי עבודה במוסכים אזרחיים וצבאיים.

תהליך	מס מטלות	מוסכים אזרחיים	מוסכים צבאיים	סה"כ
מכונאות	22	67 (40%)	42 (33.5%)	109 (37%)
פחחות	4	28 (16.5%)	15 (12%)	43 (14.5%)

צביעה	7	43 (25%)	28 (22%)	71 (24%)
מסגרות	9	13 (7.5%)	24 (19%)	37 (12.5%)
תיקון תקרים	6	18 (11%)	13 (10.5%)	31 (10.5%)
תדלוק	2	0 (0%)	4 (3%)	4 (1.5%)
סה"כ	50	169 (57%)	126 (43%)	295

מספר המטלות בתהליך המכונאות הוא הגבוה ביותר מבין התהליכים כמו גם שכיחות הופעתן של המטלות בתהליך זה. בתוך תהליך המכונאות נפוצות המטלות של החלפת מסננים שונים (שמן, דלק), פירוק גלגלים ושימוש בתרסיסים לניקוי. מריחת חומר מילוי לאטימת פגמים בפח הרכב ושיוף של חומר זה הן מטלות שכיחות בתהליך הפחחות. בתהליך המסגרות שכיחה יחסית מטלת הריתוך ובתהליך הצביעה שכיחם הכנת צבע, צביעה בריסוס וצביעת יסוד. מטלת הדבקה בתיקון תקר היא בעלת השכיחות הגבוהה בתהליך זה. נספח מס' 5 מציג את רשימת המטלות ושכיחותן היחסית בתהליכים שנבדקו.

מגוון גדול של גורמי סיכון כימיים נמצא בשימוש במוסכים. בעוד שבמוסכים צבאיים החומרים אחידים בין המוסכים עקב מדיניות וייעוד צה"ליים אחידים, במוסכים אזרחיים בחירת החומרים חופשית ומוצר המיועד לאותו שימוש מיוצר ע"י יצרנים שונים. טבלה מס' 4 מסווגת את החומרים הבולטים במוסכים על פי תהליכי עבודה ועל פי שייכותם לקבוצות בעלות מכנה גיהותי-כימי משותף. הקבוצות הן:

- ממיסים אורגניים: נמצאו בשימוש בכל התהליכים. שכיחותם בצביעה היא הגבוהה ביותר. בנוסף למדללי צבעים נמצאו גם ממיסים בתרסיסי ניקוי והסרת שומנים, ממיסים בחומרי הדבקה, ממיסים בחומרי איטום פגמי פח, דלק לסוגיו.
- מתכות: שכיחותן היתה גבוהה בתהליך המסגרות. מתכות כבדות מרכיבות סגסוגות של אלקטרודות ריתוך וחלקי מתכת ברכב.

טבלה מס' 4: מיון גורמי סיכון כימיים על פי קבוצות סיכון גיהותיות ותהליכי עבודה במוסכים

חומרים	מכונאות	מסגרות	פחחות	תיקון תקרים	צביעה	תדלוק
ממיסים	בנזן	אצטון	טולואן	הפטן נורמאלי	2 – בוטנול	דיזל
	דיזל	בוטנול נורמאלי			אצטון	
	הקסן נורמאלי	טולואן			אתיל אצטט	
	טולואן	טולואן			אתיל בנזן	
	טרפנטין	טרי מתיל בנזן		בוטיל אצטט		
	כוהל איזופרופילי			בנזן		

	דיזל				מתיל איזובוטיל קטון	
קרוסין	הפטן נורמאלי	טולואן	סטירן	מתיל איזובוטיל קטון	מתיל אתיל קטון	ספירט לבן
	הקסן נורמאלי				נפטא אליפטי	
	טולואן					
	טרי מתיל בנזן					
	טרפנטין			ספירט לבן	קסילן	
	טרפנטין מינראלי					
	נוהל איזופרופילי					
	מתיל איזובוטיל קטון					
	מתיל אתיל קטון	ספירט לבן		קסילן		
	נפטא אליפטי	קסילן		קרוסין		
	ספירט לבן					
	פטרוליום אתר					
	ציקלו הקסן					
	קסילן					
כרום שש ערכי	כרום שש ערכי	עופרת	כרום שש ערכי	מנגן	כרום שש	מתכות
					מנגן	
					נחושת	
					אבץ	
				ניקל	תחמוצת ברזל	
				ניקל		
				תחמוצת ברזל		
כרום שש ערכי	כרום שש ערכי	עופרת	כרום שש ערכי	מנגן	כסף	חלקיקים בלתי מסווגים
					קדמיום	
					עופרת	סיבים מינראליים
					תחמוצת ברזל	סיליקה אמורפית וגבישית
					שמן מינראלי	שמן מינראלי
					שמן מינראלי	שמן מינראלי
					שמן מינראלי	שמן מינראלי

3. חומרים פולימרים אורגניים: גומי (צמיגים) הוא פולימר שכיח במוסכים. פוליאסטר משמש לאיטום פגמי פח. בדבקים פולימריים משתמשים בתיקון תקרים. לעתים יש שימוש בפולימרים של אפוקסי ופוליאורתן (דבקים או צבעים).

4. חומרים אנאורגניים: חומרי מילוי כגון סיליקה אמורפית וטלק.
5. סיבים מינרליים זכוכיתיים או קרמיים (SVF): פיברגלס מרכיב חלקים שונים ברכב; סיבים קרמיים מהווים בסיס לרפידות בלם.
6. שמנים מינרליים: שמני מנוע, שמני סיכה, שמני בלמים, שמני תיבת הילוכים וכו'.

תיאור משתני חשיפה בתהלימטלות

טבלה מס' 5 מציגה את נתוני המשתנים בסקר החשיפה בתהליכים. משתנים אלה מהווים את מאפייני החשיפה העיקריים שבאמצעותם ניתן להגדיר את החשיפה הפוטנציאלית. מהטבלה ניתן ללמוד שמחזור של תהליך עבודה במוסך אינו נמשך ברציפות על פני משמרת של 8 שעות עבודה וחלק מהתהליכים אינו מתבצע בכל יום עבודה. שכיחות תהליכים מעל 4 שעות ביום עבודה היא נמוכה (12.6% מכלל התצפיות) ובתהליך מסגרות לא נצפתה עבודה שמשכה גבוה מארבע שעות. משך הזמן השכיח ביותר למחזור תהליך, כפי שנצפה, נע בין 15 – 60 דקות והמשך השכיח הבא אחריו שייך למחזורי תהליך הנעים בין שעתיים לארבע שעות. רוב התהליכים מתבצעים בכל יום (66% מכלל התצפיות) ו-30% מהתצפיות היו של תהליכים המתבצעים 3 – 4 פעמים בשבוע. רק 3% מהתצפיות נתקלו בתהליכים המתבצעים פעם בשבוע.

ב-70% מהתצפיות נכללת בתהליכים עבודה ידנית ממוכנת. בתהליך מסוג זה אוחד העובד בכלי ממוכן או מכשיר (חשמלי, פניאומטי וכו') ומפעיל עליו כוח מסוים בעת שהמכשיר מבצע את פעולתו. נתח העבודה הידנית ובלתי ממוכנת במוסכים אינו קטן ושכיחותה נצפתה ב-28% מהתצפיות. כמות החומר השכיחה ביותר בתהליכים, כפי שנאמדה בסקרים, קטנה מ-100 גרם המהווה פוטנציאל לפיזור באוויר (כ-49% מכלל התצפיות). מספר התצפיות של משתנה הכמות קטן ככל שכמות החומר בתהליך גדולה יותר ורק פעם אחת נצפה שימוש בכמות הגדולה מ-10 ק"ג. בתהליך המסגרות נצפתה שכיחות גבוהה של שימוש בכמויות המגיעות עד-1 ק"ג ושכיחות יחסית גבוהה של כמויות גבוהות מ-1 ק"ג. הגורם לכך הוא שימוש באלקטרודות מצופות במתכות. גורמי הסיכון הכימיים שנבדקו הופיעו באוויר בחמישה סוגי מופעים: אבק, סיבים, נדפים, אווירוסול טיפתי ואדים. נמצאו מעט מאוד תצפיות של פיזור סיבים ששייכות למוסכים במגזר הצבאי. אחוז התצפיות הגבוה ביותר היה של אדי ממיסים אורגניים (69%) ואילו נדפי הופיעו באוויר ב-15% מהתצפיות. אחוז התצפיות הגבוה של אדי ממיסים **טבלה מס' 5:** התפלגות תצפיות של קטגוריות (סיווגי משנה) בתוך משתנים המשפיעים על החשיפה בתהליכי עבודה במוסכים.

משתנה	סיווג משנה	מכונאות	מסגרות	פחחות	צבע	תיקון תקרים
משך תהליך	עד 15 דקות	11	6	2	0	4
	15 – 60 דקות	26	23	15	10	5
	60 – 120	20	5	1	7	0
	120 – 240	10	24	14	2	2

5	5	3	0	8	360 – 240	
1	0	0	0	5	480 – 360	
0	0	0	0	0	>480	
15	21	29	23	54	כל יום	תדירות תהליך
2	3	6	35	19	3-4 פעמים בשבוע	
0	0	0	0	7	שבועי	
5	22	21	57	45	ידני ממוכן	אופי תהליך
11	2	13	1	33	ידני ולא ממוכן	
0	0	1	0	2	אוטומטי חלקי	
1	0	0	0	0	אוטומטי בנוכחות העובד לבקרה	
16	4	14	3	67	> 100 גר'	כמות חומר בתהליך
0	14	20	37	2	100 גר' – 1 קג'	
1	6	1	18	10	1 קג' – 10 קג'	
0	0	0	0	1	10 קג' – 100 קג'	
26 בודדים 12) (תערובות)	107 בודדים 23) (תערובות)	18 בודדים 12) (תערובות)	8 בודדים 2) (תערובות)	135 בודדים 35) (תערובות)	אדי ממיסים	מופע
3	0	19	0	27	חלקיקי אבק	
1	1	4	55	2	נדפי מתכות	
1	0	0	1	11	אווירוסול טיפתי	
0	0	0	0	5	סיבים	
0	10	0	0	0	איוורור מוהל	אמצעי בקרה
0	0	0	0	0	איוורור מקומי	
0	3	5	0	0	הגנה אישית נשימתית	
2	0	0	0	3	הגנת עור אישית	
0	0	0	49	0	הגנת עיניים ועור	

אורגניים נובע מהשימוש בהם במוסכים באופן שכיח בכל חמשת התהליכים שנבדקו, בהשוואה לשכיחות הופעה נמוכה מאוד של נדפי מתכות כגורם חשיפה בתהליך צביעה ותיקון תקרים. מתכות מתפזרים גם כאבק בתהליכים קרים בעוד שהפיזור כנדפים נובע בעיקר מפעולות ריתוך. מספר קטן של תצפיות (3%) נמצא לגבי מופע של אווירוסול טיפתי של שמן מינרלי. רכיב זה נבדק במגזר הצבאי, אולם עקב העדר נדיפות של השמן וקבלת רמות חשיפה נמוכות מאוד ביחס לרמה מירבית מותרת הוחלט לא לבדקו במגזר האזרחי. השכיחות הנמוכה של הופעת אבק (11.5%) מיוחסת לעובדה שלא בכל התהליכים הוא נמצא ונבדק. במוסכים אין בדרך כלל אמצעי בקרה הנדסיים. הירארכיית ההגנה הגבוהה ביותר שנצפתה הייתה אוורור מוהל. שיטת אוורור זו קיימת בתאי צביעה סגורים שבתוכם מוצבות המכונות. העובד נמצא בתא מתיז צבע על המכונה או שהצביעה היא אוטומטית. לא נצפה כלל אוורור מקומי בתהליכים. עובדים אינם משתמשים בדרך כלל בצידוד מגן אישי נשימתי להגנה מחשיפה לחומרים כימיים וגם השימוש בכפפות להגנה מחומרים כימיים הוא דל (נצפה בעיקר בתהליכי תיקון תקרים). קיים שימוש מספק להגנה נגד קרינה והוא למעשה, בא לידי ביטוי במסכה המיוחדת שמרכיבים העובדים בעת ריתוך

או הלחמה קשה. הגנת עור מעצמים מחוספסים נעשית בעזרת כפפות בד גסות שאינן מגינות מחומרים כימיים.

משתני החשיפה נסקרו גם במטלות. שכיחות המשתנים מוצגת בטבלה מס' 6. בולט משכן הקצר של המטלות כאשר מספר התצפיות של מטלות שמשכן קצר מ-15 דקות הגיע ל-70% ורוב בתהליכי המכונאות והמסגרות. אלו שמשכן קצר משעה היוו 25% מהתצפיות והופיעו בעיקר בתהליכי מכונאות, מסגרות וצביעה. לא נצפתה מטלה שמשכה ארוך משעתיים. תדירות המטלות דומה לזו של התהליכים מאחר והמטלות הן חלק מהתהליכים. 70% מהמטלות מתבצעות מדי יום ביומו ו-27% שלוש עד ארבע פעמים בשבוע. 3% מהמטלות מתבצעות בתדירות שבועית. רוב המטלות במוסכים (65%) הן ידניות ממוכנות שבהן, כאמור לעיל, העובד מעורב אישית בהפעלת כלי מכני או חשמלי או פניאומטי. שכיחות המטלות הידניות ללא הפעלת כלי עבודה המונע בכוח עצמאי גם היא אינה נמוכה והגיעה ל-33% מהתצפיות. אוטומציה במוסכים כמעט ואינה קיימת ושכיחות תצפיותיה הגיעה ל-2% בלבד מסך התצפיות. כמויות החומרים הנמצאות בשימוש במטלות מרכיבות את כמויות החומרים בתהליכים ועל כן גם ההתפלגות האחוזית של שכיחויות הקטגוריות במשתנה הכמות דומה בין התהליכים והמטלות. ב-48% מהתצפיות נאמדה כמות נמוכה מ-100 גרם וב-34% מהתצפיות נאמדה כמות הנעה בין 100 גרם ל-1 ק"ג. ממיסים אורגניים הם בעלי שכיחות ההופעה והשימוש הרבה ביותר מבין גורמי הסיכון הכימיים המופיעים במטלות (73%). חשיפה לנדפי מתכות ולחלקיקי אבק הכוללים גם מתכות נצפתה ב-13% ו-10% מהתצפיות, בהתאמה. מעטות התצפיות של אווירוסולים טיפתיים וסיבים. התמונה המצטיירת לגבי אמצעי בקרה הנדסיים ואישיים בתהליכים חוזרת על עצמה גם במטלות. מיעוט שימוש בשיטות אוורור ובהגנה אישית נשימתית מאפיינים גם את המטלות. הגנה עורית מחומרים כימיים היא מעטה והגנת העיניים מתייחסת למטלות ריתוך.

טבלה מס' 6: התפלגות תצפיות של קטגוריות (סיווגי משנה) בתוך משתנים המשפיעים על

החשיפה במטלות עבודה במוסכים

משתנה	סיווג משנה	מכונאות	מסגרות	פחחות	צבע	תיקון תקרים
משך מטלה	עד 15 דקות	71	62	41	42	25
	15 – 60 דקות	28	25	7	24	1
	60 – 120	4	6	1	5	0
	120 – 240	0	0	0	0	0
	240 – 360	0	0	0	0	0
	360 – 480	0	0	0	0	0
	>480	0	0	0	0	0
תדירות מטלה	כל יום	72	50	43	59	23
	3-4 פעמים בשבוע	28	46	6	12	3

0	0	0	4	7	שבועי	
11	44	29	89	56	ידני ממוכן	אופי מטלה
14	27	20	10	45	ידני ולא ממוכן	
0	0	0	1	0	אוטומטי חלקי	
0	0	0	0	6	אוטומטי בנוכחות העובד לבקרה	
26	16	22	22	83	> 100 גר'	כמות חומר במטלה
0	36	27	69	4	100 גר' – 1 קג'	
0	18	0	9	20	1 קג' – 10 קג'	
0	0	0	0	0	10 קג' – 100 קג'	
33 בודדים (18 תערובות)	289 בודדים (70 תערובות)	29 בודדים (24 תערובות)	8 בודדים (2 תערובות)	156 בודדים (44 תערובות)	אדי ממיסים	מופע
7	0	25	1	39	חלקיקי אבק	
1	1	0	90	0	נדפי מתכות	
0	0	0	1	21	אווירוסול טיפתי	
0	0	0	0	3	סיבים	אמצעי בקרה
0	18	0	0	0	איוורור מוהל	
0	0	0	0	0	איוורור מקומי	
0	9	5	0	0	הגנה אישית נשימתית	
8	0	0	0	25	הגנת עור אישית	
0	0	0	87	0	הגנת עיניים ועור	

רמות חשיפה תעסוקתית לחומרים כימיים במוסכים

ניטור סביבתי של חומרים הסתכם ב- 426 תוצאות בתהליכים ו- 716 תוצאות במטלות. בטבלאות מס' 7 ו- 8 מוצגת התפלגות הבדיקות בתהליכים ובמטלות, בהתאמה, על פי קבוצות החומרים שנבדקו. ערכי התוצאות הבודדות של ממיסים אורגניים השייכים לאותה דגימה קובצו לערך משוקלל שהושג על ידי סכום של שקולות הריכוז של כל מרכיב כאשר כל שקולה של גורם סיכון היא מנת הריכוז שלו ברמה המירבית המותרת לחשיפה אליו. סכום זה היווה את הריכוז המשוקלל של התערובת המוצג כמנת חשיפה.

לאור הרמות הנמוכות של שמן מינראלי וסיבים שנמדדו במוסכים צבאיים בתחילת המחקר הוחלט לא להמשיך במדידת גורמים כימיים אלה במוסכים אזרחיים. מספר הדגימות הגדול ביותר שייך לממיסים אורגניים ולאחריהם מתכות וחלקיקים.

טבלה מס' 7: התפלגות מספר בדיקות סביבתיות בין קבוצות חומרים כימיים בתהליכים במוסכים

סיבים	שמנים	מתכות	ממיסים אורגניים	חלקיקים	
0	0	39	222 (בודדים) 52 (תערובות)	29	מוסכים אזרחיים
5	13	24	74 (בודדים) 33 (תערובות)	20	מוסכים צבאיים
5	13	63	296 (בודדים) 85 (תערובות)	49	סה"כ

פיזור רמות החשיפה באוויר הוא רחב מאוד כפי שמוצג בטבלה מס' 9. הרמות מוצגות כמנת חשיפה מתוך הרמה המירבית המותרת. התפלגות המנות התאימה להתפלגות לוג – נורמאלית, אי לכך חולץ ערך הממוצע הגיאומטרי עבור כל קבוצת חומרים יחד עם ערך הממוצע האריתמטי הבלתי מוטה. ניתן לראות כי סטיות התקן הגיאומטריות גבוהות. רמות החשיפה לחומרים בתהליכים נמוכות בדרך כלל. הממוצעים הגיאומטריים של מנות החשיפה לא חרגו אף מרמות הפעולה בכל החומרים. למעט מתכות, גם הממוצעים האריתמטיים הבלתי מוטים של מנות החשיפה, שמשמעותם קורלטיבית יותר לחשיפה לזמן ארוך, לא היו גבוהים ממנת החשיפה של רמת הפעולה. במוסכים האזרחיים היה הממוצע הגיאומטרי של ריכוז החלקיקים הבלתי מסווגים הגבוה ביותר מבין כלל החומרים וגם במצב זה הגיע רק לכ- 12% מהרמה המירבית המותרת לחשיפה. במוסכים הצבאיים הגיע הממוצע הגיאומטרי של ריכוז החלקיקים הבלתי מסווגים רק לכ- 3% מהרמה המירבית המותרת לחשיפה.

טבלה מס' 8: התפלגות מספר בדיקות סביבתיות בין קבוצות חומרים כימיים במטלות במוסכים

סיבים	שמנים	מתכות	ממיסים אורגניים	חלקיקים	
0	0	46	391 (בודדים) 93 (תערובות)	57	מוסכים אזרחיים

5	24	46	128 (בודדים) 53 (תערובות)	19	מוסכים צבאיים
5	24	92	519 (בודדים) 146 (תערובות)	76	סה"כ

הממוצעים הגיאומטריים של מנות החשיפה של תערובות הממיסים האורגניים שונים בשני מגזרי המוסכים (3.6% ו- 7.6% מהרמה המירבית המותרת במוסכים האזרחיים והצבאיים, בהתאמה). ממוצע הריכוזים של מתכות גבוה במוסכים הצבאיים מזה באזרחיים (7.3% לעומת 2.2% מהרמה המירבית המותרת). הממוצע הגיאומטרי הגבוה ביותר של מנת חשיפה עבור שמן מינרלי במוסכים צבאיים התקבל אמנם עבור שמן מינרלי (8.2% מהרמה המירבית המותרת), אך ממוצע זה התקבל עבור מספר קטן של דגימות בהן כל הריכוזים לא עלו על 21% מהרמה המירבית המותרת. עקב ההתפלגות הגיאומטרית בעלת זנב ימני ארוך היו הממוצעים האריתמטיים הבלתי מוטים של מנות החשיפה גבוהים מהממוצעים הגיאומטריים. ממוצעים אלו עבור תערובות ממיסים היו דומים בשני סוגי המוסכים וקרובים ל- 30%. עבור חלקיקים בלתי מסווגים התקבל הבדל בין מוסכים אזרחיים לצבאיים (33.4% ו- 15.7% במוסכים אזרחיים וצבאיים, בהתאמה), אך הממוצע המשותף של כלל המוסכים היה כ- 30% עקב התרומה הגבוהה יותר של המוסכים האזרחיים בגורם זה. בכלל המוסכים היו הממוצעים האריתמטיים הבלתי מוטים של מנות החשיפה דומים בקרב קבוצת הממיסים, החלקיקים והמתכות ונעו בין 27% - 30%. עקב תוצאות בודדות גבוהות של מתכות בתהליכי ריתוך במוסכים צבאיים וסטיית התקן הגיאומטרית הגבוהה בתהליכים אלו התקבל מספר קטן של מנות חשיפה גבוהות מאד ביחס לרמה מרבית מותרת. כתלות בסטיית התקן הגיאומטרית הגדולה בחלק **טבלה מס' 9:** מנות חשיפה (באחוזים) בבדיקות סביבתיות תעסוקתיות בתהליכי עבודה במוסכים

אופי מוסך	קבוצת חומרים	N	תחום ריכוזים (ריכוז החומר/ים כאחוז מה - TLV)	GM	GSD	MEDIAN (חציון)	M (ממוצע בלתי מוטה)	UCL (גבול בטחון עליון)
מוסכים אזרחיים	ממיסים אורגניים	219	0.0025 – 72.4%	0.31	11.8	0.3	6.6	9.2
	תערובת ממיסים אורגניים	52	0.0125 – 104.1%	3.6	7.6	2.9	27.7	54.1
	חלקיקים	29	0.4 – 91.7%	11.7	4.3	13.9	33.4	58.2
	מתכות (נדפים)	39	0.054 – 230%	2.2	6.5	1.7	12.3	22.5
	שמנים	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
	סיבים	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA

UCL (גבול בטחון עליון)	M (ממוצע בלתי מוטה)	MEDIAN (חציון)	GSD	GM	תחום ריכוזים (ריכוז החומרים כאחוז מה - TLV)	N	קבוצת חומרים	אופי מוסך
21.2	13.5	2.6	6.9	2.0	0.027 – 120.9%	74	ממיסים אורגניים	מוסכים צבאיים
51.9	29.1	8.4	5.1	7.6	0.114 – 145.3%	33	תערובת ממיסים אורגניים	
36.7	15.7	1.9	6.1	3.0	0.17 – 184.2%	20	חלקיקים	
172.8	70.6	6.4	8.4	7.3	0.041 – 187.6%	24	מתכות (נדפים)	
14.2	9.9	7.1	1.8	8.2	3.4 – 21.2%	13	שמנים	
9.6	4.6	4.5	1.8	3.8	1.71 – 8%	5	סיבים	
14.7	11.0	0.6	12.0	0.5	0.0025 – 120.9%	293	ממיסים אורגניים	סה"כ (אזרחי וצבאי)
44.6	29.6	6.7	6.7	4.8	0.0125 – 145.3%	85	תערובת ממיסים אורגניים	
49.0	29.9	7.5	5.6	6.7	0.17 – 184.2%	49	חלקיקים	
46.3	27.7	2.9	7.7	3.4	0.041 – 230%	63	מתכות (נדפים)	
14.2	9.9	7.1	1.8	8.2	3.4 – 21.2%	13	שמנים	
9.6	4.6	4.5	1.8	3.8	1.71 – 8%	5	סיבים	

מקבוצות גורמי הסיכון, גם גבול הביטחון העליון (UCL_{95%}) של הממוצע האריתמטי הבלתי מוטה בקבוצות אלה גבוה יחסית. גבול הביטחון העליון של הממוצע בקבוצת המתכות בכלל המוסכים הגיע למנת חשיפה של 46% כאשר התרומה הגדולה לערך זה באה מהמוסכים הצבאיים. לעומת זאת גבול הביטחון העליון של הממוצע בתערובת ממיסים אורגניים ובחלקיקים גבוה יותר במוסכים האזרחיים (טבלה מס' 9). גבולות הביטחון של ממוצעי הממיסים האורגניים והחלקיקים בכלל המוסכים נמוכים מחצי הרמה המירבית המותרת (טבלה מס' 9). מספר החריגות מרמה מירבית מותרת בתהליכים במוסכים הוא נמוך. רק תוצאה אחת של טלק ואחת של רמת חלקיקים בלתי מסווגים מתוך 49 תוצאות (4%) חרגו מהרמה המירבית המותרת בתהליך פחחות ועוד 6 תוצאות (12%) של חלקיקים בלתי מסווגים היו גבוהות מחצי הרמה המירבית המותרת. התוצאות החריגות התקבלו בפעולת שיוף של משטח מכונות שעבר טיפול לאטימת פגמים בפח. תוצאה בודדת של קרוסין חרגה בעת תדלוק כלי רכב במגזר הצבאי. בתהליך הצביעה התקבלו שתי תוצאות חריגות של תערובת ממיסים מעל ה-TLV (2.3% מכלל תוצאות התערובת של הממיסים האורגניים), אחת במגזר הצבאי ואחת במגזר האזרחי, כאשר מרכיבי התערובת הבולטים בריכוזיהם בתערובות היו טולואן וקסילן. כאשר הצביעה נערכה בתא לצביעת מכונות המצויד באוורור מוהל, רק במקרים בודדים היו רמות הטולואן גבוהות מרמת הפעולה. מבין קבוצות החומרים, היה מספר החריגות הגבוה ביותר מעל הרמה המירבית המותרת שייך למתכות. שתי תוצאות חריגות של כרום שש ערכי בלתי מסיס, ותוצאה חריגה של קדמיום, ניקל ומנגן, אחת מכל

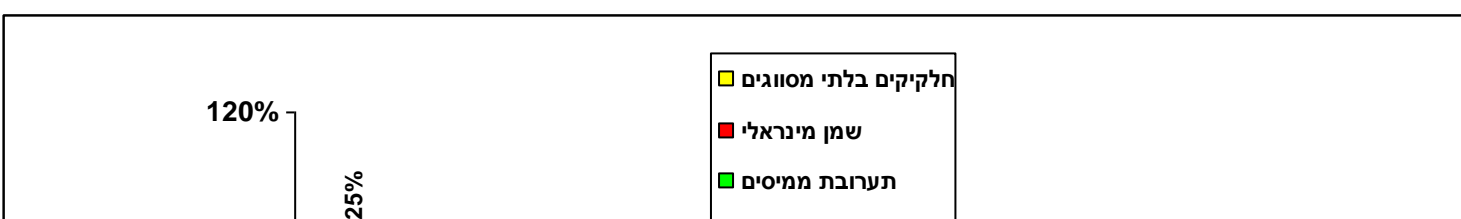
מתכת, התקבלו בתהליך הריתוך (מסגרות). חריגות אלה היוו 8% מכלל תוצאות הניטור של מתכות. מספר קטן של רמות מתכות באוויר היה גבוה מרמת הפעולה. איור מס' 3 מסכם את תוצאות הניטור במוסכים בקבוצות החומרים השונות תוך פילוג ריכוזים בין תחומי חשיפה ביחס לחשיפה מרבית מותרת. האיור מדגים את האחוז הקטן של חריגות ריכוזים מעל הרמה המירבית המותרת בכל הקבוצות כמו גם האחוז הקטן של תוצאות גבוהות מרמת הפעולה או 50% מהרמה המירבית המותרת. הרוב המוחלט של תוצאות הניטור היה נמוך ממנת חשיפה של 25%, כלומר נמוך מרבע הרמה המירבית המותרת לחשיפה.

מנות חשיפה ממוצעות במטלות מוצגות בטבלה מס' 10. מנות אלה משקפות חשיפה לזמן קצר. למעט רמות בודדות גבוהות מאד של מתכות, ממיסים אורגניים וחלקיקים באוויר, גם במטלות, כמו בתהליכים, הרוב המכריע של רמות חשיפה נמוך מרמות מרביות מותרות והממוצעים האריתמטיים הבלתי מוטים מגיעים בתערובות ממיסים אורגניים ובחלקיקים ל- 16.9% ו- 13.4%, בהתאמה, מהרמה המרבית המותרת.

טבלה מס' 10: מנות חשיפה (באחוזים) בבדיקות סביבתיות תעסוקתיות במטלות עבודה במוסכים

UCL (גבול בטחון עליון)	M (ממוצע בלתי מוטה)	MEDIAN (חציון)	GSD	GM	תחום ריכוזים (ריכוז החומר/ים כאחוז מה - TLV)	N	קבוצת חומרים	
13.74	9.22	1.39	6.97	1.4	0.03 – 606.70%	92	מתכות (נדפים)	מוסכים אזרחיים וצבאיים
21.80	16.90	6.16	4.73	5.06	0.0145 – 147.90%	145	תערובת ממיסים אורגניים	
19.07	13.38	4.88	4.90	3.77	0.0333 – 221.08%	78	חלקיקים	

איור מס' 3: התפלגות (%) רמות חשיפה של קבוצות סיכון כימיות במוסכים בין תחומי חשיפה שונים.



פרופיל רמות חשיפה בתהליכים לעומת מטלות

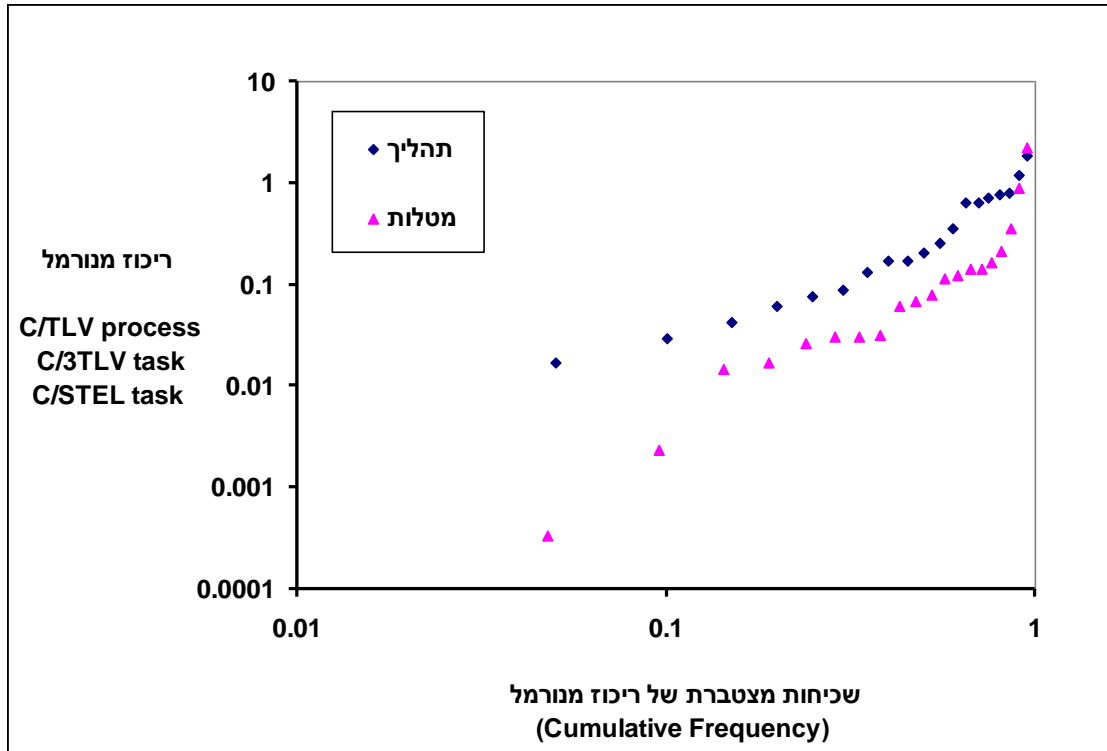
על מנת להשוות בין התנהגות רמות החשיפה בתהליכים לבין התנהגותן במטלות צוירו זה לעומת זה קווי המגמה ההסתברותיים של מנות החשיפה של החומרים על פי קבוצותיהם בכל תהליך ובכל גוש מטלות השייך לאותו תהליך. קווים אלה מתוארים באיורים מס' 4 – 16. בסיס ההשוואה במנת חשיפה בתהליך הוא הרמה המרבית המותרת המשוקללת המותרת לחשיפה, או רמת התקרה, בהתאם לגורם הסיכון הכימי. בסיס ההשוואה במנת החשיפה במטלה הוא שילוש הרמה המרבית המותרת (3TLV), או רמת חשיפה לזמן קצר (STEL) בהתאם לגורם הסיכון הכימי. הערך 1 על הציר האנכי של כל איור מייצג את מנת החשיפה השווה לרמה המרבית המותרת בתהליך. איור מס' 4, כדוגמה, מציג את קווי המגמה של חשיפה לחלקיקים בלתי מסווגים בתהליך פחחות. קווים אלה מראים את פרופיל תחום מנות החשיפה של החלקיקים מהריכוזים הנמוכים באזור התחתון השמאלי של האיור ועד לריכוזים הגבוהים באזור הימני העליון. קו המגמה מראה שמנות החשיפה הגבוהות ביותר של חלקיקים בתהליך הפחחות ובמטלותיו גבוהות ממנת חשיפה שוות ערך לחשיפה לרמה מרבית מותרת, אך רוב רובו של כל קו פרוש מתחת לרמה זו. כמו כן מראה האיור סמיכות בין קו המגמה של תהליך לבין זה של מטלותיו. סמיכות זו מצביעה על כך שהתנהגות הריכוזים של חלקיקים בתהליך הפחחות ביחס לרמה מרבית משוקללת מתנהלת בדומה להתנהגות הריכוזים של החלקיקים בכל מטלה ומטלה בתהליך זה ביחס לתקני חשיפה

לזמן קצר, דהיינו שילוש הרמה המרבית המשוקללת או STEL. הסטייה בין שני הקווים מסתכמת במנת חשיפה קטנה מ-10%, דהיינו, המרחק בין נקודות קו התהליך לנקודות קו המטלה הוא לכל היותר שווה ערך לפחות מעשירית הרמה המרבית המותרת לחשיפה. סמיכות קווי המגמה של תהליך ומטלותיו מבטיחה שבמטלה כלשהי בתוך התהליך, או בקטע זמן קצר של התהליך אין פריצות ריכוזים או חריגות הממוסכות ע"י שקלול הריכוז על פני זמן המדידה. מיסוך זה עלול לגרום להתעלמות מחשיפה קצרה ובעלת סיכון משמעותי לעובד שאינה יכולה לבוא לידי ביטוי אם הניטור מתבצע על פני זמן ארוך והריכוז באוויר מבוטא כממוצע משוקלל בלבד. קווי המגמה ההסתברותיים של רמות ממיסים באוויר בתהליך פחחות ובמטלות התהליך (איורים מס' 5, 6) סמוכים גם הם לזה ומצביעים על מגמות התנהלות דומות בין אם החשיפה מנותחת על פי ניטור ממיסים על פני מטלות או בין אם היא מנותחת על פי ניטור ממיסים על פני מטלות. פרופיל מנות החשיפה על פני מטלות אינו מצביע על מטלה כלשהי שבה רמת החשיפה חריגה במיוחד ביחס לרמה מרבית מותרת וממוסכת אם מבצעים מדידה על פני מחזור תהליך שלם בלבד. הדמיון בפירוש התוצאות על פי קווי המגמה עלול להשתנות בין תהליך למטלה אם רמת החשיפה במטלה גבוהה מפי 3 הרמה המרבית המותרת ותדירות המטלות במשמרת מביאה את משכן המצטבר לגבוה מ-30 דקות. התבוננות בכל 13 האיורים מצביעה על סמיכות גבוהה בין קו מגמה של תהליך נתון לבין קו מגמה של המטלות השייכות לאותו תהליך. הסטייה האנכית הגדולה ביותר בין קו מגמה של רמות חשיפה בתהליך לבין קו מגמה של רמות חשיפה בתהליך פחחות (איור מס' 6), עבור מתכות בתהליך מסגרות (איור מס' 10) ועבור ממיסים בודדים בתהליך מכונאות (איור מס' 14).

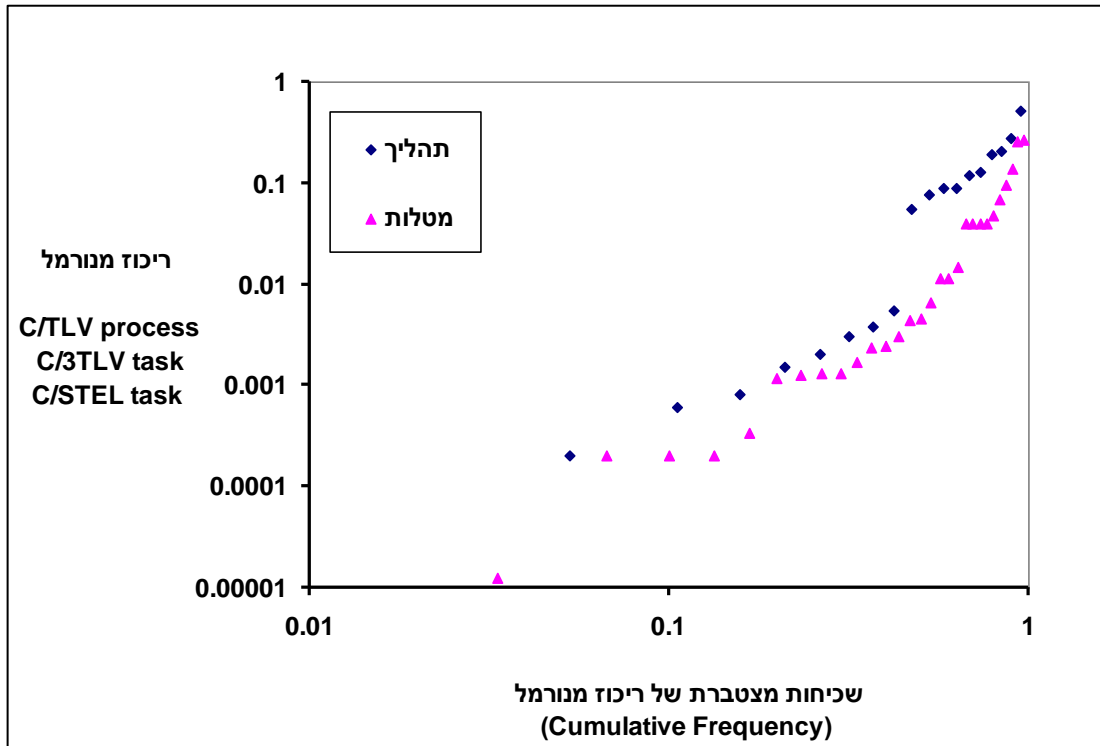
בתהליך המכונאות קו רמות החשיפה של ממיסים במטלות גבוה מהקו המקביל עבור התהליך (איור מס' 14), לכאורה, ניתן לחשוב שהדבר מעיד על חשיפה בעלת ריכוזי שיא על פני זמנים קצרים (זמני המטלות), אולם בקטע הסטייה הגבוהה בין הקווים נמוכה מנת החשיפה של הריכוזים מ-10% (נמוך מ-10% מהרמה המרבית המותרת) ולכן אין חשיבות לסטיית החשיפה במטלות מהחשיפה על פני התהליך. התמונה הפוכה באיורים 6 ו-10 שם קו החשיפה על פני תהליך גבוה מקו החשיפה על פני מטלות, אך גם כאן בקטעי הסטייה הגבוהה בין הקווים נמוכות רמות החשיפה מ-10% הרמה המרבית המותרת ולכן אין חשיבות לסטייה זו והחשיפה מיוצגת נכונה גם אם היא נמדדת רק על פני תהליך ללא התייחסות למטלות.

על אף מקרים בודדים של חריגות ריכוזי מתכות מרמה מרבית מותרת הגיע הממוצע האריתמטי הבלתי מוטה במתכות לכ-28% מרמה זו.

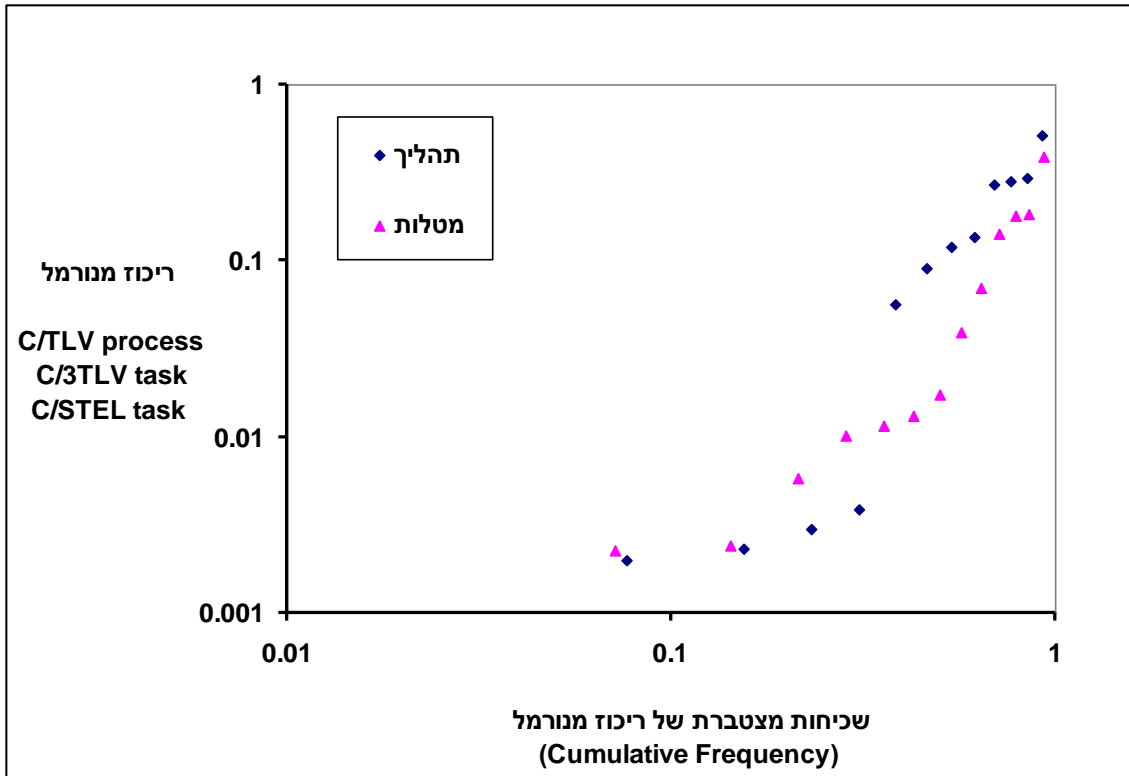
איור מס' 4: קווי מגמה ההסתברותיים של רמות מנורמלות של חלקיקים באוויר בתהליך פחחות



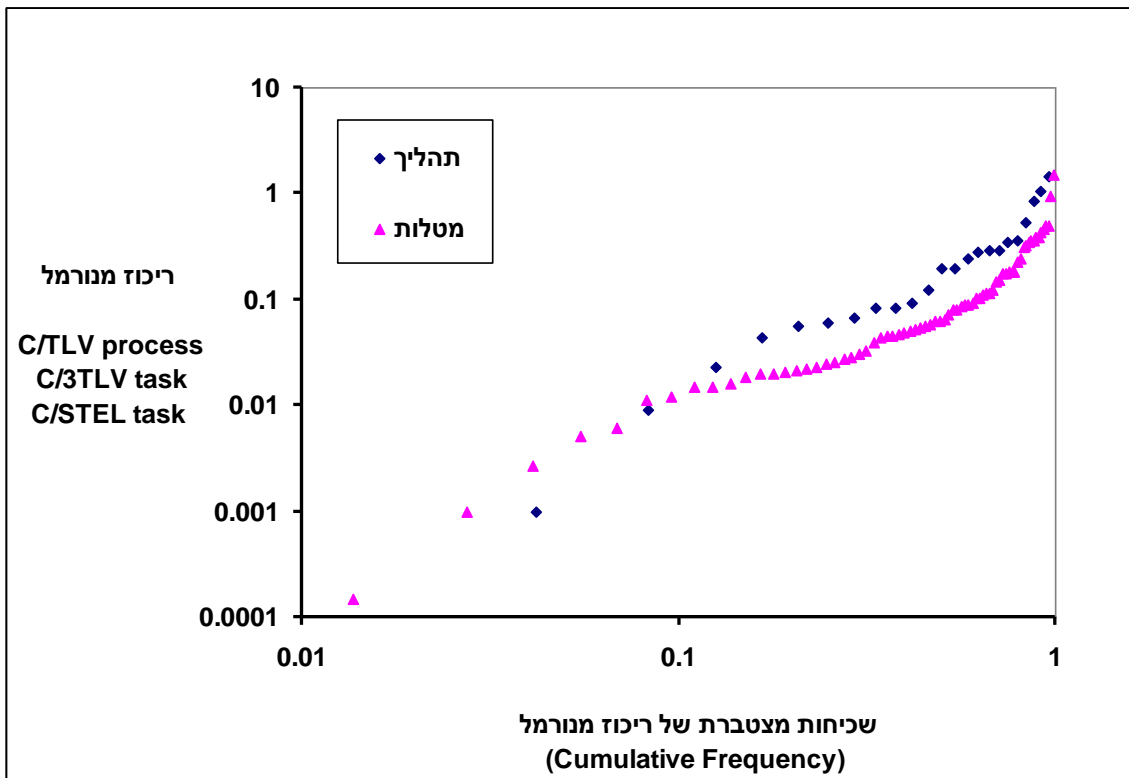
איור מס' 5: קווי מגמה הסתברותיים של רמות מנורמלות של ממיסים בודדים באוויר בתהליך פחחות



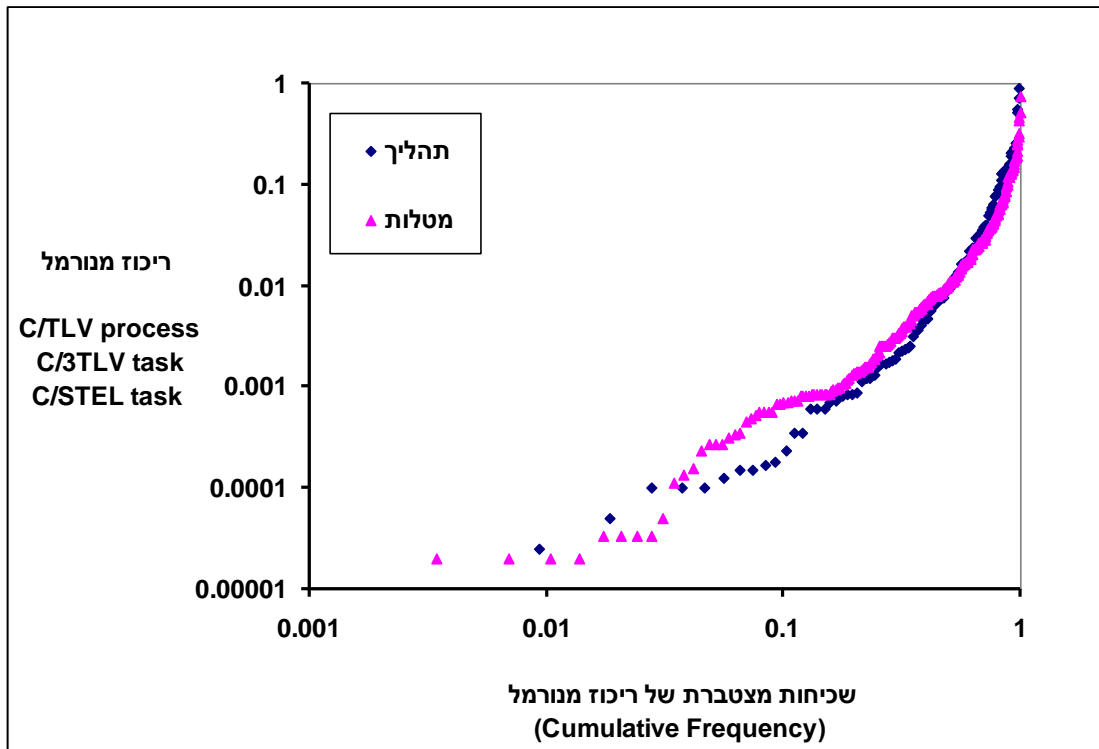
איור מס' 6: קווי מגמה הסתברותיים של רמות מנורמלות של תערובות ממיסים באוויר בתהליך פחחות



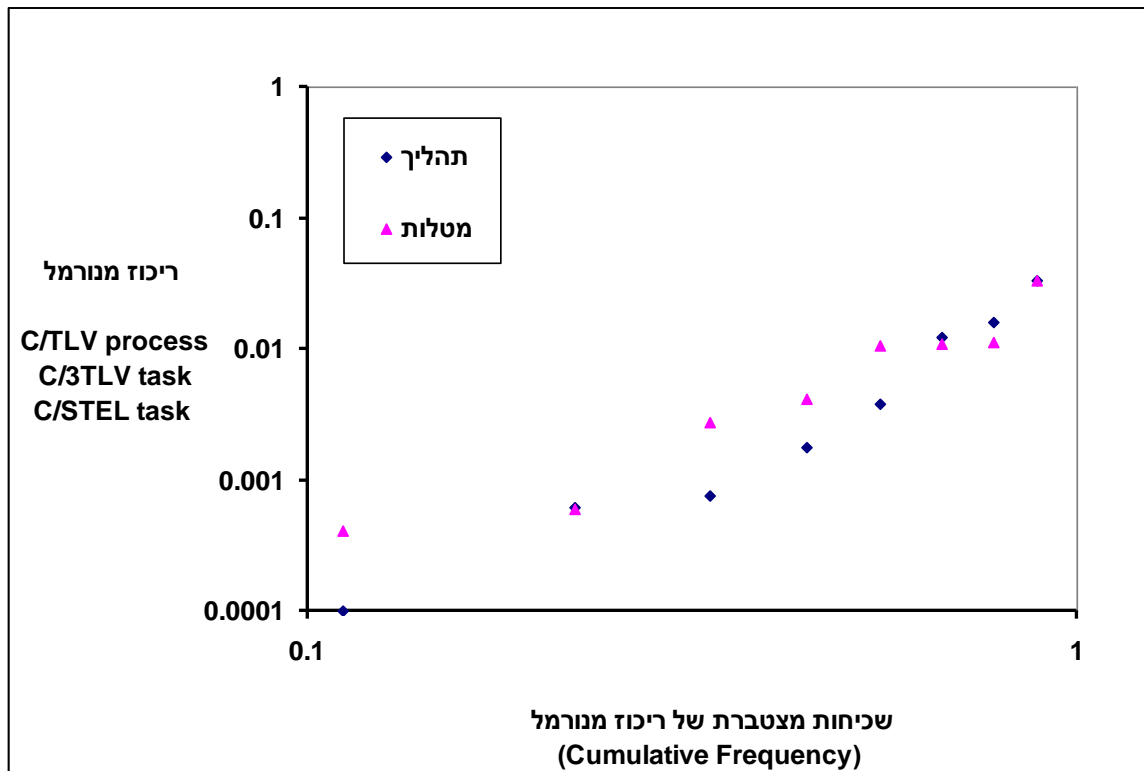
איור מס' 7: קווי מגמה הסתברותיים של רמות מנורמלות של תערובות ממיסים באוויר בתהליך צביעה



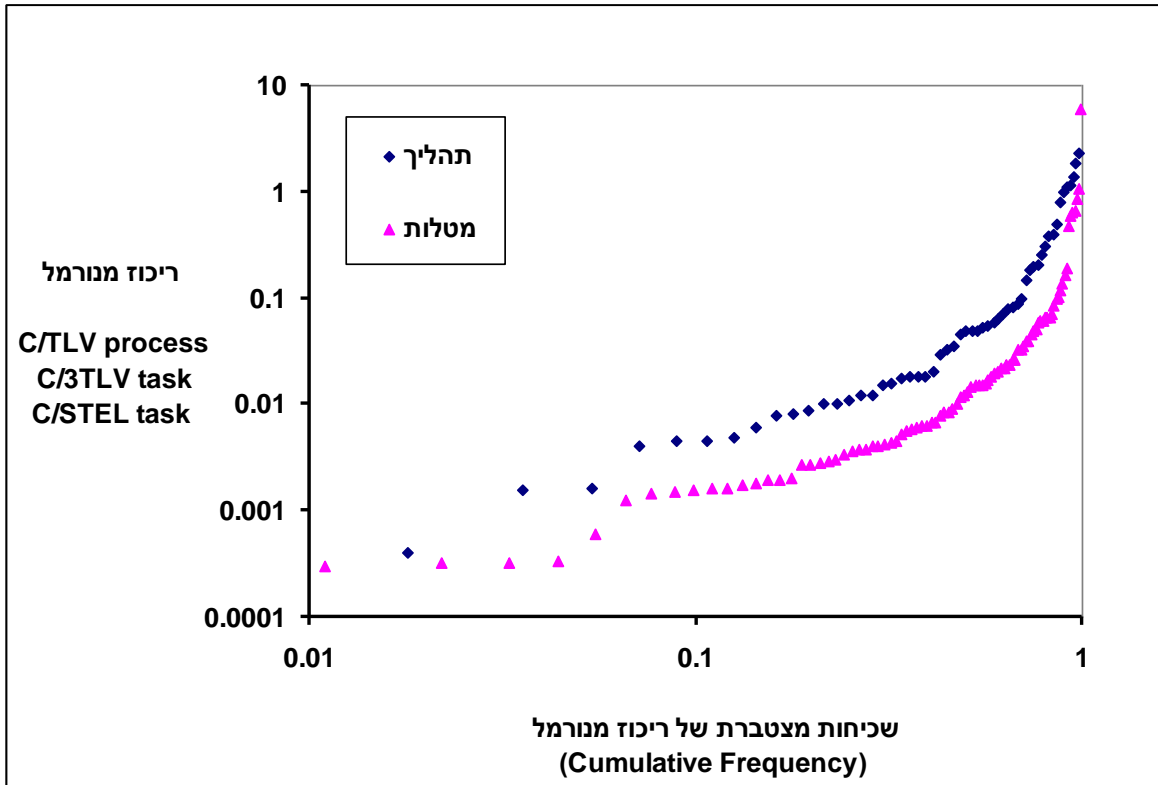
איור מס' 8: קווי מגמה הסתברותיים של רמות מנורמלות של ממיסים בודדים באוויר בתהליך צביעה



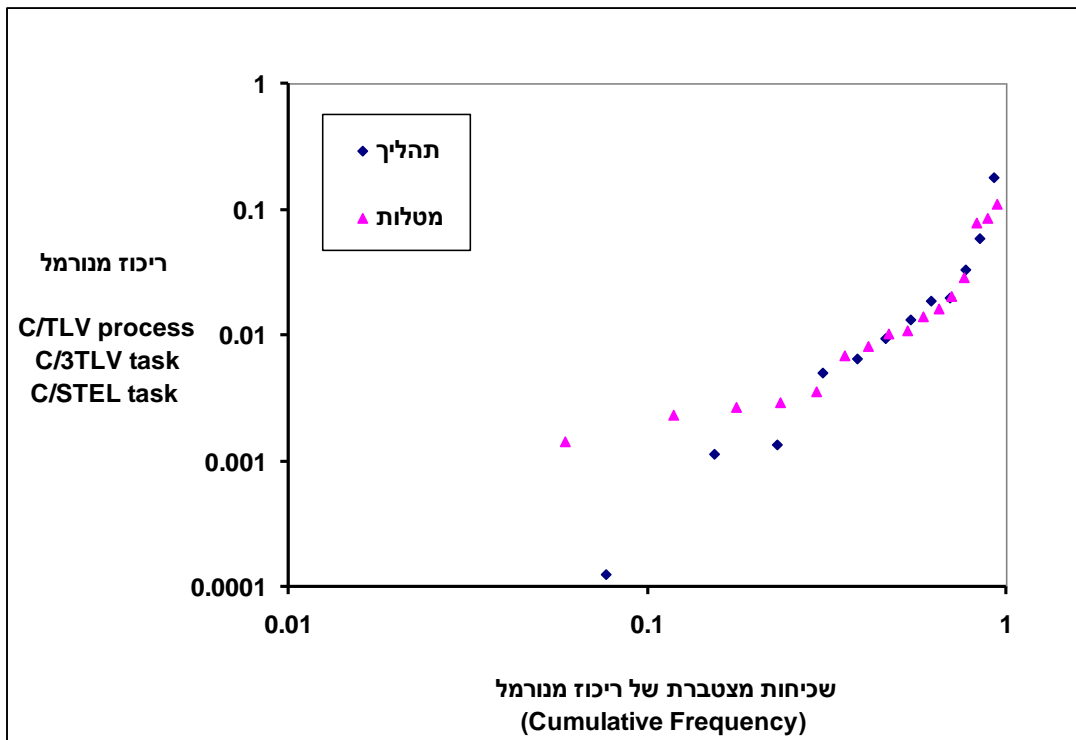
איור מס' 9: קווי מגמה הסתברותיים של רמות מנורמלות של ממיסים בודדים באוויר בתהליך מסגרות



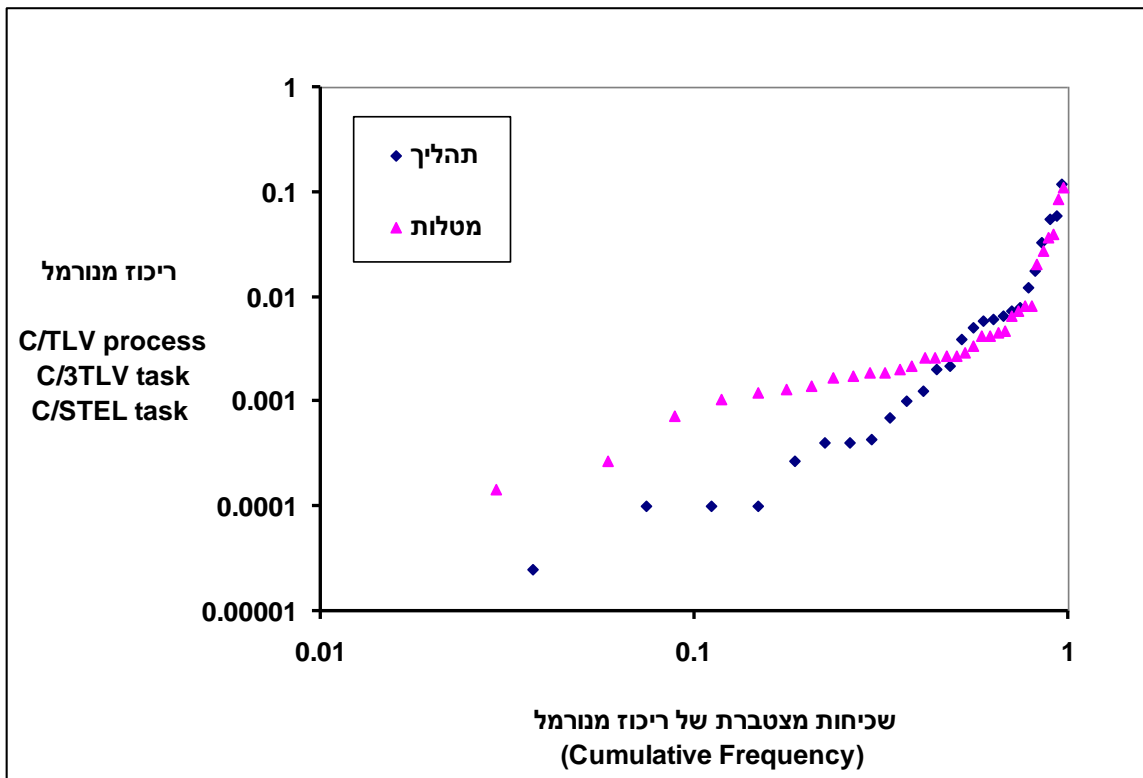
איור מס' 10: קווי מגמה הסתברותיים של רמות מנורמלות של מתכות באוויר בתהליך מסגרות



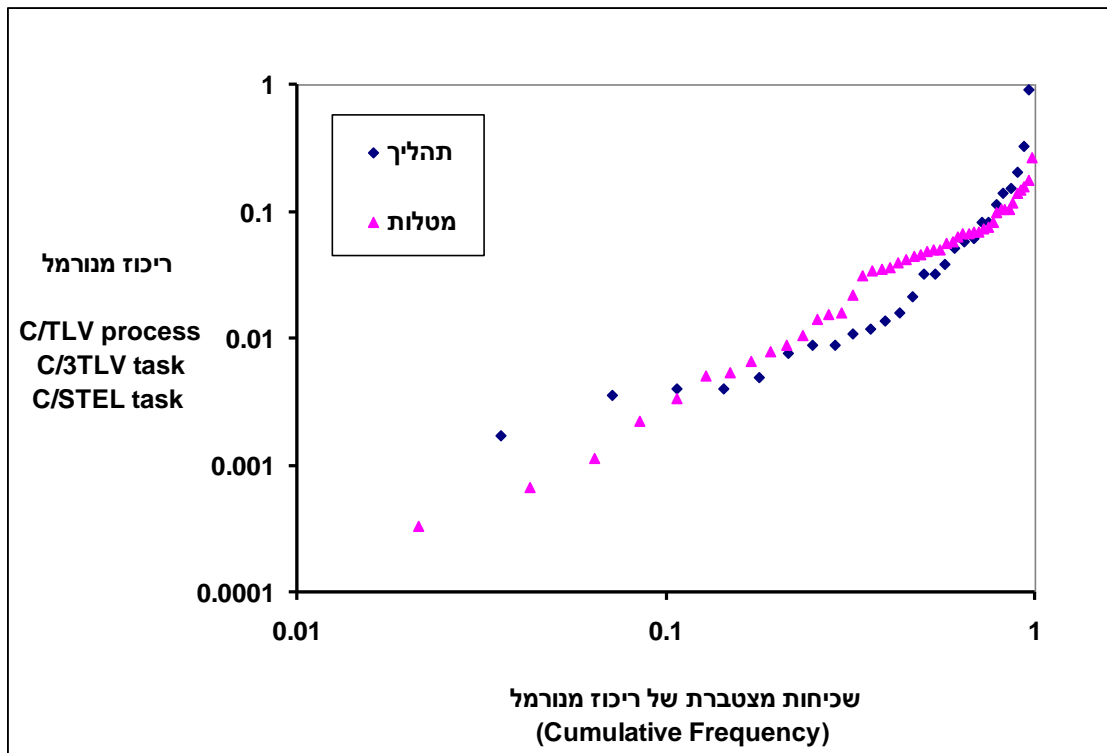
איור מס' 11: קווי מגמה הסתברותיים של רמות מנורמלות של תערובות ממיסים באוויר בתהליך תיקון תקרים



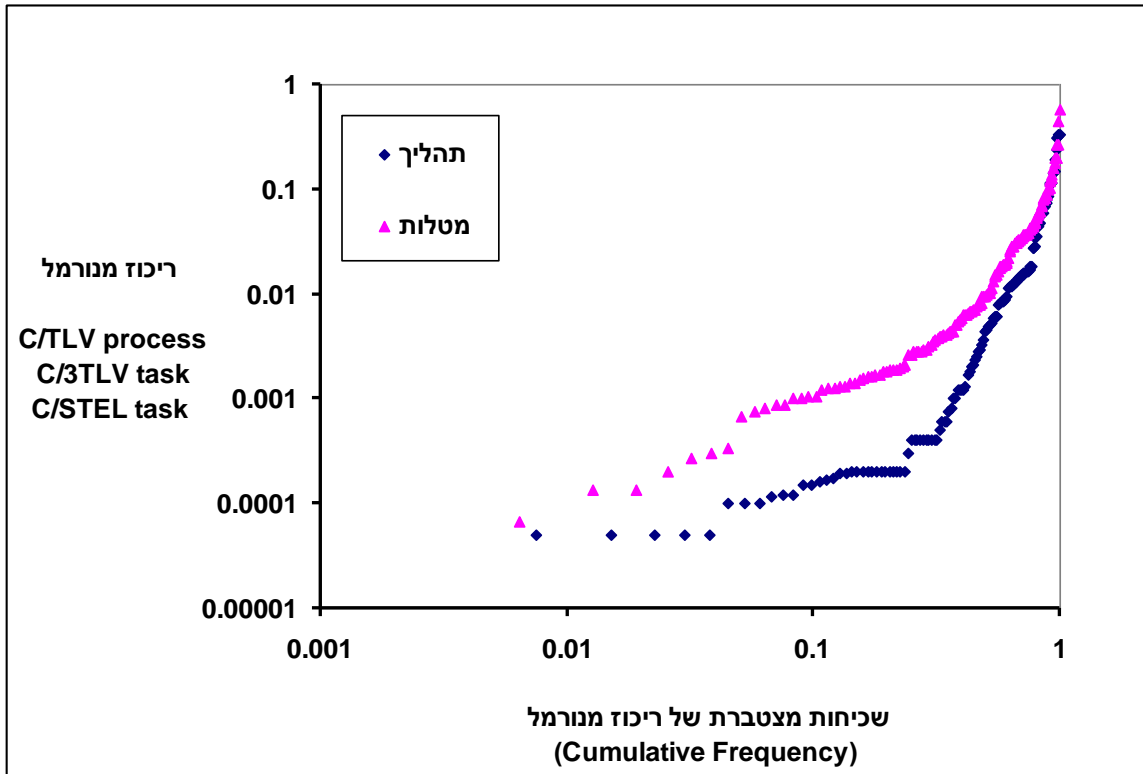
איור מס' 12: קווי מגמה הסתברותיים של רמות מנורמלות של ממיסים בודדים באוויר בתהליך תיקון תקרים



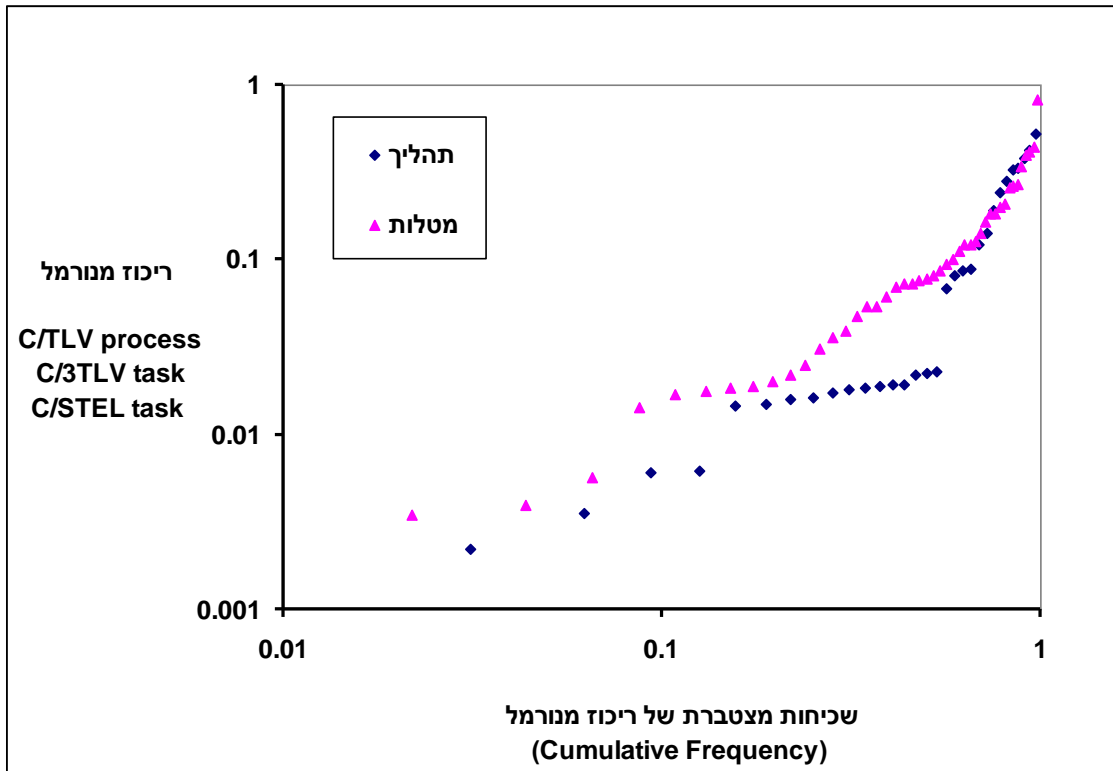
איור מס' 13: קווי מגמה הסתברותיים של רמות מנורמלות של חלקיקים באוויר בתהליך מכונאות



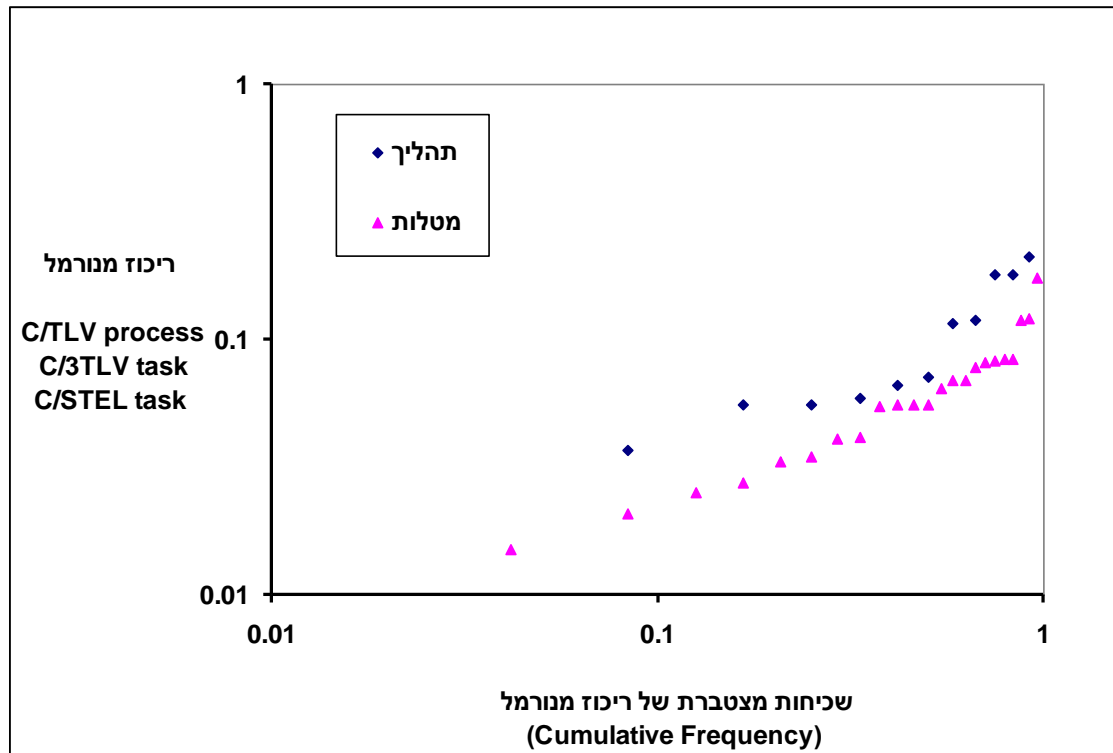
איור מס' 14: קווי מגמה הסתברותיים של רמות מנורמלות של ממיסים בודדים באוויר בתהליך מכונאות



איור מס' 15: קווי מגמה הסתברותיים של רמות מנורמלות של תערובת ממיסים באוויר בתהליך מכונאות



איור מס' 16: קווי מגמה הסתברותיים של רמות מנורמלות של אוירוסולים באוויר בתהליך מכונאות



התאמת אומדן תבנית החשיפה לתוצאות הניטור

רוב דרגות החשיפה שהתקבלו לתרחישי החשיפה שנצפו במוסך שייכות לתחום החשיפה הזניחה עד נמוכה. שטחם של 97% מתצפיות התרחישים הריאליים במוסכים נפל בקטגוריית החשיפה הנמוכה על פי מודל התבנית. שטחם של כ- 3% מהתצפיות התאים לדרגת חשיפה פוטנציאלית בינונית. לא היו תצפיות שהתאימו לדרגת חשיפה גבוהה. מתוך 426 תצפיות של תרחישי חשיפה התאימה דרגת החשיפה הפוטנציאלית, שחושבה על פי המודל, לתחום תוצאות הניטור ב- 392 תצפיות, כלומר התאמה של 92%. ב- 10 תצפיות (2.3%) תוצאות ההערכה הפוטנציאלית על פי המודל גבוהות מתחום החשיפה בפועל (false positive) ואילו ב- 24 תצפיות (5.6%) היו תוצאות ההערכה הפוטנציאלית על פי המודל נמוכות מתחום החשיפה בפועל (false negative), עובדה המצביעה על כך שבמקרים אלה לא חזתה תבנית החשיפה במדויק את רמת החשיפה בפועל והעובד למעשה עלול להיות חשוף מעל המותר או בדרגת חשיפה גבוהה יותר מזו שנחזתה על ידי תבנית המודל. טבלה מס' 11 מסכמת את אחוזי ההתאמה בין החיזוי על פי המודל של תבנית חשיפה לבין מנת החשיפה בפועל שהושגה על פי הניטור הסביבתי. טעויות שליליות נמצאו לגבי מספר תרחישים של חשיפה למתכות כבדות בריתוך בתהליך מסגרות, שיוף בתהליך פחחות וצביעת רכב בריסוס כאשר הצבע הכיל תערובת של מספר ממיסים אורגנים.

טבלה מס' 11: דרגת ההתאמה בין חשיפה פוטנציאלית חזויה על פי מודל תבנית החשיפה לבין רמת

החשיפה בפועל על פי ניטור סביבתי

אי התאמה		התאמה	סה"כ תצפיות תרחישי חשיפה
סה"כ: 34		392 (92%)	426
ב	א		
24	10		

א – דרגת החשיפה החזויה גבוהה מרמת החשיפה על פי ניטור
 ב – דרגת החשיפה החזויה גבוהה מרמת החשיפה על פי ניטור

דיון ומסקנות

המחקר הנוכחי בחן שימוש בתבניות הסתברותיות ואת מעמדם של תהליך (process) ושל מטלה (task) בארגז הכלים של הגיהותן למטרת הערכת חשיפה תעסוקתית נשימתית במוסכים.

פירוק תכולת הפעילות המפעלית לתהליכי עבודה, כאשר בבסיס הגדרת התהליך מונחים מאפיינים טכנולוגיים – הנדסיים או מכנה משותף של סוג העבודה, מסייע להבנת הזרימה האורכית של שלבי ייצור ו/או שלבי עבודה ופעילות במקום עבודה מנקודת המוצא בו ועד לקבלת המוצר הסופי. חלוקה לתהליכים תורמת לאיתור והבנה של מקורות חשיפה ופוטנציאל העוצמה שלהם ומסייעת לדרג סיכונים תעסוקתיים על סולם איכותי של רמות סיכון. מסיבה זו ממליצים גופים מקצועיים העוסקים בהנחלת תורה להערכת חשיפה תעסוקתית לבחור בתהליך עבודה כיחידה בסיסית לתיאור פרופיל חשיפה ולאפיונה, ולהשתמש בו כמרכיב מכוון באסטרטגיה מוצעת לניתוח החשיפה בשלבי הכרתה והערכתה (Bullock & Ignacio, 2006).

תהליך עבודה מומר לעיתים בסוג עיסוק (job) כדי לתאר את סוג העבודה, ובמטריצת העיסוק – חשיפה (JEM) נעשה שימוש כדי לנתח חשיפה מצטברת של עובדים במחקרים אפידמיולוגיים. במחקרים אלה כל העובדים בעלי אותה הגדרת עיסוק וותק בעיסוק מסווגים כקבוצה בעלת חשיפה מצטברת דומה. גישת ה-JEM שפותחה בעיקר בשנות השמונים של המאה הקודמת (HOAR, 1983) לוקה בחולשה כאשר עובד מבצע מספר מטלות או משימות בתוך העיסוק והחשיפה בהן שונה. שיבוץ עובדים בקבוצת עיסוק דומה כאשר העיסוק מורכב ממספר מטלות שונות עלול לגרום לטעות בסיווג דרגת החשיפה המצטברת והסיכון בו נמצאים חלק מהעובדים (Benke et al, 2000).

הקושי לאפיין חשיפה באופן ממצה רק ע"י מיון כוח העבודה לפי תהליכים ועיסוקים הביא להמלצות מקצועיות להתמקד גם באפיון מטלות בעת הערכת חשיפה איכותנית וכמותית. פירוק התהליך

להירארכיה נוספת של מטלות ואיסוף מידע עליהן יוצרים עידון נוסף באפיון החשיפה והערכתה וצמצום טעויות בהערכה זו ובמיון עובדים לקבוצות בעלות חשיפה דומה. כמו כן שמו אנשי מקצוע לב לעובדה שחשיפות קצרות וגבוהות ושיאי חשיפה אינם באים לידי ביטוי, או ממוסכים, כאשר המדידה מתבססת על ממוצע משוקלל של תהליך ארוך. הערכת שיאי חשיפה קשורה באופן בסיסי למטלות.

האסטרטגיה להערכת חשיפה, המסתמכת על תהליכים ומטלות, פועלת טוב יותר במפעלים בעלי תבנית ברורה ומסודרת של יחידות תהליך ובייחוד מפעלים שיש בהם תהליכים רציפים ומנתיים. שונה המצב במקומות עבודה שבהם אין הפרדה ברורה של כוח העבודה על פי יעוד העיסוק בתהליכים מוגדרים ועקב אילוצים שונים מעורבים עובדים במספר תהליכים או מטלות, לעיתים בו זמנית. במקום עבודה מסוג זה קשה יותר להרכיב קבוצות בעלות חשיפה דומה למטרת הערכת חשיפה תעסוקתית. קושי זה שכיח במקומות שטיב העבודה בהם הוא תחזוקתי או שירותי ובמקומות עבודה קטנים. מוסך לטיפול ברכב הוא מקום עבודה שמאפייני העבודה בו הם תחזוקתיים ואם הוא גם מקום קטן עולה הקושי להגדיר בו באופן ברור קבוצות חשיפה דומה. עבודה תחזוקתית היא עבודה לפי דרישה ולא עבודה לפי תכנון על ציר זמן ארוך. התהליכים הם דינמיים בזמן ובמקום ומשכו ותדירותו של תהליך נתון יכולים להשתנות בהתאם לביקוש ועל פי הצורך ובאופן בלתי אחיד. תהליך עבודה מוגדר אינו רצוף בד"כ וכתלות במספר כלי הרכב הוא נעשה באופן מחזורי לאורך יום העבודה. גם המטלות הכלולות בתוך התהליך הן מחזוריות לאורך יום העבודה, אך הן עשויות להיות שונות במהותן כתלות בסוג הטיפול הדרוש ברכב. לדוגמה, תהליך מכונאות חוזר על עצמו מספר פעמים ביום כמספר כלי הרכב המקבלים טיפול במוסך, אולם יש הבדל במטלות המכונאות אם לרכב נדרש טיפול תקופתי, או אם נדרש טיפול בתקלה מכנית או תקלה גדולה כגון טיפול במנוע. משך מחזור תהליך ומטלה עשוי להשתנות מרכב לרכב. הפסקות עבודה במשך המשמרת אינן אחידות ותלויות בקיבולת המוסך ואינטנסיביות השירות בו. הפסקות אלה מתרווחות בין תהליכים ומטלות ומקצרות את המשך המצטבר של מחזורי התהליכים והמטלות. תהליך צביעה, לדוגמה, אינו מתבצע במחזוריים רצופים שבכל אחד מהם נצבע כלי רכב אחר ובין מחזור צביעה אחד לשני עשוי להיות מירווח זמן משמעותי ללא צביעה.

מאפיינים אלה משפיעים על חשיפתו של עובד מוסך לגורמי סיכון. בעוד שבתעשייה היצרנית התהליכים בד"כ רצופים על פני משמרת (ואם הם מנתיים, עדיין הם מתקיימים באותו מתקן ובאותם צורה, משך זמן, כמות חומר בשימוש וכו'), התורמים לאחידות התהליך והמטלות), העדר האחידות במאפייני העבודה במוסכים תורם לשונות גבוהה בהערכת חשיפה ממוסך למוסך. שונות זו מקשה על ניתוח לקבלת פרופיל חשיפה מייצג ודווקא בשל כך יש חשיבות לבחירת מוסכים כאוכלוסיית המחקר שנערך וניסה להתמודד עם מקומות עבודה שהערכת החשיפה בהם עלולה להיות יותר בעייתית מהערכת חשיפה במקומות יצרניים מסודרים. פירוק תהליך למטלות עשוי לשפוך אור על שינויים בחשיפה בפרקי זמן קצרים. חקירת תועלת הניתוח של חשיפה על פי מטלות העמיקה בעשור האחרון תוך חקירת השונות הקיימת בתוך עובד על פי זמן ובין עובדים בקבוצה בעלת חשיפה דומה. כאשר הערכת חשיפה מתבצעת במסגרת מחקרים אפידמיולוגיים ניתן משקל למדדי "מרכז" סטטיסטיים, הכוללים את הממוצע האריתמטי, ומדדי

"פיזור" סטטיסטיים (סטיית תקן), אבל כאשר הערכת החשיפה היא למטרות ניהול סיכונים שוטף והגנה על עובדים מחשיפת יתר יש טעם בניתוח התפלגות החשיפה ומצב האחוזונים העליונים (אחוזון 95%) של החשיפה ביחס לרמות מרביות מותרות לחשיפה.

יחד עם זאת, התועלת בניתוח עיסוק וחשיפה על פי מטלות עבודה צריכה להבחן לגופו של העיסוק ולא ע"י קבלתה כמובנת מאליה. אחת ממטרות המחקר הייתה לבחון את התועלת הזו ע"י בחינת התנהגות רמות חשיפה ביחידת תהליך (כהגדרתה במחקר זה) לעומת התנהגותן ביחידת מטלה באמצעות קווי מגמה הסתברותיים. השימוש בקווי מגמה כמתודולוגיה וככלי להערכת משמעותן של רמות חשיפה בתהליכים ובמטלות חשוב ומסייע בניתוח רמות החשיפה התעסוקתית במקומות עבודה בעלי שונות ואי אחידות באופי העבודה, כגון מוסכים, ובמקומות עבודה קטנים. קווי המגמה יכולים להראות אם התנהגויות החשיפה בתהליך ובמטלה מקבילות, מתבדרות, מתכנסות או מצטלבות. מטרה זו הושגה ונמצא כי ההתנהגויות הן בעיקר מקבילות לאורך קטעים ארוכים של קו המגמה ומתכנסות לכיוון אזור רמות החשיפה הגבוהות בתרחיש נתון. המחקר לא הציב לעצמו כמטרה לבדוק את השפעתה/תרומתה של יחידת תהליך או יחידת מטלה לחשיפה הכוללת ביום עבודה כתלות במאפייני משך ותדירות. מטרה נוספת הייתה לבדוק אם ניתן על סמך פיתוח תבנית לחשיפה פוטנציאלית לנבא ברמת אבחון מסוימת את החשיפה האקטואלית הצפויה. סוגיה זו היא נושא למחקרים רבים שנערכו, כאשר בהרבה מהם נבחן שימוש במודלים שונים, דטרמיניסטיים ואחרים, כדי ליצור קשרים בין תנאים בחשיפה לבין רמת החשיפה בפועל. התבנית-מודל שפותחה במחקר זה הצליחה ליצור התאמה של 92% בין מצב פוטנציאלי למצב אקטואלי תוך יכולת התרעה מסויימת במקרה של הסתברות לחשיפת יתר. ניתן לצפות שיישומה של השיטה המתוארת כאן להערכת רמות חשיפה ובניית תבניות חשיפה מודליות יהיו נוחים יותר בתעשיות יצרניות.

המודל במחקר הנוכחי הוא מודל תיאורי ואינו דטרמיניסטי או סטוכסטי. מבחינה זו הוא דומה למודלים תיאוריים אחרים המוצעים על ידי תורת הגיהות לצורך הערכת חשיפה פוטנציאלית. בין מודלים אלו יצינו המודל המסווג דרגות סיכון על רצועות אליפטיות (Bullock & Ignacio, 2006) וקובע ציון לכל דרגת חשיפה ודרגת השפעה שמרכיבות יחד את דרגת הסיכון; המודל של רצועות הבקרה (Control Band) הקובע את דרגת הבקרה הדרושה לתרחיש חשיפה על סמך תיאור משתנים של נזק בריאותי, כמות ופוטנציאל פיזור סביבתי של מזהם כימי (AIHA 2007); מודלים מסוג FMECA ו-FMEA המתארים דרגת סיכון בטיחותי של מצב נתון שמורכבת ממכפלה של שלושה משתנים: ההסתברות להתרחשות המצב, תדירות אפשרית להתרחשות וחומרת הנזק הצפוי. באחרונים לעיל מחולק כל משתנה למספר קטגוריות המהוות אפשרויות בחירה כתשובה ולכל קטגוריה נקבע ערך איכותי כציון. מודלים אחרים המשתמשים בציונים מספריים איכותיים וחצי כמותיים לתיאור משתני חשיפה כמטריצה להערכת חשיפה וסיכון מוצגים בעבודות מהשנים האחרונות של חוקרים וגופים אירופאים (Piringer, 2005; Oppl et al, 2003).

בחירת המשתנים האופרטיביים שהרכיבו את סקר החשיפה הפוטנציאלית במוסך ואת מודל תבנית החשיפה התבססה על הרעיון של אפשרות להערכת חשיפה נשימתית פוטנציאלית על פי מספר מינימאלי של מאפיינים (משתנים) המתפצל בין שלושה גושים קטגוריאליים: גוש משתנים מאפיינים של גורם החשיפה בתהליך או במטלה, גוש משתנים מאפיינים של תנאי חשיפה ושיטת עבודה וגוש משתנים מאפיינים של בקרה שמשפיעה על רמת הפוטנציאל של המאפיינים בשני הגושים האחרים. המשתנים, לדוגמא, לא כללו את סוגיית החשיפה העורית ובליעה ואת סוגיית ציוד המגן האישי כיוון שלא היה להן השפעה על רמת הפיזור של המזהם באוויר ועל הריכוזים הזמינים לחשיפה ולכן אין להן השפעה גם על תבנית חשיפה שעוסקת בחשיפה נשימתית.

בתבנית המודל המוצגת במחקר הנוכחי נעשה ניסיון לתת ערכים מספריים לקטגוריות של משתנים שמשמשים בסיס לשיפוט מקצועי. ערכים אלה מפורטים ומובנים יותר מאלה המופיעים במודל האליפטי המומלץ להערכה איכותנית של חשיפה. הקטגוריות בכל משתנה מקיפות באופן מציאותי את האפשרויות המתגלות בשטח בענף המוסכים ובענפים אחרים ועל כן סקלה מדורגת של ציוני איכות מספריים בד בבד עם השינוי בתרומה חיובית או שלילית של המשתנה המאפיין לפוטנציאל החשיפה היא סקלה הגיונית. בסקלה זו עולה הציון כאשר תרומת המשתנה לפוטנציאל החשיפה עולה והוא יורד כאשר תרומת המשתנה מצמצמת את החשיפה הפוטנציאלית כגון תרומתם של אמצעי בקרה הנדסיים. במשתנה הרמה המרבית המותרת עולה ציון הקטגוריה עם הירידה בערך הרמה המרבית המותרת כיוון שככל שרמה זו נמוכה יותר כך הסיכוי שרמת החשיפה בפועל של גורם סיכון בתרחיש נתון תגיע עד לרמה המרבית המותרת הוא יותר גבוה. הניקוד בקטגוריות של מופע החומר בתהליך ניתן על פי פוטנציאל הפיזור בתהליך של המופע במצב מנוחה. מבחינה פיסיקאלית במצב מנוחה גבוה פוטנציאל הפיזור והריחוף של אדים/גז, נדפים ועשן מזה של אבק וסיבים שחלקיקיהם יותר גדולים וכבדים. באופן מעשי לא נמצאים המופעים הפיסיקאליים השונים של החומר באוויר במצב מנוחה עקב האינטראקציה בינם לבין תהליך העבודה ולכן הוסף במודל מקדם כוח פיזור (מקדם אגרסיביות) כדי לתת משקל יחסי לפוטנציאל הפיזור של חומר בסביבת העבודה עקב הטכנולוגיה ושיטת העבודה שבשימוש בתהליך. לחישוב התרומה של משך התהליך לפוטנציאל החשיפה הוכפל הציון המנורמל במקדם נוסף שהוא שבר היחס בין משך התהליך למשך המשמרת (480 דקות בממוצע). צמצום זה נעשה מתוך ראייה שאם התהליך הוא חד פעמי או הזמן המצטבר של מחזוריו קצר יחסית לכל משך המשמרת, המנה המשוקללת היומית (מכפלת ריכוז בזמן) המתקבלת בניטור תחולק ב- 480 כדי להגיע לריכוז המשוקלל על פני 8 שעות. החוקרים ראו צורך לתת לאפשרות זו ביטוי בשקלול הכללי בנוסף על פעולת הנירמול של ציון קטיגוריית משך החשיפה הנבחר (חלוקת הציון של הקטיגוריה הנבחרת במשתנה בציון של הקטיגוריה המקסימלית במשתנה). גם לחישוב ההשפעה של הרמה המרבית המותרת על פוטנציאל החשיפה הוכפל הציון המנורמל במקדם שהוא שבר היחס בין משך החשיפה למשך הזמן הסטנדרטי בתקן. ההצדקה להכפלה במקדם הנוסף, נובעת מכך שהנירמול של ציון קטגוריה מסויימת של רמה מרבית מותרת ביחס לציון המירבי במשתנה זה אינו מביא בחשבון את הקיטון היחסי במנה הנקלטת

(מכפלת הריכוז בזמן החשיפה), כאשר משך החשיפה קצר ביחס למנה מרבית המתקבלת ממכפלת הרמה המרבית המותרת בשמונה שעות שמהוות את הזמן המלא של תקן החשיפה. היתרון בהעדפת מנת החשיפה כפרמטר השוואתי על פני הריכוז האבסולוטי של החומר באוויר נעוץ ביכולת לנרמל תוצאות על פי מכנה משותף ולהשוואה ביניהן גם כאשר גורם החשיפה שונה. מנת החשיפה היא גם פרמטר מוצע על ידי ה-ACGIH לחישוב חשיפה לתערובות (ACGIH, 2009). שימוש בקווי מגמה הסתברותיים במחקר זה הוביל למספר תובנות ומסקנות חשובות. אחת התובנות היא שברוב המקרים במוסכים אין ניתוח תוצאות לפי מטלות מהווה יתרון על ניתוח תוצאות מדידה לפי תהליכים. מהיבט של עמידה בתקני חשיפה, ברוב המקרים מראים שני הניתוחים תמונה דומה במוסכים והסיכון הוא נמוך למיסוך חשיפה חריגה במטלה במקרה שבוחרים להעריך חשיפה בתהליך על פי הממוצע המשוקלל על פניו. על פי התמונה המתקבלת מקווי המגמה, העבודות המועדות לחריגה מתקני חשיפה הן עבודה במתכות בתהליכי מסגרות הכוללים מטלות ריתוך, עבודה בתערובת ממיסים בתהליכי צביעה הכוללים מטלות של הכנת צבע וצביעה בריסוס, עבודה בפולימרים אורגניים וחומרי מילוי, לרבות טלק, בתהליך פחחות. חריגה ברמת החשיפה במטלה בתהליכים אלה עשויה גם לנבא חריגה מתקני חשיפה בתהליך.

תובנה שנייה היא שבחלק קטן מאוד של מדידת רמות חשיפה במוסכים רמת החשיפה במטלה גבוהה מאוד על פני זמן קצר וחורגת מרמות מרביות מותרות בעוד שהרמה בתהליך אינה חורגת מרמה מרבית משוקללת. במקרים אלה הערכת חשיפה על פי תהליך ממסכת את המצב לפיו עובדים חשופים מעל המותר בפרקי זמן חלקיים של התהליך. ניטור חשיפה על פי תהליך בלבד עלול ליצור, איפוא, במצבים אלה תת הערכה של החשיפה האמיתית ולהעמיד את העובד במוסך בסיכון שאינו מוערך נכונה. מצב זה עלול לחזור על עצמו גם בענפי תעשייה אחרים. מטלות ריתוך הם דוגמה לאפשרות כזו במוסכים. לרוב החומרים (74%) במוסכים אין רמה מרבית מותרת לחשיפה לזמן קצר (15 דקות) ולכן, נהוג הכלל המקצועי לפיו, מותרת חריגה בחשיפה לחומרים אלה עד פי 3 – 5 מעל הרמה המרבית המשוקללת שלהם למשך 30 דקות בלבד, בתנאי ואין חריגה מהרמה המרבית המשוקללת על פני כל המשמרת. חריגה לפרק זמן ארוך יותר אסורה.

מטלה שמשכה עד חצי שעה יכולה לחזור על עצמה במוסך ביום עבודה כמספר הפעמים שחוזר התהליך אליו היא שייכת. אם רמת החשיפה לגורם סיכון מסוים במטלה גבוהה יותר מפי שלוש הרמה המרבית המשוקללת של גורם זה המסקנה היא שהעובד במטלה חשוף חשיפת יתר לרמה חריגה וחזרה על המטלה רק מחמירה את המצב.

התובנה השלישית היא מקרה הפוך לקודם. במקרה זה המטלה אינה חורגת מפי שלוש הרמה המרבית המותרת, אך היא מתקרבת לרמה זו. הריכוזים הגבוהים במטלה, למרות שאינם חריגים ביחס לתקן החשיפה, גורמים לריכוז המשוקלל בתהליך לחרוג מהרמה המרבית המשוקללת. מצב זה נצפה בתהליכי פחחות, צביעה ומסגרות במוסכים. החשיפה המשוקללת על פני יום עבודה תהיה גבוהה מהרמה המרבית המשוקללת כתלות במשך המטלה ובתדירותה ביום עבודה. צירופים שונים של ריכוז

חומר במטלה, משך חשיפה במטלה ותדירות המטלה במשמרת עלולים לגרום לריכוז המשוקלל, המחושב על פני משמרת עבודה, להיות גבוה מהרמה המרבית המשוקללת. ניתן לחשב, איפוא, על פי ריכוז החומר במטלה ומשכה כמה פעמים ניתן לחזור על המטלה ביום עבודה כדי שלא תהיה חריגה מהרמה המרבית המשוקללת. השפעת הריכוז באוויר במטלה על הרמה המשוקללת על פני יום עבודה שלם תלויה גם במשך ההפסקות בין מטלה למטלה. ככל שמשך זה קטן, כך תורמת המטלה יותר לעליית הרמה היומית המשוקללת.

כאשר המטלה קצרה מאוד, לדוגמה, קצרה מ- 5 דקות, הסיכון למיסוך משמעות החשיפה בה, אם מעריכים את החשיפה רק על פי תהליך, תלוי במשך החשיפה המצטבר של מטלות קצרות כאלה בכל יום העבודה. משך מצטבר זה עשוי להיות קצר או ארוך משלושים דקות כתלות בתדירות חזרתה של המטלה ביום עבודה. לדוגמה, אם מטלה אורכת 5 דקות ותדירות חזרתה ביום עבודה לא עולה על שש פעמים, יהיה משכה המצטבר 30 דקות. אם מנת החשיפה בה לא עולה על 100% לא תהיה חריגה מעל פי 3 הרמה המרבית המשוקללת לפרק זמן של יותר מ- 30 דקות. תדירות מטלות ותהליכים ביום עבודה אינה אחידה במוסכים והשוני הרב בתדירויות אלה אינו מאפשר להציג פרופיל מייצג שלהן על פני יום עבודה. במטלות קצרות מאוד מומלץ יותר לבדוק את רמת החשיפה בהן ביחס לערך הגבוה פי 5 מהרמה המרבית המשוקללת, שמעליו מוגדרת כל רמת חשיפה מדודה כחריגה. בדיקה מסוג זה מחייבת את הגיהותן להכיר היטב את התהליך ומטלותיו, לזהות את המטלות האורכות דקות בודדות ולנטר אותן בנפרד מהתהליך כדי להימנע מאפשרות שתוצאת החשיפה המשוקללת על פני תהליך תמסך רמה חריגה במטלה קצרה. במחקר הנוכחי הגיע אחוז המטלות שמשכן קצר מ- 5 דקות ל- 13% (44 מתוך 342) ומנת החשיפה של גורמי סיכון בהן הגיעה עד 38% (ביחס לשילוש הרמה המרבית המשוקללת). לא בכל המוסכים חוזרות מטלות אלה למעלה מ- 6 פעמים ביום ועל כן סביר להניח שבחלק גדול מסיטואציות כגון אלה נשמר הכלל לפיו רמת החשיפה אינה חורגת מהתחום של פי 3 עד פי 5 הרמה המרבית המשוקללת לפרק זמן העולה על 30 דקות.

כאשר המטלה ארוכה מ- 30 דקות לא נקבע כלל מנחה לתנאי חריגה מותרת מעל הרמה המרבית המשוקללת ולכן בדרך כלל כדאי להשוות את הריכוז הממוצע המשוקלל על פני הזמן המצטבר של כל המטלות מסוג זה לרמה מרבית משוקללת, אלא אם כן החליט הגיהותן אחרת על פי שיפוטו המקצועי. קווי המגמה של הסתברות החשיפה בתהליך ומטלה אינם מקבילים לאורך כל התחום, אלא לעיתים קו אחד משתלב בשני או חותך אותו והמגמה מתהפכת, כלומר חלק מקו המטלות, נמצא מתחת לקו התהליך וחלק מעליו. היפוך המגמה תוך כדי חיתוך בין הקווים יכול להיגרם משתי סיבות המופיעות יחד. סיבה אחת נוגעת ליחס בין רמות החשיפה של גורם סיכון נתון במטלה לבין רמות החשיפה של אותו גורם בתהליך תואם. כאשר רמת החשיפה של הגורם בתהליך גדולה משליש רמת החשיפה שלו, תהיה הנקודה המציינת את מנת החשיפה של גורם הסיכון בקו המטלה נמוכה מהנקודה התואמת את מנת החשיפה של הגורם בתהליך. זאת, כיוון ששתי הרמות מחולקות ברמה מרבית מותרת לקבלת מנת

חשיפה, אלא שהרמה המרבית במטלה גבוהה פי 3 מזו בתהליך. המצב מתהפך אם רמת החשיפה בתהליך קטנה משליש רמת החשיפה במטלה.

הסיבה השנייה נוגעת לקווי מגמה של ממיסים אורגניים, שם מיוצגת מנת חשיפה של תערובות על ידי סכום של שקולות הריכוז של כל הממיסים בתערובת. ברוב המקרים גבוה מספר הממיסים בתערובת השייכת לתהליך ממספרם בתערובת השייכת למטלה. תוספת יותר שקולות ריכוז מעלה את מנת החשיפה הכוללת בתהליך מעל זו המתקבלת ממספר קטן יותר של ממיסים במטלה.

תבנית החשיפה שפותחה הגיעה ליכולת ניבוי של חשיפה אקטואלית במוסכים ברמת אבחנה ביו תחומי חשיפה החופפים לתחומים הרלוואנטיים בתקנות הבטיחות והגיהות, דהיינו, התחום שעד רמת הפעולה של גורם סיכון, התחום שבין רמת הפעולה לרמה המרבית המותרת והתחום שמעל הרמה המרבית. דרגת הרזולוציה שהושגה בתבנית שפותחה לניבוי רמת החשיפה בפועל אינה רגישה לאבחנה בין רצועות צרות מאד של חשיפה ביחס לרמה המרבית המותרת לחשיפה.

דרגת ההתאמה הגבוהה בין ציוני התבנית לבין רמות החשיפה המדודות התקבלה בתהליך חוזרני ע"י התאמה מיטבית של קווי הגבול בין גזרות הייחוס במשולש המודל (המייצגות את תחומי החשיפה השונים שלו: נמוך, בינוני, גבוה) לבין תחומי הרמות שהתקבלו במדידות. במודל התבנית נבחנו וריאציות שונות של חלוקת שטח המשולש לתת אזורים המייצגים את תחומי החשיפה השונים עד להגעה לחלוקה הנבחרת להשגת התאמה מיטבית בין שטח המייצג ציון תבנית חשיפה לבין רמת חשיפה מדודה בפועל. מספר המקרים של אי-ההתאמות – false positive ו- false negative – בין ההערכה על פי שטח התבנית לבין תוצאת המדידה שימש כמדד נוסף לקביעת שטחי הייחוס המייצגים את תחומי החשיפה השונים במשולש וערך הגבול ביניהם. השאיפה היתה לאיזון סביר בין מקרי ה- false positive לבין מקרי ה- false negative כך שמספר המקרים מאחד מהם לא יהיה גבוה באופן מעוות/קיצוני. לעומת השני, אילו מספר מקרי האי-התאמה של טעות חיובית (false positive) היה גבוה, היה המודל פרוטקטיבי למדי בעוד שמספר גבוה של אי-התאמות של טעויות שליליות (false negative) היה מקטין מאד את ערך המודל וגורם לתת-הערכה של החשיפה.

אי ההתאמה של טעות שלילית בתבנית חשיפה אינה בהכרח חסרון. תרחישי חשיפה בתהליך נתון, שלגביהם מתקבלת על פי תבניות המודל תת-הערכה של חשיפה בהשוואה לרמת חשיפה על פי ניטור במדגם פיילוט, יכולים לשמש כנקודת התרעה לגבי האפשרות לקבל תת הערכה של חשיפה בתרחישים כאלה בעתיד. על פי תבניות החשיפה שפותחו במחקר זה ומתוך הכרת סוגי התהליכים והמטלות שבהם צפויות אי-התאמות של טעות שלילית, יכול הגיהותן להיות יותר זהיר כאשר הוא מבצע בעתיד הערכת חשיפה וניטור בתהליכים דומים. מטלת ריתוך היא דוגמה למטלה שבה יש אפשרות לטעות שלילית ולכן טעות זו במודל מהווה התרעה לגיהותן לנקיטת זהירות יתר בהערכת חשיפה בתהליך ריתוך במוסך כלשהו.

גבולות השטחים של תחומי החשיפה שנקבעו עבור מוסכים במשולש המודל הם דינמיים ועשויים להשתנות מענף תעסוקה אחד למשנהו. דינמיות זו מהווה יתרון המאפשר שימוש בתבנית בענפי תעשייה אחרים לאחר בדיקת היתכנות. השגת התאמה מיטבית בין הערכה פוטנציאלית על פי תבניות לבין תוצאות מדידה בפועל צריכה להתבסס על ציוני חשיפה בכל ענף לגופו על פי סקר חשיפה ותוצאות ניטור במדגם מייצג בענף הנבחר. ישימותו של מודל התבנית בתעשיות אחרות צריכה להבחן מראש על פי נתוני סקר חשיפה וניטור סביבתי שניתנים להשגה במאגרי נתונים עבור כל ענף תעשייה. מודל תבנית החשיפה במחקר יחד עם התוכנה למשתמש מוצעים ככלי עזר לשיפוט המקצועי של הגיהותן. אלו אינם מיועדים לבוא כתחליף לשיפוט המקצועי או הכלים הסטטיסטיים לניתוח חשיפה. ניתן להשתמש בתבנית גם לקביעת סדרי עדיפויות לטיפול במקורות חשיפה. התבנית מנסה לבנות באופן מאורגן את המשתנים החשובים בהערכת חשיפה פוטנציאלית ואת המשקל היחסי בין משתנים אלה. במחקרים שונים שבדקו את מידת האחידות בין גיהותנים שונים בהערכת תרחיש חשיפה זהה, התגלה טווח הערכה לא קטן הנובע בעיקר משיפוט מקצועי סובייקטיבי שונה, כמות מוגבלת של נתוני ניטור ושימוש דל בכלים סטטיסטיים לניתוח החשיפה (Logan et al, 2009). תבניות חשיפה מהסוג שהושג במחקר זה תורמות להקטנת טווח הפיזור של דרגות איכותניות של חשיפה פוטנציאלית הניתנות על ידי גיהותנים בעת ביצוע סקר חשיפה, ולאחידות ומיקוד גדולים יותר בהערכת החשיפה. תבניות אלה עשויות לסייע גם בתכנון ניטור סביבתי ובקביעת אסטרטגיית הניטור בייחוד במה שנוגע להחלטה לגבי ניטור תהליך או מטלה או שניהם במקביל. קווי מגמה הסתברותיים מספקים כלי ניתוחי להחלטה אם עדיף שימוש בתהליך או במטלה כמכוונים להערכת חשיפה במקרים עתידיים.

מקורות ספרות

American Industrial Hygiene association: Guidance for Conducting Control Banding Analyses. Stock number: AEAG07-726, 2007

American Conference of Governmental Industrial Hygienists, "Threshold Limit Values and Biological Exposure Indices" for 2008-2009.

Barregard, L.; Short Daily Exposure to Hand-Arm Vibrations in Swedish Car Mechanics. Applied Occupational and Environmental Hygiene, Vol. 18(1): 35-40, 2003.

Benke, G; Sim, M; Fritchi, L; Aldred, G: Beyond the job exposure matrix (JEM): the task exposure matrix (TEM). *Ann. Occup. Hyg.*, 44:475-482, 2000.

Benke, G; Sim, M; Fritchi, L; Aldred, G: A task exposure database for use in the alumina and primary aluminum industry. *Appl. Occup. Environ. Hyg.*, 16:149-153, 2001.

Bullock, WH; Ignacio, JS, Editors. "A Strategy for Assessing and Managing Occupational Exposures". 3rd edn. American Industrial Hygiene Association, Fairfax, VA, 2006.

Corn, M.; Esmen, A.: Workplace Exposure Zone for Classification of Employee Exposure to Physical and Chemical Agents. American Industrial Hygiene Association Journal, Vol. 40(1): 47-57 (1979).

De Cock, J.; Heederik, D.; Kromhout, H. et al.: Determinants of Exposure to Captan in Fruit Growing. American Industrial Hygiene Association Journal, Vol. 59(3): 166-172 (1998).

Donaghue, A. M.: The Design of Hazard Risk Assessment Matrices for Ranking Occupational Health Risks and Their Application in Mining and Minerals Processing. Occupational Medicine, Vol. 51(2): 118-123 (2001).

Ebresole, M.L., Armstrong, T.J.: A Task Analysis Approach to Assessing Exposure. Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting Proceedings, Industrial Ergonomics, pp. 1150 – 1154 (5), (2003).

Enander, R. T., Cohen, H. J., Gute, D. M., et al.; Lead and Methylene Chloride Exposures Among Automotive Repair Technicians. Journal of Occupational and Environmental Hygiene, Vol. 1: 119-125, 2004.

Goldberg, M.; Levin, S. M.; Doucette J. T.; Griffin G.: A Task-Based Approach to Assessing Lead Exposure Among Iron Workers Engaged in Bridge Rehabilitation. American Journal of Industrial Medicine, Vol. 31: 310-318 (1997).

Hansen, D. J.; Whitehead, L.W.: The Influence of Task and Location on Solvent Exposure in Printing Plant. American Industrial Hygiene Association Journal, Vol. 49(5): 259-265 (1988).

Hawkins, N.C; Norwood, S.K; Roch, J.C.: A Strategy for Occupational Exposure Assessment. AIHA. Fairfax (1995).

Hawkins, N. C.; Evans, J. S.; Subjective Estimation of Toluene Exposure: A Calibration Study of Industrial Hygienists. *Applied Industrial Hygiene*, Vol. 4(3): 61-68 (1989).

Hoar S.: Job Exposure Matrix Methodology. *J. Toxicol – Clin. Toxicol.*, Vol. 21(1&2), 9-26 (1983-84).

Holzner, C. L.; Hirsh, R. B.; Perper, J. B.: Managing Workplace Exposure Information. . *American Industrial Hygiene Association Journal*, Vol. 54:15-21 (1993).

Hyunwook K., Dong UP, Selecting high-risk micro enterprises using a qualitative risk assessment method. *Industrial Health*, 44:75-82, (2006).

Kennedy, S. M.: Job Exposure Matrix for exposures associated with occupational asthma, University of BC, Vancouver Canada.

<<<http://www.cher.ubc.ca/publications/matrix.asp>>>

Kromhout, H.; Symanski, E; Rappaport, S. M.: A comprehensive evaluation of within- and between-worker components of occupational exposure to chemical agents. *Annals of Occupational Hygiene*, Vol. 37: 253-70 (1993).

Kromhout, H.: Design of Measurement Strategy for Workplace Exposure. *Occupational & Environmental Medicine*, Vol. 59: 349-354 (2002).

Kromhout, H.; Oostendorp, Y.; Heederik, D.; Boleij, J.S.: Agreement between Qualitative Exposure Estimates and Quantitative Exposure Measurements. *American Journal of Industrial Medicine*, Vol. 12: 551-562 (1987).

Lazovich, D.; Murray, D. M.; Brosseau, L. M et al.: Sample Size Considerations for Studies of Intervention Efficacy in the Occupational Setting. *Annals of Occupational Hygiene*, Vol. 46(2): 219-227 (2002).

Logan, P; Ramachandran, G; Mulhausen, J; Hewett, P. Occupational exposure decisions: can limited data interpretation training improve accuracy? *Ann. Occup. Hyg.*, 53(4):311-324, 2009.

Mathiassen, S.E., Nordander, C., Svendsen, S.W., Wellman, H.M., Dempsey, P.G.: Task- Based Estimation of Mechanical Job Exposure in Occupational Groups. *Scandinavian Journal of Work, Environmental and Health*, Vol. 31, No. 2, pp. 138 – 151, (2005).

Mekel, O.; Schumann, M.; Mosbach-Schulz, O.: Exposure factors and models for probabilistic exposure modeling – the Xprob-Project. X2004: Exposure Assessment in a Changing Environment. 16 -18 2004, Utrecht, Netherlands.

Nicas, M.; Spear, R. C.: A Task-Based Statistical Model of a Worker's Exposure Distribution: Part I – Description of the Model. *American Industrial Hygiene Association Journal*, Vol. 54: 211-220 (1993).

Oppl, R.; Kalberlah, F.; Evans, P.G.; Van Hemmen, J.J.: A toolkit for dermal risk assessment and management: an overview. *Ann. Occup. Hyg.*, 47(8):629-640, (2003).
Piringer, R.: Risk assessment of chemical hazards. The Austrian Social Insurance for Occupational Risks (AUVA), Wien (2005).

Ramachandran, G.: Toward Better Exposure Assessment Strategies – The New NIOSH Initiative. *Ann. Occup. Hyg.*, Vol. 52, No. 5, pp. 297 – 301, (2008).

Seixas, N. S., Checkoway, H.; Exposure Assessment in Industry Specific Retrospective Occupational Epidemiology Studies. *Occupational & Environmental Medicine*, Vol. 52: 625-633 (1995).

Seixas, N.; Sheppard, L.; Neitzel, R.; Goldman, B. Comparison of task-based estimates with all-shift measurements of noise exposure. *Am. Ind. Hyg. Assoc. J.*, 64:823-829, (2003).

Sieber, W.K.; Sundin, D.S.; Frazier, T.M.; Robinson, C.F.: Development, Use, and Availability of a Job Exposure Matrix Based on National Occupational Hazard Survey Data. *American Journal of Industrial Medicine*, Vol. 20: 163-174 (1991).

Steward, P. A.; Triolo, H.; Zey, J.: Exposure Assessment for a Study of Workers Exposed to Acrylonitrile. II. A Computerized Exposure Assessment Program. *Applied Occupational and Environmental Hygiene*, Vol. 10(8): 698-706 (1995).

Sparer, J., Stowe, M. H., Bello, D, et al.; Isocyanate Exposure in Autobody Shop Work: The SPRAY Study. *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*, Vol. 1: 570-581 (2004).

Svendson, S.W., Mathiassen, S.E., Bonde, J.P.: Task Based Exposure Assessment in Ergonomic Epidemiology: a study of upper arm elevation in the jobs of machinists, car mechanics and house painters. *Occupational and Environmental Medicine*, Vol 62, pp. 18 – 27, (2005).

Tait, K.: The Workplace Exposure Assessment Expert System (WORKSPERT). *American Industrial Hygiene Association Journal*, Vol. 53: 84-98 (1992).

Tait, K.: The Workplace Exposure Assessment Workbook (WORKBOOK). *Applied Occupational and Environmental Hygiene*, Vol. 8(1): 55-68 (1993).

Teschke, K., Olshan, A. F., Daniels, J. L. et al.; Occupational Exposure Assessment in Case-Control Studies: Opportunities for Improvement. *Occupation & Environmental Medicine*, Vol. 59: 575-594 (2002).

Van Hemmen, J. J.: EUROPOEM, A Predictive Occupational Exposure Database for Registration Purposes of Pesticides. *Applied Occupational and Environmental Hygiene*, Vol.16(2): 246-250 (2001). *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*, Vol 1, Issue 11, pp. 725 – 737, Nov 2004.

Verma, DK; Cheng, WK; Shaw, DS; Shaw, ML; Verma, P; Julian, JA; Dumschat, RE; Mulligan, SJP. A simultaneous job- and task-based exposure evaluation of petroleum tanker drivers to benzene and total hydrocarbons. *J. Occup. Environ. Hyg.*, 1(11):725-737, 2004.

Wadden, R.A.; Hawkins, J.L.; Schelff, P. A.; Franke, J. E.: Characterization of Emission Factors Related to Source Activity for Trichlorethylene Degreasing and Chrome Plating Processes. *American Industrial Hygiene Association Journal*, Vol. 52: 349-356 (1991).

פרדו, מ. ריבשטיין, מ. מיימן ואח': דפדפת רשימת תהליכים תעשייתיים והגדרותיהם. המכון לבריאות תעסוקתית, אוניברסיטת תל אביב, דצמבר 1993.

ישום והמלצות

הערכת חשיפה תעסוקתית לגורמי סיכון כימיים היא אחת מתחומי העיסוק המרכזיים של גיהות תעסוקתית. בתחום זה ניתן ליישם את המחקר על תבניות חשיפה הסתברותיות. תוצאות המחקר ומסקנותיו ניתנות ליישום בפעילויות המרכזיות הבאות:

א. הערכת חשיפה נשימתית פוטנציאלית (ללא ניטור) המתבססת על ביצוע סקר גיהות במקום עבודה ועל שיפוט מקצועי.

ב. תכנון, ביצוע וניתוח תוצאות של ניטור סביבתי תעסוקתי להערכת חשיפה נשימתית.

להלן היבטי ישום של המחקר על תבניות הסתברותיות של חשיפה:

1. הפעלת כלי סינון ראשוני (screening) לאיבחון סביבת עבודה בעלת סיכון הנובע מחשיפה תעסוקתית.
2. ישום מתודולוגיה המאפשרת הערכה בסיסית של פוטנציאל חשיפה, בטווח קצר ולאורך זמן, על מנת לקבוע סדרי עדיפויות לטיפול ולניטור סביבתי.
3. ישום תוכנה לחיזוי מנות חשיפה בהסתברות מוגדרת.
4. בחינת התועלת בניתוח חשיפה על פי חלוקת פעילויות עבודה במקום עבודה נתון לתהליכים ומטלות. בחינה זו חשובה במיוחד בתהליכים קצרים הנערכים לסירוגין ובמקומות המאופיינים בכוח עבודה רב תפקידי.
5. ישום שיטה לניתוח תוצאות ניטור, שעשויה לצמצם סכנת מיסוך של שיאי חשיפה בתהליך עבודה בעת ביצוע ניטור סביבתי לקבלת רמת חשיפה ממוצעת ומשוקללת.
6. סיוע בתכנון מערך ניטור במקום עבודה.
7. צמצום ההבדלים בין גיהותנים בודקים מוסמכים בתחום הערכת חשיפה וסיכון והגדלת אחידות הבסיס להערכה.
8. אפשרות ישום תבנית המודל בענפי תעשייה נוספים.
9. שימוש במתודולוגיה לאיסוף נתוני חשיפה תעסוקתית במחקרים בתחום הבריאות התעסוקתית והאפידמיולוגיה.
10. אפשרות ליישום השימוש בתבנית חשיפה גם ע"י רופאים תעסוקתיים ומפקחי עבודה לאחר הכשרה מינימלית בזמן.

הערכת פוטנציאל ישום

א. טווח קצר

תבנית החשיפה והתוכנה הממוחשבת שפותחו מיועדות בראש ובראשונה להערכת חשיפה נשימתית פוטנציאלית בענף המוסכים. בענף זה ניתן ליישם את התבנית והתוכנה באופן מיידי. בודקים מוסמכים יוכלו להשתלם בהפעלת טכניקת התבנית ובבניית קווי מגמה הסתברותיים לתהליכים ומטלות. בעזרת התבנית יוכלו בודקים מוסמכים להעריך חשיפה פוטנציאלית לאחר שיזינו בה את הנתונים הנדרשים מסקר החשיפה. עפ"י המחקר, באחוז קטן של מקרים בתהליכים מסויימים במוסך, כגון תהליכי מסגרות ושיוף, יש הסתברות מסויימת לאי התאמה בין הערכת החשיפה על פי התבנית לבין תוצאות ניטור סביבתי. בתהליכים אלה מומלץ לפרק תהליכים למטלות בעת ביצוע סקר החשיפה ולתכנן ניטור של תהליכים ומטלותיהם במקביל. מטרת הניטור במטלה תהיה לאתר שיאי חשיפה שעלולים לא להתגלות אם הבודק יערוך ניטור בתהליך בלבד וישיג ממוצעים משוקללים על פני משך המדידה. ניתן יהיה לבנות קו מגמה הסתברותי אם הבודק ידגום מספר מספק של דגימות בתהליך ובמטלותיו. סביר להניח שמספר הדגימות בתהליך בודד ובמטלותיו לא יהיה גבוה אם מספר העובדים בתהליך קטן. במקרה זה מומלץ לבצע דגימות במספר מחזורי תהליך ומטלות במשמרת. פעולה זו תאפשר להשיג

רמה ממוצעת ומשוקללת של חשיפה מקיבוץ סך הדגימות במשמרת עבודה כמו גם מדגם דגימות מספק שיאפשר בניית קוי מגמה לתהליך ולמטלה. השוואת קו התהליך לקו המטלה תאפשר לקבוע אם דרגת הסיכון בשניהם דומה או יש להעריך את החשיפה בשניהם באופן שונה.

ב. טווח ביניים

ניתן יהיה, לדעתנו, ליישם את תבנית החשיפה והתוכנה בענפי תעשייה אחרים במקומות עבודה שיש דמיון ביניהם לבין מוסכים במרכיבים הבאים;

- תהליכי עבודה ומטלות
- מאפייני חשיפה
- שיטות עבודה
- גורמי סיכון כימיים

מקומות עבודה העונים לדמיון במאפיינים הנ"ל יהיו אלה המתאפיינים בתכונות הבאות:

1. מקומות עבודה קטנים
2. תהליכים מחזוריים על פני משמרת עבודה
3. מטלות בודדות בכל תהליך
4. מהות עבודה תחזוקתית
5. תכנית עבודה בלתי קבועה המתנהלת על פי הזמנות עבודה, ומתבססת על כמויות משתנות של עבודה בהתאם לשינויים בביקוש
6. חשיפה לסירוגין עם פסקי זמן משתנים בין מחזור תהליך אחד למשנהו
7. אוטומציה נמוכה ושיטות עבודה ידניות-ממוכנות.

כדוגמה למקומות העונים לתכונות הנ"ל יצינו:

מסגרות; נגריות; מצבעות קטנות; בתי מלאכה ליציקות פלסטיות; מקומות בהם עוסקים בהדבקה ומשתמשים בממיסים אורגניים לשם כך, כגון מרפדיות; מקומות קטנים לעבודה באבן; בתי מלאכה קטנים לעבודות מתכת.

כיום, איסוף הנתונים בסקר גיהות הוא על פי מתווה מסוים, ובנקודה זו קיימים הבדלים בין גהותנים/בודקים מוסמכים. משרד התמ"ת עומד להכניס לשימוש נוהל של סקר חשיפה, ולדרוש מבודקים מוסמכים להשתמש בו כדי ליצור מסגרת אחידה לסקר חשיפה ולהגביר את האחידות באיסוף הנתונים. נוהל זה יסייע ליצור בסיס נתונים בעל מכנה משותף במקומות עבודה השייכים לענפי תעשייה שונים. התשתית לנתונים שייאספו על פי הנוהל החדש כוללת כבר את הנתונים הנדרשים לתבנית החשיפה שפותחה.

על מנת לבדוק את היתכנות היישום בענפי עבודה שמהות העבודה בהם דומה למוסכים, יש צורך בהיערכות מוקדמת קצרה בה תופעל התבנית על מאגרי נתונים של סקר וניטור הקיימים במשרד התמ"ת לגבי ענפי עבודה אלה. מאגר הנתונים של מקומות עבודה קטנים יכול לשמש כמאגר מבחן בנושא זה. הפעלת התבנית על מאגר הנתונים והשוואת תוצאות ההפעלה לנתוני הניטור התואמים,

תוכל לספק תחומי חשיפה יחסיים לגזרות השונות במודל התבנית (חשיפה נמוכה, חשיפה בינונית, חשיפה גבוהה), שבעזרתם ניתן יהיה לאמוד את ההסתברות לקבלת מנות חשיפה מסוימות בפועל על פי ניטור.

עם הזמן יצטברו מספיק נתונים של סקרי חשיפה ותבניות חשיפה, וכן נתוני ניטור בתעשיות שטיבן דומה לטיב העבודה במוסכים. נתוני הסקרים והניטור יאפשרו את שיפור ההתאמה בין דרגת החשיפה החזויה על פי התבנית לבין דרגת החשיפה שהתקבלה בניטור. השיפור יאפשר קביעה מיטבית של רמות גבול לתחומי החשיפה במשולש המודל עבור כל תעשייה, ואלו ישמשו כגבולות יחוס לדרגות החשיפה המתקבלות כציונים בתהליך הערכת החשיפה הפוטנציאלית על פי מודל התבנית. כמו כן, תוכל בדיקת ההתאמה לשפר את אומדן ההסתברות לטעות חיובית (False positive) בהערכה, ולטעות שלילית בה (False negative).

ישום האסטרטגיה הכוללת שימוש בקווי מגמה בענפי תעשייה שיש בהם דמיון לענף המוסכים בעייתית יותר בטווח הביניים ליישום, כיוון שהנהל לעריכת סקר אינו מחייב הערכת חשיפה על פי מטלות. כל עוד לא יצטבר בסיס נתונים של חשיפה פוטנציאלית ושל חשיפה בפועל במטלות, יהיה קושי להשתמש בקווי מגמה כדי להשוות בין תהליך למטלה. בפאזת טווח הביניים ליישום תוצאות המחקר, מומלץ איפוא, לעודד איסוף נתונים במטלות בעת עריכת סקרי גיהות ע"י בודקים מוסמכים במסגרת עבודתם השוטפת במקומות עבודה שיש דמיון ביניהם לבין מוסכים במאפייני חשיפה.

עד ליצירת בסיס נתונים של מטלות בתעשיות לעיל, אפשר יהיה לבנות קווי מגמה של תהליכים מתוך מאגרי הנתונים הנמצאים היום ברשות משרד התמ"ת, בתנאי והתהליכים שעל פיהם ממויין כוח העבודה בתעשיות הנדונות הם תהליכים מייצגים.

ג. טווח ארוך

טווח זה דן ביישום התבנית והתוכנה בענפי תעשייה הכוללים מקומות עבודה שאין ביניהם ובין מוסכים דמיון במהות העבודה ובמאפייני חשיפה. בענפים אלה יהיה צורך בשלב קדם (פיילוט) יזום כדי לבדוק את היכולת להשתמש בתבנית החשיפה להערכת חשיפה פוטנציאלית, ולחזוי רמות חשיפה בפועל. תשתית התבנית והתוכנה מתאימות, למעשה, להערכת חשיפה פוטנציאלית לגורמי סיכון כימיים בכל ענף תעשייה, אולם התאמת סולמות הציונים של משתני חשיפה, התאמה מיטבית של גזרות החשיפה הייחוסיות בתוך שטח המשולש של מודל התבנית, וההסתברות לרמות חשיפה בפועל, עשויים להשתנות מענף תעשייה אחד למשנהו. השלבים שידרשו ליישום תבנית החשיפה ולשימוש בקווי מגמה הסתברותיים לניתוח חשיפה חופפים לשלבים ולפרוצדורה שבאמצעותם נבנתה התבנית במחקר. הם כוללים:

- א. ריכוז נתונים מתעשייה נבחרת מתוך מאגרים קיימים של נתוני סקר וניטור (משרד התמ"ת).
- ב. התאמה והסבה של נתוני סקרים במאגר לתשתית הנדרשת לבניית תבנית החשיפה שמתבססת על מיון תהליכים ועל איפיון משתני החשיפה בהם.

- ג. הצמדת נתוני ניטור לנתוני התבניות לאחר ההתאמה.
- ד. עדכון סולמות ציונים בתבנית על פי הענף ומאפייניו.
- ה. יצירת התאמה מיטבית בין תוצאות ההערכה על פי התבנית לבין נתוני הניטור, כדי לקבוע בתוך שטח המשולש של מודל התבנית את תחומי החשיפה הייחודיים ביחס לרמות מרביות מותרות (מנות חשיפה).
- ו. ניתוח תקופתי של נתונים בנקודות זמן שונות על פי מודל התבנית, כדי ליצור עקומה מצטברת של התאמה בין הערכת חשיפה פוטנציאלית על פי תבנית לבין מנות חשיפה בפועל על פי ניטור. שלב זה נכון וטוב גם לגבי ענף המוסכים וענפים דומים לו, ובאמצעותו ניתן יהיה לבצע תיקונים והתאמות בתבנית.
- בסיס נתוני הניטור שייבנה לתעשייה נבחרת, בעת בניית תבנית החשיפה בה, יוכל לשמש לבניית קווי מגמה הסתברותיים בתהליכים בתעשיות אלה. אולם, לצורך השוואה לקווי מגמה במטלות, וטיפול באירועי חשיפה קצרים ושיאי חשיפה, יידרש איסוף נתונים של סקר וניטור גם על פי מטלות במקביל לאיסופם על פי תהליכים בפרויקט הקדם (פיילוט) עבור התעשייה הנבחרת.
- מומלץ שהפעולה המונעת תעודד ותתמוך בביצוע פרוייקטי קדם בענפי תעשייה אחרים.

טכניקת היישום במוסכים

1. ביצוע סקר גיהות במוסך

- 1.1 פירוק פעילויות המוסך לתהליכי עבודה, ופירוק כל תהליך למטלותיו. בשלב זה מופעל שיפוטו המקצועי של הבודק. מומלץ להימנע מהגדרת משמרת עבודה שלמה כתהליך אחד, אם התהליך חוזר על עצמו מספר פעמים באותה משמרת. במקרה של מחזוריות התהליך יש לבנות את תבנית החשיפה עבור כל מחזור בנפרד.
 - 1.2 סקר הגיהות יכלול את משתני התבנית בתוכנה. משתנים אלה הם:
 - 1.2.1 משך החשיפה לגורם סיכון נתון
 - 1.2.2 תדירות החשיפה לגורם
 - 1.2.3 צירוף של שיטת העבודה ותנאי החשיפה בתהליך
 - 1.2.4 הרמה המירבית המותרת לחשיפה
 - 1.2.5 צורת הפיזור של גורם הסיכון באוויר
 - 1.2.6 כמות גורם הסיכון בתרחיש החשיפה
 - 1.2.7 בקרת המקור בתהליך
 - 1.2.8 סוג בקרת הסביבה בתהליך.
- העדר אמצעי בקרה ומניעה יסומן בנתוני הסקר.

2. הפעלת התבנית על פי תוכנה

שיבוץ נתוני התבנית בתוכנה יתבצע לאחר שהבודק בחר את אפשרות התשובה המתאימה ביותר לכל משתנה, על פי שיפוט מקצועי, וקבע את קטיגוריית הציון שינתן לכל תשובה. התוכנה תספק דרגת חשיפה פוטנציאלית בהתאם לתחומי החשיפה הייחודיים בתבנית. יחד עם קבלת דרגת החשיפה הפוטנציאלית תספק התוכנה את ההסתברות החזויה לרמות/מנות חשיפה שעשויות להתקבל בתהליך נבחר על פי המחקר ועל פי הנתונים במאגר תוצאות ניטור בתמ"ת.

3. תכנון מערך ניטור

שימוש בהערכת התבנית ובהסתברויות החזויות של מנות החשיפה כדי לתכנן את מערך הניטור במוסך. מומלץ שמערך זה ייתן דגש למקרים הבאים:

- בדיקת רמות חשיפה לגורמי סיכון כימיים בתהליכים שבהם התקבלה דרגת חשיפה פוטנציאלית גבוהה ו/או בינונית על פי התבנית.
- בדיקת רמות חשיפה לגורמי סיכון כימיים במטלות של התהליכים הנ"ל. דגש מיוחד יש לתת לאותן מטלות שבהן, על פי המחקר, עלולה להיגרם תת-הערכה של חשיפה על פי התבנית. לעומת אלה, חיזוי של רמות חשיפה זניחות או נמוכות בתהליך מסוים יכול לכוון את הבודק המוסמך להקטנת מספר בדיקות הניטור בתהליך זה, תוך נקיטת זהירות, על פי שיפוט מקצועי, לגבי האפשרות לתת-הערכה של החשיפה.

4. עיבוד נתוני ניטור

נתוני הניטור בתהליכים ובמטלות יעובדו לקבלת קווי מגמה הסתברותיים. בעיבוד זה חשוב להקפיד שהקווים ייבנו עבור כל תהליך ובמטלותיו בנפרד, ולא על ידי שילוב נתונים של תהליכים שונים. זאת, כיוון שההנחה היא שהערכת חשיפה תהליך ובמטלותיו מתבססת על קבוצת חשופים בעלי חשיפה דומה (SEG). קו מגמה של תהליך יושווה לזה של מטלותיו כדי לבדוק אפשרות של קבלת תמונת חשיפה שונה בשניהם, ובקרת אפשרות להכללה יחד של קבוצת חשיפה שאינן דומות ולמיסוך חשיפה גבוהה במטלה ע"י רמה משוקללת בתהליך. קווי המגמה יוכלו לשמש כמאגר נתונים לתכנון סקרי חשיפה וניטור במסגרת מעקב תקופתי או פעילות עתידית באותו מקום עבודה. קווי המגמה מהווים פרופיל זהות של החשיפה בפועל במקום העבודה.

ניתן להרכיב קווי מגמה בעזרת תכנת Excel או לחילופין ע"י שימוש בנייר לוגריתמי או חצי לוגריתמי, בהתאם לטיב ההתפלגות הסטטיסטית של תוצאות הניטור. קווי מגמה ניתנים להרכבה גם מתוצאות מצטברות של מספר ניטורים תקופתיים, בתנאי ולא חלו שינויים בתהליכים או במטלותיהם.

טכניקת היישום במקומות עבודה קטנים בעלי קווי דמיון למוסכים

כאמור, יש צורך בהיערכות קצרה שבה תופעל התבנית על נתוני סקר וניטור שהצטברו במאגרי הנתונים בתמ"ת עבור מקומות עבודה קטנים בעלי קווי דמיון למוסכים. לאחר קבלת ההתאמה בין תחומי

החשיפה על פי מוצר התבנית לבין תחומי החשיפה על פי נתוני הניטור בפועל, תופעל במקומות עבודה אלה טכניקת ישום דומה לזו שתופעל במוסכים.

נספחים

נספח מס 1

שאלון לעריכת סקר גיהותי במוסך/ סדנה

פרטי המוסך / סדנה

שם המוסך / סדנה _____

כתובת _____

טלפון איש קשר _____

דואר אלקטרוני _____

אפיון חלל עבודה

שם מחלקה _____

שם תהליך _____

תאור תהליך _____

אפיון תהליך

מספר עובדים בתהליך _____

משך התהליך

1. > ¼ שעה

2. $2 - \frac{1}{4}$ שעות
3. $4 - 2$ שעות
4. $6 - 4$ שעות
5. $8 - 6$ שעות
6. $8 <$ שעות

תדירות התהליך

1. נדיר
2. חודשית
3. דו שבועית
4. שבועית
5. $4 - 3$ פעמים בשבוע
6. כל יום

שיטת העבודה בתהליך

1. אוטומטית ללא שהות העובד לבקרה
2. אוטומטי בנוכחות העובד לבקרה
3. ממוכן בהפעלה מרחוק
4. ידני ולא ממוכן
5. אוטומטי חלקי
6. ממוכן בהפעלה צמודה של העובד
7. ידני ממוכן

מקדם כוח פיזור (מקדם אגרסיביות) בתהליך

1. כלים הידראוליים
2. כלים תרמו דינאמיים – מכאניים
3. כלים תרמו דינאמיים – תרמיים
4. כלים פניאומאטיים – דינאמיים
5. כלים פניאומאטיים – סטטיים

כמות גורם הסיכון בתהליך

1. $100 >$ גר'
2. $100 - 1$ ק"ג

- .3 1 – 10 ק"ג
- .4 10 – 100 ק"ג
- .5 100 – 1000 ק"ג
- .6 < 1000 ק"ג

מופע גורם הסיכון בתהליך

- .1 סיבים
- .2 גז
- .3 עשן
- .4 אדים
- .5 אבק
- .6 נדפים
- .7 אווירוסול טיפתי

רמה מירבית מותרת של גורם הסיכון בתהליך

	<u>Mg/m3</u>
<0.0001 mg/m3	.1
0.0001 - 0.001 mg/m3	.2
0.001 - 0.01 mg/m3	.3
0.01 - 0.1 mg/m3	.4
0.1 - 1 mg/m3	.5
1 - 10 mg/m3	.6
10 - 100 mg/m3	.7
100 - 1000 mg/m3	.8
> 1000 mg/m3	.9
	<u>ppm</u>
< 0.001 ppm	.1
0.001 - 0.01 ppm	.2
0.01 - 0.1 ppm	.3
0.1 - 1 ppm	.4
1 - 10 ppm	.5
10 - 100 ppm	.6

- 100 - 1000 ppm .7
> 1000 ppm .8

בקרת מקור

1. אוטומציה פתוחה
2. אוטומציה סגורה
3. בידוד מלא / אטימה
4. בידוד חלקי / סגור / כליאה
5. תחזוקה מונעת

בקרת סביבה

1. אורור מוהל / כללי
2. אורור אזורי
3. אורור מקומי (כולל מנדף)
4. מסך אוויר
5. אורור PUSH – PULL
6. מיזוג אוויר
7. ניטור התרעה: גלאים עד רמה מירבית מותרת
8. סילוק, ניקוי ונטרול נכון של פסולת
9. שמירת ניקיון סביבת העבודה

בקרת עובד

1. הקפדה על קיום נהלים
2. חדר בקרה / בקרה מרחוק

מיון מטלות בתהליך

מטלה	תיאור מטלה	אפיון גורמי סיכון כימיים והרמה המירבית המותרת	אפיון גורמי סיכון פיזיקאליים	משך מטלה	תדירות מטלה בשבוע	שיטת עבודה במטלה	אפיון אגרסיביות במטלה	כמות גורם סיכון כימי במטלה	מופע גורם סיכון כימי במטלה

--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

אפיון אמצעי בקרה במטלה

שימוש באמצעי הגנה	התאמת אמצעי הגנה	אמצעי בקרת עובד (סוג אמצעי הגנה אישיים)	אמצעי בקרת מקור	אמצעי בקרת סביבה	סוג בקרה

נספח מס' 2

לוח הציונים של קטיגוריות המשתנים בתבניות החשיפה

שם המשתנה	סקלה כמותית	ניקוד	ציר
משך תהליך	> 8	7	הציון שניתן בעד משך התהליך, מוכפל ביחס: משך תהליך בפועל/480דק' משתנה בציר X
משך תהליך	6 - 8	6	
משך תהליך	4 - 6	5	
משך תהליך	2 - 4	4	
משך תהליך	1/4 - 2	3	
משך תהליך	< 1/4	2	
תדירות תהליך	יומית	5	משתנה בציר X

	4	3-4 פעמים בשבוע	תדירות תהליך
	3	שבועית	תדירות תהליך
	2	דו שבועית	תדירות תהליך
	1	חודשית	תדירות תהליך
	1	נדיר	תדירות תהליך
משתנה בציר X	1	אוטומטי ללא שהות העובד לבקרה	שיטת עבודה
	2	אוטומטי בנוכחות העובד לבקרה	שיטת עבודה
	2	ממוכן בהפעלה מרחוק	שיטת עבודה
	4	ידני ולא ממוכן	שיטת עבודה
	5	אוטומטי חלקית	שיטת עבודה
	5	ממוכן בהפעלה צמודה של עובד	שיטת עבודה
	6	ידני ממוכן	שיטת עבודה
שייך למשתנה "שיטת עבודה" (מוכפל בציון של שיטת העבודה)	2	כלים הידראוליים	מקדם כוח פיזור (מקדם אגרסיביות)
	1.75	כלים תרמודינאמיים - מכאניים	מקדם כוח פיזור (מקדם אגרסיביות)
	1.5	כלים פניומאטים - דינאמי	מקדם כוח פיזור (מקדם אגרסיביות)
	1.35	כלים פניומאטים - סטטי	מקדם כוח פיזור (מקדם אגרסיביות)
	1.25	כלים תרמודינאמיים - תרמים	מקדם כוח פיזור (מקדם אגרסיביות)
הציון שניתן בעד TLV של החומר, מוכפל ביחס: משך תהליך בפועל/480דק' משתנה בציר Y	9	<0.0001 mg/m3	רמה מירבית מותרת
	8	0.0001 - 0.001 mg/m3	רמה מירבית מותרת
	7	0.001 - 0.01 mg/m3	רמה מירבית מותרת
	6	0.01 - 0.1 mg/m3	רמה מירבית מותרת
	5	0.1 - 1 mg/m3	רמה מירבית מותרת
	4	1 - 10 mg/m3	רמה מירבית מותרת

	3	10 - 100 mg/m ³	רמה מירבית מותרת
	2	100 - 1000 mg/m ³	רמה מירבית מותרת
	1	> 1000 mg/m ³	רמה מירבית מותרת
	8	< 0.001 ppm	רמה מירבית מותרת
	7	0.001 - 0.01 ppm	רמה מירבית מותרת
	6	0.01 - 0.1 ppm	רמה מירבית מותרת
	5	0.1 - 1 ppm	רמה מירבית מותרת
	4	1 - 10 ppm	רמה מירבית מותרת
	3	10 - 100 ppm	רמה מירבית מותרת
	2	100 - 1000 ppm	רמה מירבית מותרת
	1	> 1000 ppm	רמה מירבית מותרת
	משתנה בציר Y	4	סיבים
6		גז	מופע החומר בתהליך
6		אדים	מופע החומר בתהליך
4		אבק	מופע החומר בתהליך
6		נדפים	מופע החומר בתהליך
6		עשן	מופע החומר בתהליך
5		אווירוסול טיפתי	מופע החומר בתהליך
משתנה בציר Y	0.5	< 100 gr	כמות גורם הסיכון בתהליך
	1	100 gr - 1 kg	כמות גורם הסיכון בתהליך
	2	1 kg - 10 kg	כמות גורם הסיכון בתהליך
	3	10 kg - 100 kg	כמות גורם הסיכון בתהליך
	4	100 kg - 1000 kg	כמות גורם הסיכון בתהליך

	5	> 1000 kg	כמות גורם הסיכון בתהליך	
משתנה בציר Z	3	אוטומציה פתוחה	בקרת מקור	
	6	אוטומציה סגורה	בקרת מקור	
	9	בידוד מלא / אטימה (full containment)	בקרת מקור	
	4	בידוד חלקי (סגירה / כליאה) (enclosure)	בקרת מקור	
	2	תחזוקה מונעת	בקרת מקור	
	5	איוורור מוהל / כללי	בקרת סביבה	
	5	איוורור אזורי	בקרת סביבה	
	7	איוורור מקומי (כולל מנדף) (LEV)	בקרת סביבה	
	7	מסך אוויר	בקרת סביבה	
	7	איוורור משיכה- דחיפה (push- pull)	בקרת סביבה	
	1	מיזוג אוויר (לאיקלום סביבה)	בקרת סביבה	
	6	ניטור התרעה: גלאים עד רמת פעולה	בקרת סביבה	
	4	ניטור התרעה: גלאים עד רמה מירבית מותרת	בקרת סביבה	
	2	סילוק, ניקוי וניטרול נכון של פסולת	בקרת סביבה	
	2	שמירת נקיון סביבת העבודה	בקרת סביבה	
	7	חדר בקרה / בקרה מרחוק	בקרת עובד	
	2	הקפדה על קיום נהלים	בקרת עובד	
	1	יקבלו שני המשתנים האחרים, ציון 1	כאשר יש רק משתנה אחד בציר Z	
		כאשר אין אמצעי הגנה כלל (בשלושה משתני בקרה), המודל לוקח כציון לציר Z, ברירת מחדל שהיא $Z = (X+Y)/2$		ברירת מחדל לציר Z

נספח מס' 3

שיטות חישוב למציאת גודלי הצירים בתבנית החשיפה, שטח גיזרת החשיפה ומפתח השטחים לפי

תחומי חשיפה

ציר X

$$\sum X_{\text{process}} = (x_1/x_{1\text{max}}) + \{(x_2/x_{2\text{max}}) * (t/480)\} + \{(x_3/x_{3\text{max}}) * (\text{Aggressive factor})\}$$

כאשר:

X_1 הוא ציון הניתן על תדירות התהליך

X_2 הוא ציון הניתן על משך התהליך

X_3 הוא ציון הניתן על שיטת העבודה בתהליך

Aggressive factor הוא פקטור אגרסיביות המוכפל בציון של שיטת העבודה בתהליך

t הוא זמן תהליך בפועל מחולק ב 480 דקות

X_{max} הוא ציון מקסימאלי אפשרי בכל אחד מהמשתנים

ציר Y

$$\sum Y_{\text{process}} = (y_1/y_{1\text{max}}) + \{(y_2/y_{2\text{max}}) * (t/480)\} + (y_3/y_{3\text{max}})$$

כאשר:

Y_1 הוא ציון הניתן על כמות גורם הסיכון בתהליך

Y_2 הוא ציון הניתן על רמה מירבית מותרת של גורם הסיכון בתהליך

Y_3 הוא ציון הניתן על מופע גורם הסיכון בתהליך

t הוא זמן תהליך בפועל מחולק ב 480 דקות

Y_{max} הוא ציון מקסימאלי אפשרי בכל אחד מהמשתנים

ציר Z

במקרה של ציר Z, קיימים שני אפשרויות:

אפשרות מספר 1: כאשר אין אמצעי בקרה בתהליך (ברירת מחדל)

$$\sum Z_{\text{process } 1} = (\sum X_{\text{process}} + \sum Y_{\text{process}}) / 2$$

אפשרות מספר 2: כאשר ישנם אמצעי בקרה בתהליך

$$\sum Z_{\text{process } 2} = \{(1/z_1) * (1/z_2) * (1/z_3)\} * 3$$

כאשר:

Z_1 הוא אמצעי בקרה אדמיניסטרטיביים בתהליך

Z_2 הוא אמצעי בקרת מקור בתהליך

Z_3 הוא אמצעי בקרת סביבה בתהליך

מתקבלת וריאציה אחרת לשלושת הצירים:

$$\sum Z_{\text{process } 3} = \sum Z_{\text{process } 1} / \sum Z_{\text{process } 2}$$

כאשר $\sum Z_{\text{process } 3}$ הוא היחס החדש בין מצב בו אין אמצעי בקרה כלל למצב אמיתי בתהליך בו קיימים אמצעי בקרה. ביחס זה נחלק את ציוני ציר X ו- Y.

$$\sum Y_{\text{process } 1} = \sum X_{\text{process}} / \sum Z_{\text{process } 3}$$

$$\sum X_{\text{process } 1} = \sum X_{\text{process}} / \sum Z_{\text{process } 3}$$

$$\sum Z_{\text{process } 1} = (\sum X_{\text{process}} + \sum Y_{\text{process}}) / 2$$

שטח משולש התבנית (סיכום ציוני X, Y, Z)

$$\sum XYZ_{\text{process}} = [(xy/2)^2 + (xz/2)^2 + (yz/2)^2]^{0.5}$$

מפתח שטחים לפי תחומי חשיפה פוטנציאלית

אמדן מנת חשיפה חזויה (ביחס לרמה מרבית מותרת)	תאור רמת החשיפה	שטחי יחוס של משולש התבנית
<50%	זניחה עד נמוכה	משולש קטן: 0 - 3.5
50% - 100%	בינונית	גזרת משולש בינוני: 3.5 - 7.0
> 100%	גבוהה עד גבוהה מאוד	גזרת משולש גדול: > 7.0

נספח מס' 4

איפיון מערכת ממוחשבת לתבניות הסתברותיות להערכת חשיפה במקומות עבודה

1. יעדים

1.1. לקוח/מומחה יישום (משתמש עיקרי)

המשתמשים העיקרים הם אנשי מקצוע בתחום בטיחות וגהות תעסוקתית – ממונים על הבטיחות, מפקחי עבודה, גהותנים ורופאים תעסוקתיים.

1.2. יעדים ומטרות

יעד המערכת הוא להציג למשתמשים מידע לגבי רמת הסיכון הפוטנציאלי בעבודה מבחינת חשיפה לחומרים כימיים.

1.2.1. המטרות

- א. המערכת תשמש כלי ידע לגבי הסיכונים הכימיים הקיימים במפעלי תעשייה;
- ב. המערכת תקבע את רמת הסיכון הפוטנציאלי בעבודה עם חומרים כימיים בהתאם לתנאי העבודה - תהליכי עבודה ואיפיונם;
- ג. המערכת תציג בצורה סטטיסטית את המידע הנאגר במהלך פרויקטים שונים בהם נאספו נתונים לגבי חשיפות לחומרים כימיים, כולל פרויקט סיוע למפעלים קטנים ופרויקט "פיתוח תבניות הסתברותיות להערכת חשיפה במקומות עבודה בישראל".

1.2.2. יעדים עתידיים

המערכת תבנה לפי סטנדרטים המומלצים על ידי אגף הפיקוח על העבודה ולכן היא חלק בפיתוח תוך מידע אחד בנושא בטיחות ובריאות תעסוקתית בארץ.

2. יישום

2.1. סוג המערכת

המערכת שייכת למערכות תומכות החלטות. המערכת מבוססת על אלגוריתם שיפותח על סמך המידע לגבי חשיפות עובדים לחומרים כימיים ועל המתודולוגיה הייחודית של קביעת רמות הסיכון לחשיפה הנ"ל בהתאם לתנאי עבודה.

2.2. משתמשים ומערכות חיצוניות

יעד העידי הוגדרה אפשרות להחלפת המידע הנוצר במערכת עם מערכות אחרות בתחום הבטיחות, הגיהות ובריאות התעסוקתית בארץ. בפרט, העברת המידע למערכת מידע סטטיסטי (מחסן נתונים) שבשלב זה נמצאת בפיתוח במשרד התמ"ת (המפתח - חברת אמפימד).

2.3. ממשק משתמש (מסכים)

2.3.1. מסך כניסה למערכת עם הזדהות משתמשים [S1]

למעשה, המערכת אינה מכילה נתונים לגבי אנשים פרטיים או מפעלים פרטניים, לכן היא יכולה להיות פתוחה לציבור הרחב.

עם זאת, ניתן להוסיף מסך כניסה והזדהות משתמשים במטרה להוסיף בעתיד נתונים פרטניים לגבי מפעלים שהשתתפו בפרויקטים ושימשו בסיס לבניית אלגוריתם לקביעת רמות סיכון לעובדים בהתאם לתנאי עבודה.

במסך יוצגו שדות להזנת שם משתמש וסיסמה. עם סיום הזנה יבוצע זיהוי משתמש וכניסה למסכים אחרים בהתאם להרשאותיו של המשתמש.

2.3.2. מסך הגדרת תנאים וקביעת רמות סיכון [S2]

המסך הינו המסך הראשי של המערכת. במסך זה תבוצע הגדרת חתכים של המידע המבוקש והצגת נתונים עם רמות הסיכון בהתאם להגדרות שבוצעו.

המסך יכיל שתי עמודות של משתנים: משתנה 1 ומשתנה 2. המשתנים יבחרו מרשימה נגללת ובכל עמודה המשתנים יעמדו בהירארכיה – כל רשימה הבאה נגזרת מהבחירה שנעשתה ברשימה מעליה. באיור א' מוצגת דוגמה למסך [S2] (ללא עיצוב) מאב-טיפוס של התוכנה. מספר רמות לכל רשומה יוגדר רק לאחר סיום פיתוח האלגוריתם.

איור א': מסך הגדרת תנאים וקביעת רמות סיכון

רמת הסיכון	הסתברות להופעת חומר	סה"כ נבדקו	חומר (גורם סיכון)	תהליך/פעולה/מטלה	צביעת רכב, צביעת רכב, הכול	1200
0.5	13.88	7	Toluene	23	צביעת רכב, צביעת רכב, הכול	1200
100.0	.02	2	Xylene	33	צביעת רכב, צביעת רכב, הכול	1200
0.5	15.47	7	Isopropyl Alcohol	34	צביעת רכב, צביעת רכב, הכול	1200
1.4	5.15	7	Acetone	70	צביעת רכב, צביעת רכב, הכול	1200
33.3	.15	5	Methyl ethyl ketone	83	צביעת רכב, צביעת רכב, הכול	1200
2.3	2.205906	5	Methyl isobutyl ketone	92	צביעת רכב, צביעת רכב, הכול	1200
0.8	8.65	7	Butyl acetate (n)	94	צביעת רכב, צביעת רכב, הכול	1200

אובייקטים:

הערות	פעולה	שם אובייקט	סוג אובייקט
	סגירת מסך [S2]	סגור טופס	כפתור
	בחירה מרשימה	משתנה 1 רמה 1	תיבת רשומה נפתחת

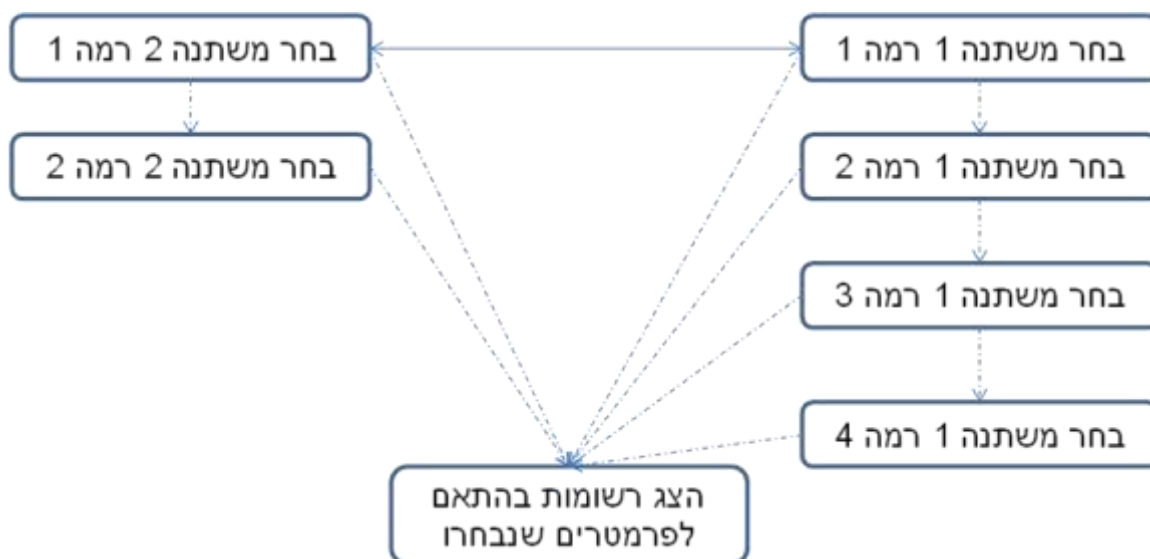
סוג אובייקט	שם אובייקט	פעולה	הערות
תיבת רשומה נפתחת	משתנה 1 רמה 2	בחירה מרשימה	
תיבת רשומה נפתחת	משתנה 1 רמה 3	בחירה מרשימה	
תיבת רשומה נפתחת	משתנה 1 רמה 4	בחירה מרשימה	
תיבת רשומה נפתחת	משתנה 1 רמה 4	בחירה מרשימה	
תיבת רשומה נפתחת	משתנה 1 רמה 4	בחירה מרשימה	
כפתור	נקה הכול	איפוס בחירה, מחיקת ערכים במשתנה 1 ובמשתנה 2	
כפתור	תמונה של חוברת	פתיחת דו"ח להדפסה	
רשומה	רשימת משתנים	הצגת תוצאות השאילתה בהתאם לבחירת פרמטרים במשתנה 1 ובמשתנה 2.	

2.3.3. מסך ניהול משתמשים [S3]

במידה ויוחלט לבצע זיהוי משתמשים יוסף מסך ניהול משתמשי [S3]. בשלב זה לא מפורט.

2.4. תהליכים

התהליכים העיקריים של המערכת מוצגים באיור הבא.
איור ב': תרשים תהליכים



2.4.1. בחירת משתנים [P1]

בחירת הפרמטרים של משתנה 1 ומשתנה 2 מתבצעת בצורה הירארכית. ניתן לבחור פרמטרים של משתנה ברמה 1 ואחר כך – ברמה 2 (יוצגו רק את הפרמטרים הרלוונטיים לבחירה שבוצע ברמה 1) וכד'.
בבחירה אין תלות בין משתנה 1 ומשתנה 2 - כל אחד ניתן לבחירה בסדר חופשי.

2.4.2. הצגת נתונים לפי בחירה [P2]

הצגת נתונים בשאלתה בהתאם לבחירה ניתן לבצע עם בחירה של לפחות משתנה אחד ברמה 1.

2.4.3. ניהול הרשאות למשתמשים [P3]

בשלב זה לא מתבצע ניהול הרשאות למשתמשים, אלא אם יוחלט לעשות מידור משתמשים במערכת, הדבר יבוצע בעתיד.

2.5. מודל נתונים

2.5.1. ישויות המערכת

במערכת קיימות ארבע ישויות עיקריות:

א. תהליכים/מטלות

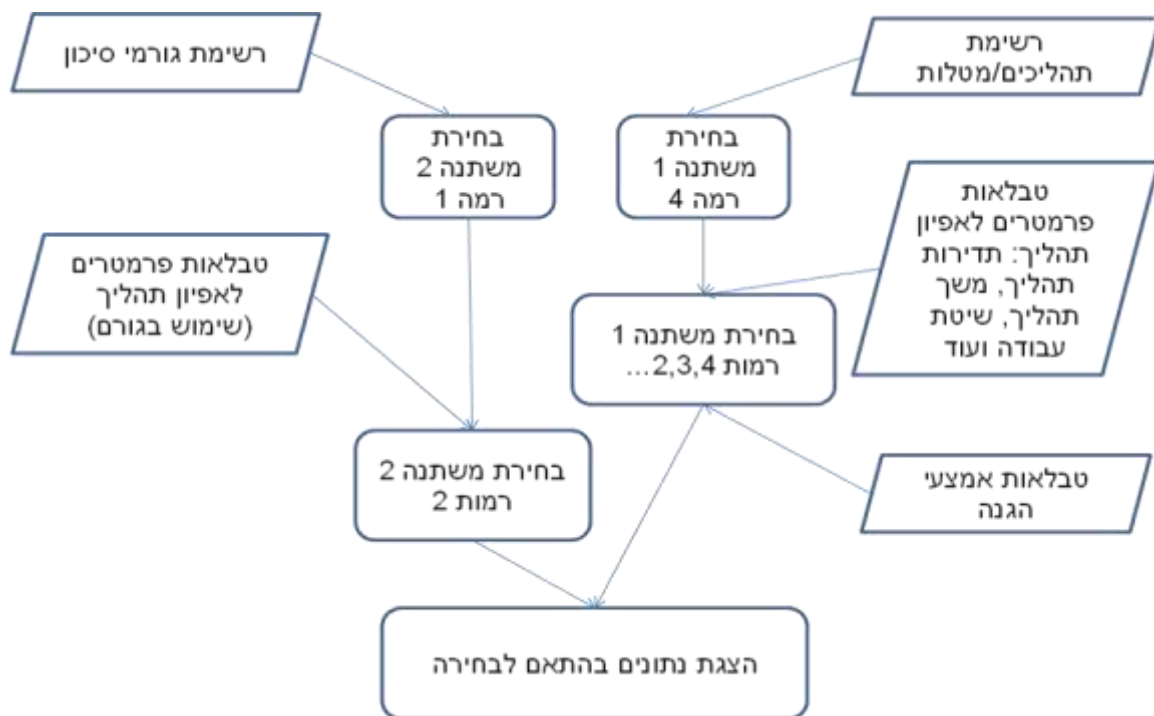
ב. גורמי סיכון (חומרים כימיים)

ג. תנאי עבודה – פרמטרים של תהליך/מטלה

ד. משתמשים

באיור הבא מוצג תרשים זרימת הנתונים (Data Flow Diagram) בהגדרת פרמטרים להצגת מידע.

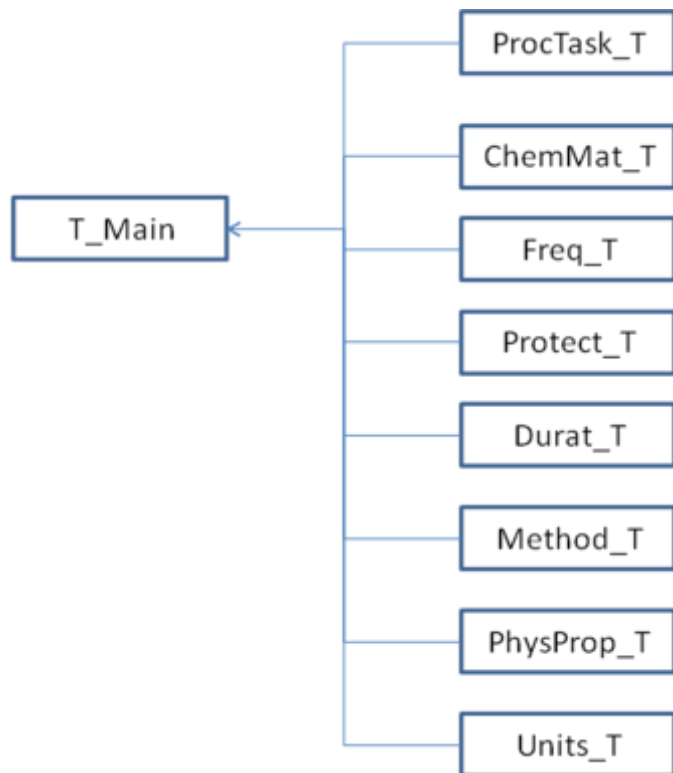
איור ג: תרשים רעיוני של זרימת נתונים



2.5.2. מבנה של בסיס הנתונים

המבנה של הנתונים במערכת מאורגן כך שבליבה תעמוד הטבלה (T_Main) שתכלול את כל הקומבינציות של הנתונים שהתגלו במהלך איסוף נתונים בשטח. עם זאת, מול כל הקומבינציה יעמדו ערכים מחושבים של הסתברות להופעת הקומבינציה כזאת בשטח והערכים של רמת הסיכון לעובד שיחשבו על סמך האלגוריתם שיפותח.

איור ד': מבנה רעיוני של בסיס נתונים



2.5.2.1. טבלאות המערכת

2.5.2.1.1. טבלה ראשית

T_Main					
מס'	שם שדה	תאור שדה	סוג שדה	סוג מפתח	הערות
.1	ProcCode	קוד תהליך	int	FK	
.2	OperCode	קוד מטלה	int	FK	
.3	TaskCode	קוד תת מטלה	int	FK	
.4	duration_code	קוד משך תהליך	int	FK	מתייחס לתהליך או מטלה או תת-מטלה
.5	freq_code	קוד תדירות תהליך	int	FK	"-
.6	method_code	קוד שיטת עבודה	int	FK	"-
.7	mater_code	קוד חומר כימי	int	FK	"-
.8	MonitorResult	תוצאה של ניטור סביבתי	int	FK	
.9	lessThen	פחות מ-	כן/לא	FK	מסמן תוצאות נמוכות מסף רגישות השיטה

T_Main					
מס'	שם שדה	תאור שדה	סוג שדה	סוג מפתח	הערות
.10	unit_code	קוד יחידת מידה	int	FK	
.11	physProp_code	קוד מצב צבירה	int	FK	-"
.12	quant_code	קוד סדר גודל של כמות החומר בתהליך	int	FK	מתייחס לסדר גודל של הכמות הממוצעת בשימוש
.13	prot_kind1	קוד סוג אמצעי הגנה	int	FK	
.14	prot_kind2	קוד סוג אמצעי הגנה	int	FK	
.15	prot_kind3	קוד סוג אמצעי הגנה	int	FK	
.16	prot_kind4	קוד סוג אמצעי הגנה	int	FK	
.17	prot_kind5	קוד סוג אמצעי הגנה	int	FK	
.18	prot_kind6	קוד סוג אמצעי הגנה	int	FK	
.19	CreateUser	קוד משתמש יוצר הרשומה	Int		
.20	CreateDatetime	תאריך וזמן יצירת הרשומה	LongDate		

2.5.2.2. טבלאות תשתית

ProcTask_T – טבלת תהליכים					
מס'	שם שדה	תאור שדה	סוג שדה	סוג מפתח	הערות
.1	ProcCode	קוד תהליך	int	MK	
.2	ProcName	שם תהליך	txt		
.3	ProcDefinition	הגדרת תהליך	txt		
.4	OperationCode	קוד מטלה	int	MK	
.5	OperationName	שם מטלה	txt		
.6	OperationDefinition	הגדרת מטל	txt		
.7	TaskCode	קוד תת-מטלה	int	MK	
.8	TaskName	שם תת-מטלה	txt		

ProcTask_T – טבלת תהליכים					
מס'	שם שדה	תאור שדה	סוג שדה	סוג מפתח	הערות
.9	TaskDefinition	הגדרת תת-מטלה	txt		
.10	CreateUser	קוד משתמש יוצר הרשומה	Int		
.11	CreateDatetime	תאריך וזמן יצירת הרשומה	LongDate		

ChemMat_T – טבלת חומרים כימיים (חומרים טהורים)					
מס'	שם שדה	תאור שדה	סוג שדה	סוג מפתח	הערות
.1	CompCode	קוד חומר	Int	MK	
.2	ChemName	שם חומר	Txt		
.3	CreateUser	קוד משתמש יוצר הרשומה	Int		
.4	CreateDatetime	תאריך וזמן יצירת הרשומה	LongDate		

Freq_T – תדירות תהליך					
מס'	שם שדה	תאור שדה	סוג שדה	סוג מפתח	הערות
.1	FreqCode	קוד תדירות תהליך	Int	MK	
.2	FreqName	שם תדירות תהליך	Txt		
.3	FreqDefinition	הגדרת תדירות תהליך	Txt		
.4	CreateUser	קוד משתמש יוצר הרשומה	Int		
.5	CreateDatetime	תאריך וזמן יצירת הרשומה	LongDate		

Durat_T – משך תהליך					
מס'	שם שדה	תאור שדה	סוג שדה	סוג מפתח	הערות
.1	DuratCode	קוד משך תהליך	int	MK	
.2	DuratName	שם משך תהליך	txt		
.3	DuratDefinition	הגדרת משך תהליך	txt		
.4	CreateUser	קוד משתמש יוצר הרשומה	Int		
.5	CreateDatetime	תאריך וזמן יצירת הרשומה	LongDate		

Method_T – שיטת עבודה					
מס'	שם שדה	תאור שדה	סוג שדה	סוג מפתח	הערות
.1	MethodCode	קוד שיטת עבודה	int	MK	
.2	MethodName	שם שיטת עבודה	txt		
.3	MethodDefinition	הגדרת שיטת עבודה	txt		
.4	CreateUser	קוד משתמש יוצר הרשומה	Int		
.5	CreateDatetime	תאריך וזמן יצירת הרשומה	LongDate		

PhysProp_T – מצב צבירה					
מס'	שם שדה	תאור שדה	סוג שדה	סוג מפתח	הערות
.1	PhysPropCode	קוד מצב צבירה	int	MK	
.2	PhysPropName	שם מצב צבירה	txt		
.3	PhysPropDefinition	הגדרת מצב צבירה	txt		
.4	CreateUser	קוד משתמש יוצר הרשומה	Int		
.5	CreateDatetime	תאריך וזמן יצירת הרשומה	LongDate		

Protect_T – אמצעי הגנה					
מס'	שם שדה	תאור שדה	סוג שדה	סוג מפתח	הערות
.1	ProtectCode	קוד אמצעי הגנה	int	MK	
.2	ProtectName	שם אמצעי הגנה	txt		
.3	ProtectDefinition	הגדרת אמצעי הגנה	txt		
.4	CreateUser	קוד משתמש יוצר הרשומה	Int		
.5	CreateDatetime	תאריך וזמן יצירת הרשומה	LongDate		

Units_T – יחידות מידה					
מס'	שם שדה	תאור שדה	סוג שדה	סוג מפתח	הערות
.1	UnitCode	קוד יחידת מידה	int	MK	

Units_T – יחידות מידה					
מס'	שם שדה	תאור שדה	סוג שדה	סוג מפתח	הערות
.2	UnitName	שם יחידת מידה	txt		
.3	UnitDefinition	הגדרת יחידת מידה	txt		
.4	CreateUser	קוד משתמש יוצר הרשומה	Int		
.5	CreateDatetime	תאריך וזמן יצירת הרשומה	LongDate		

2.6. אבטחת מידע

אבטחת מידע באינטרנט מבוצע על ידי ניהול הרשאות למשתמשים, אם תידרש. המערכת אינה מכילה נתונים לגבי אנשים פרטיים או מפעלים פרטניים, לכן היא יכולה להיות פתוחה לציבור הרחב.

2.7. נפחים, עומסים וביצועים

נפחים ועומסים יבדקו במהלך הפיילוט.

3. טכנולוגיה ותשתיות

3.1. כללי

התוכנה תכלול אפליקציה אחידה לכל המשתמשים המבוססת על אינטרנט (בטכנולוגיית ASP) עם התקנה אחת בשרת אינטרנט. היתרון בשיטה זאת הוא ביכולת תחזוקה. כבסיס הנתונים ישמש My SQL.

3.2. אחסנת נתונים

אחסנת נתונים תהיה בבסיס נתונים בשרת של חברת אמפימד, או בכל שרת אחר לפי דרשת המזמין.

3.3. ציוד קצה

התוכנה תעמוד לרשות המשתמשים בגישה דרך אינטרנט.

3.4. עדכון טבלאות תשתית

עדכון טבלאות תשתית, אם ידרש, יבוצע במאגר מרכזי. באתר אינטרנט יופיעו הודעות על שינויים שבוצעו.

4. מימוש

4.1. כללי

התוכנה תפותח באפליקציית WEB.

נספח מס' 5

סיווג מטלות ושכחות היחסית בתהליכי עבודה במוסכים אזרחיים וצבאיים

שם תהליך	שם מטלה	מוסכים אזרחיים	אחוזים	מוסכים צבאיים	אחוזים
מכונאות	החלפת דיפרנציאל	0	0.0%	2	4.8%
	החלפת מסננים	9	13.4%	22	52.4%
	החלפת שמנים	0	0.0%	8	19.0%
	החלשת רפידות	0	0.0%	1	2.4%
	הרכבת אגן שמן	1	1.5%	0	0.0%
	הרכבת גלגלים	7	10.4%	0	0.0%
	הרכבת מיסב	2	3.0%	0	0.0%
	הרכבת תיבת הילוכים	2	3.0%	0	0.0%
	השחזה	1	1.5%	0	0.0%
	טיפול בבלמים	0	0.0%	7	16.7%
	טיפול במשאבת דלק	1	1.5%	0	0.0%
	ניקוי בית פילטר	3	4.5%	0	0.0%
	ניקוי בלמים באוויר דחוס	2	3.0%	0	0.0%
	ניקוי חלקים	4	6.0%	0	0.0%
	ניקוי מזרקים	6	9.0%	0	0.0%

0.0%	0	16.4%	11	פירוק גלגלים	
0.0%	0	3.0%	2	פירוק מיסב	
0.0%	0	1.5%	1	פירוק משאבת דלק	
0.0%	0	3.0%	2	פירוק תיבת הילוכים	
2.4%	1	14.9%	10	ריסוס בתרסיס קרבורטורים	
2.4%	1	0.0%	0	שטיפת מנוע	
0.0%	0	4.5%	3	שימוש בתרסיס סיכה	
(100%) 42		(100%) 67		סה"כ	
13.3%	2	10.7%	3	הכנת חומר מילוי	פחחות
20.0%	3	17.9%	5	הסרת צבע ישן	
46.7%	7	35.7%	10	מריחת חומר מילוי	
20.0%	3	35.7%	10	שיוף	
(100%) 15		(100%) 28		סה"כ	
0.0%	0	7.7%	1	הלחמת רדיאטורים	מסגרות
29.2%	7	7.7%	1	השחזה	
0.0%	0	7.7%	1	חיזוק קו אמצעי	
0.0%	0	15.4%	2	חיתוך בלהבה	
0.0%	0	7.7%	1	חיתוך רדיאטורים בלהבה ופירוקם	
0.0%	0	7.7%	1	חריטת רפידות	

4.2%	1	0.0%	0	ליטוש משאבה	
4.2%	1	7.7%	1	צביעה במברשת	
62.5%	15	38.5%	5	ריתוך באלקטרודה מצופה	
(100%) 24		(100%) 13		סה"כ	
21.4%	6	20.9%	9	הכנת צבע	צביעה
0.0%	0	4.7%	2	הסרת סיליקון ווקס	
17.9%	5	9.3%	4	ניקוי כלי צביעה	
3.6%	1	0.0%	0	צביעה במברשת	
53.6%	15	32.6%	14	צביעה חיצונית בריסוס	
3.6%	1	20.9%	9	צביעת יסוד בריסוס	
0.0%	0	11.6%	5	צביעת לכה בריסוס	
(100%) 28		(100%) 43		סה"כ	
0.0%	0	5.6%	1	איזון גלגלים	תיקון תקרים
61.5%	8	22.2%	4	הדבקה	
0.0%	0	16.7%	3	הרכבת גלגלים	
38.5%	5	22.2%	4	ניקוי שטח צמיג	
0.0%	0	16.7%	3	פירוק גלגלים	
0.0%	0	16.7%	3	שיוף בדיסקה לתיקון תקר	
(100%) 13		(100%) 18		סה"כ	
50%	2	0%	0	תדלוק	תדלוק
50%	2	0%	0	ריקון מיכל דלק	

Extended Abstract

Introduction

Several approaches for occupational exposure assessment exist, the majority of which involve qualitative/semi-quantitative or quantitative assessment. Qualitative or semi-quantitative assessment is based on various factors, mostly descriptive, and the potential exposure level may be rated on an ordinal scale (low, medium, high), since at this stage quantitative exposure measurements are usually lacking. This type of assessment usually employs a walkthrough survey at the work site. In comparison to qualitative assessment, quantitative assessment relies on measurements and therefore is more accurate and specific; however, environmental monitoring is carried out only periodically and the results are dependent on the conditions prevailing at the time of sampling. Hence, the probability of erroneous assessment may be significant when a correlation is sought between a semi-quantitative assessment and monitoring results.

Different assessment approaches and statistical models have been developed in recent decades to enhance accuracy and reliability of such correlations. Industrial hygienists have developed strategies of exposure assessment, using technological processes in a workplace as a basic unit for forming the similar exposure groups (SEG) which constitute a central element in standard exposure assessment methodology. However, characterizing the exposure of a work force has encountered difficulties when the work force has been classified by technological processes and jobs only. These difficulties have led professionals to recommend that SEG classification and exposure assessment also include characterization of work tasks. Breaking the process into its tasks and conducting a task-based exposure assessment help to refine the exposure characterization and reduce both misclassification of SEGs and assessment errors. Another benefit of task-based exposure assessment is the lower likelihood of masking exposure peaks when assessing time-weighted average exposure over long processes or over workshifts. Recently, studies have indicated that task-based exposure assessment is not always an advantageous strategy and that the correlation between assessment by this strategy and assessment by process-based strategy is not always satisfactory. There is a need to combine the two approaches case by case, in accord with job type and exposure scenario.

The use of probabilistic exposure matrices has been recommended to deal with the challenge of more complex exposure scenarios and their health risk assessments. From the relative contributions of each component in the matrix and of the interactions between them can be

derived a weighted outcome, defined as an exposure rank. The methodology of exposure matrix analysis is widely used and has been proved efficient in assessing occupational health hazards.

Maintenance of motorized vehicles in auto repair garages was selected in the present study as an industrial category suitable for exposure assessment through the use of exposure matrices. The aim of this study was to construct exposure matrices allowing the ranking of exposure estimates for hazards present in such garages under given work pattern and exposure conditions. The study examines a control tool aimed at separating a work process into its component tasks and analyzing the exposure for each task so as to reduce the possibility of failing to detect short exposure excursions. Another goal of this study was to develop computer software that could construct exposure matrices based on a model.

Research Methods

The study included 50 garages, 35 civilian and 15 military (workshops), located in the north, center (including the region of Jerusalem) and south of the country. Data gathered by the Ministry of Industry, Commerce and Labor in recent years through environmental surveys and monitoring served as the basis for classifying working processes in garages. For each garage, the work processes and tasks were categorized, and the characteristics of the processes and tasks as well as those of the relevant exposure variables were surveyed. The most common categories of processes were chosen in order to attain enough observations for hypothesis testing. A structured questionnaire was used to gather garage survey data about work processes and tasks. Detailed data were obtained by observations at the garage and from information supplied by garage owners and workers. Once specific work processes had been identified, each was broken down into a series of tasks. Data were gathered separately for each process as a whole and for each task in that process as to duration, frequency, work procedure and conditions of exposure, chemical hazards present, the quantity of the chemical agent present during performance of the process or task, and the form in which the agent appeared in the air during exposure. Data were also collected as to the engineering, managerial and personal controls in place for each process and task. These comprised the independent variables in the study. Each variable was represented in the questionnaire by a multiple choice question. In each variable, the appropriate response option was selected by the surveyor to best describe a given exposure scenario in a garage. Each option selected was given a qualitative numerical score ranking its relative contributing weight to the potential exposure on a qualitative scale. Each score was then normalized to the maximum score given in that variable category. The exposure variables were divided into three clusters, and the combined ranking of each was constructed by weighting the relative contributions of its variables and the interaction between them. The scores of the three clusters were combined using a model-derived formula

to yield one general score reflecting a potential exposure rank. The combination of all given exposure variables in a given exposure scenario was defined as an exposure matrix and the potential exposure general score calculated for this scenario was assigned to that exposure matrix.

A graphic model was developed where the three weighted scores of the three clusters were plotted as points on orthogonal axes, creating a right-angled tetrahedron.

Connecting the three points formed a triangle of calculable area in the space within the tetrahedron. The surface area of this triangle represented an exposure matrix with a qualitative potential exposure rank. The maximal possible surface area among all the possible combinations of the exposure variables served as a reference maximal score to which the score estimates of the exposure matrices were compared. The maximal surface area was further divided into three sub zones each defining an exposure rank: low (estimating potential exposure up to 50% of the Occupational Exposure Limit (OEL)), medium (estimating potential exposure between 50% of the OEL and the OEL), high (above the OEL).

Air sampling was performed for every process and task to assess the level of exposure to chemical hazard factors. All methods of assessment used were based on those approved by the supervision department of the Ministry of Industry, Commerce, and Labor. The exposure levels obtained were calculated as exposure doses: the time weighted average exposure level (TLV-TWA) was used as a reference value to calculate the exposure dose in each process, and the short term exposure level (TLV-STEL) or three times the TLV-TWA (for excursions in the absence of STELs) was used to calculate brief exposure doses in tasks.

Descriptive statistics were calculated for the exposure dose of each process and task.

Exposure profile probability plots (EPPP) were drawn for each to depict the exposure levels on probability paper as a function of the cumulative probability of their appearance. These plots indicated the cut-off points for recommending whether process or task should be the appropriate unit for exposure assessment in a given exposure scenario.

Including the results of the environmental monitoring in the construction of the exposure matrix allowed estimation of a given level of respiratory exposure for a given case as a function of the exposure characteristics and factors in that case.

In order to obtain a predictive correlation between the results of the potential exposure matrix model and observed respiratory exposure, the exposure matrices thus derived were compared to corresponding findings of monitoring, and the degree of fit between the two was calculated.

In order to allow accessibility of the exposure matrix model for potential users, a WEB application program for these calculations was developed, to be available over the internet.

Results

Classification of processes in auto repair garages created five major categories and a sixth, infrequently performed process characteristic of military garages only. Mechanics was the most common process, and it was more frequent in civilian than in military garages. Painting was the second most common process. Equal frequencies were found for processes of metalworking and puncture repair while the latter was more frequent in military than in civilian garages. A full fueling process was observed in two military garages only.

A broad variety of tasks was observed in the processes studied. Mechanics included the most tasks, and the most frequently performed tasks. A broad variety of chemical hazard factors was found. Most prominent were organic solvents and metals, as well as inorganic materials and organic polymers, most having forms of dispersion designated as particulate not otherwise specified (PNOS). Oils and fibrous materials were also found.

The frequency of processes lasting more than four hours per work day was low (12.6% of all observations), and the most frequent duration for a process, as observed, was from 15 to 60 minutes. Most processes were performed daily (66%), and 30% of the observations were of processes performed three to four times weekly. In 70% of the observations a mechanized process manually operated took place. Quantities of materials with potential for airborne dispersion during the various processes were most frequently estimated in the survey as not exceeding 100 grams (around 49% of all observations). Metalworking was most frequently reported to use materials in amounts up to 1 kg and those exceeding one kg. Chemical hazard factors observed appeared in the air in five physical forms: dust, fibers, fumes, droplet aerosols and vapors. Vapors of organic solvents were the most frequently found chemical hazard because these materials were the most frequently used in all five processes observed in the garages. Garages do not usually employ engineering exposure controls, and workers generally use no personal respiratory protection or protective plastic gloves.

The durations of most tasks was found to be notably short, with 70% of them lasting less than 15 minutes. Most tasks in garages (65%) are mechanized-manually operated. The minimal use of ventilation and personal respiratory and skin protection characterize the tasks as it did in the processes.

The dispersion of airborne exposure levels is very broad, with a log-normal distribution pattern. The exposure levels to materials in the processes are usually low. The geometric means of the exposure doses did not exceed any action level for any material. With the exception of metals, none of the unbiased arithmetic means of the exposure doses exceeded the action levels. Differences in exposure level were found between civilian and military garages. Due to the largely right-skewed probability distributions, the unbiased arithmetic means of the exposure doses were higher than their geometric means.

The number of deviations of exposure levels from the TLV for processes in the garages was small, and reached 4.6%. The deviations from the TLV for hazard groups reached 3.5% of the samples analyzed for solvents, 4% for metals and 8% for particles. In the tasks, as well, deviations from the TLV reached only 5%. Deviations were found for solvents in the processes of painting and fueling, for particles in auto body work, and for metals in soldering.

Similarly, the exposure profile probability plots (EPPP) are adjacent for monitoring results performed per process and per task, indicating similar behavior in both cases. The EPPP of exposure doses for tasks indicates no task exposure particularly deviant relative to short term exposure limits (TLV-STEEL or excursion limits), and hence not masked by time weighted averages obtained over a full process or a shift.

According to the exposure matrix model developed, most potential exposure ranks predicted by the model for the various exposure scenarios in garages belong in the negligible to low exposure zone. The fit between the potential exposure rank as calculated by the model for each scenario and the range of actual monitoring results reached 92%. The model's predictions were higher than the actual exposure range (false positive) for 2.3% of the observations. In 5.6% of the observations the model's predictions were lower than the actual exposure range (false negative). In such cases, decision-making based on the model alone might have resulted in workers having been exposed to levels of hazards beyond the permitted level or at a level of exposure higher than that predicted.

Discussion and conclusions

The present study examined the roles of work process- and task-based exposure assessment and of the optional use of exposure matrices in occupational hygienists' evaluation of occupational exposure in auto repair garages. Breaking workplace activities down into work processes contributes to the recognition of exposure sources and their hazard potential, and to the rating of hazards on a qualitative scale of risk levels.

However, in complicated scenarios or multi-task activities, it may be inherently difficult to characterize exposure by classifying the work force according to jobs and processes only. This difficulty has led professionals to recommend a focus on work tasks during qualitative and quantitative exposure assessment. Breaking down a process into tasks helps in assessing peak exposure. In maintenance and service occupations, such as auto repair garages, it is more difficult to compose similar exposure groups for exposure assessment. The parallel or alternative use of processes and tasks as units of analysis, together with the use of exposure profile probability plots (EPPPs) could help in dealing with this difficulty.

In most cases, the general patterns of the EPPPs obtained in this study for a process and its tasks were enough similar to suggest that task-based assessment in these cases had no advantage over process-based assessment for auto repair garages. In a very small number of

cases, the exposure level for a task exceeded the TLV, while that for the process was below the TLV-TWA. In these few cases, assessing exposure by process alone would have masked worker exposure above that permitted over some part of the process, and created an underestimation of the actual exposure. In another few cases, the opposite situation occurred, and no excessive exposure for a task hinted at the fact that the process to which the task belonged exceeded the TLV-TWA.

The operational variables comprising the survey of potential exposure and the exposure matrix in garages were selected based on the idea of assessing potential respiratory exposure using a minimum of characteristics (variables). The exposure matrix model used in this study together with the computer software developed are offered as tools for use at the discretion of the industrial hygienist, but are not intended to replace professional judgment or statistical procedures for assessing exposure.

The development of the exposure matrix achieved the capability to predict ranges of actual exposure which correspond to the functional ranges in safety and hygiene regulations. The level of resolution attained in predicting actual exposure level is not sensitive enough to distinguish between narrow bands of exposure level. On the other hand, applying the exposure matrix developed in a pilot studying in given exposure scenarios may identify situations where assessment of potential exposure may underestimate actual exposure in future assessments of such scenarios.

Use of exposure matrices should be encouraged, because they can aid industrial hygienists in assessing potential exposure and improve decision-making reliability in complex situations involving multiple variables. Use of EPPPs provides an analytical tool which can help to determine whether process or task should be the unit of choice for exposure assessment. Although this model could be applicable to other industries, applicability must be verified through survey and monitoring data base gathered for each industry.