

מנועי דיזל – תוצרי פליטה

דף מידע מאת: רינה קנוביץ

השימוש במנועי דיזל נפוץ מאוד בתעשייה ובעבודות ציבוריות. משאיות, מלגזות, מחפרים, מכונות כרייה וקידוח, מופעלים כולם באמצעות מנועי דיזל. החשיפה לגזי הפליטה הנפלטים ממנוע הדיזל תלויה בתדירות התפעול ובסביבת העבודה. מובן שהבעיה מחמירה כאשר מדובר בהפעלת מנועי דיזל בבתי המלאכה, מחסנים, חפירות, תעלות, מנהרות וחניונים תת קרקעיים. חשיפה ממושכת לרמות גבוהות של גזי פליטה עלולה להגביר את הסיכון לחלות בסרטן הריאה ושלפוחית השתן ולהתפתחות של מחלות נשימתיות כדוגמת ברונכיט ואסטמה. בחשיפה אקוטית יגרמו סחרחורות, נמנום, כאבי ראש, בחילות וקשיי נשימה.

תוצרי פליטה

קשה להתייחס לתוצרי הפליטה של מנוע דיזל כיוון שמדובר ביותר מ-450 חומרים (בחלק מהמאמרים טוענים שנפלטים אלפים) המופיעים כגזים, אדים וחלקיקים, חלקם ידועים כמסרטנים ורעילים. קיימים גופים המגדירים את גזי הפליטה כמסרטנים בבני אדם, אחרים עדיין מסווגים אותם כחשודים כמסרטנים בבני אדם.

להלן טבלה המפרטת חלק מהחומרים המרכיבים את גזי הפליטה של מנוע הדיזל לשם המחשת הבעייתיות:

תוצרי פליטה ממנוע דיזל (רשימה חלקית)

אצטאלדהיד	קובלט (תרכובות)	כלורובנזן
אקרולאין	קרזולים	עופרת
אנילין	תרכובות ציאניד	מנגן (תרכובות)
אנטימון (תרכובות)	דיבוטיל פטלאט	כספית (תרכובות)
ארסן	אתיל בנזן	מתנול
בנזן	פורמלדהיד	מתיל אתיל קטון
בריליום (תרכובות)	PAH	נפטלאן
ביפניל	סלניום (תרכובות)	ניקל
1,3 בוטדיאן	סטירן	4 - ניטרוביפניל
קדמיום	טולואן	פנול
כלור	קסילן	כרום (תרכובות)

כאשר מדובר בחשיפה לתוצרי הפליטה של מנוע דיזל לא ניתן כמובן לדון במאות חומרים שריכוזם בדר"כ מזערי לפיכך מתייחסים למס' מצומצם של חומרים מתוך המאות.

חלקיקי פחמן

מנוע הדיזל פולט פי 2 עד 10 חלקיקים לעומת מנוע בנזין, החלקיקים מורכבים בעיקר מפחמן אלמנטרי שעל גביו ספוחים חומרים אורגניים אשר חלקם ידועים כקרצינוגנים/מוטגנים, המרכיבים האורגנים הם תוצרים של בעירה בלתי שלמה של הדיזל ושמיני המנוע. החלקיקים ברובם (בסביבות 95%) קטנים מ-1 מיקרון, הם יציבים ביולוגית בנוזלי הריאה ועלולים להצטבר בה.

במס' רב של מחקרים הוכיחו שפחמן יכול לשמש כסמן טוב לחשיפה לתוצרי הפליטה של דיזל זאת כאשר אין בסביבת העבודה מקור נוסף לפחמן (לדוגמה בתהליכים בהם משתמשים בפחם שחור - carbon black או במכרות פחם).

חד תחמוצת הפחמן (CO)

גז חסר צבע וחסר ריח, בעל כושר היקשרות (אפיניות) גבוה להמוגלובין. תופס את מקום החמצן ע"ג ההמוגלובין ויוצר קרבוקסי המוגלובין. בכך מצטמצמת יכולת הדם להוביל חמצן לתאים. מנוע דיזל המכוון היטב יוצר רמות נמוכות יותר של CO לעומת מנוע בנזין.

תחמוצות חנקן NO

חד תחמוצת החנקן (NO) הינו גז חסר צבע וחסר ריח, זוהי תרכובת בלתי יציבה המגיבה בטמפ' הסביבה עם חמצן ליצירת דו תחמוצת החנקן (NO₂). חשיפה לתחמוצות החנקן גורמת לבעיות נשימתיות. מנוע דיזל פולט רמות גבוהות יותר של תחמוצות חנקן לעומת מנוע בנזין.

דו תחמוצת הגופרית (SO₂)

דו תחמוצת הגופרית מקורה בגופרית המצויה בסולר ומכאן שריכוז SO₂ תלוי בתכולת הגופרית בסולר. SO₂ הינו גז חסר צבע בעל ריח חריף ומגרה מאוד. חשיפה לגז זה גורמת לגירוי העיניים ודרכי הנשימה ולהתפתחות של אסטמה. מנוע דיזל פולט יותר תחמוצות גופרית לעומת מנוע בנזין.

אלדהידים

בין האלדהידים המצויים בגזי הפליטה – פורמלדהיד, ואקרולאין. פורמלדהיד הינו גז חסר צבע בעל ריח מגרה. פורמלדהיד גורם לגירוי העיניים ודרכי הנשימה מוגדר כחשוד למסרטן ממבני אדם. מנוע דיזל פולט יותר אלדהידים לעומת מנוע בנזין.

פחמימנים

בגזי הפליטה מצויים פחמימנים אליפטיים וארומטיים. הבנזופירן – (ארומטי) נוצר במנוע דיזל פי 7 עד 10 יותר מאשר ממנוע בנזין כאשר תנאי העבודה דומים. הפרוט לגבי תוצרי הפליטה הינו לגבי כל חומר אך יש לזכור שבין הרכיבים השונים הנפלטים קיימת השפעת גומלין סינרגיסטית. לפיכך אין להתמקד רק בערכי החשיפה של כל חומר בנפרד אלא כמכלול.

ניטור סביבתי

קשה לבחור שיטת דיגום אחת אשר תבטא את החשיפה לכלל תוצרי הפליטה של מנוע הדיזל. קיימים אלפי חומרים ונוכחותם/ריכוזם משתנה כתלות במס' רב של גורמים. ממידע לגבי חשיפה למס' קטן של חומרים קשה להסיק לגבי כלל החשיפה. בעבר נטו לבדוק את גזי הפליטה – פחמן חד חמצני, תחמוצות חנקן וגופרית דו חמצנית. גזי פליטה אלו יכולים לשמש כאינדיקציה לנוכחות תוצרי פליטה אך לא ניתן ללמוד מהם לגבי ריכוזם של חומרים אחרים שלא נמדדו.

ממחקרים שונים התברר שעיקר הפוטנציאל הקרצינוגני/מוטגני של תוצרי הפליטה ממנוע דיזל קשור לפזה החלקיקית, לפיכך הסיקו החוקרים שסביר יותר לקבוע מדד חשיפה ע"פ הפזה החלקיקית ולא הגזית.

בשיטת הבדיקה של חשיפה לחלקיקים התעוררה בעייה. השיטה הינה גרבימטרית, כאשר באמצעות ציקלון מפרידים את הפרקציה הנשימה. השיטה הגרבימטרית איננה מדויקת (רגישות השיטה נמוכה) והבעיה העיקרית שזו איננה שיטה ייחודית לחלקיקי דיזל, בשיטה זו נמדדים גם חלקיקים ממקורות אחרים. במקרים בהם קיים בסביבת העבודה גם אבק ממקור אחר, התוצאות של השיטה הגרבימטרית מוטעות.

ע"מ להתגבר על הבעיה פותחה שיטה אנליזה אחרת NIOSH-5040 – שיטה תרמית – אופטית אשר מזהה מבין כל החלקיקים את חלקיקי הפחמן האלמנטרי שמקורם רק בדיזל, זוהי שיטה ייחודית ומדויקת לקביעת החשיפה לחלקיקים הנפלטים ממנוע דיזל. השיטה מצריכה מכשור מיוחד ומיומנות גבוה, לא אתרנו בארץ מעבדה המבצעת בדיקה זו.

לאחרונה התברר שגם השיטה של בדיקת חלקיקי פחמן אלמנטרי איננה התשובה האידיאלית לקביעת החשיפה לתוצרי פליטה ממנועי דיזל. המחקרים האחרונים שבדקו את הפרקציה החלקיקית של גזי הפליטה לא הצליחו להוכיח באופן ודאי שבמידה ותקטן החשיפה לחלקיקים אכן תפחת מידת הסיכון הבריאותי והדעה הרווחת כעת היא שלא ברור סופית מהו הסמן הנכון שיש לדגום מתוך תערובת תוצרי הפליטה אשר ייתן את התשובה למדת החשיפה וההשפעה הבריאותית של גזי פליטה ממנוע דיזל. קיימים מאמרים הממליצים על בדיקת רמות CO₂ כמדד למצב האוויר במקום בו מופעל מנוע דיזל רמות הגבוהות מ 1000 p.p.m מעידות שהמקום איננו מאוורר מספיק. רמות CO₂ אינן מלמדות על ריכוז של חומרים אחרים.

תקני חשיפה

- גם במקרים בהם קיימת האפשרות הטכנית לבדוק את חלקיקי הפחמן האלמנטרי שמקורם בדיזל בשיטה תרמית – אופטית, לא קיים תקן חשיפה מומלץ.
- בחוברת TLV של ACGIH הופיע במשך מס' שנים הצעת תקן לחלקיקי דיזל (כפחמן אלמנטרי) ברשימת Notice of Intended Changes (NIC). בהתחלה ההצעה הייתה 0.15mg/m³, בשנת 99 ההצעה לתקן שונתה ל- 0.05 mg/m³ A2 ובשנת 2001 ירידה נוספת וההצעה לתקן הייתה 0.02 mg/m³ A2, בשנת 2003 הוצא התקן מרשימת NIC והמצב כעת שאין הצעה לתקן חשיפה לחלקיקי דיזל.
 - ב- IARC מגדירים את תוצרי הפליטה של מנוע הדיזל כקבוצה 2A - probably carcinogenic to humans.
 - בגרמניה ובשווייץ סווגו תוצרי הפליטה של דיזל ב- 1993 כמסרטנים.

מניעת חשיפה

- אין הסכמה לגבי המדד האידיאלי לפיו ניתן להעריך רמות חשיפה לתוצרי פליטה של מנוע דיזל, ולכן מומלץ לא להסתמך על תוצאות של בדיקות סביבתיות. יתכן שהחומרים שנבחרו לבדיקה אינם מייצגים נכונה את החשיפה לחומרים נוספים הנפלטים. לפיכך, יש לוודא הקטנת החשיפה לתוצרי פליטה של דיזל לרמות נמוכות ככל שניתן.
- ההרכב האיכותי והכמותי של תוצרי הפליטה משתנה מאד ותלוי במס' רב של גורמים. טיפול נכון והתייחסות לכל אחד מהגורמים המשפיעים על הרכב וריכוז תוצרי הפליטה יכול להביא במכלול הרחב להקטנת הסיכון והפחתת רמות החשיפה. להלן פרוט הגורמים:
- מבנה המנוע – סוג ההזרקה, דגם המנוע וכו'.
 - פעולת המנוע – הקדמת הזרקה, הזרקה אלקטרונית וכו'.
 - תכונות הדלק, חומרי הסיכה והתוספים.
 - תחזוקת המנוע.
 - סביבת העבודה ומידת האוויר.
 - שיטת העבודה.

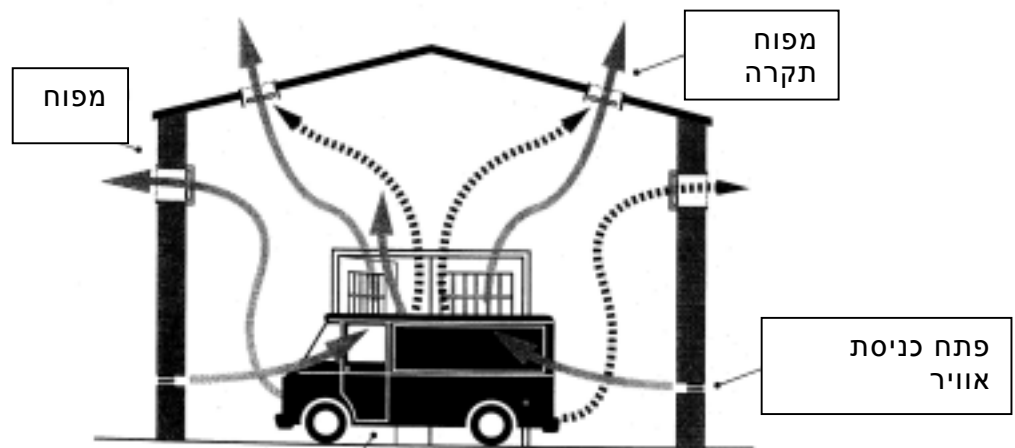
מניעת חשיפה ניתן להשיג לעיתים בשיטות פשוטות שאינן מצריכות השקעה כספית גדולה אלא מצריכות הגברת המודעות לחשיבות הרבה בהקטנת החשיפה.

אמצעים הנדסיים

- שימוש במנועים יעילים יותר הפולטים פחות מזהמים.
- שימוש בדיזל עם אחוז נמוך יותר של גופרית.
- חיבור של ממירים קטליטיים ההופכים חלק מהמזהמים לחומרים רעילים פחות לדוגמה פחמן חד חמצני, הידרוקרבונים, אלדהידים ו PAH המומרים לפחמן דו חמצני ומים.
- חיבור של פילטרים סופחי חלקיקים למפלט.
- במוסכים, חיבור פתח המפלט לצינורות יניקה המתחברים למערכת יניקה מרכזית. שרטוט מס' 1.
- הגברת האורור הכללי ע"י פתיחת הדלתות והתקנת מפוחים. מפוחים המוציאים אוויר יותקנו בתקרה ובחלק העליון של קירות האולם, בחלק התחתון של הקירות פתחים לכניסת אוויר. שרטוט מס' 2.



שרטוט מס' 1 : צינורות יניקה מקומית



שרטוט מס' 2 : אורור כללי של המוסך

אמצעים ניהוליים

- נוהלי עבודה נכונים עשויים להקטין את החשיפה לגזי הפליטה.
- קיום נוהל של דימום מנוע והפעלתו רק במקרים הנחוצים.
 - במחסנים, הקפדה על תחזוקה תקופתית של המנוע.
 - במחסנים, שינוי שיטת העבודה כך שיצריך שימוש מופחת במנועי דיזל בחללים לא מאווררים.
 - הקטנה של מס' העובדים החשופים וצמצום זמן החשיפה ע"י רוטציה בתפקידים.
 - מיקום אזור המשרדים מופרד לחלוטין מאזור העבודה בו קיימת פליטה של מזהמים.

ציוד מגן אישי

שימוש בציוד מגן אישי הינו פתרון אחרון וניתן להשתמש בו רק לאחר שנבחנו פתרונות אחרים והסתבר שלא ניתן ליישם. מסכת המגן צריכה לשלב הגנה מפני גזים וחלקיקים.

בחניונים, בתאים לגביית כסף בהם נמצא עובד במשך יום עבודה גם כן קיימת חשיפה לגזי פליטה ממנועי דיזל ובנזין. רמות החשיפה תלויות בתנאים הסביבתיים, במיקום התא, במס' כלי הרכב שעוברים ובאווור הקיים בתא.

כאשר השוו רמות של פחמן בשבעה מקומות שונים בהם קיימת חשיפה לגזי פליטה מדיזל כגון מוסכים לתיקון אוטובוסים, עמדות לתיקון רכבות, עמדות בכבישי אגרה ועוד התברר שהרמות הגבוהות ביותר של פחמן התגלו בעבודת מלגזות במחסנים. החשיפה הגבוהה נובעת מהעובדה שלא מכבים את המנוע כאשר המלגזה לא בתנועה, המנוע במצב תחזוקתי גרוע והמקום לא מאוורר.

האמצעים להקטנת החשיפה שפורטו לעיל מתאימים יותר לעבודה במוסכים ולמחסנים. השיטות להקטנת החשיפה בתאי הגבייה מעט שונים. רצוי שפתח גביית הכסף יהיה קטן ככל שניתן ע"מ למנוע חדירה של גזי פליטה. במידה ובתא מצטברים ריכוזים גבוהים של מזהמים יש להזרים לתא אוויר חיצוני ממקום נקי וליצור בתא על לחץ כך שלא תתאפשר כניסה של אוויר מזוהם לתא.