

# כיצד להתמודד עם הסיכונים

המאמר סוקר את מעגלי הסיכון הקשורים לשימוש באמוניה, שהוא גז רעיל וקורוזיבי המשמש במיתקני קירור רבים בתעשייה, במוסדות מחקר ורפואה ועוד

לצורך ביצוע עבודה ומישהו הפעיל בשגגה את המשאבות והזרים אמוניה. ישנן דליפות הנובעות משבר מכני של צנרת - בדוגמה שתוארה דובר על פגיעת משאית בצינור. פגיעה בצנרת עלולה להתרחש גם כתוצאה מפגיעת מלגזה או תנועה של כלי רכב אחרים. דליפות אחרות נבעו עקב התבקעות מיכל שמולא מילוי יתר.

## אמצעי מיגון

ברוב מיתקני הקירור בארץ מותקנים כיום בקווי הנוזל (הקווים מהמעבה ועד למפריד הטיפות) - על פי דרישת פיקוד העורף - ברזים אוטומטיים שסוגרים מיקטעים של הקו במקרה של דליפה, ובכך מגבילים את כמות האמוניה הדולפת ומכאן גם את היקף האירוע והסכנות הנשקפות לעובדים ולסביבה.

על קווי הגז אין כיום ברזי ניתוק, אולם בחדרי המדחסים מותקנים גלאים שתפקידם להפסיק את זרימת האמוניה כאשר ריכוזה באוויר בחדר המדחסים עולה מעבר לריכוז שנקבע. למרות אמצעים אלה עדיין יש אפשרות להשתחררות אמוניה עד הפעלת הברזים. יכולה להתרחש דליפה, שאיננה מאותרת על ידי הגלאים, מצנרת או ממחברים לאורך הקו או בסמוך לחדרי מכונות. דליפה, אם תתרחש בכמות משמעותית, עלולה לפגוע באוכלוסיית העובדים ובאוכלוסייה מסביב למפעל, כאשר הדליפה היא בסמוך אליהם.



דוגמה לשימוש במזנק ערפל

● בקנדה (ינואר 2012) מחליקה אולימפית לשעבר, קרן מגנוסון, סבלה מקשיי נשימה, קשיים בדיבור, פגם בראיה ועייפות לאחר ששאפה אמוניה במרכז ספורט 'North Shore Winter Club'.

## הסיבות העיקריות לדליפת בתאונות שתוארו

דליפות של אמוניה יכולה להתרחש בשל מיגוון תקלות לדוגמה: דליפות במהלך עבודות במערכת, כאשר הצנרת נפתחה

מאת מהנדס (M.Sc) דורון שורץ  
www.ECO-SAFE.co.il

## תאונות עבודה בשחרור אמוניה

אמוניה, בתצורה גזית או נוזלית יכולה להשתחרר, באופן לא מבוקר, מברזים וממחברים במערכת הקירור, ובמקרים אחרים גם עקב שבר בצנרת עצמה. במקרים כאלה האמוניה מהווה סכנה מיידית לעובדים ולסביבה.

להלן דוגמאות לתאונות עבודה שהתרחשו בחו"ל, שבמהלכן השתחררה אמוניה. גם בארץ אירעו מספר תאונות עם אמוניה.

● תאונה בגרמניה (יוני 2011), באזור ריין-וסטפליה (Rhine-Westphalia) בצפון גרמניה. מספר אנשים נפגעו כתוצאה מדליפת אמוניה במפעל בשר. ארבעה עובדים סבלו מפגיעות חמורות בנשימה. האירוע התרחש בשעה 19:25, בערב יום שישי בזמן עבודות תחזוקה יזומות במקרה. הסיבה לתאונה היתה ברז שנשאר פתוח לפני שסתום הבטיחות. כתוצאה מהאירוע טופלו 16 עובדים בבית חולים.

● במקרה אחר שהתרחש באוטווה שבקנדה (ספטמבר 2011) ב-'Scotiabank Place' הבניין פונה מהעובדים לאחר שחומר דלף בחדר הקירור של הבניין. כתוצאה מהדליפה פונו שני אנשים לבית החולים לאחר שנחשפו לאמוניה.

● באותה שנה בהודו (2011) במקום בשם קנור, התרחשה תאונה במפעל קרח. התאונה גבתה את חייהם של שלושה עובדים. התאונה אירעה בשעות הערב, כאשר העובדים עסקו בתחזוקה של מיכל האמוניה במפעל הקרח. מימצאים ראשוניים הצביעו על כך שהתרחשה דליפה בשל לחץ עודף של החומר במיכל.

● בבולגריה (דצמבר 2011) נפגעו 15 עובדים מדליפת אמוניה בעת שעבדו במחלבה בעיר אלנה בבולגריה. שלושה מהעובדים נפגעו אנושות והיו במצב של סכנת חיים. הדליפה התרחשה בעקבות פגיעה של משאית בצינור אמוניה המוביל את הגז לתוך מיתקן קירור. כתוצאה מפגיעת המשאית דלפו כ-70 ליטר של אמוניה.

● באוסטריה (ינואר 2012) נרשם אירוע של דליפת אמוניה בתחנת כוח בסנט גילגן, בעיר זלצבורג. כתוצאה מהדליפה נפצע קשה עובד בזמן שעסק בעבודת תיקון בתחנת הכוח. העובד תפעל תקלה במערכת האמוניה כאשר המתג הראשי של משאבת האמוניה הורם ואמוניה השתחררה ופגעה בעובד.

## גיליון סיכונים - אמוניה

על פי התוספת הראשונה בתקנות הבטיחות בעבודה (ניטור סיכונים וניטור ביולוגי של עובדים בגורמים מזיקים), התשע"א-2011, העבודה עם אמוניה מחייבת בדיקה סיכנותית תעסוקתית.

על פי הספר של ACGIH של ארגון הגיהותנים של ארה"ב מהדורת 2012 ערך ה-TWA של אמוניה (מספר 7-41-7664-CAS) הוא 25 ppm. כלומר: זאת הרמה המשוקלת המרבית של אמוניה באזור עבודתו של העובד אשר עד אליה מותרת חשיפה במשך יום עבודה של 8 שעות מתוך יממה. ערך STEL הוא 35 ppm כלומר: הרמה המרבית של אמוניה באזור עבודתו של העובד אשר עד אליה מותרת חשיפה של עד 15 דקות ולא יותר מ-4 פעמים ביום עבודה של 8 שעות, מתוך יממה ובמירווח של 60 דקות לפחות בין פעם לפעם, ובתנאי שרמת החשיפה הכוללת ל-8 שעות עבודה ביממה תהיה נמוכה מרמת החשיפה המשוקלת המרבית המותרת.

החומר מוגדר כמגרה את העיניים את ומערכת הנשימה. בחשיפה אקוטית, האמוניה היא קורוזיבית לרקמות הריריות בגוף. חשיפה עלולה לגרום לשיעול, קוצר נשימה, כאבי ראש, הקאות ובהמשך למוות. בכליעה תיתכנה כוויות של חלל הפה, הגרון וצריבות בקיבה שעוללות להסתיים כמות. בחשיפה עורית האמוניה יכולה לגרום גירוי העור ועד לכוויות. תתכן גם ספיגה דרך העור. חשיפה כרונית עלולה לגרום לדרמטיטיס, פגיעה בעיניים, בכבד ובכליות וכן לגרום נזק לריאות.

# בעת השימוש באמוניה

ג. מסיכה עם שני מסננים לתאריך תקף.  
המסנן יהיה מסוג A2B2E2K2P3

### 3. אחסון אמצעי מיגון אישי

על פי המפורט לעיל בכל מיתקן קירור יחזיק בעל היתר הרעלים אמצעי מיגון אישיים לאנשי צוות החירום כדלקמן:

- לפחות 2 מערכות מנ"פ לשני אנשי צוות;
- לפחות 5 מסיכות + 8 מסננים לשני אנשי צוות (מסיכה לכל איש צוות ואחת נוספת);

■ לפחות 2 חליפות אטומות לאמוניה.

בעל היתר הרעלים יאחסן את כל מרכיבי מערכת המיגון האישי יחד בארון סגור בשטח המפעל. הארון הסגור ימוקם במקום נגיש כך שיאפשר התמגנות מהירה בעת חירום.

בעל היתר יחזיק מסיכות ומסננים מסוג A2B2E2K2P3 למילוט עבור כל עובדי המפעל ויאחסן בארונות סגורים בסמוך לכל עמדות העבודה בשער המפעל על פי הצורך.

### מעגלי היערכות לטיפול בדליפת אמוניה

מעגלי ההיערכות לטיפול באמוניה כוללים מספר שלבים. המעגל הראשון הוא מעגל המניעה.

#### מעגל המניעה:

במעגל זה ייעשו סקרי סיכונים. הפעילות הבסיסית למניעה היא איתור מוקדם של נקודות כשל. איתור זה יכול להתבצע בשימוש בסקר סיכונים. קיימות מספר שיטות לביצוע סקר סיכונים כגון סיעור מוחות, עצי כשל (Fault tree analyses), רשימת בדיקות (Check list) ועוד. השיטה המומלצת מניסיוני היא 'HAZOP' (Hazard and Operability study).

בשיטה זו לוקחים את תזרים המערכת (P&ID – Process & Instrumentation Diagram) ומחלקים את המערכת למיקטעים תפעוליים. בכל מיקטע תפעולי בודקים בצורה שיטתית איזה כשלים עלולים להתרחש. הרעיון ב'HAZOP' הוא שבעצם כל עוד אין סטייה מכוונת מהתכנון אזי הכול בסדר. לפיכך המטרה היא לסרוק את המערכת בצורה שיטתית ולמצוא את כל (או לפחות מירב) האפשרויות לסטייה מכוונת מהתכנון. עבור כל סטייה מוצאים מהן הסיבות שיכלו לגרום לה, מה התוצאות של סטייה זו, מהי ההסתברות לסטייה, מה החומרה של תוצאות הסטייה ובהתאם מוצאים מהו דירוג הסיכון של הסטייה מכוונת המתכנן. לבסוף נותנים המלצות למניעת הסטייה מהתכנון ו/או לטיפול בתוצאות.

להלן דוגמה:



שימוש בתותח ערפל למיחול אמוניה



אמצעים להתזת רסס מיים מנקודה שולטת

מנוף גבהים לחילוץ לכודים



### הנחיות המשרד להגנת הסביבה - טיפול באירוע חירום

המשרד להגנת הסביבה, אגף חומרים מסוכנים, פרסם בשנת 2008 תנאים למערכות קירור המשתמשות באמוניה. להלן קטע קצר מתוך ההנחיות העוסק בהערכות לטיפול באירועי חירום (סעיף יב) את ההנחיות המלאות ניתן למצוא באתר

המשרד להגנת הסביבה:  
[http://www.sviva.gov.il/subjectsEnv/Permit/Documents/poison\\_permit\\_ammonia.pdf](http://www.sviva.gov.il/subjectsEnv/Permit/Documents/poison_permit_ammonia.pdf)

1. צוות חירום: בעל היתר הרעלים יקבע לכל מיתקן קירור צוות חירום שיכול לפחות שני אנשים למשמרת שאינם מגויסים בשעת חירום.

2. אמצעי מיגון אישי הנדרשים לכל אדם בצוות החירום: בעל היתר הרעלים יחזיק עבור כל אדם בצוות החירום אמצעי מגון אישי מינימליים הנדרשים כדלקמן:

א. חליפה אטומה העמידה על פי מיפרט היצרן בפני אמוניה ליותר משעה אחת.

ב. מנ"פ (מערכת נשימה פתוחה) הכולל:

- גליל וגליל חלופי של אוויר דחוס בנפח של 6.8 ליטר לפחות ובלחץ של 300 BAR לפחות;

■ מינשא;

■ מסיכה פנורמית;

■ שעון לחץ;

■ מגפיים וכפפות המתאימים לאמוניה.

שלא נמצא בידי המפעל, כמו מנוף גבהים לחילוץ לכודים או אמצעים להתזת רסס מים מנקודה שולטת, או מצלמה תרמית לאיתור נעדרים בעשן.

**תגובה אוטומטית הנדרשת לאירוע לצורך הקפאת מצב מהירה**

כיום, לפחות בחלק מהמפעלים, עלול תהליך הזיהוי המדויק של האירוע וריכוז האמוניה להימשך דקות ארוכות. מאחר ולצורך איסוף נתונים אלה אנשים צריכים להתמגן, להיכנס לאזור בו קיימת האמוניה ולקרוא את המיקום והריכוז ברכות הגלאים. אחרי גילוי המיקום צוות החירום פועל להקפאת מצב לפי המתואר לעיל. המצב הרצוי הוא שהגלאים משדרים את מיקום וריכוז האמוניה באזורים השונים, ממרכזי השליטה אל אנשי המפתח הרלוונטיים האחראים על הטיפול בדליפה, ובכך מאפשרים זיהוי מהיר של האירוע והיערכות מהירה לטיפול. בנוסף רצוי שתהיינה מערכות אוטומטיות, כגון מסכי מים, שיופעלו באופן אוטומטי ע"י גלאי אמוניה, או שלפחות ניתן יהיה להפעילם מרחוק וכך ייחסך זמן יקר בהשגת הקפאת מצב. על מנת שניתן יהיה ליישם פתרונות אוטומטיים כגון וילונות מים יש לדאוג, כמובן, שחדרי המדחסים יהיו אטומים מלבד הפתחים התפעוליים. מצב בו קיימים

גורם אפשרי	תוצאה	הגנה קיימת/אמצעי הגנה שיש להוסיף
1. ברז ידני סגור - לדוגמה: אחרי עבודות תחזוקה	1. הזרמה כנגד ברז סגור - עליית לחץ - במקרה שמדובר בברז הצמוד למדחס: דליפה דרך הבוקסה בציר המרכזי בגל ההנעה - דליפת אמוניה מסיבית - פגיעה בסובבים.	1. פרסוסטאט לחץ (מפסק לחץ) על המדחס (קיים). 1. א. שסתום פריקה על המדחס. 1. ב. שסתומי שחרור לחץ על כל המערכת המשחררים את האמוניה בהתאם להנחיות המשרד להגנת הסביבה ותקן ANSI רלוונטי. הערה: מומלץ לבדוק את האפשרות להזרים את האמוניה משסתומי שחרור הלחץ לבריכת המים או להתיז רסס מים למיהול האמוניה היוצאת משסתום שחרור הלחץ.
	1. א. במקרה שמדובר בברז רחוק מהמדחס: דליפה מאביזרים בקו - דליפת אמוניה - הרעלת אנשים באזור.	1. ג. נוהל מסירת מיתקן אחרי ביצוע עבודות תחזוקה הכולל בדיקת מצב ברזים מתאים (קיים) נוהל הכולל שילוט מתאים בזמן העבודה).

לריכוזי אמוניה שאינם גבוהים מדי. הערה: קיימת גם תפישה הגורסת שהקפאת מצב ניתן לבצע רק בצידוד מגן ברמה B. בטיפול במוקד (לדוגמה: בתוך חדר מדחסים), בו נמצאים ריכוזים גבוהים של גז יש צורך בשימוש בחליפות אטומות ובמנפים - מאחר והמסננים יפוצו מהר. לכן משתמשים בצידוד מגן Level A. כעקרון הטיפול באירוע יתחיל ע"י הצוותים המפעליים ובהמשך תבוצע חבירה עם כוחות ההצלה אשר יכולים לסייע בצידוד

**היערכות למילוי דרישות הרשויות**

לרשויות דרישות שונות בנוגע למערכות האמוניה המתעדכנות מעת לעת. הרשויות עליהן מדובר הן בעיקר המשרד להגנת הסביבה, פיקוד העורף ושירותי כיבוי. דוגמה לדרישות הן הנחיות הנדסיות למיגון אמוניה של פיקוד העורף או התנאים למערכות קירור המשתמשות באמוניה של המשרד להגנת הסביבה, או המדריך לניהול סיכונים סיסמיים של המשרד להגנת הסביבה.

**טיפול באירוע**

הטיפול באירוע מבוצע תוך שימוש בנהלים, כוח אדם וציוד ייעודי המיועדים לתת מענה לאירוע מחד ולמנוע פגיעה במטפלים מאידך. תפישת העולם של מחבר המאמר היא שיש לחתור לביצוע הקפאת מצב מהירה לצורך מניעת התפשטות הדליפה. לאחר מכן יתבצע טיפול במוקד האירוע על מנת לנטרל את הסיכון לחלוטין. הקפאת מצב מבוצעת ע"י שימוש במזנקי ערפל, טורבו סילון ותותחי מים, המוהלים את ענן האמוניה. נטרול סופי של האירוע מבוצע ע"י סגירת ברזים. לצורך הטיפול באירוע יש לעשות שימוש בצידוד מגן המותאם לרמת החשיפה לאמוניה. צידוד המגן מחולק בהתאם לסיווג הבא:

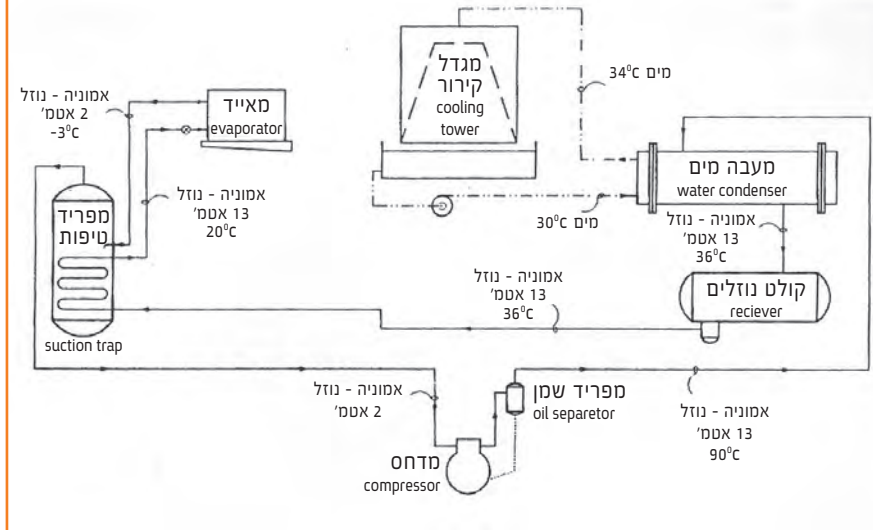
**סיווג צידוד מגן אישי**

רמת מיגון	A	B	C	D
מנ"פ	+	+		
מסיכה			+	
חליפה אטומה	+			
סרביל		+	+	+
כפפות ומגפיים	+	+	+	+
משקף מגן				+



לתפישת כותב המאמר, להקפאת מצב ניתן לעשות שימוש בצידוד מגן ברמה C, המתאים

## מבנה עקרוני של מערכת קירור באמצעות אמוניה



הסכימה הבאה נלקחה מתוך חוברת "יום עיון בנושא קירור אמוניה" שנערך בשנת 1999 ע"י המרכז הארצי ללימודי חומרים מסוכנים ואיכות הסביבה, המשרד להגנת הסביבה.

לנוזל נאספת בקולט הנוזלים (רסיבר) ומשם זורמת דרך מפריד הטיפות לצרכן - המקרר (מאייד).

במקרר, האמוניה הנוזלית שמגיעה אליו בלחץ של כ-13 אטמוספרות מתפשטת והופכת לגז - ומכאן השם, מאייד.

כאשר האמוניה הופכת לגז ומתפשטת, כלומר תופסת נפח גדול יותר, הגז שנוצר דוחף את האוויר סביבו. כלומר מבצע עבודה. לעבודה זו הוא זקוק לאנרגיה. מאחר וההתפשטות היא מהירה אין לאמוניה "זמן" לקחת אנרגיה - בצורת חום - מהסביבה, ולכן היא לוקחת את החום מעצמה ומתקררת. תהליך התפשטות כזה נקרא תהליך אדיאבטי, כלומר: ללא מעבר חום אל הסביבה. (תהליך כזה מתרחש לדוגמה כאשר מכינים סודה בסיפולקס' הישן ומיכל הגז אותו מזרימים למים מתקרר).

האמוניה הקרה במאייד ( $-8^{\circ}\text{C}$ ) עוברת בצנרת ומקררת את המדיום אותו היא מיועדת לקרר - אוויר במקרר או המים/מים/גליקול. מהמקרר יוצאת תערובת של אמוניה גזית עם טיפות נוזל. מאחר ואסור שלמדם יגיע נוזל, כי הוא יהרוס את המדחס יש צורך להפריד את הגז מהנוזל. הפרדה זו מתבצעת במפריד הטיפות.

האמוניה הגזית מראש מפריד הטיפות זורמת חזרה למדחס שדוחס אותה שוב ובכך נסגר מעגל הקירור. ■

עלינו להשקיע עבודה. במערכת האמוניה המפעלית עבודה זו היא הדחיסה באמצעות המדחסים:

האמוניה נדחסת במדחסים לטמפרטורה של  $90^{\circ}\text{C}$ - $100^{\circ}\text{C}$  ולחץ של כ-13 אטמוספרות. מהמדחסים האמוניה זורמת בקו דחיסה (קו חם/קו גז) למחליף חום - מעבה מים או מעבה אוויר - שם האמוניה מתקררת לכ- $34^{\circ}\text{C}$  ומתעבה, אך נשארת בלחץ גבוה של כ-13 אטמוספרות. האמוניה שהתעבתה

פתחים רבים בחדר מדחסים כפי שיתואר בהמשך, לא יאפשר מיהול יעיל של האמוניה לא בצורה אוטומטית וגם לא ע"י צוותי החירום.

## העקרונות הבסיסיים של הקירור

על מנת שנוכל להתגבר על הנטייה הטבעית של השוואת טמפרטורות, ע"י הזרמת חום למקום קר ומדידת טמפרטורה במקום שהוא כבר חם והעברתו למקום קר,

## תרשים זרימה עקרוני לטיפול בדליפת אמוניה:

