

המוסד לבטיחות ולגיהות

מרכז מידע ואינטרנט

רח' מזא"ה 22, ת.ד. 1122, תל-אביב 61010

טלפון: 03-5266455 פקס: 03-5266456

e-mail: info@osh.org.il

ת-189

נוזלים קריאוגניים דגשים בטיחותיים



אוגוסט 2014

מאת: דוד זיו



המוסד לבטיחות ולגיהות
בטיחות ובריאות בעבודה - זה אנחנו.

תוכן העניינים

<u>פרק</u>		<u>עמוד</u>
.1	מבוא	3
.2	כללי	3
.3	קבוצות הנוזלים הקריאוגנים	3
.4	תכונות וסיכונים	4
.5	מכלים / צוברים	8
.6	מיקום ותשתיות	9
.7	שינוע	9
.8	ציוד מגן אישי	11
.9	בדיקות תקופתיות	12
.10	מערכת ניטור	12
.11	הערכת סיכונים	13
.12	הדרכת עובדים	13
.13	הליום נוזלי – אמצעי זהירות מיוחדים – דגשים	13
נספח א'	נוזלים קריאוגנים – אמצעי זהירות וטיפול	14
נספח ב' מקורות	חישוב חוסר / עודף חמצן בחלל	16

האיורים נלקחו מהמקורות הבאים :

Universal Industrial Gases (UIG)

CHEMET SA

מס' 6 ברשימת המקורות

נוזלים קריאוגניים

פרק 1 - מבוא

מטרתו של פרסום זה לשמש כמדריך למתן דגשים בטיחותיים וגיהותיים לאלה העוסקים והעובדים עם נוזלים קריאוגניים נפוצים כדי למנוע טיפול לא הולם העלול לגרום לנזקים ואסונות.

פרק 2 כללי

נוזלים קריאוגניים הם גזים במצבם הנוזלי אשר מוחזקים בטמפרטורות מאוד נמוכות. החזקת גזים במצבם הנוזלי הנה דרך שימושית ויעילה ביותר לאחסון נפח גדול מאוד של גזים לטווח שימושים נרחב.

הסיכונים הנובעים מנוזלים קריאוגניים : חנק, כוויות קור ודליקות בצורה של יצירת אטמוספירה נפיצה. כל אלה מהווים פוטנציאל של איום על החיים. אי לכך חיוני לשמור על תהליכי עבודה נכונים, בטיחותיים וגיהותיים.

עם זאת ייחודם של נוזלים קריאוגניים הוא בנקודת הרתיחה הנמוכה מתח ל – 150°C (לפחמן דו חמצני/ CO_2 , ניטרוס אוקסיד יש נקודת רתיחה מעט יותר גבוהה). כל הנוזלים הקריאוגניים הם גזים בטמפרטורה ולחץ בתנאי הסביבה.

גזים קריאוגניים עוברים למצבם הנוזלי בתנאי טמפרטורה ולחץ מתאימים, אולם לכולם יש שתי תכונות משותפות: הם קרים בצורה קיצונית, וכמות קטנה של נוזל מתפשטת לנפח גדול מאוד של גז.

אדים וגזים המשתחררים מנוזל קריאוגני נשארים קרים ביותר, לעיתים הם גורמים לעיבוי הלחות שבאוויר ויוצרים ערפל הנראה בברור רב. כאשר מכלי נוזלים קריאוגניים הם בעלי בידוד גרוע, חלק מהנוזלים הקריאוגניים גורמים לעיבוי האוויר סביב המכל בצורת תערובת של אוויר נוזלי.

פרק 3- קבוצות הנוזלים הקריאוגניים

כל סוג של נוזל קריאוגני הנו בעל תכונות ייחודיות לו. ניתן לחלק את רובם ל – 3 קבוצות כלהלן:

• גזים אינרטיים

גזים אינרטיים אלו

מגיבים כימית בצורה נרחבת ואינם דליקים או תומכים בבערה. דוגמאות לגזים הנמנים עם

קבוצה זו:

- חנקן

- פחמן דו חמצני/ CO_2

- הליום

- ארגון

- ניאון

- גזים דליקים
 - מספר נוזלים קריאוגנים יוצרים גזים אשר עלולים לבעור באוויר.
 - דוגמאות לגזים הנמנים עם קבוצה זו :

- מימן
- מתאן
- חד תחמוצת הפחמן CO

- **חמצן**

חומרים רבים אשר אינם נחשבים דליקים יכולים לבעור בנוכחות חמצן נוזלי. חומרים אורגניים יכולים להגיב בפיצוץ במגע עם חמצן נוזלי. כתוצאה מסיכונים הנובעים מטיפול בחמצן נוזלי חייבים להתחשב בהם בצורה שונה מגזים קריאוגנים אחרים.

פרק 4 - הנוזלים הקריאוגנים – תכונות וסיכונים

גז אשר יקורר מספיק ייהפך לנוזל. עם שינויי טמפרטורה (העלאה), הגז הנמצא במצב נוזלי יחזור למצבו הגזי.

התכונות הכימיות של גזים הנמצאים במצב צבירה קריאוגני הן אותן התכונות שקיימות בגז במצבו הגזי.

עם זאת במצב צבירה קריאוגני נוספת תכונה פיזיקאלית של "קור קיצוני" או "קריאוגני", שמשמעותה טמפרטורה נמוכה מאוד.

לכן קיימת חשיבות רבה לידיעת הטמפרטורה הקיצונית הנמוכה בעת הטיפול בגזים המנוזלים. הגזים הקריאוגנים הם ללא ריח או צבע. במעבר למצב הגזי, כאשר הגז רותח ומתאדה הוא מעבה את הלחות שבאוויר שבסביבתו ויוצר ערפל הנראה היטב אשר לעיתים נחשב בטעות כענן של הגז (למרות שזה אינו נראה).

טבלת תכונות הגזים

Physical properties of some cryogenic gases

Gas	Oxygen	Nitrogen	Argon	Hydrogen	Helium	LNG	Carbondioxide
Chemical symbol	O ₂	N ₂	Ar	H ₂	He	CH ₄	CO ₂
Boiling point at 1013 mbar [°C]	-183	-196	-186	-253	-269	-161	-78,5 (**)
Density of the liquid at 1013 mbar [°C]	1,142	0,808	1,40	0,071	0,125	0,42	1,178 (**)
Density of the gas at 15°C, 1013 mbar [kg/m ³]	1,34	1,17	1,67	0,084	0,167	0,72	1,85
Relative density (Related to air) at 15°C, 1013 mbar	1,09	0,95	1,36	0,0685	0,136	0,55	1,5
Gas quantity vaporized from 1 litre liquid [l]	853	691	839	845	749	587	632

* temperature of sublimation ** at 5,18 bar

סכנות עיקריות

קיימים מספר סיכונים פוטנציאליים עיקריים הייחודים לעבודה עם גזים מונזלים הנובעים מהתכונות הפיזיקאליות שלהם. הסכנות העיקריות הנובעות כתוצאה משימוש בגזים מונזלים בטמפרטורות נמוכות מאוד הן:

א. חנק, מחסור בחמצן

ב. דליקות (אטמוספירה דליקה) או העשרה בחמצן

ג. סיכוני חמצן נוזלי

ד. פגיעות קור

ה. סיכוני עלית לחץ

א. חנק, מחסור בחמצן

מחסור בחמצן (ירידה בריכוז מתחת ל- 21%) בחלל יכול להיגרם כתוצאה משפיכה או השתחררות של נוזל קריאוגני הנהפך לגז במקום / חלל סגור או במקום שבו האוויר אינו מספיק במקום בו הגז במצבו הנוזלי נהפך לגז בטמפרטורת הסביבה. דליפה טבעית ממכל האחסון או תוך כדי התהליך, עשויה, לגרום לירידה בריכוז החמצן בחדר סגור, או כאשר האוויר אינו מספיק דיו, אם כי ירידה בריכוז החמצן במקרים כנ"ל הנה הדרגתית.

חוסר בחמצן יכול להשפיע על הנמצאים במקום או אלה הנכנסים אליו.

החנק הנגרם כתוצאה מחוסר בחמצן יכול להתרחש במהירות ללא התראה מוקדמת לאדם.

במקומות אשר עלולים להיווצר בהם מצבים של חוסר בחמצן כתוצאה משחרור של נוזלים קריאוגנים מומלץ להתקין מערכת התראה על ירידה בריכוז החמצן.

שחרור של גזים מונזלים כחנקן, ארגון או הליום עלול להוריד את ריכוז החמצן באוויר בסביבת העבודה שאיפת האוויר תגרום לחנק.

במקרה של גז מונזל פחמן דו חמצני/ CO_2 בנוסף להיותו גז חנק (מקטין את ריכוז החמצן באוויר) הוא בעל תכונות רעילות המכתיבה מגבלות חשיפה לעובד. מסיבה זו יש להתקין מוניטור לגילוי ריכוז פחמן דו חמצני בחלל המקום למניעת חשיפת העובדים לגז, חשיבות זו רבה יותר מאשר התקנת מערכת ניטור ריכוז החמצן.

סימנים אופייניים לחוסר חמצן - חנק

- נשימה מהירה ובכבדות

- התעייפות מהירה

- בחילות

- הקאות

- התמוטטות או אי יכולת לזוז

- התנהגות בלתי נורמאלית

במידה ומופיעים אחד מהסימנים הנ"ל כאשר קיימת האפשרות לחנק יש להוציא את האדם לאוויר החופשי ולהעבירו לטיפול רפואי מיידי.

ב. דליקות (אטמוספירה דליקה), העשרה בחמצן (אווירה מועשרת בחמצן)

דליפה של גזים מונזלים דליקים כגון הגזים הבאים: מימן, מתאן, פחמן חד חמצני, גז טבעי מונזל. יכולה לגרום להתפוצצות או לדליקות.

מימן הנו מסוכן ביותר, היות והוא יוצר תערובת דליקה עם האוויר בטווח רחב ביותר (בין 4% ל – 75% בנפח) וגם ניצת בקלות.

עליה באחוז החמצן מעל ריכוזו הטבעי באוויר (כ- 21%) עשויה לגרום לסכנה ממשית. שפיכה או דליפה של חמצן נוזלי עלולה להעלות את ריכוז החמצן המקומי ולגרום להיווצרות של מצבי אטמוספירה דליקה. בתנאים כאלה, התפוצצות עשויה להיגרם מפעילות אשר בתנאים רגילים נחשבת כלא מסוכנת לדוגמא, ניצוץ מהפעלת מפסק חשמלי, ממכשיר מעבדתי או מאש גלויה ממבער בונזן במעבדה. כמו כן, חומרים הנמצאים באווירה מועשרת בחמצן (אפילו שבדרך כלל אינם נחשבים כדליקים) נהפכים לסיכון אש, ובמקרים קיצוניים יכולים להידלק באופן ספונטני. מימן והליום (כמו כן חנקן בהשתחררותו) במצבם הנוזלי, קרים מספיק על מנת לעבות את החמצן מתוך האוויר שבחדר כך שנוצרות שלוליות של חמצן נוזלי שמתנדף ויוצר אזורים מועשרים בחמצן.

ג. סיכוני חמצן נוזלי

חמצן נוזלי מכיל פי 4000 חמצן בנפח מאשר באוויר החופשי. חומרים אשר בדרך כלל נחשבים כלא דליקים (כגון, פלדות נירוסטה, ברזל יציקה, אלומיניום, אבץ וטפלון), וכן חומרים אורגניים רבים יכולים להגיב באלימות (פיצוץ) במידה ונוצרת אווירה דליקה/נפיצה. ביגוד שהותז עליו חמצן נוזלי עשוי להישאר בסיכון גבוה להידלקות למשך שעות רבות.

בעת מיקום מכלי החמצן הנוזלי יש לקחת בחשבון שפיכה /דליפה על המשטח. במידה ונשפך עליו חמצן נוזלי והמשטח מצופה באספלט /זפת קיים סיכון של פיצוץ.

ד. פגיעות קור

הגזים והאדים של נוזלים קריאוגניים במצבם הנוזלי, קרים ביותר, ובמגעם עם עור הגוף גורמים כוויות קור הדומות לכוויות חום. חשיפה קצרה אשר אינה משפיעה על עור הידיים או הפנים יכולה להרוס רקמו עדינות כעיניים. חשיפה ממושכת של העור או מגע עם פני שטח קרים יכולים לגרום לפגיעות כפור.

עור חשוף הבא במגע עם מתכת שקוררה על ידי נוזל קריאוגני נדבק אליה, והעור נקרע כאשר מושכים לניתוק מגע. אפילו חומרים לא מתכתיים מסוכנים למגע בטמפרטורות מאוד נמוכות. שהייה ונשימה ממושכת של אוויר קר באופן קיצוני עשוי לגרום נזק לריאות. ירידת טמפרטורת משמעותית יכולה להתרחש באזור אחרי שפך של נוזל קריאוגני.

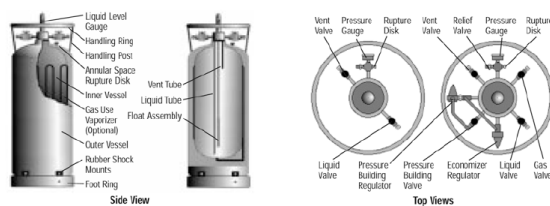
שברירות - Embrittlement fragility

כאשר משנים יעוד של מתקן מהשימוש המקורי עבורו תוכנן וקיימת אפשרות של מגע עם נוזל קריאוגני, יש לבדוק סיכון של הפיכת חומרי מבנה והציוד לפריכים ושברים. גומי, פלסטיק, פלדות פחמן הם מספר דוגמאות לחומרים שיכולים להיות פריכים ולהישבר תחת מאמץ קטן ביותר בעת חשיפתם לקור קיצוני הנגרם מנוזלים קריאוגניים.

ה. סיכוני עלית לחץ

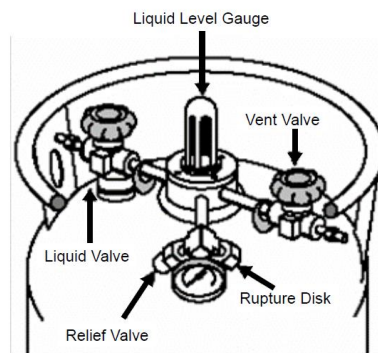
לא ניתן להחזיק נוזלים קריאוגניים במצב נוזלי אין סופי. אם הם מתאדים במכל אטום עשוי להיווצר לחץ עצום אשר עלול לפוצץ את המכל. לכן כל מכל המיועד לנוזל קריאוגני מצויד בשני התקני בטיחות למניעת עלית הלחץ (שסתום ביטחון/ פורקי לחץ ודסקית פריצה). כמו כן יש להתקין שסתום ביטחון/ פורקי לחץ בכל מקום בו עלול להילכד נוזל קריאוגני.

Examples: Liquid Cryogenic Cylinders



Typical Cryogenic Cylinder & Apparatus

Illustration of Typical Gauge & Valve Configuration



מקור: מס' 6 ברשימת המקורות

שפיכה של נוזל קריאוגני בחדר מתאדה במהירות בדרך כלל כתוצאה מהפרשי הטמפרטורה הגבוהים. יחס ההתפשטות הנפחי בין המצב הנוזלי והגזי גבוה במאות אחוזים מאשר הנוזל. מאחר והפתחים בחדר ומערכות האוורור בדרך כלל אינם מסוגלים לפנות כמות גדולה של גזים המשתחררים באופן מיידי, נגרמת עלית לחץ בחדר.

שחרור / התאדות טבעית

קיימת התאדות טבעית של נוזל קריאוגני בגלל בידוד לא מושלם של מכל האחסון, ההתאדות הנה כ- 2% מנפח המיכל במשך 24 שעות. אי לכך אין לאחסן מכלים גדולים או מספר מכלי דיואר קטנים בתוך מקום סגור או מקום עם אוורור לא מספק.

פרק 5 - מכלים – צוברים

יש להתאים מכלים המיועדים לאחסנת נוזלים קריאוגניים מבחינת חומרי המבנה, לסוג הנוזל הקריאוגני שיאוחסן בו. ההתאמה בדרך כלל מתייחסת לטמפרטורה אך לא מוגבלת רק אליה, דרישה זו חלה באותה מידה על כל רכיבי המכל ובכלל זה השסתומים והאביזרים המורכבים עליהם. המכל מיוצר ונבנה ממכל פנימי מפלבים ומעטפת חיצונית מפלדת פחמן, ובמרווח בין הדפנות חומרי בידוד וואקום.

תקנים למכלים

קיימים תקנים אירופאים ואמריקאים ייחודים לנוזלים קריאוגניים

תקן אירופאי

BS EN 13458-1:2002 Cryogenic vessels. Static vacuum insulated vessels. Fundamental requirements

BS EN 13458-2:2002 Cryogenic vessels. Static vacuum insulated vessels. Design, fabrication, inspection and testing

BS EN 13458-3:2003 Cryogenic vessels. Static vacuum insulated vessels. Operational requirements

תקן אמריקאי

ASME Boiler and Pressure Vessel Code

יש לצייד את המכלים באמצעי ביטחון הכוללים בין השאר שסתומי ביטחון ודסקיות פריצה.

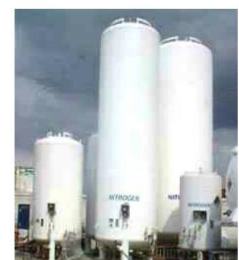


דיואר

מקור: מס' 6 ברשימת המקורות



מקור CHEMET SA



מקור Universal Industrial Gases (UIG)

פרק 6 - מיקום ותשתיות

הצוברים /מכלים יותקנו מעל פני האדמה (מכלים על קרקעיים) מחוץ למבנה במקום פתוח לאוויר החופשי ומאוורר. המכלים ימוקמו כך שהמרחקים בינם לבין מבנים וקירות גבוהים סמוכים יבטיחו זרימת אוויר חופשי סביבם.

יש להתקין את הצוברים בתוך מאצרה שרצפתה ודפנותיה עשויים מבטון מזוין. קיבולת המאצרה תהיה לפחות 110% מנפח המיכל. אם מאוחסנים במאצרה מספר מכלים, נפח המאצרה יהיה 110% מנפח המכל הגדול ביותר. רצפת המאצרה תהיה עם שיפועים לניקוז וברז יציאה סגור בקצה. אין לנקז למערכת הביוב או התיעול.

מומלץ שדפנות המאצרה יהיו נמוכים ככל האפשר (40 ס"מ) כדי לאפשר גישה נוחה וזרימת אוויר חופשית. מומלץ מרווח של 70 ס"מ לפחות בין דפנות המאצרה ודפנות הצובר על מנת לאפשר גישה נוחה ובטיחותית לתפעול ותחזוקה.

יש להתקין את המכל על בסיסי בטון מוגבהים, רצוי שגובה הבסיס יהיה לפחות כגובה המאצרה, במידה ולא מתאפשר, יש להגן על רגלי המכל מפני מגע עם הנוזל הקריאוגני. (רגלי הצוברים עשויים מפלדת פחמן ההופכת שבירה במגע עם הנוזל הקריאוגני ובמקרה של שפך רגלי המכל עשויים לקרוס).

פרק 7 - שינוע

שינוע ידני של מכלי נוזל קריאוגני – מכלי דיואר יש לבצע באמצעות עגלות מיוחדות שתוכננו והותאמו למכלים אלה.

מכלי נוזל קריאוגני יש להוביל תמיד במצב אנכי – עמידה.



מקור : מס' 6 ברשימת המקורות

אין למשוך או לגרור /לסחוב מכלי הדיואר ויש להימנע ממכות חדות ופתאומיות. מעטפת המכל עלולה להינזק והואקום עלול להשתחרר.

אין לגלגל מכל דיואר בכל מצב, אופקי או אנכי. אם חייבים להעלות את הדיואר במדרגות, נדרשת נוכחות של 2 עובדים על מנת לוודא אי פגיעה ונפילת המכל.

כאשר משתמשים במעלית לצורך העלאת מכל דיואר או הורדתו, יש להעדיף שימוש במעלית מטען, אם נעזרים במעלית נוסעים לצורך העלאת או הורדת מכל דיואר, אין להתיר הישארות נוסעים במעלית בזמן ההובלה.

יש לדווח מיידית על כל דליפה או שפיכה במעלית עקב אפשרות פגיעה במעלית ובחלקיה כתוצאה מהטמפרטורה הנמוכה של הנוזל והגז. כמו כן תתכן היווצרות מצב חוסר חמצן (או עודף) בתא ובפיר המעלית.

שינוע / הובלה של נוזלים קריאוגנים נחשבת כהובלת חומרים מסוכנים (מס' או"ס). יש להובילם בהתאם לדרישות תקנות שירותי הובלה, התשס"א - 2001. רוב הדרישות של תקנות אלו חלות על הובלה של חומר מסוכן בכמות השווה או העולה על כמות סף.

- במקרה של הובלת חומר בכמות פחותה מכמות הסף, גם אם רוב דרישות התקנות המוזכרות בתקנות לעיל לא חלות על השינוע, יש לשמור על כללי הבטיחות בהובלה.
 - לדוגמא יש לקרוא היטב ולמלא אחרי הנחיות של גיליון הבטיחות של החומר. יש לזכור כי גזים מונזלים אין להשכיב ברכב. חובה לקבע את האריזה (במקרה זה דיואר) כדי שלא תנוע ממקומה בזמן בלימת הרכב, ולסמן באופן ברור את שם הגז. יש לתדרך את הנהג לגבי הסיכונים הרלוונטיים, התנהגות בזמן אירוע ומספרי טלפון רלוונטיים למקרה חירום.
 - קיימת התאדות טבעית של נוזל קריאוגני בגלל אי שלמות בידוד מכל האחסון, ההתאדות הנה כ- 2% מנפח המכל במשך 24 שעות. לכן מיכלי דיואר צריכים להיות מובלים תוך הקפדה על אוורור (לדוגמא בחלק האחורי של טנדר/משאית פתוחה) ובהפרדה מלאה מתא הנהג והנוסעים.
- תקנות 87-85(ג) לתקנות התעבורה, התשכ"א-1961 חלות גם במקרה זה:

הובלת מטען ברכב שאין בו תא נהג נפרד

85ג. לא יוביל אדם ולא ירשה לאחר להוביל מטען ברכב שאין בו תא נהג נפרד, אלא אם כן הופרד תא המטען מהמושבים במחיצה מתאימה להגנת מושבי הנהג והנוסעים או ננקט כל אמצעי אחר להגנת הנוסעים.

הובלת חומר נשפך

86. לא יוביל אדם ולא ירשה לאחר להוביל ברכב –

- (1) מטען אשר ממנו מתאבך אבק או נשפך חומר כלשהו;
- (2) פחם ואפר יבש, אלא ברכב שיועד לכך וכשהמטען מכוסה באופן שימנע התאבכות אבק או שפיכת כל חומר ממנו;
- (3) אפר מרחף או מלט, אלא ברכב שיועד לכך ואשר רשות הרישוי אישרה אותו.

הובלת חומר מסוכן

87. (א) לא יוביל אדם שאינו משרד הובלה ולא ירשה לאחר להוביל ברכב חומר מסוכן אלא אם כן נתקיימו כל אלה:
- (1) כמות החומר המסוכן המובל אינה עולה על המפורט בחלק ב' בתוספת הראשונה;
 - (2) החומר המסוכן על פי המראה החיצוני של האריזה ארוז ומסומן בהתאם להוראות התקנות הבינלאומיות.
- (ב) לא יוביל משרד הובלה חומר מסוכן אלא אם כן נתקיימו בו הוראות הפרק הרביעי.
- (ג) בתקנה זו, "משרד הובלה", "חומר מסוכן", "התקנות הבינלאומיות", "התוספת הראשונה", "התוספת השנייה" ו"הפרק הרביעי" - כמשמעותם בצו הפיקוח על מצרכים ושירותים (שירותי הובלה ושירותי גרווריס), התשל"ט-1978.

מרחקי התקנה / בטיחות

קיימות הנחיות למיקום המכלים באתרים שונים, אשר כוללות מרחקי בטיחות ממקורות סיכון שונים בהתאם לסוג הנוזל הקריאוגני המאוחסן ולסוג הסיכון. מיקום המכלים חייב להיות כפוף לסקר והערכת סיכונים מקומי. הנחיות למיקום מכלים ומרחקי בטיחות מופיעים במקורות הבאים:

- נוהל G-01 מערכות גזים רפואיים
מהדורה שניה (רשמית) 2006
בהוצאת **מינהל תכנון פיתוח ובינוי מוסדות רפואה**, משרד הבריאות.

- תקן אירופאי

BS EN 13458-3:2003 Cryogenic vessels. Static vacuum insulated vessels. Operational requirements

- תקן אמריקאי

NFPA 55-2013 *Compressed Gases and Cryogenic Fluids Code*

פרק 8 - ציוד מגן אישי

מטרת השימוש בציוד מגן אישי הנה להגן על העובדים מפני מגע עם נוזל קריאוגני, אדים וגזים הנובעים ממנו, והמערכות על אביזריהן המצויים בטמפרטורות נמוכות מאוד. יש להשתמש בציוד מגן אישי כדלהן:

הגנת הידיים

יש להשתמש בכפפות שאינן סופגות אשר מותאמות לעבודה עם נוזלים קריאוגנים, או לחילופין כפפות מעור חלק ללא שריון. הכפפות יהיו עם שרוול ארוך, מותאמות אבל חופשיות כדי שניתן יהיה להסירן בקלות ובמהירות אם חדר נוזל קריאוגני לתוכן.

הגנת הפנים והעיניים

שימוש במסכת פנים שלמה בשילוב עם משקפי/מסכת עיניים (גוגלס) נותן את ההגנה הטובה ביותר לפנים והעיניים.

אין להרכיב עדשות מגע בעת עבודה עם נוזלים קריאוגנים, אדים וגזים עלולים לחדור בין העדשה והעין ולהילכד.

הגנת הרגלים

יש לנעול נעלי בטיחות רצוי מעור (וגם אינו סופג) להגנה על הרגליים. במידה ועוסקים בנוזלים קריאוגנים דליקים כמימן, הנעלים צריכות להיות גם בעלות תכונות אנטי סטטיות.

הגנת הגוף

על מנת להגן על הגוף עדיף להשתמש באוברול / סרבול (ללא כיסים פתוחים, למניעת כניסת נוזל קריאוגני).

במידה ולא משתמשים באוברול, אזי יש להשתמש בביגוד כדלהלן:

- מכנסיים חייבים להיות ארוכים ללא קיפולים ומעל הנעלים.
- חולצה בעלת שרוולים ארוכים המשתפלים מעל הכפפות
- מומלץ להשתמש בסינור עשוי מעור או מחומר אחר לא סופג.

גיליון בטיחות- יש לעיין בגיליון הבטיחות של הנוזל הקריאוגני בסעיף ציוד מגן אישי נדרש.

פרק 9 - בדיקות תקופתיות

התקן אירופאי הבא למכלים קריאוגנים כולל פרק בדיקות עם חלוקת משנה לתתי- פרקים לסוגי הבדיקות השונות

BS EN 13458-3:2003 Cryogenic vessels. Static vacuum insulated vessels. Operational requirements

- בדיקות לפני הכנסה לשימוש
- ביקורות תקופתיות
- בדיקות של שסתומי הביטחון ודסקיות הפריצה.

אביזרי וחלקי המערכת השונים יבדקו תקופתית בהתאם לנדרש בתקן שלפיו יוצרו ובהעדר תקן בהתאם להוראות היצרן.

פרק 10 - מערכת ניטור

הצורך בהתקנת מערכת ניטור נובע מהצורך בקבלת התראה על היווצרות סיכונים לעובדים ולרכוש הנובעים מהתעסקות בנוזלים קריאוגנים, , הסיכונים יכולים להיות חוסר או עודף בחמצן, גזים רעילים כדו תחמוצת הפחמן, או דליקים כמימן.

מערכת הניטור צריכה לספק התראה על חריגה בהתאם לפרמטרים של הנוזל המסוים כפי שצוין. התקנת מערכת הניטור הנה בדרך כלל במקומות סגורים כחדרים בהם האוורור אינו מספק ו/או מיועד לענות על דליפות או שפך של נוזל קריאוגני.

קביעת סוג ואפיוני מערכת הניטור הנה על סמך סקר סיכונים.

לעיתים במקרים מיוחדים ניתן להשתמש במוניטורים אישיים הנישאים על ידי העובד והפועלים על סוללות. בחירה בשיטה זו חייבת להתבסס על הערכת סיכונים ובמקרים מיוחדים בלבד.

פרק 11 - הערכת סיכונים

יש לבצע סקר והערכת סיכונים על ידי אדם מוסמך לפני ביצוע מטלות הכוללות התעסקות עם נוזל קריאוגני. בהסתמך על תוצאות הסקר, יש להתקין אמצעי בטיחות. במידה ומתקיימים מצבים של עובד בודד עם נוזלים קריאוגנים יש לשקול שימוש באמצעי בקרה למעקב.

פרק 12 - הדרכת עובדים

יש להדריך את כל העובדים העוסקים בנוזל קריאוגני לגבי הסיכונים הנובעים מהטיפול והשימוש בנוזל.

ההדרכה צריכה להינתן באופן כללי ולגבי הסיכונים הייחודיים לסוג העבודה או המטלה.

ההדרכה צריכה להינתן על ידי בעל מקצוע המכיר את הנושא על בוריו והוסמך לכך.

ההדרכה צריכה להיות ראשונית ומפורטת (לפני תחילת העבודה) ותקופתית לפחות אחת לשנה (על פי תקנות ארגון הפיקוח על העבודה (מסירת מידע והדרכת עובדים), התשנ"ט1999).

פרק 13 - הליום (He) נוזלי – אמצעי זהירות מיוחדים - דגשים

בעיית הבטיחות הייחודית להליום נוזלי נובעת מהטמפרטורה הנמוכה ביותר שלו –

269°C . הטמפרטורה היא כל כך נמוכה עד שהיא **מקפיאה את כל הגזים** חוץ מהליום, זה אינו כולל רק מים (H_2O) אלא גם חנקן (N_2) וחמצן (O_2), כל אלה יכולים לקפוא במכל אחסון ההליום, או בתוך המערכת ולגרום לפקק "קרח" בצוואר היציאה מהמיכל (כגון, דיאור) ולייצור פצצת לחץ. מסיבה זו הכרחי שהתהליך במקום ישמר בקפדנות כדי למנוע חדירת אוויר או גזים לקווי/צנרת ההולכה של ההליום הנוזלי.

אם נוצר פקק או קיים חשש לפקק קרח, יש להעביר את המכל / דיאור למקום בטוח, להתקשר לספק ולקבל את עזרתו.

במידה ומעבירים הליום נוזלי בצינורות ללא דופן כפולה עם ואקום, האוויר סביבם יתעבה ויהפוך לנוזל. החנקן בנוזל יתאדה ראשון וישאיר נוזל מועשר בחמצן נוזלי. אזור / מקום בו הדבר קורה (בדגש על חדר, מקום סגור) יש לבודד עד שהחמצן באזור יחזור לרמתו הרגילה.

נוזלים קריאוגנים – אמצעי זהירות וטיפול

הכנות

1. הכר את הסכנות הנובעות משימוש בקריאוגנים.
2. עבוד בשטח פתוח ומאוורר היטב. שקול התקנת מוניטור למערכת האוורור או חיישן לחוסר חמצן עם התראה. בדוק את המוניטור וההתראה ו/ או החיישן לחוסר חמצן לשמישות לפני תחילת העבודה ולפחות פעם אחת במשך הטיפול בקריאוגנים.
3. תמיד הרכב מסכת מגן לעיניים (גוגלס) ו/או מגן פנים.
4. תמיד לבש כפפות מתאימות לקריאוגנים; אל תשאיר עור חשוף. אל תענוד תכשיטים ממתכת או שעון.
5. בדוק את המכל ושסתום הביטחון (פורק הלחץ) לסימני פגיעה. לעולם אל תשתמש במכל עם פגיעות. העזר בספק הנוזל הקריאוגני בשאלות או בעיות עם הציוד הקריאוגני ושסתום הביטחון.
6. הבטח שכל המכלים נקיים משמן, גריז, לכלוך, או חומרים אחרים העשויים לגרום לפיצוץ/דליקה במגע עם חמצן נוזלי.
7. בחר בתשומת לב חומרים המתאימים לעבודה עם קריאוגנים. נוזלים קריאוגנים יכולים לשנות את תכונותיהם הפיזיקאליות של חומרים רבים, על ידי הפיכתם לשבירים וחלשים.
8. ודא קיום שסתום ביטחון (פורק לחץ) בכל מקום שיכול להיבנות ולהילכד לחץ.

שינוע ושימוש

1. כל מכל דיואר ומערכת קריאוגנית חייבים להיות מצוידים בשסתום ביטחון / פורק לחץ על מנת לפרוק לחץ גבוה מדי, דסקית פריצה ומכסה חופשי על צלחת / כיסוי הדיואר. יש לבדוק תקופתית את שסתום הביטחון.
2. השתמש בצינור העברה המתוכנן לשימוש במכלי דיואר. יש להחליף צינור פגום. אין לטפל צינור העברה בידיים חשופות מאחר ואביזרי החיבור גלויים (לא מבודדים).
3. כאשר ממלאים / מעבירים ממכל אחד למכל אחר, אין למלא מכל יותר מאשר 80% מהנפח (60% אם טמפרטורת הסביבה מעל 30°C).
4. אל תכניס חפצים /אביזרים חמים לתוך מכל דיואר קריאוגני.
5. סגור/ כסה מיידית כל מכל כדי למנוע כניסת לחות מהאוויר והפיכתה לפקק קרח בכניסה.
6. הבטח אוורור מספיק בסביבת הדיואר כאשר משתמשים בו לניסויים.
7. שנע בזהירות קריאוגנים, אל תשתמש במכלים שבורים. השתמש בעגלות יד מותאמות. השתמש במעלית שרות (במידה וניתן) כדי להעביר מכלים קריאוגנים בעיקר מכלים שנפתחו / היו בשימוש באין מעלית שירות השתמש במעלית נוסעים ללא נוכחות אנשים נוספים.

אחסון

1. אחסון מכלים קריאוגניים במקום מאוורר היטב כדי למנוע חוסר בחמצן.
2. השתמש אך ורק במכל מאושר לאחסון, בעל שסתום ביטחון/ פורק לחץ.
3. לעולם אל תווסת, תחסום, או תסגור עם פקק שסתום ביטחון /פורק לחץ. הספק חייב לבדוק את שסתום הביטחון / פורק הלחץ לפני מילוי המכל / דיואר.
4. מנע מגע של לחות עם מכלי האחסון כדי למנוע פקק קרח בהתקני החיבור.
5. בדוק תקופתית צוואר המכל להיווצרות פקק קרח. הוצא את ליבת הפקק אם נוצר.
6. הרחק מקורות חום מנוזלים קריאוגניים.
7. אל תשתמש בקריאוגניים או בקרח יבש בחדרי קירור שניתן להיכנס אליהם, מאחר ויתכן שאין מספיק אוויר או אוורור מספק ויכול להיווצר מצב של חוסר בחמצן.

מקור : אוניברסיטת ברקלי קליפורניה.

חישוב חוסר / עודף חמצן בחלל

ניתן לחשב את ריכוז החמצן בחלל / חדר כתוצאה משפך של נוזל קריאוגני באמצעות המשוואה הבאה:

$$Cox = \frac{100 * Vo}{Vr}$$

כאשר:

Cox - ריכוז החמצן בחלל / חדר

Vo - נפח החמצן בחדר במ"ק (m³) מחושב לאחר שפיכת נוזל קריאוגני כאשר:

$$Vo = 0.21(Vr - Vg)$$

Vr - נפח בחלל / החדר במ"ק (m³)

Vg - נפח הגז שהשתחרר כאשר:

נפח הנוזל הקריאוגני שנשפך (m³) * מקדם התפשטות הגז (Fs) = Vg

אם נשפך / השתחרר חמצן נוזלי אזי חלה עליה בריכוז החמצן, במקרה כזה משתמשים במשוואה

$$Vo = 0.21(Vr - Vg) + Vg \quad \text{הבאה:}$$

Fs מקדמי התפשטות עבור גזים שונים

פחמן דו חמצני = 543

חמצן = 842 ארגון = 824

חנקן = 683

ניטרוס אוקסיד = 665

הליום = 739

דוגמאות חישוב

דוגמאות החישוב עבור ריכוז החמצן בחדר הם עבור שפיכה תיאורטית של:

א. 25 ליטר חנקן

ב. 25 ליטר חמצן

א. שפיכה של 25 ליטר חנקן נוזלי בחדר קטן בנפח של 120 m³

$$Vr = 120 \text{ m}^3$$

$$Vg = \frac{25 * 683}{1000} = 17.1 \text{ m}^3$$

מחלקים את הכמות שנשפכה בליטרים ב- 1000 כדי לקבל במ"ק

$$Vo = 0.21(120 - 17.1) = 21.6 \text{ m}^3$$

ריכוז החמצן בחדר לאחר השפיכה

$$Cox = \frac{100 * 21.6}{120} = 18\%$$

ב. שפיכה של 25 ליטר חמצן נוזלי בחדר קטן בנפח של 120 m^3

$$V_r = 120 \text{ m}^3$$

$$V_g = \frac{25 \cdot 842}{1000} = 21.05 \text{ m}^3$$

$$V_o = 0.21(120 - 21.05) + 21.05 = 41.82 \text{ m}^3$$

ריכוז החמצן בחדר לאחר השפיכה

$$C_{ox} = \frac{100 \cdot 41.82}{120} = 34.85\%$$

הערות

החישובים הנ"ל מתבססים על שפך גדול ומידי ולכן החלפות האוויר / אוורור אינה נלקחת בחישוב. הירידה ברמת החמצן או העשרה ברמת החמצן הנגרמת על ידי "דליפה טבעית" ממכלי הדיואר (במשך פרק זמן מסוים) או שפיכה קטנה, מכוסת בדרך כלל על ידי החלפות האוויר / אוורור של החדר המסוים.

מקור : אוניברסיטת קרדיף

1. Cryogenic Liquids – Hazards, The Canadian Centre for Occupational Health and Safety (CCOHS)
<http://www.ccohs.ca/oshanswers/chemicals/cryogenic/cryogen1.html>
2. Cryogenic Gas Risks ' BOC industrial gases uk, The Linde Group
<http://www.boconline.co.uk/en/sheq/gas-safety/gas-risks/cryogenic-gas-risks/cryogenic-gas-risks.html>
3. Laboratory Safety Cryogenic Liquids , WVU Robert C. Byrd Health Sciences Center , West Virginia University
<http://www.hsc.wvu.edu/safety/Laboratory-Safety/Cryogenic-Liquids.aspx>
4. Cryogenic Safety, Environmental Health & Safety, North Carolina State University
http://www.ncsu.edu/ehs/www99/right/handsMan/worker/Cryogenic_Safety.htm
5. Cryogenic Liquids Precautions and Safe Handling Procedures, *(University of California, Berkley)
<http://ehs.ucr.edu/laboratory/Cryogenic%20Liquids%20Precautions%20and%20Safe%20Handling%20Procedures.pdf>
6. Safe Handling & Use of Liquid Nitrogen and Other Cryogenic Gases, Office of Engineering Safety Texas Engineering Experiment Station (TEES) & The Dwight Look College of Engineering/
http://labsafety.tamu.edu/training/labsafety/PDF/12_LN2Cylinders-color.pdf
7. Safety Advice. 1 – Handling of cryogenic liquefied gases. The Linde Group
http://www.abellolinde.es/internet.lg.lg.esp/en/images/Safety_Advice_1302_25930.pdf
8. Care with Cryogenics. BOC, The Linde Group
http://www.boconline.co.uk/internet.lg.lg.gbr/en/images/Care-with-Cryogenics410_39729.pdf
9. OSHEU Guidance Document Working with Cryogenic Gases
Cardiff University

10. תקן אירופאי

- BS EN 13458-1:2002 Cryogenic vessels. Static vacuum insulated vessels. Fundamental requirements
BS EN 13458-2:2002 Cryogenic vessels. Static vacuum insulated vessels. Design, fabrication, inspection and testing
BS EN 13458-3:2003 Cryogenic vessels. Static vacuum insulated vessels. Operational requirements

ASME Boiler and Pressure Vessel Code 11. תקן אמריקאי

NFPA 55-2013 *Compressed Gases and Cryogenic Fluids Code* 12. תקן אמריקאי

13. נוהל G-01 מערכות גזים רפואיים מהדורה שניה (רשמית) 2006

בהוצאת מינהל תכנון פיתוח ובינוי מוסדות רפואה, משרד הבריאות.

14. גזים – היבטי בטיחות וגיחות. בהוצאת המוסד לבטיחות וגיחות (ח-089)

15. Handbook of Compressed Gases [Compressed Gas Association Inc.]

(4th Edition).