השתלמות ענפית בכימיה

כרמ בטיחות בע"מ

המכללה לבטיחות והכשרה מקצועית

תוכן

26/01/2025 17:00-18:30

מפרק 3- עקרונות בטיחות בתפעול באחזקה

תפקיד מתקן הפיילוט בכל הנוגע לפערי בטיחות העולים בעת העברת משלב הפיתוח לייצור.

מאפייני המתקן והמשמעויות הבטיחותיות בשלב זה של חיי המוצר.

ניהול בטיחות בדגש על ניהול שינויים במתקן (MOC).

מסירה בטיחותית של ציוד תהליכי לאחזקה.

תפקיד מתקן הפיילוט בנוגע לפערי בטיחות העולים בעת העברת הפיתוח לייצור והמשמעויות הבטיחותיות

1. תפקיד מתקן הפיילוט

הגדרה:

- מתקן קטן יותר שמדמה את תהליך הייצור בקנה מידה מופחת.

SCALE UP = גימלון

תפקיד מתקן הפיילוט בנוגע לפערי בטיחות העולים בעת העברת הפיתוח לייצור והמשמעויות הבטיחותיות

1. תפקיד מתקן הפיילוט

מטרות מתקן פיילוט:

- בדיקה ואימות של תהליכים והגדרות טכניות.
- איתור כשלים תפעוליים, הנדסיים ובטיחותיים.

תפקיד מתקן הפיילוט בנוגע לפערי בטיחות העולים בעת העברת הפיתוח לייצור והמשמעויות הבטיחותיות

1. תפקיד מתקן הפיילוט

משמעויות בטיחותיות לתהליך:

- איתור סיכונים שלא נצפו בשלבי הפיתוח.
- בדיקת תגובות חומרים בתנאי אמת.
- זיהוי פערים בין הנהלים לבין המציאות בשטח.

מאפייני המתקן והמשמעויות הבטיחותיות בשלב זה של חיי המוצר

2. שלבים בחיי המוצר:

1.פיתוח >> פיילוט >> ייצור >> תחזוקה.

המקום הקריטי של הפיילוט בזיהוי סיכונים.

מאפייני המתקן והמשמעויות הבטיחותיות בשלב זה של חיי המוצר

3. אתגרים נפוצים במתקן פיילוט

- **ניהול שינויים**: ציוד, חומרים ותהליכים משתנים.
- **אינטגרציה בין צוותים**:
  - פיתוח, הנדסה, בטיחות ותפעול.
- **טעויות בהערכת סיכונים**:
  - אי התאמה בתנאי תפעול (חום, לחץ, ערבוב).

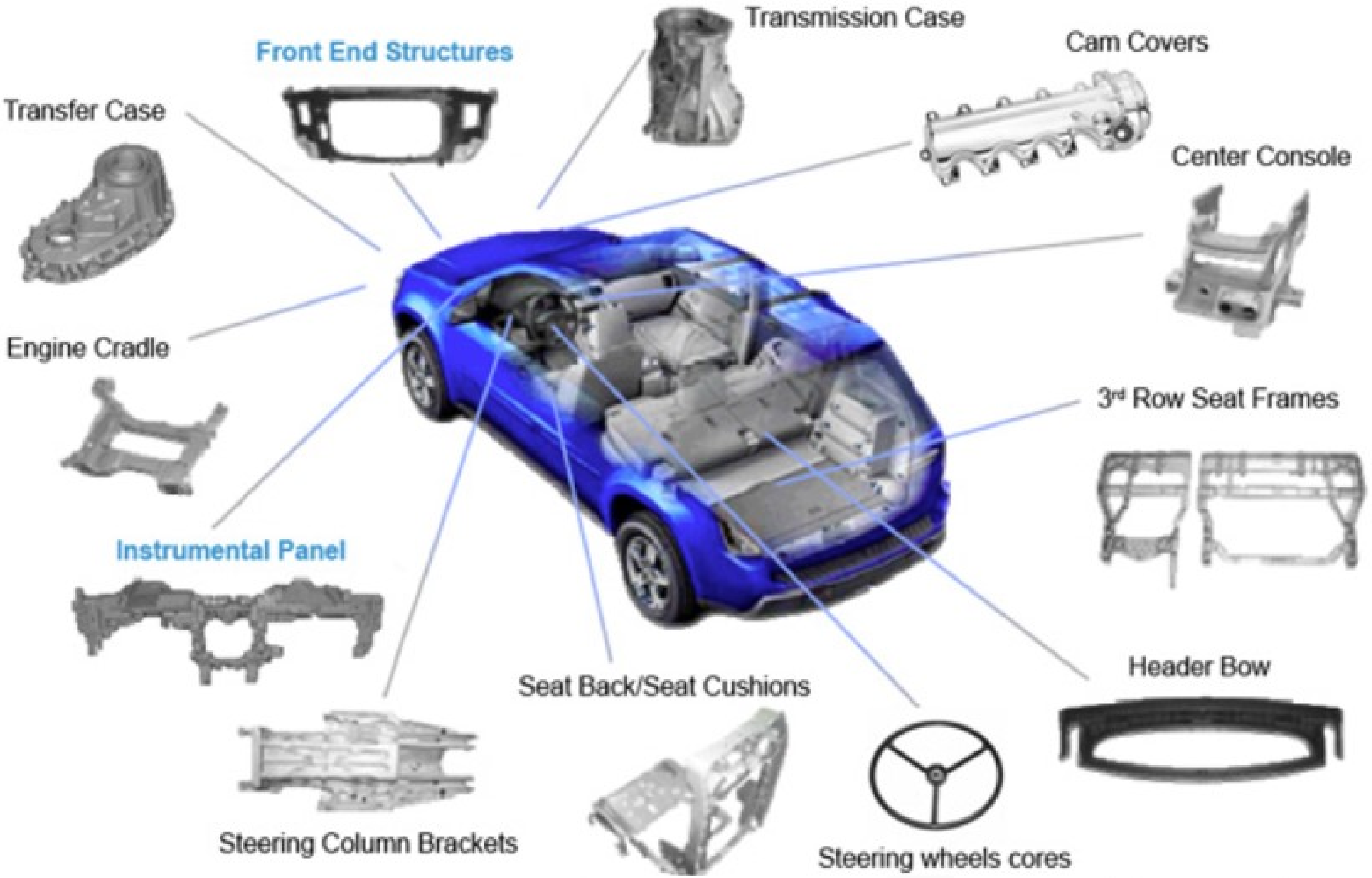
מאפייני המתקן והמשמעויות הבטיחותיות בשלב זה של חיי המוצר

4. דוגמא מעשית:

מקרה הצלחה של מתקן הפיילוט של Dow Chemicals תהליך משנת 2000

זיהוי מוקדם של כשלים בשחרור חום, מנע תאונות אפשריות.

בא אליכם המנכ"ל / סמנכ"ל התפעול.... רוצה תהליך חדש....


Front End Structures
Transmission Case
Cam Covers
Transfer Case
Center Console
Engine Cradle
3rd Row Seat Frames
Instrumental Panel
Header Bow
Seat Back/Seat Cushions
Steering Column Brackets
Steering wheels cores

Reaction:

The overall reaction during the electrolysis of molten magnesium chloride is:

$$MgCl_2 \xrightarrow{\text{Electrolysis}} Mg + Cl_2$$

Electrolysis Setup:

1. **Electrolyte**: Molten magnesium chloride ($\mathrm{MgCl_2}$) is used. It is typically mixed with other salts (like NaCl or KCl) to lower the melting point and improve conductivity.
2. **Anode** (positive electrode): Oxidation occurs here. Chloride ions ($\mathrm{Cl^-}$) lose electrons and form chlorine gas:

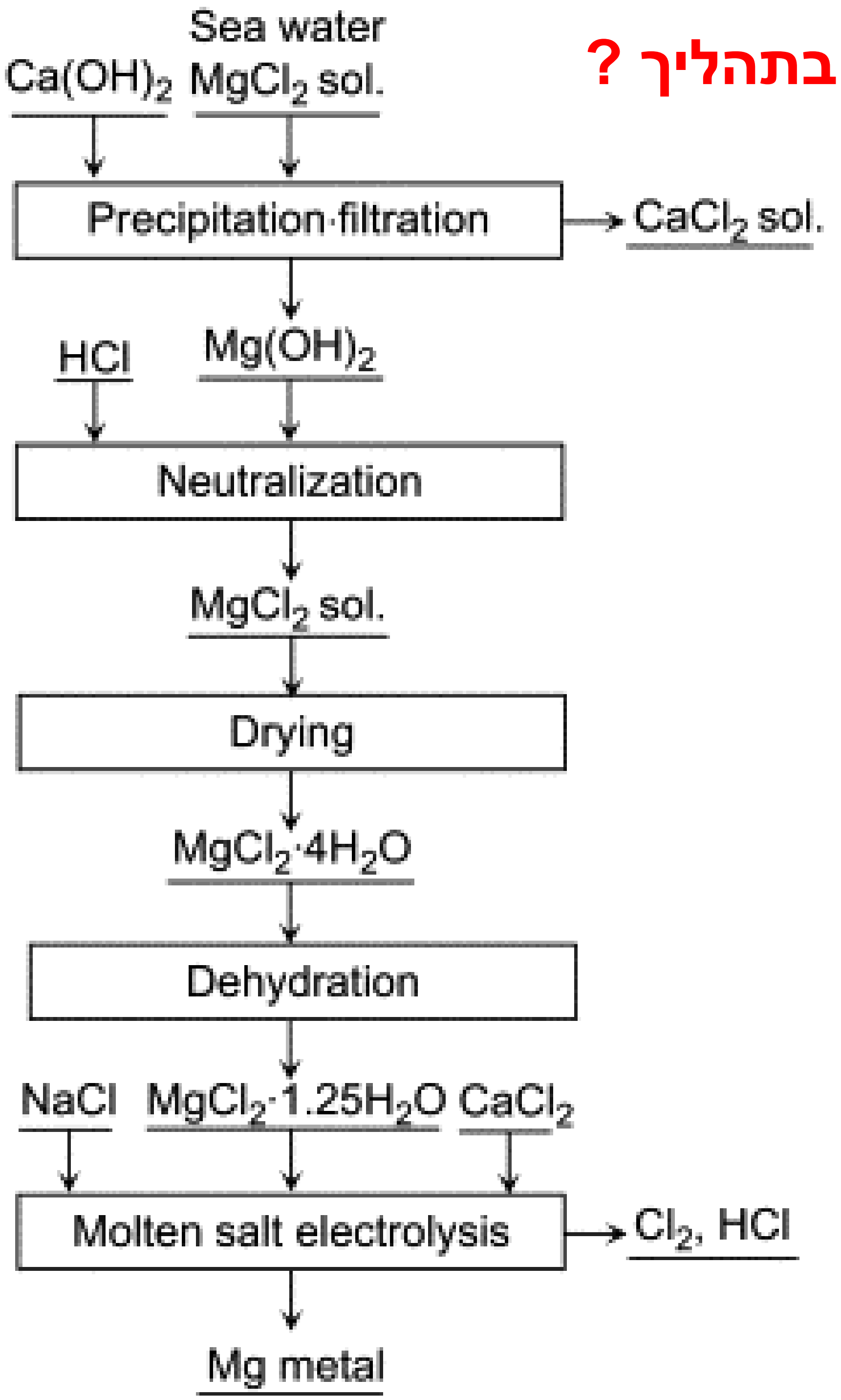
$$2\mathrm{Cl^-} \rightarrow \mathrm{Cl_2} + 2e^-$$

3. **Cathode** (negative electrode): Reduction occurs here. Magnesium ions ($\mathrm{Mg^{2+}}$) gain electrons to form magnesium metal:

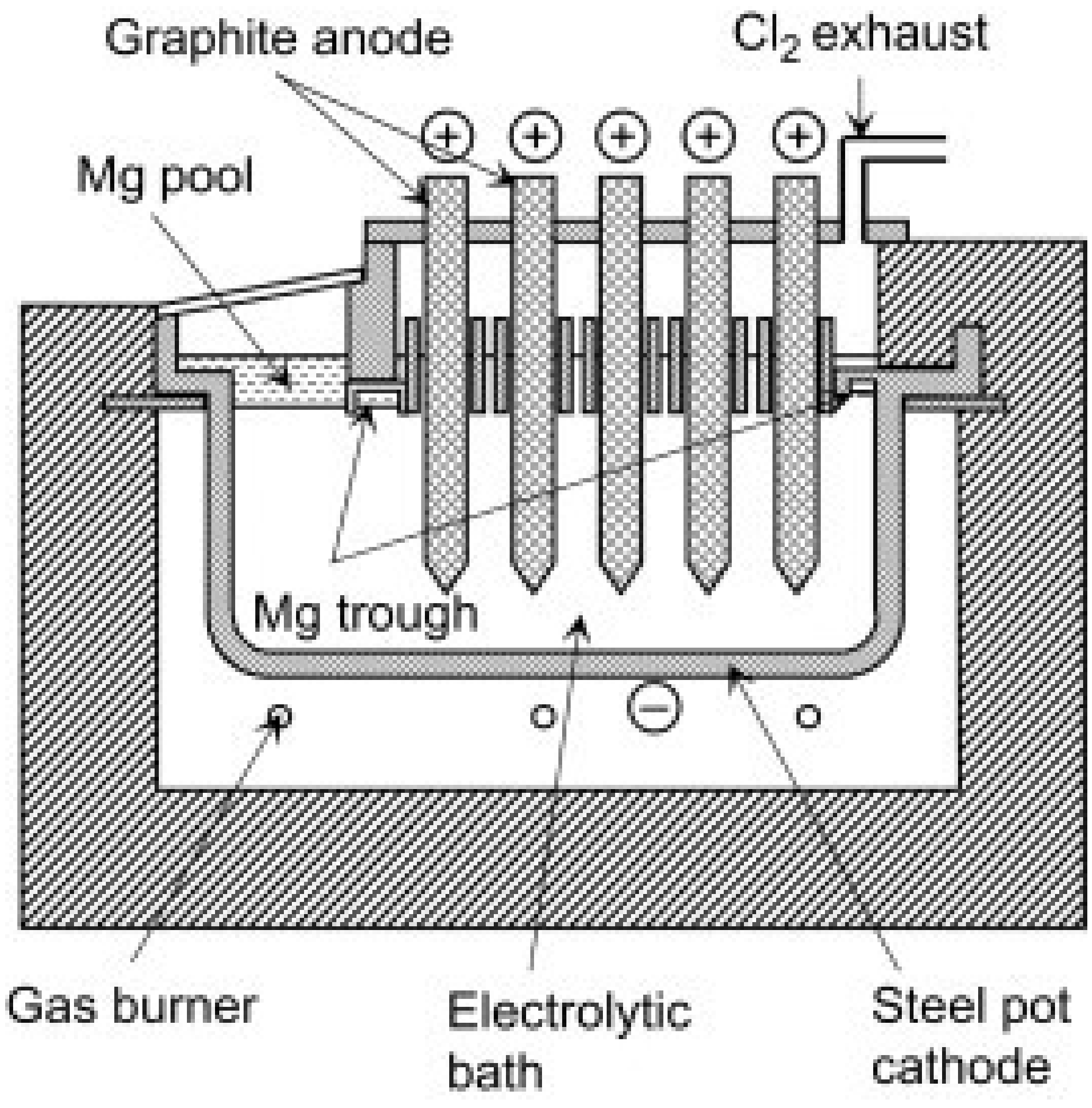
$$\mathrm{Mg^{2+}} + 2e^- \rightarrow \mathrm{Mg}$$

https://www.sciencedirect.com/topics/chemistry/dow-process

? איזה גורמי סיכון בולטים בתהליך

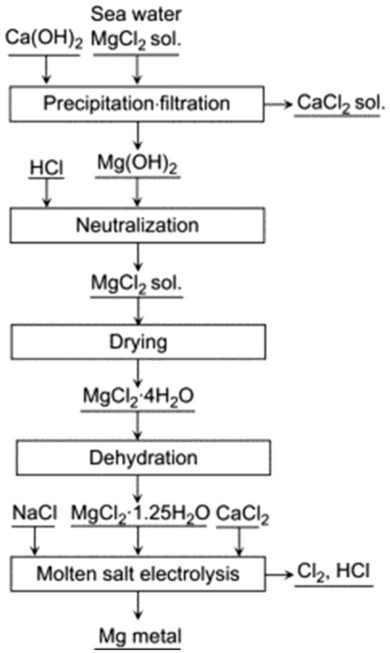


https://www.sciencedirect.com
/topics/chemistry/dow-process



https://www.sciencedirect.com/topics/chemistry/dow-process

Figure 2.9.37 shows magnesium production based on the Dow process.
An $MgCl_2$ solution is produced by adding hydrochloric acid to magnesium hydroxide extracted from the seawater precipitate. The solution is then condensed by heating and dehydrated. In order to minimize the formation of MgO due to the decomposition of $MgCl_2$, dehydration is terminated at the stage that one molecule of crystal water remains.
The electrolytic cell of the Dow process is shown in Figure 2.9.38. A cast steel pot is heated by gas burner, and electrolysis is carried out between a cathode pot and a top-mounted graphite anode. The composition of the bath is 54% NaCl, 23% $CaCl_2$, and 22% $MgCl_2$. The newly formed magnesium is scooped out after the accumulation at the surface of the bath.
The gas generated on the anode contains Cl_2, water, and HCl because the molten salt contains water and MgO.
The equipment is especially designed for frequent replacing and loading the graphite anode because consumption of anodes is extensive due to the reaction with water and MgO.
Table 2.9.30 presents an example of the operational results of the Dow electrolytic furnace. The commercial electrolytic current exceeds 100 kA.



https://www.sciencedirect.com/topics/chemistry/dow-process

שיפורים שהפיילוט זיהה וביצע במתקן הגדול

1.זיהוי בעיות בקצב שחרור חום (Thermal Runaway)

בתהליך הפיילוט, זוהתה עלייה חריגה בטמפרטורה במהלך האלקטרוליזה.

בעיה: מערכות הקירור לא פינו חום מספיק מהר.

פתרון: שודרגה מערכת הקירור למערכת בעלת כושר פינוי של 1000 קילוואט, בהשוואה ל-750 קילוואט במקור.

תוצאה: המערכת התעשייתית פעלה ביציבות, עם שליטה על טמפרטורת ההתכה.

שיפורים שהפיילוט זיהה וביצע במתקן הגדול

2. שיפור מערכות ניטור דליפות כלור (Cl_2)

במהלך הניסויים, התגלה שהגז **כלור** נפלט בכמויות קטנות יותר אך בתדירות גבוהה יותר מהצפוי.

סיכון: חשיפה של עובדים לגז כלור מהווה סכנת חנק והרעלה.

פתרון: הוטמעה מערכת **חיישני זיהוי כלור** המסוגלת לאתר דליפ בריכוזים של **1 PPM** בלבד, לצד התקנת מערכות יניקה מקומיות.

שיפורים שהפיילוט זיהה וביצע במתקן הגדול

3. הטמעת מערכת Lockout/Tagout (LOTO):

1. מניעת גישה לא מורשית לציוד במהלך ניקוי ותחזוקה.
2. במהלך הפיילוט, הוגדרו פרוטוקולים מפורטים לנעילת מערכות אנרגיה לפני פעולות תחזוקה, כולל כיבוי קווי מתח ומערכות קיטור.

נתונים מספריים מהפיילוט למתקן התעשייתי

פרמטר	מתקן פיילוט	מתקן תעשייתי משודרג
טמפרטורת עבודה	700-750°C	720°C (יציבות טובה)
קצב פינוי חום	750 קילוואט	1000 קילוואט
זיהוי דליפות כלור	רגישות של 5 PPM	רגישות של 1 PPM
עלות שדרוג מערכות בטיחות	50,000 דולר	חסכון של 2 מיליון דולר

חברת "Dow Chemical" נתקלה באתגרים משמעותיים במהלך הרחבת תהליך ייצור המגנזיום, בעיקר בגלל בעיות טכניות, תפעוליות וכלכליות.
להלן הסבר על הנושאים העיקריים ומה השתבש:

1. זיהומים בחומרי הזנה: חומרי הגלם (מגנזיום כלורי) ששימשו בתהליך דאו הכילו לעתים קרובות זיהומים כגון מים, סולפטים ותחמוצות. במהלך השדרוג, זיהומים אלה הפריעו לתהליך האלקטרוליזה: מים הובילו לתגובות לוואי, ויצרו גז מימן במקום מגנזיום. סולפטים ותחמוצות הפחיתו את יעילות התא וגרמו לפירוק אלקטרודות.

1. Impurities in Feedstock:

- The feedstock (magnesium chloride) used in the Dow process often contained impurities such as water, sulfates, and oxides.
- During the upscale, these impurities interfered with the electrolysis process:
  - Water led to side reactions, producing hydrogen gas instead of magnesium.
  - Sulfates and oxides reduced the efficiency of the cell and caused electrode degradation.

2. בעיות קורוזיה:
סביבת המלח המותך בטמפרטורה גבוהה הייתה קורוזיבית ביותר לחומרים ששימשו לבניית התאים האלקטרוליטיים. במהלך השדרוג, הגידול בהיקף ובמשך הפעילות החמיר את הידרדרות החומרים, מה שהוביל לתחזוקה תכופה ולזמן השבתה.

2. Corrosion Issues:

•The high-temperature molten salt environment was extremely corrosive to the materials used in the construction of the electrolytic cells.

•During the upscale, the increased scale and duration of operations exacerbated material degradation, leading to frequent maintenance and downtime.

3. בעיות ניהול תרמי:
הגימלון SCALE UP דרש תאים גדולים יותר וצפיפויות זרם גבוהות יותר, שיצרו חום משמעותי.
ניהול יעיל של חום זה היה אתגר, שכן התחממות יתר עלולה לפגוע בציוד ולהפחית את טוהר המגנזיום המיוצר.

3. Thermal Management Problems:

- The upscale required larger cells and higher current densities, which generated significant heat.
- Managing this heat effectively was a challenge, as overheating could damage the equipment and reduce the purity of magnesium produced.

4. טיפול בגז כלור:
שדרוג הגביר את ייצור גז הכלור כתוצר לוואי באנודה. מערכות לקויות ללכידה וטיפול בגז הכלור הובילו לחששות בטיחות, סיכונים סביבתיים וחוסר יעילות.

4. Chlorine Gas Handling:

- Upscaling increased the production of chlorine gas as a by-product at the anode.
- Inadequate systems for capturing and handling the chlorine gas led to safety concerns, environmental hazards, and inefficiencies.

5. עיצוב אלקטרודות בקנה מידה:

האלקטרודות ששימשו בפעולות בקנה מידה קטן לא תפקדו טוב בתאים גדולים יותר.
בעיות עם שחיקת אלקטרודות, פיזור זרם לא אחיד ויעילות מופחתת הפכו בולטות יותר בסקאלות גדולות יותר.

5. Scaling up Electrode Design:

•The electrodes used in small-scale operations did not perform as well in larger cells.
•Issues with electrode wear, uneven current distribution, and reduced efficiency became more pronounced at larger scales.

6. גורמים כלכליים וגורמי שוק:
עלות ההתרחבות הייתה גבוהה מהצפוי, בין היתר בשל עיכובים טכניים. במקביל, תנאי השוק (למשל, תנודות במחירי המגנזיום, תחרות) הקשו על הצדקת העלייה בעלויות הייצור.

6. Economic and Market Factors:

•The cost of scaling up was higher than anticipated, partly due to technical setbacks.

•Simultaneously, market conditions (e.g., fluctuating magnesium prices, competition) made it difficult to justify the increased production costs.

תמי אימי
מכון למחקר ופיתוח

מי אנחנו | שירותי מעבדה ופילוט | מחקר ופיתוח חדשניים | שוקים | GLP / GMP | טכנולוגיות | צרו קשר

דף בית » שירותי מעבדה ופילוט » פיילוטים

פיילוטים: מחקר ופיתוח

https://www.tami-imi.co.il/%D7%A4%D7%99%D7%99%D7%9C%D7%95%D7%98

בעיות בטיחותיות שנוצרו...

1. סיכוני גז כלור,

סיכוני תוצר לוואי: גז כלור משתחרר באנודה במהלך אלקטרוליזה של מגנזיום כלורי מותך.

רעילות: כלור הוא רעיל וקורוזיבי מאוד, ומהווה סיכונים בריאותיים חמורים אם נשאף.

טיפול והכלה: מערכות לקויות ללכידה ואחסון של גז כלור במהלך השדרוג הובילו לדליפות ולפוטנציאל לשחרור בשוגג.

סיכון אש ופיצוץ: כלור יכול להגיב באלימות עם חומרים אורגניים או מתכות, מה שמגדיל את הסיכון לשריפות או פיצוצים במפעל.

2. מלח מותך סכנות טמפרטורות גבוהות: התהליך כולל מגנזיום כלורי מותך בטמפרטורות העולות על 700 מעלות צלזיוס.

שפך: שפיכה בשוגג של מלח מותך עלולה לגרום לכוויות חמורות או לשריפות.

קורוזיה של ציוד: האופי הקורוזיבי של מלחים מותכים הוביל לכשלים מבניים בכלי תגובה, צינורות ואביזרים, מה שהגדיל את הסבירות לדליפות קטסטרופליות.

בריחה תרמית: ניהול תרמי לא נכון עלול להוביל להתחממות יתר, נזק לציוד ותגובות בלתי מבוקרות.

2. Molten Salt Dangers

- **High Temperatures**: The process involves molten magnesium chloride at temperatures exceeding 700°C. Accidental spills of molten salt could cause severe burns or fires.
- **Corrosion of Equipment**: The corrosive nature of molten salts led to structural failures in reaction vessels, pipes, and fittings, increasing the likelihood of catastrophic leaks.
- **Thermal Runaway**: Improper thermal management could lead to overheating, equipment damage, and uncontrolled reactions.

3. תגובתיות מגנזיום מתכת דליקות:

ריאקציה: מגנזיום הוא תגובתי מאוד, במיוחד במצבו המותך. מגע עם מים או לחות עלול להוביל לתגובות אקסותרמיות אלימות, לייצר גז מימן ולגרום לפיצוצים.

פיצוצי אבק: אבק מגנזיום דק, שנוצר במהלך טיפול או עיבוד שבבי, הוא דליק מאוד ויכול לגרום לפיצוצים אם הוא מוצת בנוכחות אוויר.

שריפות: שריפות מגנזיום קשות לכיבוי, מכיוון שהן בוערות בטמפרטורות גבוהות ויכולות להתלקח מחדש אם אינן מנוהלות כראוי. לא ניתן להשתמש במים וב-CO_2 כדי לכבות את השריפות הללו, מכיוון שהן עלולות להחמיר את התגובה.

3. Magnesium Metal Reactivity

- **Flammability**: Magnesium is highly reactive, particularly in its molten state. Contact with water or moisture could lead to violent exothermic reactions, producing hydrogen gas and potentially causing explosions.
- **Dust Explosions**: Fine magnesium dust, generated during handling or machining, is highly flammable and can cause explosions if ignited in the presence of air.
- **Fires**: Magnesium fires are difficult to extinguish, as they burn at high temperatures and can reignite if not properly managed. Water and CO_2 cannot be used to extinguish these fires, as they can exacerbate the reaction.

4. ייצור מימן תגובות לוואי: אם המלח המותך הכיל זיהומים במים, תהליך האלקטרוליזה עלול לייצר גז מימן H_2 במקום מגנזיום.

סיכון פיצוץ: מימן הוא דליק מאוד ויכול ליצור תערובות נפיצות עם האוויר, מה שמהווה סיכון משמעותי בחללים סגורים.

4. Hydrogen Generation

- **Side Reactions**: If the molten salt contained water impurities, the electrolysis process could produce hydrogen gas (H2\text{H}_2H2) instead of magnesium.
- **Explosion Risk**: Hydrogen is highly flammable and can form explosive mixtures with air, posing a significant risk in enclosed spaces.

5. מפגעי חשמל זרמים גבוהים: התהליך דורש שימוש בתאים אלקטרוליטיים בזרם גבוה, מה שמגדיל את הסיכון להתחשמלות או קצרים.

Arc Flash: תקלות במערכת החשמל עלולות לגרום לקשת חשמלית, שהם פרצי אנרגיה מסוכנים שיכולים לגרום לכוויות חמורות ולנזק לציוד.

5. Electrical Hazards

•**High Currents**: The process requires the use of high-current electrolytic cells, increasing the risk of electric shocks or short circuits.

•**Arc Flash**: Faults in the electrical system could result in arc flashes, which are dangerous bursts of energy that can cause severe burns and equipment damage.

6. סיכונים סביבתיים ובריאותיים ארוכי טווח חשיפת עובדים:

חשיפה ממושכת לגז כלור או אבק מגנזיום עלולה לגרום לבעיות נשימה כרוניות ולבעיות בריאותיות אחרות.

זיהום סביבתי: דליפות או טיפול לא נכון בגז כלור עלולים לגרום לזיהום סביבתי, המשפיע על מערכות אקולוגיות וקהילות סמוכות.

6. Environmental and Long-term Health Risks

- **Worker Exposure**: Prolonged exposure to chlorine gas or magnesium dust could cause chronic respiratory issues and other health problems.
- **Environmental Pollution**: Leaks or improper handling of chlorine gas could result in environmental contamination, affecting nearby ecosystems and communities.

אמצעי הפחתה לכידת כלור משופרת: DOW הטמיעה מערכות טיפול של כלור כדי למזער דליפות וחשיפה.

חומרים עמידים בפני קורוזיה: השימוש בסגסוגות וציפויים מתקדמים סייע להפחית את התדרדרות הציוד.

ניטור תרמי ולחץ: מערכות אוטומטיות הוכנסו כדי לזהות התחממות יתר, דליפות או הצטברות לחץ מוקדם.

מערכות דיכוי אש: טכניקות מיוחדות לדיכוי אש (כמו מטפי כיבוי אש Class D למגנזיום) שימשו לניהול שריפות מתכת.

הכשרת עובדים וציוד הגנה אישי: העובדים הוכשרו לטפל בחומרים מסוכנים וצוידו בציוד מגן להפחתת סיכונים.

Mitigation Measures

•**Improved Chlorine Capture**: Dow implemented chlorine scrubbing and containment systems to minimize leaks and exposure.

•**Corrosion-resistant Materials**: The use of advanced alloys and coatings helped reduce equipment degradation.

•**Thermal and Pressure Monitoring**: Automated systems were introduced to detect overheating, leaks, or pressure build-ups early.

•**Fire Suppression Systems**: Specialized fire suppression techniques (like Class D fire extinguishers for magnesium) were employed to manage metal fires.

•**Worker Training and PPE**: Employees were trained to handle hazardous materials and provided with protective equipment to reduce risks.

1. גז כלור: מכשירי הפחתה ובקרה

א. לכידה ונטרול של גזים

מערכות פולישינג: נטרול גז כלור על ידי העברתו דרך תמיסות אלקליין (למשל, נתרן הידרוקסידי או מי ליים).

תכונות עיקריות: סקראברים מגדילים את שטח המגע בין הגז לנוזל. בקרת pH בזמן אמת מבטיחה נטרול יעיל.

תוצרי לוואי: נתרן היפוכלוריט NaOCl או סידן היפוכלוריט, אשר ניתן לאחסן בבטחה או להשתמש בו באופן תעשייתי.

ספיגת כלור:

עיצוב: שימוש בפחמן פעיל לספוג אלקליות כדי ללכוד גז כלור.

בקרה תפעולית: החלפת עובדים באזורים שבהם ריכוזי הכלור נמוכים או לסירוגין.

מערכות מיחזור בלולאה סגורה:

מיחזור גז כלור לתהליכים תעשייתיים אחרים, כגון ייצור חומצה הידרוכלורית HCl או פוליוויניל כלוריד (PVC) מפחית פסולת ופליטות.

ב. מניעת דליפות חומרים עמידים בפני קורוזיה:
שימוש בחומרים כמו:
טיטניום: עמידות גבוהה בפני קורוזיה הנגרמת על ידי כלור.
Hastelloy סגסוגת מבוססת ניקל עמידה בפני קורוזיה וטמפרטורות גבוהות.
צינורות מצופים PTFE / טפלון: משטחים אינרטיים מבחינה כימית למניעת דליפות.

מערכות איטום מתקדמות:
אטמים מכניים כפולים: מניעת נזילות בפירי המשאבה ובחיבורי השסתומים.
אטמים: אטמים עמידים כימית עשויים Viton או PTFE
מערכות אטומות הרמטית: ציוד סגור כדי למזער את החשיפה.
מערכות לחץ שלילי: שמירת על לחץ שלילי קל במערכות הטיפול בכלור כדי להבטיח שהגז לא יברח לאטמוספרה במהלך דליפות.

ג. איתור וניטור בזמן אמת גלאי גז כלור:

חיישנים אלקטרוכימיים: זיהוי ריכוזי כלור עד חלקים למיליארד (ppb)
הפעלת אזעקות והשבתות מערכת כאשר מגיעים לרמות מסוכנות.

חיישני אינפרא אדום (IR) ניטור כלור בסביבות טמפרטורה גבוהה.
מיקום: מותקן ליד נקודות דליפה פוטנציאליות (למשל, שסתומים, מפרקים, טנקים).

מערכות ניטור: (SCADA בקרת פיקוח ורכישת נתונים):
מספק ניטור מרכזי של רמות כלור, לחץ ותקינות המערכת.

רישום נתונים: עוקב אחר נתונים היסטוריים לתחזוקה מונעת וניתוח מגמות.

ד. מערכות כיבוי חירום שסתומי כיבוי אוטומטיים:
סגירת צנרת כאשר רמות הכלור חורגות מהסף שנקבע מראש או במהלך תקלות במערכת.
לוחות פיצוץ גז מקרי ישיר משתחרר לאזורי הכלה בטוחים כדי להגן על העובדים.
ערכות נטרול: ערכות ניידות המכילות אבקת סיד או אפר סודה לתגובה מיידית לדליפות כלור.

D. Emergency Shutdown Systems

1.Automatic Shut-off Valves:

1. Close pipelines when chlorine levels exceed preset thresholds or during system malfunctions.

2.Blowout Panels:

1. Direct accidental gas releases into safe containment areas to protect workers.

3.Neutralization Kits:

1. Portable kits containing powdered lime or soda ash for immediate response to chlorine leaks.

2. מפגעי מלח מותך: הפחתה ובקרה
א. ניהול תרמי חומרים עמידים בחום: העשויות מתחמוצת מגנזיום MgO או אלומינה עמידות בפני מלח מותך, קורוזיה וטמפרטורות גבוהות.
<u>מחסומים תרמיים</u>: שימוש בחומרי בידוד למניעת איבוד חום והגנה על מבנים חיצוניים.
מערכות קירור:
<u>מעילי קירור נוזלי</u>: יצירת מעיל תאים אלקטרוליטיים כדי לשמור על טמפרטורות הפעלה אופטימליות.
<u>מחליפי חום</u>: ספיגת חום עודף ולעשות בו שימוש חוזר לתהליכים אחרים.

2. Molten Salt Hazards: Mitigation and Control

A. Thermal Management

1.Heat-resistant Materials:

1. **Refractories**:
    1. Linings made of magnesium oxide (MgO\text{MgO}MgO) or alumina resist molten salt corrosion and high temperatures.
2. **Thermal Barriers**:
    1. Use of insulation materials to prevent heat loss and protect external structures.

2.Cooling Systems:

1. **Liquid Cooling Jackets**:
    1. Surround electrolytic cells to maintain optimal operating temperatures.
2. **Heat Exchangers**:
    1. Extract excess heat and reuse it for other processes.

ב. מאצרה לבלימת מלח מותך: בנוי מתחת לתאי אלקטרוליזה כדי ללכוד דליפות ולמנוע חשיפה לעובדים או לציוד.
זיהוי נזילות אוטומטי: חיישנים המותקנים מתחת לתאים כדי לזהות דליפות ולהפעיל אזעקות או כיבוי אוטומטי.

B. Spill Containment

1. **Molten Salt Containment Basins**:
    1. Built below electrolysis cells to capture spills and prevent exposure to workers or equipment.
2. **Automated Spill Detection**:
    1. Sensors installed under cells to detect leaks and trigger alarms or automatic shut-offs.

3. סיכוני מתכת מגנזיום: הפחתה ובקרה
א. מניעת שריפות ופיצוצים אטמוספירה מבוקרת: מערכות גז אינרטי: השתמשו בארגון או בחנקן כדי לכסות משטחי מגנזיום מותכים, ולמנוע חשיפה לאדי חמצן ומים.
סביבות יבשות: מסירי לחות מבטיחים שסביבת העבודה תישאר נטולת לחות, וממזערים את ייצור המימן.
מערכות איסוף אבק: מסנני אוויר חלקיקי (HEPA) בעלי יעילות גבוהה אוספים אבק מגנזיום עדין, מונעים הצטברות ומפחיתים את הסיכון לפיצוצי אבק

3. Magnesium Metal Hazards: Mitigation and Control

A. Fire and Explosion Prevention

1. **Controlled Atmosphere**:
   1. **Inert Gas Systems**:
      1. Use argon or nitrogen to blanket molten magnesium surfaces, preventing exposure to oxygen and water vapor.
   2. **Dry Environments**:
      1. Dehumidifiers ensure the workspace remains moisture-free, minimizing hydrogen production.
2. **Dust Collection Systems**:
   1. High-efficiency particulate air (HEPA) filters collect fine magnesium dust, preventing accumulation and reducing the risk of dust explosions.

ב. כיבוי אש מטפים סוג ד':
השתמשו באבקות מיוחדות כמו נתרן כלורי או גרפיט כדי לחנוק שריפות מגנזיום.
דליי חול: חול זמין לכיסוי מהיר של שריפות קטנות.
מחסומי אש: מגנים לא דליקים מפרידים בין תחנות העבודה למניעת התפשטות האש.

B. Fire Suppression

1.Class D Fire Extinguishers:
1. Use specialized powders like sodium chloride or graphite to smother magnesium fires.

2.Sand Buckets:
1. Sand is readily available for quickly covering small fires.

3.Fire Barriers:
1. Non-flammable shields separate workstations to prevent fire spread.

ג. טיפול ואחסון מכולות מיוחדות:
מגנזיום מותך מועבר בכורי היתוך עם בידוד תרמי ומכסים אטומים היטב למניעת שפיכה.
אחסון באזורים יבשים: מטילי מגנזיום או אבקות מאוחסנים באזורים עם לחות מבוקרת ורחוקים מחומרים דליקים.

C. Handling and Storage

1.Specialized Containers:

1. Molten magnesium is transported in crucibles with thermal insulation and tight-sealing lids to prevent spillage.

2.Storage in Dry Areas:

1. Magnesium ingots or powders are stored in areas with controlled humidity and far from flammable materials.

4. בטיחות והדרכות עובדים
א. ציוד מגן אישי (PPE) מכונות הנשמה: מצויד בפילטרים המדורגים לגז כלור וחלקיקים עדינים.
חליפות עמידות בחום: יש להגן מפני נתזי מגנזיום כלוריד מותך וכוויות.
מגני פנים וכפפות: מתוכנן לעמוד בטמפרטורות גבוהות ובחומרים קורוזיביים.

4. Worker Safety and Training
A. Personal Protective Equipment (PPE)
•**Respirators**:
- Equipped with filters rated for chlorine gas and fine particulates.

•**Heat-resistant Suits**:
- Protect against splashes of molten magnesium chloride and burns.

•**Face Shields and Gloves**:
- Designed to withstand high temperatures and corrosive substances.

ב. הכשרה והיערכות לשעת חירום הכשרת עובדים:
אימון קבוע על: זיהוי דליפות גז כלור. טיפול נכון במלחים מותכים ומגנזיום. פרוטוקולי תגובה לאש.
תרגילי חירום: סימולציות של תרחישי שריפה, פיצוץ או דליפת גז לשיפור זמני התגובה.

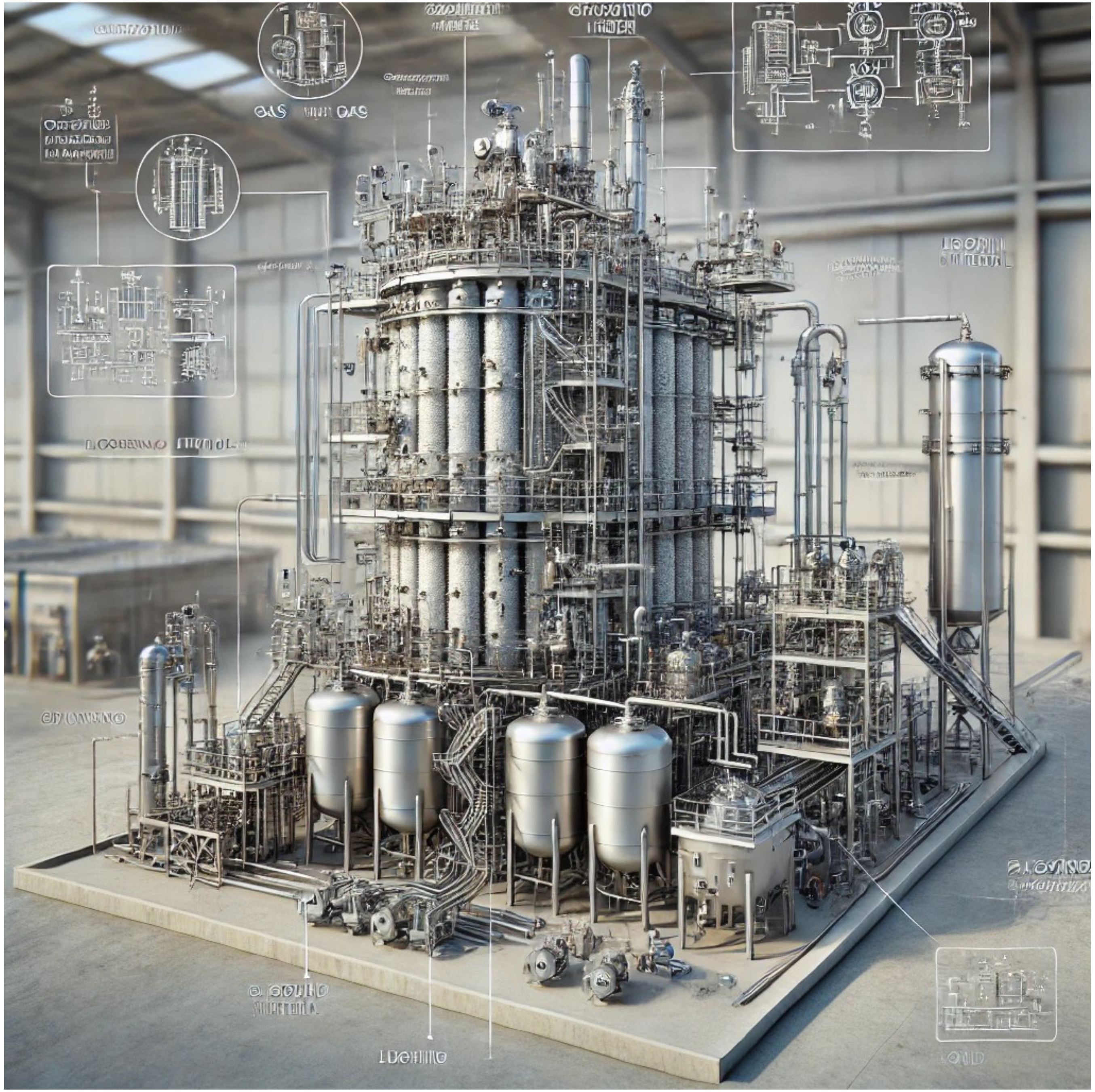
B. Training and Emergency Preparedness

1. **Worker Training**:
   1. Regular training on:
      1. Recognizing chlorine gas leaks.
      2. Proper handling of molten salts and magnesium.
      3. Fire response protocols.
2. **Emergency Drills**:
   1. Simulations of fire, explosion, or gas leak scenarios to improve response times.

ג. אוטומציה ותפעול מרחוק מערכות בקרה אוטומטיות: להפחית את הצורך בהתערבות אנושית באזורים בסיכון גבוה.
ניטור מרחוק: המפעילים יכולים לנטר תהליכים ממרחקים בטוחים באמצעות מצלמות וחיישנים.

C. Automation and Remote Operation

- **Automated Control Systems**:
  - Reduce the need for human intervention in high-risk areas.
- **Remote Monitoring**:
  - Operators can monitor processes from safe distances using cameras and sensors.



למידע נוסף: AIChE Case StudyAIChE

ניהול שינויים במתקן (Management of Change - MOC)

1. **מהו ניהול שינויים?**

- **הגדרה**: תהליך מובנה לניהול שינויים טכניים, הנדסיים או תפעוליים.
- **מטרה**: להבטיח שכל שינוי לא יגרום לסיכון בטיחותי חדש.

ניהול שינויים במתקן (Management of Change - MOC)

2. חשיבות ניהול שינויים במתקן פיילוט

- **מאפיינים של תהליך הפיילוט:**
  - ציוד זמני, חומרים חדשים, תהליכים לא יציבים.

- **סוגי שינויים נפוצים:**
  - שינוי במתכון התהליך.
  - החלפת ציוד או חומרי גלם.
  - התאמות במערכות הבקרה.

ניהול שינויים במתקן (Management of Change - MOC)

3. שלבי ניהול שינוי אפקטיבי

1. **זיהוי השינוי**: מה השתנה?
2. **הערכת סיכונים**: מהם הסיכונים הנלווים לשינוי?
3. **אישור השינוי**: עבודה מול צוותי בטיחות.
4. **תיעוד והדרכה**: עדכון נהלים והדרכות עובדים.
5. **מעקב ובקרה**: לוודא שהשינוי לא יצר בעיות חדשות.

טופס ועדת שינויים לדוגמא

ועדת שינויים מלאה / מצומצמת

תאריך : ______________

כינוס ועדת שינויים לאישור השינוי : כן / לא

שם מאשר השינוי ללא כינוס הוועדה: __________________________

חתימה: ______________________

מאשר השינוי ללא כינוס הוועדה ימלא את הסעיפים הרלוונטיים בטופס ויפיץ אותו לחברי הוועדה

מוזמנים: ____

נוכחים: ____

1. מטרת השינוי
____
____
____

2. יתרון \חסרון כלכלי\אחר
____
____
____

3. היתכנות טכנית
3.1 האם בוצעה בדיקת מעבדה ______________________________
3.2 האם בוצע פיילוט ______________________________

4. בטיחות/ גהות
4.1 השלכות בטיחותיות אפשריות ______________________________
____
4.2 השלכות גיהותיות אפשריות ______________________________
____

5. השפעה על הסביבה והאם נדרש להודיע לרשויות?
____
____

6. PFD – האם קיים ______________________________

7. PID – האם קיים ______________________________

8. חומרי מבנה ______________________________

9. התראות והשמטות ______________________________

10. מפרטי ציוד ______________________________

11. תוצר
האם יש השפעה על התוצר ______________________________

במוצר/חומר גלם חדש – קיים MSDS : כן / לא

12. חומרי גלם – האם נדרש שינוי : כן / לא

איכות/זמינות/אחסון ______________________________

13. האם נדרש עדכון היתר רעלים : כן / לא

14. (שירותים) כולל חשמל
אמינות / זמינות ______________________________

15. האם נדרש היתר בניה : כן / לא

מסירה בטיחותית של ציוד תהליכי לאחזקה

1. תהליך המסירה הבטיחותית

מטרת המסירה:
להבטיח שכל ציוד תהליכי יימסר לאחזקה בצורה בטוחה, עם כל המידע הרלוונטי לסיכונים.

שלבי מסירה:
נטרול אנרגיות מסוכנות (Lockout/Tagout)
ניקוי והכנת הציוד (פיזור חומרים מסוכנים).
בדיקות בטיחות מקדימות.
עדכון תיעוד טכני והדרכות לאנשי אחזקה.

מסירה בטיחותית של ציוד תהליכי לאחזקה

2. אתגרים בתהליך המסירה

חוסר במידע על הציוד: גורם לתקלות בטיחותיות.

תיאום: תיאום ליקוי בין צוותי הפיילוט לאחזקה.

סיכונים סמויים: חומרים כימיים או אנרגיות שלא טופלו כראוי.

מסירה בטיחותית של ציוד תהליכי לאחזקה

3. דוגמה מעשית

כשל במסירת ציוד: אחזקה שביצעה טיפול מבלי לדעת על שאריות חומרים כימיים.

מסקנה: חשיבות בבדיקות יסודיות וניקוי לפני כל מסירה.

סיכום ודיון

1. עקרונות מרכזיים מההרצאה:

1. חשיבות מתקן הפיילוט בזיהוי מוקדם של סיכונים.
2. הטמעת תהליך ניהול שינויים יעיל (MOC)
3. הצורך במסירה בטיחותית של ציוד לאחזקה.

2. שאלות לדיון:

1. כיצד ניתן לייעל את תהליך המסירה וה- MOC בארגון שלכם?
2. אילו אתגרים אתם חווים בשלב הפיילוט?

3. קריאה לפעולה:

1. הטמעת בקרות ברורות למתקן הפיילוט.
2. שיפור תיאום בין צוותי פיתוח, בטיחות ותפעול.

תוכן

מפרק 3- עקרונות בטיחות בתפעול באחזקה

30/01/2025 17:00-20:00

בטיחות בעת:

התנעת תהליך - ניקל הידרזין פרכלורט $Ni(N_2H_4)_5(ClO_4)_2$

פעולות שגרה - Paris 2024 Olympics, מצב מטסטבילי

הפסקת תהליך מתוכננת - Bhopal

הפסקת תהליך בחרום - "מה שעובד בתנאי מעבדה לא בהכרח יעבוד בשטח..."

הכנת מתקנים לתחזוקה, פירוק מתקנים – ExxonMobil פיצוץ בבית זיקוק

בטיחות בעת התנעת תהליך

בטיחות בעת התנעת תהליך

1. בטיחות בעת התנעת תהליך כימי

מטרות:
- להבטיח מעבר בטוח מהפסקה למצב ייצור פעיל.
- מניעת אירועים בטיחותיים כגון: דליפות, פיצוצים או תגובות לא מבוקרות.

עקרונות:
- בדיקות תקינות לציוד (משאבות, שסתומים, חיישנים).
- אימות של תנאים התחלתיים (לחץ, טמפרטורה, חומרי גלם).
- תיעוד והבנת סיכונים בתהליך.

דוגמאות:
- **חברת BASF**: התנעת מתקן ייצור אמוניה תוך שימוש במכשור לניטור אמין.
- **ציוד מומלץ**: חיישני לחץ וטמפרטורה, מערכת DCS (Distributed Control System)

אירוע מעניין לניתוח

ניקל הידרזין פרכלורט -NHP

$$Ni(N_2H_4)_5(ClO_4)_2$$

איך זה קשור אלינו?

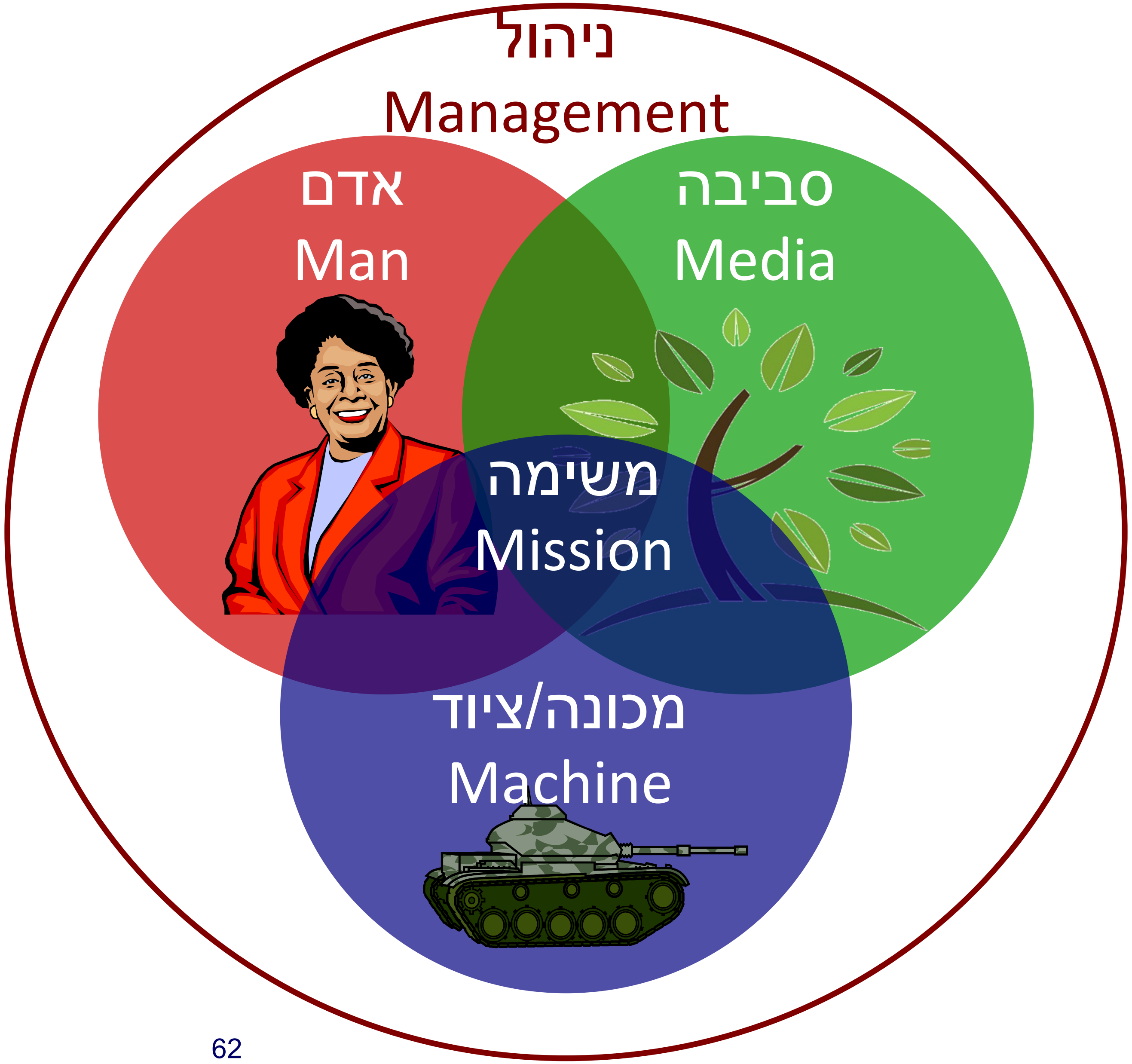
אירוע מעניין לניתוח

ניקל הידרזין פרכלורט -NHP

$Ni(N_2H_4)_5(ClO_4)_2$

<u>איך זה קשור אלינו?</u>

כל אחד מנתח מה הסעיפים הרלוונטיים לפי הקטגוריות הבאות:


ניהול
Management
אדם
Man
סביבה
Media
משימה
Mission
מכונה/ציוד
Machine

אירוע מעניין לניתוח

ב 7.1.2010 במעבדת מחקר של אוניברסיטת טקסס-טק, ארעה התפוצצות וסטודנט לתואר שני נפגע בפניו, בראייתו, 3 אצבעות נכרתו

המעבדה עסקה בזיהוי חומרים אנרגטיים שיכולים להוות איום ביטחוני עתידי למדינה וכללה סינתזות ואפיון של חומרים חדשים בעלי פוטנציאל אנרגטי.

אף אחת מעבודותיו הקודמות של הסטודנט לתואר שני לא הייתה בתחום האנרגטיקה, ולכן כאשר החל את הפרויקט, היה עליו ללמוד טכניקות ושיטות חדשות. הסטודנט לתואר שני לא קיבל כל הכשרה רשמית לעבודה עם תרכובות אנרגטיות, אך בתחקיר הוא הצהיר בפני ה- CSB כי הוא השלים סקירת ספרות לפני תחילת העבודה כדי להכיר תרכובות אנרגטיות דומות

הגבלות בטיחות, כגון הגבלה של 100 מיליגרם על כמות התרכובת המותרת לסינתזה, נמסרו בעל פה על ידי שני החוקרים הראשיים

עם זאת, לא הייתה מערכת תיעוד רשמית כדי להבטיח שמידע כזה מועבר ביעילות לתלמידים ו / או שהתלמידים מבינים את המידע.

כתוצאה מכך, אף אחד מהסטודנטים שתוחקרו, כולל אלה שהיו מעורבים ישירות באירוע, לא הצהיר כי היה מודע למגבלה מחמירה של 100 מיליגרם. במקום זאת, סטודנטים ציינו בפני CSB שהם מאמינים שהם צריכים לעבוד עם "כמויות קטנות מאוד", בסדר גודל של 200 עד 300 מיליגרם

אירוע מעניין לניתוח

הסטודנטים שסינתזו את ה- NHP החליטו שהם יצטרכו להכין מספר אצוות כדי לאפיין אותו במלואו אך היו להם חששות לגבי יכולת השחזור בין האצוות. הם רצו לסנתז אצווה אחת של NHP שתספק מספיק חומר כדי להשלים את כל הנתונים; לכן, הם החליטו להרחיב את הסינתזה של NHP כדי לייצר עוד כ -10 מיליגרם. הסטודנטים של המחקר לא התייעצו לגבי ההחלטה להגדיל כמויות. לא היו קיימים מדיניות או נהלים כתובים ברמת המעבדה או המחלקה או האוניברסיטה אשר היה מחייב את התלמידים להתייעץ עם החוקרים לפני קבלת החלטה זו.
בהתבסס על ניסיון, שני סטודנטים גילו כי כמויות קטנות יותר של התרכובת לא יתלקחו או יתפוצצו בעת פגיעה כאשר הן רטובות ממים או מהקסאן. הם הניחו שהסיכונים של כמויות גדולות יותר של NHP יישלטו באופן דומה.

לאחר הסקייל-אפ, הסטודנט הבכיר יותר הבחין בגושים במוצר, והאמין שגודל חלקיקים אחיד של הדגימה חשוב. כתוצאה מכך, הוא העביר כמחצית מה- NHP המסונתז למכתש, הוסיף הקסאן, ולאחר מכן השתמש בעלי כדי לפרק בעדינות את הגושים. לא נערכה הערכת סיכונים רשמית כדי לנתח את יעילות השימוש במים או בהקסאן כדי להפחית את סיכוני הנפץ הפוטנציאליים הקשורים לכמות NHP שסונתז ביום האירוע.

בשלב זה, הסטודנט שעבד על הגושים הרכיב משקפי מגן, אך הסיר אותם והתרחק לאחר שסיים לשבור את הגושים. כמה אנשים מהמעבדה ציינו כי ההחלטה להרכיב משקפי מגן הייתה בחירה אישית שהתבססה על מידת הסכנה של פעילות.
הסטודנט הבכיר יותר שעבד עם NHP חזר לעמדה אך לא החליף חזרה למשקפי המגן שלו בזמן שהוא ערבב את ה- NHP "עוד פעם אחת".

בשלב זה התפוצץ המתחם.

כשלוש שנים לפני הפיצוץ, התרחשו שתי תקריות קודמות באותן קבוצות מחקר; עם זאת, כמה סטודנטים בקבוצות אלה ציינו כי לא היו מודעים לתקריות, יצוין כי אף שאיש לא נפגע באירועים הקודמים.

שיטות לניתוח אירוע – 5M

אדם

כשירות פיזית, כשירות מנטלית, כשירות מקצועית, הרשאה / הסמכה, לחץ (מתח/ פחד /פניקה), קיום הוראות / נהלים, תפעול / בצוע, התנהגות, ניסיון, שימוש בציוד מגן אישי

1. הסטודנט הצהיר כי השלים סקירת ספרות אבל היה ללא ניסיון ולכן מצופה ממנו לפעול ביתר זהירות
2. הסטודנט הסיר את משקפי מגן ועבד ללא ציוד מגן אישי נדרש
3. הסטודנטים הניחו שהסיכונים של כמויות גדולות יותר של NHP יישלטו באופן דומה כמו בכמויות קטנות
4. הסטודנט ראה גושים בתהליך, הבין שצריך לפורר לגרגרים בגודל אחיד אבל לא העריך את הסיכון הטמון

שיטות לניתוח אירוע – 5M

מכונה (ציוד)

כשירות / תקינות, אחזקה, התאמה
למשימה, מגבלות שימוש, מיגון

1. נדרש היה להסדיר מערכת תיעוד מסודרת והגדרות ברורות כחלק מציוד הניסוי
2. היה קיים חשש בדבר הדירות איכותית בייצור האצוות ולכן "הגדילו עוד קצת"
3. נדרשת הכשרה מתאימה על תפעול בטוח של מכונות

שיטות לניתוח אירוע – 5M

סביבה

אוסף גורמי מצב שאינם בשליטת האדם,
המהווים סיכונים ופוטנציאל לטעות/תאונה.
תשתית, תנאי מזג אוויר, מכשולים, גהות (רעש,
תאורה, אבק)

1. אין רלוונטיות לתנאי סביבה במקרה זה

שיטות לניתוח אירוע – 5M

משימה

איזו משימה ביצע העובד בעת התאונה, ואיזו היה צריך לבצע, תכנון מוקדם, תהליכים, גורמים מעורבים, לו"ז, אילוצים / גורמים משפיעים, אמצעים / משאבים

1. לא התקיימה הדרכה מקיפה להערכת סיכונים למעבדות מחקר

שיטות לניתוח אירוע – 5M

ניהול

קביעת אחריות, קביעת גבולות גזרה וממשקים, אישור תהליכים, תאום / סינכרון, הקצאת משאבים, תקשורת ודווח, התאמת כח אדם וציוד, פקוח, הכשרה והדרכה, קיום נהלים / הוראות עבודה, טפסים למילוי

1. הסיכונים הפיזיים של עבודת מחקר החומרים האנרגטיים לא הוערכו ונשלטו ביעילות בטקסס-טק
2. תוכנית ניהול בטיחות המעבדה עוצבה על פי תקן OSHA’s Occupational Exposure to Hazardous Chemicals in Laboratories Standard (29 CFR 1910.1450); עם זאת, התקן נוצר כדי לטפל בסיכונים בריאותיים כתוצאה מחשיפות כימיות גהותיות
3. האחריות והפיקוח של החוקרים הראשיים, המחלקה והנהלת האוניברסיטה לא היו מספיקים.
4. סטודנטים במעבדות האנרגטיות לא נדרשו לקבל אישור או לבקש מהחוקרים שלהם לפני שינוי משתני ניסוי המחקר, כולל קביעה סובייקטיבית עליות "קטנות" של חומר מסונתז ושינויי טמפרטורה.
5. מעורבות הפיקוח בטקסס טק עם פעילויות המחקר היומיומיות במעבדה הייתה תלויה במידה רבה במאמצי התלמידים לחפש את החוקרים לקבלת ייעוץ. מערכת זו הסתמכה על כך שהתלמידים העריכו נכונה מתי יש לחפש את החוקרים שהיו בעל ניסיון וידע רב יותר, להתייעצות.

שיטות לניתוח אירוע – 5M

ניהול

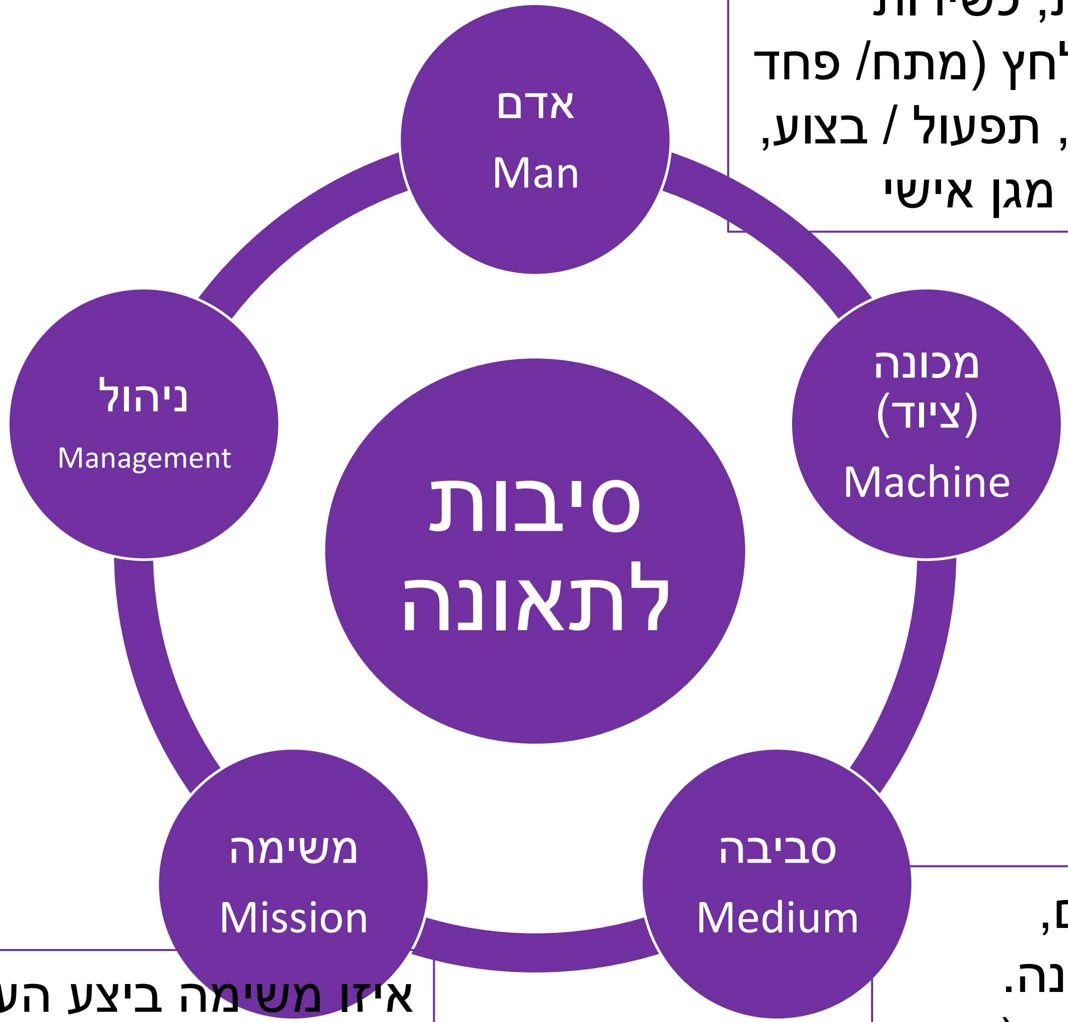
קביעת אחריות, קביעת גבולות גזרה וממשקים, אישור תהליכים, תאום / סינכרון, הקצאת משאבים, תקשורת ודווח, התאמת כח אדם וציוד, פקוח, הכשרה והדרכה, קיום נהלים / הוראות עבודה, טפסים למילוי

7. לפני התקרית נערכו מפגשים קבוצתיים שבועיים בין סטודנטים לחוקרים אך ההתמקדות הייתה בעיקר בתוצאות הניסוי, ולא בפעילויות מחקר בפועל ובהשלכות הבטיחותיות של העבודה. מחברות מעבדה, שימשו לעתים קרובות כאמצעי עיקרי לתיעוד תוכניות מחקר ופעילויות, אולם הם לא נבדקו באופן עקבי על ידי החוקרים והשתנו מאוד בין הסטודנטים; חלק מהתלמידים רשמו הערות רק על תגליות חדשות, בעוד שאחרים כללו גם פעילויות עבודה יומיומיות
8. לא הופקו לקחים מאירועים קודמים
9. ניהול בטיחות לקוי של הנהלת האוניברסיטה

שיטות לניתוח אירוע – 5M

כשירות פיזית, כשירות מנטלית, כשירות מקצועית, הרשאה / הסמכה, לחץ (מתח/ פחד /פניקה), קיום הוראות / נהלים, תפעול / בצוע, התנהגות, ניסיון, שימוש בציוד מגן אישי

קביעת אחריות, קביעת גבולות גזרה וממשקים, אישור תהליכים, תאום / סינכרון, הקצאת משאבים, תקשורת ודווח, התאמת כח אדם וציוד, פקוח, הכשרה והדרכה, קיום נהלים / הוראות עבודה, טפסים למילוי



כשירות / תקינות, אחזקה, התאמה למשימה, מגבלות שימוש, מיגון

אוסף גורמי מצב שאינם בשליטת האדם, המהווים סיכונים ופוטנציאל לטעות/תאונה.
תשתית, תנאי מזג אוויר, מכשולים, גהות (רעש, תאורה, אבק)

איזו משימה ביצע העובד בעת התאונה, ואיזו היה צריך לבצע, תכנון מוקדם, תהליכים, גורמים מעורבים, לו"ז, אילוצים / גורמים משפיעים, אמצעים / משאבים

סיכום עיקרי הדברים

1. פרוטוקולים כתובים והכשרה ספציפית למחקר במעבדה הם חיוניים לניהול יעיל של סיכוני מחקר במעבדה
2. מערכת דיווח על אירוע וכמעט תאונה חיונית לשינוי ושיפור הבטיחות
3. שימוש בציוד מגן אישי - קריטי

בטיחות בעת פעולות שגרה

בטיחות בעת פעולות שגרה

פעולות שגרה בהפעלת מתקן והסכנות הבטיחותיות

סכנות נפוצות:

- הצטברות חומרים מסוכנים.
- תקלות ציוד כמו שסתומים תקועים או קורוזיה במכלים.

נוהלי בטיחות:

- סריקות תקופתיות של הציוד.
- נהלי עבודה אחידים (SOP)
- הדרכות בטיחות מתמשכות לעובדים.

דוגמאות:

- **חברת Dow Chemical**: שימוש במערכות חישה לזיהוי דליפות מוקדמות.
- **ציוד מומלץ**: גלאי גז קבועים, מצלמות תרמיות לניטור חום חריג

Paris 2024 Olympics

PARIS 2024

המרכז הישראלי לבטיחות וגהות

היבטי בטיחות בתכנון הלפיד

1. **עיצוב לפיד**:

הלפיד מתוכנן להיות קל משקל וארגונומי. הוא עשוי מפלדה ממוחזרת ובעל צורה מלוטשת ומוארכת. החלק העליון, שבו הלהבה בוערת, נועד להגן על הלהבה מפני רוח וגשם.

2. **מחסנית מימן**:

בבסיס הלפיד נמצאת מחסנית נשלפת המכילה מימן דחוס. מחסנית זו מיועדת להחלפה קלה כאשר היא מתרוקנת.

3. **מערכת הצתה**:

הלפיד כולל מערכת הצתה מיוחדת המערבבת את המימן עם חמצן מהאוויר בכמויות מדויקות ליצירת להבה יציבה.

4. **הכדור הפורח**:

בניית מערכת הכדור פורח במגדל אייפל גדול ומורכב יותר. הוא מתוכנן לשמור על גובה ומראה להבה יציבים למרות תנאי מזג האוויר המשתנים.

מנגנוני בטיחות בתכנון הלפיד

1. שסתום שחרור לחץ:

כל מחסנית מימן מצוידת בשסתום שחרור לחץ כדי למנוע לחץ יתר, שעלול להוביל לקרע.

2. מכשיר לכשל בלהבה:

הפנס כולל חיישן שמזהה אם הלהבה כבה. אם זה קורה, הוא מכבה אוטומטית את זרימת המימן כדי למנוע הצטברות גז.

3. שעוני טמפרטורה:

חיישנים מנטרים את טמפרטורת הפנס והמחסנית. אם הטמפרטורות חורגות מהרמות הבטוחות, המערכת יכולה להיכבות באופן אוטומטי.

4. כיבוי אוטומטי:

אם הלפיד מוטה מעבר לזווית מסוימת או נופל, הוא יכבה אוטומטית את הלהבה ויפסיק את זרימת המימן.

המרכז הישראלי לבטיחות וגהות

מנגנוני בטיחות בתכנון הלפיד

5. בלימה בעלת דופן כפולה:

למחסנית המימן יש עיצוב בעל דופן כפולה להגנה נוספת מפני דליפות או נזקים.

6. מנגנון שחרור מהיר:

קיים מנגנון המאפשר לנתק את המחסנית במהירות ובבטחה מהפנס במקרה חירום.

7. מערכת כיבוי אש:

הקדירה הראשית מצוידת במערכת כיבוי אש מובנית כאמצעי בטיחות נוסף.

8. ניטור מרחוק:

הן הלפידים והן ההכדור הפורח מצוידים במערכות המאפשרות מעקב וניטור בזמן אמת אחר מצבם, כולל רמות דלק וכל בעיה אפשרית.

בולם להבה

בולם להבה - התקן המאפשר מעבר חופשי של גז או תערובת גזים אך מונע מעבר להבה החוצה.

הבולם בנוי ממעברים קטנים המאפשרים יציאה/כניסת תערובת גז חופשית בעוד שהלהבה חייבת לעבור דרכם.

תערובת הגז היוצאת מקוררת מספיק כדי למנוע הצתה בצד המוגן ומונעת את יציאת הלהבה החוצה.

גודל המעברים תלוי בהרכב ודליקות תערובת הגז.

בולם להבה

השימוש המפורסם בהתקן המבוסס על בולם להבה פותח לראשונה על ידי המפרי דֵייוִוי כימאי אנגלי (Davy ב-1815).

דייווי פיתח מנורה להגנה על כורי הפחם מפני התלקחות של גז מתאן נפיץ ומתריעה בפני סכנה.

המנורה של דיווי הייתה מוקפת ברשת ברזל צפופה בה החורים גדולים מספיק כדי לאפשר אספקה של אוויר וכמובן מאפשרים גם לאור להתפזר סביב, אך הם קטנים מספיק בכדי למנוע מהלהבה להתפשט מחוץ לרשת.

בולם להבה

המנורה שפיתח הפכה נפוצה מאוד במכרות, והצילה את חייהם של כורים רבים.

בזכות התכנון שלה, הלהבה במנורה לא יכלה להתפשט מחוץ לרשת, אך גדילתה הפתאומית שימשה מעין מנגנון התרעה על נוכחות של גז דליק.

כמו כן, בגלל הרשת הלהבה הייתה רגישה יותר לירידה בריכוז החמצן באוויר, לכן המנורה גם שימשה גלאי יעיל לנוכחות גז חנק כמו פחמן דו חמצני עוד בטרם ריכוז החמצן ירד לרמה קטלנית

בטיחות בעת הפסקת תהליך מתוכננת

<u>בטיחות בעת הפסקת תהליך מתוכננת</u>

3. הפסקת תהליך מתוכננת וההיבטים הבטיחותיים

תהליך:

- הקטנת העומס ההדרגתית על המתקן.
- שטיפת הצנרת למניעת שאריות חומרים מסוכנים.
- ניטור תנאים סופיים (כגון אפס לחץ).

דוגמאות:

- **תעשיית הפולימרים**: כיבוי מתקן ייצור פוליפרופילן לאחר ריקון וסינון חומרים מסוכנים.
- **ציוד מומלץ**: מערכת שטיפת צנרת (CIP)

<u>בטיחות בעת הפסקת תהליך מתוכננת</u>

פיצוץ במפעל הכימיקלים בבופאל, הודו (1984):

ב-3 בדצמבר 1984, יותר מ-40 טונות של גז מתיל איזוציאנאט דלפו ממפעל חומרי הדברה בבהופאל, הודו, הרג מיידית לפחות 3,800 אנשים וגרם לתחלואה משמעותית ומוות מוקדם לאלפים רבים נוספים.

האירוע ארע במהלך פעולות תחזוקה והפסקת תהליך מתוכננת במפעל של חברת יוניון קרבייד.

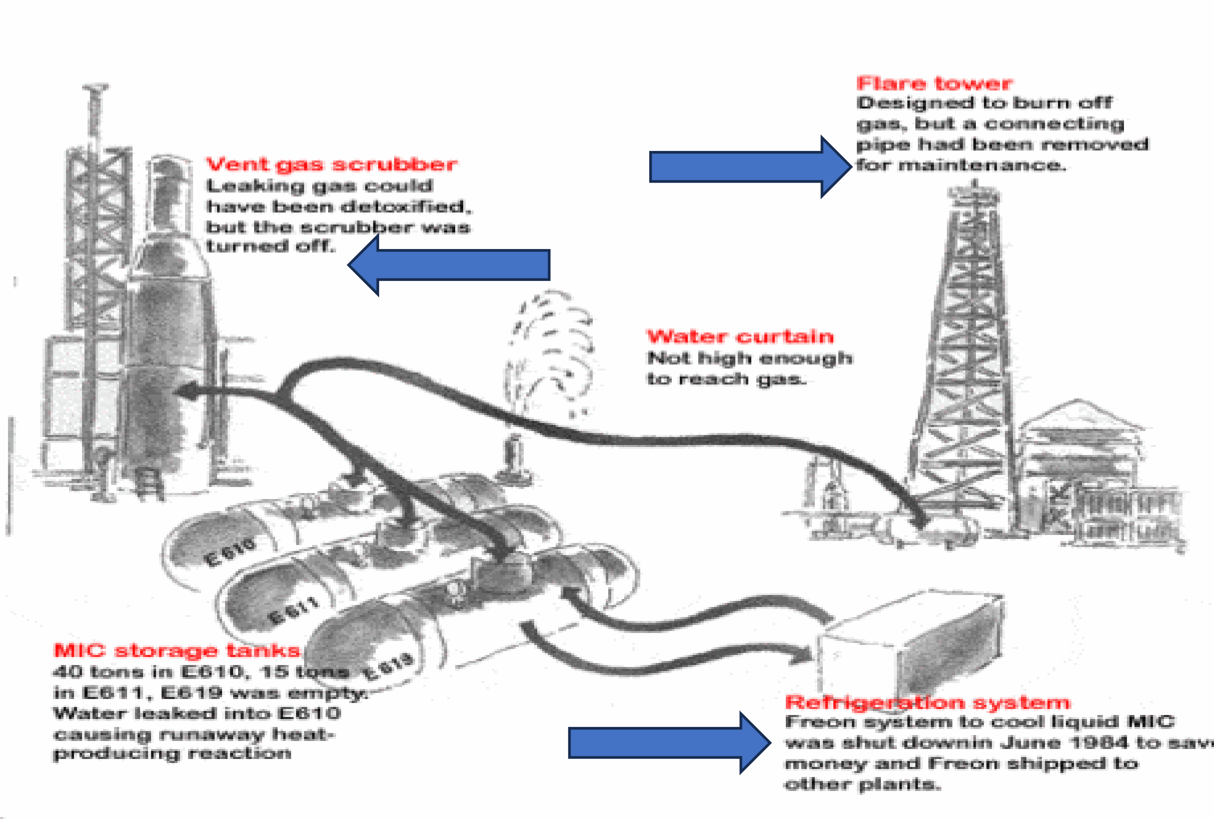
בטיחות בעת הפסקת תהליך מתוכננת

יוניון קרביד בנתה בבופאל את מפעל ההדברה בשנות ה-70 מתוך מחשבה שהודו מייצגת שוק ענק לא מנוצל למוצרי ההדברה שלה. אולם המכירות מעולם לא עמדו בציפיות החברה; לחקלאים הודים, שנאבקו להתמודד עם בצורת ושיטפונות, לא היה כסף לקנות את חומרי ההדברה של יוניון קרביד.

המפעל, שמעולם לא הגיע למלוא יכולתו, התגלה כמיזם מפסיד והפסיק את הייצור הפעיל בתחילת שנות ה-80.

בטיחות בעת הפסקת תהליך מתוכננת

עם זאת, נותרו כמויות אדירות של כימיקלים מסוכנים; שלושה מכלים המשיכו להחזיק למעלה מ-60 טון של מתיל איזוציאנט. למרות ש- MIC הוא גז קטלני במיוחד וריאקטיבי לתגובה עם מים, מערכות הבטיחות של מפעל יוניון קרביד התקלקלו ולא תוקנו.
נראה היה שהנימוק של ההנהלה היה שמאחר שהמפעל הפסיק את כל הייצור, לא נותר סיכון.



<u>בטיחות בעת הפסקת תהליך מתוכננת</u>

למה זה קרה:

- **תחזוקה לקויה:** מערכת הקירור שהייתה קריטית לייצוב MIC הושבתה כדי לחסוך בעלויות.

- **שסתומים דולפים:** מים חדרו למיכל MIC מה שגרם לתגובה כימית אקסותרמית (שחרור חום).

- **מערכות בטיחות לא מתפקדות:** מגדל הלפיד וכמה מערכות ניטרול גזים (סקראבר) לא היו בשימוש תקין.

- **ניהול לקוי:** תרבות ארגונית של התעלמות מסיכונים ושמירה רשלנית על בטיחות.

בטיחות בעת הפסקת תהליך בחרום

בטיחות בעת הפסקת תהליך בחרום

הפסקת תהליך בחירום וההיבטים הבטיחותיים

מקרים נפוצים:

- שריפה במתקן.
- תגובות לא מבוקרות.

עקרונות:

- שימוש במערכות עצירת חירום (Emergency Shutdown - ESD).
- פינוי העובדים בהתאם לנהלי חירום.

דוגמאות:

- **חברת DuPont:** תקרית בייצור טפלון שבה הפעלה מהירה של ESD מנעה אסון.
- **ציוד מומלץ**: מערכות כיבוי אוטומטיות, שסתומי חירום

"מה שעובד בתנאי מעבדה לא בהכרח יעבוד בשטח..."

מה מצאתם ?

"מה שעובד בתנאי מעבדה לא בהכרח יעבוד בשטח..."

באירוע קשה שהתרחש בכביש מהיר בין לונבאלה לקאדאלה, מומבאי (הודו) ב-13.06.23, התלקחה מכלית שהובילה מתנול במהלך תאונת דרכים.
כתוצאה מהתאונה, נוזל דליק בוער זרם וטפטף על התנועה מתחת לגשר.
תוצאות האסון: 4 הרוגים, 3 פצועים קשה.

שריפת מתנול

במעבדה: אמור לייצר להבה כחולה בהירה כמעט בלתי נראית באור יום בתנאי מעבדה.

בשטח: כאשר החומר דולף לתנאי השטח ומתלקח (לדוגמא, בכביש המכיל זיהומים כגון: שמנים/דלקים אחרים, פיח ועוד), הוא מייצר בעירה שאינה טהורה ואינה מושלמת.

שריפת המתנול והיכולת לראות את הבעירה "הבלתי נראית לכאורה" רומזת לנו שהמציאות בשטח פועלת באופן שונה לעומת תנאי המעבדה.

"מה שעובד בתנאי מעבדה לא בהכרח יעבוד בשטח..."

דליפת אמוניה

במעבדה: גז ללא צבע בתנאי מעבדה.

בשטח: כאשר היא משתחררת בלחץ לתנאי הסביבה, היא מתפשטת, מתקררת, וגורמת ללחות האוויר סביבה להתעבות ולייצר טיפות זעירות של מים (ענן). הענן המיוצר מהווה סממן לנוכחות אמוניה בעת הדליפה

"מה שעובד בתנאי מעבדה לא בהכרח יעבוד בשטח..."

<u>דליפת גז טבעי</u>

<u>במעבדה</u>: חומר קל מן האוויר (צפיפות אדים נמוכה מ-1).

<u>בשטח</u>: בעת דליפה של גט"ד (גז טבעי דחוס):
הוא מתפשט ומתקרר ושוקע כלפי הקרקע ⬇ ואינו עולה מיידית לאוויר.
לאחר חימומו, הוא יעלה כלפי מעלה ⬆ ויתנהג בהתאם לצפיפות האדים שלו

"מה שעובד בתנאי מעבדה לא בהכרח יעבוד בשטח..."

<u>בעירת מימן</u>

<u>במעבדה</u>: גז חסר צבע ובעירה צפויה להתגלות אך ורק עם מצלמה תרמית

<u>בשטח</u>: בוער כמעט נקי ומצליח "להתלכלך" עד כדי להבה צהובה מדי פעם

בטיחות בעת הכנת מתקנים לתחזוקה ,פירוק מתקנים

<u>בטיחות בעת הכנת מתקנים לתחזוקה, פירוק מתקנים</u>

בטיחות בעת הכנת מתקנים כימיים לתחזוקה

פעולות קריטיות:

- נטרול שאריות חומרים פעילים.
- וידוא אטמוספרה בטוחה במתקן (חמצן, גזים דליקים).
- הקצאת ציוד מגן אישי מותאם (PPE)

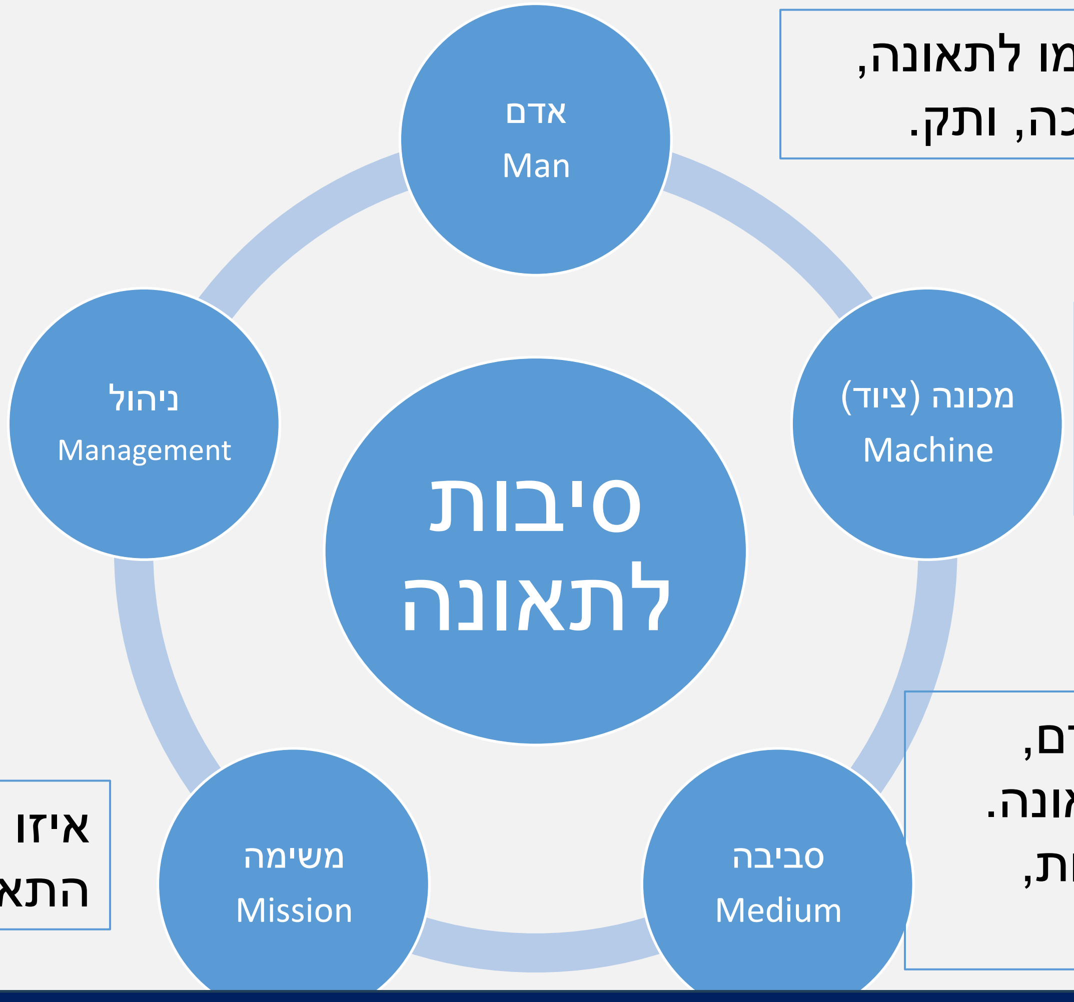
דוגמאות:

- **חברת Shell**: פירוק יחידת זיקוק לאחר שטיפה מלאה של צנרת.
- **ציוד מומלץ**: מערכות חישת גז ניידות, מסננים נשימתיים מתקדמים

אירוע פיצוץ בבית זיקוק

- **זמן התרחשות התאונה:** 22/11/2016.
- **מיקום:** לואיזיאנה, בארצות הברית.
- **חברה:** ExxonMobil
- **האירוע:** בזמן תפעול ואחזקת ברז שלא נפתח על צנרת שהכילה גז דליק (איזובוטן) בבית זיקוק, פרץ גז דליק שהתפוצץ כשפגש מקור הצתה.
- **מעורבים בתאונה:** 2 עובדי תפעול.
- **תוצאות הפיצוץ:** 4 פצועים קשה.

שיטת 5M לניתוח תאונות



פרוט פעולות שהאדם ביצע שגרמו לתאונה, כולל שמות, ציוד מגן אישי, הסמכה, ותק.

פרוט מכונות או חלקי מכונה שהיו מעורבות בתאונה, האם המכונה נבדקה, פורק או היה חסר מיגון.

אוסף גורמי מצב שאינם בשליטת האדם, המהווים סיכונים ופוטנציאל לטעות/תאונה. לדוגמא: ארגונומיה, סדר וניקיון, צפיפות, מפגעים וסיכונים.

איזו משימה ביצע העובד בעת התאונה, ואיזו היה צריך לבצע.

האם ישנם נהלים, הוראות עבודה, הדרכה, טפסים למילוי, עבודה בניגוד לנהלים.

ניתוח לפי שיטת 5M

אדם

- העובדים לא ידעו כי הברגים שמחזיקים את המכסה העליון למעשה מאבטחים את הלחץ הכלוא בצנרת והסרת הברזים + פתיחת ברז ישחררו לאטמוספירה גז דליק

ניתוח לפי שיטת 5M

מכונה (ציוד)

הברז והחלקים שהיו מעורבים:

- 3% מכלל הברזים היו דגם ישן אשר בו הברגים מאבטחים את המכסה העליון ומונעים מלחץ גז להשתחרר לאטמוספירה

ניתוח לפי שיטת 5M

משימה

- תרגולת העובדים למקרה שברז אינו נפתח היה להסיר גיר ולפתוח ידני. לא הוגדרו אמצעי מיגון למקרה של תקלה. לדוגמא: ניתן היה לבצע את העבודה עם מסיכה או מנ"פ כך שבמקרה ופורץ גז, העובד יכול להישאר בעמדה ולסגור חזרה את הברז

- לא בוצעה הערכת סיכונים למשימה

ניתוח לפי שיטת 5M

ניהול

- לא היו הוראות עבודה או נהלים על אופן תפעול מקרים ותגובות
- בית הזיקוק החליף את רוב הברזים אבל תהליך העבודה או המנגנון לא הבטיח מצב בו מתייחסים אחרת לברזים ישנים בעלי סיכון גבוה.
- מנהלים לא הדריכו עובדים על סוג הברז והמשמעות בהסרת ברגים

ניתוח לפי שיטת 5M

סביבה

- ייתכן והיה יום קר מאוד והעובדים רק רצו לסיים מהר את העבודה ולא הביאו ציוד מגן אישי

סיכום

1. מניעה כבסיס לבטיחות: כל שלב בתהליך חייב לכלול תכנון מקדים לזיהוי ונטרול סיכונים.
2. ציוד מתאים: בחירת מערכות חישה ובקרה מתקדמות.
3. הדרכה שוטפת: שיפור הידע והמודעות של הצוות לאורך זמן.

נספחים:

- רשימת ספקי ציוד בטיחות מובילים.
- דוגמאות נהלים (SOPs)
- רשימת חומרים עם סיכונים ייחודיים ותנאי טיפול מומלצים