

שינוע קרוסין בצנרת ארוכה ובמהירות גדולה - ללא סיכון חשמל סטטי

איל צדוק

מהנדס מומחה לבקרת חשמל סטטי

מנתח סיכונים של אוירה דליקה וציוד חשמלי

ת.ד. 108, הילה 24953, טל: 04-9572126, פקס: 04-9974585,

eyalzac@netvision.net.il

כל הזכויות שמורות

שינוע קרוסין בצנרת ארוכה ובמהירות גדולה - ללא סיכון חשמל סטטי

- הרצאה זו תציג תכנון שבו ניטרול הסיכון של חשמל סטטי, מהווה בסיס לתכנון ההנדסי של צנרת ארוכה לשינוע של קרוסין במפעל להפקת נחושת בקונגו, אפריקה.
- הרעיון המרכזי - טכניקה לניטרול סיכון ההצתה מחשמל סטטי בצנרת, מאפשרת תכנון הנדסי חסכוני של הצנרת והתהליך.
- החיסכון בתכנון כולל: הקטנה של 50% בקוטר הצנרת, הקטנת כמות הקרוסין בתהליך, הגדלת מהירות הזרימה, הקטנת התמיכות בצנרת, משאבות/אוגנים/מגופים בקוטר קטן, הגדלת התפוקה המקורית.
- התכנון, היצור, ההתקנה, השימוש, התחזוקה - נוחים וזולים יותר.
- החיסכון הכספי במערך הצנרת מתבטא בסכום של 3.5 מיליון דולר.

היסטוריה של שריפות בתעשיית מיצוי המתכות

במהלך השנים 1999 – 2001 התרחשו 4 שריפות במספר
מפעלי ענק בעולם, שעסקו בהפקה של מתכות מתוך עפרות
במכרות פתוחים:
1 באריזונה, ארה"ב
2 במערב אוסטרליה
1 במקסיקו

הנזק המצטבר נאמד בסכום מעל מיליארד דולר.

החומרים העיקריים בתהליך מיצוי

- המפעלים למיצוי עפרות מתכת משתמשים בתהליך כימי שבו חומר מיצוי אורגני "Extractant" מעורבב ומוזרם יחד עם חומר נושא "Carrier".
- סוג חומר המיצוי משתנה בהתאם לסוג המתכת המופקת.
- החומר הנושא הוא לרוב סוג של קרוסין.
- הריכוז של חומר המיצוי בתערובת עם החומר הנושא נמצא בתחום של 20-40%.

הבנה לקוויה של הסיכונים הובילה לתפיסת תכנון שגויה

 נקודת ההבזקה של קרוסין הינה כ- 70°C , ולכן השתרשה ההבנה שלא צפויה אוירה דליקה בשימוש בקרוסין בתנאי טמפרטורת הסביבה הצפויה במפעלים $50^{\circ}\text{C} - 10$.

 באין אוירה דליקה, ניתן לתכנן את מערך היצור ללא חשש מפני גורמי הצתה תהליכיים ובכללם חשמל סטטי.

 כל זאת, למרות שקרוסין ידוע כנוזל שיוצר וצובר מטען חשמלי גדול במיוחד ומוליכותו החשמלית קטנה מאוד.

ההתנהגות המפתיעה של קרוסין

❖ חקירת השריפות המפעלי הענק הובילה לביצוע מחקר מעמיק של התנהגות הקרוסין בתהליכי הזרמה וערבוב.

❖ במחקר זה התגלה שקרוסין מייצר תרחיף של בועות זעירות על פני הנוזל, ועובי התרחיף עשוי להגיע ל-5 cm.

❖ בניסוי מעבדתי שנערך באוניברסיטת סאות'המפטון (UK) יצרו פריקת חשמל סטטי סמוך לתרחיף קרוסין וגרמו להתלקחות הקרוסין. **הניסוי**, שדימה את תנאי הטיפעול שקיימים במפעלים של מיצוי מתכות, **הוכיח את הקשר בין קרוסין לנוזל דליק לבין חשמל סטטי כגורם הצתה.**

המסקנות ואופן יישומן במפעלי הפקת המתכות בעולם

- 👉 תופעת החשמל הסטטי הוכרה כסיכון עיקרי במפעלי מיצוי.
- 👉 הקטנת סיכון ההצתה תלויה במהירות הזרימה של הקרוסין.
- 👉 מניעת הצתה מחייבת מהירות זרימה מרבית עד 1 m/s .
- 👉 בכדי להזרים קרוסין בספיקה של $1600 \text{ m}^3/\text{h}$ יש להשתמש בצנרת בעלת קוטר של כ- 900 mm .
- 👉 בכדי להימנע מקורוזיה ולשמר רציפות חשמלית, הצנרת חייבת להיבנות מנירוסטה כולל כל האביזרים המורכבים בה.
- 👉 בכדי לאפשר ספיקה כנ"ל יש צורך ב- 10^5 ton קרוסין.
- 👉 צנרת בעלת תכולה כזו מהווה מערכת כבדה מאוד, המחייבת תמיכות מכניות רבות למנוע שקיעה של הצנרת הארוכה.

המשמעות הכלכלית של המסקנות

- ✧ מרחקי הפרדה גדולים בין חלקי המפעל למניעת מעבר אש.
- ✧ בנית צנרת ארוכה (מאות מטרים ויותר) ובקוטר גדול, בין מערך האיחסון לבין מערך היצור, ובתוך מערך היצור.
- ✧ שימוש במשאבות גדולות מאוד, שמעט מאוד יצרנים בעולם מסוגלים לייצר ולתחזק.
- ✧ בנית מערך איחסון גדול של מכלי ענק עבור הקרוסין.
- ✧ רכישת כמות עצומה של חומרי גלם לתהליך היצור, קיום מלאי גדול ואיחסונו באופן שיהיה זמין ליצור.

שילוב ניתוח סיכוני חשמל סטטי בתכנון ההנדסי של חברת בייטמן

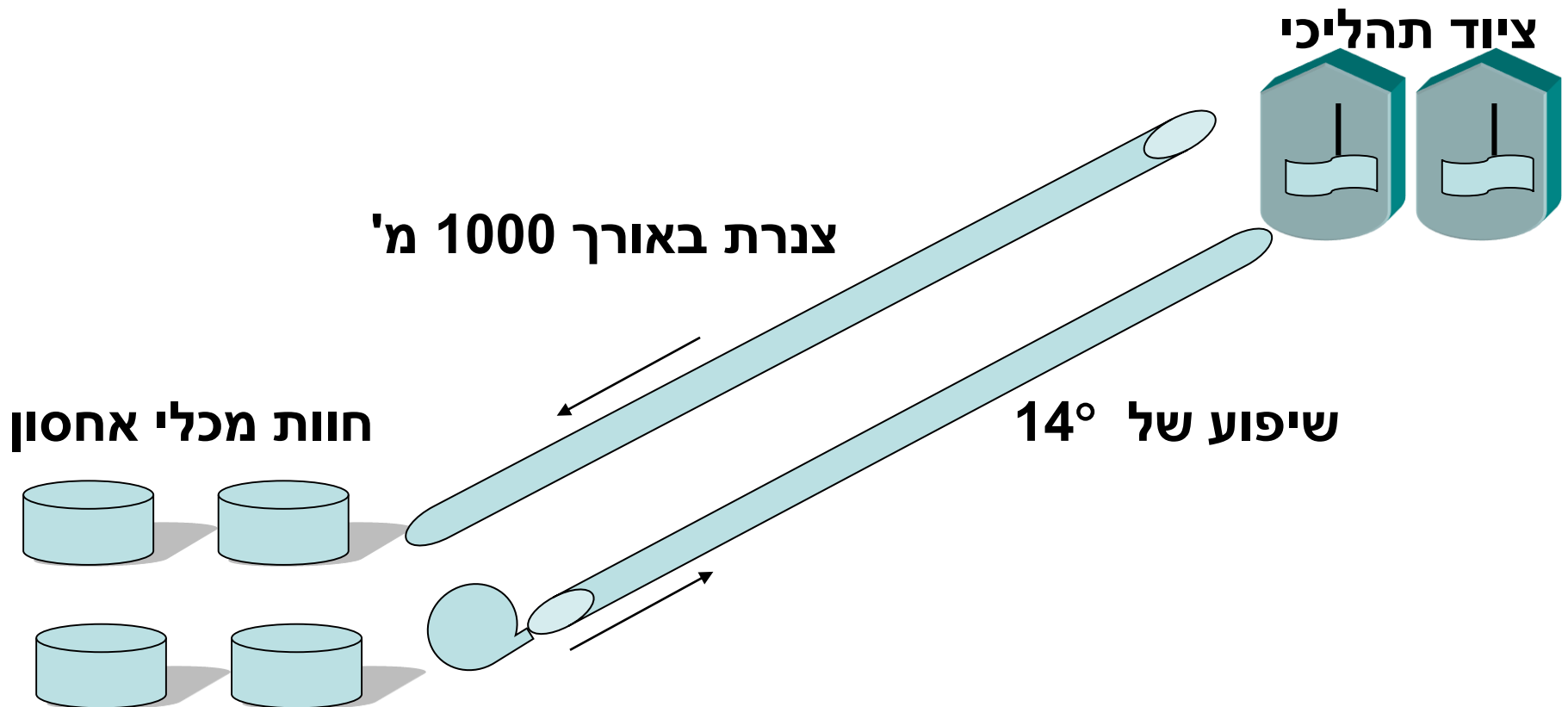
⌘ המטרה: שינוע תערובת קרוסין וחומר מיצוי בספיקה של כ- $1600 \text{ m}^3/\text{h}$ ללא סיכון הצתת חשמל סטטי.

⌘ אופן השילוב: הפקת מידע כמותי מניתוח הסיכונים ושימוש במידע זה כבסיס לתכנון ההנדסי של הצנרת ושל ציוד היצור.

⌘ המטלה העיקרית: הגדלת מהירות הזרימה בצנרת ומציאת פתרון למטען החשמלי שיצטבר בנוזל שבצנרת.

שילוב ניתוח סיכוני חשמל סטטי בתכנון ההנדסי של חברת בייטמן

סכימה של מערך ההזרמה של תערובת הקרוסין



שיקולים טכניים לצורך הגדלת מהירות הזרימה בצנרת

הזרמה באופן שהצנרת תהיה מלאה, בכדי למנוע היווצרות של תערובת דליקה בחללי אויר בצנרת.

התקנת מגוף מיוחד בקצה הצנרת בכיוון הזרימה, עם מערכת בקרה לצורך פיקוח על הזרמה בצנרת מלאה.

החלטה על מרכיבי הפתרון לניטרול המטען החשמלי שיצטבר בנוזל, בכניסות של הצנרת אל הציוד התהליכי.

מרכיבי הפתרון לניטרול המטען החשמלי בנוזל שבצנרת

בדיקת סיכון ההצתה בתוך מכל אחסון - ניתוח האפשרות לקיום פריקה מציתה מפני הנוזל אל אביזר בתוך המכל.

תכנון "מקטע הרגעה" בקצה הצנרת בכניסה אל המיקסר - הקטנת מהירות הזרימה.

פיזור המטען החשמלי השאריתי, כאשר הנוזל נע בתוך הציוד התהליכי - פזה רציפה מוליכה בתוך מיקסר.

קביעת הפרמטרים הנחוצים לקיום ניטרול המטען החשמלי בפזה רציפה.

גורמים המשפיעים על פיזור המטען החשמלי בנוזל בתוך המכל

- **המוליכות החשמלית של הנוזל**
- **הטמפרטורה של הנוזל**
- **מהירות הזרימה בצנרת הכניסה**
- **כמות הנוזל במכל עד למיקום נקודת הפריקה המסוכנת**
- **זמן מילוי המכל עד לגובה הנקודה הנ"ל**

גורמים המשפיעים על התכנון של "מקטע הרגעה"

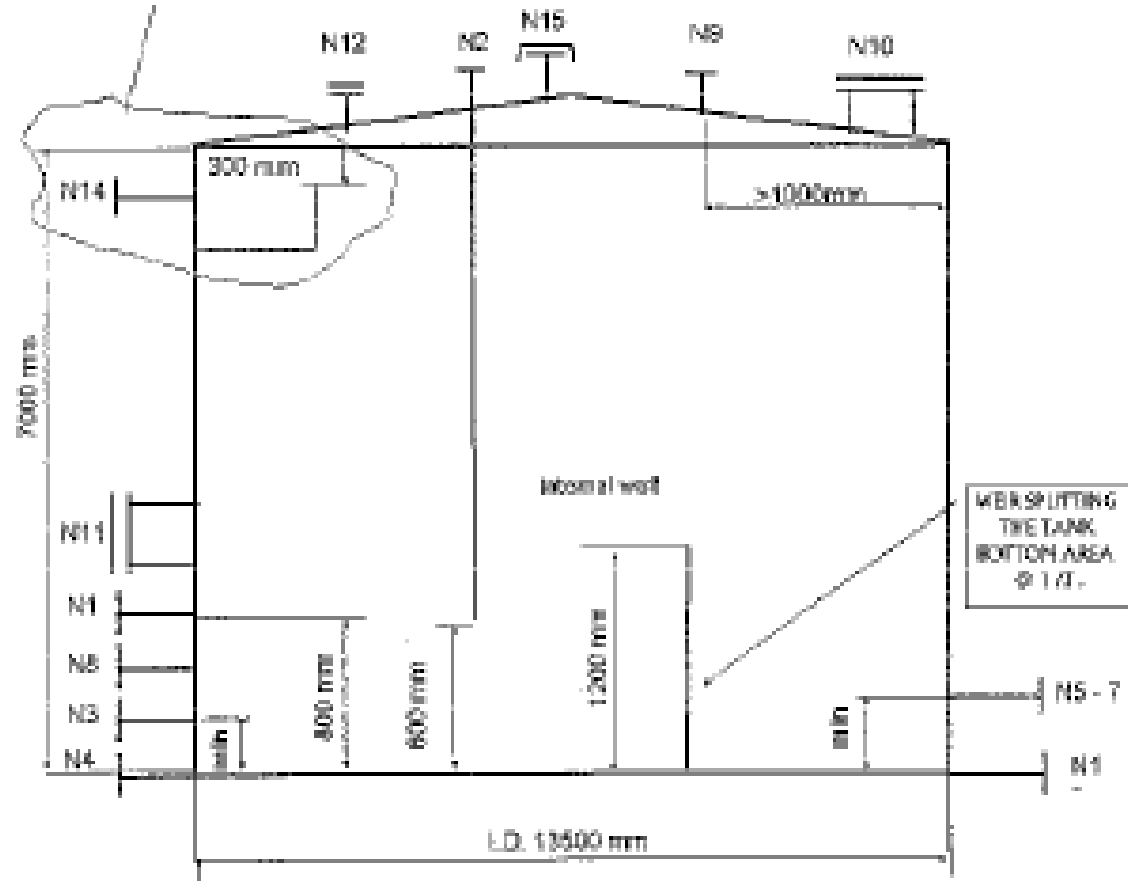
- המוליכות החשמלית של הנוזל
- זמן ההרגעה הנחוץ לנוזל
- המרחב הפיסי הפנוי במתקן
- אופן התחברות הצנרת אל הציוד התהליכי
- המטען החשמלי השאריתי האפשרי בנוזל

גורמים המשפיעים על פיזור המטען החשמלי בנוזל בתוך המיקסר

- **המוליכות החשמלית של הפזה הרציפה בתערובת**
- **הטמפרטורה של התערובת**
- **תחום המוליכות החשמלית שמגביר היווצרות מטען חשמלי**
- **אופן הזרימה והחיכוך בתוך המיקסר**
- **זמן השהייה של התערובת בתוך המיקסר**
- **אפשרות של הפרדת פזות בחלק העליון של המיקסר עקב "נפילת" המהירות בתוך המיקסר**

סיכון ההצתה בתוך מכל – חישובים של המטען והפוטנציאל חשמלי

סכימה של מבנה המכל



סיכון ההצתה בתוך מכל – חישובים של המטען והפוטנציאל חשמלי

ניתוח התנהגות המכל ותכולתו

Liquid volume up to D.P. end, calculated for $h = 600$ mm :

$$C_{600} = \frac{\pi \cdot 13.5^2}{4} \cdot 0.6 = 85.883 m^3$$

Filling time of volume C_{600} according to gravitational flow of $v = 0.854$ m/s:

$$t_{600} = \frac{C_{600}}{v \frac{\pi \cdot d^2}{4}} = \frac{85.883}{0.854 \frac{\pi \cdot 0.8^2}{4}} = 200.069 \text{ sec}$$

סיכון ההצתה בתוך מכל – חישובים של המטען והפוטנציאל חשמלי

ניתוח התנהגות המכל ותכולתו

Liquid height for maximum planned volume is:

$h_{MAX} = 7000 - 300 = 6700$ mm, according to upper point of over flow weir. Since N14 diameter is 150 mm and assuming weir thickness is 10 mm, the height of over flow weir above tank bottom is: $h_{OF} = 6700 - (150 + 10) = 6540$ mm.

$$C_{OF} = \frac{\pi \cdot 13.5^2}{4} \cdot 6.540 = 936.128 m^3$$

Tank volume for h_{OF} is:

$$t_{OF} = \frac{936.128}{0.854 \frac{\pi \cdot 0.8^2}{4}} = 2180.76 \text{ sec}$$

Filling time for C_{OF} is:

סיכון ההצתה בתוך מכל – חישובים של המטען והפוטנציאל חשמלי

ניתוח התנהגות תערובת הקרוסין

Liquid type: loaded organic;

Electrical conductivity: 1) 80 ~ 200 pS/m [2] , 2) 67 pS/m [3] ;

Dielectric constant: $\epsilon_r \sim 2$ (assumption according to hydrocarbons);

Linear velocity in pipeline #4214: 0.854 (gravity).

Relaxation time constant τ of the liquid assumed as:

$$\tau = \frac{\epsilon_0 \epsilon_r}{\gamma} = \frac{8.85 \cdot 10^{-12} \cdot 2}{67 \cdot 10^{-12}} = 0.264 \text{ sec}$$

Since there are no accurately tested values for electrical conductivity and dielectric constant of the loaded organic liquid, the relaxation time constant τ of the liquid is taken as $\tau = 1 \text{ sec}$.

סיכון ההצתה בתוך מכל – חישובים של המטען והפוטנציאל חשמלי

The following analysis is based on reasonable situation in which charge dissipation occurs in the tank, during tank filling, and charge density decreases with time due to charge dissipation and increase in liquid volume, (4) .

Charge density subsequent tank filling to level of 600 mm above tank bottom, ρ_t , is calculated according to t_{600} and the charge density ρ_p generated in filling pipe #4214:

$$I = 3.75 \cdot 10^{-6} \cdot 0.854^2 \cdot 0.8^2 = 1.750 \cdot 10^{-6} \text{ A}$$

$$\rho_p = \frac{I \cdot t_{600}}{c_{600}} = \frac{1.75 \cdot 10^{-6} \cdot 200.069}{85.883} = 4.077 \cdot 10^{-6} \text{ c/m}^3$$

$$\rho_t = \rho_p \frac{\tau}{t_{600}} \left(1 - e^{-\frac{t_{600}}{\tau}} \right) = 4.077 \cdot 10^{-6} \frac{1}{200.069} \left(1 - e^{-\frac{-200.069}{1}} \right) = 0.02037 \cdot 10^{-6} \text{ c/m}^3$$

סיכון ההצתה בתוך מכל – חישובים של המטען והפוטנציאל חשמלי

The maximum surface potential of the liquid in the tank just after filling flow is ceased, is [5]:

$$\phi_{SURF} = 5.31\rho_t = 5.31 \cdot 0.02037 = 0.1082 \text{ kV}$$

The calculated surface potential is very small in comparison to the recommended threshold of 25 Kv.

Conclusions:

- 1) In the existing plant conditions no ignition will occur towards D.P. end.
- 2) There is attainability for decreasing pipe diameter.

סיכון ההצתה בתוך מכל – חישובים של המטען והפוטנציאל חשמלי

חישוב של מהירות ההזרמה המרבית בצנרת

Maximum surface potential permitted on the liquid in the tank is: $\phi_{\max} = 25 \text{ kV}$, thus the maximum permitted charge density in the liquid in the tank is:

$$\rho_{\max} = \frac{25}{5.31} = 4.708 \cdot 10^{-6} \text{ C/m}^3$$

Corresponding calculated charge density in the filling pipe is:

$$\rho_{p_{\max}} = \frac{\rho_{t_{\max}} \cdot t_{600}}{\tau} = \frac{4.708 \cdot 10^{-6} \cdot 200.069}{1} = 941.944 \cdot 10^{-6} \text{ C/m}^3$$

The corresponding charging current in the pipeline is:

$$I_{\max} = \frac{\rho_{p_{\max}} \cdot c_{600}}{t_{600}} = \frac{941.944 \cdot 10^{-6} \cdot 85.883}{200.069} = 404.345 \cdot 10^{-6} \text{ A}$$

סיכון ההצתה בתוך מכל – חישובים של המטען והפוטנציאל חשמלי

חישוב של מהירות ההזרמה המרבית בצנרת

Thus: $vd = \sqrt{\frac{404.345 \cdot 10^{-6}}{3.75 \cdot 10^{-6}}} = 10.38$

The maximum theoretical safe velocity for 0.8 m pipe diameter is:

$$v = \frac{10.38}{0.8} = 12.975_{m/s}$$

According to maximum safe recommended value [6] the linear velocity should be ≤ 7 m/s.

סיכון ההצתה בתוך מכל – חישובים של המטען והפוטנציאל חשמלי

חישוב אופטימלי של קוטר הצנרת המותאם למהירות המרבית

For the planned flow rate of 1558 m³/h and reasonable linear velocity of 3 m/s, the calculated pipe diameter is:

$$d_{v=3} = \sqrt{\frac{1558 \cdot 4}{3600 \cdot 3 \cdot \pi}} = 0.4285 \approx 0.50 \text{ m}$$