

**הצתת חשמל סטטי בצנרת שיחרור מימן
התופעה, ניתוח מקרה, ופתרון מונע**

איל צדוק

מהנדס מומחה לבקרת חשמל סטטי

מנתח סיכונים של אוירה דליקה וציוד חשמלי

ת.ד. 108, הילה 2495300, טל: 052-3694633

eyalzadok100@gmail.com

כל הזכויות שמורות

הצתת חשמל סטטי בצנרת שיחרור מימן

- התלקחות ופיצוץ אוירה של מימן עלולים לגרום לפגיעות קשות בנפש וברכוש, הן במתקני המפעל והן בסביבה שמחוץ למפעל.
- במצגת זו מודגמים תוצאות הפיצוצים שהתרחשו במפעל אמריקאי ובמפעל סיני, וחקירת הגורם לפיצוץ במפעל הסיני.
- בנוסף, מובאות מספר גישות למיזעור האפשרות להצתת חשמל סטטי בצנרת שיחרור מימן לאויר החופשי.

פיצוץ במפעל אמריקאי בצנרת להובלת מימן

8 בינואר 2007, התפוצצות בצנרת להובלת מימן בתחנת כוח באוהיו, עקב כשל של אביזר לשיחרור לחץ והיווצרות עננת מימן בחלל המתקן, גרמה להרג של עובד, 10 פצועים ולהרס רב במתקני המפעל.



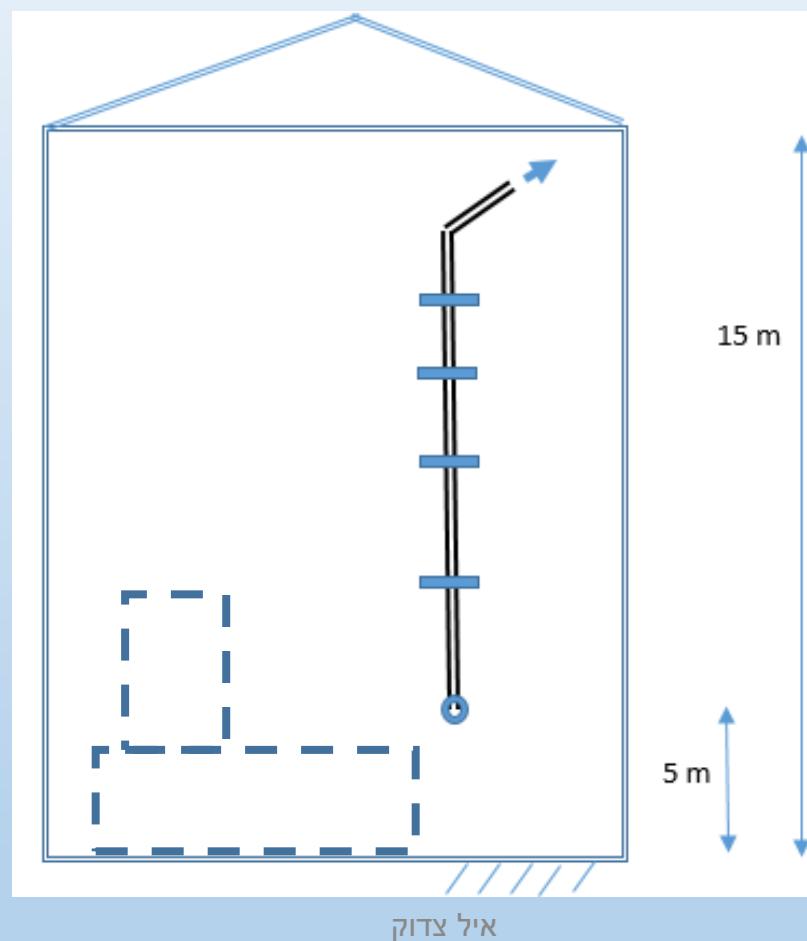
Muskingum River Power Plant explosion

פיצוץ במפעל סיני בצנרת המיועדת לשיחרור מימן

- ביום 5 לינואר 2012 התרחשה התלקחות ופיצוץ של עננת מימן, שנוצרה בפתח צנרת שיחרור הגז של מדחס מימן, במפעל בסין. עובד נהרג.
- הצנרת DN80 עשויה פלדה, היתה מחוזקת בדיבלים אל קיר חיצוני של חדר המדחס. הפיצוץ גרם לקריעתה ממקומה, נפילתה לקרקע והרג העובד.
- בצנרת הוזרם חנקן לניקוי, והפיצוץ התרחש לאחר switching operation והזרמת מימן בלחץ גבוה של 6 Mpa (כ- 60 bar) לתוך אותה הצנרת.

חקירת הפיצוץ במפעל סיני בצנרת שיחרור מימן

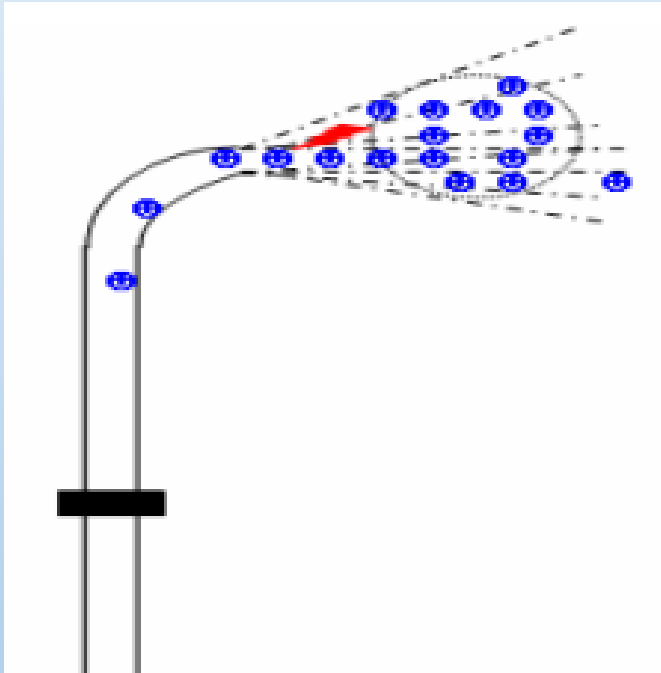
- סכימה של חדר המדחס וצנרת חיצונית לפליטת המימן אל האויר החופשי



חקירת הפיצוץ במפעל סיני בצנרת שיחרור מימן

• חקירת המקרה המובא כאן נעשתה ופורסמה על ידי צוות של CNPC:

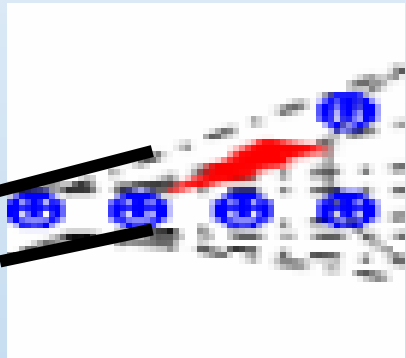
Research Institute of Safety & Environment Technology, Dalian, China



• הסכימה הבאה מציגה את תופעת החשמל סטטי בעת שיחרור המימן, ואת אופן התרחשות ההצתה.

חקירת הפיצוץ במפעל סיני בצנרת שיחרור מימן

- מתוך החקירה התברר שחנקן שהוזרם לניקוי הצנרת הכיל לחות שהתעבתה בצנרת ויצרה טיפות מים.



- כשהוזרם המימן בלחץ גבוה, טיפות המים נסחפו בצנרת, וצברו מטען חשמלי בגלל חיכוך והקשה בדפנות הצנרת.

- סביב מיפתח הצנרת נוצרה עננת מימן יחד עם טיפות מים, שגרמו לשדה חשמלי בעוצה גבוהה, סמוך למיפתח הצנרת המתכתית.

חקירת הפיצוץ במפעל סיני בצנרת שיחרור מימן

- לפי מידע מתוך מסמך ההנחיות היפני Safety Guide for Static בפליטת של עננת גז בקוטר שמעל 0.7 m, צפויה עוצמת שדה חשמלי של 1 Kv/cm, עקב טיפות מים וחלקיקי קורוזיה שנפלטו מהצנרת.
- במצב המתואר, תיתכן פריקת חשמל סטטי מסוג של "מברשת", שתרחש בין הטיפות/חלקיקים לבין קצה הצנרת המתכתית.
- פריקה מסוג זה תשחרר אנרגיה מינימלית בתחום של 0.1 – 1.0 mJ, בעוד שהאנרגיה המינימלית הנדרשת להצתת מימן הינה 0.017 mJ !!

חקירת הפיצוץ במפעל סיני בצנרת שיחרור מימן

- חישוב הצפיפות המרחבית של המטען החשמלי בעננת מימן בעלת רדיוס מינימלי a של 0.35 m , ועוצמת שדה חשמלי E של 1 Kv/cm :

$$\rho = \frac{3\varepsilon E}{a} = \frac{3 \times 1\text{ kVcm}^{-1} \times 1.00026 \times 8.85 \times 10^{-12}\text{ Fm}^{-1}}{0.35\text{ m}} = 7.6\mu\text{Cm}^{-3}$$

- חישוב כמות המטען החשמלי בעננת מימן בקוטר של 0.7 m :

$$q = \rho v = 7.6 \times \frac{4}{3} \times 3.14 \times 0.35^3 = 1.36\mu\text{C}$$

בתקן IEC 60079-32-1 נאמר שכמות מטען חשמלי מעל 10 nC מסוגלת להצית אוירה דליקה של חומרים מקבוצה II, כגון מימן.

$$1.36\ \mu\text{C} \gg 10\ \text{nC}$$

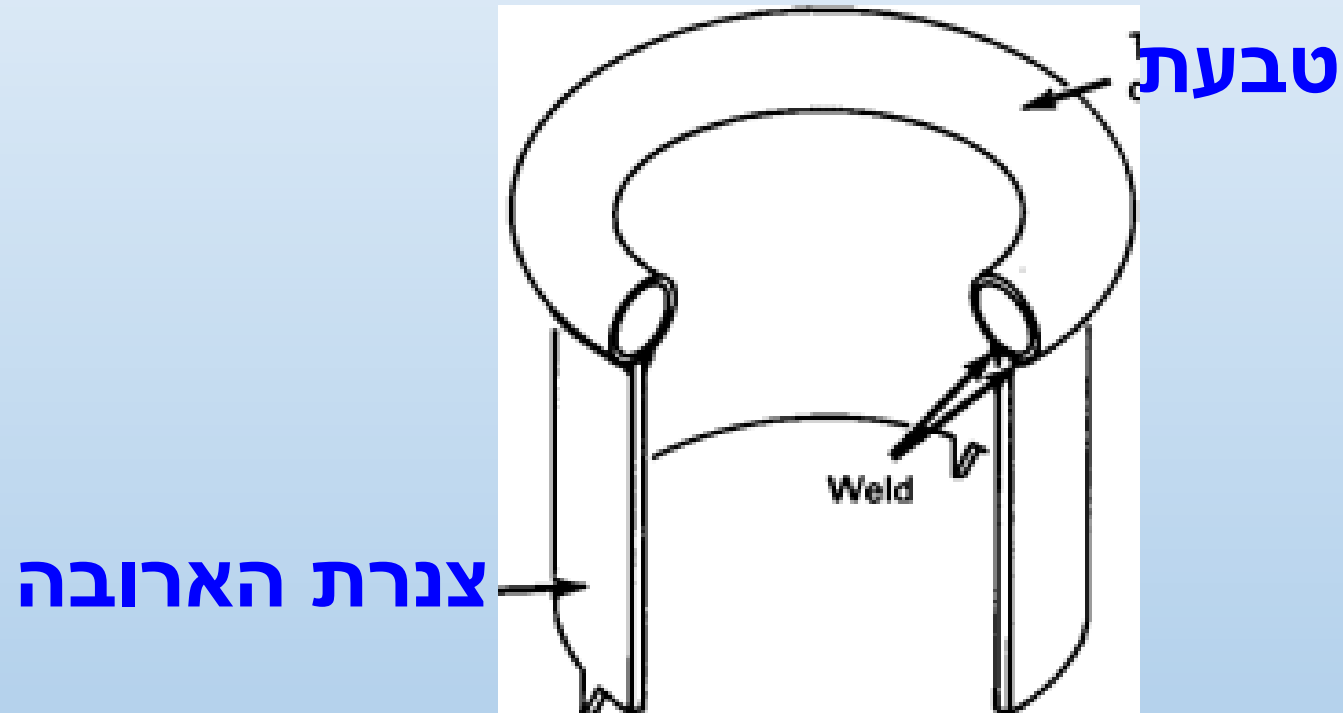
פתרונות למניעת התרחשות הצתה בשיחרור מימן

פתרון 1 – מניעת פריקת "מברשת"

- הצתה של עננת הגז בפתח השיחרור של הצנרת נגרמת לרוב ע"י פריקת חשמל סטטי מסוג "מברשת", בין טיפות נוזל וחלקיקים בעננת הגז לבין קצה הצנרת החד.
- פריקת "מברשת" מתאפשרת כלפי אביזר מתכתי מוארק, בעל קצה בצורת קשת או חוד.
- בכדי למנוע את התנאי להיווצרות פריקת "מברשת", יש לעבות את הצנרת במיפתח שיחרור הגז.

פתרונות למניעת התרחשות הצתה בשיחרור מימן

- NASA הציגה (4-1967) רעיון והמלצה לישומו.
- מוצע לרתך בקצה צנרת השיחרור, טבעת מתכתית העשויה מצינור בקוטר של 1" לפחות.



פתרונות למניעת התרחשות הצתה בשיחרור מימן

פתרון 2 – יצירת פריקת "קורונה"

- יצירת תנאים במיפתח הצנרת של שיחרור הגז, להיווצרות פריקת "קורונה" באמצעות התקנת אביזרים כגון להגנה מפני ברקים.
- פתרון כללי זה אינו מונע בוודאות הצתה של גזים כגון מימן, כיוון שפריקת הקורונה עלולה להיות בעלת אנרגיה מעל MIE של מימן.
- תכנון פתרון מסוג זה מחייב קביעת התנאים הפיסיקליים למיזעור יכולת ההצתה של הפריקה (מבנה פיסי, מהירות פליטה, ריכוז גז).

פתרונות למניעת התרחשות הצתה בשיחרור מימן

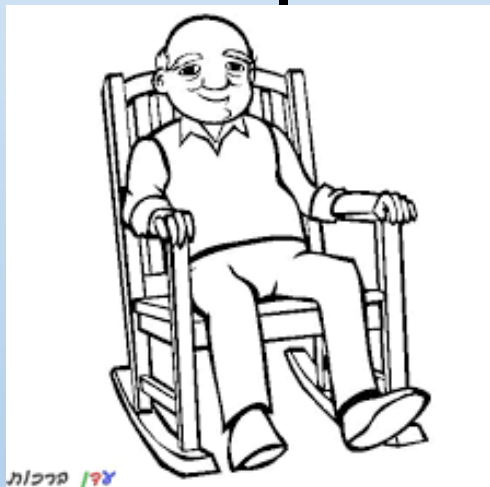
פתרון 3 – שריפה או דילול

- שריפת הגז הניפלט באמצעות מתקן מיוחד, או דילול מתחת LEL.
- שילוב אביזרי שאיפה והוספת גז מאדש לדילול האוירה הדליקה.
- בשיחרור מימן, ניתן להוסיף הליום.
- (בשיחרור אצטילן ניתן להוסיף חנקן או קיטור).
- תוספת הגז המאדש תהיה ביחס מסות 0.3 ויותר.

פתרונות למניעת התרחשות הצתה בשיחרור מימן

פתרונות נוספים

- קיימים פתרונות טכניים אחרים מאלה שהוצגו כאן.
- יעילות כל פתרון חייבת להישען על תכנון הנדסי קפדני שמתחשב בפרמטרים של מערכת שיחרור הגז לאויר החופשי.
- לדוגמא: מסמך 211/17 של האירגון האירופאי לגזים תעשייתיים EIGA
"HYDROGEN VENT SYSTEMS FOR CUSTOMER APPLICATIONS"
- כל תיכנון של מערכת שיחרור גז כזו, חייב להיבחן באמצעות תהליך של ניתוח סיכונים כמותי.



רק כך יהיה לנו "ראש שקט"!