



הפורום הישראלי לחשמל סטטי

The Israeli Forum for Electrostatics



2014

ערב עיון שני, 8 באפריל 2014
בית המהנדס ת"א





2014

סיכוני אבקות בתעשייה – איפיון ואסטרטגיה

דורון גודר,

מחלקת הנדסה ופרויקטים, TAPI ישראל.





סיכוני אבקות בתעשייה – מה ההבדל בין אבקה למוצק?

האבקה היא מצב צבירה לא מוגדר היטב

- תכולת האוויר בה גדולה מאוד – חמצן זמין
- עם תנועת האבקה חלק מהחלקיקים יוצרים אבק מרחף
- תנועת האבק הנה אקראית כמעט לחלוטין, כשהאבק ישקע יש סבירות שהוא ישקע על משטחים מחוץ לטווח הראיה.
- לחלקיקים באבקה ישנו שטח פנים גדול מאוד יחסית לנפחם / משקלם ולכן שטח ריאקציה גדול מאוד.



סיכוני אבקות בתעשייה – מה ההבדל בין אבקה למוצק?

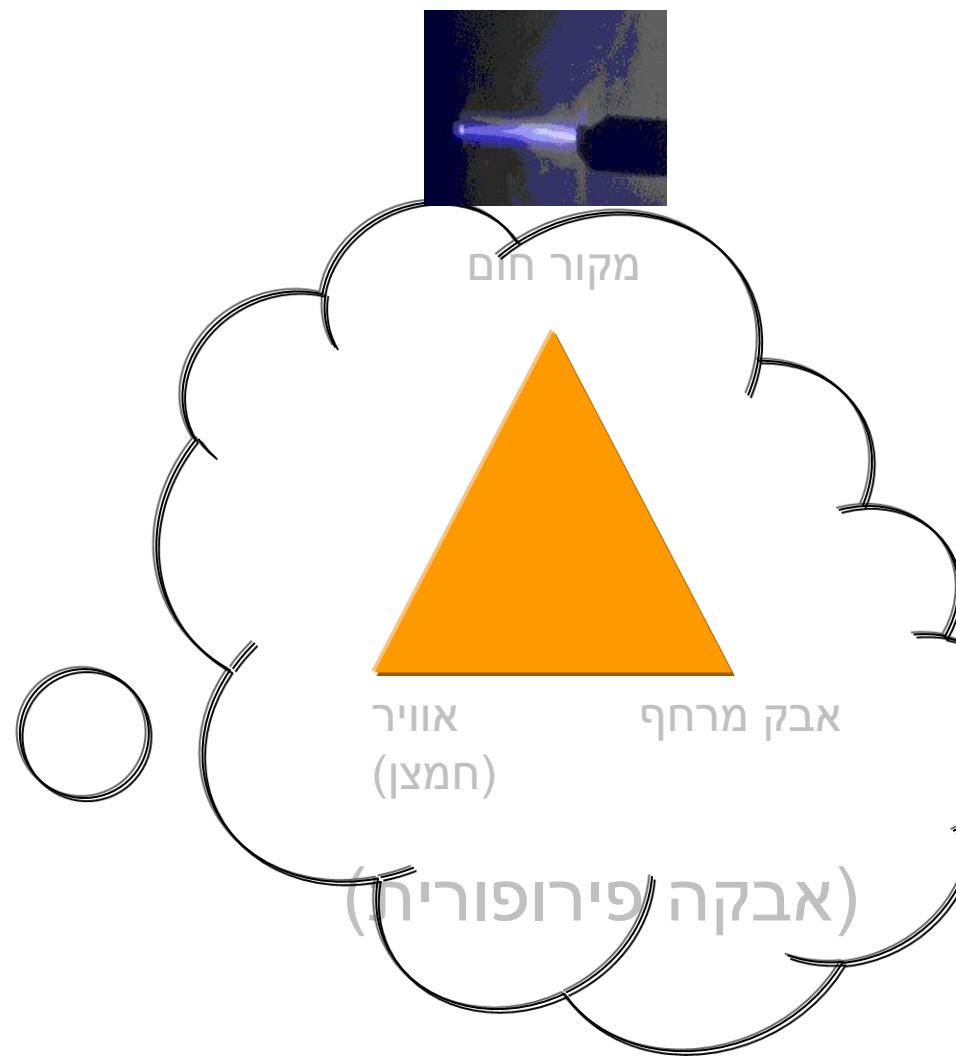
הסיכונים המיידיים

- מרגע ההצתה קצב הבעירה יכול להיות מהיר מאוד – Flash / Fire ball
- קצב התפשטות הגזים או לחלופין קצב עליית הלחץ (בנפח סגור) יכול להיות מהיר
- במבנים מאורכים (תעלות, פירים, תקרות אקוסטיות) יש האצה משמעותית של מהירות חזית הלהבה
- התפשטות האירוע למרחבים גדולים כתוצאה מהצתות ופיצוצים משניים.

סטטיסטיקת תאונות באבקות מגלה כי האירועים המשמעותיים הנם נדירים מאוד, אבל חומרתם גדולה מאוד.



פיצוץ משני





- אבקות של מתכות קלות: אלומיניום, מגנזיום וכו'. הצתה דורשת חום רב אך מרגע ההצתה האבקה יוצרת להבה בטמפרטורה גבוהה מאוד (מעל 3000 מעלות). מאפיינים פיסיקליים: מוליכות טרמית גבוהה, מוליכות חשמלית גבוהה.
- אבקות אורגניות: חומר המבוסס על מולקולות בינוניות וגדולות. ההצתה אינה דורשת חום רב וגם אנרגיה נמוכה יכולה במצב מסויים להצית את האבקה. הבעירה בדרך כלל חלשה ובטמפ' נמוכה. מאפיינים פיסיקליים: מוליכות טרמית נמוכה מאוד, מוליכות חשמלית נמוכה עד נמוכה מאוד.
- אבקות אורגניות מהצומח (קמחים וכו') שונים מאבקות אורגניות אחרות בכך שתכולת מים גבוהה יחסית גורמת למוליכות חשמלית טובה ועל כן רמת הסיכון להצתה נמוכה יותר.
- אבקות אנאורגניות על בסיס של גופרית או חנקה: מספר קטן של אבקות שידועות כמועדות לפורענות כמו סודיום דיסולפיד, חנקת אשלגן – לכל חומר כזה יש מאפייני סיכון ספציפיים.



סדר הנושאים הנו על פי שכיחותם בתאונות, על פי תקן DIN EN 1127-1

- ניצוץ ממקור חשמלי (קצר)
- משטחים חמים
- חשמל סטטי
- ניצוצות ממקור מכני – השחזה, חיכוך, נתז מאימפקט
- ריאקציה כימית (אקסותרמה)
- מקור אש גלויה או גזים חמים (עישון, השחזה וחיתוך, ריתוך)
- ברקים
- זרמי מערבולת בשדה חשמלי (השראה)
- גלי קול בתדר גבוה – Ultrasound
- גלים אלקטרומגנטיים
- קרינה בתדר גבוה (מיקרוגל וכו')
- קרינה מייננת
- דחיסה אדיאבטית



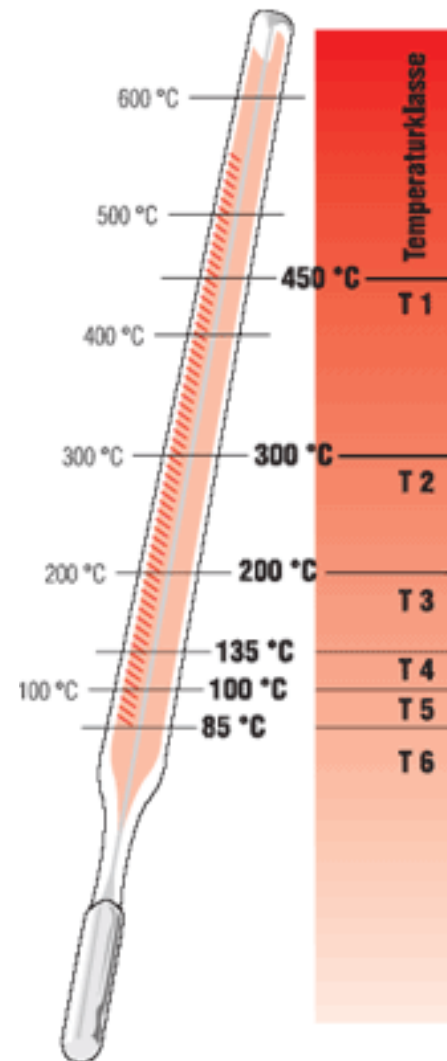
2 פרמטרים המאפיינים את האבקה בהקשר לרגישותה לטמפרטורה

- LIT – טמפרטורת הצתה בשכבה סטטית
- MIT – טמפרטורת הצתה עצמית של ענן אבק באוויר
- על פי IEC הטמפרטורה הבטוחה מחושבת על פי:

$$T_{\max} = \min(2/3 \cdot MIT, LIT - 75^\circ\text{C}) \text{ according to directive 94/9/EC (AtEx)}$$

Temperature groups for gases:
For flammable gases and vapors

T-Class	Hazards which will not ignite at temperatures below:
T1	C°450
T2	C°300
T3	C°200
T4	°135C
T5	C°100
T6	C°85





Temperature groups – samples

דוגמאות

T1 – 450°C	(Hydrogen, Benzene)
T2 – 300°C	(Propanol, Butanol, acetilene)
T3 – 200°C	(Benzine, Ethanol, Heptane)
T4 – 135°C	(Ethyl Ether)
T5 – 100°C	
T6 – 85°C	(CS ₂)

In powders the marking is

T(Tmax) in Celcius

Example: T320°C

$$T_{max} = \min(2/3 * MIT , LIT - 750c)$$



סף הרגישות הנמוך ביותר של אבקה הנו במצב של ענן אבק מרחף.

- **MIE** – אנרגיית ההצתה המינימלית לענן אבק באוויר ▲
- **MEC** – ריכוז מינימלי של אבקה בענן אבק שתיצור הצתה נפחית.
- **MOC** – מינימום ריכוז חמצן שיגרום להצתה (באנרגיה בלתי מוגבלת).



הגנת הסביבה לצמצום תוצאות של פיצוץ נפחי למינימום:

מניעת פגיעה בעובדים

מניעת נזק למבנה

מניעת נזק לציוד

■ הפרמטרים הבאים הנם כלים לתכנון של מיגון המבנה והציוד בהנחה שפיצוץ נפחי התרחש.

■ גישה זו מקובלת כנדבך שני של הגנה באבקות בעלות רגישות גבוהה

■ P_{max} – מקסימום עלית הלחץ בעקבות פיצוץ נפחי

■ K_{st} – קצב עלית הלחץ המקסימלי בפיצוץ נפחי

■ ST – קבוצת סיכון על פי K_{st}



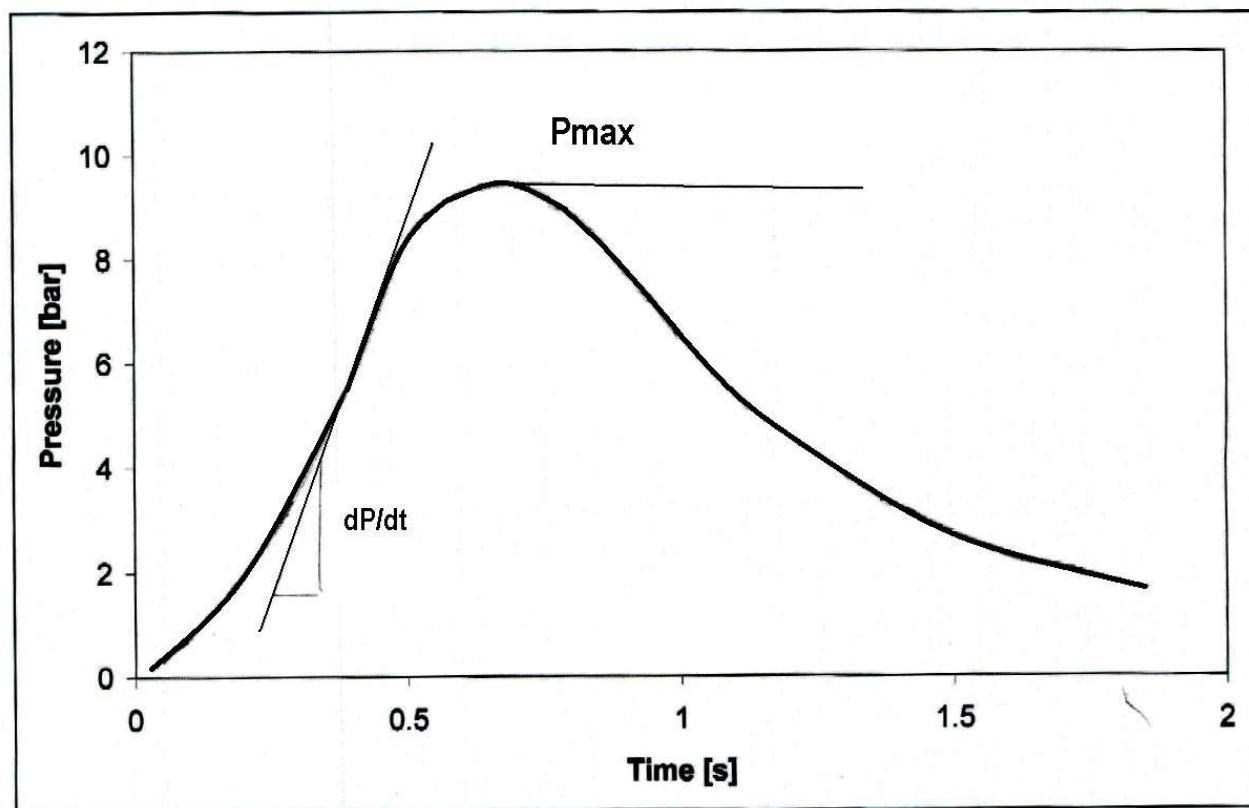
עוצמת הפיצוץ הנפחי הנה פונקציה של:

תכונות החומר

גודל חלקיקי המוצק

ריכוז האבק באוויר

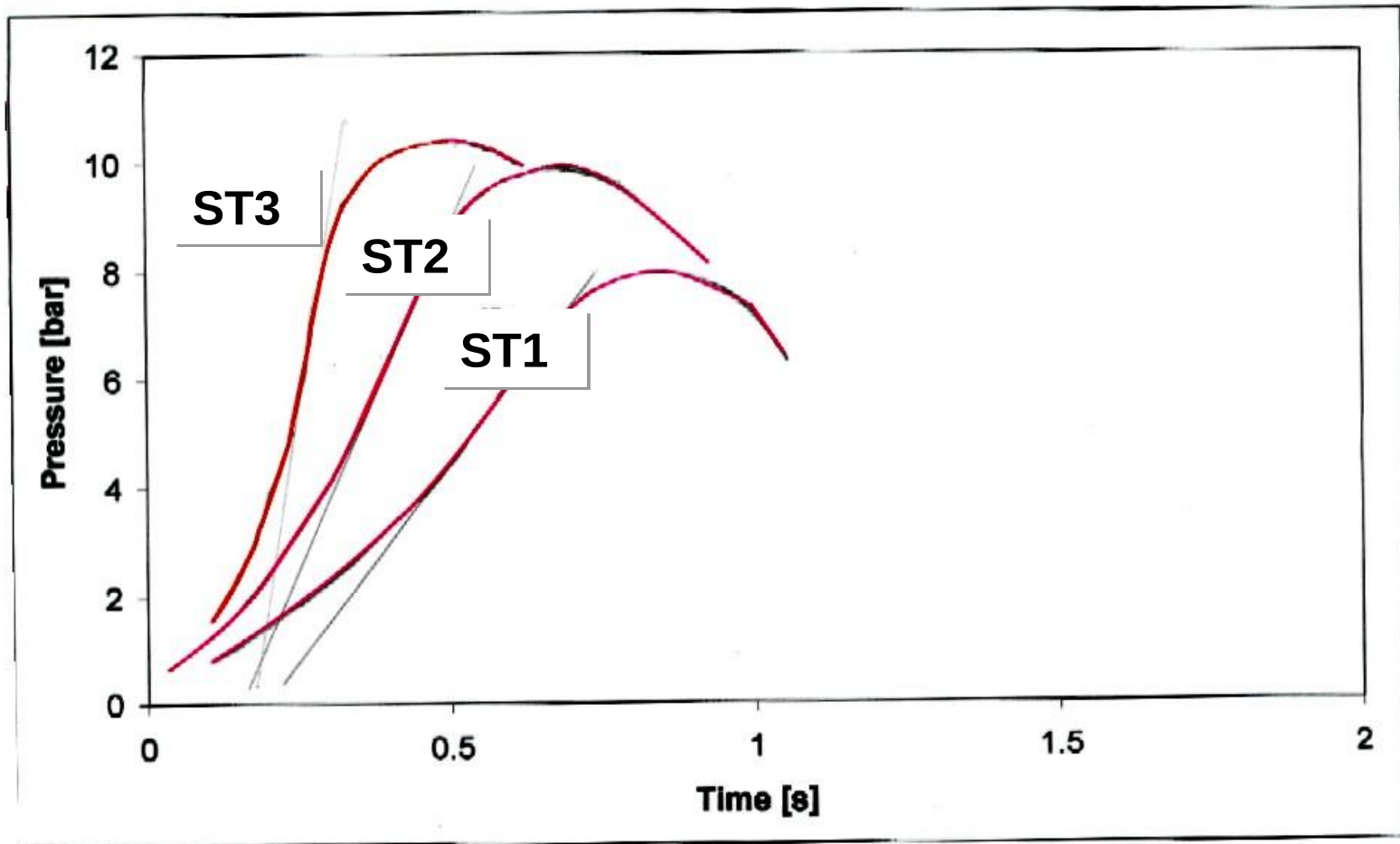
ריכוז החמצן וזמינותו





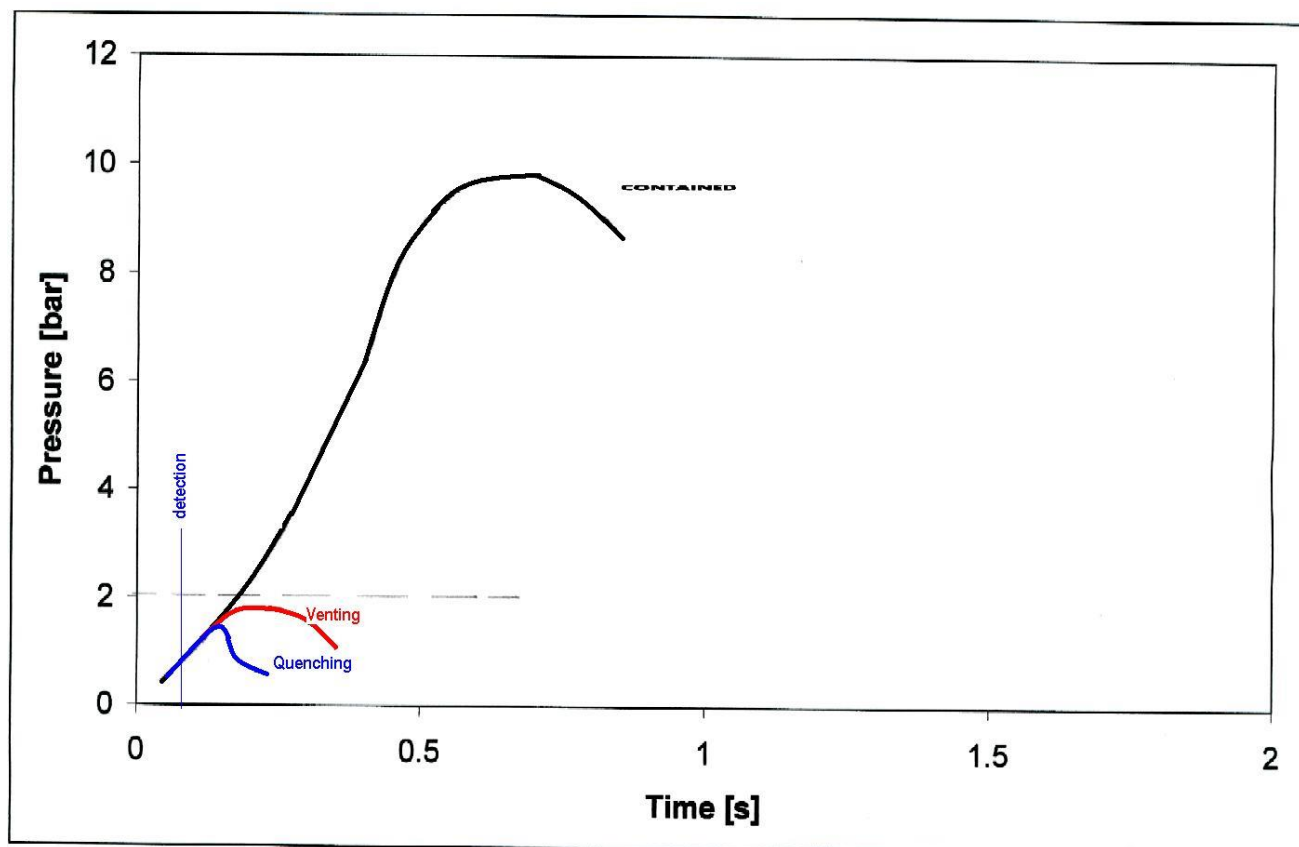
$$K_{ST} = \frac{dP}{dt} (V)^{1/3}$$

מאפייני פיצוץ	St class	Kst (bar m s-1)
אין פיצוץ		0
פיצוץ חלש	St1	0-200
פיצוץ חזק	St2	200-300
פיצוץ חזק מאוד	St3	300<



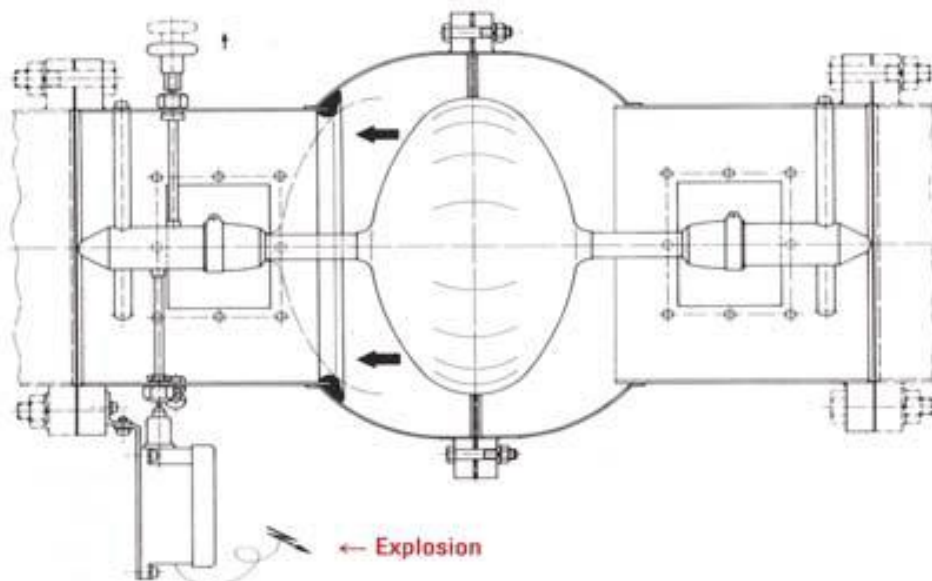


- אינרטיזציה – מניעת חמצן
 - שליטה בריכוז החמצן במערכת על ידי גז אינרטי לרמה של כ 5%
- הקשחת המבנה ושחרור מבוקר של הפיצוץ - Venting
 - פתחי שחרור הפיצוץ בעלי שטח גדול יחסית
 - שחרור הפיצוץ צריך להיות לאזור מוגן מחוץ למבנה
- הכלת הפיצוץ בתוך הצידוד – Containment
 - לא מתאים לצידוד בעל נפח גדול
 - שימוש בברזי נעילת פיצוץ
- גילוי וכיבוי – מערכת חישה מהירה ומערכת כיבוי אוטומטית
 - מתאים בעיקר לנפחים בינוניים וגדולים,
 - מערכת החישה נדרשת לגילוי מהיר בזמן קצר מ 0.01 שניה
 - המבנה אמור לעמוד בעלית לחץ מוגבלת.



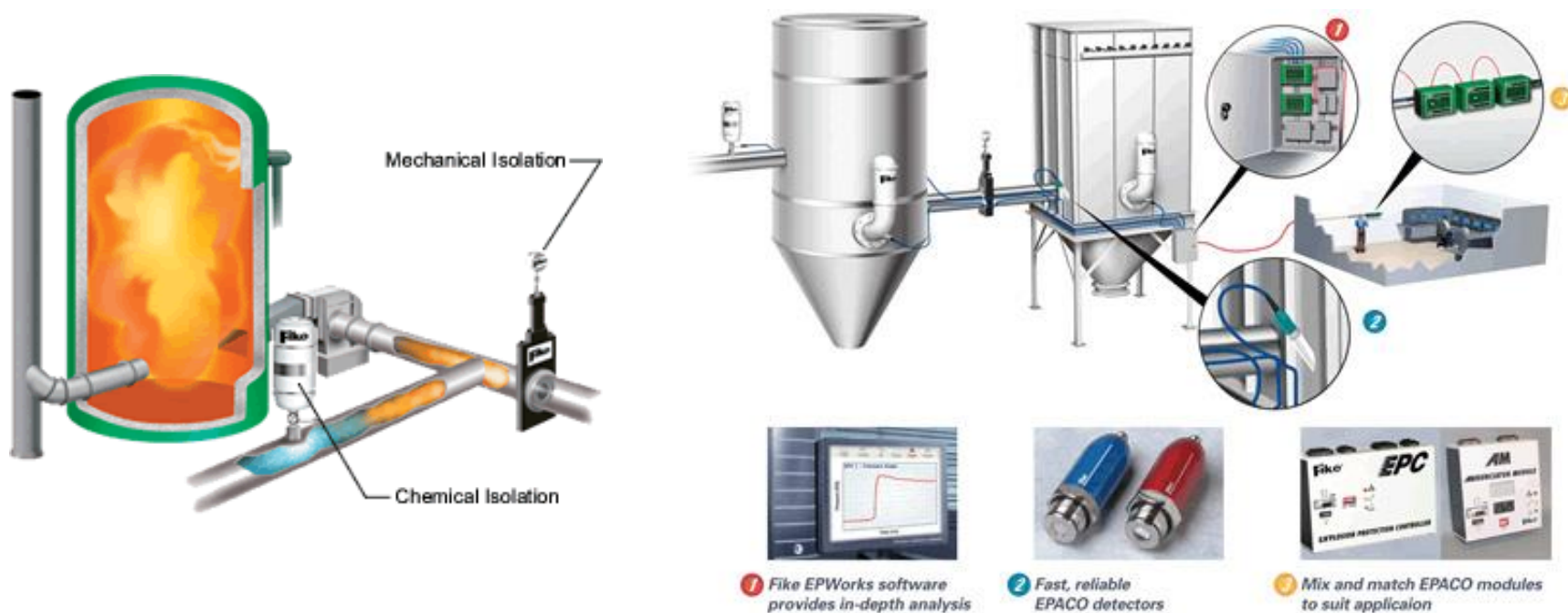


VENTEX-ESI 200-500 Single direction



By RICO







CV-CF *Explosion Vent*





תאונה של 14 הרוגים ו 38 פצועים
נגרמה כתוצאה מפיצוץ אבק משני
במחסן האריזה

Imperial sugar, Georgia USA
2008 accident





רמת רגישות	אנרגיית הצתה
רגישות נמוכה	$> 500\text{mj}$
נדרשת הארקה לצידוד מתכתי כאשר אנרגיית ההצתה 500mj או פחות.	500mj
נדרשת הארקה לצידוד ולעובד כאשר האנרגיה 100mj או פחות.	100mj
רוב מקרי ההצתה מתרחשים מתחת לאנרגיה זו, יש להתייחס לסיכונים כתוצאה מטעינה אלקטרוסטטית באבק.	25mj
רגישות גבוהה להצתה, יש לנקוט בכל אמצעי הזהירות הנ"ל, עדיפות לשימוש בחומרים שאינם מבודדים ע"מ למנוע טעינה אלקטרוסטטית.	10mj
רגישות גבוהה מאוד לבערה יש לנקוט באמצעי זהירות קיצוניים כמו נוזלים וגזים דליקים.	1mj



- MIE 10-25 mJ –הארקת עובדים על ידי:
– ביגוד אנטיסטטי
– רצפות אנטיסטטיות / מוליכות, צמידי הארקה
- MIE 3-10 mJ –יש לבצע נדבך הגנה אקטיבית
להגנת העובדים מפני תוצאות של פיצוץ נפחי





Layer Ignition
Temperature - הטמפרטורה
המינימלית של שטח פנים
שיגרום לפרוק ו/או הצתה
עצמית של שכבת אבק בעובי
5 מ"מ,

בעיקר מתייחס להצתה
בקרבת משטח שפולט חום
שהאבק הוא שכבת בידוד
טרמי שלו.

צורת ההצתה -
Smouldering

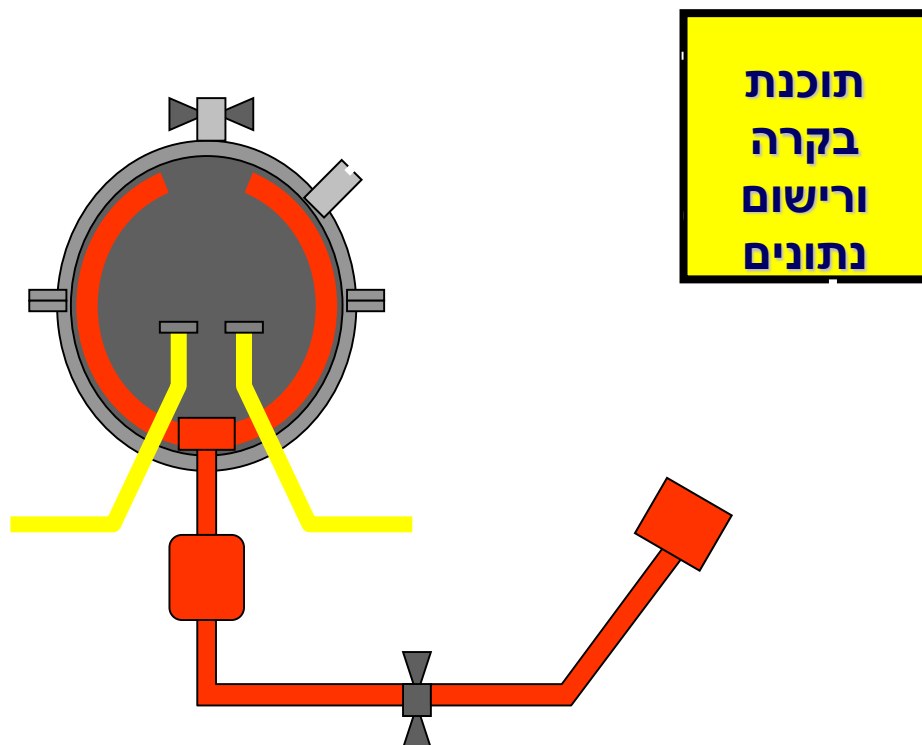




Minimum Ignition -Temperature

טמפרטורת ההצתה
המינימלית של החומר,
כאשר נמצא במצב של ענן
מרחף באוויר
(הטמפרטורה המינימלית
של משטח חם אשר יגרום
להצתה עצמית של ענן
מרחף באוויר).





20 liters cell





Flameable	Probability	ATEX	IEC	US old std.
GAS	0	Zone 0	1G	Class 1 Div 1
GAS	1	Zone 1	2G	Class 1 Div 1
GAS	2	Zone 2	3G	Class 1 Div 2
DUST	0	Zone 20	1D	Class 2 Div 1
DUST	1	Zone 21	2D	Class 2 Div 1
DUST	2	Zone 22	3D	Class 2 Div 2



הנושאים הכלולים במצגת

- סיכוני אש ונפיצות באבקות:
- אבק מרחף
- אבקות אורגניות – ריכוז של קבוצת סיכון
- תערובות היברידיות
- סוגי סיכון עיקריים בפיצוץ אבק:
- פיצוץ נפחי (בנפח מוכל)
- האצת חזית הפיצוץ
- הפיצוץ המשני



הנושאים הכלולים במצגת (2)

- סיווג ומבוא לסקר סיכונים באבקות:
- איפיון ראשוני לרגישות האבקה ומניעה, מושגים כמו MIE, MIT, LIT ושיטות המדידה.
- איפיון מפורט לרמת סיכון בנפיצות אבק, P_{max} , K_{st}
- למה צריך להתייחס בסקר סיכונים?
- הגדרת אזורי נפיצות באבקות.
- הורדת הסיכון בראיה הנדסית:
- מניעה של מקורות הצתה
- צמצום הסיכון הסביבתי, נזק לעובד ולרכוש במקרה אירוע.