

תאריך: 02/09/10
סימוכין: MS-Fire-190800-1

נסיבות שריפה במיקרוסוויס 19/08/2000

ניהול סיכונים מלא אשר כולל חקירת אירוע השריפה, זיהוי מדוייק של הסיבות, ייעוץ בטיחות בקשר עם סוג הציוד, מבנה הציוד, חומרי הבנייה של הציוד ואופן ההתקנה, איפיון ותכנון מערכות הגנה מפני אש, ביצוע סימולציה של כיבוי, ייעוץ בתביעת הביטוח, ייעוץ בשיקום הציוד ברחבי המתקן.

1. סיוע בחקירה של השריפה מ- 19/08/2000.
2. ניתוח הסיבות והצעות לביצוע שינויי מבנה בהתקן על מנת למנוע אירוע חוזר.
3. איפיון ותכנון מחדש של מערכת המתזים ותוספת של מערכות כיבוי מיוחדות למדפים.
4. ביצוע סימולציה חייה של כיבוי.
5. בעקבות שריפה קטנה נוספת זיהוי וודאי של הסיבות להתלקחות.
6. הצעת שינויים נוספים מיוחדים שמטרתם הייתה למנוע מפגש בין נוזל דליק ומערכת חשמל.
7. בתוך כדי כך זוהה תהליך אובדן של אלכוהול.
8. מייד אחרי האירוע, ייעוץ לחברה בקשר עם התביעה נגד חברת הביטוח.
9. מייד אחרי האירוע, ייעוץ ופיקוח על תהליכים של שיקום ציוד שנפגע מפיח קורוזיבי.
10. הכנת חוות דעת לפי בקשת חברת הביטוח באשר לנסיבות והגורמים האחראיים.

חוות הדעת מצ"ב.

הקדמה

במוצאי שבת 19/08/2000 פרצה שריפה במתקן ניקוי של מוצרים בתהליך של **חברת מיקרוסוויס** במפעלה באזור תעשייה יוקנעם.

יומיים אחרי האירוע התבקשתי ע"י חברת מיקרוסוויס לנתח את סיבות האירוע, לאפיין את נסיבות התפשטות האש ולהציע פתרונות לשיקום המתקן בצורה בטוחה.

בחוות דעת זו אנו מנתחים את הכשלים הבטיחותיים שהיו במתקן אשר גרמו לאירוע והביאו להרחבתו.

פרטים על התובעים והנתבעים הושמטו מגרסה זו.

השכלה וניסיון מקצועי

פרטי השכלה:

בוגר הטכניון חיפה, פקולטה להנדסת מכונות, 1967.

פרטי ניסיון:

שרות צבאי בתפקיד הנדסי.

4 שנים - חוקר במוסד הטכניון למחקר ופיתוח. בצוע מחקרים בעניין בטיחות כלי רכב עבור משרד התחבורה, חקירת כשלים מכאניים, בצוע בדיקות תו-תקן של מוסד הטכניון, חקירת תאונות דרכים עבור משטרת ישראל ועבור אחרים, חבר בועדות תקינה של מכון התקנים בקשר עם מערכות בטיחות.

במשך 36 שנים, שמאות נזקים ובצוע סקרים של סיכונים בכל סוגי התעשייה והמסחר.

אפיון וחיבור פוליסות בטוח לסיכונים מיוחדים עבור מפעלי תעשייה גדולים.

במשך 21 האחרונות, אפיון סיכונים לצורך תכנון מערכות גילוי וכיבוי אש, תכנון מערכות, פיקוח על הבצוע.

חקירה של כשלים במערכות הגנה מפני אש.

חקירה של התפתחות אירועי אש במבנים.

עיסוק בהנדסת בטיחות ב-16 השנים האחרונות.

חבר ב- SFPE (Society of Fire protection Engineers)

חבר ב- National Fire Protection Association וב- Industrial Fire protection Section.

חבר ב- NAFI (National Association of Fire Investigators- USA).

יועץ לרשות הלאומית להסמכת מעבדות, אשר מסמיכה מעבדות המאשרות מערכות גילוי אש וכיבוי אוטומטי במתלים או בגזים.

הצהרה:

אני נותן חוות דעת זו במקום עדות בבית משפט ואני מצהיר בזאת כי ידוע לי היטב, שלעניין הוראות החוק הפלילי בדבר עדות שקר בשבועה בבית המשפט, דין חוות דעתי זו כשהיא חתומה על ידי כדין עדות בשבועה שנתתי בבית המשפט. כמו כן הריני מצהיר כי אין לי עניין אישי בנושא חוות דעת זו וכי כל המפורט בה נכון למיטב ידיעתי המקצועית על פי הסימוכין המפורט בדוח. המעורבות שלי במקרה זה הייתה בחקירת האירוע ובשיקום המתקן לרמה בטיחותית נאותה.

תוכן עניינים

2.....	תמצית סיכום
3.....	פרק א' - תאור המתקן
14.....	פרק ב' - חוקים ותקנים רלוונטיים
17.....	פרק ג' - קריטריונים לבטיחות אש של חדרים נקיים
18.....	פרק ד' - העדויות
19.....	פרק ה' - התרחישים האפשריים
20.....	פרק ו' - סיכום אירוע השריפה
25.....	פרק ז' - פעולות שבוצעו על פי המלצותינו
30.....	פרק ח' - הגורמים המעורבים
31.....	פרק ט' - סיכום
32.....	פרק י' - מסקנות
33.....	נספח 1 - ניהול סיכונים לפי תקן אירופאי
34.....	נספח 2 - NFPA 318 תקן להגנה על חדרים נקיים
43.....	נספח 3 - ת"י 1939

תמצית סיכום

אירוע השריפה קרה ב- 19/08/2000, מוצאי שבת. המתקן הושלם והופעל ביום 11.08.2000 כשבוע לפני האירוע.

התכנון שבוצע להקמת מתקן הניקוי לא התייחס לחלוטין לשאלות של בטיחות אש. האירוע ותוצאותיו היו מבחינת "כתובת על הקיר" בסגנון של "מנא מנא תקל ופרסין" (ספר דניאל).

המתקן שהוקם כלל את הגורמים הבאים אשר גרמו לאירוע ולהתפשטות האש:

1. **חומרי מבנה בעירים:** חומרי מבנה מפלסטיק בעיר המצטברים למטען אש כבד.
2. **מבנה (או קונפיגורציה)** אשר מאפשר התפתחות מהירה מאוד של אש.
3. **תנועת אוויר מחללי העבודה** לתוך המנדפים ולתעלות היניקה בכוח מפוחי היניקה בגג, ללא אמצעי כיבוי בתעלות האוורור. האוורור פועל כמו "פרימוס".
4. **נוזל דליק:** שימוש באתנול מקבוצת האלכוהולים, חומר דליק בטמפ' הנורמאלית של החדר, לא כל שכן בטמפ' ההפעלה של 80°C, כאשר התכנון מאפשר גלישת אלכוהול סביב האמבטיה למערכת החשמל.
5. **חללים סגורים** לא אטומים בהתאם עלול להצטבר נוזל ואידים דליקים המאפשרים יצירת אוירה דליקה/פצצה והתפתחות אש מהירה.
6. **העדר מפסקי פחת** במערכות החשמל.
7. **ציוד חשמל לא מוגן מפני אוירה דליקה** ו/או חשוף לחדירת נוזל/אידים דליקים.
8. **שימוש בצנרת להזנה בגרוויטציה של אלכוהול**, אשר עשויה מחומר בעיר וללא אמצעי חירום המנתק את האספקה ממיכל הנמצא על גג הבניין.
9. **העדר אמצעי גילוי אש.**
10. **התקנת מתזים אוטומטיים** באזורי העבודה בלבד מתחת לתקרה תותבת (מונמכת). המערכת לא כיסתה את אזור השירות אשר בין אזורי העבודה ולא את חלל התקרה, דבר המפר הוראה חד משמעית של התקן (ת"י 1596—NFPA13) לכיסוי מלא ובניגוד לתקן לחדרים נקיים (NFPA-318).
11. **העדר הגנת אש** באזור התפעול, בחלל השירות הסגור סביב האמבטיות ובמנדפים בניגוד לתקן לחדרים נקיים (NFPA-318).
12. **העדר אמצעי הגנה ידניים** יעילים.
13. **העדר הפרדת אש** בין חדר הניקוי המכיל מטען אש כבד לבין הסביבה המפעלית. חדר הניקוי לא נבנה מחומרים מסווגים לאש אלא מלוחות גבס רגילים. אולם הדבר החמור יותר הוא שלא הייתה הפרדה במפלס התקרה מעל התקרות המונמכות בניגוד לתקן לחדרים נקיים (NFPA-318).

הפרה של תקנים רלוונטיים אשר מפורטים בפרק ב'.

התוצאה של הפרה של כללי הבטיחות: סיכון העובדים, גרימת נזקי אש בחדר בו פרצה השריפה, הפצת ופיח קורוזיבי בכל חלקי הבניין והפרעות לפעילות העסקית של החברה.

פרק א' - תאור המתקן

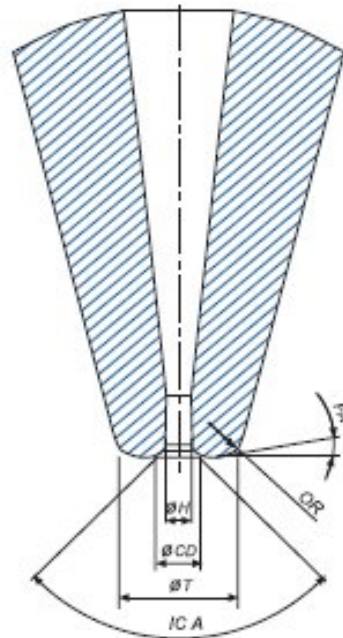
בפרק זה אני מציגים תקציר תהליך ותאור מתקן הניקוי תוך אזכור מפגעים רלוונטיים לאירוע השריפה.

1. תקציר תהליך הייצור:

המוצר הוא מוצר קירמי-קפילרי (חלול) המאפשר הזנת חוט הלחמה עדין ביותר לתעשיית ההלחמה של מעגלים אלקטרוניים. התרשים מראה חתך של מוצר קפילרי סטנדרטי ובתמונה משמאל ניתן לראות את תהליך ההלחמה בפעולה כאשר המוצר הוא האביזר הלבן.

תהליכי הייצור בקצרה:

- (1) הכנת תערובת אבקות מחומרים קרמיים ותוספים.
- (2) ייצור גלם במכש בטכנולוגיה של אבקות.
- (3) סינטור הגלם בתנורים שמגיעים לטמפ' של 1650°C .
- (4) השחזת הגלם למוצר בכמה שלבים, חיצוני ופנימי.
- (5) **ניקוי המוצר ב- 3 שלבים בין תהליכי השחזה שונים באמצעות אלוהול ותחת אנרגיה אולטראסונית (זה השלב המעניין אותנו).**
- (6) ביקורת איכות



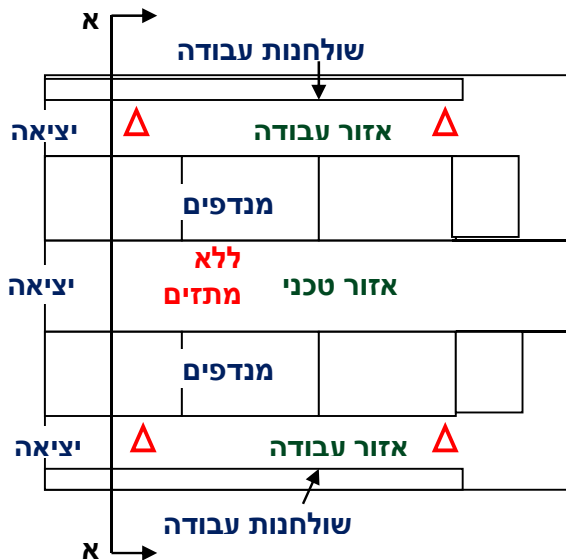
פרק א' – תאור המתקן (המשך)

2. תאור החדר:



שטח החדר כ- 35 מ"ר, מחולק ל- 3 חלקים מחוברים, עם מעברים בצורה של האות "ש".
2 ענפים של ה- "ש", הם שטחי עבודה, כאשר מצד אחד יש עמדות מנדפים ומצד שני קיר מעבר לשולחנות עבודה, ענף מרכזי אשר מהווה חלל טכני אשר אליו פונים הצדים האחוריים של עמדות המנדף והבסיס הוא מעבר בין שטחים אלה.

סכימת שטח



התרשים משמאל מציג את תצורת החדר באופן סכמתי.

באזור העבודה מול המנדפים, קיימת תקרה מונמכת מאלמנטים של פח. באזור זה גם היו מותקנים 2 מתזים לאמור 4 מתזים בסה"כ.

בשעה ש- 4 מתזים על שטח של 35 מ"ר הוא פיזור טוב, החלק המרכזי – הוא החלל הטכני, ללא תקרה מונמכת וללא הגנה ע"י מתזים, כאשר מבחינת מטען אש, רוב המטען נמצא בחלל הזה.

נא לשים לב שיחד עם העדר כיסוי של אמצעי כיבוי בחלל הטכני, לא היו מתזים גם בחלל העליון מעל התקרה המונמכת



קפילרות מוכנים לפעולת ניקוי באמבט האולטראסוני.
ההכנה מבוצעת על ידי המפעילות על שולחנות עבודה.
המפעילות מבצעות את ההכנה על שולחנות העבודה כאשר גבן מופנה לעמדות העבודה אשר מתחת למנדפים זאת בהתאם לתכנון החדר הנקי
ראה תמונות בדף הבא.

פרק א' – תאור המתקן (המשך)

3. האמבטיות:

האמבטיה במנדף שבו זוהתה לראשונה האש (מס' 4 להלן), אמבטיה מס' 5 והאמבטיות ממול ניבנו מ-PP (פוליפרופילן), להבדיל מ-PP (Polyvinylidene fluoride) ממנו נבנו האמבטיות החדשות יותר. ה-PP הרבה יותר בעיר מ-PP, גורם משמעותי ביותר באירוע דנן (ערך ההיסק של PP כפול מזה של PP). PVDF מוגדר כ"כבה מאליו" עם רמת בעירות נמוכה. מדד בעירות של PVDF: **UL 94 : V0**. יש לציין של PVDF הוא חומר מאושר לפי פרוטוקול FM לחדרים נקיים ולמנדפים רטובים יחד עם חומרים אחרים.

FM Global 4910: Clean Room Materials Flammability Test Protocol

האמבטיות מונחות, 2 יחידות בכל מנדף על גבי עגלות ממתכת מצופה ב-PP. העגלות מאפשרות משיכת האמבטיות החוצה לצורכי טיפולים לאזור החלל הטכני המרכזי. ראה תמונות בדף הבא.

4. ספקי אנרגיה:

א. יחידה אולטרה סונית, 40Hz, 1000 ווט, מחולקת ל-20 יחידות גביש המחוברות בתוך ארגז בנוי מפלדת אל-חלד לדופן העליונה.

היחידה מורכבת על תחתית האמבטיה בשתי נקודות ע"י ברגים עוברים. אחד מהם חלול ומאפשר העברת חיווט לתוך יחידת המרעד.

היחידה מוזנת דרך קופסת חיבורים המותקנת מתחת לתחתית האמבטיה, כאשר החיווט חודר דרך תחתית האמבטיה ואח"כ דרך תחתית היחידה האולטרה סונית ע"י צינור פלדה אטום במעבר דרך הפלסטיק ודרך תחתית הפלדה של היחידה. הצינור בולט לתוך היחידה האולטרה סונית כ-5 ס"מ. החיווט היוצא מהצינור מתחבר ליחידות הגביש במקביל.

הגנרטור של המרעד נמצא על מדף שמחובר לפנל שבין שני מנדפים סמוכים.

Bandelin Electric LG-100t, 1000/2000 W, 40 kHz.

ב. אלמנטים של חימום בדומה לבוילרים ביתיים, 1000 ו-1500 וואט ממוקמים מעל היחידה האולטרה-סונית.

האלמנטים נמצאים בתוך צינור אל-חלד כאשר החלק של הסליל, מתחיל במרחק מסוים מתחילת הצינור, כך שהסליל המחמם מוצב במרכז פחות או יותר.

באזור הכניסה הרגיש של האלמנט – קיים קטע קר, כך שאזור הרגיש בחיבור שבין הצינור לדופן, אינו חשוף לחימום ישיר.

טמפ' שנמדדה בכניסת הצינור קצת מעבר לאלמנט החרסינה של האלמנט החשמלי, בעזרת צמד-טרמי, כ-69°C.

טמפ' הבקרה היא 85°C, כאשר בפועל קיימים הבדלים משמעותיים בין אזורים שונים באמבטיה.

טמפ' בסביבת קופסת החיבורים של האלמנטים התרמיים – 65°C-60°C. זו גם הטמפ' האופיינית על פני קירות האמבטיות במדידה ע"י מכשיר מדידה אינפרה אדום.

פרק א' – תאור המתקן (המשך),



התמונות הבאות מחדר ניקוי שלא נפגע בשריפה- בקומת הקרקע:

עמדת עבודה הכוללת בתא אחד שתי אמבטיות

על האמבטיות מונח כיסוי עם פתחים לכוסות.

בכוסות מוזגים אלקוהול מהקנקן אשר אותו ממלאים ע"י פתיחת ברז בקו הזנה מפלסטיק.

בתוך הכוסות מניחים את הקפילרות.

האמבטיות מלאות מים המחוממים עד ל-85°C ע"י אלמנטים חשמליים הדומים לאלה שמשמשים אותנו בדוודים למים חמים.

בתחתית האמבט יחידה אולטראסונית המרעידה את המים אשר מרעידים את האלקוהול בכוסות. הפעולה מנקה של הקפילרות.

אפקט ההרעדה נראה בתמונה התחתונה.

למעלה ניתן לראות את אופן מילוי אלקוהול לקנקן

בצעתי סימולציה אשר הראתה שיש אפשרות לאלכוהול לגלוש החוצה מהשוקת על פי צנור המים!



פרק א' – תאור המתקן (המשך),



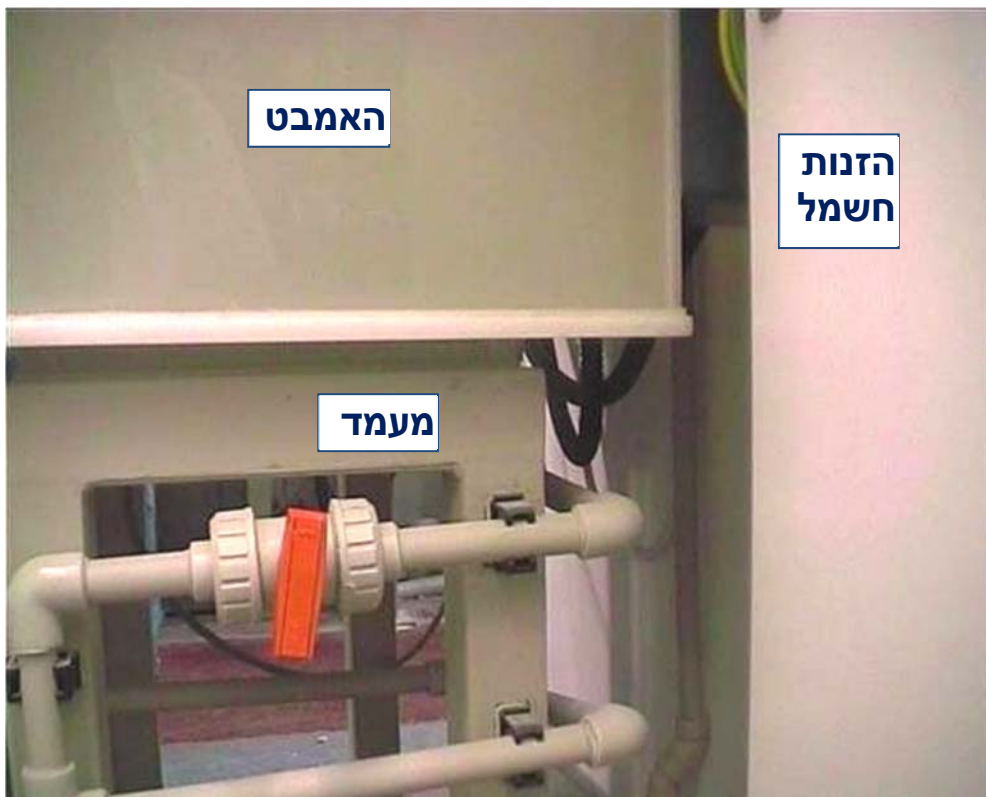
הקנקן שבתמונה העליונה הוא עם "פורמולה A" – גם היא מכילה אלכוהול.

למעלה נראה פתח המוביל למנדף. שינוי במיקום הלוח משנה את עומק החרך ובהתאם לכך את מושך האידים מתא העבודה.

למטה ניתן לראות את השולחן עליו עומד האמבט וצנרת לניקוז תחולת האמבט.

מערכת החשמל לחימום האמבט ולהזנת המרעד נמצאת בחלל הזה.

החלל סגור ע"י דלתות מצד העבודה ומהצד השני, הצד הקרוי טכני (הצד המצולם).



פרק א' – תאור המתקן (המשך),



האיזור הטכני (איזור העבודה מהצד השני)

בתמונה העליונה, רואים את הצינור (תעלה) לשחרור האידים אשר במנדף. הצינור מתחבר לצינור שרשורי מ-PVC.

האיזור העליון של חדר הניקוי בקומת הקרקע בצד הטכני.

ניתן לראות את הצינור השרשורי המוליך לצינור עליון מפלסטיק. אלה תעלות המנדף.

ניתן להבחין בצנרת להזנת אלכוהול ופורמולה A,

ניתן לראות שאין שום הגנה ע"י מתזי מים באיזור הזה.



האיזור העליון של חדר הניקוי

בקומת הקרקע בצד הטכני.

ניתן לראות את הצינור השרשורי המוליך לצינור עליון מפלסטיק. אלה תעלות המנדף.

ניתן להבחין בצנרת להזנת אלכוהול ופורמולה A,

ניתן לראות שאין שום הגנה ע"י מתזי מים באיזור הזה.

כל הציוד מפלסטיק בעיר.

פרק א' תאור המתקן (המשך),



הזנה חשמלית
לאלמנט חימום
של האמבט,
בדומה לאלמנט
חימום של דוד
ביתי.



קופסאת הזנה
לאלמנט החימום
בתמונה למעלה.

הקופסא יושבת
על אוגן האלמנט
הנראה למעלה.

**אין אטימה בין
הקופסא ובין דופן
האמבט.**

**אלכוהול הגולש
על פני דופן
האמבט החיצוני
נכנס הישר
לקופסת החיבורים
ויוצר אוירה
מתלקחת באזור
האלמנט החשמלי.**

פרק א' תאור המתקן (המשך),

מיכל אלכוהול על הגג.



ברז אלכוהול על הגג- ידני.

לא היה ברז חירום אוטומטי המנתק את קו האלכוהול מרחוק !!



פרק א' תאור המתקן (המשך),

5. חומרים במתקן התורמים למטען האש:

- א. **המנדפים העשויים PP (פוליפרופילן) מהווים את המרכיב הכבד במטען האש הכללי בחדר.**
 - ב. **צינורות אוורור – סילוק אדים – גמישים PVC מתחברים לתעלות PP המתנקזות לתעלה מרכזית, אופקית עד לפיר אנכי, מתחברת למפוח PP על הגג.**
 - ג. **כבלים חשמליים, טיפוס NYY עם בדוד PVC הכולל ריכוז גבוה של Plasticizers (בעיר).**
 - ד. **שרוולים של כבלים.**
 - ה. **צנרת PP להזנת אלכוהול, פורמולה A ומים וצנרת ניקוז מתחת לאמבטיות.**
 - ו. **קופסאות חיבורים: קופסת חיבורים מ-PVC של יחידות החימום, קופסת חיבורים – עבור יחידת המרעד חומר לא ידוע- עתיר בסיבי זכוכית. כנראה פלסטיק "טרמוסטי" (פוליאסתר).**
 - ז. **עץ בחזית כולל משקופים ודלתות.**
 - ח. **נוזל דליק – אתיל אלכוהול (אתנול), בעל נקודת הבזקה נמוכה בהרבה ממטמפ' העבודה שלו, נמצא בכוסיות הניקוי. בכל אמבטיה יש מקום ל- 24 כוסות אשר בתוכן נמצא המוצר העובר ניקוי.**
 - ט. **בד"כ כמות הכוסות היא קטנה יותר. בהנחה של 20 כוסות, 125ml בכל כוס, מקבלים כמות של כ- 2 ליטר אלכוהול לאמבט.**
- בנוסף לתכולת האמבטיות, צנרת ההזנה של אלכוהול אשר מקורה במיכל אלכוהול (3000 ליטר) הנמצא על גג הבניין. האלכוהול במכל מהווה פוטנציאל גדול להצפה מסיבית של השטח בעת שריפה.
- לגבי אתנול בריכוז של 95% בערך, טמפ' הבזקה (טמפ' שניצוץ מסוגל להצית אידים ולקיים להבה) היא 13°C , טמפ' רתיחה כ- 78°C , אידים כבדים מהאוויר ביחס של 1.5-1.6 ריכוז התלקחות אידים באוויר 3.3%.
- משקל סגולי 0.8 (ביחס למים) עם מסיסות מלאה במים.
- טמפ' הצתה עצמית 360°C (התלקחות עצמית ללא הצתה).
- אנרגיית בעירה - כ- 6,500 קק"ל לק"ג (כ- 2/3 מנפט).
- מים המכילים אתנול בריכוז של 20% ומעלה עלולים לקיים להבה. נתוני התלקחות שונים מאשר אלכוהול בריכוז גבוה. השפעת ריכוז אתנול במים על תכונות הבעירות של התמיסה זה עניין למחקר נפרד.
- שעור האתנול במים עשוי להגיע ל- 20% ומעלה כפי שהתברר בדיעבד, כתוצאה מאופן העבודה במנדף. יש גלישת יתר מהכוסות בעת מילוי. כמו כן שחזרנו בקלות אפשרות של דליפה מברז האלכוהול בגלישה לתוך האמבט על פני צינור המים.....

6. הגנות חשמליות:

- א. **אלמנטים חשמליים: לפי המידע שקבלנו יש הגנות עומס יתר לאלמנטים החשמליים וכן הגנה נגד קצר, אין הגנה על זליגה לאדמה (מפסק פחת – ראה הפרה של תקן NFPA 318 להלן).**
- ב. **מרעד: אין הגנה למרעד עצמו בגין זליגה לאדמה. מסתבר שמפסק החירום אינו מנתק את המרעד. גם מערכת הבקרה אינה מנתקת את המרעד.**
- ג. **הגנת גובה באמבט - מסתבר שהרגש אינו אמין. אבנית מקטינה את הרגישות שלו.**
- ד. **תרמוסטט לשליטה על אלמנט החימום. אם כתוצאה מחור יוצאים המים, הגנת גובה לא פועלת, מי האמבט יורדים מתחת לאלמנט, האלמנט מופעל ושוורף את האמבט.**

פרק א' תאור המתקן (המשך),



הגנות באמבט

גשש גובה אשר מתריע על ירידת גובה מים ומנתק את אלמנט החימום. אלא שהתברר בבדיקה שהוא אינו אמין.

על פי תקן NFPA318 נדרשים 2 גששים המאופיינים לניתוק שני מנתקים בלתי תלויים.

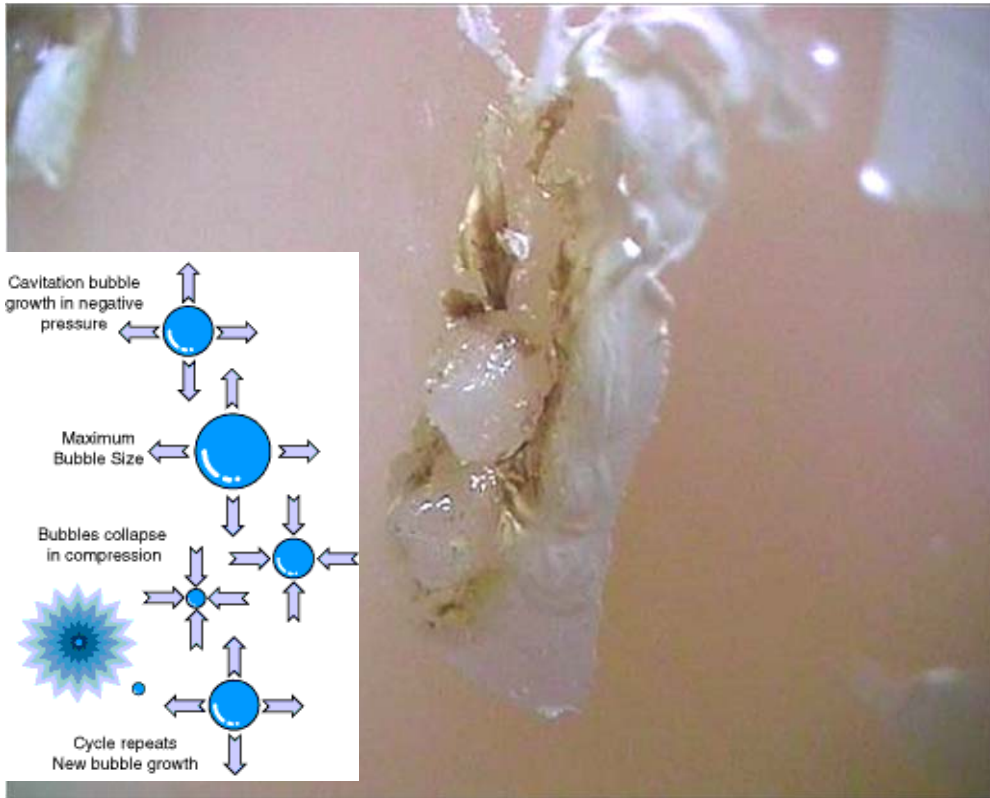


הגנות באמבט

הטרמוסטט מפעיל ומנתק את אלמנט החימום. הוא מותקן מעל אלמנט החימום.

אם כתוצאה מחור באמבט, מפלס המים יורד ורגש הגובה אינו מנתק את אלמנט החימום, הטרמוסטט נחשף לאוויר ואלמנט החימום מרתח את המים ובסופו של דבר האלמנט מדליק את האמבט.

פרק א' תאור המתקן (המשך),



נזקים מהמרעד האולטראסוני.

מה שנראה בתמונה אלה פגיעות בדופן אמבט כתוצאה מפעולה של הגלים האולטראסוניים.

בצד תרשים באנגלית המסביר את התאוריה.

לכן היווצרות חור בדופן היא אפשרית.



לוח הפעלה של אמבטיות, שמאלית וימנית עם מפסקים ולמטה שליטה על הטמפרטורה, טמפ' מכוונת ל-85°C.

מוצב יחד עם לוח המרעד על עמוד בין שני תאים לשליטה על פעילות באמבטיות משמאל ומימין.

פרק א' תאור המתקן (המשך),

7. מתזי מים ותפוקתם:

ראה מיקום המתזים בסעיף 1. מערכת המתזים מכסה את כל הבניין ששטחו כ- 4,600 מ"ר. ההזנה למתזים היא מבית משאבות לכיבוי אש. משאבת כיבוי אש מונעת דיזל, יונקת ממאגר מים של המפעל. כפי שציינו, היו 4 מתזים בתקרה המונמכת צעל חללי העבודה. לא היה כיסוי של התזה בחלל הטכני היכן שמטען האש של המנדפים המורכב בעיקר מפוליפרופילן הוא הכבד ביותר. לא הייתה הגנת אש סביב לאמבטיות התפעוליים מתחת למשטחי העבודה, לא בחללים מעל התקרה ולא במנדפים, זאת בניגוד התקנים הרלוונטיים. מתזים אשר מותקנים סביב מתקן הניקוי מחוצה לו פעלו לבלימת התפשטות האש לקומה.

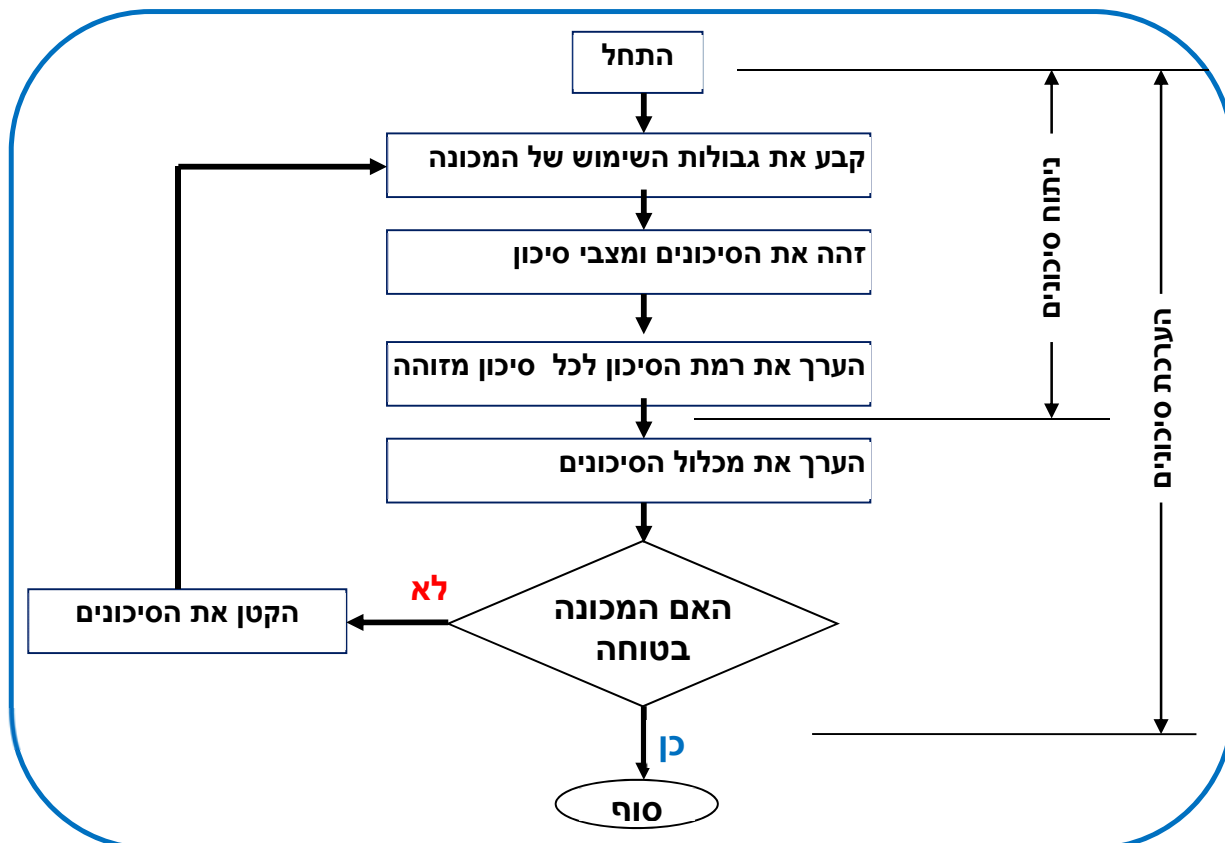
פרק ב' - חוקים ותקנים רלוונטיים

1. החובה לתכנון בטיחותי:

החובה של מהנדס מתכנן היא לפעול בזהירות הראויה וברמת המקצועיות הנדרשת על מנת לתכנן ו/או לפקח על ביצוע עבודה כך שהמוצר יהיה בטוח לעובדי המזמין, לרכוש המזמין ולפעילותו העסקית ("Standard of Care"). בדיקת הסיכונים הוא חלק בלתי נפרד מהתכנון.

למרות שהדבר מדבר בעד עצמו, אנו מציגים להלן תקינה בינלאומית. יש לציין שהמתכנן דן הוא גוף תכנון בינלאומי האמור להיות אמון על תקנים מובילים בעולם.

ת"י 4484 מתייחס לבטיחות מכונות - עקרונות הערכת סיכונים. התקן פורסם לראשונה בשנת 2003. הוא מבוסס על ISO 14121-1 משנת 1999 (ISO-International Standard Organization).



פרק ב' – תקנים רלוונטיים (המשך),

החובה לתכנון בטיחותי (המשך),

התקן ISO 14121-1 דומה לתקן אירופאי / בריטי EN 1050 (נספח 1 בסוף הדוח).

EN 1050:1996 Safety of machinery – Principles for risk assessment, published in the Official Journal of the EU in 1997, is a Type-A standard outlining the principles for a coherent, systematic procedure for risk assessment. It was formulated to elaborate on the information given in EN 292-Part 1, which was limited to basic concepts. Subsequently, ISO adopted it as ISO 14121:1999
התקן מתייחס לבטיחות של מכונות. המתקן דן הוא מערכת. מה שחל על מכונה חל על מערכת על אחת כמה וכמה.

הכללים לתכנון בטיחות של מכונה מוצגים בתרשים זרימה בדף הקודם למעלה.
במקרה דן לא נכחו בשום פעולה תכנונית אשר הביאה לידי ביטוי את האספקט הבטיחותי.

2. תקן רלוונטי לחדרים נקיים:

NFPA (National Fire Protection Association) הוא קובץ התקנים המוביל בקשר לבטיחות אש. חלק מתקני NFPA הועתקו כפי שהם באנגלית לתקנים ישראליים; תקנות הבנייה החדשות מבוססות במידה רבה על NFPA 101-Life Safety Code. התקנים הישראליים למתזים אוטומטיים ולאחזקתם ותקנים לשחרור עשן מבוססים על תקני NFPA רלוונטיים. תקן ישראלי למנדפי מערכות טיגון ובישול במסעדות מבוססות על תקן NFPA.

NFPA 318- Standard for the Protection of Clean rooms

הוא התקן הרלוונטי לבנייה של חדרים נקיים. הוא כולל התייחסות לעמדות עבודה ולמנדפים עבור תעשיית החצי מוליכים, אבל מתאים עניינית ליישום למקרה של מיקרוסוויס.

בנספח 2 אנו מציגים מובאות רלוונטיות מגרסת 2000.

בטבלה הבאה אנו מציגים תקצירי תרגום מהתקן כאשר סעיפי התקן מצורפים לסוף דוח זה.

בטבלה אנו גם מציינים באיזה מידה בוצעו הוראות התקן.

מסקנה: כל הוראות התקן הופרו.

בדיקת סידורי הבטיחות בחדרים הנקיים של מיקרוסוויס לעומת דרישות NFPA-318:

נושא	סעיף	ביצוע בפועל	סיכום	
מתזים אוטומטיים	2.1 – הגנות אש: ביצוע נדרש בכל רחבי המתקן	חלקי	כשל תכנוני/ביצועי	
	A.2.1.2.1 – מתאר מצב טיפוסי של חללים כגון חללי תקרה וחללים אחרים העלולים להיות מוסתרים ממתזים. התקן ממליץ לדאוג לכך שתהיה הגנה בכל חלל	לא בוצע	כנ"ל	
	A.2.1.2.2 – הסברים והבהרות			
	2.1.2.4 – שימוש במתזים מהירי תגובה	לא בוצע		
	2.1.2.5 – התקנה בחלל עליון	לא בוצע		
	A.2.1.2.5 – הסבר מדוע זה נחוץ בחלל עליון ובכל חלל מוסתר אחר.			

פרק ב' – תקנים רלוונטיים (המשך),

טבלה (המשך),

נושא	סעיף	ביצוע בפועל	סיכום
מנדפים ותעלות פליטה	2.1.2.6/7 : באלה שעשויים מחומרים בעירים יותקנו מתזים אוטומטיים	לא בוצע	כנ"ל
מערכת גילוי עשן	2.3: מערכת גילוי נדרשת	לא בוצע	כנ"ל
הפרדת אש	4.2: חדרים נקיים יופרדו מסביבתם ע"י מחיצות מסווגים לאש של 1 שעה	לא בוצע	כנ"ל
אלמנטי חימום טבולים	8.4 אסורים אלא אם כן מחוץ לעמדות עבודה רטובות.	בוצע שלא בהתאם לתקן	כנ"ל
מפסק פחת והגנות גובה	8.4.1 – נדרש לאלמנטי חימום עם התראה למפעילים, עם הגנת גובה נזל עם שני גלאי גובה בלתי תלויים	לא בוצעו	כנ"ל
	8.4.2 לגבי אמבטיות המכילים כימיקלים, הוראות חוזרות על הוראות סעיף 8.4.1.	כנ"ל	כנ"ל
חומרים	8.5 & A.8.5 – מתייחס לחומרים בשימוש במבנה וב"כלים" של המערכת. ממליץ על שימוש בחומרים מאושרים ע"י FM ו- UL	לא בוצע	כנ"ל

הוראות דומות יש בתקן של FM חברת הביטוח המובילה בתחום של הגנות אש אשר ברשותה גם המעבדה המתקדמת ביותר בעולם וגם מוציאה תקנים מקבילים ל- NFPA+UL גם יחד. לפי FM חומרים העומדים בתקן FM-4910 לא נדרשים להתקנת מתזים בתוך תעלות המנדפים.

למעבדת UL (Underwriters Laboratories) – גוף המוביל בעולם בבדיקות לפי תקנים שהם עצמם, פרסם תקן UL-2360 המקביל ל- תקן FM-4910. התקנת מנדפים מחומרים מאושרים ע"י UL ניתן לוותר על מתזים אוטומטיים בתוך תעלות המנדפים.

החדרים הנקיים שתוכננו עבור מיקרוסווים לא מתאימים לתקן NFPA-318 וחומרי הבנייה של המנדפים לא תאמו את תקני UL ו- FM שצוינו לעיל.

3. ת"י 1839 - בטיחות אש במעבדות (1995/1998) :

מובאות מהתקן בנספח מס' 1 בסוף הדוח

התקן הישראלי מאמץ את התקן האוסטרלי . AS 2243.8-1992.

גם התקן הזה מציב דרישות לגבי הגנות אש אקטיביות (מערכות קבועות לגילוי, כיבוי, מטפים) ופסיביות (בקשר עם חומרי בנייה).

התכנון והביצוע של החדרים הנקיים במיקרוסווים לא תואם את התקן הזה.

4. ת"י 1596 (NFPA-13) - הגנה ע"י מתזים אוטומטיים מחייב כיסוי מתזים מלא היכן שיש חומרים בעירים.

פרק ג' - קריטריונים לבטיחות אש של חדרים נקיים

כפי שציינו לעיל ובגיבוי התקנים בינלאומיים והתקנים ישראליים, סקר בטיחות ויישום מסקנותיו בתכנון הוא חלק בלתי נפרד מתהליך התכנון של כל מערכת, לא כל שכן מערכת בעלת פוטנציאל סיכון גבוה מסוג זה:

השאלות שחייבות היו להיבחן בתהליך ניתוח הסיכונים של תכנון חדרים נקיים:

- 1. חומרים בעיבוד:** במקרה דן מדובר בחומרים בלתי בעירים. אלה הם המוצרים בעיבוד של המפעל.
- 2. חומרי עזר:** מים, אלכוהול, חומצה גופרתנית.
 - א. מים-** אינם מהווים בעיה, אלא אם עולה אפשרות של היותם גורם המאפשר התפשטות של חומר דליק שאינו מסיס בתוכו.
 - ב. חומצות.** בחלק מהמנדפים עשו שימוש בחומצות.
 - ג. אתנול,** הוא חומר עזר המשמש לניקוי המוצרים בתהליך אולטראסוני. האתנול הוא דליק ביותר. יש צורך להגדיר את תכונותיו ולבחון את האפשרות להתלקחות / התפוצצות בחלל שבו עלול להצטבר נוזל או אידים. באופן מיוחד יש לבחון את מערכות החשמל אשר עלולות להיות חשופות לנוכחות אידים דליקים (Electrical Hazard).
 - ד. משקעים בתוך הדפנות:** נמצאו משקעים משמעותיים בתעלות. לא אובחנה בעירות שלהם.
- 3. חומרי מבנה:** חומרי מבנה מפלסטיק הינם בעירים ברמות שונות בהתאם לחומר והטיפול שהחומר עובר נגד אש. מדובר החומרים מהם עשויים: הקונסטרוקציה של המתקן, האמבט, כבלי החשמל, קופסאות החיבורים של מוליכי החשמל, המנדף מעל השטח התפעולי, התעלות לסילוק האידים, המפוחים היוצרים את היניקה, קווי האספקה של האתנול.
- 4. קונפיגורציה נפחית:** יש לבחון אם המבנה מאפשר התפתחות אש מוסתרת והתפשטות אש בלתי מבוקרת. חללים רגישים הם:
 - א. חלל מסוכן הוא החלל אשר מתחת לאמבט התפעולי.** החלל קטן יחסית ואינו מאוורר, יש בו חומרי מבנה מפלסטיק, כבלים ואמצעי חימום חשמליים יחד עם אפשרות של גלישת נוזל ו/או אידי אלכוהול העלולים לייצור בו אוירה פציצה.
 - ב. חלל מסוכן הוא החלל מעל האמבט התפעולי:** מדובר בחלל העבודה של המפעילות. החלל פתוח כלפי איזור העבודה. הוא כולל מנדף לשתי אמבטיות סמוכות המתחבר לתעלות יניקה משותפות לכל מערך האמבטיות (12 יחידות). המנדף מתנשא אל מעל המתקן. התעלות מובלות דרך פיר בקומות ועובר את הגג. מפוחים המותקנים בגג בתפוקה של כ- 10,000 מק"ש, יוצרים את המושך הנדרש לסילוק האידים בחלל התפעולי ובהתאם גם מושכים אש לתוך התעלות תוך פיתוח עוצמת אש גדולה מאוד.
 - ג. החלל מעל התקרה התותבת:** שם עוברות תעלות המנדפים וצנרת אספקת נוזלים לרבות אלכוהול.
 - ד. תעלות המנדפים המתנשאות עד לגג המבנה מעל קומה שלישית.**
- 5. מניעה של פעולת אלמנט החימום בהעדר מים:** נדרשת הגנה כפולה לפי כללי בטיחות אלמנטאריים ולפי הוראות NFPA-318.
- 6. מניעה של הגעה של נוזל דליק למערכות החשמל.** אכן התברר שאלכוהול מגיע למערכת החשמל.
- 7. אמצעי גילוי אש:** הייה ומתפתחת אש, הגילוי המהיר הוא חיוני. חשוב להתקין את אמצעי הגילוי בכל חלל שעלולה להתפתח בו אש
- 8. אמצעי כיבוי:** אמצעי כיבוי יכולים להיות משולבים עם מערכות הגילוי. אמצעי הכיבוי חייבים להיות אפקטיביים בכל חלל שבו עלולה להיווצר אש ובכל חלל אליו יכולה אש להתפשט.

פרק ג' – קריטריונים לבטיחות אש (המשך),

- 9. אמצעי כיבוי ידניים:** אמצעי כיבוי ידניים להיות זמינים ובעלי עוצמה מספקת על מנת לכבות כל אש ובאותה עת להגן על המפעיל
- 10. ניתוק חשמל בחדר הנקי למקרה חירום:** על מנת להבטיח כיבוי ללא חשש מחשמל, חייבת להיות פעולה אוטומטית לניתוק חשמל כתוצאה מהפעלה של אמצעי כיבוי. המפוח המושך אוויר דרך המנדף חייב להמשיך לפעול כדי להגן על העובדים ו/או על צוות הכיבוי. ניתוק ידני היה קיים.
- 11. ניתוק חשמל למקרה שהמפוח לא פועל:** כדי למנוע היווצרות תנאים מסוכנים לעובדים ליד עמדות העבודה, מערכת החשמל בחדר הנקי תהייה מנותקת כאשר המפוח אינו בפעולה.
- 12. הפרדת אש:** חיוני ביותר לבצע הפרדת אש בין מתקן המכיל מטען אש כבד לבין הסביבה שלו. זאת כדי למנוע התפשטות אש ועשן לאזור המפעל הסמוכים.
- 13. אימון עובדים להגבה לפעולות התראה ולכיבוי אש.**
- 14. אינטגרציה של כל הגורמים.**

פרק ד' - העדויות

עדויות ישירות התקבלו מעובדות שהיו במקום בעת השריפה.

- 1. ראשי הפרקים של העדויות שלהן:**
 - א.** תאריך 19/08, מוצאי שבת, 19:30-19:45, תחילת משמרת, מערכת קרה.
 - ב.** אווה מבצעת ניקוי סופי באמבטיות 5 ו- 6 מכיוון הכניסה, מכניסה 14 ו- 24 כוסות ניקוי בהתאמה.
 - ג.** טטיאנה מטפלת באמבטיות מס' 3 ו- 4 מכיוון הכניסה, מכניסה 24 כוסות ניקוי לכל אמבט.
 - ד.** לודה ולנה עובדות באמבטיות 1 ו- 2 לא נוכחות בתחקיר. אחראית רוזה.
 - ה.** מבצעים הפעלה של המפסקים החשמליים ע"י שחרור מפסק חירום. הדלקה ע"י לודמילה שעה קודם.
 - ו.** טטיאנה קובעת טמפ' עבודה 79°C.
 - ז.** במשך 15 הדקות הבאות, מתבצע תהליך ניקוי כאשר העובדות עם הגב למנדפים עסוקות בהכנות ליד השולחן.
 - ח.** כאשר טטיאנה מסתובבת היא מבחינה באש עולה מהאמבט הרביעי מ"סביב לה".
 - ט.** טטיאנה יוצאת החוצה. אווה יוצאת החוצה מאחר דרך החלל הטכני. בעוברה ליד אמבט מס' 4 היא מבחינה ב"אש העולה מלמטה" מסביב לאמבט.
 - י.** לפני הפינוי, אווה מספיקה להפעיל כפתור חירום להשבתת מערכת החימום.

פרק ה' - התרחישים האפשריים

התרחישים האפשריים הם ביטוי לפגמים בטיחותיים שהיו קיימים במערך האמבטיות:

1. האמבט מתרוקן והאלמנטים החשמליים לא מפסיקים לפעול:

א. קיים מפסק גובה מים, אלקטרודה, אשר אמור לנתק את זרם החשמל לאלמנטים התרמיים, כאשר מפלס המים יורד מתחת למפלס האלקטרודה. מים רגילים לא מזוקקים יכולים להשקיע מלחים על האלקטרודה, דבר שעלול לגרום לאלקטרודה לא לפעול (הלחות במים ממשיכה לקיים את המעגל). במקרה כזה, למרות ירידת המים, לא יתנתק האלמנט, דבר שיכול לגרום להתפתחות אש. אכן גילינו כמה מפסקים כאלה שלא פעלו.

ב. התרמוסטט שולט בבקרת ON-OFF על הזנת החשמל לאלמנטים. צינור התרמוסטט מותקן מעל האלמנט. הבעיה: כאשר יורד מפלס המים והאלמנט נחשף, יורדת הטמפ' של התרמוסטט ולכן הוא אינו מנתק את האלמנטים. הדבר אובחן באמבטיה פעילה. אין זה בהכרח נכון לגבי האמבטיות שהיו מעורבות בבעירה.

בחלק מהאמבטיות שבדקנו, התרמוסטט היה גבוה מהאלקטרודה, כך שתיתכן חשיפה של התרמוסטט לפני החשיפה של האלקטרודה.

2. המרעד האולטרא-סוני:

לכאורה המרעד הוא גורם המורכב מאלמנטים תמימים לענייננו.

קבלנו לידינו מרעד שלא תפקד כיוון שחדרו אליו נוזלים. הפתיחה שלו אשר בוצעה באמצעות דיסק חיתוך, לוותה בבעירה של גזים.

המסקנה שלנו היא שאל המרעד עלולים לחדור מים מהאמבטיה.

המרעד נמצא בטמפ' של הנוזל, כ- $80^{\circ}\text{C} - 75^{\circ}\text{C}$ בערך.

כאשר חודרים לשם מים, האלכוהול המומס במים מתאייד. לחץ האיידים שלו גבוה יחסית, האיידים מוצאים מוצא דרך הסדקים שאפשרו חדירת המים ודרך הצינור המוביל את המוליכים מקופסת החיבורים. האיידים מגיעים לקופסת החיבורים.

על מנת שתקרה בקופסת התלקחות ובעירה, דרושים התנאים הבאים:

- חדירת מים לקופסת המרעד.
- קשת חשמלית בקופסא.
- חוסר אטימה של הקופסא.

אם תנאים אלה מתקיימים, מתפתחת אש בעוצמה מקומית גדולה עד שמתבקעת התחתית, המים מכבים את הבעירה ומתחילים בעירה חדשה על הרצפה.

בדקנו את הקופסה לאחר פתיחתה. יש בה סימני התחממות בצד העליון כתוצאה מהבעירה החיצונית. אך הבידוד של החיווט לא בער, או לא עבר התחממות ניכרת ללא בעירה. זה מעיד על כך שלא היה תהליך של התחממות בתוך הקופסא כתוצאה מהתחממות עצמית שלה.

נזקים לדפנות: בחינה של אמבטיות העלתה שהאנרגיה האולטראסונית גורמת נזק לדפנות האמבטיות. גילינו גם חורים שנגרמו מפעולה של גלים על קוליים.

התרחישים האפשריים (המשך),

3. חדירת אלכוהול לחלל אלמנטי החימום והתעבות על הדפנות:

למדנו במהלך החקירות לאחר שיקום המתקן שאלכוהול גולש לדפנות האמבטיות. התגלית הזו התבררה לנו כאשר העברנו אצבעות רטובות על פני הדפנות של האמבטיות וטעמנו את טעמם. הטעם היה מר מאוד דבר הנובע מהחומר המפגל (מוסיפים לארכוהול תעשייתי כדי למנוע צריכה ע"י בני אדם). לאחר שהגענו למסקנה זו הצענו להלחים לדופן של כל אמבט תעלות משופעות אשר היו אמורים לנקז כל שפק חיכוני לבקבוק. אכן התברר שהבקבוקים הללו מתמלאים באלכוהול דבר שאימת את האבחנה.

מאז התקנת התעלות לא חזרו יותר אירועים של התלקחויות אלכוהול.

אבחנה נוספת נוגעת למועד המסוכן. המתקן מושבת בסוף השבוע ומופעל במוצאי שבת. בסוף השבוע הם מתקררים. אידים של מים ואלכוהול הנוכחים בחלל שמתחת לאמבטיות מתעבים על הדפנות ובתוך אלמנטי החימום. כאשר מופעלים האלמנטים החשמליים, הנוזלים מתאיידים, דבר שיוצר אוירה דליקה.

לאחר בחינת כל האפשרויות הגענו למסקנה שזו הייתה הסיבה לאירוע השריפה.

פרק ו' - סיכום אירוע השריפה

1. תוצאות האירוע והעדויות:

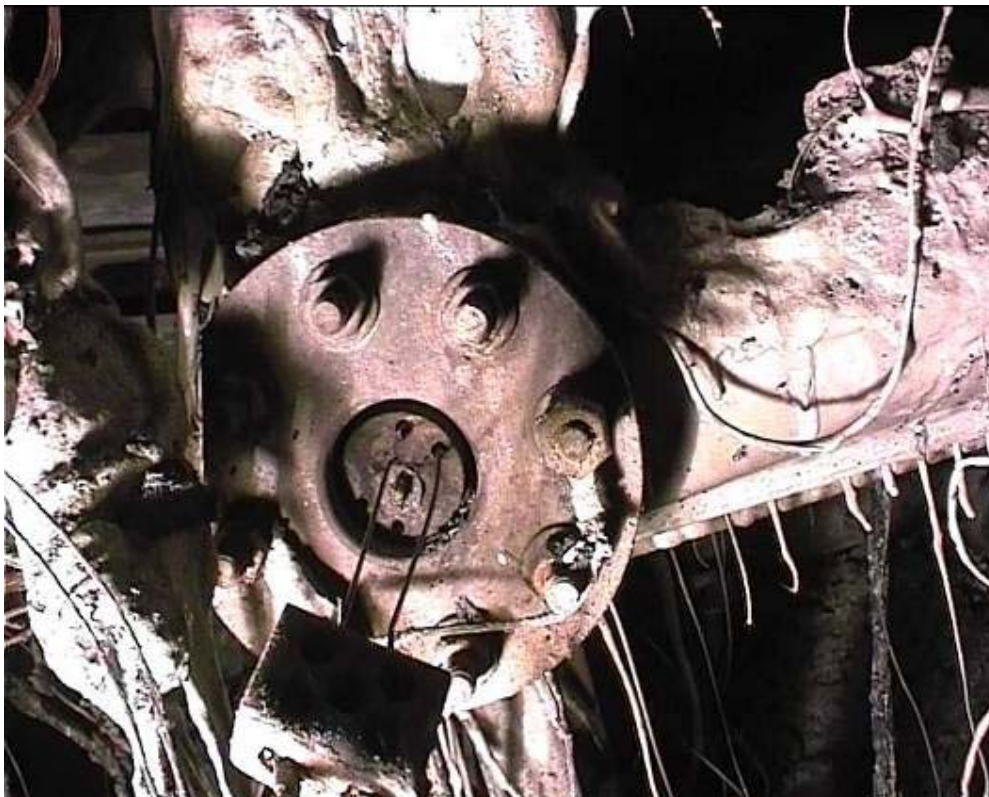
- א.** שריפה פרצה והרסה את המתקן. נזקי האש כוללים את החלל הטכני, את המנדפים והתעלות המוליכות לגג.
- ב.** נגרמו נזקי עשן ופיח קורוזיבי לתשתיות ולציוד בכל חלקי הבניין.
- ג.** לפי העדויות השריפה פרצה באמבטיה הרביעית או החמישית. ציוד החשמל מרוכז בין האמבטיות הרביעית והחמישית.
- ד.** בתחתית האמבטיה הרביעית נשרפה קופסת הסעף כדי שלושה רבעים, אבל אותו חלק נשרף בצורה יסודית. סביב הקופסה נשרפה התחתית, בצורה מעוגלת, דבר המצביע על הקופסה כמרכז הבעירה.
- ה.** צורת השריפה מעידה על הפסקה של הבעירה לכיוון החזית ובעירה של הקופסא בשלב מסוים. דבר זה יכול לנבוע מהצפה פתאומית של אזור הבעירה.
- ו.** באזורים האחרים של האמבטיה, ניתן להבחין בבעירה חזקה של הצד האחורי, שם נשרפה הדופן והצד קרס לגמרי. גם בדופן הפונה לצד של אמבט מס' 5 נשרפה הדופן וקרסה. הצד החזיתי מול הדלתות נשרף פחות, אבל חסר שם קטע בדופן החופף את האלמנט החשמלי הפנימי.
- כפי שניתן לראות בתמונות למטה, השריפה הייתה בעוצמה גדולה במפלס האלמנטים החשמליים.
- ז.** האמבטיה החמישית נפגעה עוד יותר. נשרפו כליל הדפנות, אלה שפנו אל האמבטיה הרביעית, הצד שפנה אל החלל הטכני והחור שנפער מול האלמנט החשמלי היה גדול יותר.
- ח.** גם האמבטיות אשר מהעבר השני, מול אמבטיה מס' 4, נפגעו יותר מאשר אמבטיה מס' 4.
- ט.** הצד הימני של משקוף העץ של דלתות החזית של המנדף נמצא שרוף ומפוחם. אולם מול ראש האלמנט נעלם ממש החומר. אולם, החומר נעלם יותר בצד התחתון מאשר בצד העליון.
- י.** בין שתי האמבטיות ניתן להבחין בשרידים של כבלים אשר בערו כליל, דבר המעיד על עוצמת האש אשר הייתה בין שתי האמבטיות.

המשך בעמ' 25:

פרק ו' – אירוע השריפה (המשך),



איכול חומר
האמבט בניצב
לאיזור אלמנט
החימום.



הגדלה של איזור
אלמנט החימום.

פרק ו' – אירוע השריפה (המשך),



איזור האיכול הבולט של האמבט הוא האיזור אשר סביב הצינור המכיל את אלמנט החימום ובמקביל לו



איזור האיכול הבולט של האמבט הוא האיזור אשר סביב הצינור המכיל את אלמנט החימום ובמקביל לו.

פרק ו' – אירוע השריפה (המשך),



אלמנט החימום
באמבט שנשרף



בתמונה ניתן לראות
את הנזקים שגרמה
האש למבנה.

זיון הברזל של הבטון
נחשף לאש ולקורוזיה
של החומרים שבערו.

פרק ו' – אירוע השריפה (המשך),



גג הבניין:

בתמונה העליונה ניתן לראות יציאות של תעלות המנדפים.

בתמונה התחתונה את הפיר העמוק עד לקומה ראשונה (שנייה מעל הקרקע).

המבנה הזה יוצר ארובה רבת עוצמה להתפשטות אש בתעלות פלסטיק.



פרק ו' - סיכום אירועי השריפה (המשך),

- יא. הבעירה בין האמבטיות לבין הדלתות בחזית הייתה מוגבלת. בשלב ראשון היה חסר שם חמצן ובשלב שני קירור מסיבי ע"י מי המתזים.
- יב. גם קופסת ההזנה של המרעד של האמבטיה החמישית נשרף, אבל רק בחציו התחתון במקביל לשריפת כל התחתית. הדבר מעיד על אש שרחשה מתחת לאמבטיה.

2. מסקנות:

- א. לאחר שבחנו את כל האפשרויות הגענו למסקנה שהאירוע התחיל בקופסת ההזנה של אחד האלמנטים החשמליים כתוצאה מחדירה של אלקוהול ו/או התעבות של אלקוהול בתוך קופסת החיבורים.
- ב. אולם, השריפה התפתחה למימדים שהגיעה בשל מחדלים בטיחותיות בכל הנושאים שהעלינו בפרק ג' לעיל תוך הפרת התקנים שפורטו בפרק ב' לרבות כל הוראות תקן NFPA-318 (נספח 2) כמפורט בפרק ב'.

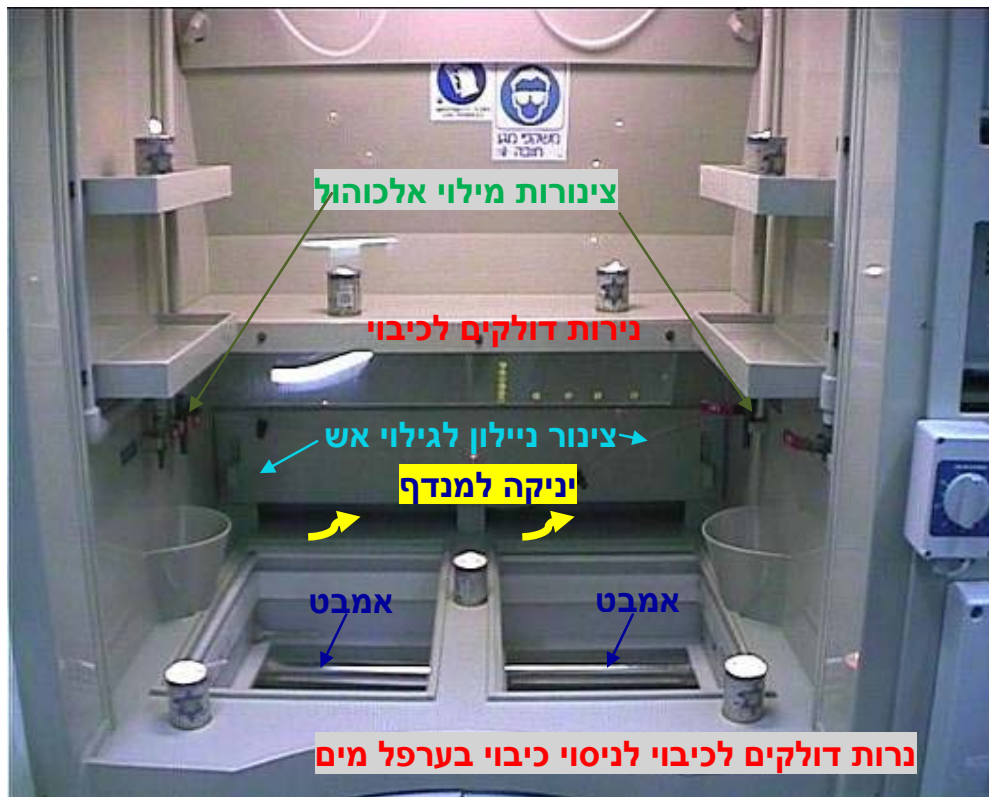
פרק ז' - פעולות שבוצעו על פי המלצותינו

לאחר אירוע השריפה בצענו חקירת אירוע, הגשנו המלצות, ישבנו בישיבות של תכנון מחדש, איפיינו מערכות לגילוי וכיבוי אש, נתיבי אוורור, פקחנו על ההתקנות, בצענו ניסויי אש, עקבנו אחרי מצב המערכות ובהתאם לכך הצענו שינויים אשר בוצעו.

1. פסלנו לחלוטין שימוש בפולפרופילן באמבטיות. שימוש רק ב-PVDF.
2. המלצנו להתקין תעלות לניקוז אלקוהול או אידי אלקוהול המתעבים בתחילת ביצוע העבודה אשר ניקזו מים ואלקוהול סביב האמבטיות לתוך מיכלים. אכן התברר שהמיכלים מתמלאים בתערובת מים ואלקוהול. מאז ביצוע הוראה זו לא היו יותר שום אירועים.
3. הותקנו מפסקי פחת אשר ניתקו את מערכות החשמל.
4. מערכות החשמל הוחלפו במערכות בעלות עמידות משופרת מפני אש.
5. הותקן סידור המתנה שמערכות חשמל יהיו מנותקות כל עת שמפוחי האוורור לא פועלים.
6. לכל חדר ניקוי הותקנה מערכת אוורור נפרדת בלתי תלויה.
7. הותקנו ברזי ניתוק אוטומטיים להפסקת ההזנה של אלקוהול מהמיכל על הגג למקרה של התראת שריפה בחדרי הניקוי.
8. הותקנו מתזים מתחת לתקרות המונמכות ומעל התקרות לכיבוי כל השטחים. כל המתזים מסווגים לתגובה מהירה.
9. הותקנו מתזים בתוך המנדפים.
10. בעמדות העבודה ובחללים מתחת לאמבטיות התקנו מערכת כיבוי אוטומטית בגז על בסיס צינור ניילון מטיפוס Firetrace. מערכת זו הוגדרה כפתרון זמני.
11. בתהליך ההתקנה דרשנו החלפת הגז מ-BCF ל-BTM. ערכנו מבחני אש ובהתאם לתוצאות הוחלף צינור ההפעלה בטיפוס אחר.
12. הותקנה מערכת כיבוי אוטומטית המבוססת על ערפל מים בלחץ גבוה (Fogtec). המערכת נוסתה בפועל ופעלה בהצלחה.

פרק ז'- פעולות שבוצעו (המשך),

13. חדרי הניקוי הופרדו במחיצות אש מהשטחים מסביב.
14. הותקנו עמדות כיבוי עם זרנוקים להפעלה מיידית ומזנקי ערפל בעלי יכולת כיבוי רבת עוצמה. עמדות כיבוי אלה חוברו למערכת המתזים.
15. כל המפעילות של חדרי הניקוי עברו הדרכה לשימוש באמצעי כיבוי כגון מטפים ומזנקי ערפל, על חבית בוערת שמכילה אלכוהול דבר שהועיל בבירור להפחית את החשש מפני אש.



בתמונה זו צולמה
לצורך בדיקת
מערכת כיבוי
אוטומטי בגז.

פרק ז'- פעולות שבוצעו (המשך),



גוף החימום הורחק מהדופן והולחם אלמנט בולט למניעת חדירה של אלכוהול לתוף קופסת החיבורים.

בהמשך הולחמו תעלות סביב האמבט עד לנקודות ניקוז.



הותקן רגש גובה נוסף לניתוק בלתי תלוי של מערכת החשמל.

פרק ז'- פעולות שבוצעו (המשך),



מבחן כיבוי אש:

**ייזום פעולה של
כיבוי בערפל
מים, זו מערכת
הכיבוי בלחץ
גבוה אשר
הותקנה באזור
העבודה, מתחת
ומתחת לאזור
העבודה.**

**ניתן לראות
בתמונות את
הערפל שיש לו
תכונות כיבוי
רבות עוצמה תוך
הגנה על
העובדים.**



פרק ז'- פעולות שבוצעו (המשך),



מבחן הצפה
בערפל לכיבוי
אש בצד הטכני
בתאים שמתחת
לאמבטים.

פרק ח' - הגורמים המעורבים

מס' הגורם	נושא/ פעילות	מסמך	תאריך
.1	חברת הנדסה מס' 1	11608-SP-007	14/02/00
		11200-P1	17/03/99
.2	חברת הנדסה מס' 2	הצהרה	23/03/99
.3	חברת הנדסה מס' 3	הצהרה	05/12/99
.4	חברת הנדסה מס' 4	הצהרה	07/02/00
.5	חברת הנדסה מס' 5	הצהרה	28/02/00
.6	חברת הנדסה מס' 6	הצהרה	03/02/00
.7	חברת הנדסה מס' 7	הצהרה	28/05/2000
.8	חברת הנדסה מס' 8	הצהרה	30/01/00
.9	חברת הנדסה מס' 9	הצהרה	לפי פקס.
.10	חברת הנדסה מס' 10	הצהרה	לפי פקס.
.11	חברת הנדסה מס' 11	הצהרה	לפי פקס.

תוכניות ספציפיות:

מס' תוכנית	מידע	הערות
.6	תוכנית למנדפים	כל החומרים בעירים. אין דרישה לתוספים מעכבי בעירה. הדבר מחייב הגנת אש יעילה
.7	תוכנית צנרת Piping System	כל החומרים בעירים. אין דרישה לתוספים מעכבי בעירה. הדבר מחייב הגנת אש יעילה מעל הצנרת ומערכת לניתוק זרימה של נוזלים.
.8	תוכנית קירות Walls Plans 03/02/00	קירות גבס אין בתוכנית הגדרה של קירות מסווגים לאש כנדרש בתקן NFPA-318

פרק ט' - סיכום

1. **בטיחות אש:** בטיחות אש היא חלק בלתי נפרד מתכנון. הבאנו דוגמה מהתייחסות השוק האירופי המשותף לתכנון בטיחות של מכונה כולל תקינה המותאמת לדירקטיבה של השוק (נספח 1). במקרה דן מדובר במערכת אשר נעשה בה שימוש בנוזלים דליקים דבר המדגיש ביתר שאת את חובת התכנון הבטיחותי להגנה על עובדים, רכוש והפעילות העסקית של המזמין.
2. **תקנים ספציפיים:** תקן NFPA-318 (נספח 2) מתייחס לחדרים נקיים של תעשיית המוליכים למחצה. הוא מתאים לחדרים הנקיים של מיקרוסוויס. אילו התמלאו דרישות התקן השריפה דן הייתה לא יותר מאירוע חולף חסר משמעות.
- הייתה גם הפרה של הוראות תקן ישראלי 1839 לבטיחות במעבדות – מנדפים בקשר עם מערכות הגנה אש וחומרי מבנה.
3. **מרכיבי הבטיחות:** שילוב של מניעה, הגנה פסיבית והגנה אקטיבית. לא היה שילוב בטיחותי כזה כפי שמסוכם להלן.
4. **הנחיות בטיחות:** בתכנון הכללי לא מצאנו הנחיות בטיחות אש בכלל, נוגע לכל הסעיפים 5 עד 13 להלן.
5. **מניעת הגעת אלכוהול לציוד חשמל:** התכנון הפרטני של מערכות האמבטיות איפשר לאלכוהול להגיע למערכות החשמל שלא היו מוגנות.
6. **מניעת חימום יתר ע"י האלמנטים החשמליים:** אמצעי ההגנה נגד לניתוק מערכות החשמל כאשר מפלס המים באמבטיה יורד היה לא מספיק (הפרת תקן NFPA-318) ואכן התגלו בו כשלים.
7. **מפסקי פחת:** לא היה סידור להגנה נגד זליגה לאדמה, דבר הנובע מחדירת לחות לציוד חשמל. סידור כזה מגן על העובדים ומקטין את הסיכוי להתלקחות (הפרת תקן NFPA-318).
8. **חומרי מבנה:** חומרי המבנה עמידים מפני אש היא הגנה פסיבית. פוליפרופילן הוא חומר בעיר אשר פולט אנרגיה גבוהה ליחידת משקל (כמעט כמו נפט). חלק מהאמבטיות ותעלות המנדפים היו עשויות מחומר זה. המנדפים בוצעו ע"י פלסטליין.
9. **הפרדת אש בין החדרים הנקיים / מנדפים ובין הסביבה (הגנה פסיבית):** לא הייתה הפרדה, דבר המהווה הפרה של NFPA-318 ות"י 1839.
10. **כיסוי ע"י מתזים אוטומטיים (הגנה אקטיבית):** לא היו מתזים מעל התקרות התותבות, לא באזור השירות ולא בתוך המנדפים, הפרה של NFPA-318 ות"י 1839.
11. **כיבוי אוטומטי בחלל העבודה מעל האמבטיות ומתחתן (הגנה אקטיבית):** בחללים האלה אשר סכנו את העובדים לא הייתה הגנה נגד אש.
12. **ניתוק אוטומטי של חשמל:** לא היה ניתוק אוטומטי של מערכות החשמל במקרה של הפעלת מערכות כיבוי.
13. **אמצעי כיבוי ידניים יעילים:** לא הייתה שום מחשבה לצייד את המפעילים ואנשי האחזקה במערכת כיבוי ידנית בעלת עוצמה.
14. **פעילות של המפקח:** לא מצאנו שום ביטוי לפעולה של המפקח לברר מדוע אין הנחיות בטיחות בפרויקט הזה.

פרק י' - מסקנות

האירוע נבע מכשלים בטיחותיים מובהקים בפרויקט הזה.

לא הבחנו בשום תכנון בטיחותי מתכני הפרויקט הראשיים - וגם לא בשום רישום של התייחסות לאמצעי הגנה נגד אש.

המוצר (מערך האמבטיות) היה רצוף ליקויים בטיחותיים.

לא הבחנו מצד מנהלי הפרויקט, המתאמים והמפקחים בשום הצבת שאלה או פעולה היכן התכנון הבטיחותי של הפרויקט אותו הם אמורים לנהל.

התוצאה הייתה מהירה מאוד: כשבוע לאחר השלמתו נשרף החדר הנקי ונגרמו נזקים כמעט לכל ציוד המפעל ולתשתיות הבניין כולל מערכות מיזוג האוויר.


בכבוד רב
דן ארבל
דן ארבל הנדסת סיכונים ושמאות בע"מ.

נספח 1 - ניהול סיכונים לפי תקן אירופאי

EN 1050 (1997) / EN ISO 14121.

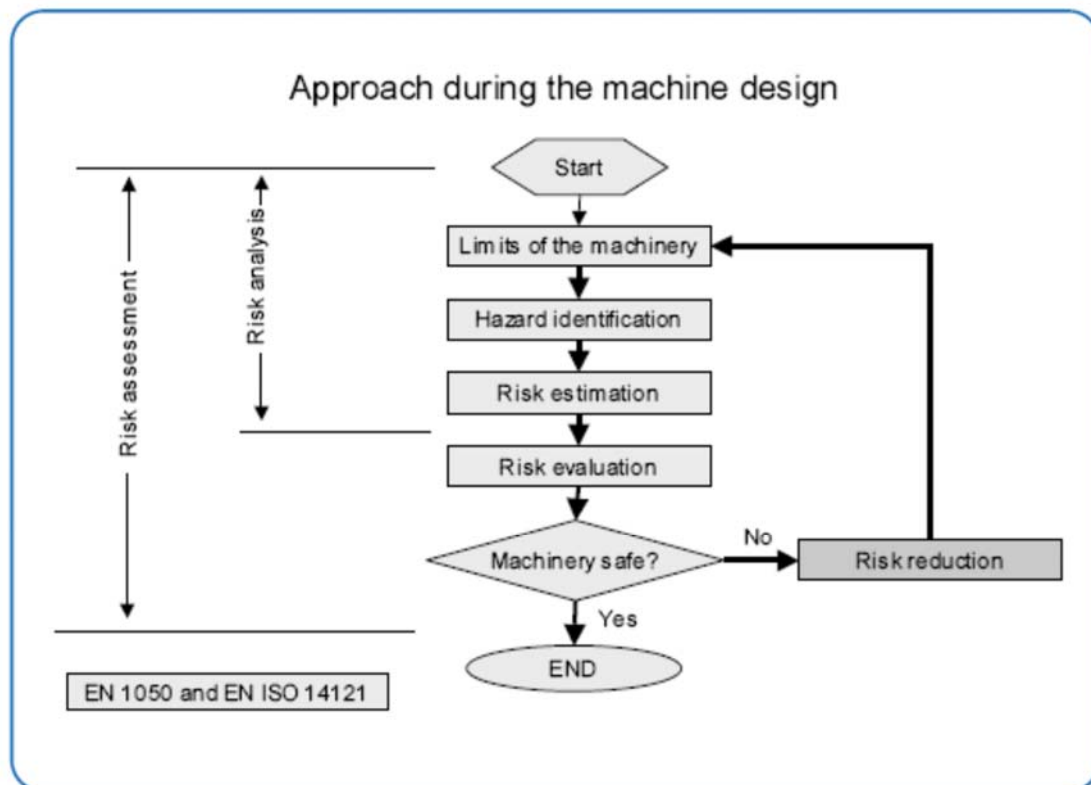
Step 1 – Risk assessment in accordance with

It can be assumed that a hazard on a machine will result in harm sooner or later if safety measures are not put in place.

Safety measures are a combination of these measures taken by the designer and those implemented by the user. Measures taken at the design phase are preferable to those implemented by the user, and generally they are also more effective.

The designer must follow the sequence described below, bearing in mind the experience gained by users of similar machinery and information gained from discussions with potential users:

- Establish the limits and the intended use of the machinery;
- Identify the hazards and any associated hazardous situations;
- Estimate the risk for each identified hazard and hazardous situation;
- Evaluate the risk and decide on the need for risk reduction.



נספח 2-NFPA 318 תקן להגנה על חדרים נקיים

NFPA 318

Standard for the Protection of Cleanrooms

2000 Edition

Chapter 2 Fire Protection

2.1 Automatic Fire Extinguishing Systems.

2.1.1* **General.** Wet pipe automatic sprinkler protection shall be provided throughout facilities containing cleanrooms and clean zones.

2.1.2 Automatic Sprinkler Systems.

2.1.2.1* Automatic sprinklers for cleanrooms or clean zones shall be installed in accordance with NFPA 13, *Standard for the Installation of Sprinkler Systems*, and shall be hydraulically designed for a density of 0.20 gpm/ft² (8.15 L/min·m²) over a design area of 3000 ft² (278.8 m²).

2.1.2.2* Approved quick-response sprinklers shall be utilized for sprinkler installations within down-flow airstreams in cleanrooms and clean zones.

2.1.2.3* Sprinklers shall be installed in gas cylinder cabinets that contain flammable gases.

נספח 2 – NFPA-318, המשך;

A.2.1.2.1 Typical configurations of cleanrooms and their chases and plenums create numerous areas that might be sheltered from sprinkler protection. These areas can include air-mixing boxes, catwalks, hoods, protruding lighting, open waffle slabs, equipment, piping, ductwork, and cable trays. Care should be taken to relocate or supplement sprinkler protection to ensure that sprinkler discharge covers all parts of the occupancy. Care should also be taken to ensure that sprinklers are located where heat will be satisfactorily collected for reliable operation of the sprinkler.

Gaseous fire suppression systems are not substitutes for automatic sprinkler protection. The large number of air changes in cleanrooms can cause dilution or stratification of the gaseous agent.

It is recommended that sprinkler systems be inspected at least semiannually by a qualified inspection service. (*See NFPA 25, Standard for the Inspection, Testing, and Maintenance of Water-Based Fire Protection Systems.*) The length of time between such inspections can be decreased due to ambient atmosphere, water supply, or local requirements of the authority having jurisdiction.

Prior to taking a sprinkler system out of service, one should be certain to receive permission from all authorities having jurisdiction and to notify all personnel who might be affected during system shutdown. A fire watch during maintenance periods is a recommended precaution. Any sprinkler system taken out of service for any reason should be returned to service as promptly as possible.

A sprinkler system that has been activated should be thoroughly inspected for damage and its components replaced or repaired promptly. Sprinklers that did not operate but were subjected to corrosive elements of combustion or elevated temperatures should be inspected and replaced if necessary, in accordance with the minimum replacement requirements of the authority having jurisdiction. Such sprinklers should be destroyed to prevent their reuse.

נספח 2 – NFPA-318, המשך;

A.2.1.2.2 The use of quick-response sprinklers, while still delayed in opening by the downward airflow, would respond to a smaller-size fire more quickly than would conventional sprinklers. (Glass bulb-type quick-response sprinklers might be preferable to other types of quick-response sprinklers.)

A.2.1.2.3 It is recommended that an approved 135°F (57°C), 3/8-in. (9.5-mm) orifice sprinkler be used. It is recommended that a sprinkler be installed in all gas cylinder cabinets.

A.2.1.2.4 The purpose of the water spray deluge system is to cool the cylinders. The water spray nozzle should be located to maximize cylinder cooling and minimize damage to electrical control systems. Optical detectors could also serve the function required in 2.3.3.

2.1.2.4* Automatic quick-response sprinkler heads or a deluge system shall be provided in the proximity of and directed at individual silane cylinders in silane dispensing areas as described in Sections 6.4 and 6.5.

Exception: Where the open dispensing system is in accordance with Sections 6.4, 6.5, and Chapter 7, and designed to mitigate the effects of detonation, the automatic deluge water spray system shall not be required.

2.1.2.5* Automatic sprinkler protection shall be designed and installed in the plenum and interstitial space above cleanrooms in accordance with NFPA 13, *Standard for the Installation of Sprinkler Systems*, for a density of 0.20 gpm/ft² (8.15 L/min·m²) over a design area of 3000 ft² (278.8 m²).

Exception: Automatic sprinklers can be omitted if the construction and occupancy of these spaces are noncombustible.

נספח 2: NFPA-318 - המשך

A.2.1.2.5 Examples of combustible materials that might be found in these spaces are as follows:

- (1) Roof, floor, wall construction materials
- (2) Unapproved HEPA or ULPA filter modules
- (3) Supply air or exhaust ducts
- (4) Air-handler unit enclosures or air plenum boxes
- (5) Exposed electrical cable or pipe insulation
- (6) Plastic piping
- (7) Flammable or combustible liquid piping

2.1.2.6 All combustible exhaust ducts shall have interior automatic sprinklers where the largest interior cross-sectional diameter is equal to or greater than 10 in. (254 mm).

Exception: Ducts approved for use without internal automatic sprinklers.

2.1.2.6.1* Sprinklers installed in duct systems shall be hydraulically designed to provide 0.5 gpm (1.9 L/min) over an area derived by multiplying the distance between the sprinklers in a horizontal duct by the width of the duct. Minimum discharge shall be 20 gpm (76 L/min) per sprinkler from the five hydraulically most remote sprinklers. Sprinklers shall be spaced a maximum of 20 ft (6.1 m) apart horizontally and 12 ft (3.7 m) apart vertically.

2.1.2.6.2 A separate indicating control valve shall be provided for sprinklers installed in ductwork.

נספח 2: NFPA-318 (המשך).

2.1.2.6.3* Drainage shall be provided to remove all sprinkler water discharged in ductwork.

2.1.2.6.4 Where corrosive atmospheres exist, duct sprinklers and pipe fittings shall be manufactured of corrosion-resistant materials or coated with approved materials.

2.1.2.6.5 The sprinklers shall be accessible for periodic inspection and maintenance.

2.1.2.6.6* Where the branch exhaust ductwork is constructed of combustible material, automatic sprinkler protection shall be provided within the workstation transition piece or the branch exhaust duct.

2.1.2.6.7 Where the branch exhaust ductwork is subject to combustible residue buildup, regardless of the material of construction, automatic sprinkler protection shall be provided.

2.1.2.7* Automatic sprinklers shall be provided in pass-throughs used to convey combustible chemicals.

2.2 Alarm Systems.

2.2.1 The discharge of an automatic fire suppression system shall activate an audible fire alarm system on the premises and an audible or visual alarm at a constantly attended location.

2.2.2 Signal transmission for alarms designed to activate signals at more than one location shall be verified at each location during each test of the alarm system.

2.2.3 A manual notification system shall be provided to result in an audible alarm as described in 2.2.1.

נספח 2: NFPA-318 (המשך).

2.3 Detection Systems.

2.3.1* A listed or approved smoke detection system shall be provided in the cleanroom return airstream at a point before dilution from makeup air occurs. The system shall have a minimum sensitivity of 0.03 percent per foot obscuration. The system shall be capable of monitoring particles to 10 microns or less. Where the system is of the light-scattering type, it shall have a minimum sensitivity of 0.03 percent per foot obscuration; where the system is of the cloud chamber type, it shall have a minimum sensitivity of 50,000 particles per millimeter.

2.3.2* Smoke detection within a cleanroom air system shall result in an alarm transmission to a constantly attended location as well as a local alarm signal within the cleanroom that is distinctive from both the facility evacuation alarm signal and any process equipment alarm signals in the cleanroom.

2.3.3 Detection shall be provided at silane gas cylinders in the open dispensing systems described in Sections 6.4 and 6.5. Activation of detectors shall result in the closing of the cylinder automatic shutoff valves described in 6.1.2.

2.3.4* Where the potential exists for flammable gas concentrations to exceed 20 percent of the lower flammability limit (LFL), a continuous gas detection system shall be provided.

2.3.5 Listed or approved smoke detectors shall be provided at the exit of both the makeup and recirculation air-handling units.

נספח 2: NFPA-318 (המשך).

4.2 Fire Resistance Rating. Cleanrooms shall be separated from adjacent occupancies by 1-hour fire resistance-rated construction.

8.4 Process Liquid Heating Equipment. Electric immersion heaters and hot plates shall not be used in combustible tools or tools using combustible or flammable liquids.

Exception: Stand-alone electric water heaters, external to combustible wet stations, or bonded heaters shall be permitted.

8.4.1 Where used, stand-alone electric water heaters shall include the following safeguards.

(a) The electrical supply connection shall include a ground fault interrupt circuit breaker with appropriately sized over-current protection.

(b) An automatic temperature control system shall be included.

(c) A power interrupt circuit with manual reset that removes all power to the heating elements when activated shall be included. Upon activation of this circuit a system warning alarm shall be provided to the operator.

(d) A liquid level detection system shall remove power from the heating element if liquid level falls to a point where any portion of the element is exposed. This circuit shall include at least two independent liquid level sensing devices. It shall activate the power interrupt circuit required in (c).

(e) An over-temperature detection system shall remove power from the heating element if the temperature of the liquid rises to a point where it is clear that a failure of the automatic temperature control system has occurred. This circuit shall include at least two independent temperature-sensing devices. It shall activate the power interrupt circuit required in (c).

נספח 2: NFPA-318 (המשך).

8.4.2 Electrically heated chemical baths shall have the following safeguards.

(a) The electrical supply connection shall include a ground fault interrupt circuit breaker with appropriately sized over-current protection.

(b) An automatic temperature control system shall be included.

(c) A power interrupt circuit with manual reset that removes all power to the heating elements when activated shall be included. Upon activation of this circuit a system warning alarm shall be provided to the operator.

(d) A liquid level detection system shall remove power from the heating element if liquid level falls to a point where any portion of the element is exposed. This circuit shall include at least two independent liquid level sensing devices. It shall activate the power interrupt circuit required in (c).

(e) An over-temperature detection system shall remove power from the heating element if the temperature of the liquid rises to a point where it is clear that a failure of the automatic temperature control system has occurred. For baths containing flammable or combustible liquids, this circuit shall remove power from the heating element prior to temperature of the fluid reaching its flash point. This circuit shall include at least two independent temperature-sensing devices. It shall

8.5 **Materials of Construction.** Tools shall be of noncombustible construction.

Exception No. 1: Small parts within the tool such as knobs, buttons, electrical contacts, and terminal strips.

Exception No. 2: Materials listed for use without internal fire detection and suppression.*

Exception No. 3: Fire sprinklers, approved gaseous agent fire suppression systems, or other approved engineering controls designed to prevent or limit fire damage.

נספח 2: NFPA-318 (המשך).

A.8.5 Exception No. 2. Factory Mutual Research Corporation has developed Test Standard 4910 "Cleanroom Material Flammability Test Protocol" to provide guidance for the assessment of the fire hazard expected of materials used in environments highly sensitive to thermal and nonthermal damage, such as within cleanrooms in the semiconductor industry.

The protocol utilizes three small scale tests and a large scale validation test if needed. Small scale tests are performed in a flammability apparatus that includes a fire products collector and data evaluation equipment.

The tests are as follows:

- (1) Ignition tests
- (2) Fire propagation tests
- (3) Combustion tests

Based on results of the three, small scale tests the following indexes are determined for each material tested:

(a) *Fire Propagation Index (FPI)*. This index is determined based on the fire propagation tests conducted and represents the ease/difficulty of fire propagation on the surface of the material beyond the ignition zone, under simulated flame heating conditions expected in large scale fires. Nonpropagating materials have FPI values at or below 6.0.

(b) *Smoke Damage Index (SDI)*. This index is defined as the product of the FPI index and the yield of smoke for a given material and represents the rate at which smoke is expected to be released during fire propagation. Materials expected to restrict smoke damage have an SDI of 0.4 or less.

Materials that meet the flammability protocol criteria require high heat fluxes to be ignited; once ignited these materials can burn locally in the ignition area, but they will not propagate a fire beyond the ignition zone. Smoke and corrosive products generated from the combustion of these materials is reduced, minimizing nonthermal damages.

Another test standard is UL 2360, *Standard Test Method for Determining the Combustibility Characteristics of Plastics Used in Semiconductor Tool Construction*. Testing is based on the cone calorimeter test established in ASTM E 1354, *Standard Test Method for Heat and Visible Smoke Release Rates for Materials and Products Using an Oxygen Consumption Calorimeter*. Tests can be correlated with the parallel panel test.

נספח 3 – ת"י 1939

תקן ישראלי - ת"י 1839

דצמבר 1995

תוקן בתמוז תשנ"ח - יולי 1998

בטיחות במעבדות - מנדפים

Safety in Laboratories - Fume cupboards

2.14 FIRE PROTECTION

2.14.1 Fixed fire protection (See also Appendix A for information on fire-retardant materials for use in fume cupboards.) Where the building has an automatic fixed water sprinkler system for fire protection, a sprinkler head should be located on the ceiling of the room within 1 m of the centre of the face of the fume cupboard. Should significant fire or heat escape from the fume cupboard, the sprinkler will help to minimize the spread of fire to adjacent laboratory areas.

A separate water sprinkler, designed to create a misting effect when operated, should be fitted in the fume cupboard throat to protect the exhaust duct by cooling hot gases being drawn into the exhaust. If fitted, these sprinkler heads shall be—

- (a) protected against corrosion or made from corrosion-resistant materials;
- (b) fitted with a manual cut-off;
- (c) operated by the thermal detector specified in Clause 2.14.2; and
- (d) maintained in an operable state and inspected at least annually.

In specialized cases, protection by a foam system, a dry powder system or a fixed, gas flooding system may be required. The installation of such systems shall comply with AS 3689.1. Canisters of extinguishant shall be installed outside the fume cupboard chamber to avoid corrosion of the canisters. Care should be taken to ensure that discharge velocities of extinguishing systems are not so great as to create a further hazard by displacing materials within the fume cupboard.

2.14.2 Thermal detectors Detectors located in the exhaust throats of fume cupboards and exhaust ducts shall be corrosion resistant and should activate at a temperature not more than 60°C, in order to detect any fire in its early stages. (For example, an exhaust flow of 400 L/s will increase in temperature by approximately 2°C for each kilowatt of heat release within the fume cupboard.)

2.14.3 Fire extinguishers In addition to fire extinguishers provided in accordance with AS 2444, an extinguisher of 5B rating (for light hazard) shall be available at a distance of 4 ± 1 m from the fume cupboard. The fire extinguisher shall not be installed on the outside of the fume cupboard as heat or smoke may prevent its use.

נספח 3- ת"י 1839 המשך.

3.2.5.4 Construction and installation Construction and installation of the fan shall permit access for cleaning all parts of the fan in contact with fumes. Permanent warning labels shall be affixed to the fan for the protection of maintenance staff, indicating precautions that need to be taken before cleaning and whether a permit is required before commencing work.

3.2.5.5. Fan operation Exhaust fans shall remain in operation whenever the cupboard is in use, and shall not be switched off in the event of fire, except when the discharge of a gaseous fire suppressant is activated.

3.2.6.5 Fire isolation of exhaust ducts Where fume cupboard exhaust ducts pass through more than one fire compartment, the ducts shall be protected to achieve a fire rating of not less than the rating of compartments penetrated. Fire protection may be achieved by fitting fire-rated ducts, enclosing ducts within individual fire compartmented accommodation ducts or by running the ductwork outside the building.

The installation of fire-isolation devices should be avoided as, when activated, they interfere with the extraction of fumes and smoke. Fire-isolation devices, if used, shall—

- (a) be corrosion-resistant;
- (b) comply with AS 1682;
- (c) have blades and mechanisms that are clear of the airflow; and
- (d) be accessible for inspection and maintenance.

APPENDIX A

MATERIALS OF CONSTRUCTION

(Normative)

A1 GENERAL The materials of construction of those parts of the fume cupboard (including service outlets and exhaust ducts) that are likely to come into contact with fume shall be selected to satisfy the nature of chemicals to which materials are to be exposed and the requirements of the user.

All materials used in the construction of the fume cupboard shall be tested in accordance with AS 1530.3, to determine the ignition time, fume propagation time, the heat release integral and the smoke released. Wherever possible, fire-retarded materials shall be used for the interior of the fume cupboard.

Processes carried out within most fume cupboards change with time. Fume cupboards should therefore be designed and constructed to meet a wider range of conditions than originally anticipated.

Where the fume cupboard is likely to be used for work with highly toxic or aggressive substances, or both, e.g. concentrated mineral acids, the chamber interior shall be free from crevices and ledges, so that decontamination may be effected efficiently. All corners and joints shall be welded or sealed and be made smooth. Corners shall have a generous radius to aid decontamination.

For information on materials of construction for fume cupboards intended for specialized work, e.g. use of perchloric acid or radioactive materials, see Appendix B. The following is a list of materials used for fume cupboard construction. It refers to commonly used materials and does not cover all materials that are available. Materials should be tested for resistance to abrasion and chemical attack.

נספח 3- ת"י 1839 המשך,

3.2.5.4 Construction and installation Construction and installation of the fan shall permit access for cleaning all parts of the fan in contact with fumes. Permanent warning labels shall be affixed to the fan for the protection of maintenance staff, indicating precautions that need to be taken before cleaning and whether a permit is required before commencing work.

3.2.5.5. Fan operation Exhaust fans shall remain in operation whenever the cupboard is in use, and shall not be switched off in the event of fire, except when the discharge of a gaseous fire suppressant is activated.

A4 PLASTICS MATERIALS Plastics materials used in the construction of fume cupboards and duct systems may constitute a fire hazard owing to flammability and loss of strength at high temperatures.

Before using any polymeric materials, the polymer manufacturer or supplier should be consulted as to which grade is the most suitable for the intended use. Some suitable polymeric materials are as follows:

(a) *Unplasticized PVC (polyvinyl chloride)* Unplasticized PVC has good resistance to most chemicals. Care should be taken with spillage of certain solvents. It begins to soften at about 60°C but does not readily burn; however, the products of combustion contain significant quantities of hydrochloric acid which will damage electrical equipment and is injurious to health. Its strength and thermal resistance will be improved by external lamination with glass-fibre reinforced polyester resin. However, this will not improve its fire resistance.

Transparent PVC may be an alternative to glass in the construction of the sash.

(b) *Polypropylene* Polypropylene has slightly better thermal resistance than PVC but it burns and it drips as it burns. It is resistant to most solvents.

(c) *Glass-fibre reinforced plastics (GRP)* Any GRP used in the construction of a fume cupboard shall be of fire-retardant grade.

To maintain the impervious chemically resistant surface, it is important that GRP be contact-moulded to ensure an unbroken gel coat. Where glass fibres come to the surface, either from wear, physical damage or from use of a non-contact-moulding technique, capillary transmission of chemicals, e.g. perchloric acid, into the body of the GRP can occur. Appropriate additives can also be incorporated into the gel coat resins to reduce flammability but this may also reduce chemical resistance. An isophthalate resin has much better chemical and corrosion resistance than an orthophthalate resin.

(d) *Polymethylmethacrylate* Polymethylmethacrylate may be used for viewing panels. It has better impact resistance than glass but softens at about 60°C. It has limited chemical resistance and is flammable.

(e) *Polycarbonate* Polycarbonate may be used for viewing panels and has very high mechanical strength and better impact resistance than polymethylmethacrylate, but has less chemical resistance. It has better thermal resistance, softening at about 150°C.

(f) *Melamine-formaldehyde laminates* Melamine-formaldehyde laminates provide suitable working surfaces if thicker than 6 mm supported or 10 mm unsupported. These laminates are fire-resistant.

נספח 3- ת"י 1839 המשך,

APPENDIX A
MATERIALS OF CONSTRUCTION
(Normative)

A1 GENERAL The materials of construction of those parts of the fume cupboard (including service outlets and exhaust ducts) that are likely to come into contact with fume shall be selected to satisfy the nature of chemicals to which materials are to be exposed and the requirements of the user.

All materials used in the construction of the fume cupboard shall be tested in accordance with AS 1530.3, to determine the ignition time, fume propagation time, the heat release integral and the smoke released. Wherever possible, fire-retarded materials shall be used for the interior of the fume cupboard.

Processes carried out within most fume cupboards change with time. Fume cupboards should therefore be designed and constructed to meet a wider range of conditions than originally anticipated.

Where the fume cupboard is likely to be used for work with highly toxic or aggressive substances, or both, e.g. concentrated mineral acids, the chamber interior shall be free from crevices and ledges, so that decontamination may be effected efficiently. All corners and joints shall be welded or sealed and be made smooth. Corners shall have a generous radius to aid decontamination.

For information on materials of construction for fume cupboards intended for specialized work, e.g. use of perchloric acid or radioactive materials, see Appendix B. The following is a list of materials used for fume cupboard construction. It refers to commonly used materials and does not cover all materials that are available. Materials should be tested for resistance to abrasion and chemical attack.