



אתר: www.eco-safe.co.il טל. 04- 8257181, פקס. 04- 8260519
ת.ד. 3745 חיפה 31037

דו"ח הערכת סיכונים במתקן הפרדת גז וצנרת הובלת גז באתרים דור ועין אילה מקידוחי תמר ודלית

עמוד זה הושאר ריק במתכוון

אישורים

תאריך	חתימה	תפקיד	שם	תיאור
		מהנדס (B.Sc Chem. Eng., M.Sc Env. Eng)	דורון שורץ	חיברו
		מהנדסת (B.Sc (.Chem. Eng	אולגה שצמן	
		מהנדס מחקר- EE Senior Member IEEE	אבי ברילנט	סייע בעריכה
			דורון שורץ	בדק
			תומר מירז	אישר

מהדורות

פרטים	תאריך	שם	גרסה
משלוח גרסא ראשונה לנציג הלקוח (תומר מירז)	2.8.2010	דורון שורץ	A
פרסום טיוטה סופית	1.11.10	דורון שורץ	B
גרסא נוכחית	9.12.10	דורון שורץ	C

עמוד זה הושאר ריק במתכוון

הגבלת אחריות

חוות דעת זאת מתבססת על נתונים ומסמכים שנמסרו לחברת "אקו-סייפ (1994) בע"מ" ע"י נציגי המועצות המקומיות זיכרון יעקב, דור, פרדיס, המועצה האזורית חוף הכרמל, וכן המשרד להגנת הסביבה.

חברת "אקו סייפ" אינה אחראית לתוצאות והשלכות העלולות להיווצר כתוצאה משימוש לא נכון ולא יעיל במסמך זה או כתוצאה מנתונים שגויים שנמסרו לה לצורך הכנת מסמך זה, או העדר נתונים נוספים שלא נמסרו בעת כתיבת דו"ח זה ושנתגלו לאחר כתיבת הדו"ח.

עמוד זה הושאר ריק במתכוון

תוכן

13.....	1. כללי.....
14.....	2. מטרת המסמך.....
14.....	3. שיטת העבודה ומבנה הדו"ח.....
15.....	4. מסמכים ישימים.....
16.....	5. רשימת קיצורים וסימנים רלוונטיים לעבודה.....
16.....	6. מונחים והגדרות.....
18.....	7. סקירת מערך ייצור הגז ועיבודו.....
18.....	7.1. מערך שינוע הגז מהבאר לחוף.....
21.....	7.2. מתקן הטיפול בגז.....
24.....	7.3. הרכב הגז.....
26.....	8. האתרים המוצעים ע"י נובל אנרג'י להקמת המפעל והערכת טווחי סיכון לאתרים אלו.....
62.....	8.1. אתר דור: תיאור סביבה ותוצאות הערכות הסיכונים.....
29.....	8.2. אתר עין איילה.....
30.....	8.3. חלופות קיסריה וחדרה.....
31.....	8.4. מתקני הפחתת לחץ – GPRS.....
31.....	8.4.1. אופציה א' – חוף דור.....
33.....	8.4.2. אופציה ב' – מתקן שדות ים.....
34.....	9. דוגמאות לתאונות גז טבעי בעולם.....
37.....	10. תרחישי כשל אופייניים למפעל עיבוד גז טבעי.....
37.....	10.1. פיצוץ ענן VCE.....
40.....	10.2. התבקעות מיכל גז מונזל רותח BLEVE.....
42.....	10.3. בריכת אש - Pool Fire.....
43.....	11. מודלים חישוביים.....
43.....	11.1. מודלים להערכת הנזק מפיצוץ ענן גז VCE.....
44.....	11.1.1. נושא הגבלת כמות חומר מעורב בפיצוץ ל- 100 טון.....
48.....	11.2. מודל להערכת נזק ופגיעה מכדור אש.....
50.....	11.3. מודל לחישוב השפעת קרינה מבריכת אש Pool Fire.....
50.....	11.4. מודל לחישוב טווח לגבול דליקות תחתון - ALOHA.....
50.....	12. בחירת תרחישי ייחוס.....
50.....	12.1. בחירת תרחישי ייחוס על פי הנחיות המדריך לניהול סיכונים של המשרד להגה"ס.....
51.....	12.2. הנחיות פיקוד העורף ענף חומרים מסוכנים.....
52.....	12.3. הנחיות ה-EPA האמריקאי.....

54.....	12.3.1 התרחיש הנבחר ושיטת החישוב לסימולציה
55.....	13 תהליך החישוב.....
55.....	13.1 כלי החישוב.....
55.....	13.2 הערכת סיכונים.....
56.....	13.2.1 תרחיש דליפה מצנרת כניסה למתקן הגפה חופי.....
60.....	13.2.2 תרחיש דליפה מצנרת למתקן הקבלה.....
63.....	13.2.3 תרחיש קטסטרופלי של קרע שתי הצנרות בקטע החופי לפני כניסה ל-GPRS.....
66.....	13.2.4 הערכת סיכונים ל-VCE על פי התו"ל של גופי החרום.....
67.....	13.2.5 הערכת סיכונים לבריכת אש - Pool Fire.....
70.....	13.2.6 הערכת סיכונים ל-H ₂ S.....
72.....	13.2.7 תרחיש דליפת גט"נ (במידה ויוחלט על אחסון באתר).....
77.....	13.3 סיכום טווחי סיכון.....
78.....	14 ניתוח תוצאות.....
83.....	15 נספח מדעי - מאת אבי ברילאנט, עמותת Gas Out.....
83.....	15.1 היבטים רפואיים.....
90.....	15.2 רקע תיאורטי.....
95.....	16 מקורות.....

רשימת איורים

- איור 1: תיאור פיתוח שדה תמר – נובל אנרג'י [מסמך ישים H]..... 19
- איור 2: לחץ הגז בצינור כתלות המרחק מנקודת קידוח [מסמך ישים H]..... 23
- איור 3: תיאור תהליך פטרוכימי מתקן דור תכנון ראשוני נובל אנרג'י [מסמך ישים B]..... 22
- איור 4: תיאור תוכנית פיתוח שטח תכנון ראשוני נובל אנרג'י [מסמך ישים B]..... 23
- איור 5: הדמיה ממוחשבת של המתקן המתוכנן באתר דור [מסמך ישים F]..... 26
- איור 6: תצלום אוויר של איזור חוף דור, עם ציון מרחקים לאוכלוסייה..... 27
- איור 6-א: טווחי סיכון למפעל הגז מאתר דור..... 28
- איור 7: תצלום אוויר אזור מחצבת עין איילה, עם ציון מרחקים לאוכלוסייה..... 29
- איור 8: מיקום מוצע לתחנת GPRS בחוף דור, עם סימון טווח הסיכון כפי שחושב לתרחיש המחמיר
Bookmark not defined.
- איור 8.א': חפיפה בין טווחי הסיכון לתרחיש מפעל באתר דור דרום ולתרחיש GPRS בחוף דור..... 32
- איור 9.א.: תצלום אוויר אזור חלופת שדות ים, עם ציון מרחקים לאוכלוסייה..... 33
- איור 9.ב.: טווח הסיכון לזק ניתן לתיקון של בניינים בחלופת שדות ים..... 33
- איור 10.א.: מיקום התאונה בבליגה, 2004 [37]..... 35
- איור 10.ב.: תצלום של צינור קרוע במקום התאונה בבליגה [37]..... 35
- איור 11: תצלום אוויר של אזור התאונה בבליגה [37]..... 35
- איור 12: תלות הלחץ בזמן בתהליך של דטונציה – תרשים סכמטי..... 38
- איור 13: התנהגות מתכת בטפרטורות גבוהות (עקומת כשל)..... 40
- איור 14: שלבים בהתפתחות BLEVE..... 41
- איור 15: תרחיש ייחוס לצנרת על פי "הספר הצהוב" [E]..... 53
- איור 16: גרפים של טווחי סיכון לבריכת אש כפונקציה של קוטר הבעירה..... 68
- איור 17: טווחי סיכון לבריכת אש כפונקציה של קוטר הבעירה..... 69
- איור 18: תיאור בליעת הקרינה בעור אדם כתלות באורך הגל [1]..... 83
- איור 19: הגדרת טווח הביטחון לכוויה ממקור [1]..... 84

- איור 20: הגדרת טווח הביטחון לכוויה ממקור קורן חום [18] 85
- איור 21: נזקי מתקף גל הלים עבור אזור אורבאני עם מבנים בגבהים שונים [19] 86
- איור 22: הערכת עוצמת פיצוץ בכדי לפגוע בגוף האדם [9] 87
- איור 23.א.: הערכת עוצמת פיצוץ בכדי לגרום פגיעות לגוף האדם. 88
- איור 23.ב.: הערכת עוצמת פיצוץ בכדי לגרום פגיעות לגוף האדם. 88
- איור 23.ג.: הערכת עוצמת פיצוץ כאשר גוף האדם מצוי ליד משטח מחזיר הניצב לגל ההלים. 89
- איור 24: אגן היקוות. 91
- איור 25: דוגמה לכדור אש. 91
- איור 26: הגדרות לכדור אש Fire Ball. 92
- איור 27: תיאור גל הלים Shock-Wave כתלות בזמן. 93

רשימת טבלאות

- טבלה 1: אפיון הרכב הגז למכירה [A] 24
- טבלה 2: רמת הנזק כתלות בלחץ היתר. 38
- טבלה 3: השפעת עוצמת פיצוץ ענן על בני אדם. 43
- טבלה 4: השפעת עוצמת פיצוץ על מבנים. 44
- טבלה 5: מרחק סיכון מותאם כתלות בלחץ השיא. 46
- טבלה 6: פונקציית Probit [29] 48
- טבלה 7: תוצאות חישובים לנזק פיצוץ בדקות ראשונות לקצב דליפה 108 טון לדקה. 58
- טבלה 8: תוצאות חישובים לנזק פיצוץ בדקות ראשונות לקצב דליפה 50 טון לדקה. 58
- טבלה 9: תוצאות חישובים לנזק פיצוץ בדקות ראשונות לקצב דליפה 78 טון לדקה. 62
- טבלה 10: תוצאות חישובים לנזק פיצוץ בדקות ראשונות לקצב דליפה 70 טון לדקה. 62
- טבלה 11: חישוב טווח סיכון לתרחיש המחמיר (קרע בשצי הצנרות) בתחילת הדליפה. 65
- טבלה 12: חישוב טווח סיכון לתרחיש המחמיר (קרע בשתי הצנרות) כעבור 2 דקות. 65
- טבלה 13: חישוב טווחי הרס לפי התו"ל של גופי החרום (כמות עד 100 טון). 66
- טבלה 14: חישוב טווח סיכון למיכל גט"נ - חור בקוטר 10" בתחתית המיכל. 76

טבלה 15: סיכום טווחי הסיכון לפיצוץ בתרחישים השונים.....77

טבלה 16: פציעות כווייה בתלות ברמת החשיפה למקור חום.....85

תקציר מנהלים:

מצבורי הגז הטבעי שנתגלו לאחרונה לחופי ישראל הינם משאב בעל חשיבות כלכלית ואסטרטגית אדירה. הגז הטבעי הוא מקור אנרגיה נקי יחסית, ובעידן בו מאגרי הנפט והפחם הידועים בעולם כולו הולכים ומידלדלים, חשיבותו היא קריטית.

בכדי לנצל מאגרי גז אלו, קיים הצורך בהקמת מערך שאיבה, הובלה והפחתת לחץ (כל זה על אסדה בים או במתקנים חופיים), מפעל לטיפול בגז ומערך שינוע יבשתי.

הקמת המערך הנ"ל כרוכה בבעיות רבות, ביניהן סוגיית הבטיחות.

הגז מתאן, המהווה רכיב עיקרי בגז הטבעי, הוא גז דליק ונפיץ. טווחי הסיכון מפיצוץ כמות גדולה של גז המשתחרר מדליפה חזקה יכולים להגיע לסדר גודל של קילומטר. כמו כן, תהליך הטיפול בגז הגולמי כרוך בשימוש בכימיקלים רבים (חלקם דליקים ו/או רעילים לסביבה) והרחקה מהגז הגולמי של חומרים שונים, חלקם רעילים מאוד (כגון H_2S) או דליקים מאוד (כגון תזקיני נפט שונים).

במהלך העשורים האחרונים אירעו בארץ ובעולם מקרים רבים של תאונות קטלניות המערבות דליפה ופיצוץ של גזים דליקים, ביניהן גם תאונות של גז טבעי.

מטבע הדברים, הצהרת כוונותיה של החברה Noble Energy (NE) להקים מפעל לקליטה וטיפול בגז טבעי באזור חוף הכרמל, באחד מהמיקומים העומדים על הפרק נכון ליום כתיבת העבודה (חוף דור, קיסריה - אזור שדות ים, מחצבת עין איילה, חדרה – מחלף קיסריה) מעוררת חרדה רבה ומוצדקת בקרב תושבים סביב האזורים הנ"ל. במועד העבודה עמדה על הפרק גם חלופת אשדוד שלא מנותחת בעבודה זו.

במסגרת דו"ח זה שהוזמן ע"י מועצות זכרון יעקב, פרדיס ועין כרמל בוחנים מבצעי העבודה את הסיכונים הפוטנציאליים של מפעל כזה מהאתרים דור ועין איילה.

מלבד נתונים קונקרטיים שנתקבלו בעקיפין מחברת NE (נמסרו למבצעי העבודה ע"י נציגי התושבים) העבודה מסתמכת על מחקרים שבוצעו בעבר, על היסטורית תאונות וכן על חומר מקצועי תיאורטי.

לצורך ביצוע הערכות הסיכונים נעשה שימוש בתוכנה ALOHA (גרסא 5.4.1.2), המקובלת לשימוש ע"י המשרד להגה"ס, וכן בכלים חישוביים המסתמכים על המודלים המקובלים על פיקוד העורף בישראל וגופי חרום שונים בארץ ובעולם.

בתוכנה ALOHA, המתבססת על משוואות פסקוויל [11], נעשה חיזוי של עוצמת מקור מדליפה וגודל ענן הגז הדולף.

חישוב טווחי הסיכון מפיצוץ ענן נעשה בשימוש בשני מודלים: מודל ה-TNT Equivalent [31], וכן מודל TNO, בשימוש באלגוריתם עליו מתבסס סרגל טווחי הרס של פיקוד העורף ואשר בו עושה שימוש גם תוכנת WHAZAN [20].

טווחי הסיכון לתרחיש "בריכת אש" – המדמה התלקחות שפך של נוזל דליק – חושבו בעזרת קורלציות שפותחו ע"י פקע"ר [מסמך ישים C].

טווחי הסיכון שחושבו למספר תרחישי ייחוס רלוונטיים מרוכזים בטבלה הבאה:

תרחיש	טווח סיכון מקסימלי לתרחיש לקריטריון נזק ניתן לתיקון למבנים	טווח לשבר זגוגיות מסיבי
דליפה מצנרת כניסה למיתקן הגפה הממוקם על החוף	735 מ'	1100 מ'
הערכת סיכונים לצנרת ממיתקן ההגפה למיתקן הקבלה שעל החוף	582 מ'	877 מ'
הערכת סיכונים לתרחיש קטסטרופלי של רעידת אדמה חזקה שתקרע את שתי הצנרות בקטע החופי	967 מ'	1468 מ'
הערכת סיכונים לפיצוץ ענן על פי התו"ל של גופי החרום – כמות מקסימלית זמינה לפיצוץ 100 טון	800 מ'	1750 מ'
הערכת סיכונים לבריכת אש – Pool Fire	220 מ' לבני אדם 140 מ' למבנים	
הערכת סיכונים למיכל גט"נ	500 מ'	
טווח סיכון מקסימלי (להרעלה) לפליטת H ₂ S בתרחיש דליפת גז ללא פיצוץ	486 מ'	

1. כללי

מסמך זה הנו דו"ח סיקור סיכונים שהוזמן על ידי תושבי זכרון יעקב, פאראדיס וחוף כרמל בעקבות הצהרת כוונות של חברת נובל אנרג'י להקים מפעל קבלה ועיבוד של גז טבעי באזור חוף הכרמל.

הדו"ח מנתח את תרחישי הכשל במתקן הקבלה של הגז, צנרת ההובלה היבשתית, מתקן הורדת הלחצים וכן מיכלי תהליך המכילים גזים ונוזלים דליקים.

דו"ח זה מתאר את הסיכונים העקרוניים של מפעל גז טבעי והשלכת סיכונים אלו על מיקום פוטנציאלי של המפעל בחלופת דור דרום - בהתאם לנתונים של חברת נובל אנרג'י שנתקבלו עד למועד כתיבת דו"ח זה והמובאים ברשימת המסמכים הישימים.

בנוסף לסיכוני הגז, הדו"ח מתייחס לסיכוני שריפת חומ"ס דליק (בריכת אש) באתר מחצבת עין איילה בהתאם לאחת האופציות של נובל אנרג'י הכוללת הקמת חוות מיכלים של נזלים דליקים – תזקיקים ומתעבים למיניהם

הדו"ח מתאר את תהליך החישוב, הכלים והמודלים שנעשה בהם שימוש לחישובים לפי תרחישים שונים ונתונים מטאורולוגים שונים ומצבי יציבות אטמוספריים שונים, אשר משפעים על טווחי הסיכון במקרה של התפשטות ענן גז.

בעת כתיבת הדו"ח לא נתקבל מידע מוצהר על כוונות להקים מתקן הנזלת גז, אולם לאור הצהרות היזמים בעבר ובהווה לגבי האפשרויות של יצוא הגז, אופציה זו נראית סבירה כאופציה עתידית זאת מאחר ודרך היצוא האפשרית ממדינת ישראל בדרך הים היא אך ורק של גז טבעי מונזל. אשר על כן בדו"ח זה ינותחו גם סיכוני איחסון גז מונזל בראיה של התפתחות עתידית צפויה.

2. מטרת המסמך

דו"ח זה הנו חוות דעת מקצועית הנדסית אשר מטרתה לבחון את הסיכונים לאסון ופגיעה באנשים ומבנים בסביבת אתר דור המוצע כחלופה לשטח הקמה של מתקן תהליכי של קבלה, הורדת לחץ ועיבוד של גז טבעי גולמי שנתגלה בקידוחים תמר ודלית:

א. למתקן הפחתת לחץ .

ב. לשטח הקמה של מתקן תהליכי כולל של קבלה, הפרדה ועיבוד של גז טבעי גולמי

ג. לחלופה משולבת הכוללת מתקן להפחתת לחץ על החוף ובקרבתו, מתקן להפרדה ועיבוד גז, ומתקן חוות מיכלים ונוזלים.

3. שיטת העבודה ומבנה הדו"ח

3.1. סקירת מערך ייצור הגז ועיבודו (על פי הנתונים שנמסרו למבצעי העבודה ממזמיני העבודה).

3.2. רקע כללי על האתרים המוצעים ע"י חברת נובל אנרג'י להקמת מפעל הגז אשר נבדקים בחוות דעת זו – אתר דור ומחצבת עין איילה.

3.3. דוגמאות לתרחישי כשל במתקני גז טבעי בעולם שהובילו לנפגעים, תוך התמקדות בתרחישים המערבים מיתקנים המשנעים כמויות גז גדולות.

3.4. סקירת תרחישי כשל אופייניים למפעל עיבוד גז טבעי תוך הסתמכות על הנחיות ושיטות של המשרד להגנת הסביבה הישראלי, פיקוד העורף, הספר הסגול ההולנדי, Frank Lees, ותוכנת WHAZAN

3.5. קביעת תרחישי הכשל שנראים המתאימים ביותר לכותבי עבודה זו.

3.6. הערכת טווחי סיכון לתרחישי הכשל שנבחרו ע"י כותבי העבודה.

3.7. ניתוח משמעות טווחי הסיכון לרצפטורים ציבוריים בסביבת המפעל.

3.8. הצגת טווחי הסיכון על תמונות הסביבה.

3.9. חוות דעת לגבי מיקום מפעל הגז באיזור חוף הכרמל.

4. מסמכים ישימים

#	מהדורה	תיאור
.A	TAM-PM-EOA-PRS-SPC-0005 4633330-20300-00005-C- SalesGasCondProdWtSpec	Tamar Gas Production Plant Project. Phase-3 : Feed Sales Gas, Condensate and Produced Water Specification
.B	TAM-OT-EOA-PRS-PHL-0002 4633330-20310-00002-D-Dor ProcessDescription	Tamar Gas Production Plant Project. Phase-3 : Feed Dor Option Process Description
.C	מהדורה - 4	מפקדת פיקוד העורף: " הערכת סיכונים מקרינה טרמית "בריכת אש" דו"ח פיתוח מעודכן
.D	מהדורה 2.0 ד.	המשרד להגה"ס: מדריך לניהול סיכונים ממקורות נייחים בהיבט של תקרית חומ"ס.
.E	מהדורה 3 שנת 1997	"הספר הצהוב" ההולנדי (חב' CPR14E TNO)
.F	17.2.2010	Development Alternatives for the Offshore Tamar and Dalit Gas Fields, PDC Report for the Natural Gas Authority, 17 February 2010
.G	יוני 2010	מסמך מרחקי הפרדה לצנרת למיתקנים יבשתיים, חיבור קידוחי תמר ודלית למערכת ההולכה הארצית תמ"א 37 ח' יוסי וובר וברן הנדסה, יוני 2010.
.H	13.6.2010	מצגת: ועדת העורכים – תמ"א 37 ח', נובל אנרג'י, 13.6.2010
.I	גרסא 4	מסמך השלמות לתסקיר מאי 2010 – ובר הנדסת בטיחות בע"מ

5. רשימת קיצורים וסימנים רלוונטיים לעבודה

#	הקיצור	פירושו
.1	גט"נ	גז טבעי מונזל
.2	גפ"מ	גז פחמימני מעובה
.3	הגה"ס	הגנת הסביבה
.4	פקע"ר	פיקוד העורף
.5	BLEVE	Boiling Liquid Expanding Vapor Explosion
.6	EPA	Environmental Protection Agency (USA)
.7	GPRS	Gas Pressure Reduction Station
.8	MEG	Mono Ethylene Glycol
.9	LNG	Liquefied Natural Gas
.10	PPM	Part Per Million
.11	PSI	Pound per Square Inch
.12	UVCE	Unconfined Vapor Cloud Explosion
.13	VCE	Vapor Cloud Explosions
.14	VRU	Vapor Recovery Unit

6. מונחים והגדרות

- אינורסיה אטמוספירית – מצב יציבות אטמוספירי יציב, בו האוויר מסודר בשכבות כאשר השכבות שלמטה קרות מהשכבות שלמעלה (גרדיאנט הטמפרטורות יורד מלמעלה למטה) ולכן אין תנועות של גושי אוויר בכיוון האנכי. מהירויות הרוח המאפיינות מצב זה הינן כ- 1.5-2 מ/שניה. מצב זה אופייני לשעות הלילה.
- אמצעים ארגוניים – [מסמך ישים D] אמצעים כגון נהלים, הוראות, שיטות עבודה, וכדומה המגבילים את השפעות התרחיש החמור ביותר. כגון: החלטה על אי ביצוע תהליך מסוכן בשעות הלילה. אמצעי ארגוני הוא בהכרח אמצעי פסיבי (ע"ע).
- אמצעי בטיחות אקטיבי – [מסמך ישים D] ציוד, מכשירים, או טכנולוגיות הדורשים מקור אנרגיה אנושי, מכני, או אחר על מנת שיפעלו.
- אמצעי בטיחות פסיבי – [מסמך ישים D] ציוד, מכשירים, או טכנולוגיות המתפקדים ללא מקור אנרגיה אנושי, מכני או אחר.
- אנרגית כשל – האנרגיה הדרושה על מנת לגרום לכשל דופן מיכל המאחסן בתוכו גז מונזל בלחץ.

- ברז ניתוק למקטעים- ברזים אוטומטיים (לרוב פניאומאטיים / חשמליים) שתפקידם להיסגר באופן אוטומטי (קריאת גלאי / מד לחץ) ו/או בפיקוד ידני מרחוק, ובכך לגרום לניתוקו של מקטע דולף במערכת (בהקשר של עבודה זו, "מקטעים" יהיו ברובם קטעי צנרת).
- גבול דליקות עליון – Upper Flammability Level – הריכוז המקסימלי של החומר הדליק שבו אפשרית הצתת הענן. מעל לריכוז זה, לא תהיה הידלקות.
- גבול דליקות תחתון – LEL – הריכוז המינימלי של החומר הדליק, שמתחתיו לא אפשרית הידלקות ענן.
- גז גולמי – הגז כפי שהוא יוצא מבאר הקידוח, בטרם נעשו בו תהליכי טיפול כלשהם.
- גז טבעי –גז שמקורו באדמה ממאגרים טבעיים. הרכב אופייני לגז הינו 70-90% גז מתאן, 0.2-20% פחמימנים אחרים (אתאן, בוטאן, פרופאן), 0-5% חנקן [N2], 0-5% מימן סולפיד H₂S, 0-8% פחמן דו-חמצני וכמויות קטנות מאוד של חומרים אחרים[44] – עפ"י מסמך ישים [1], הגז ממאגר "תמר" הינו גז איכותי המורכב ב-99% ממתאן.
- גט"נ = גז טבעי נוזלי – גז טבעי שעבר הנזלה.
- גל בעירה – מהירות התקדמות של חזית האש בבעירה.
- גל הלם – גל דחיסה של אוויר, שמהירותו גבוהה ממהירות הקול.
- גל יניקה – תת הלחץ שנוצר בעקבות גל ההלם.
- הבזקה – מעבר פאזה מהיר מאוד מנוזל לגז (למשל עקב ירידה חדה בלחץ)
- זרימה דו-פאזית = זרימה של גז ונוזל ביחד (בועות, שכבות וכו')
- טווח סיכון – הטווח שבו עלולים אנשים להיפגע פגיעה בריאותית ברמות שונות בהתאם למדד שמוחלט לצורך הערכת סיכונים ספציפית.
- לחץ אדים – הלחץ שיוצרים אדי חומר מעל לפאזה הנוזלית בשיווי משקל תרמודינמי.
- לחץ יתר (overpressure) – עליית הלחץ (מעל ללחץ האטמוספרי) שנגרמת ע"י גל הלם בפיצוץ.
- מיכל לחץ – מיכל סגור הנועד לאחסון של גזים או נוזלים בלחץ השונה מהלחץ האטמוספרי.
- מקור הצתה – כל תהליך או אירוע המסוגל להצית שריפה או לגרום לפיצוץ של אדי חומר דליק.
- דוגמאות מקורות הצתה: אש גלויה, משטח חם, ניצוץ, חשמל סטטי.

- עצמת מקור – כמות / ספיקת החומר הנפלטת בתרחיש אבדן הכלה מכלי / מיכל / צנרת / מאצרה.
- פקטור יעילות לפיצוץ (Efficiency of explosion) – החלק מחום השריפה של החומר המתפוצץ שמתגלגל לגל ההדף.
- רצפטור ציבורי – **הגדרת "המדריך לניהול סיכונים" של המשרד להגה"ס** [מסמך ישים D] **בישראל הינה:**

מבני מגורים מחוץ לאתר, מוסדות (למשל, בתי ספר, בתי חולים), מבני תעשייה, מסחר ובנייני משרדים, פארקים, או שטחי פנאי המאוכלסים או נמצאים בשימוש הציבור ואינם מוגבלים על ידי המקור הנייח, בתנאי שהציבור עלול להיחשף לריכוזים רעילים, קרינת חום, או לחץ יתר, כתוצאה מתקרית.

הצמתים הבאים יחשבו גם הם לרצפטור ציבורי:
תל אביב והמרכז: צומת גלילות, צומת הולץ, צומת טמפו (חולון כביש 44), צומת חולון, צומת עין הקורא, צומת בית ליד, צומת רעננה מרכז, צומת רעננה צפון, צומת הטייסים (כביש 40 עם כביש 461).
- תחנת הפחתת לחץ (GPRS = Gas Pressure Reducing Station) – מתקן המיועד להורדה מבוקרת של לחץ הגז המגיע מהקידוח לרמה המאפשרת שליחתו להמשך טיפול / שימוש.
- תרחיש ייחוס – אירוע אבדן הכלה מייצג האופייני למתקן והמשמש לצורך חיזוי עצמת מקור לשם ביצוע הערכת סיכונים לאתר הנבדק.
- Acute Exposure Guideline Levels = AEGL - המדד המקובל כיום על המשרד להגה"ס בישראל לצורך הערכת גודל השטח בו ריכוז הגז הרעיל צפוי להיות גבוה מספיק כדי להזיק לאנשים. המדד AEGL מתחשב באוכלוסיות רגישות ונועד להתאים כמעט לכל פרט באוכלוסייה.

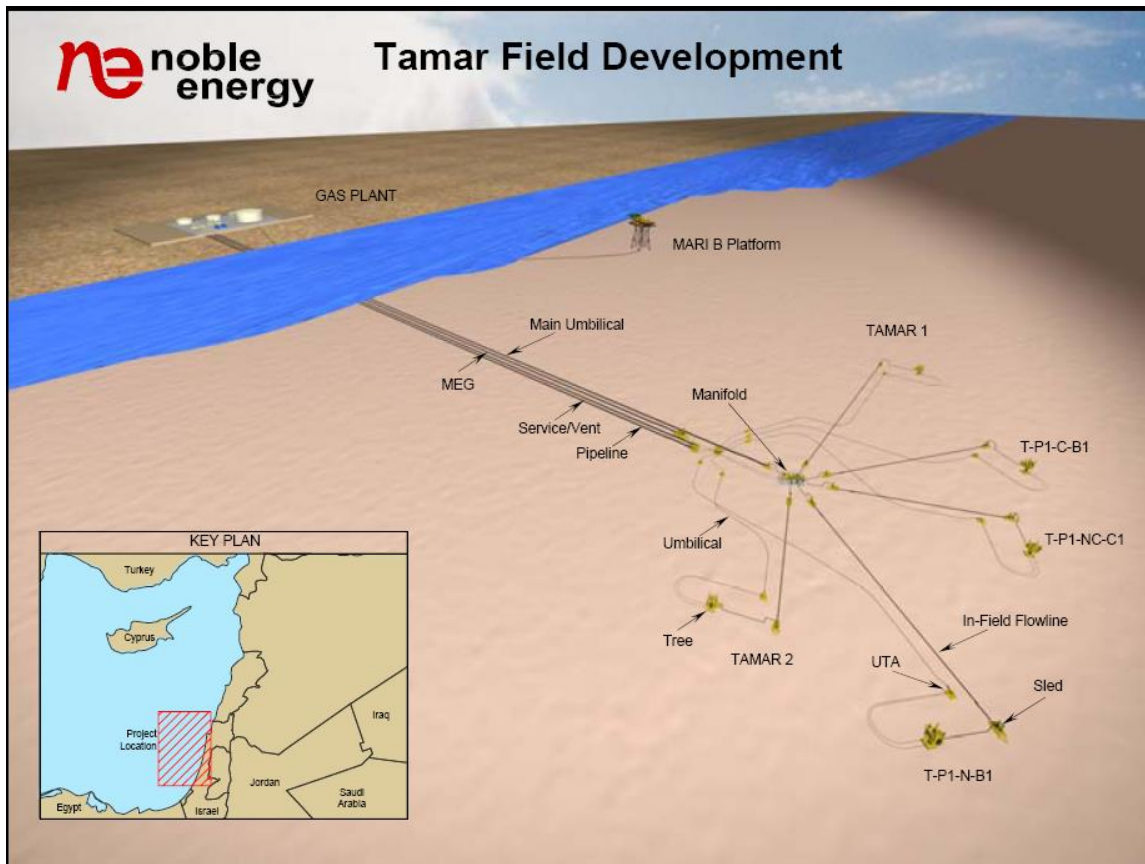
בעבודה זו נעשה שימוש ברמה המקובלת על המשרד להגנת הסביבה והיא:
המדד AEGL-2: הריכוז באוויר שמעליו האוכלוסייה הכוללת, כולל אוכלוסיות רגישות עלולים להיפגע פגיעה בלתי הפיכה / רצינית / ארוכת טווח שתימנע מהם את היכולת להימלט בכוחות עצמם.
- Condensate – נוזלים המעובים מתוך הגז הטבעי במפעל הקבלה.
- Lower Flammability Limit = LEL/ LFL – גבול הדליקות התחתון: הריכוז המינימלי בו גז דליק שדולף יידלק. מעל גבול זה הענן יכול או להידלק או להתפוצץ.

7. סקירת מערך ייצור הגז ועיבודו

7.1. מערך שינוע הגז מהבאר לחוף

סקירה זו מסתמכת על דוח של חברת PDC שהוכן עבור רשות הגז הטבעי (מסמך ישים F), על תיאורי תהליך של חברת נובל אנרג'י (מסמך ישים B) ועל מצגת של חברת נובל אנרג'י לוועדת העורכים מה- 13.6.2010 (מסמך ישים H).

בארות קידוח הגז תמר ודלית הנם קידוחים ימיים בים תיכון. קידוח הגז תמר נמצא במרחק 90 ק"מ מחופי חיפה בעומק 1702 מ'. קידוח דלית נמצא במרחק 51 ק"מ מהחוף ובעומק 1581 מ'. תיאור הקידוחים מצורפים באיור 1:



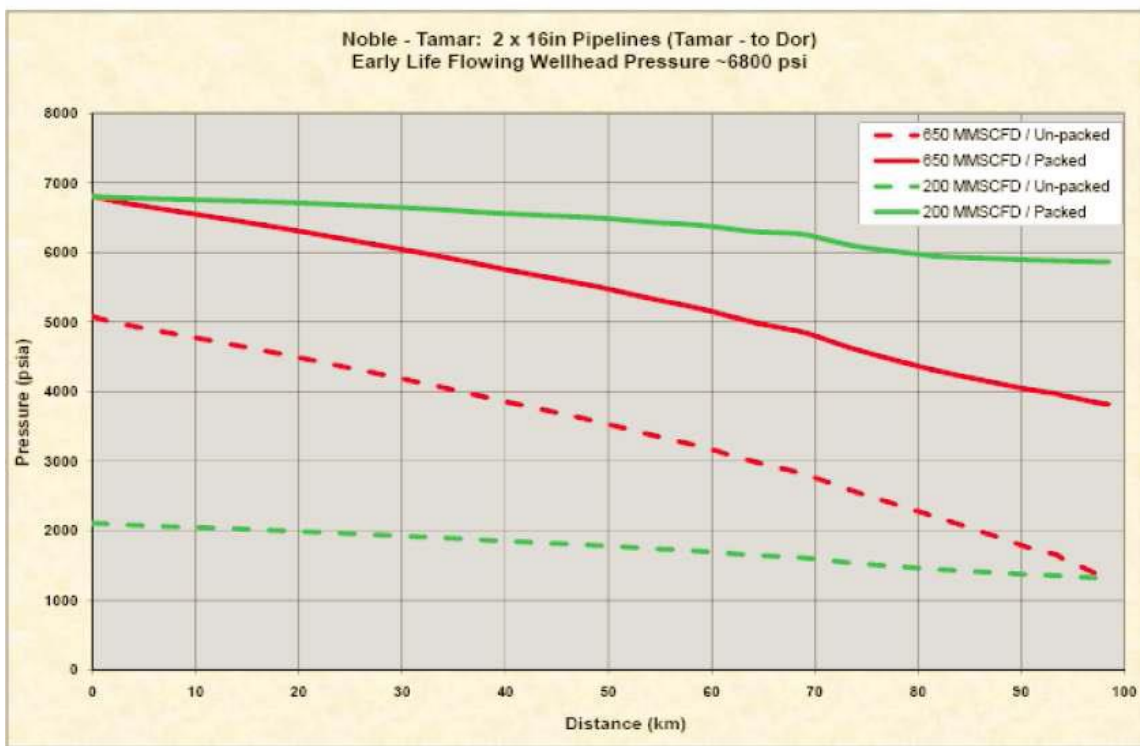
איור 1: תיאור פיתוח שדה תמר נובל אנרג'י [מסמך ישים H].

שני הקידוחים מוגדרים כקידוחים עמוקים. הגז מקידוחים עמוקים מאופיין ע"י הלחץ הגבוה (כ-450 אטמוספרות במקרה הנוכחי). תהליך הורדת הלחץ מתבצע במתקן הורדת לחץ ובמיתקן הקבלה לשם הובלה בצנרת יבשתית בצורה בטיחותית. ניתן לבנות את מתקני הורדת הלחץ על אסדה בים או ביבשה.

לפי תכנוני היזמים אורך כלל הצנרת מן הבאר ועד למפעל באתר דור דרום מתוכננת להיות כ-90 ק"מ, כאשר הגז יובל בשני קווים מקבילים בקוטר 16" ולחץ 450 בר למתקן הורדת לחץ (GPRS) שם יעבור הורדת לחץ ל 255 בר ויוזרם למתקן קבלה.

על פי הדו"ח של חברת PDC [מסמך ישים F], בחלק משלבי העבודה התחיליים בחיי המיתקן הלחץ של הגז שיגיע למפעל הטיפול יגיע לכ- PSI 6,000 שהם 413 בר. מתאר את לחץ הגז בצינור כתלות במרחק מנקודת הקידוח לאתר דור כמובא במסמך ישים [H]:

איור 2 (מתוך מסמך ישים H).



בדו"ח של חברת EDG עבור נובל אנרג'י (מסמך ישים B, עמ' 5) נכתב כי לחץ הכניסה למיתקן ה-SLUG CATCHER שהינו חלק ממפעל הקבלה הינו PSI 5,000-6,600, כלומר 345 עד 455 בר.

בדו"ח שנכתב ע"י ברן הנדסה ופרויקטים וובר הנדסה (מסמך ישים G) נכתב שהגז מגיע לתחנת ההגפה בלחץ 450 בר ולמפעל הטיפול בגז ב- 255 בר

לפיכך הערכת הסיכונים בעבודה זו תבצע ללחץ של 450 בר בכניסה לתחנת ההגפה ו- 255 בר בכניסה למפעל הטיפול בגז.

7.2. מיתקן הטיפול בגז

חלק זה מתבסס על [מסמך ישים B] - Tamar Gas Production Plant Project, Phase 3 -
PROCESS DESCRIPTION: TAM – OT – EOA – PRS – PHL – 0002.

לפי הבנתנו מהשרטוטים במסמך ישים [B] מתקן הגז מתוכנן להבנות בשני שלבים:
שלב הקמה ושלב הרחבה.

לפי הנתונים הראשוניים לדו"ח זה והמודגמים באיור 3, התהליך הפטרוכמי העיקרוני
המתוכנן בשלב הראשון הינו כדלקמן:

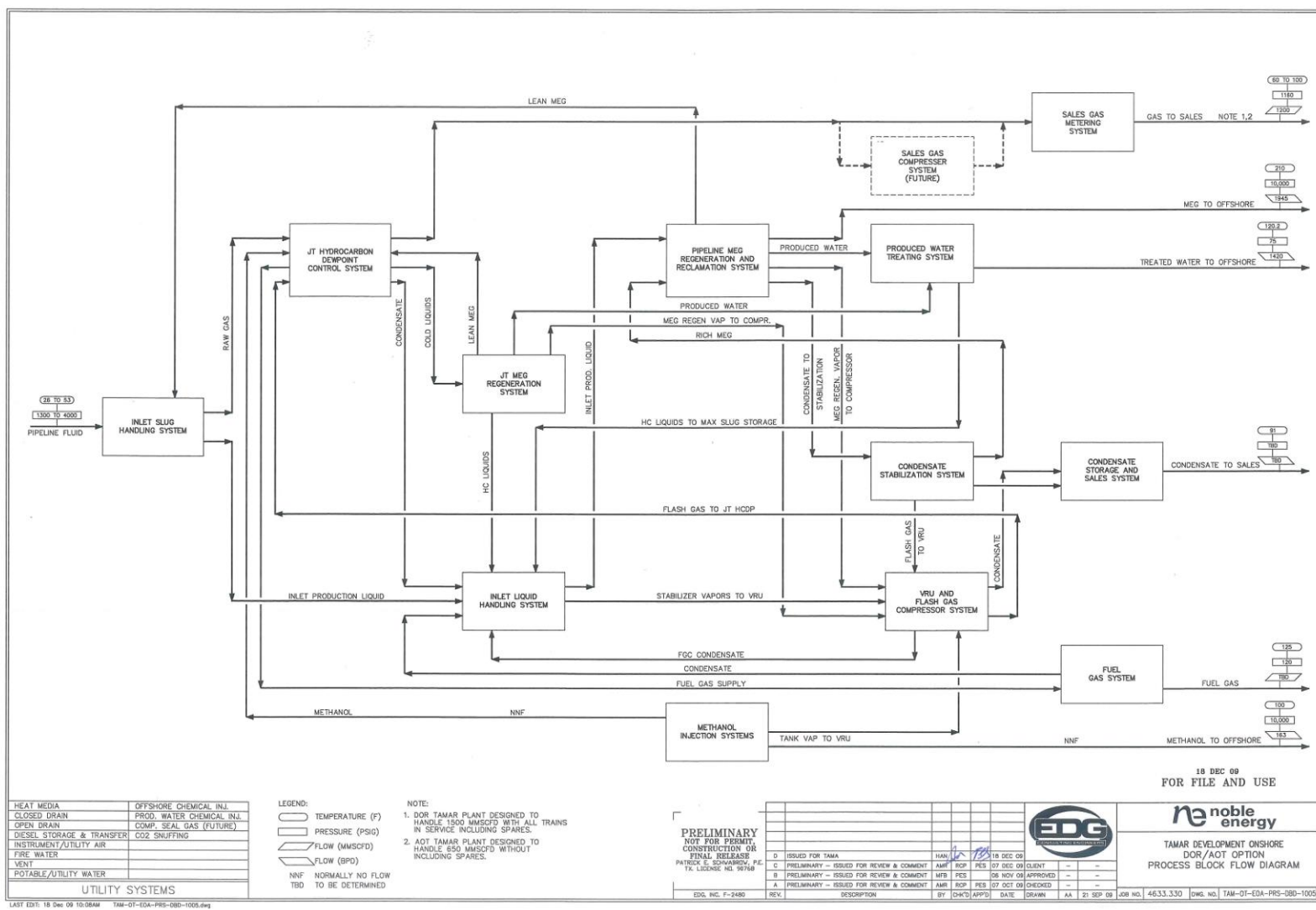
הגז מגיע למיתקן הקבלה כאשר הוא במצב דו-פאזי, כלומר מכיל גם פרקציות גזיות וגם
פרקציות נוזליות. דבר זה מסוכן מאחר והוא עלול להביא למצב בו תהיה בועת גז גדולה
ולאחריה פרקציה נוזלית אשר תיתן "מכה" לצנרת כאשר תעבור למשל בעיקולים בצנרת.
על מנת למנוע סיכון זה הגז שמגיע למיתקן הקבלה עובר מיתקן בשם Slug Handling
System המבצע הפרדה בין הפרקציה הנוזלית והפרקציה הגזית.

הגז היוצא מה- slug handling system במצב גולמי (raw gas) מוזרם למערכת
הפרדה- JT Dewpoint Control שתפקידה הוא להפריד בין המרכיבים השונים של
הגז הגולמי. משם מופק הגז המהווה את התוצר הסופי.

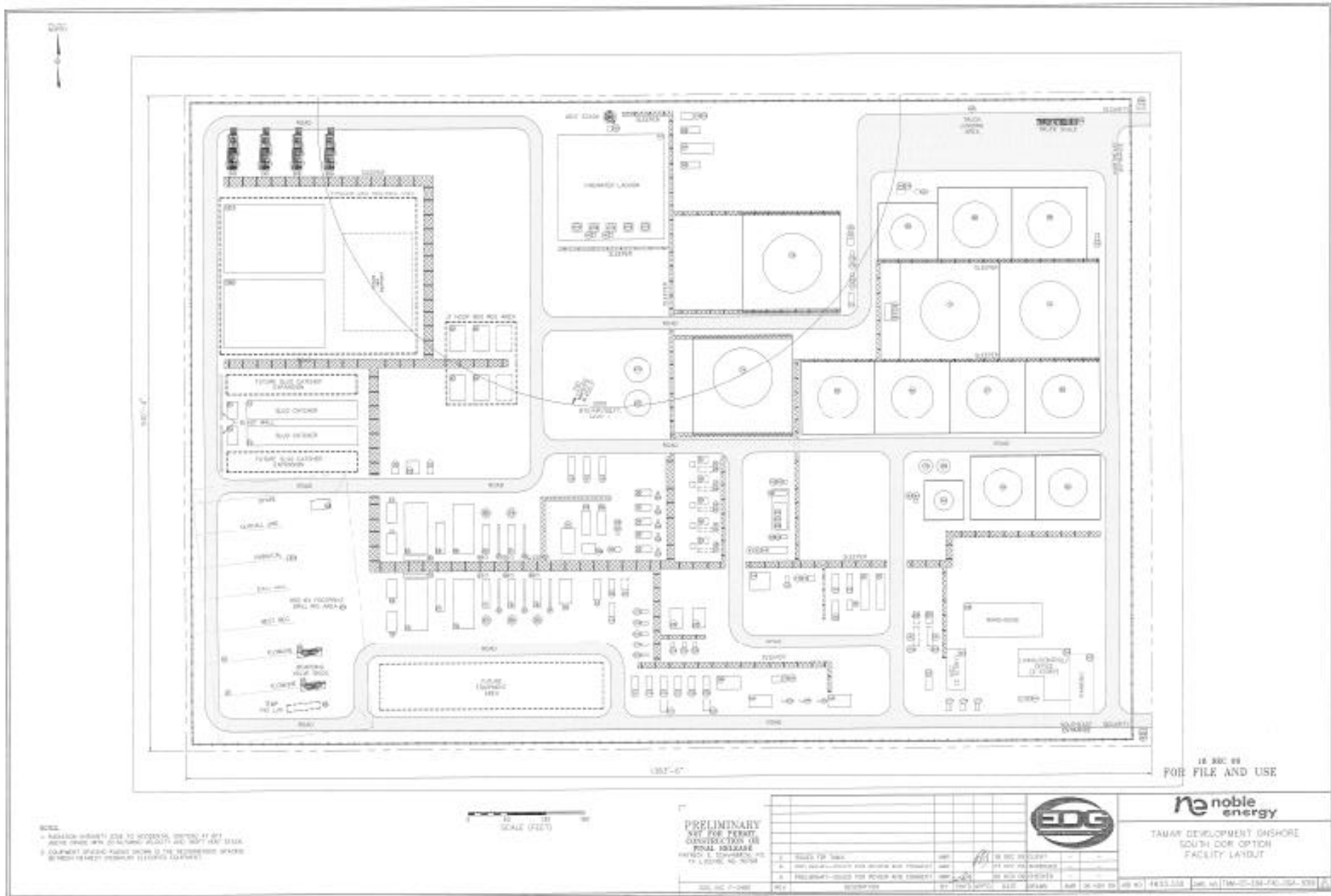
הנוזלים שיוצאים מה- slug handling system וממיתקן ההפרדה בשיטת Joule
Thompson נקראים Condensate – מתעבים. המתעבים עוברים מספר תהליכי עיבוד
והפרדה ובסופו של דבר מאוחסנים כתוצרים נוזליים למכירה בחוות מיכלים ייעודית.
לגבי מיקום חווה זו הוצעו מספר אופציות – במפעל עיבוד הגז ובמחצבה בעין כרמל.
למיכלים אלו יבדק טווח הסיכון כתוצאה מתרחיש שפך והצתה – תרחיש בריכת אש
(Pool fire).

לפי שרטוטי התכנון של נובל אנרג'י, מתקן הגז באתר דור מתוכנן להיפרש על שטח
163350 מ"ר לכל הפחות (495×330 מ') בשלב הראשון כפי שמובא בתרשים 4

ה- Layout של המפעל מתוך נספח B במסמך ישים B



איור 3: תיאור תהליך פטרוכימי מתקן דור תכנון ראשוני נובל אנרג'י [B]



איור 4: תיאור תוכנית פיתוח שטח מתקן פטרוכימי להפרדת גז דור תכנון ראשוני נובל אנרג'י [B]

7.3. הרכב הגז

כעקרון הגז הנשאב מקידוחי תמר ודלית מורכב בעיקרו ממתאן (מסמך ישים A). קידוחי גז מתאפיינים לפי תכולת הגז והנלווים שהם פחמימנים כבדים יותר, מים, מלחים וכימיקלים שונים. אחת הבעיות בגז טבעי בכלל הינה נוכחות הגז הרעיל גפרית דו מימנית (או מימן סולפיד), שסימנה הכימי H₂S. כאשר הגז המופק מכיל אחוז נמוך מאוד של H₂S, הקידוח מוגדר כקידוח גז "מתוק".

על פי הנתונים במסמך ישים A, הרכב הגז למכירה (אשר לפי הבנת כותבי העבודה משקף את הרכב הגז הנשאב) הינו:

טבלה 1: לקוחה מעמוד 4 במסמך ישים A – איפיון הגז למכירה.

Table 2.1.1 Sales Gas Specifications

ID	Property	Units	Design	Specification		Notes
				Maximum	Minimum	
1	Mole Weight		16.251	NA	NA	
2	Water Dew Point	°F (°C)	<10 (<-12)	32 (0)	NA	1
3	Hydrocarbon Dew Point	°F (°C)	varies	41 (5)	NA	1
4	Total Sulfur	ppm(v)	nil	100	NA	2
5	Hydrogen Sulfide	ppm(v)	nil	8	NA	2
6	Carbon Dioxide	mole %	0.109	3.0	NA	
7	Total Inerts	mole %	0.369	5.0	NA	
8	Oxygen	mole %	nil	0.01	NA	2
9	Methane	mole %	99.067	NA	92.0	
10	Higher Heating Value	btu/scf (mmbtu/m ³)	1014.00 (0.0358)	1118.51 (0.0395)	979.76 (0.0346)	
11	Wobbe Index	btu/scf (mmbtu/m ³)	1353.73 (0.0478)	1441.09 (0.0509)	1308.02 (0.0462)	
12	Delivery Temperature	°F (°C)	varies	100 (38)	41 (5)	3, 4
13	Delivery Pressure	psia (bara)	varies	1160 (80)	870 (60)	3

¹At any pressure up to and including eighty (80) bar gage

²None was identified in the Feed Composition; none is anticipated in the Sales Gas.

³The design provides 5 F (2.8 C) degree and 10 psig (0.689 barg) design margin within the Maximum and Minimum delivery temperature and pressure limits.

⁴The Delivery Temperature will be at least 18 °F (10 °C) above the water dew point.

NA = Not Applicable

כלומר, הקידוח הנו של גז "מתוק". אחוז ה- H_2S כ- 8 PPM על בסיס נפחי, קרי שמונה מליוניות מכמות הגז בנפח נתון.
משמעות הדבר היא שבכל מיליון מ"ק גז ישנם 8 מ"ק של H_2S .
המשקל המולקולרי של H_2S הינו 34 ג'/מול.
8 מ"ק H_2S בתנאים סטנדרטיים שקולים ל: $8000/22.4 = 358$ מול H_2S שמסתם כ-12 ק"ג. בגלל הרעילות הגבוהה של H_2S לא מדובר בכמות זניחה.
לפיכך, בסקר זה נעשתה בדיקה גם למשמעות פליטת כמות גז H_2S מתרחיש כשל של הצינור על הסביבה מבחינת טווחי סיכון ונמצא שטווחי הסיכון הינם משמעותיים.

8. האתרים המוצעים ע"י חברת נובל אנרג'י למפעל הטיפול בגז והערכת טווחי סיכון לאתרים אלו

8.1. אתר דור: תיאור סביבה ותוצאות הערכות הסיכונים

מתקן דור מצוי בשטח מישורי. לפי הנתונים הקיימים ראה איור. לכותבי העבודה אין נתונים מדויקים על פרישת מפעל הקבלה באתר. תיאור מפעל הקבלה בדו"ח של חברת PDC נראה כדלקמן:

איור 5: הדמייה ויזואלית של המתקן המתוכנן באתר דור [איור 45 במסמך ישים F]



בצד שמאל רואים את מט"ש מעיין צבי. לפיכך מיקום המפעל על מפת האיזור בהתאם להדמייה זו אמור להיראות כמו באיור 6 בעמוד הבא. בהתאם למנח זה המרחק של המפעל למושב דור הינו 980 מ', המרחק לפרדיס 1.1 ק"מ, המרחק לזיכרון יעקב (שכונת גבעת עדן) הינו 1.3 ק"מ, המרחק לכביש החוף הינו 250 מ', המרחק למחלף זיכרון הינו 780 מ' והמרחק לכביש 70 הינו 420 מ'.

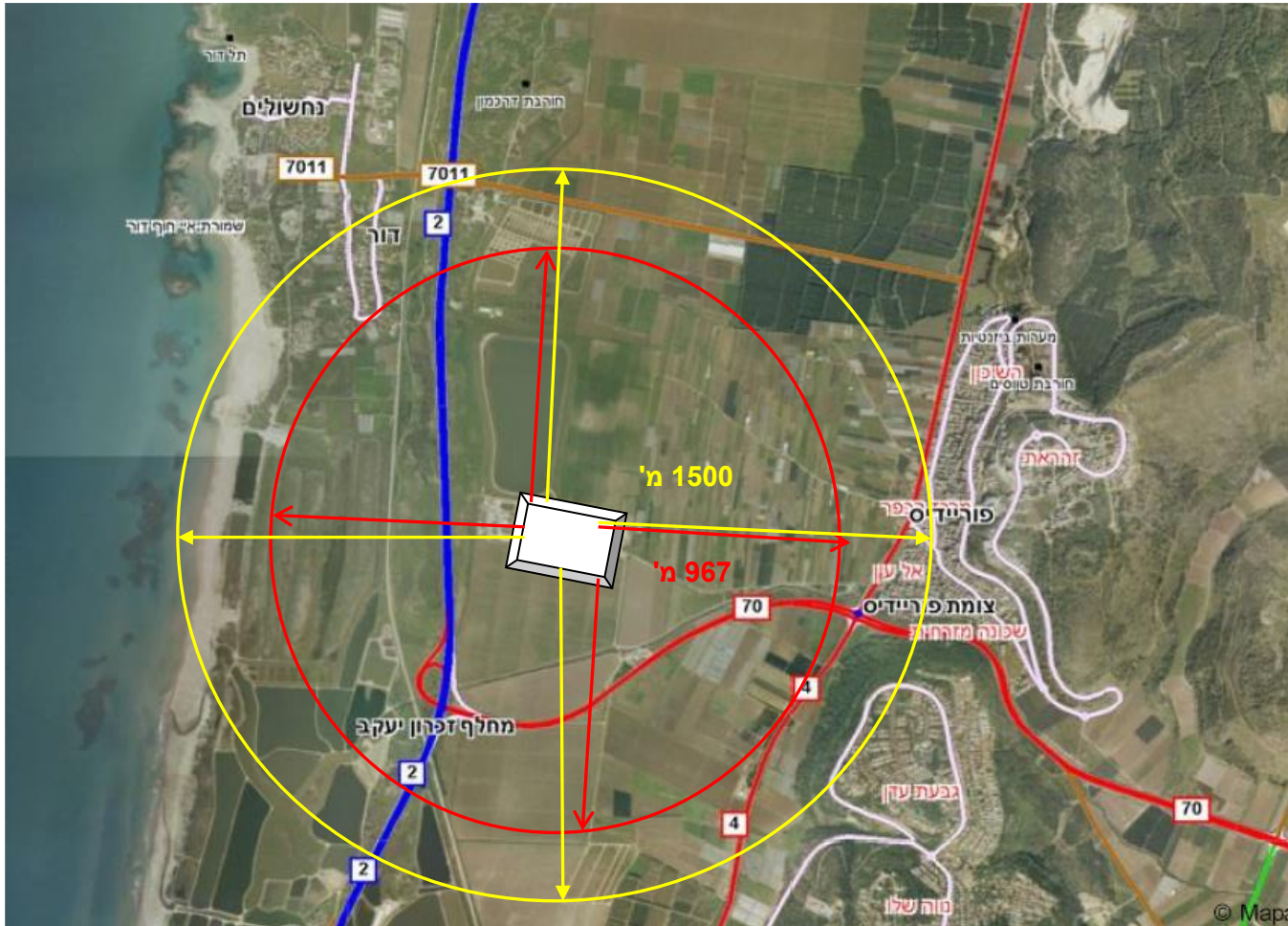


איור 6: תצלום אוויר ומרחקים לאוכלוסייה ממתקן דור

מעגלי הסיכון לפי החישובים של אקו-סייפ:

אדום = טווח סיכון מקסימלי לנזק ניתן לתיקון של מבנים.

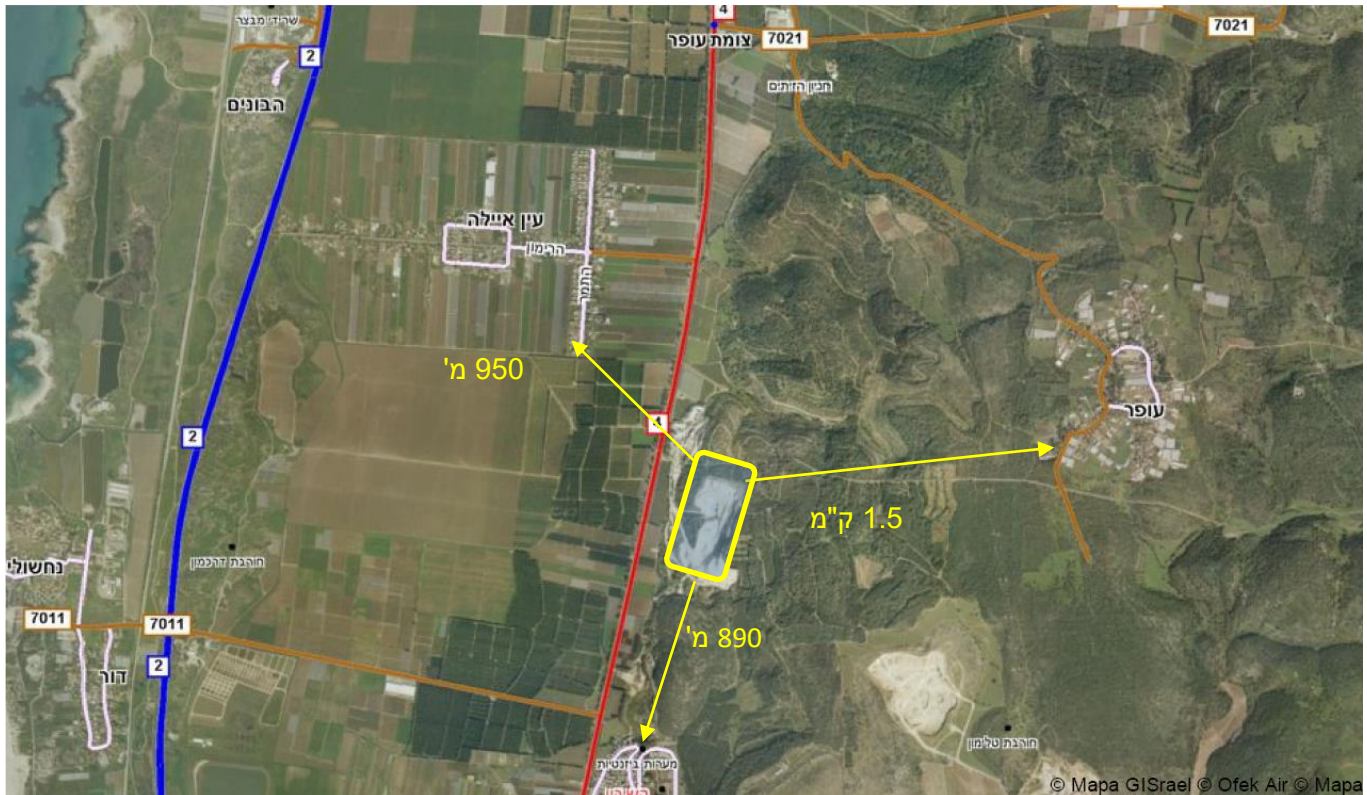
צהוב = טווח סיכון מקסימלי לשבר זגוגיות מסיבי.



איור 6-א: טווחי הסיכון לתרחיש המחמיר. טווח הסיכון לנזק למבנים מסומן באדום. טווח הסיכון לשבר זגוגיות מסיבי מסומן בצהוב.

8.2. אתר עין אילה

במסמך ישים G עולה אופציה של הקמת מפעל הטיפול במחצבת עין איילה. אופציה אחרת הינה הקמת המפעל בדור ורק חוות מיכלי המתעבים במחצבה. באספקט של מרחקים, בקירוב (ממרכז המחצבה): 1.1 ק"מ לישוב עין איילה, 1.2 ק"מ מצפון פרדיס, 1.7 ק"מ לישוב עופר (לא רלוונטי כי הצד של עופר ממוסך חלקית ע"י קיר המחצבה).



איור 7: תצ"א אזור עין איילה עם ציון המרחקים לאוכלוסייה

8.3. חלופות קיסריה וחדרה

בעת כתיבת הדו"ח נתקבלו נתונים קונקרטיים אך ורק לגבי אתר דור דרום. יתר על כן, כל החומר התכנוני – הנדסי מטעם היזמים שקיים ברשותם של מבצעי העבודה מתייחס לדור דרום. מבחינת תנאים של טופוגרפיה ואקלים, האתרים של חדרה וקיסריה לא שונים משמעותית מאתר דור דרום, ולכן אם מתווה המפעל המתוכנן איננו משתנה בתלות במיקום המפעל, ניתן לקחת את טווחי הסיכון שהתקבלו בהערכות הסיכונים של דור דרום וליישם גם על חלופות חדרה וקיסריה (ביחס לרצפטורים הציבוריים שם).
נושא זה אינו כלול בתכולת העבודה הנוכחית.

8.4. מיתקני הפחתת לחץ – GPRS

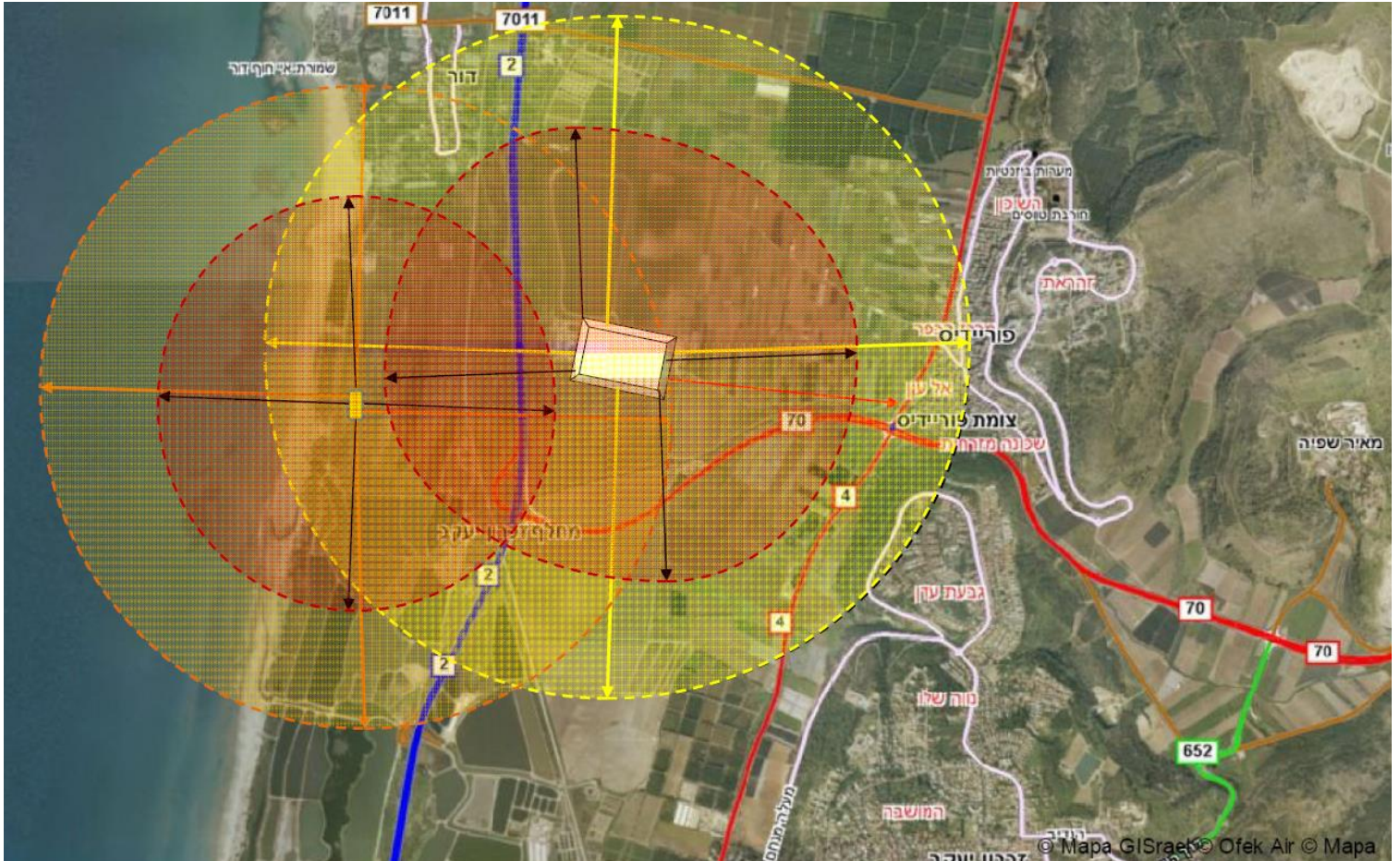
8.4.1. אופציה א' – חוף דור

על פי הנתונים שהגיעו למבצעי העבודה לחץ הגז שמגיע ל-GPRS : כ-450 בר. טווח הסיכון שמשורטט על המפה להלן הינו הטווח לנזק ניתן לתיקון למבנים, לתרחיש מחמיר של קרע הצנרות ההובלה בכניסה ל-GPRS, כפי שחושב בפרק הערכות הסיכונים.



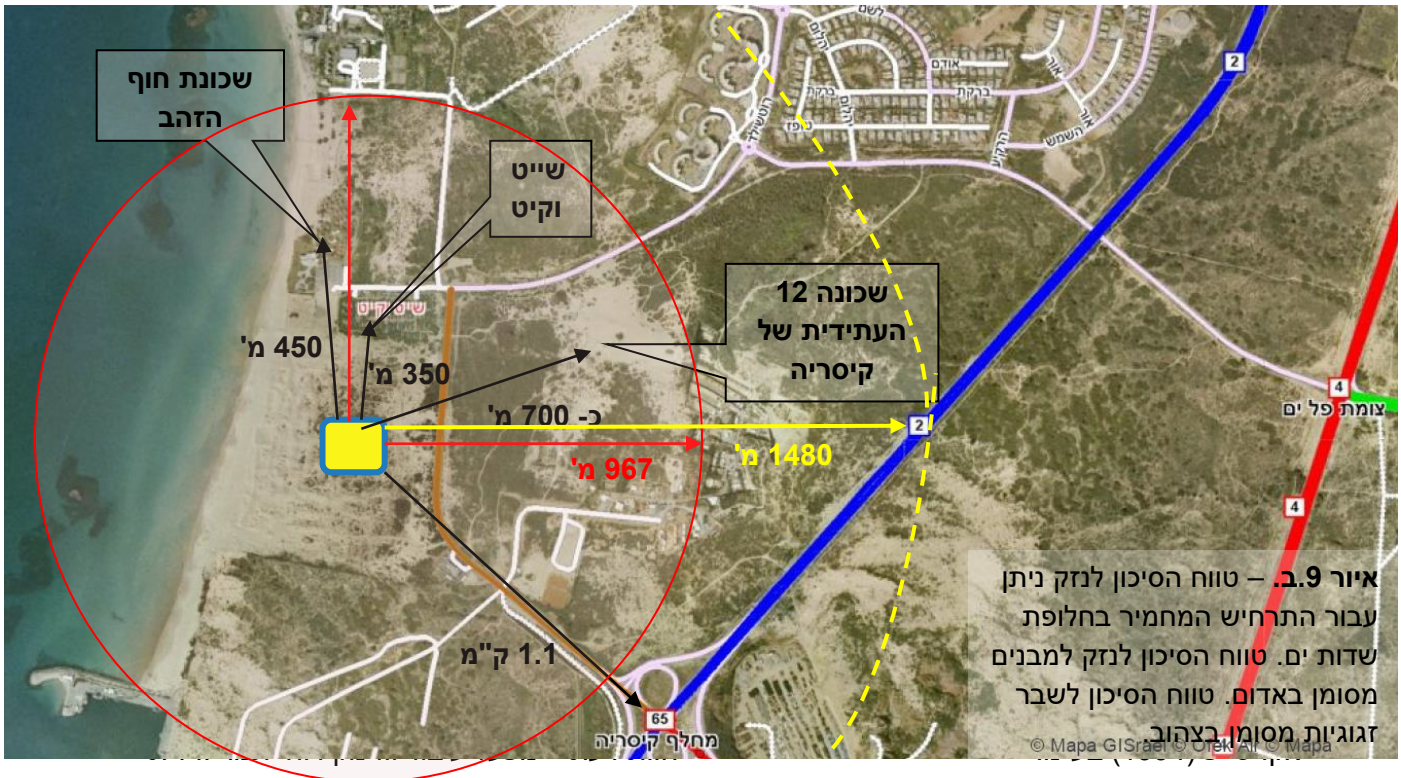
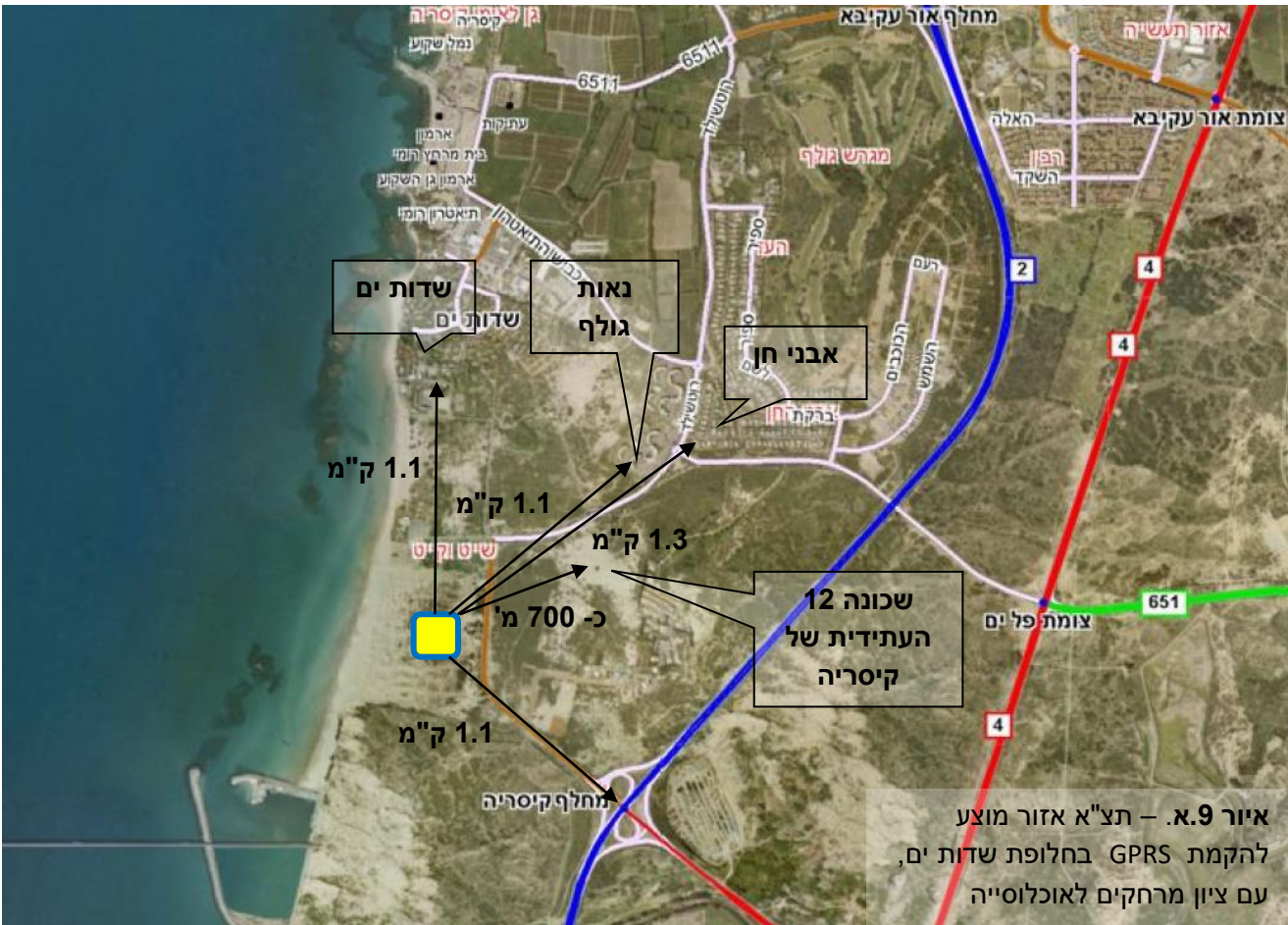
איור 8: מיקום GPRS מוצע בחלופת חוף דור, עם ציון טווח הסיכון לתרחיש המחמיר. טווח הסיכון לנזק למבנים מסומן באדום. טווח הסיכון לשבר זגוגיות מסיבי מסומן בצהוב.

הערה: קל לראות שטווחי הסיכון לחלופה של חוף דור (מפעל הגז כולו ו-GPRS בחוף דור) הינם חופפים. מחלף זכרון יעקב נכנס לטווח הסיכון בכל מקרה.



איור 8.א': חפיפה בין טווחי הסיכון לתרחיש מפעל באתר דור דרום ולתרחיש GPRS בחוף דור.

8.4.2. אופציה ב' – מיתקן שדות ים



9. דוגמאות לתאונות גז טבעי בעולם

מתקני גז טבעי, כדוגמת המתקן המיועד לקום באתר דור, מורכבים ממספר מערכות שצריכות לפעול בתנאי סביבה שונים וקשים. כשל בכל אחת מהמערכות הנ"ל עלול להוביל לאסון.

הכשל עשוי להיגרם ע"י טעויות אנוש, כשל מערכתי, עייפות החומר, מזג אוויר קיצוני, תופעות סיסמיות כגון רעידת אדמה, וכן תרחישי פח"ע ומלחמה.

בפרק זה מובאות מספר דוגמאות לאסונות שונים שקרו במתקני גז טבעי וצנרת גז טבעי בכדי להמחיש את הסכנה הכרוכה בהקמת מתקן בסמיכות לישוב וצירי תנועה הומים כמתוכנן במתקן דור. בנוסף מביא פרק זה רקע לתרחישים אופייניים במתקנים שכאלו. הגדרות של מונחי יסוד מופיעות

בפרק 15. **נספח**

תיאור אירועי תאונות

התיאורים להלן נלקחו מסקירה באינטרנט:

- 1.
- 2.
- 3.
- 4.
- 5.
- 6.
7. אזור, בלגיה [37] - 24 הרוגים ו- 132 פצועים כתוצאה מהתבקעות שני צינורות גז בקטרים 90 ס"מ ו-1 מ', טמונים בעומק 1.1 מטר, במרחק כ-7 מ' אחד מהשני, שהובילו גז טבעי בלחץ 80 אטמוספרות ובספיקה של כ-1.6 מיליון מ"ק בשעה. שני הצינורות היו עשויים פלדה בעובי 13 מ"מ. הותקנו בשנים 1982 ו-1991. ענן הגז התפוצץ. קטע צנרת באורך 11 מ', השוקל מעל טון אחד, נקרע מהקרקע והועף כ-150 מ' אל מבנה תעשייתי (חנות מפעל של מאפייה) וגרם למבנה נזק כבד. עשרות מכוניות נשרפו וגג של מבנה תעשייה הותך.. רדיוס הרס בניינים

מהפיצוץ: כ-200 מ'. חום הפיצוץ הורגש למרחק של כ-2 ק"מ. הרעידות בקרקע – עד 3 ק"מ. לפיד האש בער כ-20 דקות. בתום האירוע נשאר במקום מכתש בקוטר 10 מ' ובעומק 4 מ'. תחקיר התאונה העלה שהגורם הסביר ביותר לכשל הייתה שריטה על הצנרת, שנגרמה ככל הנראה במהלך עבודות עפר מספר חודשים או שנים לפני כן. אזור השריטה היה בעל התנגדות נמוכה יותר ללחץ, ועם הזמן עייפות החומר במקום זה גרמה להתבקעות הצינור כפי שרואים איור. ההערכה [37] הינה כי במהלך האירוע נשרפו יותר מ-700 טון גז.



איור 10.א.: מיקום התאונה בבלגיה
איור 10.ב. אחד הצינורות (חתך מלא בקוטר הצינור)



איור 11: תצלום אוויר של איזור התאונה [37]

8. 31.8.2005, ניגריה (מקור מהאינטרנט [38]) – צינור גז טבעי מונזל טמון בקוטר 28" התפוצץ. סיבת הדליפה היא קרוב לוודאי תחזוקה לקויה. השטח שניזוק מהפיצוץ: כ-27 קמ"ר. הפיצוץ השמיד לחלוטין את המערכת האקולוגית הימית באזור (אזור הפיצוץ Rivers State, נמצא במפרץ גינאה) וכ-11 איש הוכרזו נעדרים (לא ברור מה עלה בגורלם מאוחר יותר). לקח לכוחות הכבאים, בשימוש במסוקי כיבוי וציוד מתקדם יותר מ-48 שעות לכבות את האש.

9. 23.3.1994, אדיסון, ניו-ג'רזי (מקור [39]) – צינור גז טבעי בקוטר 36" של תאגיד TETCO התבקע בשטח מפעל Quality Materials Inc. הגז נדלק ונוצר לפיד אש בגובה כמה מאות רגל והצית שריפה בשכונת מגורים במרחק כ-100 מ' ממקום הדליפה (כמה מבני מגורים נשרפו כליל). מידת הנזק הוערכה בכ-25 מיליון \$.

10. 1997 – קו גז Northwest Pipeline, קוטר "26 – שני אירועים בהפרש של יום ב-Everson ו-Kalama [40] – למרבה המזל, איזורים לא מיושבים. הצינור באברסטון היה טמון בעומק 1-3 מ'. בעקבות הפיצוץ נראו הלהבות למרחק 40 מייל. הצינור בקלמה היה טמון בעומק 2-2.3 מ'. נוצרו להבות בגובה 100 מ'. לא נמצאו סימנים לחבלה. יתכן והסיבות לתאונות הן תזוזות בצינור עקב קרקע רטובה.

11. 3.10.1989, מפרץ מקסיקו [41] – ספינת דיג פוגעת בצינור גז טבעי שלא היה קבור בצורה בטוחה במים הרדודים (יתכן והזרמים שטפו חלק מהכיסוי). 11 איש נהרגו.

12. 28.10.1993, ונצואלה [42] – צינור גז טבעי מתפוצץ מתחת לכביש מהיר ב- בזמן תנועת שיא. יותר מ-50 איש נהרגו. ככל הנראה הגורם לתאונה עבודות של הנחת סיבים אופטיים (הפועלים פגעו בצינור).

מסקירת האירועים הנ"ל ניתן ללמוד מספר דברים חשובים לצורך ניתוח סיכון מפעל גז כדוגמת זו המתוכנן ע"י חברת נובל אנרג'י:

א. אירועי גז טבעי בקנה מידה גדול הגורמים לאבידות לא מועטות בנפש מתרחשים לעיתים תכופות.

ב. אירועים גדולים מתרחשים בצנרת טמונה בעלת קוטר גדול. ייתכן, בשל חוסר האפשרות לבצע בקלות בקרה או תחזוקה על צנרת טמונה.

ג. כמויות החומר הגדולות המעורבות בחלק מהאירועים מעידים על הבעייתיות בהשתלטות מהירה על תרחישים של דליפת גז – בייחוד כאשר מדובר בצנרת טמונה בקוטר ולחצים גבוהים.

10. תרחישי כשל אופייניים למפעל עיבוד גז טבעי

סוגי תרחישים אופייניים לגז דליק הינם VCE, BLEVE, Jet Fire. התרחישים הרלוונטיים למפעל הגז במצב המתוכנן לטווח הקרוב שבו אין אחסון במיכלי גז"נ הנם מסוג VCE ו-Jet Fire (לפיד אש) מצנרת בלבד.

תרחישים העשויים להיות רלוונטים במידה ויוחלט על הנזלה ואיחסון הנם מסוג VCE, BLEVE. התרחיש הרלוונטי לנוזלים הדליקים במפעל הינו תרחיש של "בריכת אש" הנקרא Pool Fire.

הנוזלים הדליקים שצפויים להיות במפעל הינם מתנול, תזקיקים נוזליים מהגז הגולמי (כגון נפט), אולי גם סולר ומזוט להפעלת המתקן. בעת כתיבת הדו"ח לא היה מידע על כמויות ואופן האחסון. הערכת הסיכונים בדו"ח זה תתמקד בגז עצמו מכיוון שאלו התרחישים המגדירים את טווחי הסיכון המשמעותיים. בנוסף יינתנו טווחי סיכון לתרחישי Fire-Pool האופייניים לאיחסון נוזלים דליקים במפעל

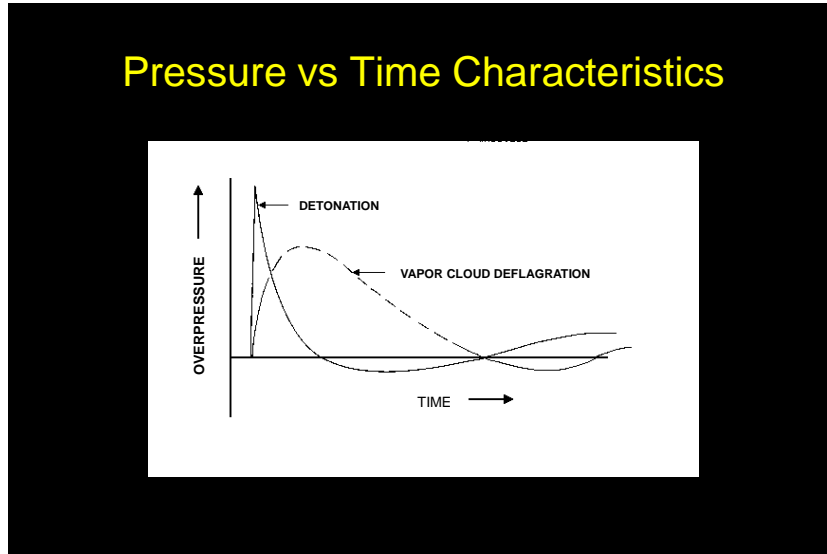
10.1. פיצוץ ענן VCE

פיצוץ ענן מתאפיין בדרך כלל ע"י התלקחות ענן ויצירת גל הלם. כאשר הפיצוץ הינו בשטח פתוח ללא מכשולים הוא נקרא – Unconfined Vapor Cloud Explosion – UVCE, כאשר הפיצוץ במקום המוגבל ולו לפחות בצד אחד ע"י מכשול הוא נקרא VCE = Vapor Cloud Explosion. ישנם חוקרים הסבורים שתופעת ה-UVCE אינה יכולה להתקיים ולא יכול להיות פיצוץ מבלי שלפחות חלק מהענן יהיה מוגבל במכשול - לדוגמא Lees [21], מדריך WHAZAN [20] - סבורים שמה שמעודד גל הלם זה נוכחות המכשולים. יחד עם זאת, אין, נכון להיום, אף הוכחה לכך ש-UVCE לא יכול להתרחש ויתרה מזו, יש מקרים (מקורות 26, 33) בהם התרחש UVCE. עפ"י Lees [21], אנרגיית פיצוץ ענן מחושבת לפי מכפלה של חום השריפה ופקטור היעילות (Efficiency of explosion) מפיצוץ. פיצוץ הענן אפשרי בשני אופנים והם דטונציה ודפלאגרציה.

דטונציה:

חזית האש נעה כגל הלם מלווה בגל בעירה. מהירות החזית יכולה להגיע ל-2000-3000 m/sec, לחץ היתר לכ-20 בר.

הריאקציה הכימית של הפיצוץ הינה, כמו בשריפה, ריאקציה של חימצון. בריאקציה זו החומר המתפוצץ מגיב עם חמצן ליצור תוצרים גזיים תוך שחרור חום רב. החום המשתחרר גורם להתפשטות ענן הגז. כאשר המהירות גבוהה מאוד (דטונציה – מהירות התפשטות גל הלם גדולה ממהירות הקול) התפשטות ענן הגז הנוצר לאוויר סביבו יוצרת גל ההדף הדוחס את האוויר. גל ההדף "נתקל" בחזית הדחוסה של האוויר ו"מותז" חזרה. מתקבל גל יניקה כנראה באיור 12:



קיים קשר בין לחץ היתר ורמת הנזק. קשר זה ניתן בטבלה (מקורות [43] ו-[25]) התופעה של גל ההדף ובעקבותיו גל יניקה גורמת לתנועה של קירות מבנים ובעקבות כך לקריסתם. משך גל ההדף הינו בסדר גודל של אלפיות שנייה (לדוגמא, מקור [43]).

טבלה 2: רמת הנזק כתלות בלחץ היתר

Overpressure [PSI]	Expected Damage
0.50 – 1.0	Windows usually shattered
1.0-8.0	Range for slight to serious injuries from flying glass and other missiles
2.0	Partial collapse of walls and roofs of houses
2.4 – 12.2	Range for 1-90% eardrum rupture among exposed populations
5.0	Wooden utility poles snapped
5.0 – 7.0	Nearly complete destruction of houses
7.0	Loaded train cars overturned
10.0	Probable total building destruction
14.5 – 29.0	Range for 1-99% fatalities among exposed populations due to direct blast effects

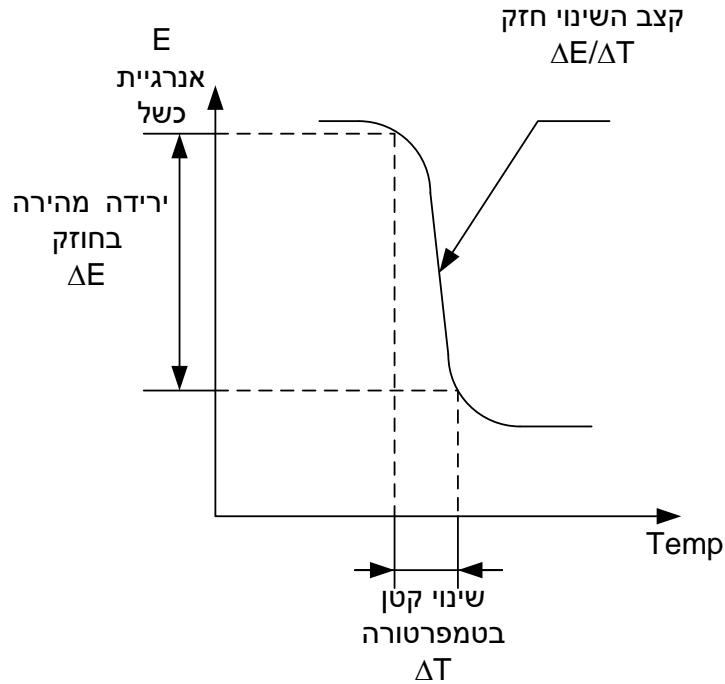
דפלגרציה:

קצב הבעירה איטי יחסית, מהירות ההתקדמות לגל שריפה של תערובות פחמימניות עם אויר: כ- 1 m/sec. גל ההדף ופיק לחץ היתר נמוכים בהרבה מגל ההדף של דטונציה ולכן גם מידת ההרס תהיה נמוכה יותר. ישנם מקרים בהם הפיצוץ מתחיל כדפלגרציה ועובר לדטונציה [21] (דוגמה: פיצוץ פרופאן ב-Port Hudson בשנת 1970).

בהערכת הסיכונים המצורפת בהמשך, יונח כי הפיצוץ בדליפת גז טבעי מצנרת ההובלה יתרחש במנגנון הדטונציה – הן מסיבת עצמת המקור הגבוהה מאוד שצפויה להתקבל והן עקב ריבוי מקורות הצתה אפשריים (רכבים במחלף ו/או בכביש הראשי (כביש 2), טרקטורים בשדות, קצרים / פריקה בקווי מתח וכו') והן כי המקור לפיצוץ יכול להיות מקור מלחמתי. כמו כן הנחה זו הינה הנחה שמרנית – מחמירה, כדי לחזות תוצאות מקסימליות של אירוע פיצוץ.

10.2. התבקעות מיכל גז מונזל רותח BLEVE – Boiling Liquid Expanding Vapor Explosion

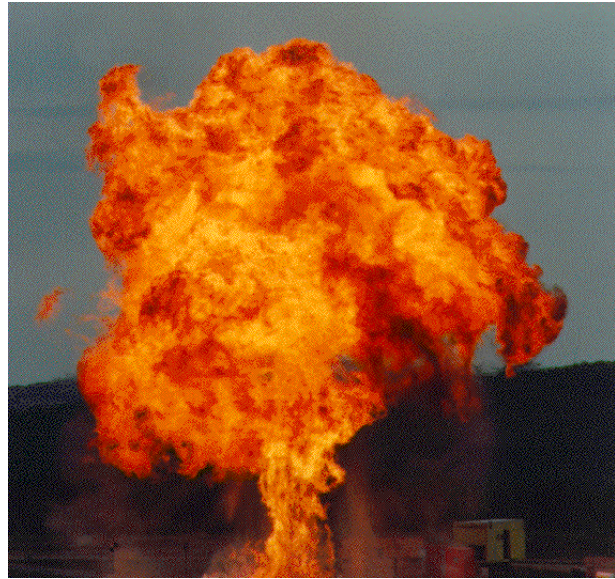
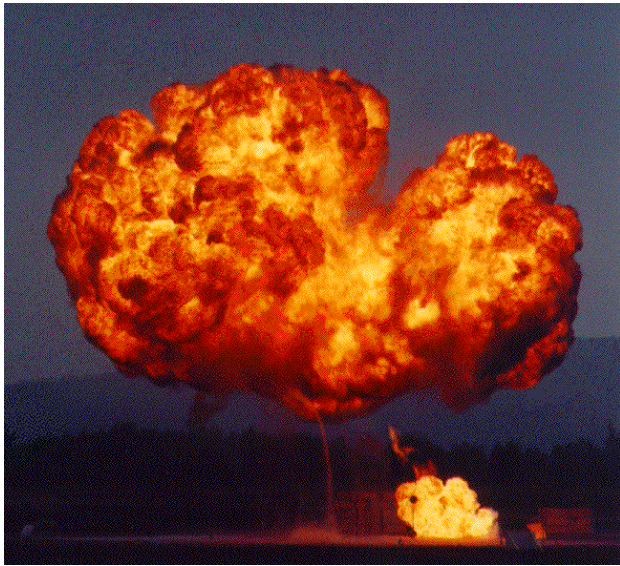
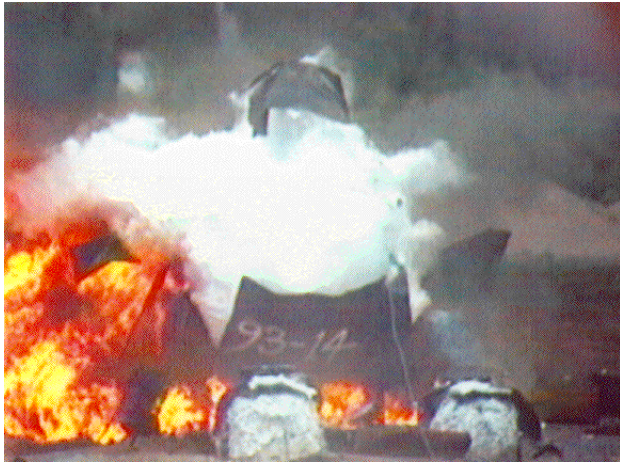
ההתנהגות של מתכת כפונקציה של טמפ' בטמפ' גבוהות נראית כדלקמן [באיור 13]:



משמעות הגרף הינה שקיים תחום טמפרטורות צר בו עלייה קטנה בטמפ' תגרום לנפילה חדה בחוזק המיכל.

תופעת ה- BLEVE הינה התבקעות מיכל כתוצאה משילוב של עליית לחץ ובעיקר ירידה בחוזק המתכת עקב עליה בטמפ' של דופן המיכל הנגרמת כתוצאה מאש מלחכת. כאשר המיכל מתבקע, הגז/אדים שהיו במיכל בפאזה נוזלית עקב הלחץ בו היו מצויים עוברים אידוד מהיר – flash לפאזה הגזית. כאשר ה- BLEVE הינו לחומר דליק, בעקבות התבקעות המיכל יבוא כדור אש:

איור 14: שלבים בהתפתחות BLEVE



כאמור תרחיש זה מאפיין מיכל ולא צנרת.
הפגיעה מקרינת החום של כדור האש תלויה הן בעוצמת הקרינה והן במשך החשיפה לקרינה זו.

10.3 . Pool Fire – בריכת אש:

תרחיש בריכת האש מאפיין מקרה בו נשפכת תכולה של מיכל המכיל פחמימנים נוזליים. החומר שנשפך מוצת ובווער תוך יצירת משטח בווער. המשטח הבוער פולט קרינת חום בעלת פוטנציאל נזק לאנשים ולמבנים הנחשפים לקרינת החום. גם במקרה זה, בדומה לכדור האש, הפגיעה פרופורציונית לעוצמת הקרינה ולמשך החשיפה לקרינה.

לגבי מפעל עיבוד הגז תרחיש בריכת אש רלוונטי למיכלי הפחמימנים המתעבים. בתרשים מפעל העיבוד במקור 201 מדובר בשני מיכלים (מיכלים 114 ו-115) בתכולה של 5871 מ"ק כ"א (קוטר כ-32 מ', גובה כ-7.3 מ') הנמצאים במאצרות זהות בשטח של 55 x 55 מ' = 3025 מ"ר.

11. מודלים חישוביים

פרק זה מציג מודלים מקובלים לשערוך כשל ופגיעה בנפש תשתית ורכוש מן הספרות והמאמרים המקצועיים. -הגדרות של מונחי יסוד מופיעות בפרק **הגדרות** בתחילת העבודה.

11.1. מודלים להערכת נזק מפיצוץ ענן גז – VCE

הפגיעה באדם כתוצאה מפיצוץ ענן (VCE) יכולה להתבטא בפגיעה ישירה מגל ההדף או מפגיעה כתוצאה מחלקי מבנה שקרסו.

פגיעה ישירה באדם מפיצוץ עם גל הדף מחולקת למעשה ל-3 שלבים [23]

1. הפגיעה הראשונית שמעיפה את האדם באוויר (נזקים אורטופדיים – פגיעה בעמוד השדרה, ריסוק / קרע כלי דם בריאות, קרע הרשתיות בעיניים, קריעת עור התוף).
2. הפגיעה השניונית מרסיסים וחפצים אחרים עפים (פגיעות ראש, פגיעות גפיים, פגיעה באיברים הפנימיים).
3. הפגיעה השלישונית בפגיעת הגוף בקרקע, קירות וכו' בנפילתו (גל הדף יכול "להעניק" לגוף האדם תאוצה של עד 15 ג'. אחוז התמותה כתוצאה מהתנגשות גוף האדם בחפץ נייח במהירות מעל $26 \text{ ft/sec} = 7.9 \text{ m/sec}$ הינו כ-50%. הפגיעה צפויה להיות רב מערכתית, בדומה לפגיעה כתוצאה מתאונת דרכים.

הפגיעה ממנה נהרגים יותר בני אדם הינה עקב נפילת חלקי מבנה על בני אדם. מבנים רגישים ללחץ יתר מפיצוץ יותר מאשר בני אדם. ניתן לראות זאת בטבלאות 7 ו-8 להלן

טבלה 3: השפעת עוצמת פיצוץ ענן על בני אדם

Impact of Vapor Cloud Explosions on People	
Peak Overpressure [PSI]	Effects
1	Knock personal down
5	Rupture eardrums
15	Damage lungs
35	Threshold fatalities
50	50% fatalities
65	99% fatalities

טבלה 4: השפעת פיצוץ על מבנים

Damage from Vapor Cloud Explosions	
Peak Overpressure [PSI]	Typical Damage
0.5 – 1	Glass windows break
1 – 2	Common siding types fail <ul style="list-style-type: none"> • Corrugated asbestos, shatters • Corrugated steel, panel joins fail • Wood siding, blows in
2 – 3	Unreinforced concrete or cinder block walls fail
3 – 4	<ul style="list-style-type: none"> • Self – framed steel panel buildings collapse • Oil storage tanks rupture
5	Utility poles snap
7	Loaded rail cars overturn
7 – 8	Unreinforced brick walls fail

מאחר ועיקר הפגיעה כתוצאה מפיצוץ הינה כתוצאה מנפילת חלקי מבנה על אנשים, הערכת הסיכונים לתוצאות פיצוץ מתבססת על הערכת נזק למבנים.

11.1.1. נושא הגבלת כמות חומר מעורבת בפיצוץ של עד 100 טון:

על פי התו"ל המיקצועי של פיקוד העורף נכון ליום כתיבת חוות דעת זו הכמות המקסימלית של גז שיכולה להתפוצץ הינה 100 טון.

המקור, להנחה זו, להבנת כותבי העבודה הינו במאמר של Trevor Kletz מ-1980 (Kletz,) T.A. Loss prevention Manual 1980) בו הוא כותב שהכמות המקסימלית שיכולה להתפוצץ הינה 50 טון. (כותבי עבודה זו לא הצליחו לאתר את המאמר).

במקור [20] משתמשים במודל הישים גם הוא עד כמות של 100 טון. מאידך, כותבי עבודה זו מצאו עדות להתפוצצות של כמות גז שמעל 100 טון (פירוט בהמשך). לפיכך נסקור מודל להערכת טווחי סיכון כתוצאה מפיצוץ לכמות של עד 100 טון ולכמות של מעל 100 טון.

11.1.2. חישוב לכמות עד 100 טון:

(מתבסס על [31] המצוטט במקור [20]).

חישוב רדיוס הנזק מבוצע בשימוש במשוואה מספר (8):

$$(8) \quad r(n) = C(n) \times (\eta \times E)^{1/3}$$

כאשר $n=1, \dots, 4$ ורמות הנזק מוגדרות כ:

- $C(1) = 0.03$ נזק כבד למבנים ומתקני תהליך
- $C(2) = 0.06$ נזק ניתן לתיקון לבניינים, נזק לחזית של מבני מגורים
- $C(3) = 0.15$ שבר זגוגיות מסיבי הגורם לפציעות אנשים
- $C(4) = 0.40$ שבר זגוגיות בהיקף של כ-10%

η מייצג את יעילות הפיצוץ

E היא האנרגיה הזמינה תיאורטית לפיצוץ.

המודל הנ"ל הותאם לאינפורמציה על תאונות בהן E היה עד 5×10^{12} ג'אול, כלומר מתאים לכמות של עד 10^5 ק"ג של חומרים דליקים נפוצים. מקובל להניח כי ערכו של η הנו 0.109 לפי מהמודל של TNT [31].

11.1.3. חישוב לכמות של 100 טון ומעלה:

ניתן להשתמש ב-TNT Equivalent model של R.J. Harris and Wickens (1989) [27]. מודל זה מחשב את לחץ היתר ממרכז הענן המתפוצץ. על פי מודל זה, עבור מסה m של חומר מתפוצץ ניתן לייחס כמות שוות ערך של TNT לפי משוואה (9):

$$(9) \quad m_{TNT} = (\eta \times m \times H_C) / H_{TNT}$$

כאשר:

- m_{TNT} מסה אקוויולנטית של TNT [ק"ג]
- η יעילות הפיצוץ. ניתן לקחתה כ-0.109
- m מסת החומר המתפוצץ. [ק"ג]
- H_C חום השריפה של החומר המתפוצץ. (ביחידות J/kg)
- H_{TNT} חום השריפה של TNT ($4.76e6$ J/Kg).

את הקשר בין לחץ היתר המקסימלי והמרחק ניתן לקבל ממשוואה (10):

$$(10) \quad r^* = r / (m_{TNT}^{1/3})$$

כאשר:

- r^* מרחק התואם ללחץ יתר מסוים ביחידות $m/kg^{1/3}$
- r מרחק אמיתי במטרים.

הקשר בין r^* ולחץ היתר P_x עבור TNT ניתן על פי Frank Lees [21] בטבלה להלן:

טבלה 5: מרחק סיכון מותאם כתלות בלחץ השיא

Peak Overpressure	Scaled Distance
P_x [bar]	r^* [$m/Kg^{1/3}$]
6.803	1.12
3.401	1.53
1.361	2.32
0.68	3.28
0.34	4.87
0.136	8.62
0.068	14
0.034	24.7
0.02	40.3
0.0136	57
0.0068	103
0.0021	298.9

מטבלה ניתן לראות שהרס מבנים חלקי ניתן בלחץ של 2PSI כלומר 0.136Bar. מרחק הסיכון המותאם r^* ללחץ יתר זה הינו $8.62m/Kg^{1/3}$. נתון זה הינו משמעותי לצורך חישוב טווחי ההרס שיבוצעו בהמשך.

11.1.4. דוגמה מעשית לפיצוץ של יותר מ-100 טון גז דליק הינה התאונה שאירעה ברוסיה ב-3 ביוני 1989:

צינור גפ"מ התפוצץ בין ערים Ufa ו-Asha ברוסיה. הפיצוץ פירק 2 רכבות והרג 575 אנשים. גל ההדף מהפיצוץ גרם לשבר זגוגיות במרחק 13 ק"מ מהמוקד. המומחים הגיעו למסקנה שעצמת הפיצוץ הייתה שוות ערך ל-10 קילוטון TNT [32] (כלומר, 10^7 ק"ג TNT).

רצינו להעריך מה הייתה כמות החומר המעורבת באירוע. לשם כך ביצענו שימוש במשוואה (9).

תהליך החישוב הוא לחלץ על פי נתוני התרחיש את מסת הגפ"מ לפי פעולות אלגבריות במשוואה (11).

$$m_{TNT} = (\eta \times m \times H_C) / H_{TNT}$$

$$10^7 Kg_{TNT} = (0.109 \times m_{LPG} \times H_{C,LPG}) / H_{TNT}$$

(11)

כאשר חום השריפה של גפ"מ הינו: $H_{C_LPG} = 4.96 \times 10^7 J/Kg$.
פתרון המשוואה מניב את (12):

$$m_{LPG} = (10^7 \times 4.76 \times 10^6) / (0.109 \times 4.96 \times 10^7) =$$
$$8821349.15Kg = 8821.3Ton \approx 8.8KTon$$

(12)

מסקנה – קיימת אפשרות לפיצוץ כמות שמעל 100 טון:

כלומר כמות החומר שהייתה מחושבת באירוע הינה כ- 8800 טון - הרבה מאוד (כמעט שני סדרי גודל) מעל 100 טון.

המסקנה מחישוב התרחיש שארע ברוסיה היא שקיימת כאן סתירה להנחות החישוב של פיקוד העורף המגבילות את מסת החומר המשתחררת מצינור בתרחיש VCE ל-100 טון בלבד גם אם זו למעשה כמות גדולה יותר. מסקנה זו הנה משמעותית לגבי חישובי סיכון בענני גז בכמות הגדולה מ-100 טון – ללא תלות בסוג הגז.

11.2. מודל להערכת נזק ופגיעה מכדור אש

כעקרון, לדעת כותבי העבודה לא צפוי תרחיש BLEVE במפעל הגז מאחר ותרחיש זה מאפיין מיכלי לחץ – שלמיטב ידיעתינו לא יהיו במפעל. ההסבר מצורף בכל זאת כי לא ניתן להסביר על תרחישי גז דליק מבלי להתייחס לנושא זה. כאמור, הנזק לאדם מקרינת החום של כדור האש תלוי הן בעוצמת הקרינה והן במשך החשיפה לקרינה זו. קשר זה בא לידי ביטוי ב פונקציית Probit (מקור 21 המצטט את "Eisenberg 1977" – לא הצלחנו לאתר את המאמר המקורי) המבטאת את ההסתברות למוות או אחוז האנשים העלולים למות כתוצאה מקרינת החום.

פונקציית ה-Probit למוות כתוצאה מחשיפה לקרינה הנפלטת מכדור אש (Eisenberg, 1977) מובאת במשוואה מספר (1)

$$(13) \quad \text{Probit} = -14.9 + 2.56 \ln(t \times Q^{4/3} \times 10^{-4})$$

כאשר Q נתון ביחידות watt/m²sec ו-t נתון בשניות.

ניתן לבטא את תוצאת פונקציית ה-Probit בטבלה [29]:

טבלה 6: פונקציית Probit לתיאור הסתברות לפגיעה כתלות בעוצמת שטף קרינת החום

Radiation level (kW/m ²)	Second Exposure for % Fatality Levels		
	1%	50%	99%
1.6	500	1300	3200
4.0	150	370	930
12.5	30	80	200
37.5	8	20	50

ערך הסף למוות המקובל הוא 1% - על פי התו"ל של פיקוד העורף.

חישוב טווח הסיכון לכדור אש נעשה בשיטה הבאה, [28]:

חישוב הרדיוס המקסימלי של כדור האש לפי קורלצית (Crossthaite et al (1988) [28] כמובא במשוואה (14)

$$(14) \quad r_m = 2.9 \times m^{1/3}$$

כאשר m היא מסת חומר ביחידות ק"ג

חישוב משך הבעירה, Δt (שניות) :

לכמויות קטנות מ-37000 ק"ג :

$$(15) \quad \Delta t = 0.45 \times m^{1/3}$$

ועבור הכמות שגדולה מ-37000 ק"ג :

$$(16) \quad \Delta t = 0.45 \times m^{1/6}$$

האנרגיה המשתררת משריפה ביעילות η הינה:

$$(17) \quad Q = H_c \times m \times \eta$$

כאשר Q הנו כמות החום ביחידות - watt/m²sec.

H_c הנו חום שריפה ביחידות – J/Kg.

m הנה מסת החומר בק"ג.

לפי Roberts (1982) [30] היעילות מחושבת כדלקמן:

$$(18) \quad \eta = 0.27 \times (P_s \times 10^{-6})^{0.32}$$

כאשר P_s הינו לחץ האדים ברוויה ביחידות N/m² של החומר המאוסון.

שטף החום I (ביחידות Kw/m²) במרחק r (מטרים) ממרכז כדור האש נתון במשוואה מספר (19) :

$$(19) \quad I = Q \times \tau / (4\pi r^2 \Delta t)$$

כאשר τ היא שקיפות האוויר (שקיפות מירבית = 1).

11.3. מודל לחישוב השפעת קרינה מבריכת אש – Pool Fire

המודל בו נעשה שימוש לחישוב טווחי סיכון מקרינת חום מבריכת אש מסתמך על מסמך ישים C. במסמך זה מחושבים טווחי סיכון לחשיפה לקרינת חום ברמה של 4.7 KW/m^2 לבני אדם (חשיפה מותרת למינון מצטבר במשך 8 דקות) ו- 13 KW/m^2 למבנים. במסמך מחושבים טווחי סיכון למספר סוגים של פחמימנים בהתבסס על קצב בעירה וחום שריפה. במסמך ניתנות תוצאות בצורה של גרפים וטבלאות המפרטים טווחי סיכון כפונקציה של קוטר בריכת האש. כמו כן נלקחת בחשבון השפעת הרוח הגורמת לגרירת האש במורד הרוח ובעקבות כך להגדלת השפעת הקרינה בכיוון הרוח.

11.4. מודל לחישוב טווח לגבול דליקות תחתון – ALOHA

כעקרון, טווחי הסיכון כתוצאה מפיצוץ מחושבים ממרכז הענן המתפוצץ [20]. לפיכך יש צורך לחשב את גודל הענן. כמות החומר הזמינה לפיצוץ הינה הכמות בין גבול הדליקות העליון וגבול הדליקות התחתון. אולם, מאחר וייתכן מצב בו חומר בריכוז מעל גבול הדליקות העליון ישאב כתוצאה מהאפקט של הפיצוץ וימהל לריכוז פציץ אזי בעבודה זו בחרנו לקחת כגול הענן הפציץ את כל החומר עד לגבול הדליקות התחתון. המרחק לגבול דליקות תחתון יחושב בשימוש ב- ALOHA המסתמכת על מודל פסקוויל לחישוב ריכוזים (מקור 35).

12. בחירת תרחישי ייחוס

12.1. בחירת תרחישי ייחוס על פי הנחיות המדריך לניהול סיכונים של המשרד להגנת הסביבה

המדריך לניהול סיכונים של המשרד להגנת הסביבה [מסמך ישים D] מיועד למיתקנים קיימים ולא למטרות תכנון. מאחר והמדריך המיועד לתכנון, שטייטה ממנו כבר נכתבה לא אושר במועד הכנת מסמך זה, אזי נשתמש בהנחיות מסמך ישים D.

המדריך מגדיר רשימה של חומרים וכמויות סף שלגביהם הוא תקף. בפרק 4 של המדריך מוגדרת הערכת הסיכונים אותה יש לבצע. על פי ההגדרה יש לבצע הערכת סיכונים לתרחיש המחמיר ביותר ולחשב טווח לפרמטרים הבאים:

- לחץ יתר של 1 psi.
- חשיפה לקרינת חום במשך זמן חשיפה של 40 שניות לעוצמת שטף 5 KW/m^2 .
- גבול דליקות תחתון (LFL).

התרחיש החמור ביותר עבור חומרים דליקים על פי מדריך ניהול הסיכונים הינו:

- עבור חומרים במיכל – הכמות הגדולה ביותר המוחזקת במיכל יחיד הלוקחת בחשבון אמצעים אירגוניים המגבילים את הכמות המירבית.
- עבור חומרים בצנרת – הכמות הגדולה ביותר בצינור הלוקחת בחשבון מנגנונים ארגונים המגבילים את הכמות המירבית.

אמצעים ארגונים מוגדרים במדריך באופן הבא:

"אמצעים כגון נהלים, הוראות, שיטות עבודה וכדומה המגבילים את השפעות התרחיש החמור ביותר, כגון החלטה על אי ביצוע תהליך מסוכן בשעות הלילה. אמצעי אירגוני הוא בהכרח אמצעי פסיבי" [D]

אמצעי פסיבי מוגדר במדריך:

"פעולות, טכנולוגיות, או ציוד המתוכנן או משמש בשטח לאצירה או הגבלה של כמות החומר המשתחררת בעת תקרית, ולהפחתת חשיפת הציבור או הסביבה לסיכון הנובע מהתקרית.

מענה פאסיבי: ציוד, מכשירים, או טכנולוגיות המתפקדים ללא מקור אנרגיה אנושי, מכאני, או אחר. מענה אקטיבי: ציוד, מכשירים, או טכנולוגיות הדורשים מקור אנרגיה אנושי, מכני או אחר על מנת שיפעלו.

מענה ארגוני: הקטנת גודל המקור על ידי אמצעים ארגוניים כגון הגבלת מלאי מקסימלי."

בבחירת תרחיש החומרים הדליקים על פי הנחיית המדריך יש להניח שכמות החומר שנבחרה מתאדה וכתוצאה מכך מתרחש פיצוץ ענן אדים (VCE).

לגבי ביצוע הערכת הסיכונים על פי המדריך ניתן להשתמש במודלים המתבססים על המדריך או על מקורות (2) ו-(3) במדריך - "הספר הצהוב" ההולנדי (חב' 1997 CPR14E TNO, מהדורה 3 ואילך), [מסמך ישים E] ו- Loss prevention in the process industry, Lees 1992 ומדורות מעודכנות [21].

הערה: טווחי סיכון לגז טבעי בעבודה זו יחושבו במודל העושה שימוש במשוואות לפי מקור [21].

12.2. הנחיות פיקוד העורף ענף חומרים מסוכנים

פיקוד העורף ענף חומרים מסוכנים מגדיר שני סוגי תרחישים:

- תרחיש VCE עבור כל הכמות המשתחררת מצובר או צנרת, כאשר אם הכמות עד 100 טון מבוצע חישוב לכל הכמות המשתחררת, אם הכמות מעל 100 טון, מבוצע חישוב ל- 100 טון בלבד.
- תרחיש Boiling Liquid Expanding Vapor Explosion – BLEVE, שפירושו תרחיש אשר מלחכת אשר מחממת את תכולת המיכל ומעלה את הלחץ בו מחד, ומחלישה את הדופן מאידך. בעקבות ה-BLEVE יבוא כדור אש שיגרום לקרינת חום שתהווה סיכון לאנשים.

הכמות המקסימלית ל-BLEVE לפי פיקוד העורף הינה תכולת המיכל הגדול ביותר.

פיקוד העורף מחשב טווחי סיכון לתרחיש ה-VCE לארבע רמות הרס:

- הרס כבד,
- הרס ניתן לתיקון,
- שבר זגוגיות מסיבי
- 10 % שבר זגוגיות.

טווח הסיכון לאנשים על פי פיקוד העורף הינו הטווח להרס מוגבל למבנים – מתוך הנחה שבתרחיש זה יהיו מספר גדול של נפגעים.

פיקוד העורף מחשב טווחי סיכון לתרחיש BLEVE ובעקבותיו כדור אש לשלוש רמות נזק:

- 1% מוות.
- 50% מוות.
- 99% מוות.

טווח הסיכון לאנשים הינו טווח הסיכון ל- 1% מוות + פקטור של 20%. את החשובים מבצע פיקוד העורף בעזרת סרגל טווחי הרס וסרגל קרינת חום ייעודיים שפותחו לשם כך במיוחד. הסרגלים מסתמכים על המודלים המופיעים במקורות [20] ו-[21].

12.3. הנחיות ה-EPA האמריקאי

משרד הגנת הסביבה האמריקאי (EPA) Environmental Protection Agency מסתמך בהנחיותיו לתרחישי ייחוס על הספר הצהוב ההולנדי (מסמך ישים E). ספר זה מנחה לבחון שני תרחישים לכשל בצנרת:

- התבקעות מלאה של צינור, קרי קוטר החתך שווה לקוטר הצינור.
- חור בקוטר 10% מקוטר הצינור

ציטוט ההנחיה מובא באיור שלהלן:

איור 15: תרחיש ייחוס לצנרת על פי ה"ספר הצהוב" (מסמך ישים E).

3.2.3 Pipes

The LOCs for pipes cover all types of process pipes and inter-unit pipelines above ground of an establishment. The LOCs for transport pipelines underground are given elsewhere. The LOCs for pipes are given in Table 3.6 and LOC frequencies for pipes in Table 3.7.

Table 3.6 LOCs for pipes

LOCs for pipes	
G.1	Full bore rupture - outflow is from both sides of the full bore rupture
G.2	Leak - outflow is from a leak with an effective diameter of 10% of the nominal diameter, a maximum of 50 mm

Table 3.7 Frequencies of LOCs for pipes

Installation (part)	G.1	G.2
	Full bore rupture	Leak
pipeline, nominal diameter < 75 mm	$1 \times 10^{-6} \text{ m}^{-1} \text{ y}^{-1}$	$5 \times 10^{-6} \text{ m}^{-1} \text{ y}^{-1}$
pipeline, $75 \text{ mm} \leq \text{nominal diameter} \leq 150$ mm	$3 \times 10^{-7} \text{ m}^{-1} \text{ y}^{-1}$	$2 \times 10^{-6} \text{ m}^{-1} \text{ y}^{-1}$
pipeline, nominal diameter > 150 mm	$1 \times 10^{-7} \text{ m}^{-1} \text{ y}^{-1}$	$5 \times 10^{-7} \text{ m}^{-1} \text{ y}^{-1}$

הערה: הערכת הסיכונים בדו"ח זה תיעשה למקטע צנרת בסמיכות למתקן הקבלה, כלומר צנרת שעולה לפני השטח. דבר התואם לציטוט הבא מהספר הצהוב:

"The LOCs for pipes cover all types of process pipes and inter-unit pipelines above ground of an establishment."

12.3.1. התרחיש הנבחר ושיטת החישוב לסימולציה

לאחר בחינת הנחיות הרשויות השונות לבחירת תרחישי ייחוס, התרחיש לכשל צנרת שנבחר הנו תרחיש קרע מלא בחתך הצינור. הצנרת שתילקח בחשבון הינה צנרת כפולה בקוטר 16" (כל צינור) ובלחץ של 450 בר גז.

ההסתברות לתרחיש קרע מלא / שבר בחתך מלא בחתך הצינור על פי הספר הסגול (מסמך ישום E) לצנרת בקוטר גדול מ- 150 מ"מ הינה: $1.1e-7/m/year$.

סיבות הכשל בקטע היבשתי וניתוח סבירותן מובאות להלן:

- רעידת אדמה
- פגיעה ע"י טרקטור (הצינור עובר בשטחים חקלאיים)
- פגיעה מלחמתית
- חבלה
- קורוזיה או עייפות חומר

ההסתברות לאירוע במקטע הצינור היבשתי לחתך מלא, בהנחה של 1.5 ק"מ צינור ביבשה, המסתמכת על המידע במקור 190 הנה בשיעור של $1.5e-4$ לשנה.

בעקבות הקרע תתרחש דליפת ענן גז והתפשטותו ולאחר מכן, כאשר יפגוש מקור הצתה, פיצוץ – VCE.

ההנחה לגודל הענן, כפי שמוסבר בפרק המודלים – סעיף 9.4, היא כמות הגז המוכלת בענן ממוקד הדליפה ועד לגבול הדליקות התחתון.

התנאים המטאורולוגיים שנלקחו לצורך חישוב גודל הענן - הינם תנאים מחמירים של מצב מטאורולוגי יציב (אירוע מתרחש בלילה) – לילה בהיר, מהירות רוח 2 מ/שניה, טמפ' 10 צלזיוס, גובה אינוורסיה 300 מ'.
בדרך כלל בלילה נלקחת מהירות של 1.5 מ/שניה, אולם כאן בגלל שמדובר בחוף נלקחו 2 מ/שניה.

13. תהליך החישוב

13.1. כלי החישוב

הניסיון המקצועי של מבצעי הערכת הסיכונים מצביע על כך שהערכת הסיכון לתרחיש VCE ב-ALPHA (בגירסא הנוכחית – 5.4.1.2) מקלה מאוד ולא נותנת טווחי סיכון המשקפים את הנזק שנגרם במקרי פיצוץ שהיו. לפיכך, חישוב טווחי הסיכון נעשה בשימוש במודל TNT Equivalent (מקור 31). לשם השוואה, נעשה גם חישוב בהתחשב במגבלת 100 טון של פיקוד העורף, בשימוש באלגוריתם עליו מתבסס סרגל טווחי הרס של פיקוד העורף ואשר בו עושה שימוש גם תוכנת WHAZAN [20].

13.2. הערכת סיכונים

תת פרק זה מציג אנליזת סיכונים לשלושה תרחישים עבור צינור היבשה בהתבסס על ההנחות מתת פרק 12.3.1 ותרחיש בריכת אש למיכל מתעבים. המקרים המחושבים לתרחיש צנרת הנם כדלקמן:

- דליפה מצנרת כניסה למתקן הגפה הממוקם על החוף.
- צנרת ממתקן ההגפה למתקן הקבלה שעל החוף. הערכה לפיצוץ גז דולף VCE.
- תרחיש קטסטרופלי של רעידת אדמה חזקה שתקרע את שתי הצנרות בקטע החופי.

בנוסף בוצעה הערכה לתרחישים הבאים בכדי לכסות תכנון עתידי לגט"נ וכן בכדי להעריך את הסיכון בפליטות של גפרית דו מימנית.

- הערכת סיכונים ל- H_2S
- הערכת סיכונים למיכל גט"נ

13.2.1. הערכת סיכונים לתרחיש דליפה מצנרת כניסה למיתקן הגפה

הממוקם על החוף/כניסה למיתקן ה- Slug catcher במפעל

עיבוד הגז – צנרת 16", לחץ 450 בר, טמפ' 0°C:

הערה: אורך הצינור 90 ק"מ אולם בגלל מיגבלות תוכנה נלקח ארוך של 10 ק"מ בלבד.

13.2.1.1. חישוב גודל ענן גז בתוכנת ALOHA:

SITE DATA:

Location: DOR, ISRAEL

Building Air Exchanges Per Hour: 0.26 (sheltered double storied)

Time: June 13, 2010 0200 hours ST (user specified)

CHEMICAL DATA:

Chemical Name: METHANE Molecular Weight: 16.04 g/mol

TEEL-1: 3000 ppm TEEL-2: 5000 ppm TEEL-3: 200000 ppm

LEL: 44000 ppm UEL: 165000 ppm

Ambient Boiling Point: -161.5° C

Vapor Pressure at Ambient Temperature: greater than 1 atm

Ambient Saturation Concentration: 1,000,000 ppm or 100.0%

ATMOSPHERIC DATA: (MANUAL INPUT OF DATA)

Wind: 2 meters/second from w at 10 meters

Ground Roughness: open country Cloud Cover: 0 tenths

Air Temperature: 10° C Stability Class: F

Inversion Height: 300 meters Relative Humidity: 50%

SOURCE STRENGTH:

Flammable gas escaping from pipe (not burning)

Pipe Diameter: 16 inches Pipe Length: 10000 meters

Unbroken end of the pipe is connected to an infinite source

Pipe Roughness: smooth Hole Area: 201 sq in

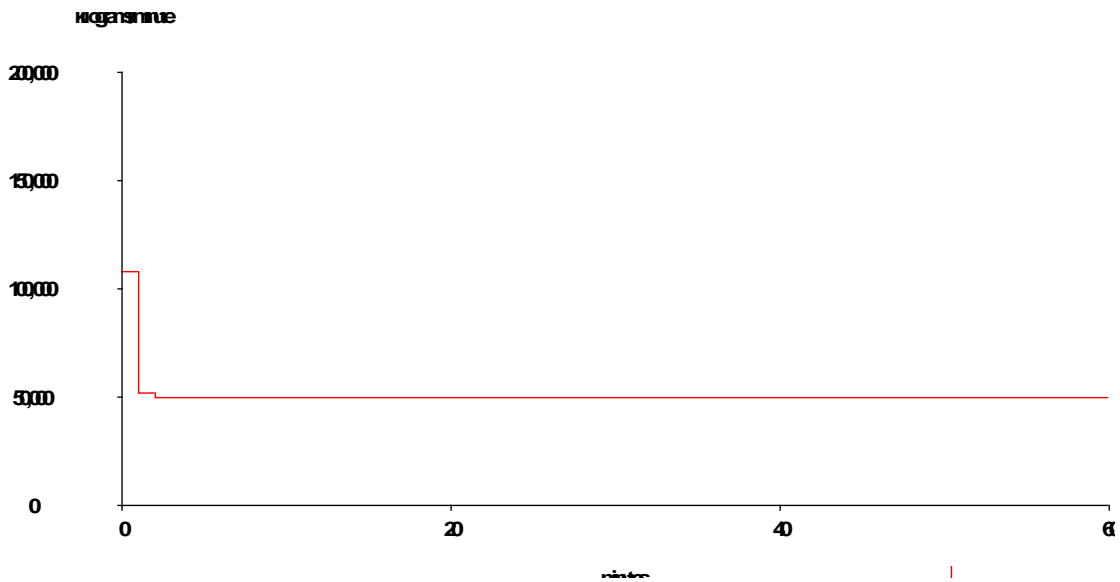
Pipe Press: 450 atmospheres Pipe Temperature: 0° C
Release Duration: ALOHA limited the duration to 1 hour
Max Average Sustained Release Rate: 108,000 kilograms/min
(averaged over a minute or more)
Total Amount Released: 3,042,563 kilograms

THREAT ZONE:

Threat Modeled: Flammable Area of Vapor Cloud
Model Run: Heavy Gas
Red : 302 meters --- (44000 ppm = LEL)

מרחק לגבול דליקות תחתון – 302 מ'.
עוצמת מקור מקסימלית – 108 טון לדקה.

13.2.1.2. עוצמת המקור תראה כך:



אחרי מספר דקות קטן עוצמת המקור יורדת לכ- 50 טון לדקה.

להלן תיעשה הערכת סיכונים לשתי נקודות (נפרדות) על הגרף:

אחת עבור עוצמת המקור המקסימלית המתאימה לדקות הראשונות, והשנייה לפיצוץ שמתרחש מספר

דקות לאחר תחילת הדליפה.

13.2.1.3. הערכת סיכונים לפי אלגוריתם של אקו-סייפ

המסתמך על משוואות Frank Lees [21] במהירות רוח של 2 מ' הזמן שייקח לענן להגיע למרחק 300 מ' הינו 150 שניות.

אם ההצתה תהיה בדקות הראשונות, כמות החומר שתדלוף ותהיה מעורבת בפיצוץ בפרק זמן זה הינה $150/60 * 108 = 270$ טון. זו כמות החומר שלגביה יחושב הטווח לפיצוץ.

טבלה 7: חישוב טווחי הרס לדליפה בקצב 108 טון לדקה

שם החומר:	חום שריפת החומר:	מסת החומר:	m(TNT)	טווח נזק כבד לבניינים [מטר]	טווח לנזק ניתן לתיקון לבניינים (2 psi) [מטר]	טווח לשבר זגוגיות מסיבי (1 psi) [מטר]	טווח 10% שבר זגוגיות [מטר]
מתאן	5.02E+07 j/kg	270000 kg	310375.2 kg	262.7004	583.6282	947.888	1672.345

כלומר, טווחי הסיכון ממוקד הפיצוץ הם 584 מ' לנזק ניתן לתיקון לבניינים (קריטריון פיקוד העורף), ו-948 מ' לשבר זגוגיות מסיבי (קריטריון ניהול סיכונים הגנ"ס).

יש לציין ששבר זגוגיות במבנה יכול לגרום לפציעות קשות לאנשים השוהים במבנה וסביבתו הקרובה. כאשר מתחשבים במרחק למרכז הענן (302/2 מ'), טווחי הסיכון הם:

טווח סיכון נזק ניתן לתיקון לבניינים: $584 + 151 = 735$ מ'

טווח סיכון לשבר זגוגיות מסיבי: $151 + 948 \approx 1100$ מ'

אם ההצתה תהיה לאחר מספר דקות, כאשר עוצמת המקור תרד ל-50 טון לדקה כמות החומר שתהיה מעורבת בפיצוץ תהיה 125 טון וטווחי הסיכון יהיו:

טבלה 8: חישוב טווח הרס לדליפה בקצב 50 טון לדקה

שם החומר:	חום שריפת החומר:	מסת החומר:	m(TNT)	טווח נזק כבד לבניינים [מטר]	טווח לנזק ניתן לתיקון לבניינים (2 psi) [מטר]	טווח לשבר זגוגיות מסיבי (1 psi) [מטר]	טווח 10% שבר זגוגיות [מטר]
מתאן	5.02E+07 j/kg	125000 kg	143692.2 kg	203.2245	451.4937	733.2844	1293.723

כלומר, טווחי הסיכון ממוקד הפיצוץ הם 451 מ' לנזק ניתן לתיקון לבניינים (נחשב לטווח סיכון ע"י פיקוד העורף), ו-733 מ' לשבר זגוגיות מסיבי.
יש לציין ששבר זגוגיות במבנה יכול לגרום לפציעות קשות לאנשים השוהים במבנה וסביבתו הקרובה.

הטווח בתוספת מחצית המרחק לגבול הדליקות התחתון יהיה:

טווח להרס מבנים ניתן לתיקון של כ- $150 + 451 = 601$ מ' והרס זגוגיות מסיבי בטווח של כ- 883 מ'.

13.2.2. הערכת סיכונים לצנרת ממיתקן ההגפה למיתקן הקבלה שעל

החוף - הערכת סיכונים לפיצוץ גז דולף- VCE - מקטע צנרת

בקוטר 16" ולחץ 255 בר:

13.2.2.1. חישוב עוצמת מקור ומרחק לגבול דליקות תחתון:

תרחיש לילה – מצב יציב:

SITE DATA:

Location: DOR, ISRAEL

Building Air Exchanges Per Hour: 0.26 (sheltered double storied)

Time: June 13, 2010 0200 hours ST (user specified)

CHEMICAL DATA:

Chemical Name: METHANE Molecular Weight: 16.04 g/mol

TEEL-1: 3000 ppm TEEL-2: 5000 ppm TEEL-3: 200000 ppm

LEL: 44000 ppm UEL: 165000 ppm

Ambient Boiling Point: -161.5° C

Vapor Pressure at Ambient Temperature: greater than 1 atm

Ambient Saturation Concentration: 1,000,000 ppm or 100.0%

ATMOSPHERIC DATA: (MANUAL INPUT OF DATA)

Wind: 2 meters/second from w at 10 meters

Ground Roughness: open country Cloud Cover: 0 tenths

Air Temperature: 10° C Stability Class: F

Inversion Height: 300 meters Relative Humidity: 50%

SOURCE STRENGTH:

Flammable gas escaping from pipe (not burning)

Pipe Diameter: 16 inches Pipe Length: 1500 meters

Unbroken end of the pipe is connected to an infinite source

Pipe Roughness: smooth Hole Area: 201 sq in

Pipe Press: 255 atmospheres Pipe Temperature: 0° C

Release Duration: ALOHA limited the duration to 1 hour

Max Average Sustained Release Rate: 78,100 kilograms/min
(averaged over a minute or more)

Total Amount Released: 4,186,740 kilograms

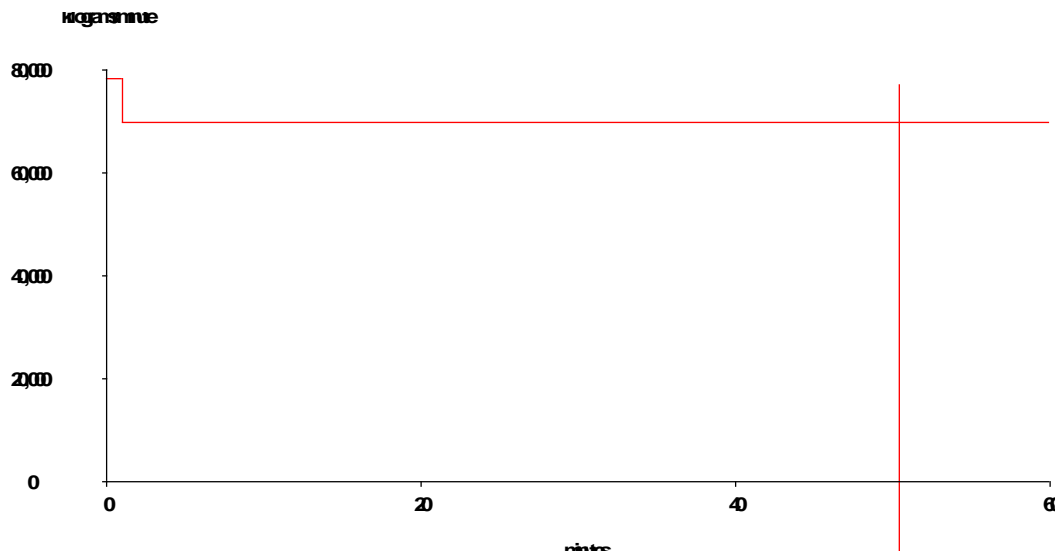
THREAT ZONE:

Threat Modeled: Flammable Area of Vapor Cloud

Model Run: Heavy Gas

Red : 219 meters --- (44000 ppm = LEL)

13.2.2.2. עוצמת המקור תיראה כך:



כלומר, בדקות הראשונות מדובר בעוצמת מקור של 78.1 טון לדקה ולאחר מכן בכ- 70 טון לדקה. המרחק לגבול הדליקות התחתון, כלומר מרחק שבו ענן הגז דליק הינו כ- 220 מ'. במהירות רוח של 2 מ' לשניה – האופיינית ללילה יעברו 110 שניות עד שהגז יגיע למרחק זה. במקרה של עוצמת מקור מקסימלית, כמות החומר המעורב בפיצוץ הינה כמות החומר שדלפה במשך 110 שניות, כלומר – $78 \times 110 / 60 = 143$ טון.

13.2.2.3. טווח הסיכון לפיצוץ כמות חומר זו:

טבלה 9: חישוב טווח הרס לקצב דליפה 78 טון לדקה.

שם החומר:	חום שריפת החומר:	מסת החומר:	m(TNT)	טווח נזק כבד לבניינים	טווח לנזק ניתן לתיקון לבניינים	טווח לשבר זגוגיות מסיבי (1psi)	טווח 10% שבר זגוגיות
	j/kg	kg	kg	[מטר]	[מטר]	[מטר]	[מטר]
מתאן	5.02E+07	143000	164383.9	212.5453	472.2011	766.916	1353.059

טווחי סיכון כולל התחשבות במרחק לגבול דליקות תחתון:

הרס מבנים ניתן לתיקון- 582 מ'.

שבכ זגוגיות מסיבי – 877 מ'.

עבור עוצמת מקור של 70 טון לדקה: כמות החומר המעורבת בפיצוץ – 128 טון.

טבלה 10: חישוב טווח הרס לדליפה בקצב 70 טון לדקה

שם החומר:	חום שריפת החומר:	מסת החומר:	m(TNT)	טווח נזק כבד לבניינים	טווח לנזק ניתן לתיקון לבניינים	טווח לשבר זגוגיות מסיבי	טווח 10% שבר זגוגיות
	j/kg	kg	kg	[מטר]	[מטר]	[מטר]	[מטר]
מתאן	5.02E+07	128000	147140.8	204.8375	455.0771	739.1044	1303.991

טווחי הסיכון ממוקד הפיצוץ:

טווח להרס ניתן לתיקון של בניינים: 455 מ'

טווח לשבר זגוגיות מסיבי: 739 מ'

טווחי סיכון כולל התחשבות במרחק לגבול דליקות תחתון:

הרס מבנים ניתן לתיקון- 565 מ'.

שבר זגוגיות מסיבי – 850 מ'.

13.2.3. הערכת סיכונים לתרחיש קטסטרופלי של רעידת אדמה

חזקה שתקרע את שתי הצנרות בקטע החופי לפני כניסה ל-

GPRS (לחץ 450 בר):

13.2.3.1. חישוב קוטר אקוויולנטי של צינור בודד:

שטח החתך המשותף של שני צינורות בקוטר 16" הינו:

$$S^* = 2S_{(\text{single pipe})} = 2 * \pi * (8'')^2 = 402 \text{ in}^2$$

קוטרו של צינור כזה צריך להיות:

$$D^* = 2R^* = 2 * (402/\pi)^{0.5} = 22.6''$$

13.2.3.2. חישוב עצמת מקור מצינור כזה, כאשר תנאי הלחץ והטמפ' בו זהים לתנאים

בכל אחד מהצינורות האמיתיים:

SITE DATA:

Location: DOR, ISRAEL

Building Air Exchanges Per Hour: 0.40 (unsheltered single storied)

Time: August 2, 2010 0200 hours ST (user specified)

CHEMICAL DATA:

Chemical Name: METHANE Molecular Weight: 16.04 g/mol

TEEL-1: 3000 ppm TEEL-2: 5000 ppm TEEL-3: 200000 ppm

LEL: 44000 ppm UEL: 165000 ppm

Ambient Boiling Point: -161.5° C

Vapor Pressure at Ambient Temperature: greater than 1 atm

Ambient Saturation Concentration: 1,000,000 ppm or 100.0%

ATMOSPHERIC DATA: (MANUAL INPUT OF DATA)

Wind: 2 meters/second from w at 10 meters

Ground Roughness: open country Cloud Cover: 0 tenths

Air Temperature: 10° C Stability Class: F

Inversion Height: 300 meters Relative Humidity: 50%

SOURCE STRENGTH:

Flammable gas escaping from pipe (not burning)

Pipe Diameter: 22.6 inches Pipe Length: 10000 meters

Unbroken end of the pipe is connected to an infinite source

Pipe Roughness: smooth Hole Area: 401 sq in

Pipe Press: 450 atmospheres Pipe Temperature: 0° C

Release Duration: ALOHA limited the duration to 1 hour

Max Average Sustained Release Rate: 255,000 kilograms/min
(averaged over a minute or more)

Total Amount Released: 7,425,696 kilograms

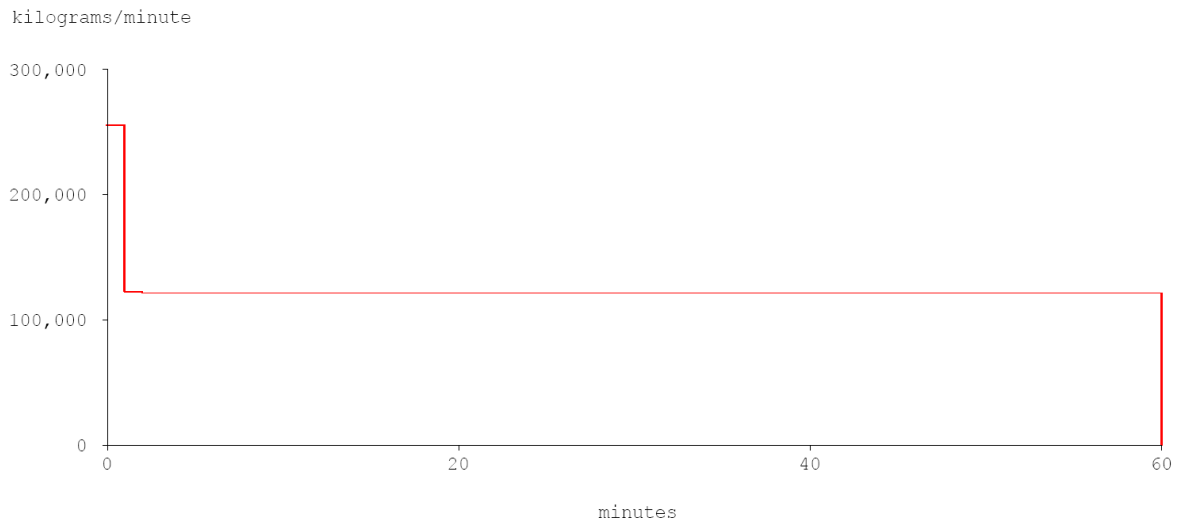
THREAT ZONE:

Threat Modeled: Flammable Area of Vapor Cloud

Model Run: Heavy Gas

Red: 329 meters --- (44000 ppm = LEL)

13.2.3.3. עצמת המקור נראית כך:



מרחק לגבול דליקות תחתון: כ-330 מ'

עצמת מקור מקסימלית: 255 טון לדקה, כאשר כעבור כ-2 דקות היא יורדת לכ- 125 טון לדקה.
 במהירות רוח 2 m/sec, הזמן שייקח לענן לעבור 330 מ' עד גבול דליקות התחתון:
 $330 \text{ m} / 2\text{m/sec} = 165 \text{ sec}$

כמות הגז שתדלוף בפרק הזמן הזה:

$$255000 \text{ kg/min} * (165\text{sec}/60\text{sec}/\text{min}) = 701,250 \text{ kg}$$

13.2.3.4. טווחי הסיכון לפיצוץ כמות חומר זאת:

טבלה 11: חישוב טווחי סיכון לעצמת המקור המקסימלית (הפיצוץ בדקה הראשונה לדליפה)

שם החומר:	חום שריפת החומר:	מסת החומר:	m(TNT)	טווח נזק לבניינים כבד	טווח לנזק ניתן לתיקון לבניינים 2 psi(טווח לשבר זוגיות מסיבי 1 psi(טווח 10% שבר זוגיות
	j/kg	kg	kg	[מטר]	[מטר]	[מטר]	[מטר]
מתאן	5.02E+07	701250	806113.4	361.1025	802.2431	1302.947	2298.771

טווחי הסיכון ממוקד הפיצוץ:

טווח להרס מבנים ניתן לתיקון: 802 מ'.
 מ'. טווח לשבר זוגיות מסיבי: 1303

טווחי סיכון כולל התחשבות במרחק לגבול דליקות תחתון:

הרס מבנים ניתן לתיקון: $802 + 165 = 967$ מ'.
 שבר זוגיות מסיבי: $1303 + 165 = 1468$ מ'.

אם הפיצוץ יתרחש כעבור יותר משתי דקות, כאשר עצמת המקור תרד ל-125 טון לדקה:
 כמות הגז שתדלוף עד הגעת הענן לתחום דליקות תחתון במהירות רוח 2 מ' לשנייה:

$$125000 \text{ kg} * (165/60) = 343750 \text{ kg}$$

טבלה 12: חישוב טווחי סיכון לעצמת מקור כעבור 2 דקות מתחילת הדליפה

שם החומר:	חום שריפת החומר:	מסת החומר:	m(TNT)	טווח נזק לבניינים כבד	טווח לנזק ניתן לתיקון לבניינים 2 psi(טווח לשבר זוגיות מסיבי 1 psi(טווח 10% שבר זוגיות
	j/kg	kg	kg	[מטר]	[מטר]	[מטר]	[מטר]
מתאן	5.02E+07	343750	395153.6	284.7216	632.5515	1027.346	1812.532

טווחי הסיכון ממוקד הפיצוץ:

טווח להרס מבנים ניתן לתיקון: 633 מ'.

טווח לשבר זגוגיות מסיבי: 1027 מ'.

טווחי סיכון כולל התחשבות במרחק לגבול דליקות תחתון:

הרס מבנים ניתן לתיקון: $633+165 = 798$ מ'.

שבר זגוגיות מסיבי: $1027 + 165 = 1189$ מ'.

13.2.4. הערכת סיכונים לפיצוץ ענן על פי התו"ל של גופי החרום:

על פי התו"ל לביצוע הערכות סיכונים לחומרים דליקים המקובל על גופי החרום במדינה, כמות החומר המקסימלית הזמינה לפיצוץ הינה 100 טון. אם ניקח בחשבון הגבלה של 100 טון כמות מקסימלית זמינה לפיצוץ, מדובר בטווח סיכון של כ- 640 מ' ממקום הפיצוץ:

טבלה 13: חישוב טווחי הרס לפי התו"ל של גופי החרום (כמות עד 100 טון).

יחידות:	ק"ג	ג'אול/ק"ג	ג'אול	מטרים	מטרים	מטרים	מטרים
שם החומר	מסת החומר	חום שריפה	אנרגיה תיאורטית זמינה לפיצוץ	טווח לנזק כבד לבניינים	טווח נזק ניתן לתיקון לבניינים	טווח שבר זגוגיות מסיבי	טווח 10% שבר זגוגיות
מתאן	100,000	5.02E+07	5.02E+12	245.3756	490.7511	1226.878	3271.674
חישוב עם הכנסת פקטור להשוואה ל-WHAZAN:				318.9882	637.9765	1594.941	4253.177

מקובל לקחת את נקודת הפיצוץ כמחצית המרחק בין נקודת הדליפה וגבול הדליקות התחתון. לתרחיש הראשון – דליפה מצנרת למיתקן ההגפה, מרחק זה הינו 150 מ' ולכן במקרה זה טווחי הסיכון יהיו:

להרס מבנים ניתן לתיקון – $800 \cong 640+150$ מ'.
לשבר זגוגיות מסיבי – $1750 = 150 + 1600$ מ'.

לתרחיש השני – דליפה מצנרת למיתקן הקבלה, מרחק זה הינו 150 מ' ולכן **במקרה זה טווחי הסיכון יהיו:**

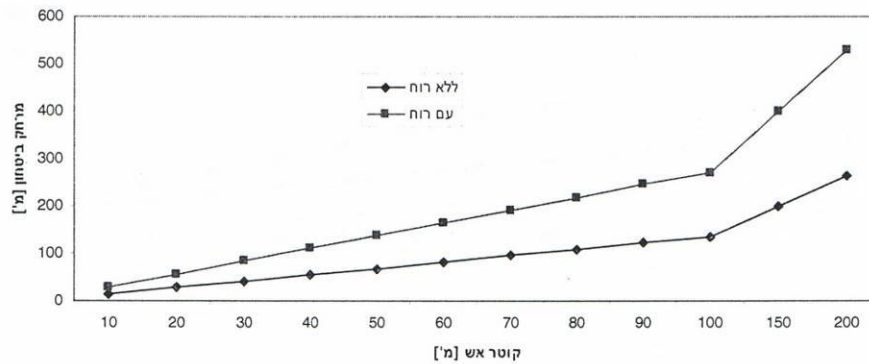
להרס מבנים ניתן לתיקון – $750 \cong 640+110$ מ'.
לשבר זגוגיות מסיבי – $1710 = 110 + 1600$ מ'.

13.2.5. הערכת סיכונים לבריכת אש – Pool Fire

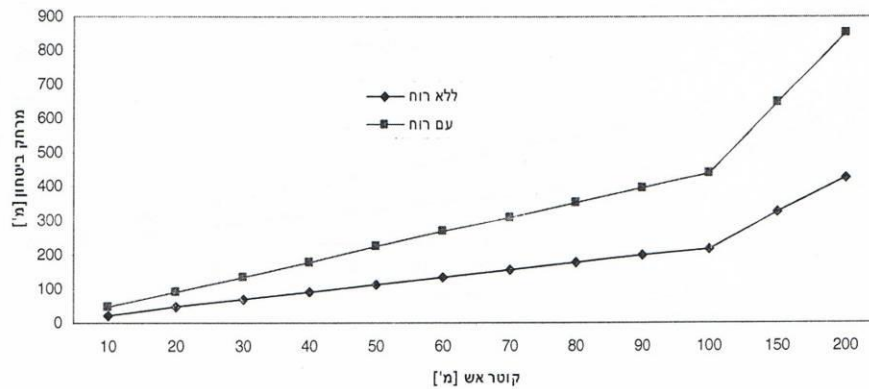
התרחיש הינו שפך תכולת מיכל צובר של תזקיקים למאצרה כתוצאה מקריסת המיכל, לדוגמא עקב רעידת אדמה ובהמשך הצתת התזקיקים ויצירת בריכת אש בכל שטח המאצרה. ממדי המאצרה הגדולה ביותר למיכלי התזקיקים הינה 3025 מ"ר (ישנן שתי מאצרות כאלה). על פי מסמך ישים C, הפרמטר הקובע את השפעת הקרינה מבריכת האש הינו המימד הארוך ביותר של הבריכה. במקרה של מיכלי המתעבים מדובר על מימד האורך של המאצרה הגדולה ביותר שהינו 55 מ'. מאחר ובהתאם לאנליזות המופיעות במסמך ישים A המתעבים מורכבים בעיקר מפחמימנים בעלי גודל שרשרת של 9-15 פחמנים, אזי נתייחס לגרפים הקובעים מרחקי בטיחות לבריכת אש לחומרים כגון בנזין, דלק מטוסים, נפט (הכבדים ביותר במסמך ישים C). מהגרפים והטבלא המצורפים בעמודים הבאים ניתן לראות שטווח הסיכון לבריכת אש בקוטר 50 מ' לאנשים יכול להגיע עד 220 מ' לבני אדם ו- 140 מ' למבנים (במורד הרוח).

נספח ה': גרפים של טווחי סיכון כפונקציה של קוטר הבעירה

בריכת אש בדזין, דלק מטוסים, נפט - טווח ביטחון למבנים



בריכת אש בדזין, דלק מטוסים, נפט - טווח ביטחון לבני אדם



איור 16

מרכז לחומרים מסוכנים באינטרנט:

<http://www.oref.org.il/576-he/PAKAR.aspx>

בלמיס 31146

5.1 להלן טבלאות הסיכום – טווחי סיכון כפונקציה של קוטר הבעירה¹:

**טבלאות סיכום I: לחומרים בניזין, דלק מטוסים, נפט
(קצב בעירה $0.04-0.06 \text{ Kg/m}^2\cdot\text{sec}$)**

בנינים		בני אדם		קוטר אש (m)
מרחק (m) במורד הרוח	מרחק (m) ל 13 Kw/m^2	מרחק (m) במורד הרוח	מרחק (m) ל 4.7 Kw/m^2	
30	15	50	25	10
60	30	100	50	20
80	40	140	70	30
120	60	180	90	40
140	70	220	110	50
160	80	260	130	60
200	100	320	160	70
220	110	360	180	80
240	120	400	200	90
280	140	440	220	100
540	270	860	430	200
780	390	1260	630	300
1020	510	1660	830	400
1260	630	2040	1020	500

- מעוגל ל 10 מ' עבור ערכים גדולים מ 25 מ
- פקטור תיקון לטעות סיסטמטית: 0.35

¹ בקטרים מעל 200 מטר נכנסות תופעות שמשפיעות על הבעירה והל התפשטות. לאור זאת מוגבל קוטר הבעירה עליו ניתן לבצע הע"ס עד 200 מטר בדוח זה

ז: לחומרים מסוכנים באינטרנט:

<http://www.oref.org.il/576-he/PAKAR.a>

בלמ"ס 31146

איור 17 – טווחי הסיכון לבריכת אש בתלות קוטר הבעירה.

13.2.6. הערכת סיכונים ל- H_2S :

בתרחיש המחמיר ביותר, התבקעות שני הצינורות המובילים גז עקב רעידת אדמה, עוצמת המקור של הגז הינה 255 טון למשך כדקה ולאחר מכן 125 טון לדקה. בהנחה שתכולת ה- H_2S בגז הינה 8 ppm (מסמך ישים A), ובהתחשב במשקלים המולקולריים של המתאן וה- H_2S , עוצמת המקור של ה- H_2S תהיה 4.33 ק"ג לדקה בדקה הראשונה וכ- 2.15 ק"ג לדקה לאחר מכן.

נבצע הערכת סיכונים בהסתמך על נתונים אלו. הערכת הסיכונים תתבצע לערך $AEGL = 41$ (10 MIN, $AEGL_2$) ppm:

טווח הסיכון לעוצמת מקור זו יהיה:

13.2.6.1. עבור הדקה הראשונה:

SITE DATA:

Location: DOR, ISRAEL

Building Air Exchanges Per Hour: 0.26 (sheltered double storied)

Time: June 13, 2010 0200 hours ST (user specified)

CHEMICAL DATA:

Chemical Name: HYDROGEN SULFIDE Molecular Weight: 34.08 g/mol

ERPG-1: 0.1 ppm ERPG-2: 30 ppm ERPG-3: 100 ppm

IDLH: 100 ppm LEL: 43000 ppm UEL: 455000 ppm

Ambient Boiling Point: $-60.3^\circ C$

Vapor Pressure at Ambient Temperature: greater than 1 atm

Ambient Saturation Concentration: 1,000,000 ppm or 100.0%

ATMOSPHERIC DATA: (MANUAL INPUT OF DATA (

Wind: 2 meters/second from w at 10 meters

Ground Roughness: open country Cloud Cover: 0 tenths

Air Temperature: $10^\circ C$ Stability Class: F

Inversion Height: 300 meters Relative Humidity: 50%

SOURCE STRENGTH:

Direct Source: 4.33 kilograms/min Source Height: 0

Release Duration: 1 minute

Release Rate: 72.2 grams/sec

Total Amount Released: 4.33 kilograms

Note: This chemical may flash boil and/or result in two phase flow.

THREAT ZONE :

Model Run: Heavy Gas

Red : 486 meters --- (41 ppm)

13.2.6.2. אחרי הדקה הראשונה:

SITE DATA:

Location: DOR, ISRAEL
Building Air Exchanges Per Hour: 0.26 (sheltered double storied)
Time: June 13, 2010 0200 hours ST (user specified)

CHEMICAL DATA:

Chemical Name: HYDROGEN SULFIDE Molecular Weight: 34.08 g/mol
ERPG-1: 0.1 ppm ERPG-2: 30 ppm ERPG-3: 100 ppm
IDLH: 100 ppm LEL: 43000 ppm UEL: 455000 ppm
Ambient Boiling Point: -60.3° C
Vapor Pressure at Ambient Temperature: greater than 1 atm
Ambient Saturation Concentration: 1,000,000 ppm or 100.0%

ATMOSPHERIC DATA: (MANUAL INPUT OF DATA)

Wind: 2 meters/second from w at 10 meters
Ground Roughness: open country Cloud Cover: 0 tenths
Air Temperature: 10° C Stability Class: F
Inversion Height: 300 meters Relative Humidity: 50%

SOURCE STRENGTH:

Direct Source: 2.1 kilograms/min Source Height: 0
Release Duration: 10 minutes
Release Rate: 2.1 kilograms/min
Total Amount Released: 21.0 kilograms
Note: This chemical may flash boil and/or result in two phase flow.

THREAT ZONE:

Model Run: Heavy Gas
Red : 455 meters --- (41 ppm)

13.2.7. הערכת סיכונים למיכל גט"נ – במידה ויוחלט להפיק גט"נ ולאחסנו באתר:

תיאור מיכלי LNG (מקור 36):

A **liquefied natural gas storage tank** or LNG storage tank is a specialized type of storage tank used for the storage of [Liquefied Natural Gas](#). LNG storage tanks can be found in ground, above ground or in [LNG carriers](#). The common characteristic of LNG Storage tanks is the ability to store LNG at the very low temperature of -162°C . LNG storage tanks have double containers, where the inner contains LNG and the outer container contains insulation materials. The most common tank type is the full containment tank.^[1] Tanks are roughly 180 feet high and 250 feet in diameter.^[2]

In LNG storage tanks if LNG vapours are not released, the pressure and temperature within the tank will continue to rise. LNG is a [cryogen](#), and is kept in its liquid state at very low temperatures. The temperature within the tank will remain constant if the pressure is kept constant by allowing the [boil off gas](#) to escape from the tank. This is known as auto-refrigeration.^[3]

The world's largest above-ground tank (Delivered in 2000) is the 180 million liters full containment type for Osaka Gas Co., Ltd. (2) The world's largest tank (Delivered in 2001) is the 200 million liters Membrane type for Toho Gas Co., Ltd.^[1]

מהכתבה, מיכלי LNG אופייניים הם בגובה 55 מ' וקוטר 76 מ'. טמפ' הגז בפנים -162°C .

13.2.7.1. הערכות סיכונים עבור מיכל נוזל:

חור בחלק העליון – מצב יציב:

SITE DATA:

Location: DOR, ISRAEL

Building Air Exchanges Per Hour: 0.42 (sheltered double storied)

Time: June 13, 2010 0200 hours ST (user specified)

CHEMICAL DATA:

Chemical Name: METHANE Molecular Weight: 16.04 g/mol

TEEL-1: 3000 ppm TEEL-2: 5000 ppm TEEL-3: 200000 ppm

LEL: 44000 ppm UEL: 165000 ppm

Ambient Boiling Point: -161.5°C

Vapor Pressure at Ambient Temperature: greater than 1 atm

Ambient Saturation Concentration: 1,000,000 ppm or 100.0%

ATMOSPHERIC DATA: (MANUAL INPUT OF DATA)

Wind: 2 meters/second from w at 10 meters

Ground Roughness: open country Cloud Cover: 0 tenths

Air Temperature: 10° F Stability Class: F

Inversion Height: 300 meters Relative Humidity: 50%

SOURCE STRENGTH:

Leak from hole in vertical cylindrical tank

Flammable chemical escaping from tank (not burning)

Tank Diameter: 76 meters Tank Length: 55 meters

Tank Volume: 249,505 cubic meters

Tank contains liquid Internal Temperature: -162° C

Chemical Mass in Tank: 88,779,775 kilograms

Tank is 84% full

Opening Length: 5 meters Opening Width: 1 meters

Opening is 55.0 meters from tank bottom

Ground Type: Sandy dry soil

Ground Temperature: equal to ambient

Max Puddle Diameter: Unknown

Note: None of the chemical was released.

13.7.2. שפך מקרע בצינור בקוטר 10" בחלק התחתון של המיכל:

מצב יציב:

13.7.2.1. מרחק לגבול דליקות תחתון:

SITE DATA:

Location: DOR, ISRAEL
Building Air Exchanges Per Hour: 0.42 (sheltered double storied)
Time: June 13, 2010 0200 hours ST (user specified)

CHEMICAL DATA:

Chemical Name: METHANE Molecular Weight: 16.04 g/mol
TEEL-1: 3000 ppm TEEL-2: 5000 ppm TEEL-3: 200000 ppm
LEL: 44000 ppm UEL: 165000 ppm
Ambient Boiling Point: -161.5° C
Vapor Pressure at Ambient Temperature: greater than 1 atm
Ambient Saturation Concentration: 1,000,000 ppm or 100.0%

ATMOSPHERIC DATA: (MANUAL INPUT OF DATA)

Wind: 2 meters/second from w at 10 meters
Ground Roughness: open country Cloud Cover: 0 tenths
Air Temperature: 10° F Stability Class: F
Inversion Height: 300 meters Relative Humidity: 50%

SOURCE STRENGTH:

Leak from short pipe or valve in vertical cylindrical tank
Flammable chemical escaping from tank (not burning)
Tank Diameter: 76 meters Tank Length: 55 meters
Tank Volume: 249,505 cubic meters
Tank contains liquid Internal Temperature: -162° C
Chemical Mass in Tank: 97,863 tons Tank is 84% full
Circular Opening Diameter: 10 inches
Opening is 0 meters from tank bottom
Ground Type: Sandy dry soil
Ground Temperature: equal to ambient
Max Puddle Diameter: Unknown
Release Duration: ALOHA limited the duration to 1 hour
Max Average Sustained Release Rate: 22,000 kilograms/min
(averaged over a minute or more)
Total Amount Released: 1,166,052 kilograms
Note: The chemical escaped as a liquid and formed an evaporating puddle.
ALOHA limited the spreading puddle diameter to 200 meters.

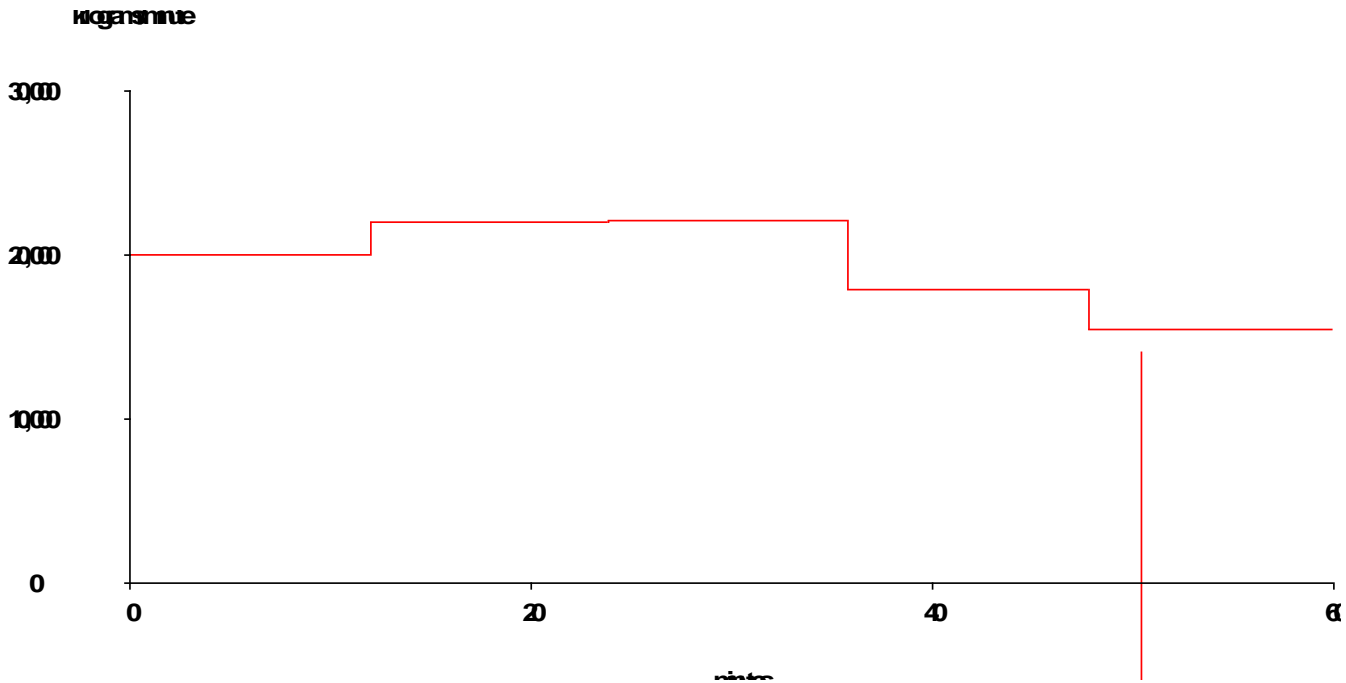
THREAT ZONE :

Threat Modeled: Flammable Area of Vapor Cloud

Model Run: Heavy Gas

Red : 151 meters --- (44000 ppm = LEL)

13.7.2.2. עוצמת מקור:



המשמעות – ב- 15 הדקות הראשונות עוצמת המקור הינה כ- 20 טון לדקה ולאחר מכן 22 טון לדקה.

13.7.2.3. חישוב כמות החומר הדליק בענן:

המרחק לגבול הדליקות התחתון הינו 150 מ'. מהירות הרוח – 2 מ/שניה. הזמן שייקח לגז להגיע לקצה גבול הדליקות התחתון – 75 שניות. כמות החומר המקסימלית שתדלוף במשך זמן זה – $27.5 = 75/60 \times 22$ טון.

במידה וכמות חומר זו מתפוצצת, טווח הסיכון יהיה (חישוב בשימוש באלגוריתם המבוסס על המשוואות של Frank Lees (מקור 21) בהן עושה שימוש גם תוכנת ה-whazan (מקור 20):

טבלה 14: חישוב טווחי הרס מתרחיש מיכל גט"נ:

טווח שבר זגוגיות	טווח שבר זגוגיות מסיבי	טווח נזק ניתן לתיקון לבניינים	טווח לנזק כבד לבניינים	אנרגיה תיאורטית זמינה לפיצוץ	חום שריפה	מסת החומר	שם החומר	
מטרים	מטרים	מטרים	מטרים	ג'אול	ג'אול/ק"ג	ק"ג		יחידות:
2127.556	797.8334	319.1334	159.5667	1.38E+12	5.02E+07	27,500	מתאן	
2765.823	1037.183	414.8734	207.4367				חישוב עם הכנסת פקטור להשוואה ל-WHAZAN:	

כלומר – טווח להרס מבנים ניתן לתיקון (נחשב לטווח סיכון ע"י פיקוד העורף) – כ- 415 מ' ממוקד הפיצוץ.

טווח לשבר זגוגיות מסיבי – כ- 1,000 מ' ממוקד הפיצוץ.

אם נניח שמוקד הפיצוץ הינו בממוצע במרכז הענן אזי מדובר בטווח להרס מבנים ניתן לתיקון של כ- 500 מ' והרס זגוגיות מסיבי בטווח של כ- 1,100 מ'.

13.3. סיכום טווחי סיכון

להלן סיכום טווחי הסיכון להערכות הסיכון לתרחישים השונים שבוצעו במסמך זה

טבלה 15: סיכום טווחי הסיכון לפיצוץ בתרחישים השונים

תרחיש	טווח סיכון מקסימלי לתרחיש לקריטריון נזק ניתן לתיקון למבנים	טווח לשבר זגוגיות מסיבי
דליפה מצנרת כניסה למיתקן הגפה הממוקם על החוף	735 מ'	1100 מ'
הערכת סיכונים לצנרת ממיתקן ההגפה למיתקן הקבלה שעל החוף	582 מ'	877 מ'
הערכת סיכונים לתרחיש קטסטרופלי של רעידת אדמה חזקה שתקרע את שתי הצנרות בקטע החופי	967 מ'	1468 מ'
הערכת סיכונים לפיצוץ ענן על פי התו"ל של גופי החרום – כמות מקסימלית זמינה לפיצוץ 100 טון	800 מ'	1750 מ'
הערכת סיכונים לבריכת אש – Pool Fire	220 מ' לבני אדם 140 מ' למבנים	
הערכת סיכונים למיכל גט"נ	501 מ'	1,100 מ'

הערכת סיכונים ל- H₂S – עד 486 מ'

אם נציב טווחי סיכון אלו על תרשים המפעל על גבי תצ"א של המיקום המיועד נקבל את התמונה הבאה (איור 18):

14. ניתוח תוצאות:

14.1. הערכת סיכונים לחלופת דור – מפעל עיבוד הגז:



14.1.1. טווח הסיכון להרס מבנים מגיע עד ישוב דור.

14.1.2. כמו כן, טווח הסיכון להרס מבנים מכסה חלקים מכביש 2, כביש 70, וכן את מחלף זיכרון יעקב. יש להבהיר, שייטכן וגל הדף בעצמה כזאת יעיף מכוניות ממסלול נסיעתן ויגרום לפגיעות בנפש.

14.1.3. טווח הסיכון לשבר זגוגיות בתרחיש המחמיר מכסה חלק גדול משוב דור, חלקים מפרדיס, וחלק מגבעת עדן.

14.1.4. כמו כן, נכללים בטווח הסיכון לשבר זגוגיות מסיבי גם קטע מכביש 4 וצומת פרדיס. יש להבהיר שגם שבר מסיבי של זגוגיות יכול להוות סיכון לחיי אדם (גם השוהים בסמיכות לחלונות במבנה, וגם לאלו שנוסעים במכונית ויכולים להיקלע לתאונת דרכים קשה כתוצאה מהפיצוץ).

14.1.5. במצב של מלחמה, טווחי הסיכון עלולים ליצור נתק של צירי תנועה חיוניים המחברים את צפון הארץ למרכזה.

14.2. התייחסות לחלופת GPRS בחוף דור:

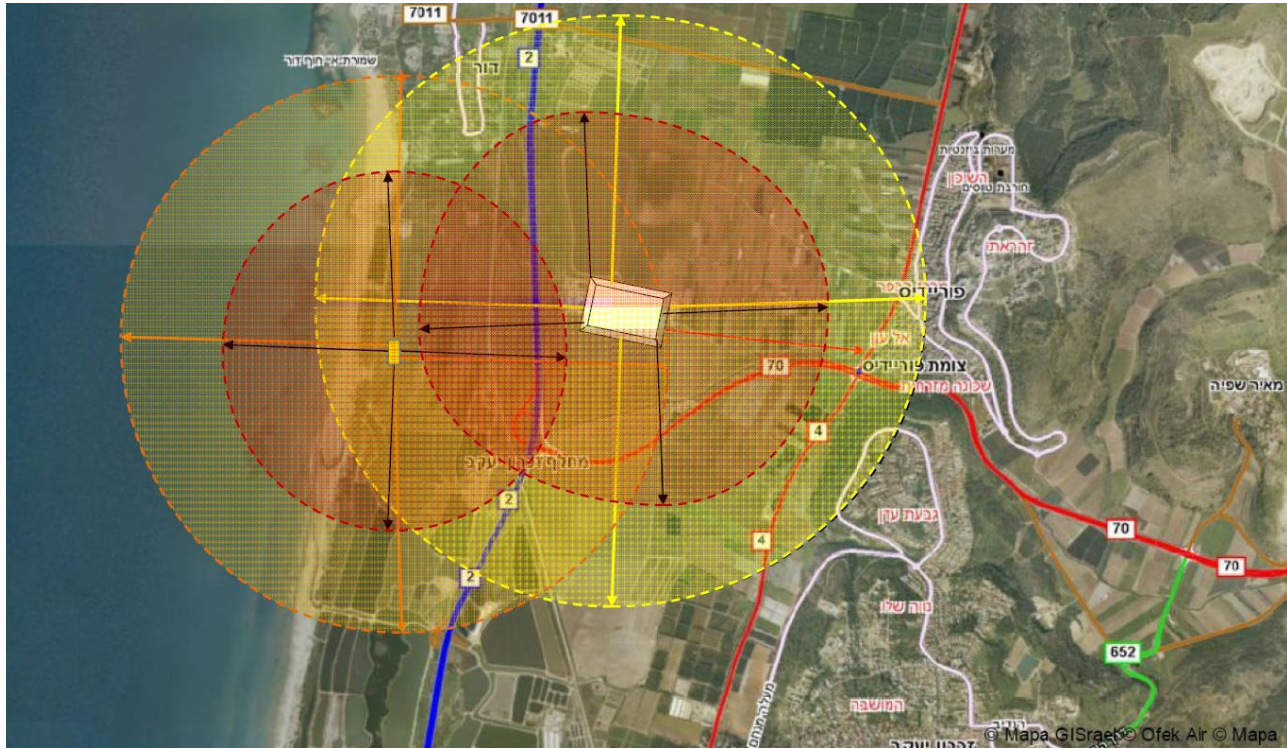


14.2.1. טווח הסיכון להרס מבנים בתרחיש המחמיר מכסה את מחלף זכרון יעקב (עוצמה כזאת של פיצוץ יכולה בקלות להעיף מכוניות ממסלולן).

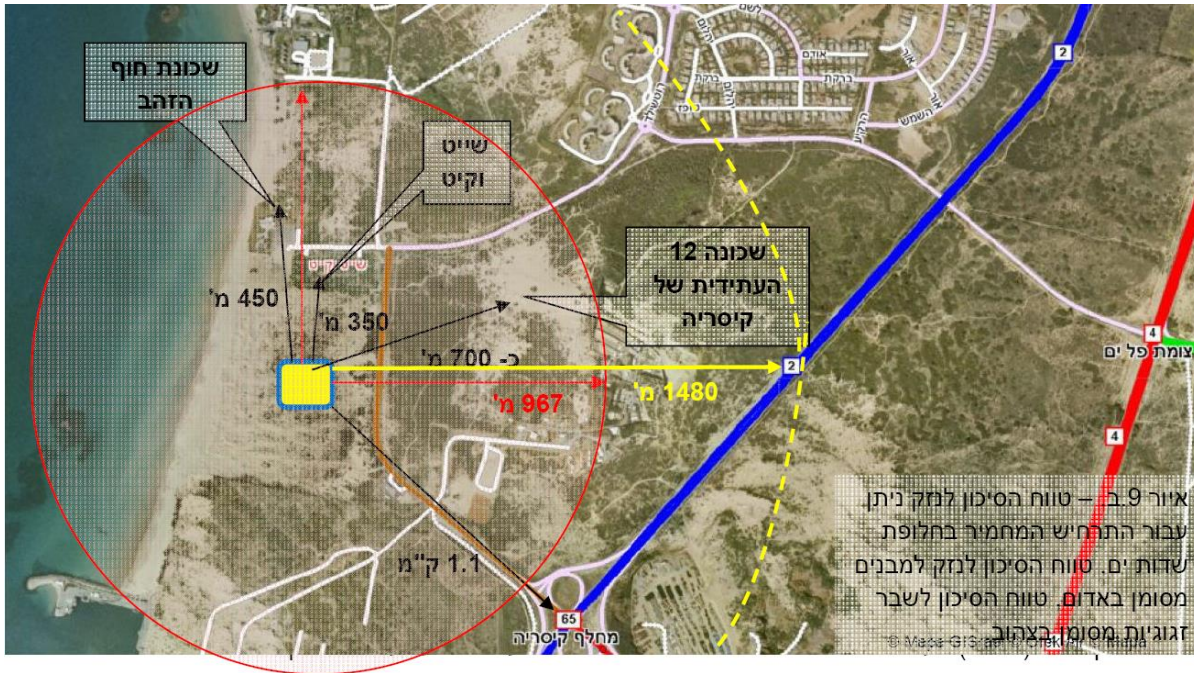
14.2.2. טווח הסיכון להרס מבנים מגיע לקצה ישוב דור. טווח הסיכון לשבר זגוגיות מסיבי מכסה את חלקו הגדול של ישוב דור (יש להבהיר ששבר זגוגיות מסיבי מהווה סיכון של פציעות קשות ואף מוות לאנשים המצויים בקרבת הזגוגית המתנפצת).

14.2.3. טווחי הסיכון מכסים את חוף דור (חוף רחצה).

14.2.4. יש לשים לב שטווחי הסיכון של מפעל הגז המתוכנן בדור ושל ה-GPRS הנפרד בחוף דור למעשה חופפים ויוצרים שטח סיכון נרחב.



14.3. הערכת הסיכון של GPRS בחלופת שדות ים:



14.3.1. השכונות "חוף זהב" ו-"שכונה 12" העתידית של קיסריה וכן האתרים "שייט

וקיט" ו"דני היי" נמצאים כולם בתוך טווח נזק לבניינים.

14.3.2. החלק הדרומי של שדות ים גובל ב"אזור חם" זה, וככל הנראה ישנם בתי

מגורים שנכנסים לטווח הסיכון לשבר בניינים.

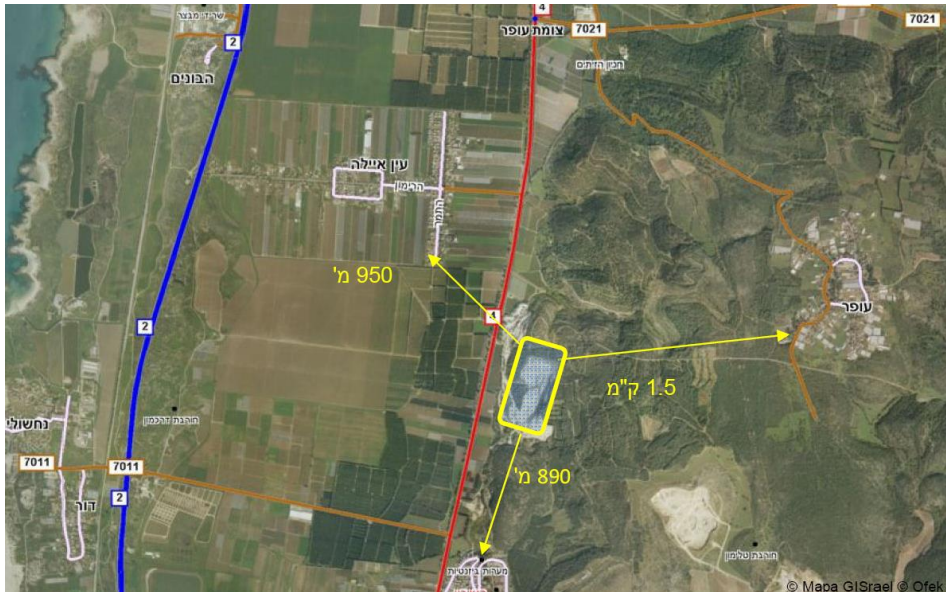
14.3.3. טווח הסיכון לשבר זגוגיות מסיבי מכסה את חלקו הדרומי של היישוב שדות

ים, ומגיע גם למחלף קיסריה. יש להדגיש שגם שבר זגוגיות יכול להוות סיכון לחיי אדם.

14.3.4. חלק מהמתקנים בתחנת הכח "אורות רבין" הסמוכה יכנסו לטווח הסיכון.

למבצעי העבודה אין מידע אילו מיתקנים בדיוק. יש לבדוק את הנושא לעומק מול גורמים מתאימים בחברת החשמל.

14.4. הערכת הסיכונים לחלופת מחצבת עין איילה:



14.4.1. טווחי הסיכון לתרחיש בריכת אש (מתייחסים לאפשרות של הקמת חוות אחסון של נזלים דליקים) הינם כאלה שלא מגיעים לאף רצפטור ציבורי הידוע למבצעי העבודה.

14.4.2. אם יוקם במקום מתקן לטיפול בגז, טווחי הסיכון יגיעו ליישוב עין איילה.

14.5. טווח הסיכון המרבי לשחרור H_2S מצנרת הובלת גז גולמי הינו כ-480 מ' בלבד (מסכן בעיקר את הנוסעים בקטעי כביש הנכנסים לטווח זה) – אולם יש להבהיר שמסיבת חוסר נתונים לא נבחן תרחיש של שחרור H_2S ממתקן הפרדה / אחסון (אם יהיה כזה). טווח הסיכון לתרחיש כזה צפוי להיות גדול יותר.

14.6. נושא חסם ה-100 טון בתו"ל של כוחות ההצלה: מקרה מוכח אחד לפחות [32] מפריך מעשית את הטענה שלא יכולים להתפוצץ יותר מ-100 טון גז דליק. יחד עם זאת, מסיבת השוני באלגוריתם החישוב של מבצעי עבודה זו לאלגוריתם המקובל על גורמי הצלה, טווחי הסיכון המתקבלים לשבר זגוגיות בחישוב לפי התו"ל של גופי ההצלה (עם הגבלת 100 טון) הם אף גדולים יותר ממה שהתקבל מחישוב של מבצעי העבודה.

15. נספח מדעי – מאת אבי ברילנט, עמותת

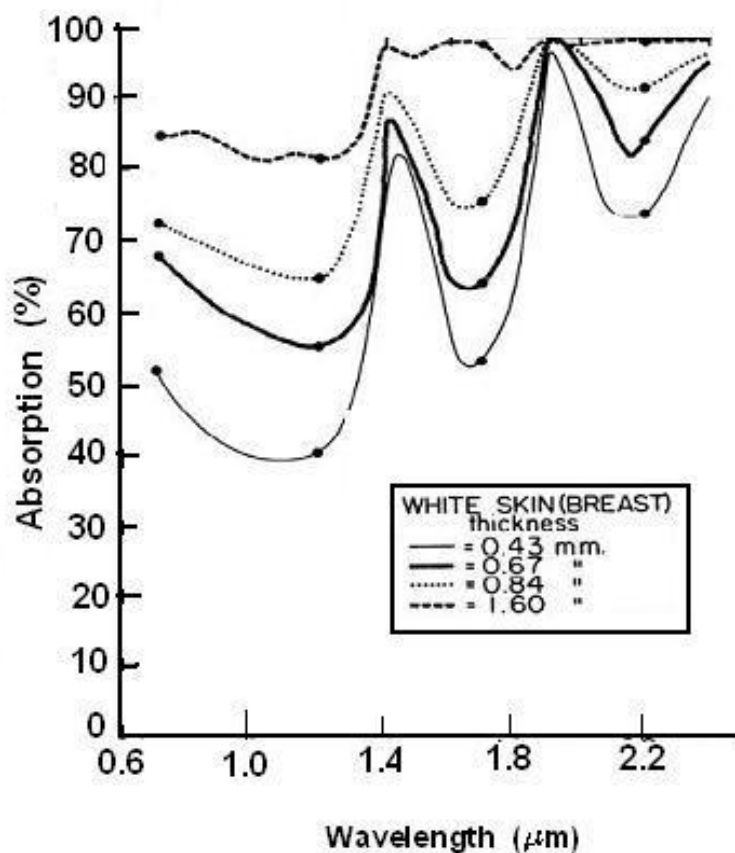
GAS OUT

15.1. היבטים רפואיים

פרק זה מביא סקירה של מחקרים רפואיים שנערכו ע"י גורמי צבא ארה"ב וגופי מחקר בינלאומיים. הפרק מציג עקומי סיכון לקרינת חום וגל הלב המתפתח מפיצוץ. עקומי הסיכון האלו משמשים לניתוח תוצאות סימולציית החישובים לכשל וסיכון ממתקן הגז ומתרגמים את התוצאות להשפעות פגיעה באדם.

15.1.1. השפעות חום וקרינה

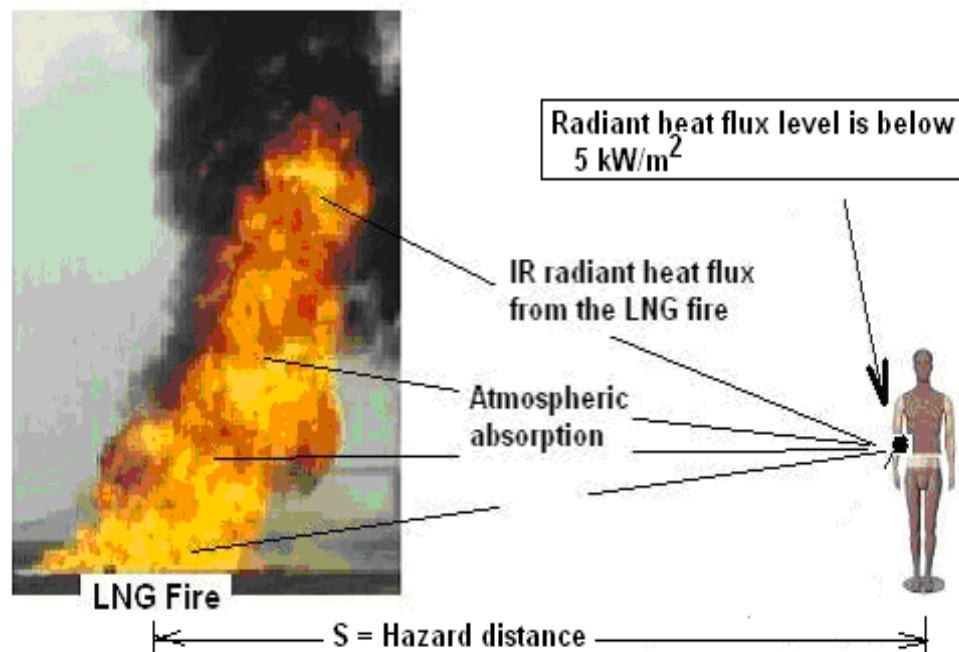
במהלך תהליך בעירה, גוף האדם ועור האדם בשכבת האפידרמיס חשופים לנזקי קרינה. מספר מחקרים הציגו תוצאות בכנסים בנושא זה [1]. איור 18 מתאר את אחוזי בליעת האנרגיה בעור אדם לבן עומק החדירה של קרינה כפונקציה של אורך הגל כאשר עובי העור הוא פרמטר [1]



איור 18: תיאור בליעת אנרגית קרינה ב% ע"י במשטח עור חזה אדם לבן כתלות באורך הגל במיקרומטרים כאשר עובי העור הוא פרמטר [1]

איור 19 מתאר את משמעות הגדרת הפרמטרים לחישוב טווח הביטחון ממקור. פרמטרים אלו הם:

- גודל להבת המקור
- שטח פליטה ממוצע של להבה אידיאלית
- אופי ספקטראלי של קרינת ה IR ממקור הלהבה
- הפסדי תווך והם בליעה אטמוספרית ופיזור ע"י CO_2
- שטף האנרגיה הכללי הפוגע באדם והפילוג הספקטראלי
- מקדמי בליעת החום ואופיין התרמי הפנימי של עור האדם
- השפעות הביגוד והפסדים לפני פגיעה בעור



איור 19: הגדרת טווח הביטחון לכוויה ממקור [1]

מחקרים נוספים [18] בנושא טווחי בטחון הניבו את הגרפים הבאים המובאים ב Reference Error! source not found. לסכנת כוויה וכן את **טבלה 16** למשך החשיפה ודרגת הכוויה.

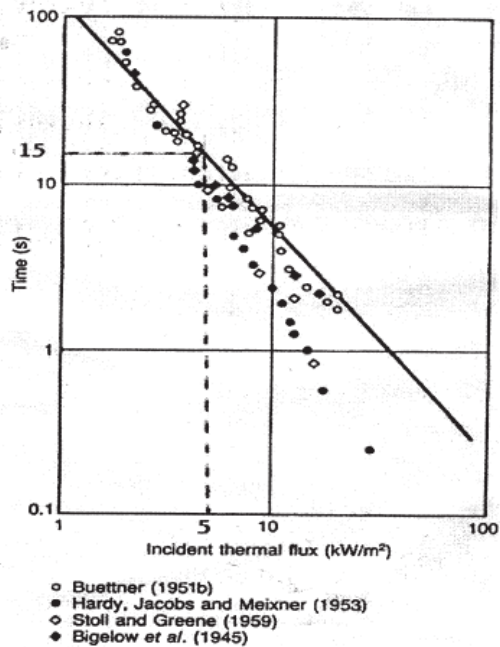


Figure 1A: Threshold for Pain

Source: Lees (1996)

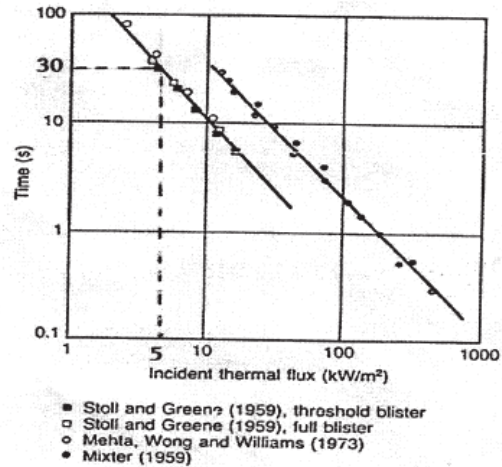


Figure 1B: Threshold for Blister

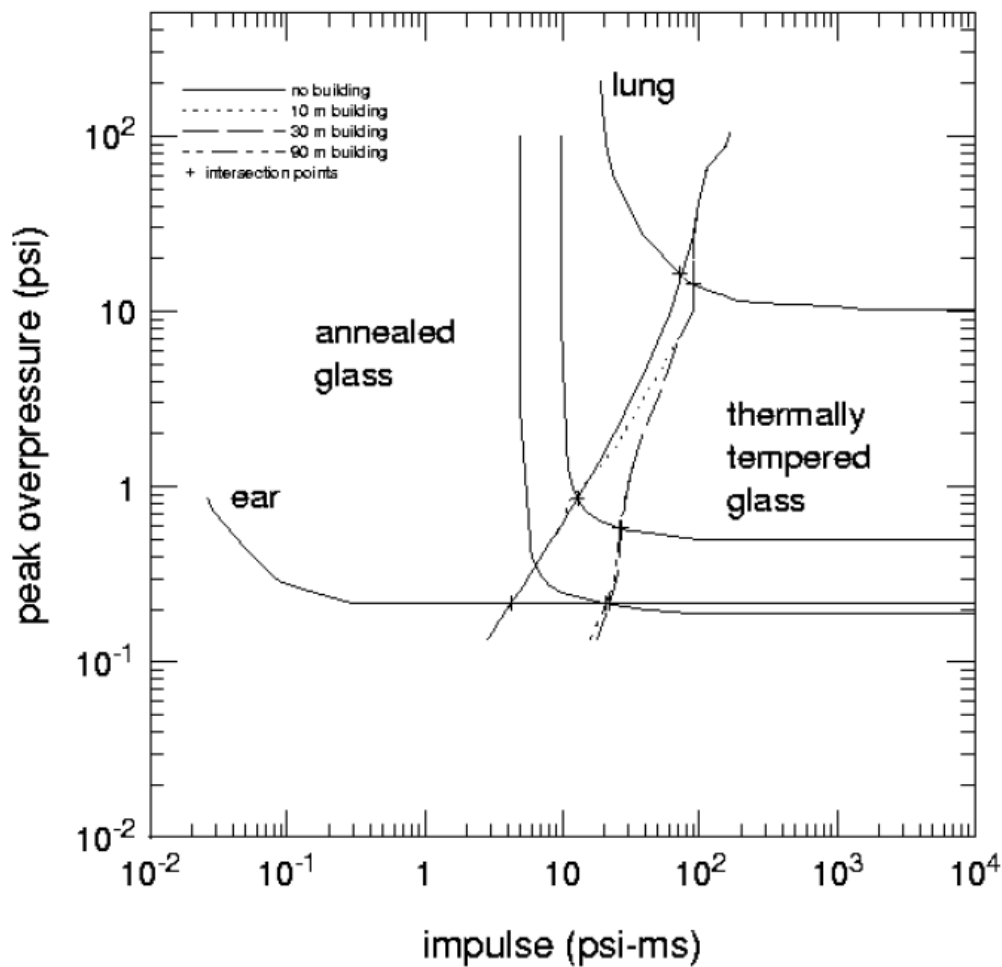
איור 20: הגדרת טווח הביטחון לכוויה ממקור קורן חום [18]

טבלה 16: פציעות כוויה כתלות ברמת החשיפה למקור חום [18]

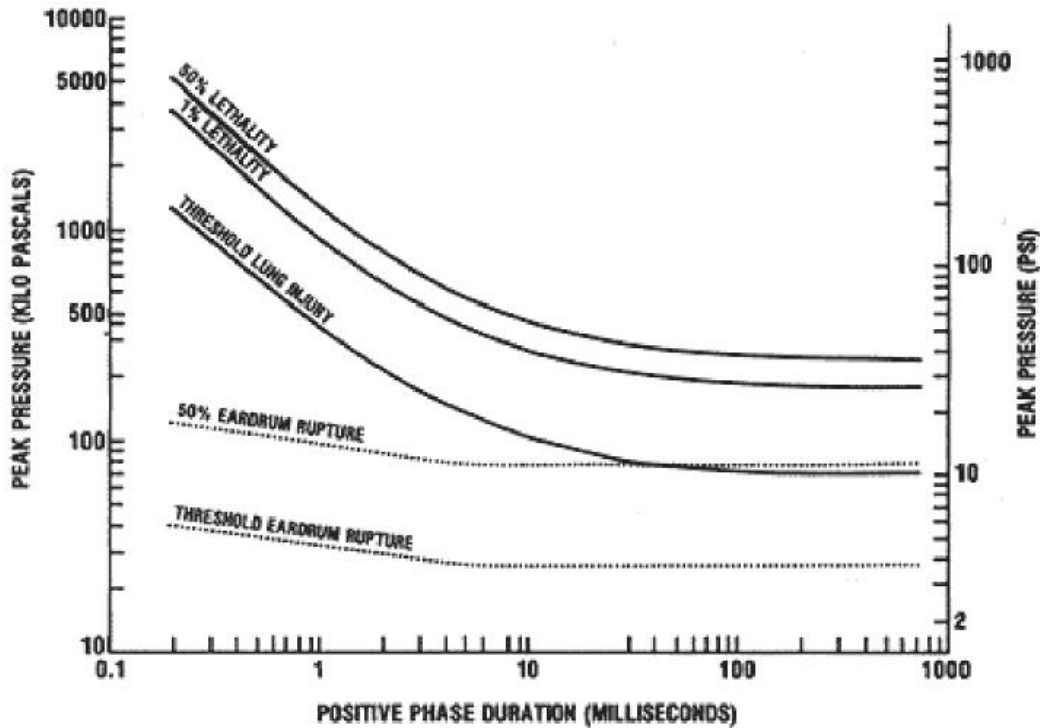
Effect	Modified dosage $10^{-4} \times [(W/m^2)^{4/3} s]$	Time for injury at Intensity of $5 kW/m^2$
Threshold of blistering ⁽¹⁾	210 - 700	25 - 82
Second degree burn ⁽²⁾	1,200	140
Third degree burn Threshold	1,060	124
Third degree burn, 50% mortality ⁽³⁾	2,300	269
a There is evidence for a region of constant injury between these limits. b Second degree burns with a burn depth of 0.1 mm. This value is approximately the same as that for 1% mortality. Burn depth increases linearly up to a thermal load value of 2600. c Third degree burns with a burn depth of 2 mm. This value is approximately the same as that for 50% mortality.		
Source: Part of information in the table from Lees (1996)		

15.1.2. השפעות פגיעת גל הים

מספר מחקרים בדקו את השפעות פיצוץ על תשתית ופגיעה גופנית באדם [19]. **איור** מדגים את השפעת גל הים. הגרף מציג את עקומי קריטריוני הנזק כתלות באימפולס גל הים. הציר האופקי מתאר את האימפולס (מכפלת הלחץ בזמן) והציר האנכי את הלחץ הנוצר ביחידות PSI. עקומי קריטריוני הנזק נחתכים ע"י מתקף גל הים בשלושה מקרים שונים: הקו הרציף איזור ללא מבנים. הקו המנוקד איזור עם מבנים בגובה 10 מטר, הקו המקווקו איזור עם מבנים בגובה 30 מטר והקו המקווקד איזור עם מבנים בגובה 90 מטר. הגרף מתאר נזקי אוזניים וריאות ונזקי שבירת זכוכית מחוסמת וזכוכית עמידה בפני חום. מאמר נוסף [9] מציג את ספי הפגיעה והקטלניות של פיצוץ כאשר הציר האופקי מתאר את משך זמן המתקף החיובי של גל הים והציר האנכי מתאר את הלחץ השיאי.



איור 21: נזקי מתקף גל הים עבור איזור אורבאני עם מבנים בגבהים שונים [19]



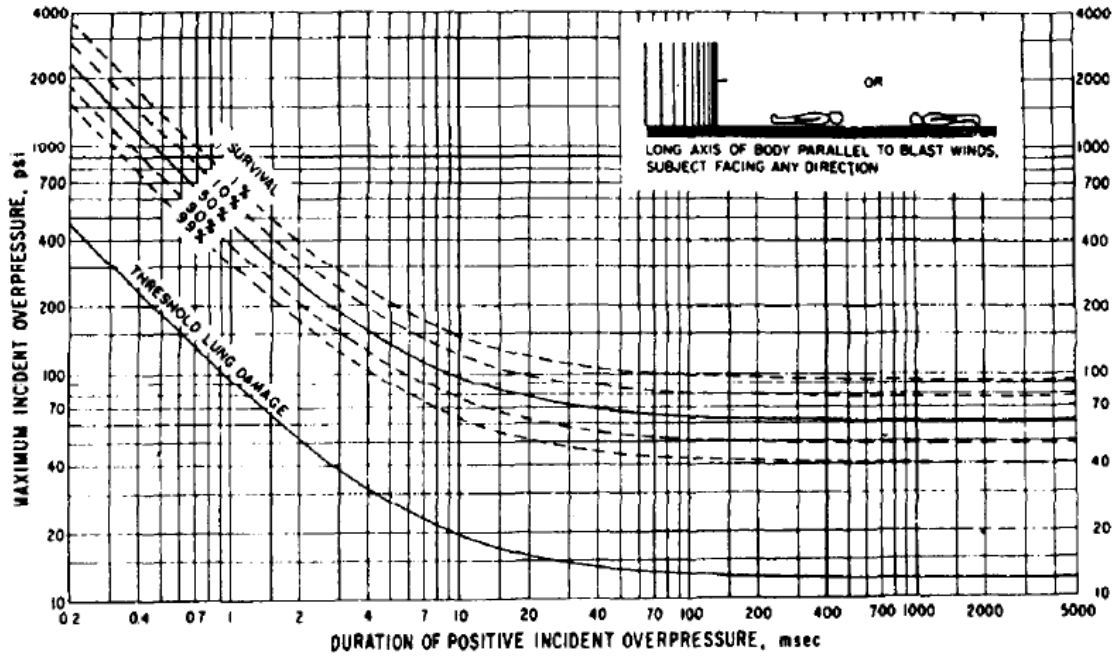
איור 22 : הערכת עוצמת פיצוץ בכדי לגרום פגיעות לגוף האדם [9]

העקום התחתון מתאר את הסף לנזקי תוף האוזן, הקו השני מתאר את ההסתברות ל-50% שבר בתוף האוזן, העקום השלישי הנו הסף לנזקי ריאה, העקום הרביעי הנו הסיכוי ל-1% מוות והעקום האחרון הנו הסיכוי ל-50% מוות.

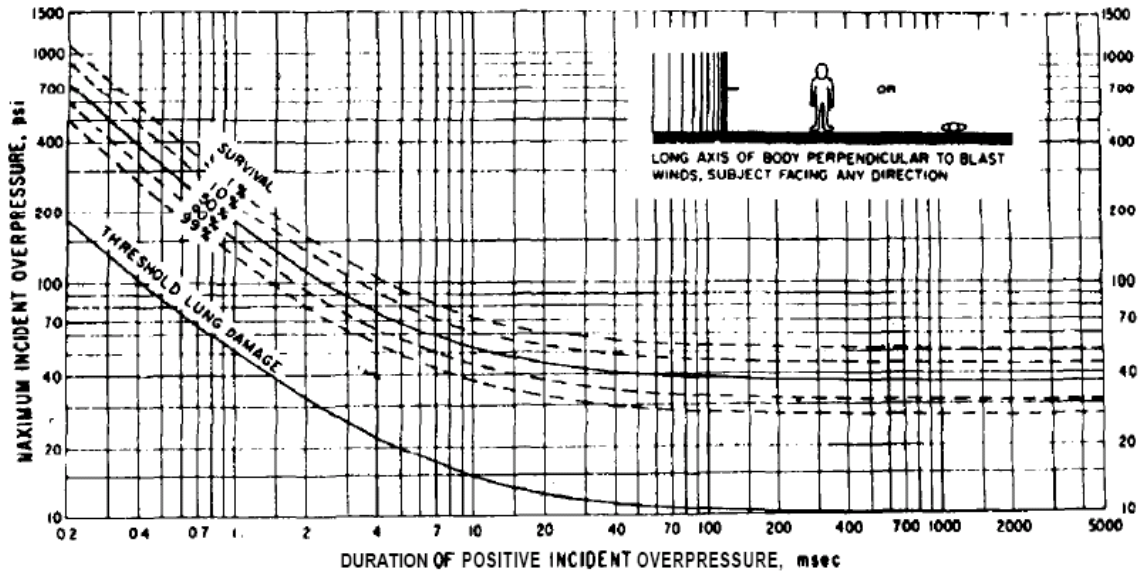
צבא ארה"ב ערך מחקרים רבי היקף בנושא פגיעות הדף [7] ופרסם אף את ממצאו בספר תקנים [8] אשר משרטט עקומי פגיעה ואחוזי הישרדות כתוצאה מגל הדף ראה . פרמטרי הניסוי הנם עבור אדם במשקל 70 ק"ג, גובה פני הים. עקומי הפגיעה מובאים באיורים 23. א' - ג' להלן. המחקר בחן את מצב הגוף ביחס לחזית ההדף של גל ההלם. כאשר הציר האנכי מתאר את עוצמת גל ההלם ביחידות PSI והציר האופקי את משך המתקף החיובי של גל ההלם.

הגרפים מספקים משפחה של עקומות המתארים את ההסתברות לשרוד את גל ההדף. העקומה הנמוכה ביותר הנה הסף לנזקי ריאה הנובעים מהדף. ככל שעוצמת המתקף גדלה, מעבר לסף הפגיעה בריאות, ההסתברות לשרוד את גל ההדף יורדת באחוזים.

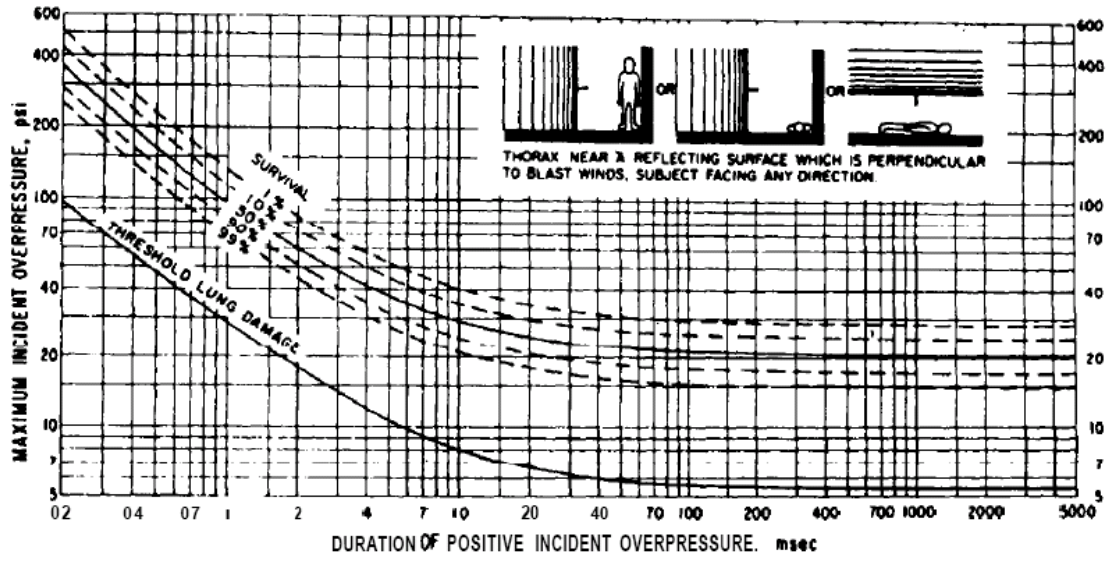
כאשר אנו דנים במתקף של גל הלם - ככל שזה קצר יותר וברמה אנרגטית נתונה, המתקף מזיק יותר והרסני יותר.



איור 23.א.: הערכת עוצמת פיצוץ בכדי לגרום פגיעות לגוף האדם [8]



איור 23.ב.: הערכת עוצמת פיצוץ בכדי לגרום פגיעות לגוף האדם [8]



איור 23.ג.: הערכת עוצמת פיצוץ בכדי לגרום פגיעות לגוף האדם כאשר הוא מצוי ליד משטח מחזיר הניצב לכיוון התקדמות גל ההלם [8]

15.2. רקע תיאורטי

15.2.1. הגדרות

פרק זה מכיל הסברים קצרים על הגדרות ומונחים פיזיקאליים חשובים אשר דו"ח זה עושה בהם שימוש. יש חשיבות בהבנה הבסיסית של מונחים אלו לקורא הלא מקצועי בכדי להבין את ממצאי החישובים, ממצאי סמך מעבודות קודמות בנושא זה וההשלכות ההנדסיות בדו"ח זה.

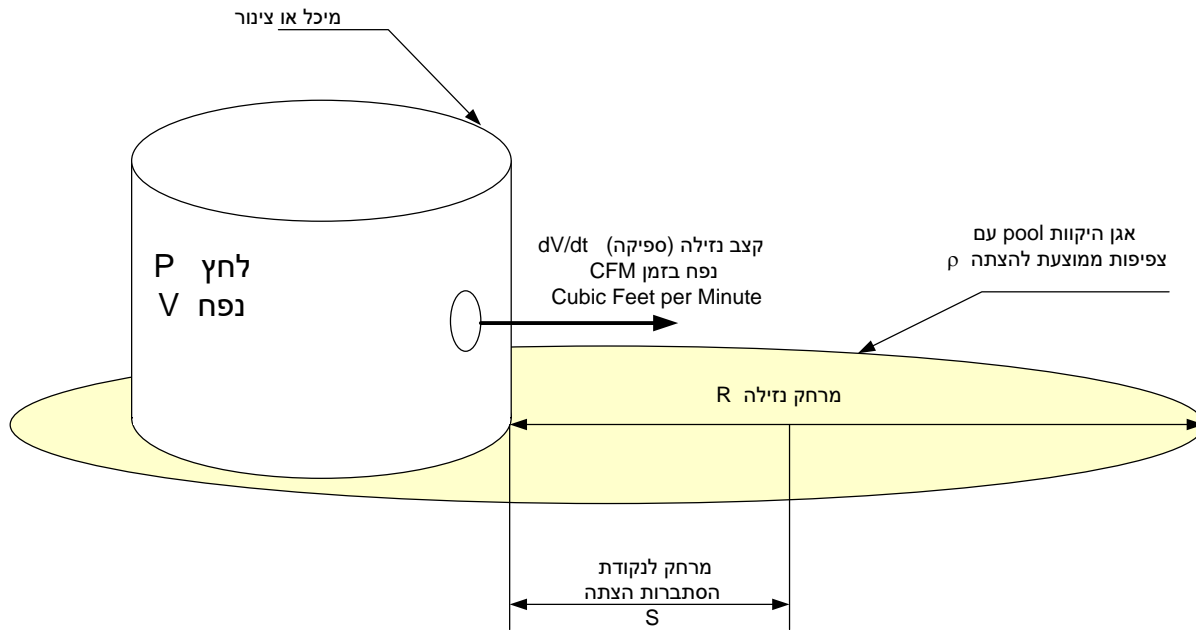
כעיקרון סוגי תרחישים אופייניים לגז דליק הינם VCE, BLEVE, Jet Fire. התרחישים הרלוונטים למפעל הגז במצב המתוכנן לטווח הקרוב – אין איחסון במיכלי גז"נ – VCE ו-Jet Fire (לפיד אש) מצנרת בלבד.

תרחישים העשויים להיות רלוונטים במידה ויוחלט על הנזלה ואיחסון – VCE, BLEVE. התרחיש הרלוונטי לנוזלים הדליקים במפעל הינו תרחיש של "בריכת אש" – Pool Fire. הנוזלים הדליקים שצפויים להיות במפעל הינם מתנול, תזקיקים נוזליים מהגז הגולמי, אולי גם סולר ומזוט להפעלת המתקן. אין בידינו מידע על כמויות ואופן האחסון. הערכת הסיכונים להלן תתמקד בכל אופן בגז עצמו מכיוון שאלה התרחישים שנותנים את טווחי הסיכון המשמעותיים. בנוסף יינתנו טווחי סיכון לתרחיש Pool Fire האופייניים למפעל [C]

15.2.2. אגן היקוות/ בריכת אש Pool Fire

כאשר מתרחשת דליפת חומר כל שהוא הוא מתרכז באזור מסוים. איזור זה הנו איזור היקוות הנקרא אגן היקוות. **איור 42** מציג את הגדרות אגן ההיקוות. כאשר דנים בגז הדולף ממיכל הגז ינוע לאזור הנמוך ביותר בסביבה שכן הוא כבד מן האוויר. הגז ייאגר שם וריכוזו בסביבה זו יעלה. בשלב מסוים יגיע הריכוז לרמה של ריכוז פציץ ודליק ודי בתהליך של ניצוץ קל לשם הצתה. במאמרים [] ובספרות [] מוגדר המרחק S כמרחק בעל הסיכוי הגבוה ביותר להתרחשותה של הצתה. קרי ההסתברות שם היא המקסימאלית.

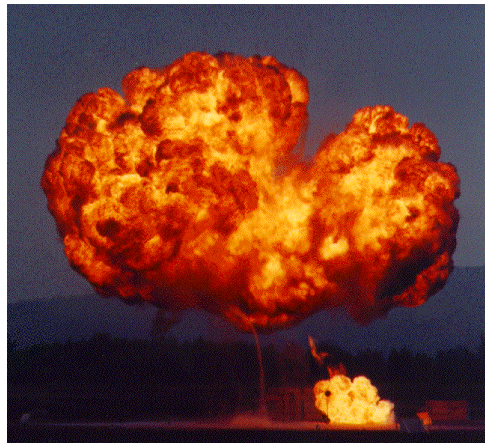
כאשר דנים בדליפה יש כמובן לדעת את קצב הדליפה אשר מגדירה את כמות החומר ליחידת זמן. כמות החומר נמדד ביחידות של מ"ק לדקה או CFM (Cubic Feet per Minute) פרמטר זה הוא קריטי שכן קצב זה מגדיר את זמן היווצרותו של אגן ההיקוות והזמן בין התחלת הדליפה להסתברות המקסימאלית להצתה ואסון [].



איור 42: אגן היקוות הגדרות

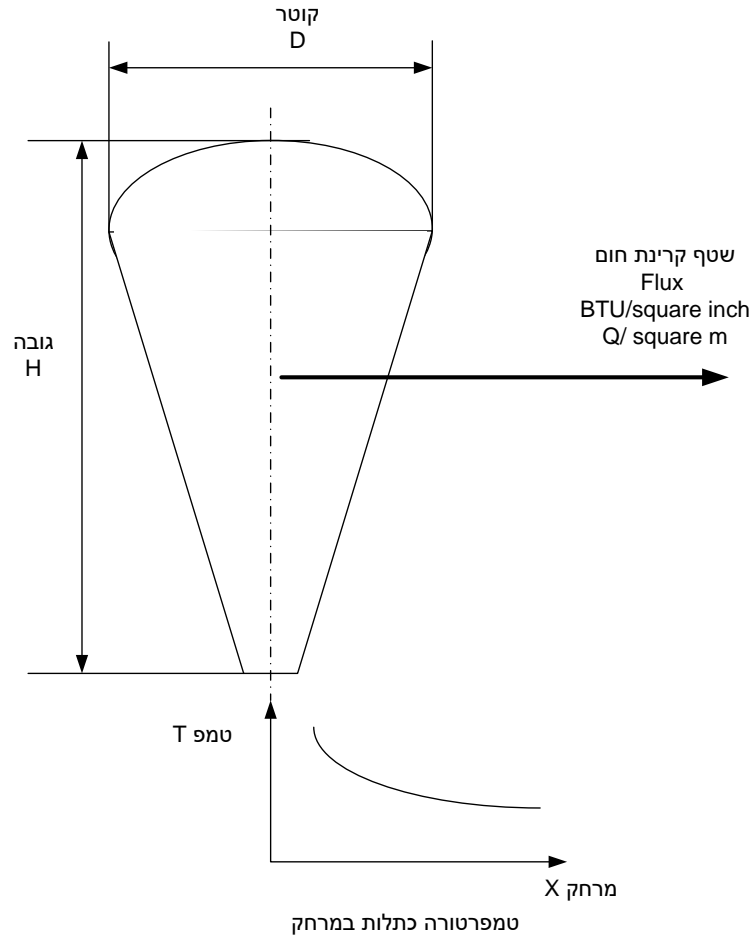
15.2.3. כדור אש Fire-Ball

כדור אש הינו ענן גז שנפלט בתרחיש BLEVE ובעור תוך כדי התפשטותו, תוך פליטת קרינה תרמית בעוצמה גבוהה.



איור 25: כדור אש.

יש חשיבות לקוטר הכדור ועצמת הלהבה. פרמטרים אלו מגדירים את טווחי הביטחון ומידת הסיכון לסביבה ולתושבים. ראה איור 26:

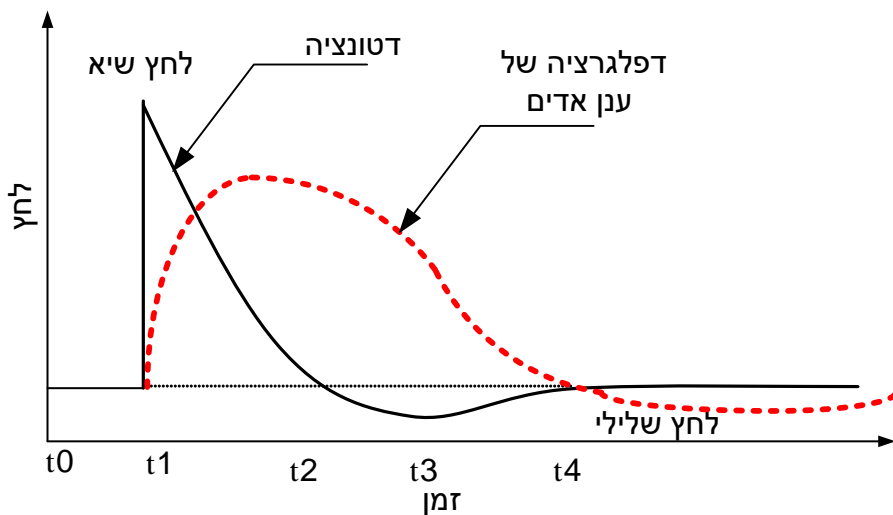


איור 26: הגדרות לכדור אש Fire-Ball

15.2.4. גל הולם

גל הולם הנו תופעה פיזיקאלית הנובעת מחוסר רציפות פתאומי בתכונות החומר הנובעת מהפרעה פתאומית. הסיבה לכך יכולה להיות למשל מפיצוץ אשר בו משתחררת אנרגיה רבה באופן פתאומי, או במקרה אחר מתנועה של עצם קשיח במהירות רבה מאוד, למשל טיסה במהירות גבוהה מאוד מעל מהירות הקול.

מאפייני גל ההולם הנם, אם כן שינוי בתכונות התווך. לאורך גל ההולם נצפה בשינויים חזקים ומהירים בפרמטרים פיזיקאליים של התווך והם שינויי לחץ, טמפרטורה וצפיפות החומר כתלות בזמן [16]. ככל שמשך האימפולס החיובי של גל ההולם קצר יותר הוא מזיק יותר בעבור אותה רמת לחץ מסוימת גל הולם הנו הגורם לנזקים עקב פיצוץ. **איור 27** מביא תיאור לגל הולם. בראשית נראה לחץ ובהמשך וואקום תהליך זה גורם לתנועה מכאנית וקריסת מבנים.



איור 27: תיאור גל הולם Shock-Wave כתלות בזמן

15.2.5. דטונציה

תהליך אקסוטרמי מואץ המתפתח בתווך אשר גורם לתופעת גל הלם בחזית התקדמות התופעה בתווך.

חזית האש נעה כגל הלם מלווה בגל בעירה. מהירות החזית יכולה להגיע ל-2000-3000 m/sec, לחץ היתר לכ-20 בר. דטונציה יכולה להתרחש גם במוצקים, לדוגמה TNT, גם בנוזלים, לדוגמה ניטרוגליצרין, וגם בתערובות גזיות.

תהליכי דטונציה בגזים במערכות סגורות, למשל צילינדר של מנוע בעירה פנימית, אך מאידך תופעה זו נצפית גם בעננות גדולות גז דליק למשל באתר אחסון או צנרת גז שיש בהם דליפה. במקרה זה נוצרת תערובת של החומר הדליק, גז, והחומר המחמצן, אוויר כך שמתקיימים תנאים לסיכוי פיצוץ ודטונציה מתחת לגבול הדליקות הנדרש. כלומר ריכוז החומר הדליק הנו מתחת לריכוז הנדרש לקיום תנאי שרפה.

כאשר המהירות הבעירה גבוהה מאוד מתקבל גל ההדף הדוחס את האוויר לכיוון שגל ההדף מתקדם. בעקבות גל ההדף מופיע גל יניקה. התופעה של גל ההדף ובעקבותיו גל יניקה גורמת לתנודה של קירות מבנים ובעקבות כך לקריסתם.

15.2.6. דפלגרציה

בעירה מהירה מאוד של חומר או תווך. קצב הבעירה גבוה יותר מבעירה רגילה אך נמוך יותר מתהליך דטונציה. תהליך זה הנו תת קולי. מהירות ההתקדמות לגל שריפה של תערובות פחמימניות עם אוויר: כ-1 m/sec. גל ההדף ושיא לחץ היתר נמוכים בהרבה מגל ההדף של דטונציה ולכן גם מידת ההרס תהיה נמוכה יותר. ישנם מקרים בהם הפיצוץ מתחיל כדפלגרציה ועובר לדטונציה.

16. מקורות מידע

1. Phani K. Raj Radiation Models in the light of New Data Technology & Management Systems, Inc. Burlington, MA 01803. Presented at the AGA-NFPA 59A Standards Workshop Charlotte, NC 10th October 2006
2. R. Bellasio and R. Bianconi On Line Simulation System for Industrial Accidents, ENVIROWARE srl, Centro Direzionale Colleoni, 20041 Agrate Brianza (Mi). Italy (rbellasio@enviroware.com)
3. Anay Luketa-Hanlin. A review of large-scale LNG spills: Experiments and modeling. Sandia National Laboratories, Fire Science and Technology Department, P.O. Box 5800, MS-1135 Albuquerque, NM 87185, USA Received 21 April 2005; received in revised form 30 September 2005; accepted 4 October 2005 Available online 4 November 2005. aluketa@sandia.gov
4. L. K. Antanovskii. An Accumulated Damage Model for Blast Propagation in Compartmented Structures with Progressively Failing Thin Bulkheads Weapons Systems Division Defence Science and Technology Organisation DSTO-TR-2365. December, 2009. Australia Telephone: (08) 8259 5555 Facsimile: (08) 8259 6567
5. An ioMosaic Corporation Whitepaper. Modeling LNG Pool Spreading and Vaporization support@iomosaic.com 2007.
6. Dr D.M. Webber, Dr S.E. Gant, Dr M.J. Ivings and S.F. Jagger Gant Health & Safety Laboratory, LNG Source Term Models for Hazard Analysis: a Review of the State-of-the-Art and an Approach to Model Assessment The Fire Protection Research Foundation One Batterymarch Park Quincy, MA, USA 02169-7471 Email: foundation@nfpa.org March 2009.
7. James H. Stuhmiller PhD, Yancy Y Phillips III M.D FCCP and Donald R. Richmond Ph.D. US Army Medical Department. Borden Institute. The Physics and Mechanisms of Primary Blast Injury: Conventional Warfare Ballistic, Blast and Burn Injuries Chapter 7
8. Yancy Y Phillips III M.D FCCP and Donald R. Richmond Ph.D. US Army Medical Department. Borden Institute. Primary Blast Injury and Basic Research: A Brief History Conventional Warfare Ballistic, Blast and Burn Injuries Chapter 6
9. Charles Stewart, MD, FAAEM, FACEP Emergency Physician—Colorado Springs, CO. Emergency Medicine Practice. April 2006 Volume 8, Number 4

10. Thomas L. Chiffelle Pathology of Direct Air-Blast Injury. Technical Progress Report Contract No. DA-49-146-XZ-055. Department of Defense. April 1966.
11. ALOHA® USER'S MANUAL February 2007
12. R. Michael Reynolds, ALOHA™ (Areal Locations of Hazardous Atmospheres) 5.0, Theoretical Description. Seattle, Washington 98115, August 1992. National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA).
Contribution No. HMRAD 92-5 from NOAA/Hazardous Materials Response and Assessment Division
13. Gas Richard A. Hoffmann, Chair, Hoffmann & Feige, NY [SE], Theodore C. Lemoff, Secretary (Staff-Nonvoting). Report on Comments, NFPA NFPA 59A. Report of the Committee on Liquefied Natural Gas. National Fire Protection Association, MA
14. Dag Bjerketvedt Jan Roar Bakke Kees van Wingerden, Gas Explosion Handbook, GexCon part of Christian Michelsen Research's(CMR) research programme "Gas Safety Programme 1990-1992" (GSP90-92)
15. Rasmus Nilsson, Deluge and gas explosion risk management: A decision support framework. Department of Fire Safety Engineering Lund University, Sweden. Report 5219, Lund 2006
16. Anderson, John D. Jr. (January 2001) [1984], Fundamentals of Aerodynamics (3rd ed.), [McGraw-Hill Science/Engineering/Math](#), [ISBN 0-07-237335-0](#)
17. Irvin Glassman, Combustion, Third Edition, Academic Press (December 31, 1996) ISBN: 9780122858529
18. Report on Comments NFPA 59A. Report of the Committee on Liquefied Natural Gas National Fire Protection MA . Page 59-A8
19. John M Dewey and Alex van Netten. Calculating Blast-Effects Distances in Urban Environments. Dewey McMillin & Associates Ltd. 100-1741 Feltham Road, Victoria, BC V8N 2A4, Canada
20. WHAZAN –II User Manual Version 2.1, May 1993 – Appendix VI – Modeling Theory
21. Loss Prevention in the Process industries, Hazard Identification, Assessment and control", Frank P. Lees. Vol.2, 2nd edition, 1996.
22. Eisenberg, 1977

23. Charles Stewart, Emergency Medicine Practice Vol. 8, Num. 4 (April 200)
24. Published: May 11, 2009 at 8:09 PM
By JOHN C.K. DALY, UPI International Correspondent See the web
http://www.upi.com/Science_News/Resource-Wars/2009/05/11/Analysis-Explosion-in-Moscow-bad-PR-for-Gazprom/UPI-29421242086978/2/
25. Lees, F.P. 1980. Loss Prevention in the Process Industries, Vol. 1. London and Boston: Butterworth's
26. J.R.Taylor ,Review of Failure Rate Data for Risk Analyses, Version 1 Issue 1, Feb. 1998
27. R.J. Harris and Wickens (1989): "Understanding vapour cloud explosions - an experimental study". 55th Autumn meeting. The Institution of Gas Engineers
28. Crossthwaite et al (1988) : Risk Assessment for the Siting of Developments near natural Liquefied Petroleum Gas Installations, IChemE Symposium Series, 1988, **110**, 373-400.
29. WHAZAN –II User Manual Version 2.1, May 1993 – Appendix V– Hazard Analyses guidance.
30. Thermal Radiation Hazards from Releases of LPG from Pressurized storage, A.F. Roberts, *Journal of Fire Safety Studies*, 1982, **4**, 197-212.
31. "Methods for the calculation of the Physical effects of the Escape of Dangerous Materials (Liquids and Gases)", Netherlands Organization of Applied Scientific Research. *Voorburg, Directorate-General of Labour*, 1980.
32. כתבות אינטרנט: <http://en.atropedia.net/article:384fd5>
wikimapia.org/10259855/Kilometer-1710-Ufa-train-disaster-1989
33. Will Cold Petrol Explode in the open Air, Trevor Kletz, The Chemical Engineer, June 1986.
34. "הספר הצהוב" ההולנדי (חב' TNO CPR14E 1997, מהדורה 3)
35. "Guidelines for use of Vapor Cloud Dispersion Models", Steven R. Hanna and Peter J. Drivas, For Center For Chemical Process Safety of the American Institute of Chemical Engineers, *AICHE*, 1987

36. Wikipedia – LNG storage tank.
37. "Rupture and ignition of a gas pipeline, July 30, 2004, Ghislenghien Belgium"
- French Environment Ministry - DGPR / SRT / BARPI No. 27681
38. Website: <http://portland.indymedia.org/en/2005/08/323888.shtml>
39. National Transportation Safety Board, NTSB Report: PAR-95/01, 18 May 2001
40. <http://www.seattlepi.com/archives/1997/9702100052.asp>
41. <http://www.nytimes.com/1989/10/04/us/boat-hits-pipeline-in-gulf-3-are-killed-and-7-missing.html>
42. <http://www.nytimes.com/1993/09/29/world/gas-blast-kills-36-near-caracas.html>
43. Human Resistance Against Thermal Effects, Explosion effects, Toxic Effects and Obstruction of Vision, DNV Technica, Scandpoer A/S, 20.3.2001.
44. <http://www.naturalgas.org/overview/background.asp>