



המשרד להגנת הסביבה



בחינת חלופות למערך היבוא, האחסון, הניפוק והשינוע של אמוניה במפרץ חיפה

דצמבר 2011



מוגש למשרד להגנת הסביבה,
אגף חומרים מסוכנים
ע"י אתוס אדריכלות תכנון וסביבה בע"מ
י.ל.ניתוח מערכות בע"מ



צוות עריכת המסמך

- דב באסל – אתוס, אדריכלות תכנון וסביבה בע"מ
- יורם לונינסקי – י.ל.ניתוח מערכות בע"מ
- אולה וולודשיק – אתוס, אדריכלות תכנון וסביבה בע"מ
- עידית מן – אתוס, אדריכלות תכנון וסביבה בע"מ
- לינה שפירט – אתוס, אדריכלות תכנון וסביבה בע"מ

צוות הייעוץ

- דב באסל – ניהול הפרויקט, עריכת המסמך, אתוס אדריכלות תכנון וסביבה בע"מ
- ד"ר יורם לונינסקי – ניהול הצוות, ניתוח סיכונים וחלופות, י.ל.ניתוח מערכות בע"מ
- אורי ליליאן – אפיון תהליכי ייצור, אלקוד הנדסה בע"מ
- סילביו זילברמן – הערכת סיכונים, י.ל.ניתוח מערכות בע"מ
- אלכס רובמן – היבטים כלכליים, י.ל.ניתוח מערכות בע"מ

צוות מלווה

- רומי אבן דן – ראש אגף חומרים מסוכנים, המשרד להגנת הסביבה
- ד"ר יצחק דואר – אגף חומרים מסוכנים, המשרד להגנת הסביבה
- ד"ר יעקב דרור – אגף חומרים מסוכנים, המשרד להגנת הסביבה
- נורית שטורן – מחוז חיפה, המשרד להגנת הסביבה
- יבסיי רבינוביץ – מחוז חיפה, המשרד להגנת הסביבה
- לילך פדלון – מחוז דרום, המשרד להגנת הסביבה
- רס"ן יוליה גזיק – מרכז חומ"ס, פיקוד העורף
- זאב ברל – מינהל כימיה וסביבה, משרד התמ"ת
- זינה פרפליצין – האגף לתכנון נושאי, משרד הפנים
- בועז ניב – המטה הארצי, משטרת ישראל
- אורנה הראל-פלג – מינהל הנדסה, עיריית חיפה
- עמיחי זיידר – מנהל אתר חיפה, חיפה כימיקלים
- אסנת אביטל – מרכזת איכות הסביבה, התאחדות התעשיינים

תרמו לעבודת הצוות

- שולי נזר – סמנכ"לית בכירה לתעשייה, המשרד להגנת הסביבה
- שחר סולר – ראש אגף תכנון, המשרד להגנת הסביבה
- רונן סגל – לשכת התכנון חיפה, משרד הפנים
- דוד ישראלי – רח"ל
- רחלי דוד – מחוז חיפה, המשרד להגנת הסביבה
- איילת בן עמי – מחוז חיפה, המשרד להגנת הסביבה
- שמואל אייכלר – מחוז חיפה, המשרד להגנת הסביבה
- דני יקיר – סמנכ"ל, חיפה כימיקלים

0. הקדמה

1. מתודולוגיה ושלבי העבודה

2. אמוניה – תכונות, אחסון ושינוע

2.1 כללי

2.1.1 תכונות אמוניה

2.1.2 תהליך הייצור

2.2 אחסון

צורות אחסון וסוגי מיכלים

2.2.1 אחסון בלחץ בטמפ' החדר

2.2.2 אחסון בקירור חלקי

2.2.3 אחסון בלחץ אטמוספרי

בידוד במיכלים בלחץ אטמוספרי

2.3 שינוע

2.3.1 ספינות (מיכליות ים)

2.3.2 רכבות - Rail Tank Cars (RTC)

2.3.3 משאיות (מיכליות כביש)

2.4 פריקה/העמסת אמוניה

2.4.1 ספינות. פריקת והעמסת אמוניה מספינות אל מיכלי אחסון

2.4.2 רכבות. הגבלות בפריקה/העמסת אמוניה, ציוד לפריקה/טעינה

2.4.3 משאיות

3. סקר מיכלי אמוניה בעולם

3.1 מיכלים עיקריים

Port of Tampa, Ammonia terminal, Florida USA/1

Royster-Clark Nitrogen, Meredosia, Illinois USA/2

Burrup Fertilisers, Burrup, Australia/3

BCT, Sillamae, Estonia/4

A/S Ventamonjaks, Ventspils, Latvia/ 5

Akzo Nobel, Stenungsund, Sweden/6

National fertilizer plant, Reykjavik, Iceland/7

Port of Rotterdam, Ammonia Terminal, Rotterdam, The Netherlands/8

Port of Odessa, Ammonia Terminal, Odessa, Ukraine/9

Zhanjiang MIC Chemical, Zhanjiang, China/10

JMPC, Aqaba, Jordan/11

QAFCO, Messaieed, Qatar/12

FACT, Port of Cochin, India/13

IFFCO, Port of Kandla, India/14

KPA Kaltim, East Kalimantan, Indonesia/15

3.2 סקירת מיכלי אמוניה נוספים

3.3 טבלת סיכום מיכלי אמוניה עיקריים בסקירה

3.4 טבלת סיכום מיכלי אמוניה נוספים (עפ"י קיבולת בסדר יורד)

3.5 סיכום סקירת מיכלי אמוניה

4. ניתוח כלכלי ותחזית למשק האמוניה בישראל

4.1 תיאור מבנה של השוק המקומי

4.2 תחזית צריכת אמוניה

5. אפשרות הקמת מפעל לייצור אמוניה בארץ

5.1 עקרונות ייצור אמוניה

5.2 שלבי ייצור אמוניה בשיטה "הקלאסית"

5.3 שלבי ייצור אמוניה מגז טבעי בשיטת LAC

5.4 מפעל לייצור אמוניה-אוריאה

5.5 הנחות לגיבוש הערכת מצב

5.6 כדאיות כלכלית

5.7 סיכום תובנות

6. הצגת החלופות הנבחרות למיכל האמוניה הקיים

7. הערכת סיכוני אמוניה

סקירה כללית

7.1 הקדמה

7.2 סיכונים הנובעים מתכונות האמוניה

7.3 סדקי לחץ קורוזיה

7.4 סיכונים מאחסון אמוניה

7.5 סיכונים מתפעול פעולות שינוע אמוניה

7.5.1 הטענה ופריקת ספינות משא

7.5.2 טעינה, פריקה ושינוע של מיכליות רכבת ומיכליות כביש

7.5.3 שינוע בעזרת מערכות צנרת

7.5.4 מיכל גלילי (צילינדרים)

7.5.5 מאיידים ומחממי-יתר

7.5.6 מערכות טיהור

7.6 סיכונים מיישומים ושימושים באמוניה

7.6.1 יישומים ישירים כחומר דישון

7.6.2 תמיסות אמוניה

7.6.3 השימוש באמוניה בתהליכים שונים

7.7 סיכונים מפעילות תחזוקה

7.7.1 בדיקות מיכלי אחסון

7.7.2 השבתה

7.7.3 הטענה והטענה-מחדש

7.7.4 בדיקת הקווים, השסתומים והציוד ההיקפי

7.8 חקיקה ותקינה

7.8.1 סיווג, אריזה ותיווי של האיחוד האירופי

7.8.2 תקנות לבקרת סיכונים תאונות גדולים (1999, 2005), UK ו-EU

7.8.3 תקנות התכנון (חומרים מסוכנים) UK, 1992

7.8.4 הוראות לגבי שינוע

7.9 נהלי חירום

הערכת סיכונים בחלופות הנבחרות

7.10 מבוא

7.11 חלופה א' – הקמת מפעל ייצור אמוניה בדרום הארץ

7.12 חלופה ב' – העתקת המיכל לאתר חלופי

7.13 חלופה ג' – מיזם ישראלי-ירדני להקמת מפעל אמוניה בירדן מדרום לעקבה

7.14 חלופה ד'1 – הפחתת נפח אחסון המרבי במיכל בחיפה והשלמה מיבוא מירדן

7.15 חלופה ד'2 – הפחתת נפח אחסון מרבי במיכל בחיפה והקמת מיכל חוף נוסף

7.16 חלופה ה' – המשך המצב הקיים בשילוב שיפורי מיגון ונהלים חדשים לשע"ח

7.17 חלופה א' – ניתוח ומסקנות

8. שקלול החלופות ובחירת החלופה המועדפת

8.1 הקריטריונים לשקלול החלופות

8.2 מתודולוגיה לשקלול החלופות

8.3 בחירת החלופות הסופיות

8.4 ניתוח עלות תועלת של החלופות הסופיות

9. מסקנות

10. המלצות

11. מקורות מידע

בחודש ינואר 2010 פרסם המשרד להגנת הסביבה מכרז פומבי מס' 31/09 לבחירת יועץ לבחינת חלופות למערך היבוא, האחסון, הניפוק והשינוע של אמוניה במפרץ חיפה. מאחר ומיכל האמוניה הקיים במפרץ חיפה מהווה את אחד ממוקדי הסיכון, רואה המשרד חשיבות בבחינה מעמיקה של חלופות למיכל האמוניה הקיים במכלול היבטים (לוגיסטי, סביבתי וכו').

האמוניה הנה מוצר חיוני למשק, ומשמשת כחומר גלם בסיסי בתעשייה (דשנים, תרופות, שמרי לחם, מערכות חיטוי וכו'), וכן כחומר הקירור העיקרי לבתי קירור במפעלים ומחסני המזון בארץ. כיום, רוב אחסונו כאמור, הוא במיכל האמוניה במסוף הכימיקלים במפרץ חיפה, שנבנה בשנות ה-80 עם הגנות על-פי דרישות הג"א/פקע"ר.

בעקבות מלחמת לבנון השנייה בחנה ועדה ציבורית ברשות האלוף במיל" הרצל שפיר, את ההיבטים של היערכות והתגוננות בכל הקשור לחומרים מסוכנים במפרץ חיפה בשגרה ובחירום. הוועדה מצאה, כי אמצעי המיגון שננקטו למניעת סיכון ממיכל האמוניה מספקים, בתוספות מסוימות שבוצעו במסוף על ידי חברת חיפה כימיקלים.

במכרז זכתה חברת "אתוס - אדריכלות, תכנון וסביבה בע"מ", בשיתוף י.ל. ניתוח מערכות וצוות יועצים כנדרש בתנאי המכרז.

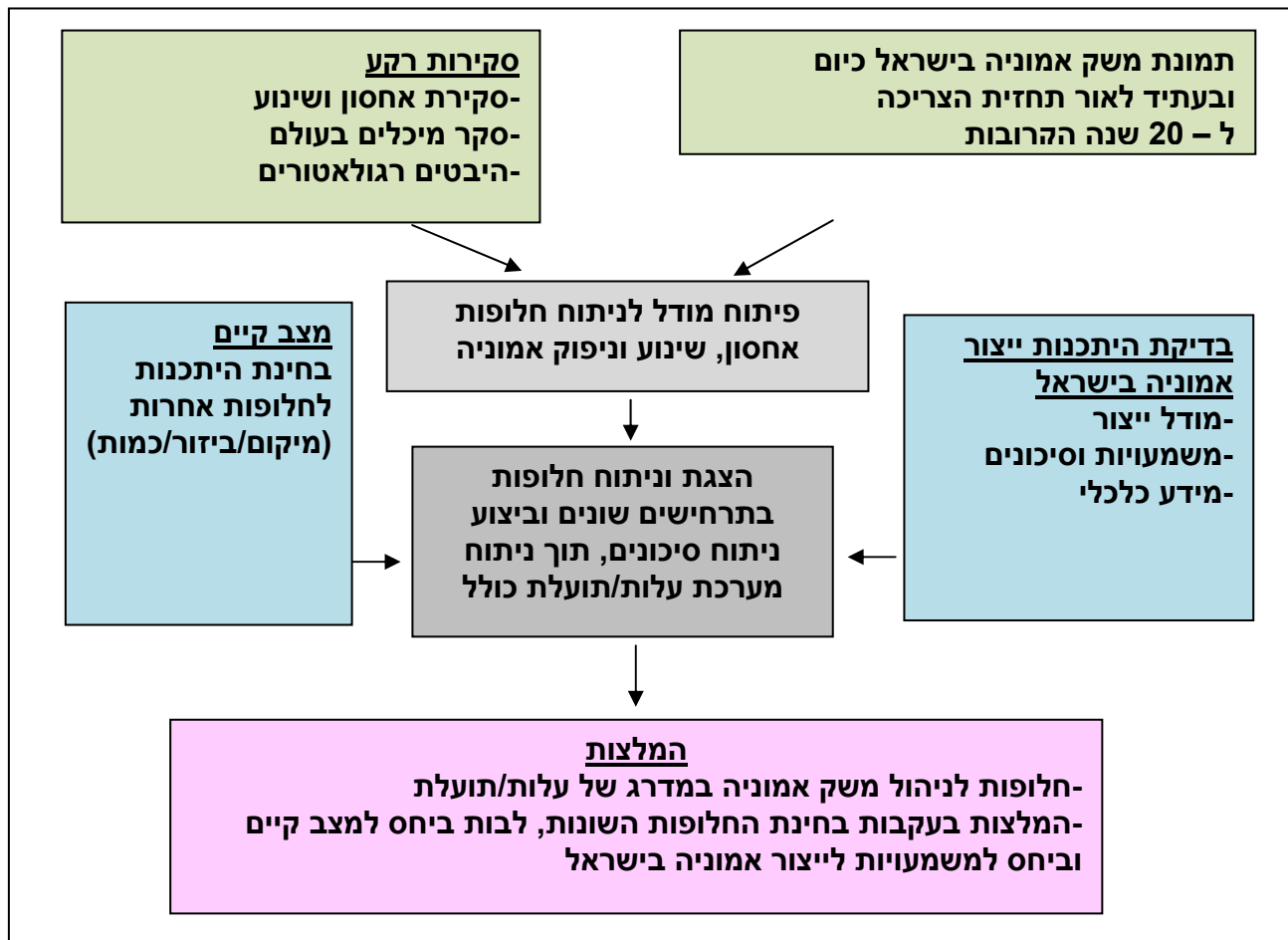
דו"ח זה הנו דו"ח מסכם לפרויקט, ומאגד את כל חלקי העבודה שהוגשו למשרד להגנת הסביבה במהלך העבודה על הפרויקט.

1. מתודולוגיה ושלבי העבודה

שלבי העבודה העיקריים כוללים:

1. שלב א' - סקירת רקע – לימוד והכרת מערך האמוניה בישראל.
 - 1.1 הכנת סקר שיטות אחסון אמוניה בעולם בדגש על מדינות מפותחות.
 - 1.2 הכנת תחזית צריכה של אמוניה ב-20 שנה הקרובות בישראל/עולם.
 - 1.3 הצגת הנחות עבודה לאישור צוות ההיגוי.
2. שלב ב' - ייצור אמוניה, התכנות.
 - 2.1 הערכת מצב כלכלית לייצור אמוניה בישראל.
 - 2.2 סקירת תהליכי ייצור אמוניה וגורמי סיכון.
3. שלב ג' - הצגת חלופות שונות.

- 3.1 חלופות על בסיס ביזור גיאוגרפי, כולל הקטנת נפחי אחסון.
 - 3.2 חלופות על בסיס גיוון מקורות הספקה ושינוע.
 - 3.3 שדרוג רמות מיגון של המיכל הקיים.
4. שלב ד' - ניתוח סיכונים.
- 4.1 הצגת תרחישי סיכון לכל אחת מהחלופות.
 - 4.2 ביצוע הערכת סיכונים אינטגרטיבית בהתייחס לכל שרשרת אספקת האמוניה.
5. שלב ה' - ניתוח מערכת לבחירת חלופה אופטימאלית של הספקת אמוניה.
- 5.1 הגדרת קריטריונים לשקלול ותעדוף החלופות השונות.
 - 5.2 הצגת תחשוב כלכלי לכל החלופות שהוצגו בעבודה.
 - 5.3 הצגת היררכיה של החלופות במונחי תועלת/עלות.
6. מקורות עיקריים לביצוע המחקר:
- 6.1 סקר ספרות ומאמרים באינטרנט.
 - 6.2 ראיונות צרכנים עיקריים (חיפה כימיקלים, דשנים, ועוד).
 - 6.3 מסמכים/עבודות שבוצעו להערכת רמות מלאי אסטרטגית למשק הישראלי.
 - 6.4 תובנות מפגישות עם מומחים מאקדמיה, פקע"ר – מיגון, תעשייה וכו'.
 - 6.5 גורמים/צרכנים בתעשייה בקטגוריה של צרכן אסטרטגי.
7. תרשים זרימה לוגי של שלבי ותכולות העבודה:



8. תוכנית עבודה – גאנט פעילות

- 8.1 גאנט הפעילות מציג את משכי הזמן ושלביות הביצוע של העבודה.
- 8.2 בסיום כל שלב יוצגו הממצאים במצגת בפני צוות ליווי הפרויקט.
- 8.3 אישור השלב יהיה בהתאם ללו"ז המוכתב בגאנט הפרויקט.
- 8.4 בסיום העבודה יוגש דוח כולל המסכם את התובנות והמלצות צוות הייעוץ.



2. אמוניה – תכונות, אחסון ושינוע

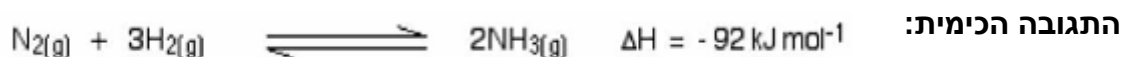
2.1 כללי

2.1.1 תכונות אמוניה

סימני היכר
נוסחה כימית: NH_3
שם: אמוניה, אל-מימית (Ammonia, Anhydrous)
מס' CAS: 7664-41-7
מס' או"ם: 1005
סיווג סיכון: 2.3 (ראשי), 8 (משני)
צבע: חסר צבע
ריח: חריף ואופייני
תכונות פיזיקליות
משקל מולקולרי: 17
משקל סגולי: 0.770 גר"/סמ"ק
נקודת רתיחה: -33°C
נקודת התכה: -78°C
נקודת הבזקה: 11°C
טמפ' התלקחות: 630°C
צפיפות אדים: 0.6 (אוויר 1.0) בטמפ' 20°C
לחץ אדים: 6460 מ"מ כספית בטמפ' 20°C
מצב צבירה: גז
תחום פציצות: 15%-29%
מסיסות במים: 53 גר"/100 מ"ל
מדדי חשיפה
TLV-TWA: 17.25 מ"ג/מ"ק
LD50 (נשימה): 58.3 מ"ג/ק"ג
LD50 (בליעה): 350 מ"ג/ק"ג
IDLH: 345 מ"ג/מ"ק
ERPG1: 17.5 מ"ג/מ"ק (ppm25)
ERPG2: 105 מ"ג/מ"ק (ppm150)
ERPG3: 525 מ"ג/מ"ק (ppm750)
PAC1: 21 מ"ג/מ"ק (ppm30)
PAC2: 112 מ"ג/מ"ק (ppm60)
PAC3: 770 מ"ג (ppm1100)

על מנת לשמור את האמוניה בצורתה הנוזלית יש להעלות לחץ או לקרר.

2.1.2 תהליך הייצור



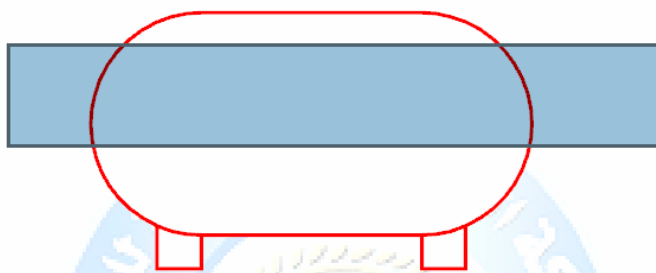
התגובה הכימית לקבלת האמוניה היא תגובה בין חנקן (N_2) שהופק מן האוויר לבין מימן (H_2), המופק בדרכים שונות (בעיקר מגז טבעי). הריאקציה היא רברסבילית וייצור האמוניה הוא אקזותרמי.

התהליך שפרץ את הדרך לייצור אמוניה מן היסודות מימן וחנקן היה תהליך שפיתח פריץ האבר (Fritz Haber) הנקרא על שמו. האבר הקים בגרמניה מפעל לייצור אמוניה בשנת 1913 ששימש גם לייצור חומרי נפץ שנדרשו בתקופת מלחמת העולם הראשונה. יכולתה של גרמניה במלחמת העולם הראשונה לייצר אמוניה היווה עבודה יתרון.

2.2 אחסון

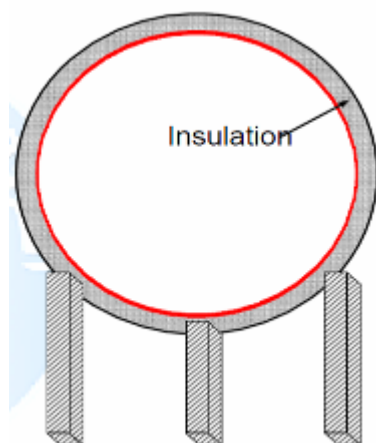
צורות אחסון וסוגי מיכלים

2.2.1 אחסון בלחץ בטמפ' החדר (עד 50°C) - עבור נפחים קטנים של אמוניה (עד 100 טון) במיכלים אופקיים מאורכים-bullets.
טווח לחצים: 11.5-17.5 אטמ'.



2.2.2 אחסון בקירור חלקי (0°C) במיכל כדורי - עבור נפחים של עד 2000 טונות.

טווח לחצים: 3.8-5.8 אטמ'.



חסרונות אחסון בלחץ:

- הגבלת נפח אחסון (עד 1000-2000 טון). דרישת התעשייה כיום היא לנפחים גדולים יותר.
- דליפת אמוניה בלחץ מסוכנת יותר מאשר דליפת אמוניה ממכל בלחץ אטמוספרי.
- עלות כלכלית- עלות בניית מיכל פר טון אמוניה גבוהה יותר עבור מיכל בלחץ מאשר בעבור מיכל בלחץ אטמוספרי.
- במיכלים כדוריים קיימת תופעת היווצרות סדקים הנובעים מקורוזיה.

2.2.3 אחסון בקירור מלא בלחץ אטמוספרי בטמפ' של -33°C – עבור נפחים גדולים מעל 2000 טון.

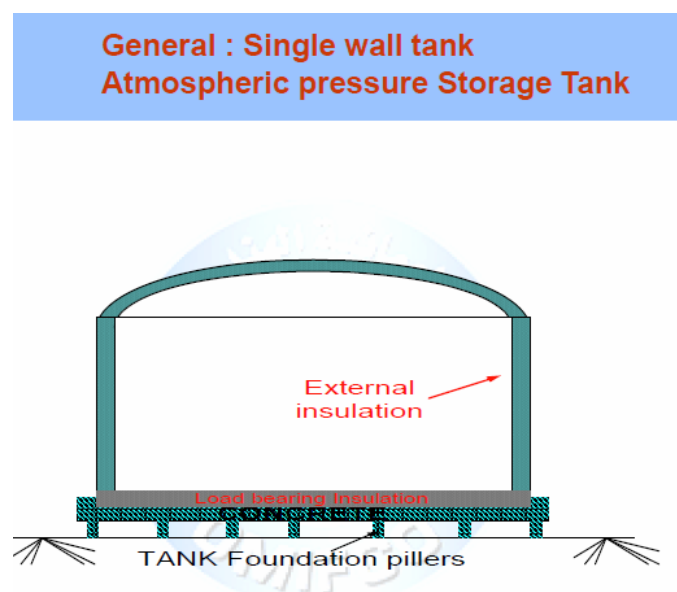
קיימים שלושה סוגי מיכלים בלחץ אטמוספרי:

- **מיכל עם קירות יחידים - single wall tank**
- **מיכל עם קירות כפולים - double wall tank**
- **מיכל כפול (מיכל בתוך מיכל) עם קירות כפולים - double wall full containment tank**

single wall tank

בסוג מיכל זה, המיכל הפנימי (העיקרי) מקורר ומכיל אמוניה נוזלית, שכבת בידוד בצד החיצוני של המיכל מקטינה את כניסת החום למיכל. המיכל החיצוני הינו מאצרה בעלת קירות נמוכים, שתפקידה להכיל את האמוניה הנוזלית במקרה של דליפה מהמיכל הפנימי. קיימת מערכת הקצפה שתפקידה למנוע דליפת אדי גז לסביבה. כתוצאה משיקולי בטיחות משתמשים במיכלים אלו במפעלים אשר ממוקמים רחוק יחסית מאוכלוסיה.

להלן תמונה של מיכל מסוג זה:



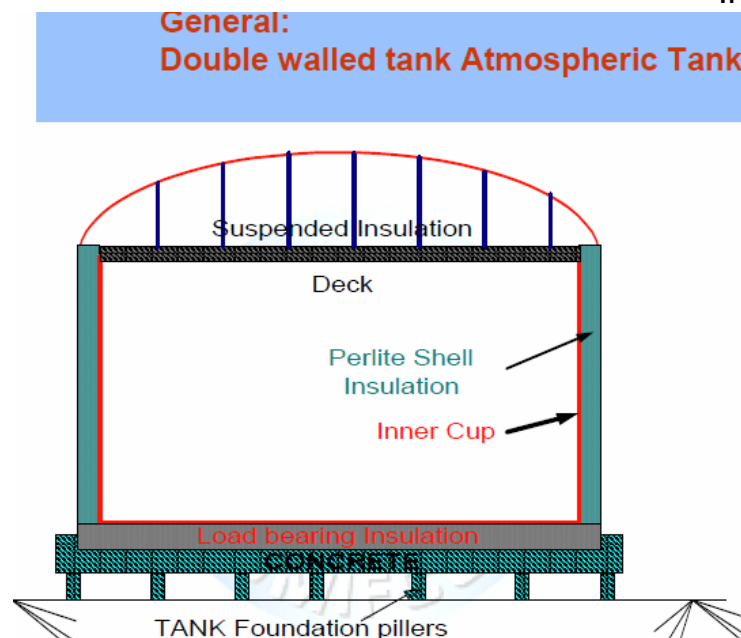
double wall tank

סוג מיכלים זה תוכנן כך שהמיכל הפנימי וגם החיצוני (שהוא בעצם מאצרה) בעלי יכולת להכיל את הנוזל המקורר ללא תלות אחד בשני. המיכל הפנימי מכיל את הנוזל המקורר.

המיכל החיצוני הינו מאצרה הממוקמת במרחק של עד 6 מטר מהמיכל הפנימי, המיכל החיצוני בעל גובה מתאים על מנת להכיל את הנוזל במקרה של דליפת נוזל מהמיכל הפנימי אך לא נועד להכיל אדים, מכך שבמקרה של דליפה האדים ישתחררו לאטמוספירה.

סוג מיכל זה משמש בד"כ לאחסון של גזים לא רעילים, ולא לאחסון של חומרים רעילים כדוגמת אמוניה.

להלן תמונה של מיכל מסוג זה:



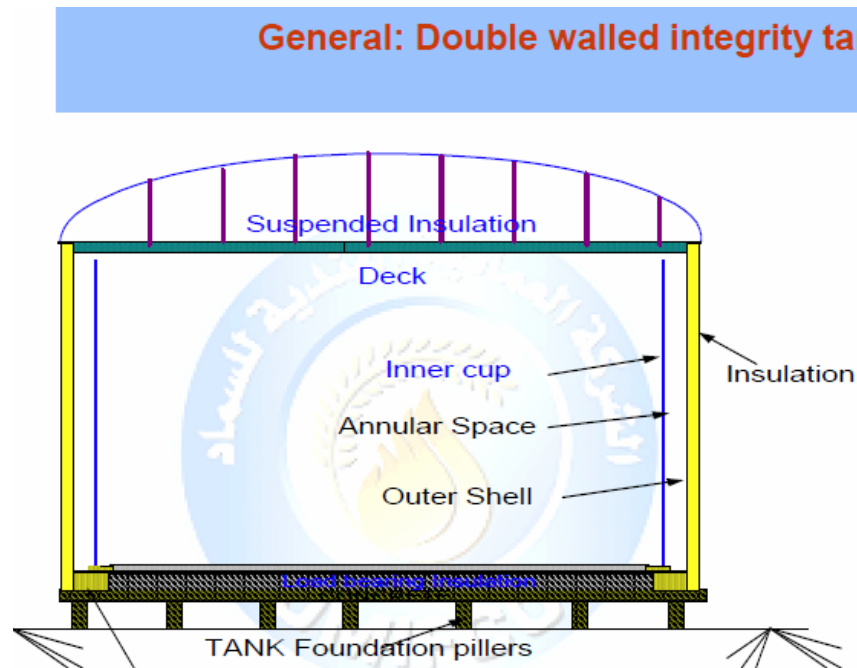
double wall full containment tank

המיכל נקרא גם "cup in tank" ונפוץ מאוד לאחסון אמוניה. סוג זה של מיכלים תוכנן כך שהמיכל הפנימי וגם החיצוני הינם בעלי יכולת להכיל את הנוזל המקורר ללא תלות אחד בשני. המיכל הפנימי מכיל את הנוזל המקורר.

המיכל החיצוני ממוקם במרחק של 1-2 מטר מהפנימי והוא שתומך בגג של המיכל ומסוגל להכיל במקרה של דליפה מהמיכל הפנימי גם נוזל וגם אדים וזאת בשונה ממיכל מסוג double wall tank. המיכל הפנימי מופרד מהחיצוני ע"י משטח תלוי הממוקם בקצה העליון שלו.

כיום מיכלים אלו (וגם מסוג double wall) נבנים על גבי יסודות בטון מורמים על מנת למנוע הצטברות קרח ושקיעה בקרקע. סוג זה של מיכלים מספק 15-20% יותר נפח לאחסון אדים. נפח נוסף זה שימושי מאוד בשמירה על טווח לחצים, במיוחד במצבי חירום.

להלן תמונה של מיכל מסוג זה:

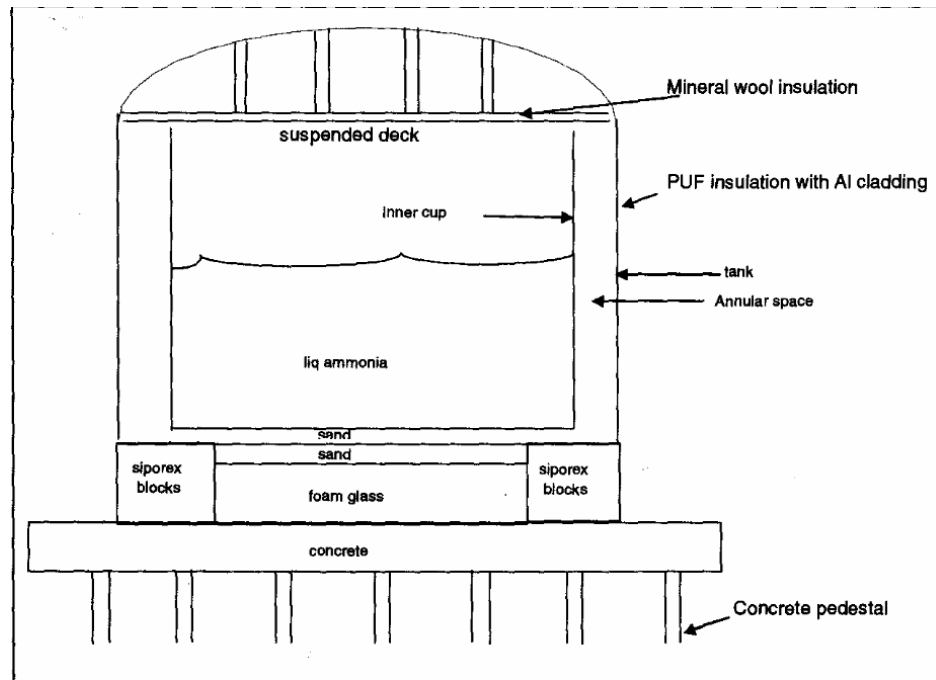


בידוד במיכלים בלחץ אטמוספרי

מאחר ובמיכלים בלחץ אטמוספרי האמוניה הנוזלית נשמרת בתנאי קירור, יש לצמצם את מעבר החום למיכל למינימום האפשרי, ועל כן לבידוד תפקיד חשוב בצורת אחסון זאת. סוג המבודד ועוביו נקבעים לפי קצב האידוי במיכל - ק"ג אמוניה המתאדה פר טון של קיבול המיכל. המבודד הנפוץ הוא polyurethane מוקצף (PUF), שממוקם בחלק החיצוני של המיכל ומצופה בשכבת אלומיניום.

מלבד בידוד של החלק החיצוני של המיכל, יש צורך בבידוד בחלקים נוספים במיכל: תחתית המיכל הפנימי-מבודדת ע"י זכוכית מוקצפת וחול. המרווח בין מיכל פנימי וחיצוני-התחתית מבודדת ע"י בלוקים של: iporex\perlite\עץ. בנוסף, אדי האמוניה הנמצאים במרווח בין המיכלים הפנימי והחיצוני משמשים כמבודד נוסף מפני כניסת חום מבחוץ. לעתים הרווח ממולא בחומר מבודד כגון perlite. המשטח התלוי המכסה את המיכל הפנימי-מבודד ע"י צמר זכוכית. המרווח שבין המשטח התלוי לבין כיפת המיכל-מבודד ע"י אדי אמוניה.

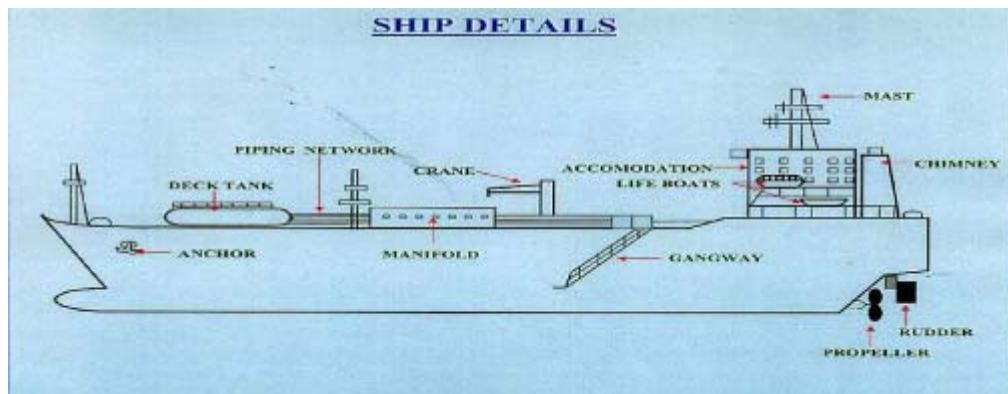
המחשה למבנה ובידוד של מיכל מסוג זה ניתן לראות בתמונה שלהלן:



2.3 שינוע

להלן פירוט דרכי השינוע של אמוניה נוזלית:

2.3.1 ספינות (מיכליות ים)



ישנם שני סוגי אחסון בעת העברת אמוניה בספינות:

- בקירור מלא (FR)
- קירור חלקי (SR)

בקירור מלא נפח האחסון גדול יותר, האמוניה נשמרת בתנאים של -32.5°C – ולחץ נמוך מ-250 mbar – בד"כ בסביבות 80 mbar. ספינות המעבירות אמוניה בקירור הן לרוב בעלות קיבולת של 8,000-10,000 טון, כאשר האחסון מתבצע ב-8 מיכלי אחסון בעלי דופן כפולה.

בקירור חלקי (המפ' 25°C – -15°C) ובלחץ 4-6 אטמ'.

האמוניה תופסת עד 98% מנפח המיכל, מה שגורם להיווצרות פאזה של אדי אמוניה מעל הנוזל ולכן יכולים להיווצר שני מצבים של דליפת אמוניה:

הראשון הוא דליפת אדי אמוניה. כיוון שאדי אמוניה קלים יותר מהאוויר הם יעלו למעלה ויתרחקו מהספינה. הסכנה בתרחיש כזה הוא שאדי האמוניה הינם חסרי צבע ולכן אדם עלול להכנס לתוך ענן האדים מבלי לשים לב.

התרחיש השני הוא דליפת אמוניה נוזלית, מה שיגרום לכך שחלק מהאמוניה הנוזלית יישפך למי הים (באחסון במיכלי חוף), וחלק נוסף יתאדה ויהפוך לענן אדי אמוניה.

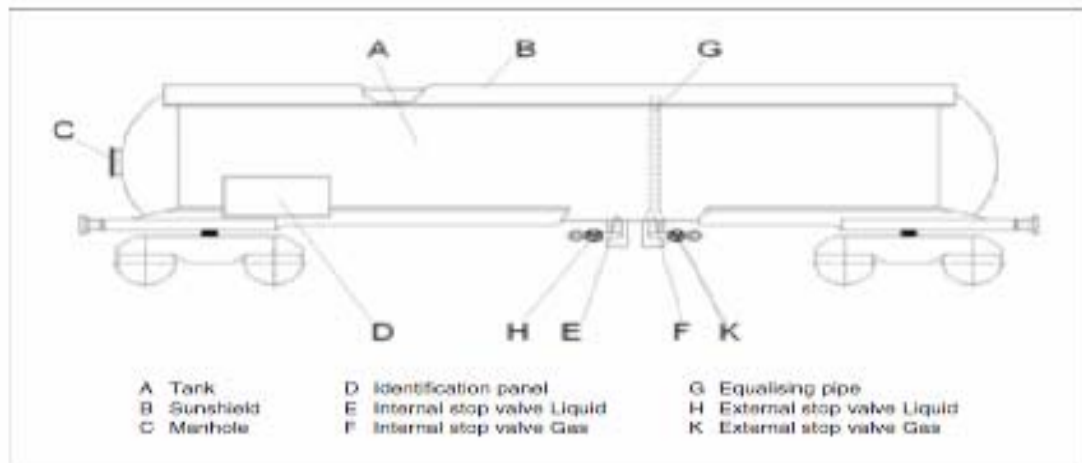
2.3.2 רכבות - Rail Tank Cars (RTC)

נפח כל מיכלית: 110-150 מ"ק אמוניה.

עובי דופן המיכלית נקבע בהתאם למקסימום ומינימום של הקיבולת ובהתאם לטמפ'. החומר ממנו עשויות המיכליות שמובילות אמוניה צריך להיות אינרטי לאמוניה ע"מ למנוע יצירת תרכובות מסוכנות ופגיעה באיכות האמוניה, בהתאם לכך לא משתמשים בנחושת או בתרכובות המכילות נחושת.

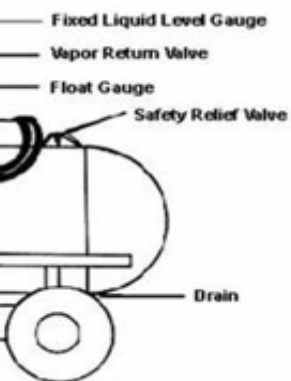
בנוסף, החומר ממנו עשויה המיכלית צריך להיות עמיד בפני שברים וסדקים שנובעים מקורוזיה בטמפ' $(+50^{\circ}\text{C}) - (-20^{\circ}\text{C})$.

להלן תיאור המיכלית:



2.3.3 משאיות (מיכליות כביש)

בד"כ, משתמשים בשינוע אמוניה במשאיות כאשר מדובר במרחקים קצרים, כאשר קיבולת המשאית היא כ-20-25 טון אמוניה.



2.4 פריקה/העמסת אמוניה

2.4.1 ספינות

פריקת אמוניה מספינות אל מיכלי אחסון

תהליך הפריקה:

הפריקה מתבצעת באמצעות חיבור של זרוע הידראולית (ראה פירוט בהמשך) לספינה, בזמן שהאמוניה נשאבת בעזרת משאבות מהספינה כל הצנרת שמובילה את האמוניה עוברת תהליך קירור הדרגתי. כאשר הקירור מגיע לרמה הדרושה נפתחים שסתומים ואמוניה מתחילה לזרום בצנרת, במהלך תהליך הפריקה משתמשים במד זרימה טורבינה. לאחר מכן, נפתחים שסתומים נוספים והאמוניה זורמת אל תוך המיכל.

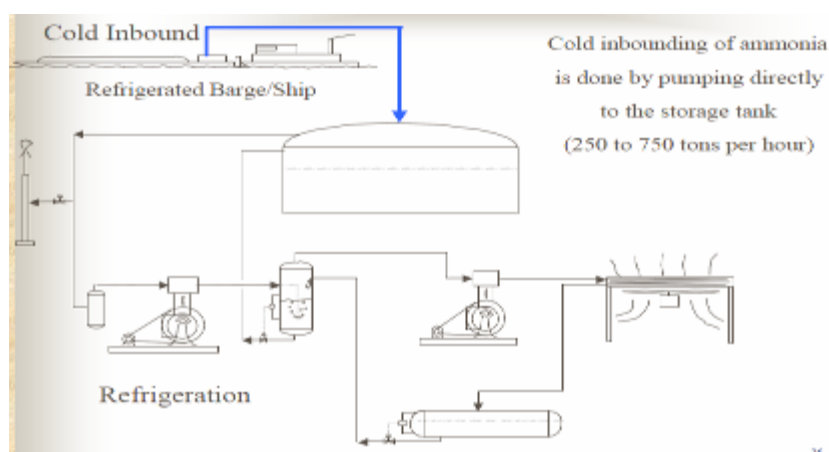
קצב פריקת אמוניה: 250-750 טון לשעה.

זרוע הידראולית: משמשת גם לפריקה וגם להעמסה, בעלת ראש לחיבור לספינות, בעלת מתקן לניתוק במקרה חירום, מתחברת לצנרת ברציף ע"י זרוע מקשרת נוספת, מבודדת.

להלן תמונה של הזרוע:



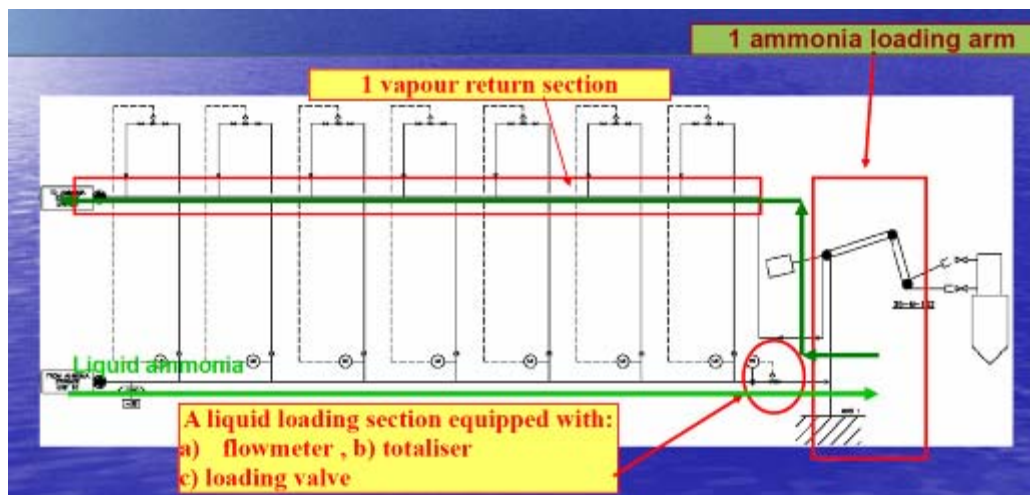
AFA –Cairo-Feb:2009



36

העמסת אמוניה-ממיכל אחסון לספינה:

אמוניה נוזלית נשאבת ממיכלי אחסון אל זרוע מקוררת הנמצאת ברציף, לאחר מכן מתחילה העמסת אמוניה מהמיכל דרך הזרוע ועד לספינה. לאחר סיום ההעמסה נסגר שסתום זרימה, הזרוע מנוקזת ע"י חנקן ולאחר מכן מנותקת בזמן הטעינה אדי אמוניה מוחזרים למיכל על מנת לשמור על לחץ במיכל, ההחזרה מתבצעת ע"י מערכת הקירור של הספינה.



RTC – רכבות 2.4.2

הגבלות בפריקה/העמסת אמוניה

בעת פריקת והעמסת אמוניה יש להקפיד על הכללים הבאים:
-הפריקה/העמסה יתרחשו רק באזורים המיועדים לכך, ומסומנים כי קיימת נוכחות אמוניה באזור.

-על מישור הפריקה/העמסה להיות אופקי ישר וחלק.

-אזור פריקה/העמסה צריך להיות מרוחק מאזור תנועת רכבות.

-על המיכלית לא לנוע תוך כדי הפריקה/העמסה.

-המרחק המומלץ בין המיכלית באזור פריקה/העמסה לבין ציוד או מבנים שעלולים להכיל חומרים דליקים הוא 15 מטר לפחות.

- מרחק מומלץ בין אזור פריקת /העמסת אמוניה לבין אזור פריקה/העמסה של נוזלים/גזים דליקים במידה ושני אזורים אלו פעילים בו זמנית הוא 25 מטר לפחות.
-פתחי ניקוז/פתחי בניינים/פתחי אוויר צריכים להמצא במרחק של לפחות 5 מטר מאזור פריקה/העמסה.

-אזורי פריקה/העמסה צריכים להמצא במרחק בטוח (בטווח הסביר) מכבישים ודרכים.

-נקודת מים עם צינור צריכה להמצא באזור הפריקה/העמסה בשביל מצבי דליפה.
-מערכת אזעקה אופטית ולא אקוסטית שניתנת להפעלה מכמה נקודות שונות צריכה להיות מותקנת.

ציוד לפריקה/טעינה

הפריקה/טעינה מתבצעת ע"י זרוע לפריקה/טעינה-אלו הם צינורות המחוברים ע"י מפרקים (ראה תמונה).

ציוד נוסף שדרוש לפריקה/טעינה:

-ציוד לגילוי דליפות.

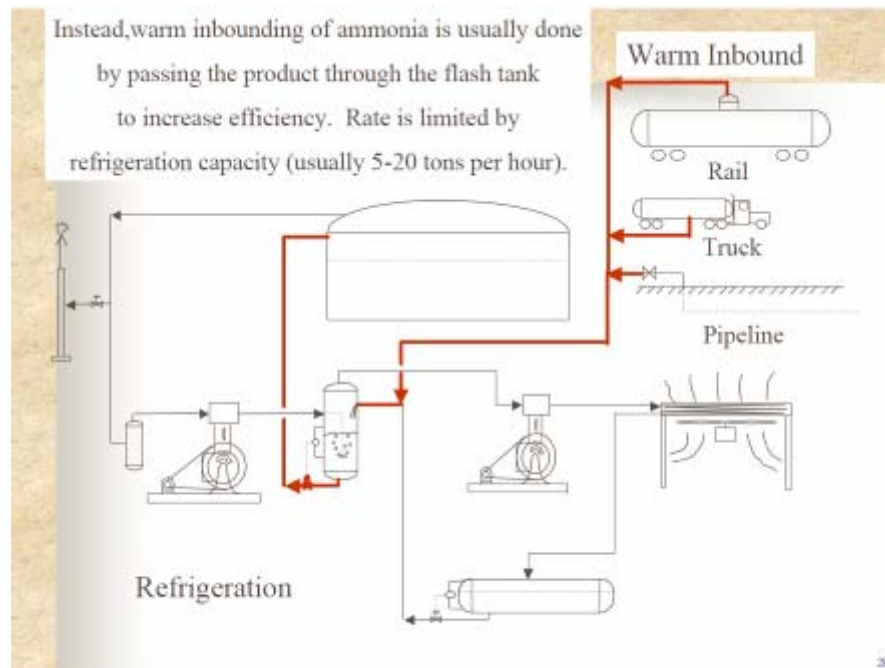
-חיבור לשחרור לחץ.

- חיבור המיועד לפאזה גזית.
- גז אינרטי בשביל הזרוע.
- ציוד בטחון כגון צינורות מיסתמשטפות עיניים, מקלחות חירום.
- מפסק חירום להפסקת תהליך הפריקה הטעינה.
- מערכת המונעת מילוי יתר.
- מערכת המנטרת את תהליך המילוי.
- מערכת אלקטרו מגנטית\אלקטרו פנאומטית\ידנית לסגירת השסתומים התחתונים במיכלית.

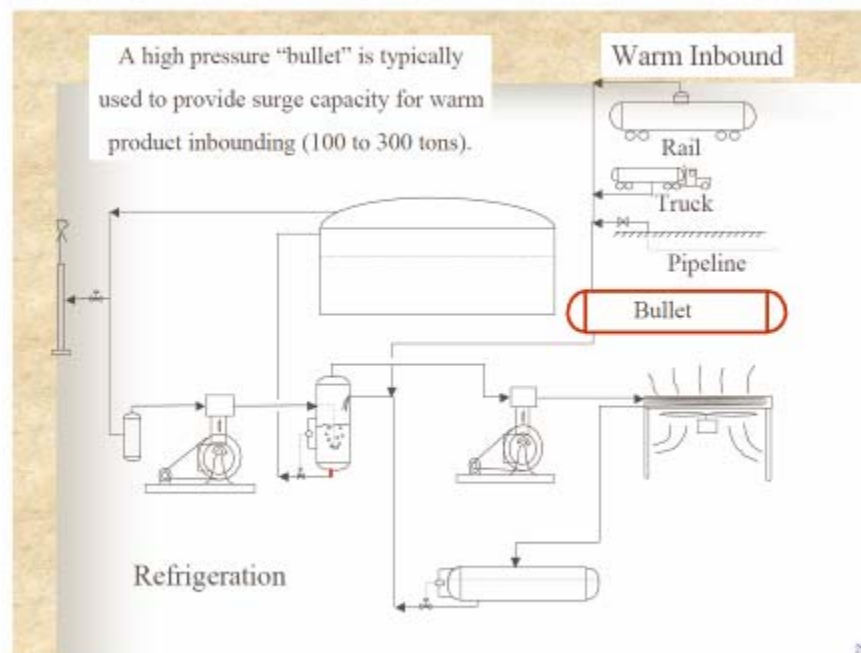
פריקה

בעת פריקת אמוניה "חמה" (בטמפ' מעל 33°C) מרכבת (נכון גם לגבי משאיות), האמוניה עוברת תחילה ל flash tank שמוריד את הלחץ ורק אח"כ מועברת למיכל. ניתן גם להזרים תחילה את האמוניה החמה למיכל בלחץ (bullet), ממנו האמוניה תוזרם ל- flash tank ואז למיכל אחסון.





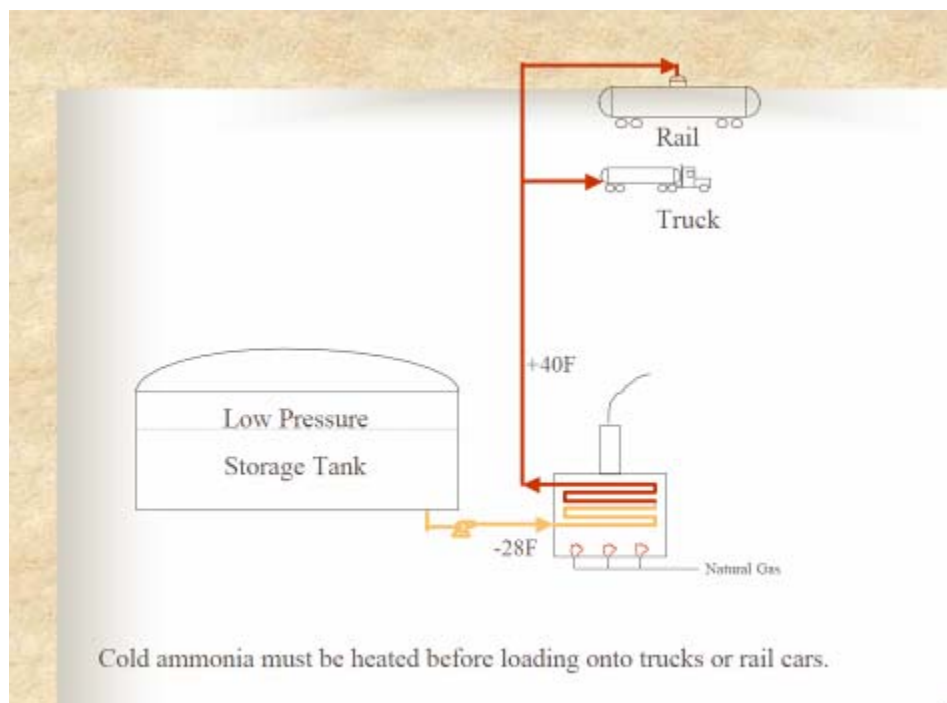
שימוש ב bullet:



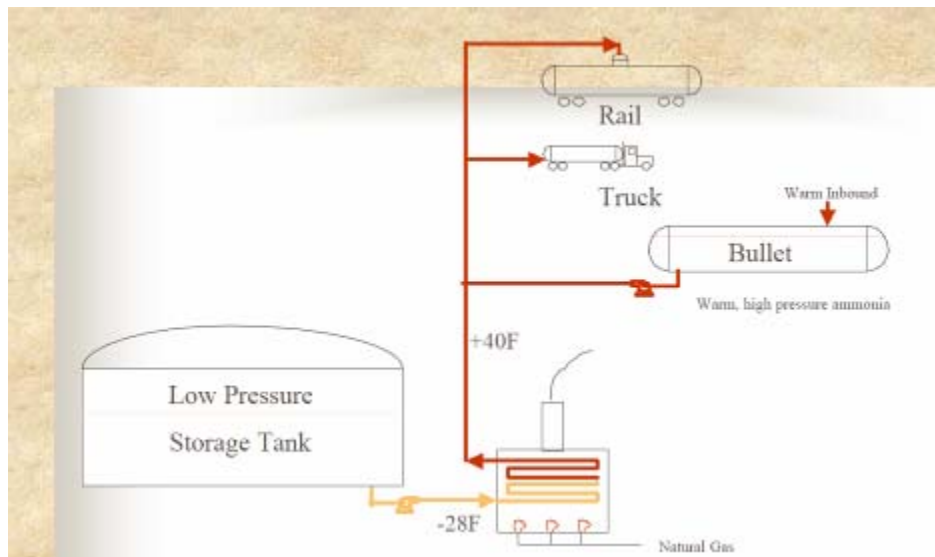
העמסת אמוניה:

בתהליך העמסת אמוניה קרה לרכבות (וגם למשאיות) יש תחילה לחמם אותה

ראה ציור:



במקרים בהם קיים מיכל בלחץ (bullet) ניתן לחסוך אנרגיה על קירור וחימום ולהעמיס ממנו ישירות לרכבות וגם למשאיות.



2.4.3 משאיות

המתואר בסעיף 2.4.2 לעיל תקף גם לגבי משאיות.

3. סקר מיכלי אמוניה בעולם

3.1 מיכלים עיקריים

#	שם מיכל	מיקום	קיבולת/ סוג מיכל	דרישות מיגון	שיטת אחסון	קרבה לאוכלוסייה	קרבה לנמל פריקה /טעינה	שיקולי מיקום	הקשר בין המיכל למפעל ואופן ההולכה
1	Port of Tampa Ammonia terminal בבעלות CF Industries	Tampa, Florida, USA	38,000 טון	מאצרה	אחסון בקירור בלחץ אטמוספרי - 33°C	כ-2 ק"מ מהשכונות הקרובות של העיר Tampa	המיכל נמצא בטרמינל אמוניה בנמל	קרבה לנמל	מיכל חוף; הובלה ברכבת

מיכל חוף. המיכל מיועד לפריקה של אמוניה מיובאת עבור מפעל לייצור דשן.

המיכל נמצא בטרמינל אמוניה בנמל וקיימת גישה לקו צנרת אמוניה מקומי. המיקום בנמל מאפשר אפיק ייבוא אמוניה. האמוניה משונעת למפעל הדשנים של CF Industries באמצעות רכבת, קיימת גם אפשרות לטעינת משאיות.



#	שם מיכל	מיקום	קיבולת/ סוג מיכל	דרישות מיגון	שיטת אחסון	קרבה לאוכלוסייה	קרבה לנמל פריקה /טעינה	שיקולי מיקום	הקשר בין המיכל למפעל ואופן ההולכה
2	Royster-Clark Nitrogen, Meredosia Dock	Meredosia, Illinois, USA	30,000 טון	מאצרה	אחסון בקירור בלחץ אטמוספרי $-33^{\circ}C$	כ-2.5 ק"מ מהשכונות הקרובות של Meredosia	המיכל מחובר לרציף ע"י צנרת	קרבה לנמל	מיכל חוף;

מיכל חוף. המיכל מיועד לפריקה של אמוניה מיובאת עבור מפעל לייצור דשן.





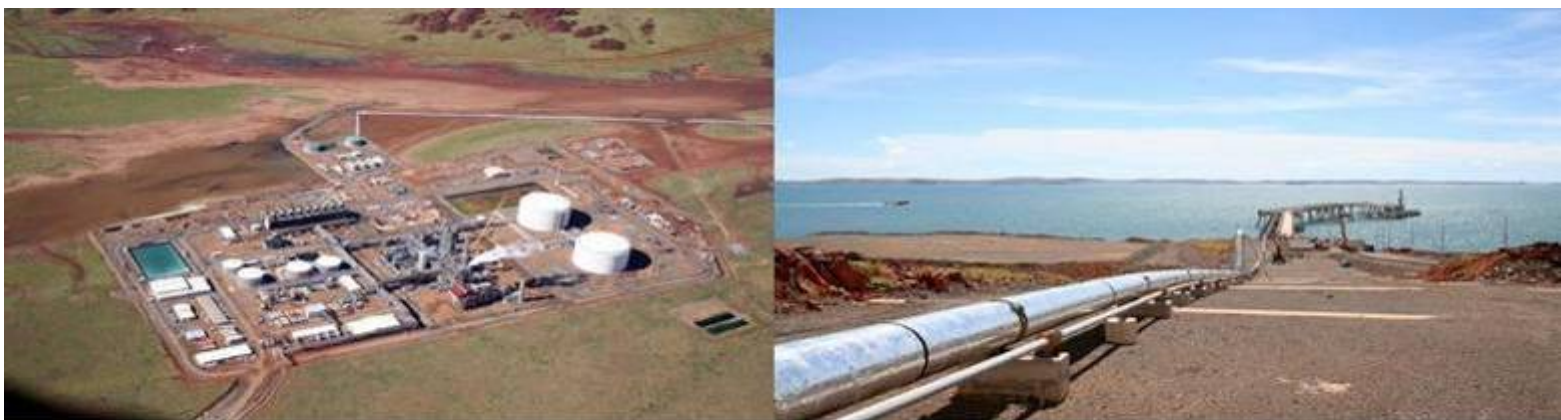
#	שם מיכל	מיקום	קיבולת/ סוג מיכל	דרישות מיגון	שיטת אחסון	קרבה לאוכלוסייה	קרבה לנמל פריקה /טעינה	שיקולי מיקום	הקשר בין המיכל למפעל ואופן ההולכה
3	Burrup Fertilisers- Ammonia plant בבעלות CF	Burrup, (Western Australia	2 מיכלים 40,000 טון כ"א	קירות כפולים, מאצרה	אחסון בקירור בלחץ אטמוספרי - 33°C	ממוקם בחצי אי לא מיושב כ-25 ק"מ מהישוב הקרוב	קו צנרת באורך 5.5 ק"מ מחבר בין המיכל לרציף בנמל	קרבה לנמל	מיכלי מפעל; המיכל ממוקם בשטח המפעל

מיכלי מפעל. המיכלים מיועדים לטעינה של אמוניה מיוצרת במפעל וליצוא שלה עבור מפעלי דשנים דרך הים.

שיקולי המיקום כוללים קרבה לנמל, למקורות גז ודלק, קרבה למי-ים לקירור וייצור אמוניה, שיקולים סביבתיים וחברתיים (תעסוקה לאבוריג'ינים). המפעל ממוקם במרחק 25 ק"מ מהעיירה Karratha (כ-12,500 איש). קיים קו צנרת באורך 5.5 ק"מ שמזרים אמוניה הישר מהמפעל אל הרציף בנמל Dampier הישר אל תוך מיכלים לאחסון נוזלים בנפחים גדולים (Bulk Liquids Berth - BLB).

מי-ים משמשים לקירור. בנוסף, הוקם מתקן התפלת מי-ים בקרבת מפעל האמוניה, כאשר המים המותפלים משמשים בתהליך ייצור האמוניה. תכנון והקמת המפעל נעשו תוך כדי התחשבות באתרים חשובים לאוכלוסיית האבוריג'ינים שמאכלסת את חצי-האי buruup, ובנוסף תוך התחשבות במגוון בעלי החיים והצמחייה באזור.





#	שם מיכל	מיקום	קיבולת/ סוג מיכל	דרישות מיגון	שיטת אחסון	קרבה לאוכלוסייה	קרבה לנמל פריקה/ טעינה	שיקולי מיקום	הקשר בין המיכל למפעל ואופן ההולכה
4	BCT (Baltic Chemical Terminal)	Sillamae Estonia	2 מיכלים 30,000 טון כ"א	מאצרה	אחסון בקירור בלחץ אטמוספרי - 33°C	הבתים הכי קרובים בעיירה Sillamae הם במרחק 900 מ', בטווח של 30 ק"מ אוכלוסיה של 200,000	טרמינל ממוקם בנמל	קרבה לנמל קרבה לשוק האירופי ולרוסיה	מיכלי חוף; ספינות ורכבות

מיכלי

חוף. המיכלים מיועדים לטעינה של האמוניה מיוצרת ברוסיה שנועדה לייצוא למפעלי דשנים במערב אירופה דרך הים.

מדובר בטרמינל כימיקלים חדש וחדיש, מהגדולים באירופה (סה"כ קיבולת אחסון של כ-1 מיליון טון). המיקום הוא באסטוניה על חוף הים הבלטי (צמוד לגבול הצפון-המזרחי עם רוסיה).

הטרמינל ממוקם בנמל, ובו 2 מיכלי אמוניה בני 30,000 טון כל אחד. בטרמינל יש 2 זרועות להעמסת אמוניה על ספינות בקצב של 1200 טון לשעה. בנוסף, ישנם בטרמינל 2 אזורים לפריקת/העמסת אמוניה מרכבות בקצב של 120 טון לשעה.

שיקולי מיקום כוללים קרבה לגבול עם רוסיה (23 ק"מ) וגם למערב אירופה, תוך אפשרות נוחה לייצוא דרך הים הבלטי לשוק האירופי. לטרמינל יתרונות נוספים: אין הצטברות קרח בחורף, ולכן אין צורך בשבירת קרח או הגנה מפני רוחות, ולכן הפעילות נמשכת במשך כל השנה. הקשר בין המיכלים למפעלים ואופן הולכה: בעזרת ספינות ורכבות. הטרמינל עובד לפי סטנדרט גבוה בתחומי בטיחות ואיכות סביבה.



מיכלי חוף. המיכלים מיועדים לטעינה של האמוניה מיוצרת ברוסיה שנועדה ליצוא למפעלי דשנים במערב אירופה דרך הים.

Ventspils הוא נמל מוצא חשוב ביותר לתעשייה הרוסית בים הבלטי: בין השאר, כ-10% מיצוא הכולל של האמוניה מרוסיה יוצא מנמל זה.



#	שם מיכל	מיקום	קיבולת/ סוג מיכל	דרישות מיגון	שיטת אחסון	קרבה לאוכלוסייה	קרבה לנמל פריקה /טעינה	שיקולי מיקום	הקשר בין המיכל למפעל ואופן ההולכה
6	Akzo Nobel	Stenungsund, Sweden	5,000 טון מיכל מבטון	מיכל בתוך מיכל, בטון, פלדה, מאצרת אבן	אחסון בקירור בלחץ אטמוספרי $-33^{\circ}C$	1 ק"מ מהעיר Stenungsund	טרמינל ממוקם בנמל	קרבה לים ולאזור התעש ייה	מיכל חוף; הולכה למפעל ע"י צנרת

מיכל חוף. המיכל מיועד לפריקה של אמוניה מיובאת עבור מפעל לייצור דשן.



מימדי המיכל: קיר חיצוני בגובה 18.5 מ', קוטר 24.8 מ', גג המיכל בעל צורת כיפה עם קוטר פנימי של 24.8 מטר. המיגון כולל: מיכל בתוך מיכל / מיכול כפול (double containment), מיכל פנימי מפלדה, מיכל חיצוני מבטון, מאצרת אבן.

#	שם מיכל	מיקום	קיבולת/ סוג מיכל	דרישות מיגון	שיטת אחסון	קרבה לאוכלוסייה	קרבה לנמל פריקה /טעינה	שיקולי מיקום	הקשר בין המיכל למפעל ואופן ההולכה
7	National fertilizer plant	Reykjavik, Iceland	1,000 טון מיכל מפלדה	מיכל בתוך מיכל, אלמנטי פלדה, בידוד, מאצרת אדמה, שסתומי בטחון ודיסקות פריצה לשליטה בלחץ	אחסון בקירור בלחץ אטמוספרי -33°C	ממוקם בפרבר של עיר הבירה Reykjavik כ-1.5 ק"מ מהבתים הקרובים	קרבה לנמל Reykjavik	קרבה לים ולאזור התעש ייה	מיכל משולב (חוף/מפעל); המיכל בטרמינל ימי כשהמפעל צמוד לטרמינל

מיכל משולב (חוף/מפעל). המיכל בטרמינל ימי כשהמפעל צמוד לטרמינל, ומיועד לפריקה של אמוניה מיובאת עבור מפעל לייצור דשן.

מימדי המיכל: קוטר פנימי 13.4 מ', קוטר חיצוני 15.3 מ', גובה קירות 12 מ', גג בצורת כיפה בעל רדיוס פנימי של 13 מ'.

המיגון כולל: קירות כפולים מפלדה, מיכל בתוך מיכל / מיכול כפול (double containment), בידוד מבחוץ למיכל החיצוני ע"י בלוקים של polyurethane בעובי 130 מ"מ, בנוסף קיים מחסום אדים כפול. רצפת המיכל מבודדת ע"י שתי שכבות של זכוכית מוקצפת בעובי כולל של 150 מ"מ. התקרה מבודדת ע"י שכבת צמר זכוכית בעובי 200 מ"מ. מאצרת אדמה בנפח של 2500 מ"ק המקיפה

את המיכל נועדה למנוע התפשטות אמוניה במידה של דליפה מהמיכל. שסתומי בטחון - במיכל הפנימי השסתומים נפתחים בעודף לחץ של 150 mbar וואקום של 6 mbar. שסתומים בין מיכל פנימי לחיצוני נפתחים כאשר הלחץ במיכל החיצוני גבוה ב-6 mbar מהלחץ במיכל הפנימי. שסתומים במיכל החיצוני נפתחים בעודף לחץ של 100 mbar וואקום של 6 mbar. השסתומים מגנים על המיכל הפנימי מפני קריסה עקב לחץ גבוה יותר במיכל החיצוני. שתי דיסקות פריצה על המיכל הפנימי מעניקות הגנה נוספת מלחץ. הלחץ במיכל נשלט ע"י מערכת קירור שמורכבת משלושה קומפרסורים: הראשון מתחיל לעבוד בלחץ יתר של 50 mbar והשלישי מתחיל בלחץ יתר של 80 mbar.



#	שם מיכל	מיקום	קיבולת/ סוג מיכל	דרישו ת מיגון	שיטת אחסון	קרבה לאוכלוסייה	קרבה לנמל פריקה/ טעינה	שיקולי מיקום	הקשר בין המיכל למפעל ואופן ההולכה
8	Ammonia Terminal at the Port of Rotterdam החל מ-2010 בבעלות החברה המצרית ORASCOM, שכרשה את העסק מ-Micro Chemie	Rotterdam, Netherlands	30,000 טון	מאצרה	אחסון בקירור בלחץ אטמוספרי - 33°C	הבתים הכי קרובים בעיר Rotterdam (כ- 600,000 איש), במרחק של פחות מ-2 ק"מ	טרמינל ממוקם בנמל, לרשת רכבות באורך 160 ק"מ הריין – גישת לגרמניה צרפת והולנד	קרבה לנמל, לרשת רכבות באורך 160 ק"מ הריין – גישת לגרמניה צרפת והולנד	מיכל חוף; המיכל בנמל. ההולכה למפעלים באמצעות מיכליות ימיות, אח"כ רכבת ומיכליות כביש

מיכל חוף. המיכל מיועד לפריקה של אמוניה מיובאת עבור מפעלים לייצור דשן.



#	שם מיכל	מיקום	קיבולת/ סוג מיכל	דרישות מיגון	שיטת אחסון	קרבה לאוכלוסייה	קרבה לנמל פריקה /טעינה	שיקולי מיקום	הקשר בין המיכל למפעל ואופן ההולכה
9	Odessa Port Ammonia Terminal	Odessa Ukraine	4 מיכלים 30,000 טון כ"א	מאצרה	אחסון בקירור בלחץ אטמוספרי - 33°C	הבתים הקרובים בעיר Odessa במרחק של כ-4 ק"מ	מפעל לייצור אמוניה נמצא באזור הנמל	קרבה לנמל, לרשת רכבות וצנרת אמוניה מיצרנים אחרים נרחבת 2400- ק"מ, בין רוסיה ונמל היצוא	מיכל משולב (חוף/מפעל); בנוסף לתוצרת המפעל בנמל, אמוניה מיצרנים אחרים מתקבלת בקווי צנרת וברכבות לאחסון וייצוא. צנרת ארוכה - Togliatti – Gorlovka – Odessa

מיכלים משולבים חוף/מפעל. המיכלים מיועדים לטעינה של אמוניה מיוצרת במפעל שנמצא בקרבת הנמל וליצוא שלה עבור מפעלי דשנים דרך הים, אך גם לאחסון אמוניה המתקבלת מיצרנים אחרים המיועדת ליצוא.

מפעל לייצור אמוניה נמצא באזור הנמל (כ-1 מיליון טון שנה), מרחקי שינוע מהמפעל אל המיכל וליצוא דרך הנמל מינימאליים. ישנה זרוע המחברת בין המיכל לספינה ומשמשת להטענת אמוניה בקצב של 2000 טון לשעה. האמוניה המיוצרת באיזור הנמל מאוחסנת במיכלים. בנוסף מתקבלת אמוניה מקו צנרת המחבר בין Togliatti-Rossosht-Gorlovka-Odessa וגם ע"י רכבות.



9— Odessa, Ukraine



#	שם מיכל	מיקום	קיבולת/ סוג מיכל	דרישות מיגון	שיטת אחסון	קרבה לאוכלוסייה	קרבה לנמל פריקה /טעינה	שיקולי מיקום	הקשר בין המיכל למפעל ואופן ההולכה
10	Zhanjiang MIC Chemical Energy בבעלות החברה החברה הרוסית Vezha Group	Zhanjiang, (South-east) China אחד מ- 10 הנמלים הגדולים בסין	2 מיכלים 30,000 טון כ"א	קירות כפולים, מאצרה	אחסון בקירור בלחץ אטמוספרי $-33^{\circ}C$	הבתים הקרובים בעיר Zhanjiang במרחק של פחות מ-1 ק"מ	המיכל נמצא בנמל	קרבה לנמל, שיקולים כלכליים של משקיעים רוסים- תאגיד Togliatti Azot	מיכל חוף; המסוף בבעלות תאגיד דשנים חנקניים הגדול בעולם. הובלה ימית ורכבתית

מיכלי חוף. המיכלים מיועדים לפריקה של אמוניה מיובאת עבור מפעלים לייצור דשן.

הקמת המיכלים הינה בשיתוף עם togliatti azot corporation מרוסיה – תאגיד יצרני הדשנים מבוססי חנקן הגדולים בעולם. בסין קיימת דרישה רבה מאוד לחומרי דשן, ולכן הוחלט להקים שם את מיכלי האמוניה. להקמת המיכלים ב-Zhanjiang הייתה תרומה לכלכלת סין (במיוחד מרמה המקומית).



#	שם מיכל	מיקום	קיבולת/ סוג מיכל	דרישות מיגון	שיטת אחסון	קרבה לאוכלוסייה	קרבה לנמל פריקה/ טעינה	שיקולי מיקום	הקשר בין המיכלים למפעלים ואופן הולכה
11	JMPC (Jordan Phosphate Mines Company)	Aqaba, Jordan	2 מיכלים- מיכל גדול 38,000 טון וקטן 10,000 טון	שסתומי בטחון, הגנה על צנרת בקרבת כבישים, מאצרה	אחסון בקירור בלחץ אטמוספרי $-33^{\circ}C$	בתים ראשונים במרחק כ-3 ק"מ מצפון, העיר עקבה עצמה נמצאת כ-20 ק"מ מצפון	קו צנרת באורך 1.6 ק"מ מוביל אמוניה מהמיכל לנמל	קרבה לים. קיימת מגבלה עקב קרבה לאזור תיירות ותעשייה	מיכל משולב (חוף / מפעל); אמוניה מיובאת ומוזנת בצנרת למיכל הממוקם בשטח המפעל

מיכלי חוף. המיכלים מיועדים לפריקה של אמוניה מיובאת עבור מפעלים לייצור דשן.

האזור שבו ממוקמים המיכלים הנו עיר תעשייתית הצמודה לאזור תיירותי. המיגון כולל שסתומי בטחון במיכלים. קווי צנרת שסמוכים לדרכים/כבישים מוגנים ע"י מחסום וזאת ע"מ להגן על הצנרת. האמוניה הנוזלית מגיעה בייבוא דרך הים האדום ומועברת ע"י קו צנרת באורך 1.6 ק"מ מהספינות אל מיכלי האחסון. המיכלים נמצאים בשטח המפעל ומועברים למפעל ע"י צנרת.



11 – JMPC, Aqaba, Jordan



#	שם מיכל	מיקום	קיבולת/סוג מיכל	דרישות מיגון	שיטת אחסון	קרבה לאוכלוסייה	קרבה לנמל	שיקולי מיקום	הקשר בין המיכלים
---	---------	-------	-----------------	--------------	------------	-----------------	-----------	--------------	------------------

12	QAFCO (Qatar Fertilizer Company)	Messaieed Qatar	45,000 טון	מיכל בתוך מיכל, קירות כפולים, מאצרה	אחסון בקירור בלחץ אטמוספרי $-33^{\circ}C$	בקרבת המיכל יש אוכלוסיה של 9,000 איש בעיר Messaieed (כ-40 ק"מ מעיר בירה (Doha	מפעל לייצור אמוניה ואוריה בדרום מזרח קטאר בעיר התעש ייתית Mess aieed	קרבה לים. המפע ל הוא בדרום מזרח קטאר בעיר התעש ייתית Mess aieed	מיכל משולב (חוף/ מפעל); אמוניה מיוצרת ומוזנת בצנרת למיכל הממוקם בשטח המפעל

מיכל משולב חוף/מפעל. המיכל מיועד לטעינה של אמוניה המיוצרת במפעל שנמצא בקרבת הנמל. האמוניה המיועדת לייצוא נפרקת מהמיכל אל מיכליות-ים בטרמינל הנמצא בצמוד למפעל.

למפעל יש רציף אמוניה בנמל, הרציף באורך 260 מ' ובעומק 12 מ'. העמסת הספינות נעשית ע"י זרוע.

עד שנת 2004 היו באתר 2 מיכלי אמוניה של 50,000 טון מסוג single wall, אשר הוחלפו ב-2004 במיכל הנ"ל על מנת להפחית את הסיכון במקרה של דליפת אמוניה מהמיכל.



#	שם מיכל	מיקום	קיבולת/ סוג מיכל	דרישות מיגון	שיטת אחסון	קרבה לאוכלוסייה	קרבה לנמל	שיקולי מיקום	הקשר בין המיכלים
---	---------	-------	------------------	--------------	------------	-----------------	-----------	--------------	------------------

13	FACT (Fertilizers & Chemicals Travancore)	Cochin Port, (West) India	10,000 טון. המיכל מעוגן ליסודות בטון	מיכל בתוך מיכל, שסתומים לוויסות לחץ, עיגון ליסודות בטון, תמיכה בתקרה , בידוד מחום	אחסון בקירור בלחץ אטמוספרי $-33^{\circ}C$	אוכלוסיה קרובה (בתים בודדים) פחות מ-1 ק"מ	טרמינל ממוקם בנמל	קרבה לנמל. לרשת רכבות המיכל נמצא בנמל העיר Cochin	למפעלים ואופן הולכה

מיכל חוף.

המיכל מיועד לפריקה של אמוניה מיובאת עבור מפעלים לייצור דשן.

מימדי המיכל: גובה המיכל 17.4 מ', קוטר המיכל 41.6 מ'.
המיגון כולל מיכל בתוך מיכל (double integrity tank), המיכל החיצוני מעוגן ליסודות הבטון, קיימים 2 שסתומים לוויסות הלחץ.
תקרת המיכל נתמכת ע"י קורות. המיכל מבודד ע"י polyurethane, תחתית המיכל מבודדת ע"י קצף של polystyrene.



#	שם מיכל	מיקום	קיבולת/ סוג מיכל	דרישות מיגון	שיטת אחסון	קרבה לאוכלוסייה	קרבה לנמל פריקה/ טעינה	שיקולי מיקום	הקשר בין המיכלים למפעלים ואופן הולכה
14	IFFCO (Indian Farmers Fertiliser Co-operative)	Kandla Port, (West) India	2 מיכלים כדוריים 1,500 טון כ"א בלחץ. 3 מיכלים נוספים בלחץ אטמ': 5,000 10,000 15,000	המיכלים בלחץ אטמ' הם מסוג double integrity מאצרה	במיכלים הכדוריים- 0°C ולחץ של 3 אטמ' במיכלים הנוספים הלחץ הוא אטמוספרי והטמפ' -32°C	איזור תעשייה כבדה. אין בתי מגורים בטווח מספר ק"מ	לחברה רציף משלה בנמל Kandla האמוניה מהאוניות נפרקת ישירות אל תוך המיכלים בלחץ אטמ' בעזרת צנרת	קרבה לנמל. אפשרות להרחבה המפעל ממוקם בצמוד לנמל ומסוף ימי	מיכלים משולבים (חוף/מפעל); אמוניה מקומית מגיעה ברכבת למיכלי הכדור. אמוניה מיובאת דרך הים נפרקת למיכלי הלחץ האטמ'.

מיכלים משולבים (חוף/מפעל). אמוניה מייצור מקומי המגיעה ברכבות מועברת למיכלי הכדור, ואילו אמוניה מיובאת המגיעה דרך הים נפרקת למיכלים בלחץ אטמוספרי.

לחברה יש רציף משלה בנמל Kendla באורך 110 מטרים. בעזרת צנרת פורקים אמוניה ישירות מספינות אל המיכלים בלחץ אטמוספרי.

אמוניה מייצור מקומי מגיעה למיכלים ברכבת במיכלי קרון של 32 טון שנפרקים למיכלי הכדור. האדים הנוצרים במילוי נצרכים בתהליך הייצור מיכלי האמוניה ממוקמים בשטח המפעל. אמוניה מיובאת דרך הים נפרקת למיכלי הלחץ האטמ'.



#	שם מיכל	מיקום	קיבולת/	דרישות	שיטת	קרבה	קרבה	שיקולי	הקשר בין
---	---------	-------	---------	--------	------	------	------	--------	----------

			סוג מיכל	מיגון	אחסון	לאוכלוסייה	לנמל פריקה /טעינה	מיקום	המיכלים למפעלים ואופן הולכה
15	KPA Kaltim (Pupuk Kalimantan Timur) בבעלות החברה Mitsui היפנית	East Kaliman tan, (Timur) Indonesia	52,000 טון	double integrity מאצרה	אחסון בקירור בלחץ אטמוספרי – 33°C	בתי המגורים הקרובים נמצאים במרחק של פחות מ-2 ק"מ	למפעל יש נמל משלו, הטענת ספינות באמוניה מתבצעת ישירות מהמיכל ע"י זרוע	קרבה לנמל. קרבה ללקוחות בשוק האסייתי קרבה לגז טבעי זמין	מיכל משולב (חוף/מפעל); המיכל בשטח המפעל יצרן אמוניה, שעוברת למיכל בצנרת לפני יצוא במיכליות ים

מיכל משולב (חוף/מפעל). המיכל ממוקם בשטח המפעל יצרן אמוניה. האמוניה עוברת למיכל בצנרת לפני יצוא במיכליות ים.

למפעל יש נמל משלו - Kaltim fertilizer port. קיימת זרוע המתחברת למיכל ומאפשרת הטענה ישירות אל מיכליות-ים. באינדונזיה קיים מאגר גדול של גז טבעי (שיקול לייצור מקומי של אמוניה). שיקול נוסף הוא העלייה בדרישה למזון עקב גידול באוכלוסייה, ולכן ליצרני דשנים יש תפקיד חשוב. הקמת מפעל האמוניה באינדונזיה פותח אפיק לייצוא לדרום אסיה (טייוואן, יפן, קוריאה, הודו, והמזרח הרחוק). ככל שיעד המשלוח קרוב יותר, כך עלות ההובלה קטנה יותר.





3.2 סקירת מיכלי אמוניה נוספים



3 - A/S Ammonia, Ventspils, Latvia



4 – Yara, Rostock, Germany



5 – Agrium, Portland, USA



6 – Agrium, Kenai, Alaska USA









14 – Terra Nitrogen, Teesside, UK



15 – Monsanto Chem, Pensacola, USA



16 – Pacific Ammonia, Kitimat, Canada



17 – Kemira, Rozenburg, Netherlands





20 – BASF, Freeport, USA



23 – BP Chemicals, Point comfort, USA

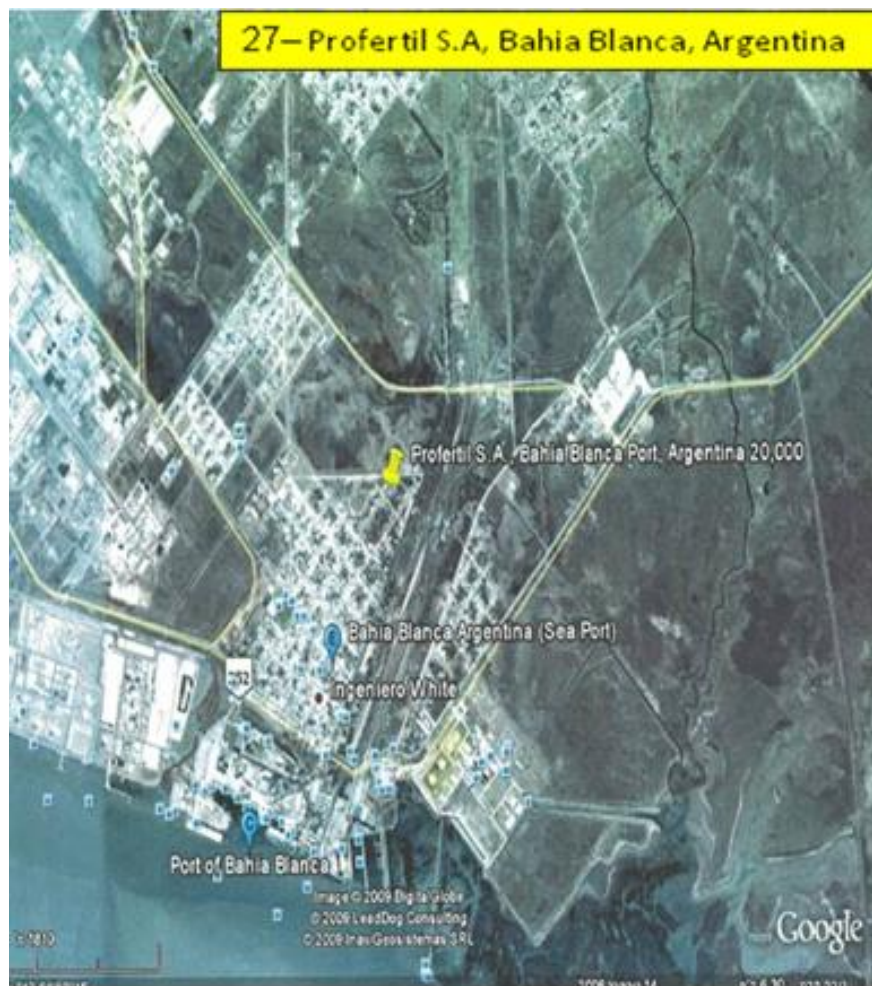


25 – Avondale Ammonia, Avondale, USA



26 – Mississippi Chem, Pascagoula, USA.



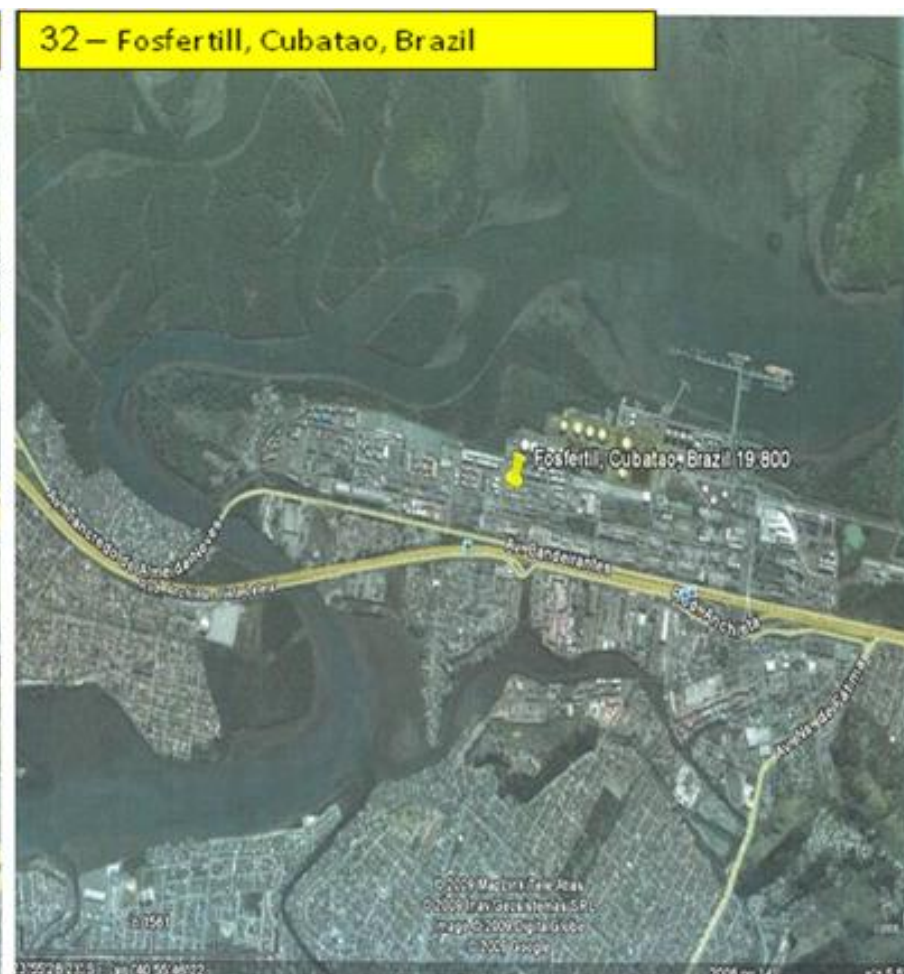
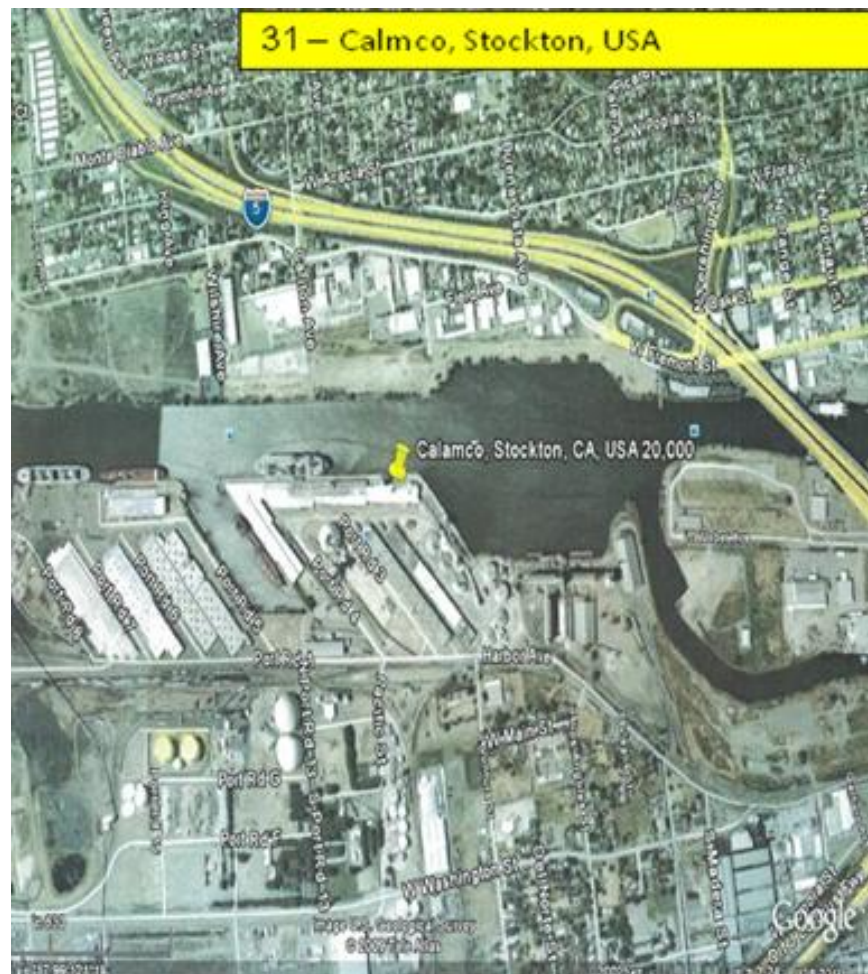


29 – Adubos, Barreiro, Portugal



30 – Fertiberia, Sagunto, Spain







37 – Borden Inc., Geismar, USA



38 – Enichem, Priolo, Italy



39 – Dupont, Gibbstown, USA



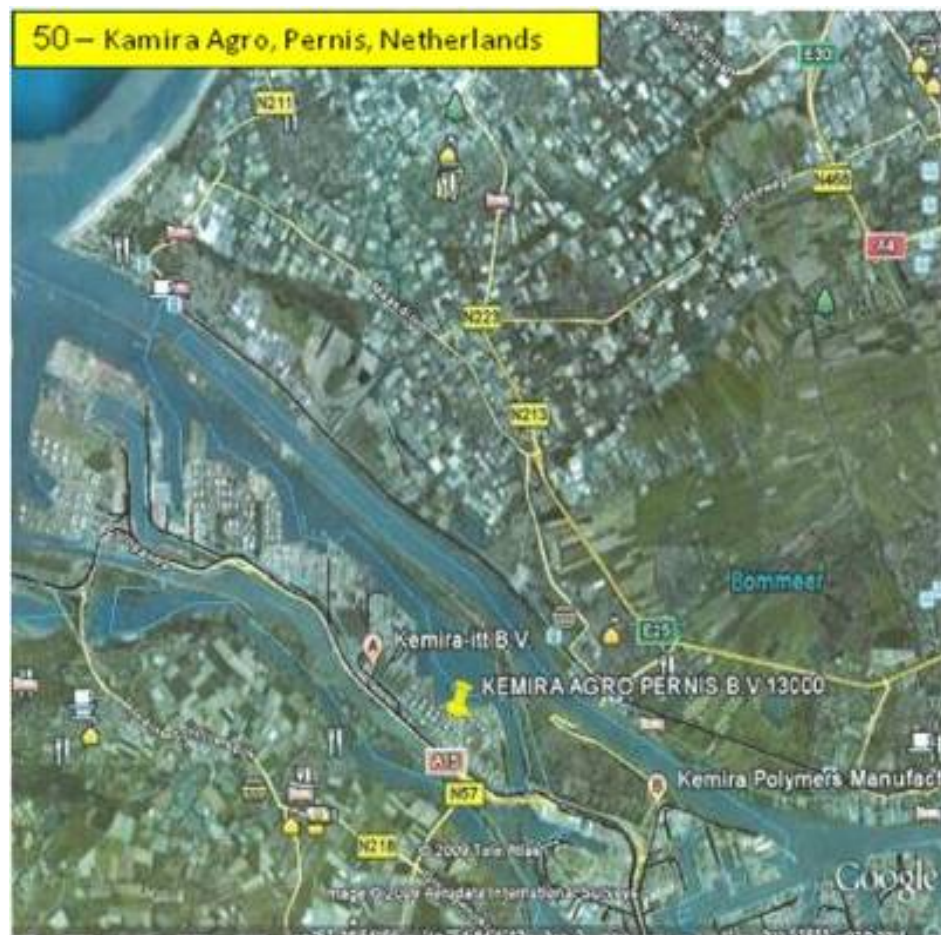
40 – Dupont, Beaumont, USA











52 – Fertiberia, Aviles, Spain



53, 54 – Enaex S.A, Mejillones, Chile





3.3 טבלת סיכום מיכלי אמוניה עיקריים בסקירה

#	שם מיכל	מיקום	קיבולת/ סוג מיכל	דרישות מיגון	שיטת אחסון	קרבה לאוכלוסייה	קרבה לנמל פריקה/טעינה	שיקולי מיקום	הקשר בין המיכלים למפעלים ואופן הולכה
1	Port of Tampa Ammonia terminal בבעלות CF Industries	Tampa, Florida, USA	38,000 טון	מאצרה	אחסון בלחץ אטמוספרי -33°C	כ-2 ק"מ מהשכונות הקרובות של העיר Tampa	המיכל נמצא בטרמינל אמוניה בנמל	קרבה לנמל	מיכל חוף; הובלה ברכבת
http://www.cfindustries.com/plants_port-of-tampa-ammonia-terminal.html									
2	Royster-Clark Nitrogen, Meredosias Dock	Meredosias, Illinois, USA	30,000 טון	מאצרה	אחסון בלחץ אטמוספרי -33°C	כ-2.5 ק"מ מהשכונות הקרובות של Meredosias	המיכל מחובר לרציף ע"י צנרת	קרבה לנמל	מיכל חוף;
http://seaport.findthebest.com/detail/7865/Royster-Clark-Nitrogen-Meredosias-Dock									
3	Burrup Fertilisers-Ammonia plant בבעלות CF	Burrup, (Western) Australia	2 מיכלים 40,000 טון כ"א	קירות כפולים, מאצרה	אחסון בלחץ אטמוספרי -33°C	ממוקם בחצי אי לא מיושב כ-25 ק"מ מהישוב הקרוב	קו צנרת באורך 5.5 ק"מ מחבר בין המיכל לרציף בנמל	קרבה לנמל, למקורות גז ודלק, קרבה למי-ים קירור וייצור אמוניה שיקולים	מיכל מפעל; המיכל ממוקם בשטח המפעל

	סביבתיים וחברתיים (תעסוקה לאבוריג'ינים)								
http://www.chemicals-technology.com/projects/burrap_fert http://www.kbr.com/Newsroom/Publications/Technical-Papers/Construction-and-Commissioning-of-BFPLs-2200-mtpd-Worlds-Largest-Purifier-Ammonia-Plant.pdf/									
4	BCT (Baltic Chemical Terminal)	Sillamae, Estonia	2 מיכלים 30,000 טון כ"א	מאצרה	אחסון בלחץ אטמוספרי – 33°C	הבתים הכי קרובים בעיירה הם Sillamae במרחק 900 מ', בטווח של 30 ק"מ אוכלוסיה של 200,000	הטרמינל ממוקם בנמל	קרבה לנמל קרבה לשוק האירופאי ולרוסיה	מיכל חוף; ספינות ורכבות
http://www.bct.ee/main/index.php?option=com_content&view=article&id=51&Itemid=62&lang=en http://www.bct.ee/docs/BCTbrochure.pdf									
5	A/S Ventamonjaks	Ventspils, Latvia	2 מיכלים 40,000 טון כ"א	מאצרה	אחסון בלחץ אטמוספרי – 33°C	1 ק"מ מהעיר Ventspils	צנרת לרוסיה (10% מיצוא הכולל של האמוניה מרוסיה יוצא מנמל זה)	ממוקם בתוך הנמל. מחובר לקוי צנרת ורכבת בינ"ל	מיכל חוף; רשת רכבות המחברת את הנמל לגרמניה ושוודיה. סמוך לשדה תעופה
http://www.ventamonjaks.lv/lv/about http://www.portofventsipils.lv/lv/									

6	Akzo Nobel	Stenungsund , Sweden	5,000 טון מיכל מבטון	מיכל בתוך מיכל, בטון, פלדה, מאצרת אבן	אחסון בלחץ אטמוספרי -33°C	1 ק"מ מהעיר Stenungsund	הטרמינל ממוקם בנמל	קרבה לים ולאזור התעשייה	מיכל חוף; הולכה למפעל ע"י צנרת
http://www.mannvit.com/Industry/AmmoniaStorage http://www.hamntjanst.se/port_pres.htm									
7	National fertilizer plant	Reykjavik, Iceland	1,000 טון מיכל מפלדה	מיכל בתוך מיכל, אלמנטי פלדה, בידוד, מאצרת אדמה, שסתומי בטחון ודיסקות פריצה לשליטה בלחץ	אחסון בלחץ אטמוספרי -33°C	ממוקם בפרבר של עיר הבירה Reykjavik 1.5 ק"מ מהבתים הקרובים	קרבה לנמל Reykjavik	קרבה לים ולאזור התעשייה	מיכל משולב (חוף/מפעל); המיכל בטרמינל ימי כשהמפעל צמוד למיכל
http://www.mannvit.com/Industry/AmmoniaStorage									
8	Ammonia Terminal at the Port of Rotterdam	Rotterdam, The Netherlands	30,000 טון	מאצרה	אחסון בלחץ אטמוספרי -33°C	הבתים הכי קרובים בעיר Rotterdam (כ-600,000 איש), במרחק של פחות מ-2 ק"מ	הטרמינל ממוקם בנמל, מהנמל יש גישה לנהר הריין – גישה	קרבה לנמל, לרשת מסילות ברזל של 160 ק"מ המקשרות בין הולנד,	מיכל חוף; המיכל בנמל. ההולכה למפעלים באמצעות מיכליות ימיות,

	המצרית ORASCOM שכרשה את העסק מ-Micro Chemie						אח"כ רכבת ומכליות כביש	גרמניה וצרפת	לגרמניה צרפת והולנד
						http://www.portofrotterdam.com/en/News/pressreleases-news/Pages/20100714_44.aspx			
9	Odessa Port Ammonia Terminal	Odessa, Ukraine	4 מיכלים 30,000 טון כ"א	מאצרה	אחסון בלחץ אטמוספרי - 33°C	הבתים הקרובים בעיר Odessa במרחק של כ-4 ק"מ	מפעל לייצור אמוניה נמצא באזור הנמל (כ-1 מיליון טון שנה), מרחקי שינוע מהמפעל אל המיכל וליצוא דרך הנמל - מינימאליים	קרבה לנמל, לרשת מסילות ברזל וצנרת אמוניה של 2400 ק"מ המקשרות בין רוסיה, אוקראינה, ונמל היצוא	מיכל משולב (חוף/מפעל); בנוסף לתוצרת המפעל אמוניה מיצרנים אחרים מתקבלת בקווי צנרת וברכבות לאחסון וייצוא. צנרת ארוכה - Togliatti – Gorlovka – Odessa
							http://www.opz.odessa.net/en/about/ http://www.opz.odessa.net/en/products/tammonia.php		

10	Zhanjiang MIC Chemical Energy בבעלות החברה החברה הרוסית Vezha Group	Zhanjiang, (Southeast) China אחד מ-10 הנמלים הגדולים בסין	2 מיכלים 30,000 טון כ"א	קירות כפולים, מאצרה	אחסון בלחץ אטמוספרי – 33°C	הבתים הקרובים בעיר Zhanjiang במרחק של פחות מ-1 ק"מ	המיכל נמצא בנמל	קרבה לנמל, שיקולים כלכליים של משקיעים רוסים-תאגיד Togliatti Azot	מיכל חוף; המסוף בבעלות תאגיד דשנים חנקניים הגדול בעולם. הובלה ימית ורכבתית
http://www.hqcec.com/hqcec/english/Business/FeaturedProjects/PetrochemicalProjects/Zhanjiang_Liquid_Ammonia_Tank_Farm_Project.htm									
11	JMPC (Jordan Phosphate Mines Company)	Aqaba, Jordan	2 מיכלים- מיכל גדול 38,000 טון, וקטן 10,000 טון	שסתומים, הגנה על צנרת שנמצאת קרוב לכבישים, מאצרה	אחסון בלחץ אטמוספרי – 33°C	בתים ראשונים במרחק כ-3 ק"מ מצפון, העיר עקבה עצמה נמצאת כ-20 ק"מ מצפון	קו צנרת באורך 1.6 ק"מ מוביל אמוניה מהמיכל לנמל	קרבה לים. קיימת מגבלה עקב קרבה לאזור תיירות ותעשייה	מיכל משולב (חוף/מפעל); אמוניה מיובאת ומוזנת בצנרת למיכל הממוקם בשטח המפעל
http://www.aidic.it/CISAP4/webpapers/72Haddad.pdf									
12	QAFCO (Qatar Fertilizer Company)	Messaieed, Qatar	45,000 טון	מיכל בתוך מיכל, קירות כפולים, מאצרה	אחסון בלחץ אטמוספרי – 33°C	בקרבת המיכל יש אוכלוסיה של 9,000 איש בעיר Messaieed (כ-40 ק"מ מעיר הבירה Doha)	מפעל לייצור אמוניה ואוריה. למפעל יש רציף אמוניה בנמל	קרבה לים. המפעל הוא בדרום-מזרח קטאר בעיר התעשייתית Messaieed	מיכל משולב (חוף/מפעל); אמוניה מיוצרת ומוזנת בצנרת למיכל הממוקם בשטח המפעל
http://www.cbi.com/markets/project-profiles/qafco-ammonia-storage-tanks									

http://www.gafco.com/shippingandjetty.html									
13	FACT (Fertilizers & Chemicals Travancore)	Cochin Port, (West) India	10,000 טון. המיכל מעוגן ליסודות בטון	מיכל בתוך מיכל, שסתומים לוויסות לחץ, עיגון ליסודות בטון, תמיכה בתקרה, בידוד מחום	אחסון בלחץ אטמוספרי $-33^{\circ}C$	אוכלוסיה קרובה (בתים בודדים) פחות מ-1 ק"מ	הטרמינל ממוקם בנמל	קרבה לנמל. לרשת רכבות. המיכל נמצא בנמל Cochin	מיכל חוף; האמוניה המיובאת מגיעה ברכבות למפעל הדשן הנמצא ב-Ambalamedu במרחק 30 ק"מ מנמל Cochin
http://fact.co.in/ http://www.cochinport.com/									
14	IFFCO (Indian Farmers Fertiliser Co-operative)	Kandla Port, (West) India	2 מיכלים כדוריים 1,500 טון כ"א בלחץ. 3 מיכלים נוספים בלחץ אטמ': 5,000 10,000	המיכלים בלחץ אטמוספרי הם מסוג double integrity, מאצרה	במיכלים הכדוריים- $0^{\circ}C$ ולחץ של 3 אטמ' במיכלים הנוספים הלחץ הוא אטמוספרי והטמפ' $-32^{\circ}C$	איזור תעשייה כבדה. אין בתי מגורים בטווח מספר ק"מ	לחברה רציף משלה בנמל Kendla האמוניה מהאוניות נפרקת ישירות אל תוך המיכלים בלחץ אטמ' בעזרת	קרבה לנמל. אפשרות להרחבה. המפעל ממוקם בצמוד ונמל ולטרמינל ימי	מיכלים משולבים (חוף/מפעל); אמוניה ממקור מקומי מגיעה למיכלים ברכבת במיכלי קרון של 32 טון שנפרקים למיכלי הכדור. האדים הנוצרים במילוי נצרכים

בתהליך הייצור.		צנרת				15,000			
אמוניה מיובאת דרך הים נפרקת למיכלי הלחץ האטמוספרי									
http://www.scribd.com/doc/37729328/Iffco-Pom-Final-1 http://www.iffco.nic.in/applications/iffcoweb5.nsf/0/8af80024c19e23dd8025647400093af4?OpenDocument									
מיכל משולב (חוף/מפעל); המיכל ממוקם בשטח המפעל יצרן אמוניה. האמוניה עוברת למיכל בצנרת לפני יצוא במיכליות	קרבה לנמל. קרבה ללקוחות בשוק האסייתי. קרבה לגז טבעי זמין	למפעל יש נמל משלו, הטענת ספינות באמוניה מתבצעת ישירות מהמיכל ע"י זרוע	בתי המגורים הקרובים נמצאים במרחק של פחות מ-2 ק"מ	אחסון בלחץ אטמוספרי – 33°C	double , integrity מאצרה	52,000 טון	East Kalimantan, (Timur) Indonesia	KPA Kaltim (Pupuk Kalimantan Timur) בבעלות החברה Mitsui היפנית	15
http://www.mitsui.co.jp/en/business/challenge/ammonia/index.html http://www.pupukkaltim.com/eng/profil/index.php?act=pelabuhan http://www.cbi.com/markets/project-profiles/north-bontang-indonesia-ammonia-export-terminal/									

3.4 טבלת סיכום מיכלי אמוניה נוספים (עפ"י קיבולת בסדר יורד)

#	שם מיכל	מיקום	קיבולת (טון)
1	A/S Ammonia	Lyngdodde, Denmark	65,000
2	Tarra	Donaldsoville, USA	63,500
3	A/S Ventamonjaks*	Ventspils, Latvia	60,000
4	Yara	Rostock, Germany	58,000
5	Agrium	Portland, USA	45,500
6	Agrium	Kenai, Alaska USA	45,400
7	PCS Nitrogen	Savannah, USA	45,000
8	Koch	Taft, USA	45,000
9	Koch	Taft, USA	45,000
10	BASF	Antwerp, Belgium	44,000
11	Norsk Hydro	Glimsfjord, Norway	40,000
12	Conti. Nitro.Res. Co	Port Naches, USA	40,000
13	Hydro Agri	Brunsbuettel, Germany	36,000
14	Terra Nitrogen UK	Teesside, United Kingdom	36,000
15	Monsanto Chem	Pensacola, USA	32,000
16	Pacific Ammonia	Kitmat, Canada	30,000
17	Kemira	Rozenburg, Netherlands	30,000
18	Hydro Agri	Sluiskil, Netherlands	30,000
19	Hydro Agri	Landskrona, Sweden	30,000
20	BASF	Freeport, USA	30,000

27,300	Kenai, Alaska USA	Agrium	21
27,200	Donaldsonville, USA	Triad	22
25,000	Point Comfort, USA	BP Chemicals	23
22,500	Donaldsonville, USA	Mosaice	24
22,500	Avondale, USA	Avondale Ammonia	25
20,400	Pascagoula, USA	Mississippi Chem.	26
20,000	Bahia Blanca, Argentina	Profertil S.A	27
20,000	Ambes, France	Yara	28
20,000	Barreiro, Portugal	Adubos	29
20,000	Sagunto, Spain	Fertiberia	30
20,000	Stockton, USA	Calmco	31
19,800	Cubatao, Brazil	Fosfertil	32
18,800	Immingham, United Kingdom	Hydro Agri	33
18,200	Geismar, USA	PCS Nitrogen	34
18,200	Hedges, USA	Agrium	35
18,200	Hedges, USA	Agrium	36
18,100	Geismar, USA	Borden Inc.	37
18,000	Priolo, Italy	Enichem	38
17,000	Gibbsontown, USA	Dupont	39
16,200	Beaumont, USA	Dupont	40
16,000	Cartagena, Spain	Quimica Del Estronico	41
15,000	Nea Karvali, Greece	Phosphoric Fert	42
15,000	Thessaloniki,	Phosphoric Fert	43

	Greece		
15,000	Szczecin, Poland	Zaklady Chemiczne	44
15,000	Hull, United Kingdom	Kemira	45
13,600	Pasadena, USA	PCS Nitrogen	46
13,600	Pasadena, USA	PCS Nitrogen	47
13,600	Geismar,, USA	Borden Inc.	48
13,500	Geismar, USA	PCS Nitrogen	49
13,000	Pernis, Netherlands	Kamira Agro	50
12,000	Haifa, Israel	Haifa Chemicals	51
10,500	Aviles, Spain	Fertiberia	52
10,000	Mejillones, Chile	Enaex S.A	53
10,000	Mejillones, Chile	Enaex S.A	54
10,000	Bilbao, Spain	Fertiberia	55
10,000	Tarragona, Spain	Repsol	56

*מופיע גם בטבלת המיכלים העיקריים בסקירה

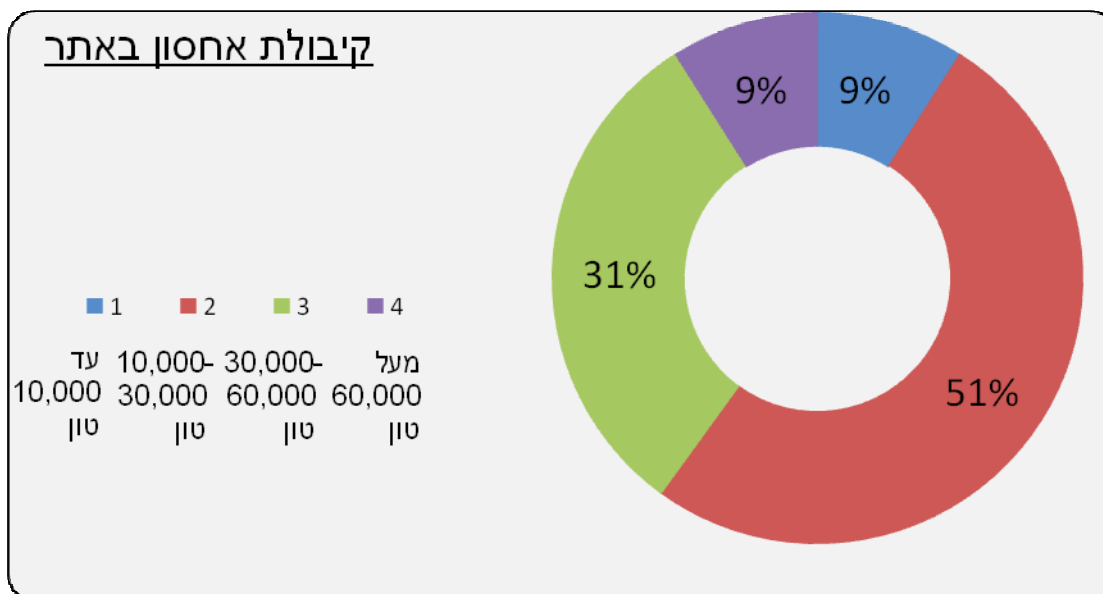
מתוך סקר מיכלים של חברת חיפה כימיקלים - הוגש למשרד להגנת הסביבה במאי 2009.

3.5 סיכום סקירת מיכלי אמוניה

1. הוצגו שלוש צורות אחסון האמוניה האל-מימית המקובלות:
אחסון בלחץ בטמפרטורת החדר – עד 100 טון (במיכלי bullets, 11-17 אטמ')
אחסון בקירור חלקי – עד 2000 טון (במיכלי כדור, טמפ' 0°C , 4-6 אטמ')
אחסון בלחץ אטמוספרי – מעל 2000 טון (קירור מלא – טמפ' -33°C)
2. נסקרו שלושת סוגי המיכלים והמאצרות באחסון בלחץ אטמוספרי:
מיכל קיר בודד (single wall tank) – 1.3.1 מיכל פנימי עם נוזל מקורר ומאצרה נמוכה.
מיכל קיר כפול (double wall tank) – 1.3.2 המיכל החיצוני הוא מאצרה גבוהה במרחק של עד 6 מ' ממכל פנימי, נועד להכיל את הנוזל המקורר בדליפה מהמיכל הפנימי, אך לא נועד להכיל אדים, מכך שבמקרה של דליפה האדים ישתחררו לאטמוספירה.
מיכל קיר כפול אצירה מלאה (double wall full containment tank) – 1.3.3 המיכל החיצוני במרחק של 1-2 מ' מהפנימי, תומך בגג המיכל ומסוגל להכיל במקרה של דליפה מהמיכל הפנימי גם נוזל וגם אדים, מספק 15-20% יותר נפח לאחסון אדים.
יובהר, כי המיכל של חברת חיפה כימיקלים במסוף הקישון אינו משתייך באופן מובהק לאחד מטיפוסי המיכלים שלעיל, ומהווה למעשה, שילוב בין שלושתם הכולל דופן פלדה וקירות בטון היקפיים.
3. עוד יובהר, כי לא אתרנו בעולם אחסון אמוניה המתבצע המיכלים תת-קרקעיים (לא הטמנה מלאה ולא הטמנה עילית). ייתכן ותיאורטית תיתכן הטמנה עילית, אם-כי ההיתכנות לאחסון במנהור ככל הנראה אינה מעשית. עוד ברמה התיאורטית ייתכן אחסון בים או על אי מלאכותי (עלות מינימלית – כמיליארד דולר). ישנן סיבות שונות להיעדר אחסון מוטמן של אמוניה, וביניהן העובדה כי רוב מיכלים בעולם ממוקמים בנמלים או בסמוך אליהם (דהיינו חוסר היתכנות להטמנה בסביבה מימית).
4. ניתנה סקירה על שיטות השינוע השונות בהן מקובל לשנע אמוניה - בים, באמצעות ספינות (מיכליות ים), וביבשה באמצעות רכבות (Rail Tank Cars-RTC), ומשאיות (מיכליות כביש). נסקרו שיטות פריקה/העמסת אמוניה מהספינה אל המיכל, והעמסה מהמיכל אל הספינה, וכן שיטות הפריקה ההעמסה והטעינה ברכבות ומיכליות כביש.
5. נערך סקר מיכלי אמוניה בעולם. אותרו 71 אתרי מיכלים ברחבי העולם, רובם במדינות מפותחות (OECD). בחלק מהאתרים מדובר במיכל אחד בגדלים משתנים, ובחלק אחר מדובר על שניים עד ארבעה מיכלי אמוניה.
6. סקירה מעמיקה נערכה עבור 15 מיכלים/אתרי אחסון עיקריים. בנוסף, נסקרו 56 מיכלים/אתרי אחסון נוספים (בהתבסס על דו"ח חיפה כימיקלים שהוגש למשרד להגנת הסביבה במאי 2009). נציין, כי עבור חלק ניכר ממכלי הכימיקלים בעולם, וביניהם מיכלי

אמוניה אל-מימית, המידע המבוקש אינו זמין וחופשי בעיקר מאחר ומיכלים אלה נתפסים כחלק ממתקני תשתית לאומית אשר קיימת לגביה רגישות מבחינת חשיפת מידע. הדבר בולט במיוחד לגבי ארה"ב (בהקשר להגבלות הנובעות מחקיקת "הגנת המולדת").

7. כמעט כל המיכלים שנסקרו (למעט אתר אחד) הם מיכלי אחסון אמוניה אל-מימית בלחץ אטמוספרי בקירור (-33°C), כמו מיכל האמוניה שבמסוף הקישון. מבחינת גודל המיכלים, המיכל במסוף הקישון נחשב לבינוני עד קטן מבין המיכלים האטמוספריים שנסקרו. התפלגות המיכלים לפי גודלם ניתן לקראות בגרף שלהלן:

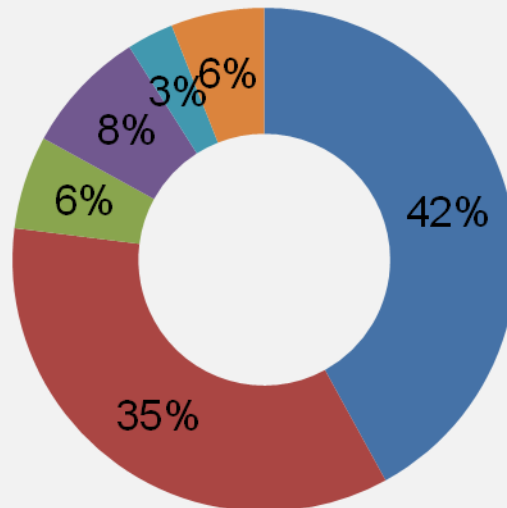


המיכלים הנפוצים ביותר מבין אלה שנסקרו היו בקיבולת שבין 10,000 ל-30,000 טון (51%), לאחר מכן בין 30,000 לבין 60,000 טון (31%), כאשר המיכלים הקטנים יותר עד 10,000 טון והגדולים במיוחד מעל 60,000 טון הם 9% כ"א.

8. מבחינת הפרישה הגיאוגרפית בעולם, רוב המיכלים שנסקרו היו מארה"ב (51%), מערב אירופה (35%), מזרח אירופה (הארצות הבלטיות, פולין, אוקראינה) (6%), אסיה (לרבות הודו וסין) (8%), מדינות מפותחו נוספות (כגון קנדה ואוסטרליה) (3%), ומדינות דרום אמריקה (ארגנטינה, צ'ילה וברזיל) (6%).

איזור גיאוגרפי של האתר

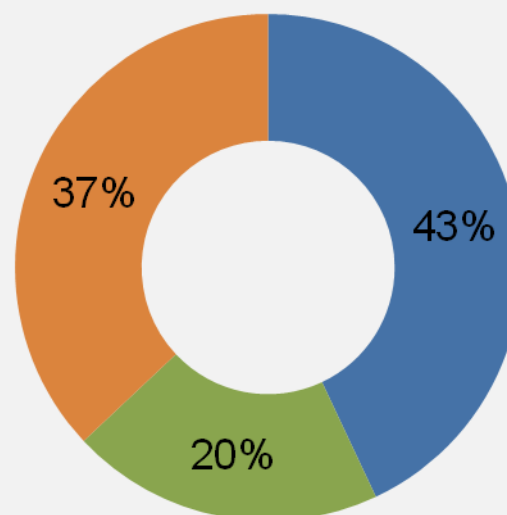
- 1 ארה"ב
- 2 מערב אירופה
- 3 מזרח אירופה
- 4 אסיה
- 5 קנדה, אוסטרליה
- 6 דרום אמריקה



9. רובם המכריע של המיכלים (43%) היו מיכלי חוף, דהיינו מיכלים הממוקמים על חופי ים או נהר, לרוב בטרמינלים לכימיקלים בתוך נמלים גדולים, דוגמת נמל טמפה, נמל רוטרדם, נמל קוצ'ין, נמל אודסה בים השחור או נמל ונטספילס בים הבלטי. מיעוט המיכלים (כ-20%) הם מיכלים הממוקמים בתוך מפעלים או בסמוך אליהם שאינם בקרבת חוף או נמל. ישנם מיכלים רבים (37%) שהם מיכלים משולבים, דהיינו מיכלים בתוך מפעלים, כאשר המפעל עצמו ממוקם על החוף או בצמוד לטרמינל ימי.

מיקום המיכלים באתר

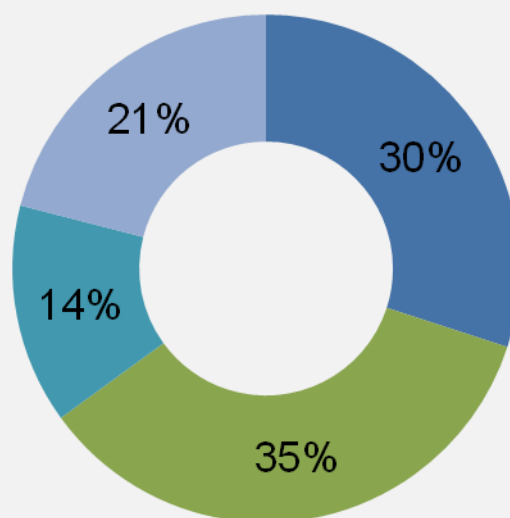
- 1 מיכל חוף
- 3 מיכל מפעל
- 6 מיכל משולב



10. מבחינת קרבה לאוכלוסיה, רוב המיכלים שנסקרו היו קרובים לאוכלוסיה, גם כאשר האוכלוסייה הייתה מעטה (שכונה בודדת, או עיירה קטנה). במקרים רבים (30%) היו שכונות מגורים קרובות מאוד למיכלים/לנמל (עד 1 ק"מ), כאשר במרחק של עד 2 ק"מ היו 35% מהמיכלים, במרחק של עד 3 ק"מ היו 14% מהמיכלים, ואילו במרחקים המשמעותיים יותר, מעל 5 ק"מ ויותר, היו כ-21% מהמיכלים.

קרבת האתר לאוכלוסיה

- 1 עד 1 ק"מ
- 3 עד 2 ק"מ
- 5 עד 3 ק"מ
- 7 מעל 3 ק"מ



11. אחת התובנות מסקר המיכלים בעולם היא, כי המיכל במסוף הקישון אינו יוצא דופן באף אחד מהפרמטרים שנבחנו, וכי מיכלים דומים קיימים בעולם, לרבות במדינות המפותחות. אם נתייחס לפרמטרים כגון גודל המיכל, קרבה לאוכלוסיה, הימצאות המיכל במסוף ימי, הזרמת אמוניה מהמיכל אל המשתמש בצנרת וכיו"ב, אותרו עשרות מיכלים דומים בעולם.

4. ניתוח כלכלי ותחזית למשק האמוניה בישראל

4.1 תיאור מבנה של השוק המקומי

- צריכת שוק הישראלי הינה כ- 120 אלף טון לשנה.
- אמוניה מסופקת מיבוא דרך הים.
- אחסון אמוניה נעשה במיכל של 12 אלף טון במסוף הקישון, וכן אחסון בתהליך במפעלים.
- צריכת האמוניה מתחלקת לשני צרכנים עיקריים:

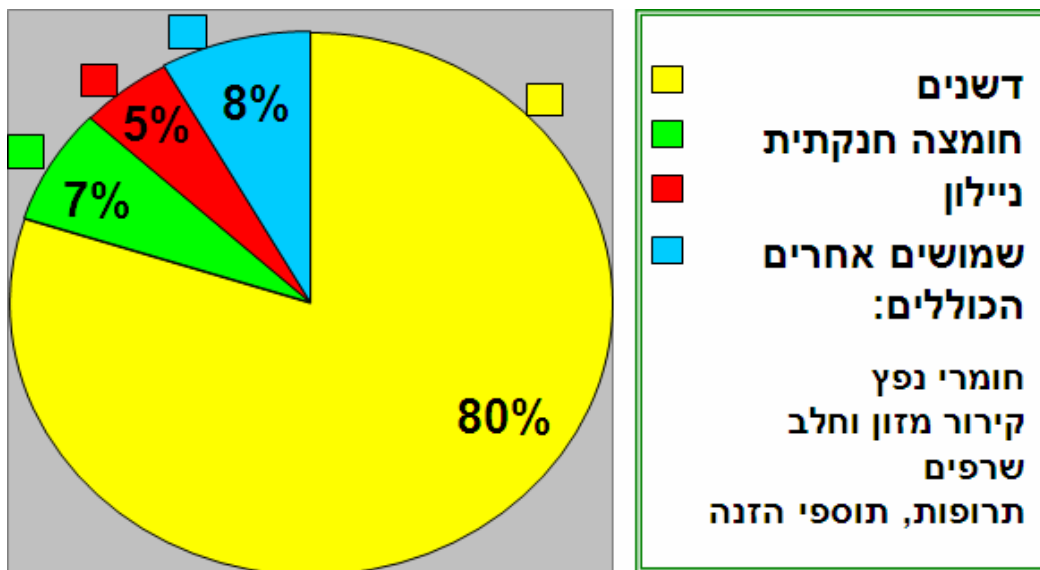
0 "חיפה כימיקלים" (צפון + דרום) 70%

85,000 טון

30%
טון 35,000

0 "דשנים"

שימושי האמוניה:



השימוש העיקרי באמוניה נזלית בתעשייה הוא לייצור דשנים (כ-80%).
כל שאר השימושים מהווים כ-20%. שימושים חשובים נוספים הם:

- ייצור חומצה חנקתית
- ייצור בתעשיית הנשק
- ייצור ניילון
- מערכות קירור (בעיקר בתעשיית המזון והחלב)
- תעשיית הנייר
- תעשיית תרופות
- תהליכים פטרוכימיים
- חיטוי מים ועוד.

הפצת האמוניה בידי דשנים

מתוך סה"כ 35,000 טון לשנה המתקבלים מחיפה כימיקלים, כ-30,000 טון משמשים לצריכה עצמית של חברת דשנים. שאר 5,000 טון מחולקים לצרכנים נוספים, כדלהלן:
-רותם אמפרט (מישור רותם) ~ 1,300 טון
-תרכובות ברום (רמת חובב) ~ 700 טון

סה"כ ביניים - כ-2,000 טון

-מכתשים (רמת חובב) ~ מאות טון
-קופולק (רמת חובב) ~ עשרות טון
-גדות ביוכימיה (חיפה) ~ מאות טון
-פרסונה (נצרת) ~ עשרות טון

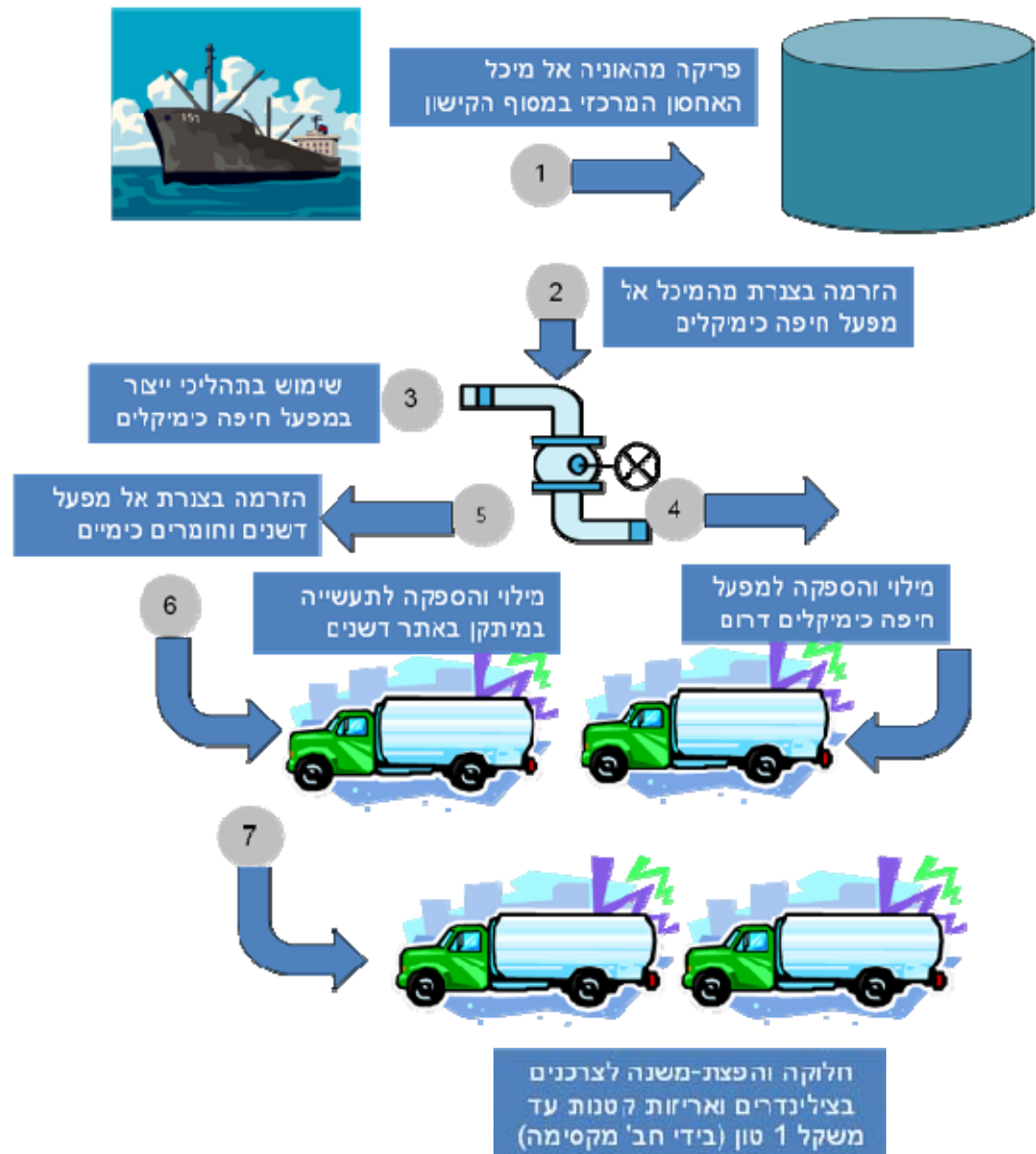
-עשות (אשקלון) ~ עשרות טון
-מקסימה (כל הארץ) ~ מאות טון - משמש כמפיץ-משנה לרוב הלקוחות "הקטנים"
בצילינדרים ובמיכלים עד 1 טון, לרבות בתי-קירור באמוניה וכו'
סה"כ ביניים - כ-3,000 טון

שרשרת אספקת האמוניה בארץ

האמוניה מיובאת באמצעות אוניות ע"י חברת חיפה כימיקלים, ומאוחסנת במיכל במפרץ חיפה. מהמיכל האמוניה מוזרמת באמצעות צנרת למפעל חיפה כימיקלים בחיפה. בחלק מהחומר נעשה שימוש במפעל, ואילו חלק אחר משונע באמצעות מיכליות כביש למפעל חיפה כימיקלים דרום (מישור רותם). חלק נוסף, מוזרם באמצעות צנרת אל מפעל דשנים בקרית-אתא. בחלק מהחומר משתמשת חברת דשנים לשימושה העצמי, ואילו חלק אחר מסופק באמצעות מסוף ניפוק לכלל השימושים האחרים (בתי קירור, חומרי נפץ, תרופות, חיטוי וכו').

החלוקה הגיאוגרפית מבחינת צריכת אמוניה כללית בתוך שימוש חברת חיפה כימיקלים נכון להיום היא כ-60% בצפון (51,00 טון) וכ-40% בדרום (34,000 טון). חיפה כימיקלים עומדים בפני פרויקט הקמת מיתקן ייצור MAP (Mono-ammonium Phosphate) במפעל במישור רותם, מה שיאזן את התפלגות חלוקת האמוניה בין האתרים. על-כן ניתן לסכם ולומר, כי חלוקת האמוניה של חיפה כימיקלים בין צפון לדרום צפויה להיות פחות או יותר שווה, דהיינו **50% לצפון ו-50% לדרום**.

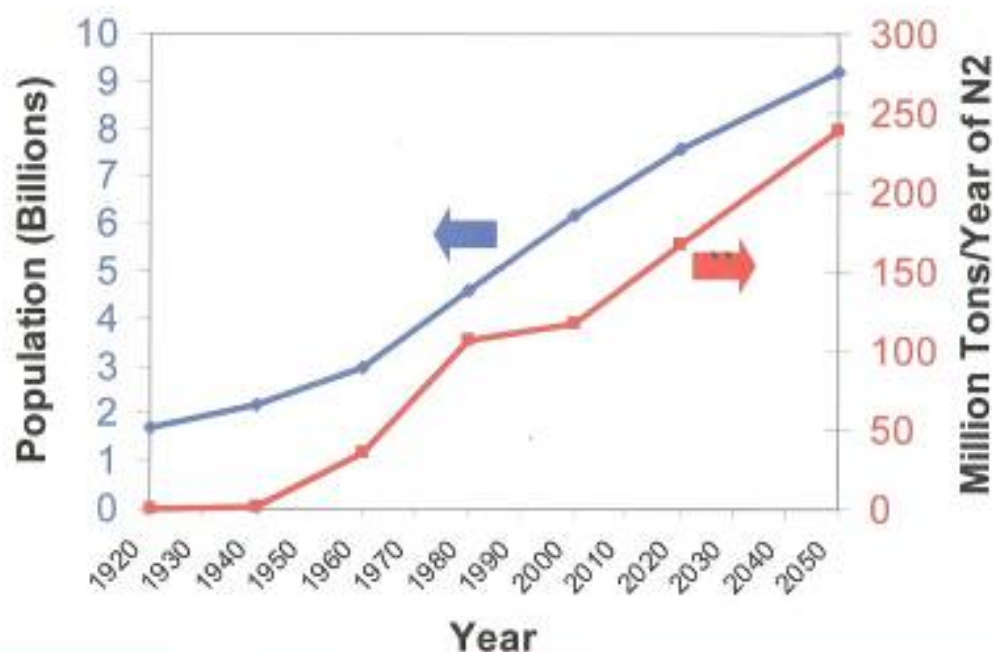
להלן תרשים סכמטי המתאר את משק האמוניה בישראל:



4.2 תחזית צריכת אמוניה

תחזית צריכת אמוניה מתבססת על מגמות בגידול אוכלוסיה ומגמות בייצור אמוניה בזירה העולמית, כפי שמובא בגרף הבא (מקור KBR):

World Population & NH₃ Production Trends



KBR
Energy and Chemicals

ניתן לראות, כי אם כיום (2010) היקף הייצור העולמי של אמוניה עומד על כ-110 מיליון טון לשנה, התחזית ל-20 שנה (2030) מדברת על ייצור צפוי בהיקף של כ-190 מיליון טון (גידול צפוי של 3-4% לשנה). מבחינת גידול האוכלוסיה, לעומת זאת, ניתן לראות כי אם כיום האוכלוסייה מונה בסה"כ כ-7 מיליארד איש, הרי שבשנת 2030 היא תמנה כ-8 מיליארד איש (גידול מתון יותר מזה של האמוניה, בשיעור של כ-14%, דהיינו קצב גידול של כ-0.7% לשנה – רוב התחזיות מדברות על גידול אוכלוסיה גלובלי שנתי בשיעור של כ-1% בממוצע).

ניתוח מגמות צריכת אמוניה

צריכת האמוניה מושפעת ממספר גורמים:

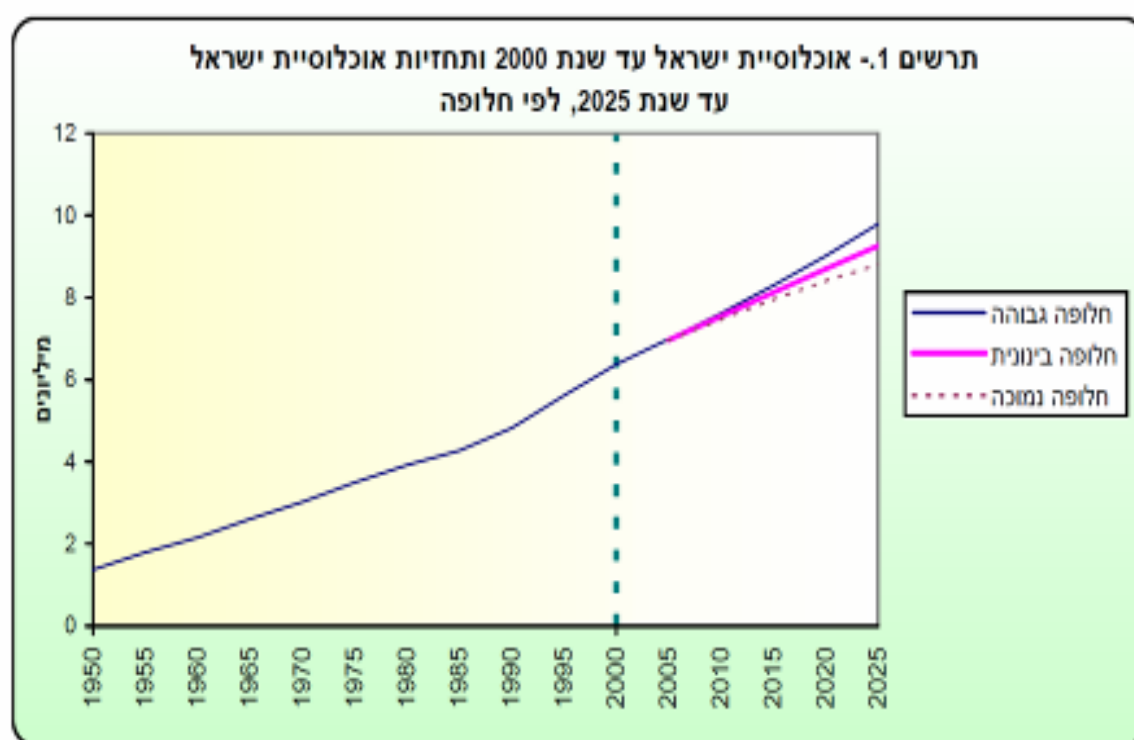
-מצד הביקושים:

- אוכלוסיית העולם גדלה ומעלה את הביקוש.
- רמת החיים עולה מעלה את ביקוש.

- מגמות "ירוקות" מורידות את הביקוש.
- מצד ההיצע:
- כיום יש עודף פוטנציאל ייצור, ולכן השוק הוא של ביקושים ללא מגבלות אפקטיביות.
- תלות במחירי הגז הטבעי עלולה להשפיע לרעה על מחיר האמוניה.

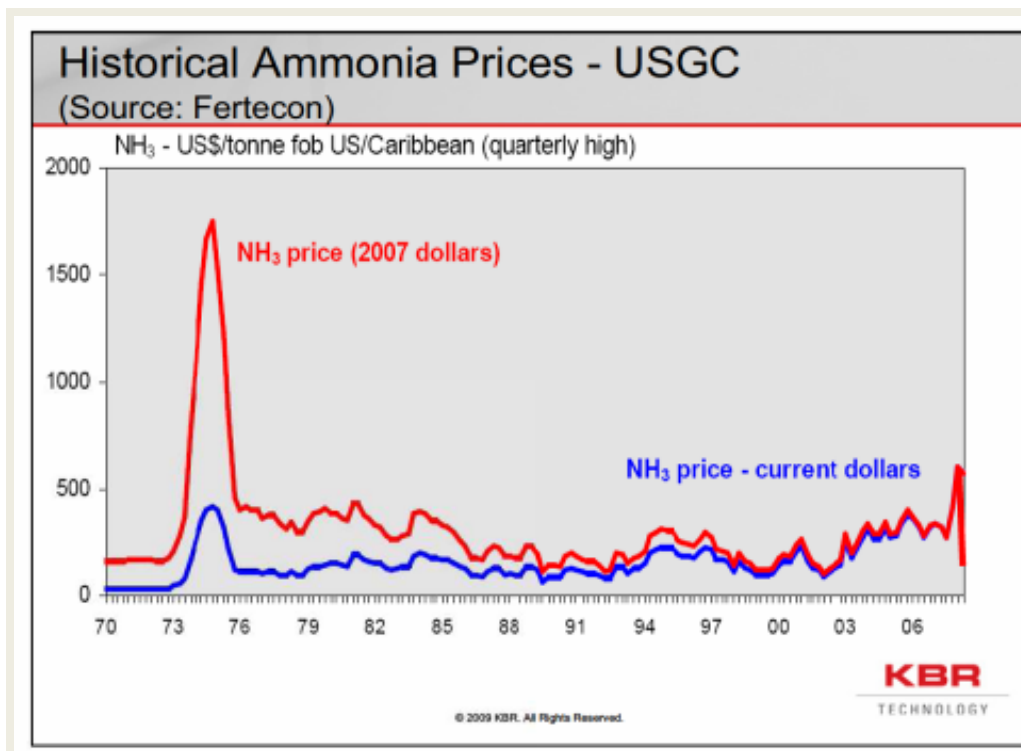
הערכה היא, כי צריכת האמוניה תגדל בקצב של 3-5% לשנה.

בגרף שלהלן ניתן לראות את תחזית גידול האוכלוסייה במדינת ישראל:



ניתן להתרשם מהגרף הנ"ל, כי בתרחיש הנמוך, אוכלוסיית ישראל בשנת 2025 תהיה כ- 8.5 מיליון, בתרחיש הבינוני כ- 9 מיליון, ואילו בתרחיש הגבוה כ- 9.5 מיליון תושבים (מקור – למ"ס).

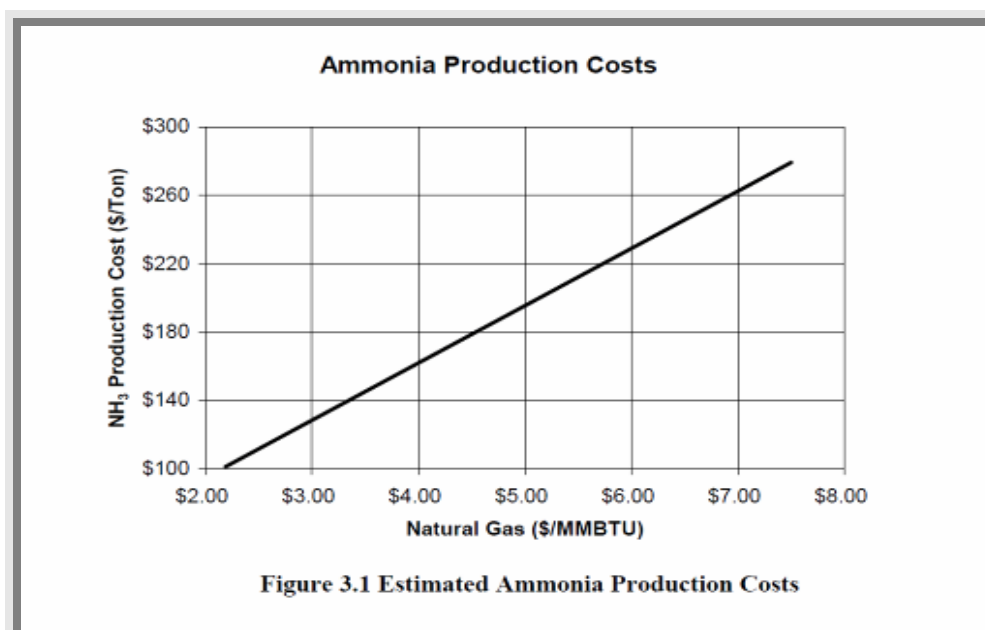
בגרף שלהלן מובאים מחירי האמוניה לאורך ההיסטוריה (משנת 1970 ועד שנת 2007)-



ניתוח רגישות

- מחיר האמוניה רגיש למחיר הגז הטבעי. לדוגמה, עליית מחיר הגז הטבעי ב-33% יגרום לעלייה במחיר האמוניה ב-27%.
- מחיר האמוניה רגיש גם למחיר האנרגיה, שאף הוא תלוי במחיר הגז הטבעי המשמש דלק לתחנת הכוח.
- רגישות מחיר האמוניה לעלות ההשקעה, ומכאן לגודל המפעל, היא נמוכה יחסית.

בגרף שלהלן ניתן לראות את השתנות עלות ייצור האמוניה כתלות בעלות גז טבעי.

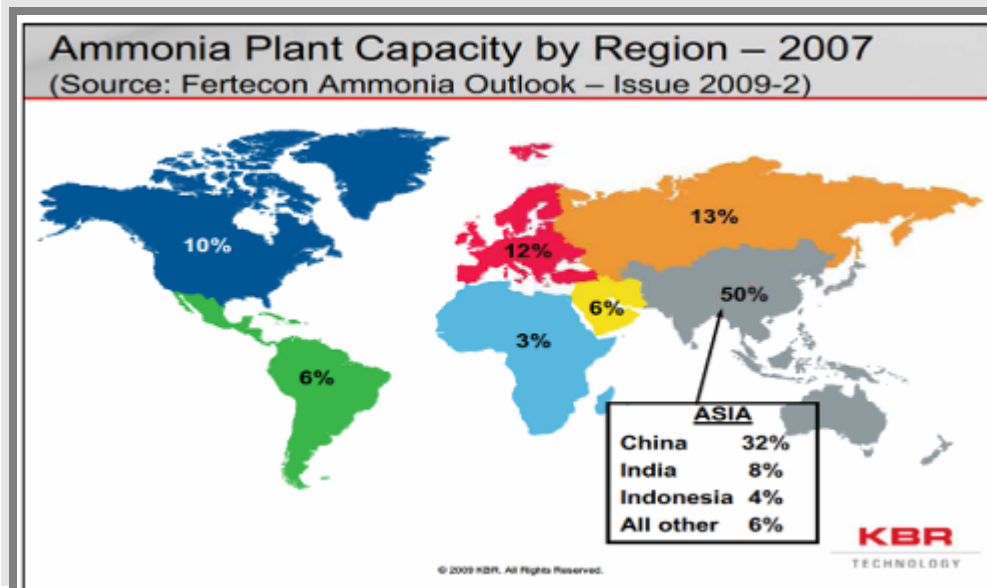


מחירי אמוניה לפי (ICIS pricing)

International Conference on Information Systems

- o **אסיה** - המחירים עלו מ-\$445-475 לטון CFR (cost & freight) בסוף 2010 עד למחיר של \$465-500 בפברואר 2011.
- o **אירופה** - המחירים יציבים נעים מ-\$390-400 לטון FOB בסוף 2010 ועד כ-\$470 לטון בסוף אפריל 2011.
- o **ארה"ב** - בחודש פברואר 2011 המחירים נעו סביב \$515 לטון.

הגרף שלהלן מציג את ההתפלגות הגיאוגרפית בכושר ייצור העולמי של אמוניה:



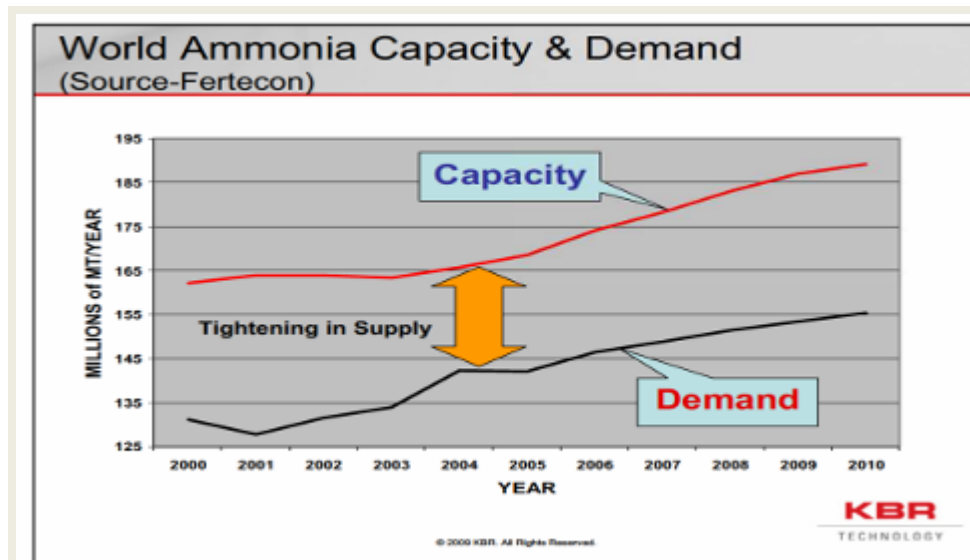
הגרף הבא מציג את התפלגות ייצור האמוניה לשנת 2009 לפי מדינה (יחידות - אלפי טון לשנה).

Ammonia Production by Country (Thousand metric tons of contained nitrogen) מקור: Index Mundi נתוני 2009

Rank	Country	World Production, By Country (Thousand metric tons of contained nitrogen)
1	China	42,290
2	India	11,200
3	Russian Federation	10,441
4	United States	7,704
5	Trinidad and Tobago	5,100
6	Indonesia	4,600
7	Ukraine	4,200
8	Canada	4,000
9	Saudi Arabia	2,600
10	Germany	2,362.55
11	Pakistan	2,300
12	Egypt	2,000
13	Iran Islamic Republic Of	2,000
14	Poland	1,990
15	Qatar	1,800
16	Netherlands	1,800
17	Bangladesh	1,300
18	Romania	1,300
19	Australia	1,200
20	Venezuela	1,160
21	Japan	1,120
22	United Kingdom	1,100
23	Oman	1,000
24	Uzbekistan	1,000
25	Malaysia	950
26	Brazil	950
27	Lithuania	950
28	Belgium	850
29	France	800

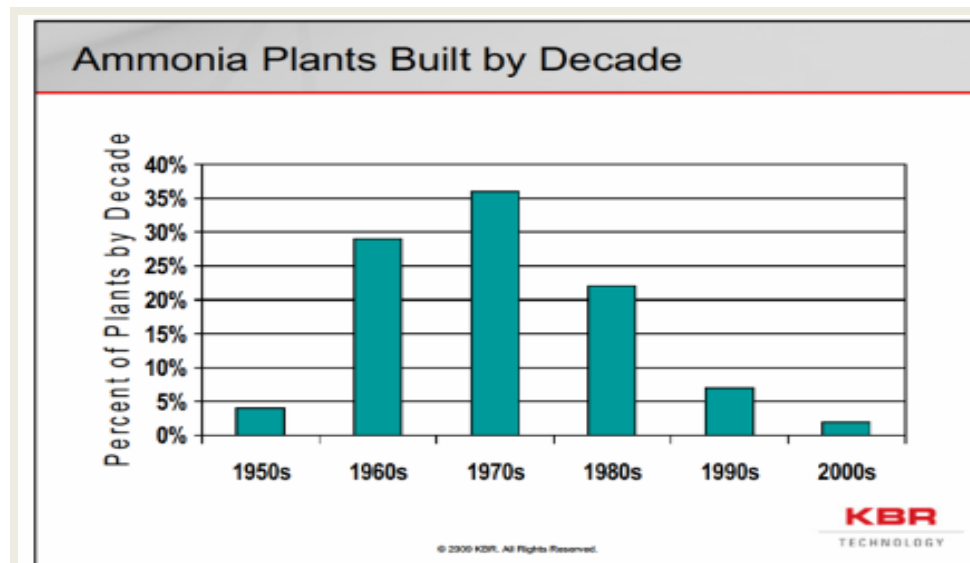
ניתן לראות, כי סין מובילה בהפרש ניכר על-פני כל שאר היצרניות עם מעל 42 מיליון טון לשנה. אחרי הצועדות הודו ורוסיה עם תפוקות ייצור דומות סביב ה-11 מיליון טון, כאשר ארה"ב (המובילה העולמית במשך עשורים רבים) מדורגת במקום הרביעי בלבד עם כ-7.7 מיליון טון לשנה. בסה"כ, 24 מדינות מייצרות מעל מיליון טון אמוניה לשנה.

הגרף הבא מציג את הפערים בין כושר הייצור העולמי לבין הביקושים:



כפי שניתן לראות מהגרף, בשווקים העולמיים זוהה פער ברור בין כושר הייצור לביקושי שוק. קיים עודף ייצור, העומד כיום על כ-16 מיליון טון לשנה. פער זה זוהה עקב פעילותם 43 מפעלים ספציפיים בעולם (נכון לשנת 2009, מקור KBR) – 20 בארה"ב, 14 במזרח אירופה ו-9 במערב אירופה.

בתרשים הבא ניתן לראות את התפלגות מפעלי ייצור אמוניה שקמו על-פי העשורים ואחוזי קיבולת הייצור:



באופן מובהק ניתן להתרשם, כי המפעלים העיקריים האחראים מעל 35% מקיבולת הייצור העולמית קמו בשנות השבעים.

בגרף שלהלן ניתן להתרשם מהביקושים לאוריה (דשן המופק בהמשך לאמוניה).

World Urea Supply/Demand Balance (million metric tonnes urea)

	2010	2011	2012	2013	2014
Supply					
Capacity	179.1	188.3	198.5	206.9	222.1
Total Supply*	155.6	162.9	169.9	179.1	193.4
Demand					
Fertilizer Demand	133.7	139.5	143.6	148.8	152.6
Non-fertilizer Use	17.5	18.9	19.9	20.9	21.9
Total Demand	151.2	158.3	163.5	169.7	174.5
Balance	4.4	4.5	6.4	9.4	18.9
% of Supply	3%	3%	4%	5%	10%

Source: M. Prud'homme, IFA, June 2010

מבחינת הביקושים הכלליים לחומרי דשן, ניתן לראות נתוני צריכה בפועל לעומת תחזית לשנת 2014: בדשן החנקני הביקושים הנם קשיחים מאוד, כאשר הצריכה השנתית לא צפויה לגדול מעבר לשיעור גידול של כ-2%.

World Fertilizer Consumption Calendar Year Basis

<i>Mt nutrients</i>	2009	2010	2014	2009/14 variation
Nitrogen N	101.8	103.9	111.7	2.0%
Phosphorus P_2O_5	36.0	38.6	43.7	4.5%
Potassium K_2O	22.1	26.6	31.9	8.2%
Total	159.8	169.1	187.3	3.5%

P. Heffer, IFA, June 2010

לסיכום:

- קיים עודף כושר ייצור של אמוניה בעולם בהיקף של כ-16 מיליון טון לשנה.
- צריכת אמוניה מושפעת בעיקר ממספר תהליכים:
- גידול אוכלוסיה, מצוקת מזון ומחירי המזון המאמירים.
- מחיר האמוניה לדשן.
- תובנות סביב היבטים אקולוגיים של שימוש בדשנים אלה: זיהום מי תהום, חינוקן-יתר.
- מגמת גידול אוכלוסיה בישראל הינה כ-1.5% בממוצע לשנה (כ-1% עולמי בממוצע).
- הגידול הנ"ל ישתקף גם בגידול צריכה יחסי לאמוניה.
- שוק אמוניה עולמי יגיע ע"פ התחזיות לכ-140-130 מיליון טון בשנת 2015.

מיצוב תעשיית אמוניה קיימת:

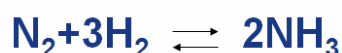
- בחלקה הגדול מיושנת ועתירת אנרגיה. מתמקדת בחיפוש מקורות אנרגיה זולים.
- מגמה מסתמנת - הגדלת קווי ייצור קיימים לצרכי שיפור כושר תחרות והוזלת מחיר לטון.
- העדפה לאתרים הסמוכים לאתרי גז טבעי - אתרים גדולים בקרבת נמלים או עם נגישות גבוהה אליהם.

5. אפשרות הקמת מפעל לייצור אמוניה בארץ

5.1 עקרונות ייצור אמוניה

- o האמוניה מיוצרת מחנקן + מימן
- o החנקן מיוצר מן האוויר
- o המימן מיוצר (בד"כ) מגז טבעי
- o ישנן שיטות נוספות להפקת מימן, אך עלותן גבוהה, כגון:
 - אלקטרוליזה של מים
 - אלקטרוליזה של HI
 - אנרגיה גרעינית
 - אנרגיה סולרית
 - אנרגיית רוח
 - אנרגיית OTEC (Ocean Thermal Energy Conversion)
 - ביומאסה

- o תהליך הייצור הקלאסי נעשה לפי השיטה הקלאסית של Haber-Bosch ע"ג קטליסט מתכתי, כדלהלן:



החנקן והמימן נדחסים ל- 120-220 BAR (תלוי בסוג המתקן) לפני שהם נכנסים לסינתזה. רק חלק מהגז הסינטי הופך לאמוניה במעבר הראשון. גזים שלא הגיבו יחד עם אדי האמוניה נכנסים לקטע ההשבה.

מקררים את הגז לטמפרטורה של 10°C עד -25°C . האמוניה מתעבה והגז הסינטי נשאר. הגז מכיל שאריות של ארגון ומתאן, נפלט מהתהליך וחוזר להזנה. התהליך מתבצע ע"י הזרמת הגזים על פני קטליסטים ממתכות שונות לשיפור ההשבה והחיסכון באנרגיה.

5.2 שלבי ייצור אמוניה בשיטה "הקלאסית"

תהליך ייצור אמוניה בשיטה המקובלת מזה עשרות שנים, בתהליך "הקלאסי" של Haber-Bosch, מתואר להלן:

Desulfurization - 1 שלב

הגז הטבעי (בעיקר, גז מתאן) מוזן דרך מתקן לסילוק שאריות גפרית שיזיקו לקטליסט (ע"י הזרקת כמויות קטנות של מימן לגז הטבעי וחימום ל- 400°C על גבי מצע של קובלט אוקסיד או ניקל אוקסיד). נוצר H_2S שמסולק על ידי מצע של אבץ אוקסיד (נוצר אבץ גופרתי ומים).

Primary Reforming - 2 שלב

בשלב זה מתבצע פירום (תהליך פירוק הנפטא) ובו מגיבים את הגז ללא הגפרית עם קיטור בכניסה לתוך פורמר (ריאקטור) בלחץ של כ-20 אטמ' ובטמפ' של כ-700°C על גבי קטליסט מתכתי כגון ניקל אוקסיד. הלחץ הגבוה גורם להזרמה מואצת של הגז ולהגברת התפוקה.

שלב 3 - Secondary Reforming

כעת מעבירים את תערובת הגזים של H_2 , CO , CO_2 ו- CH_4 לתוך רפורמר נוסף כאשר גז המתאן (CH_4) מגיב בתוספת חמצן מהאוויר להעלאת הטמפ' לכ-1,000°C, על-גבי מצע של קטליסט ניקל, לקבלת מימן ופחמן חד חמצני כמוצרים עיקריים ומספר גזי לוואי אחרים.

שלב 4 - High Temperature Shift

הגזים בהמשך מקוררים לייצור קיטור ואז נכנסים לשלב המרה (High Temperature Shift) להקטנת כמות ה- CO בתערובת.

שלב 5 - Low Temperature Shift

בהמשך מתבצע קירור נוסף בעזרת מים (Low Temperature Shift) לקבלת CO_2 ומימן

$$CO + H_2O \rightleftharpoons CO_2 + H_2$$

שלב 6 - CO_2 Removal

גז ה- CO_2 מופחת לרמה של פחות מ-0.1% ע"י גז MDEA (Methyl Di-EthanolAmine) המשמש להרחקת ה- CO_2 .

שלב 7 - Methanation

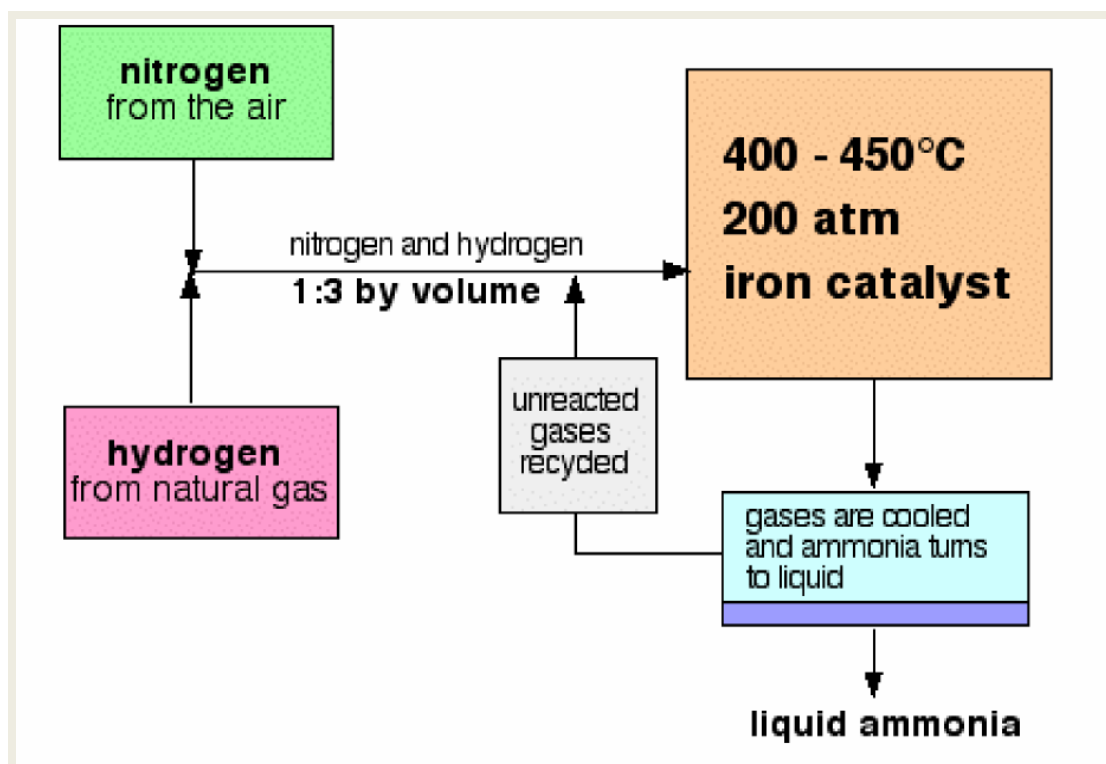
הפחתה נוספת של שרידי הגזים הלא רצויים, CO ו- CO_2 , מתבצעת בתהליך Methanation על גבי קטליסט NiO בטמפרטורה של 250°C-350°C בו ה- CO_2 בעזרת מימן מומר ל- CH_4 .

שלב 8 - Ammonia Synthesis

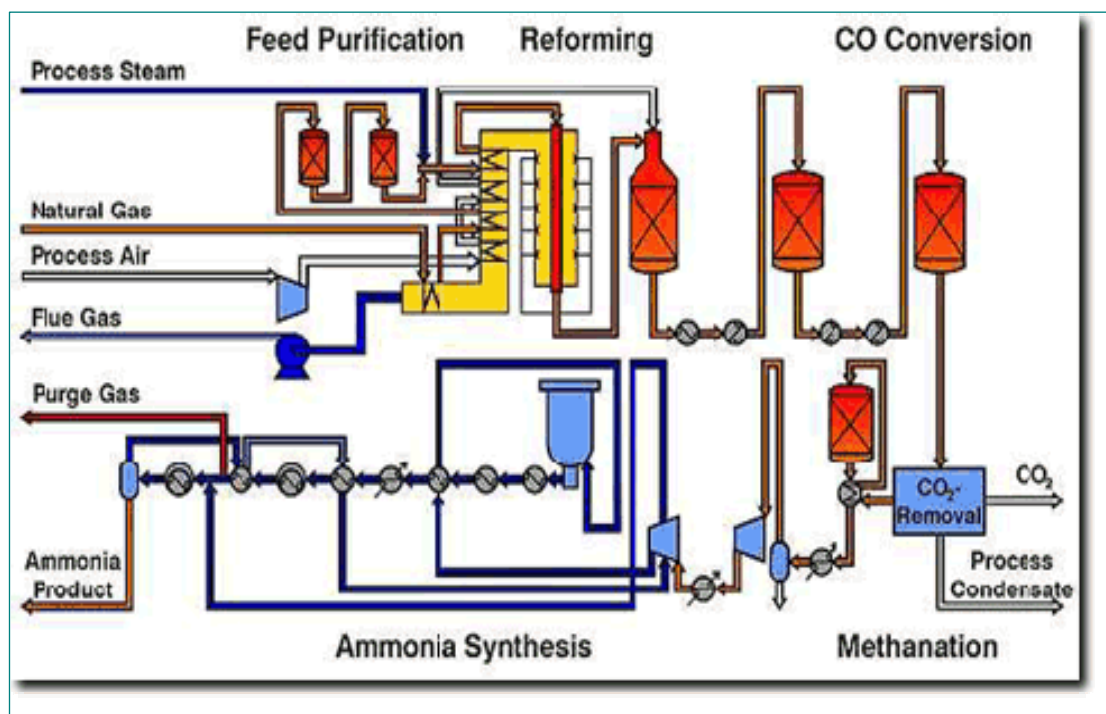
התערובת מקוררת לעיבוי המים ולכידת החום.

שלב 9 - Purge Gas Separation

התערובת הכמעט טהורה של מימן וחנקן נדחסת על גבי קטליסט Fe_3O_4 ב-380 אטמ' ובטמפרטורה של 500°C והגז הופך לאמוניה. להלן תרשים תהליך ייצור אמוניה בקנה-מידה תעשייתי:



להלן תרשים המציג מערך ייצור אמוניה טיפוסי בתעשייה:



5.3 שלבי ייצור אמוניה מגז טבעי בשיטת LAC (Linde Ammonia Concept)

התהליך פותח ע"י חברת LINDE, והוא מפשט את התהליך הקלאסי לייצור אמוניה. התהליך מוריד את עלויות ההשקעה והתפעול, ומקטין את משך זמן ההקמה וההפעלה.

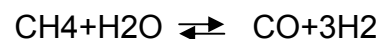
שלב 1 - Desulfurization

זהה לתהליך הקלאסי המופיע לעיל.

שלב 2 - Primary Reforming

בשלב הבא מתבצע פירום (תהליך פירוק הנפטא) ובו מגיבים את הגז ללא הגפרית עם קיטור הנוצר בשלב ה- Isothermal shift, בכניסה לתוך רפורמר (ריאקטור) המחומם מלמעלה בלחץ של כ-20 אטמ' ובטמפ' של כ-700°C על גבי צינורות קטליסט מתכתי כגון ניקל. הלחץ הגבוה גורם להזרמה מואצת של

הגז ולהגברת התפוקה. הריאקציה הנוצרת מייצרת גז המכיל ברובו מימן ופחמן חד חמצני:



הגז היוצא מהרפורמר בכ-850°C מקורר לפני הכניסה לשלב הבא. כמו כן, הגז הנפלט מהרפורמר בדרך לארובה משמש לחימום הגז בכניסה לתוך הרפורמר, לייצור קיטור שחון ולחימום אוויר.

שלב 3 - Primary Reforming

גז הפחמן החד חמצני CO ביחד עם מים הופך לפחמן דו חמצני ומימן לפי הנוסחה הבאה:



ריאקטור זה הינו פיתוח של חברת Linde בו מצע הקטליסט נשמר בטמפרטורה קבועה של כ-250°C בעזרת צנרת קירור מלופפת. בתוך הצנרת מי עיבוי התהליך משמשים ליצירת קיטור לתהליך הרפורמר עצמו.

גז התהליך עובר קירור בין היתר ע"י עיבוי והחום המועבר משמש לייצור קיטור תהליך ואין צורך ביחידה נפרדת לעיבוי גז התהליך.

שלב 4 - (PSA) Pressure Swing Adsorption

בתהליך ה- PSA מזינים גזים לתא לחץ המכיל חומר סופח (כגון Zeolite, הסופח חנקן מן האוויר, ומפרידו מן החמצן). כאשר מורידים את הלחץ, החומר שנספח משתחרר (Desorption) מן החומר הסופח.

בתהליך ייצור האמוניה, כל המרכיבים לבד מהמימן בגז הגלמי כגון CO, CO₂ ו-CH₄, מופרדים החוצה בצעד אחד ביחידת ה- PSA. גזי התהליך עוברים דרך יחידת סיפוח בלחץ,

והמימן המתקבל מגיע לדרגת טיהור של 99.999%. הגזים שנספחו משתחררים עם הפחתת הלחץ ביחידה ומאפשרים סיפוח נוסף והפרדת מימן נוספת.

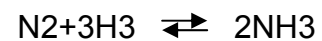
הגז המשני הנוצר ביחידת ה-PSA משמש כחומר דלק ב-Reformer ומהווה כ-75% מצריכת ה-Reformer. מספר היחידות הסופחות ביחידת ה-PSA נע בין 4-12, תלוי בתפוקת המפעל.

שלב 5 – ייצור חנקן

חנקן נקי (בדרגת טוהר של 1 ppm של O_2) מופק ע"י יחידה להפרדת אוויר (Air Separation Unit) בלחץ נמוך. אוויר מסונן נדחס ומטוהר מוזן ליחידת ה-ASU.

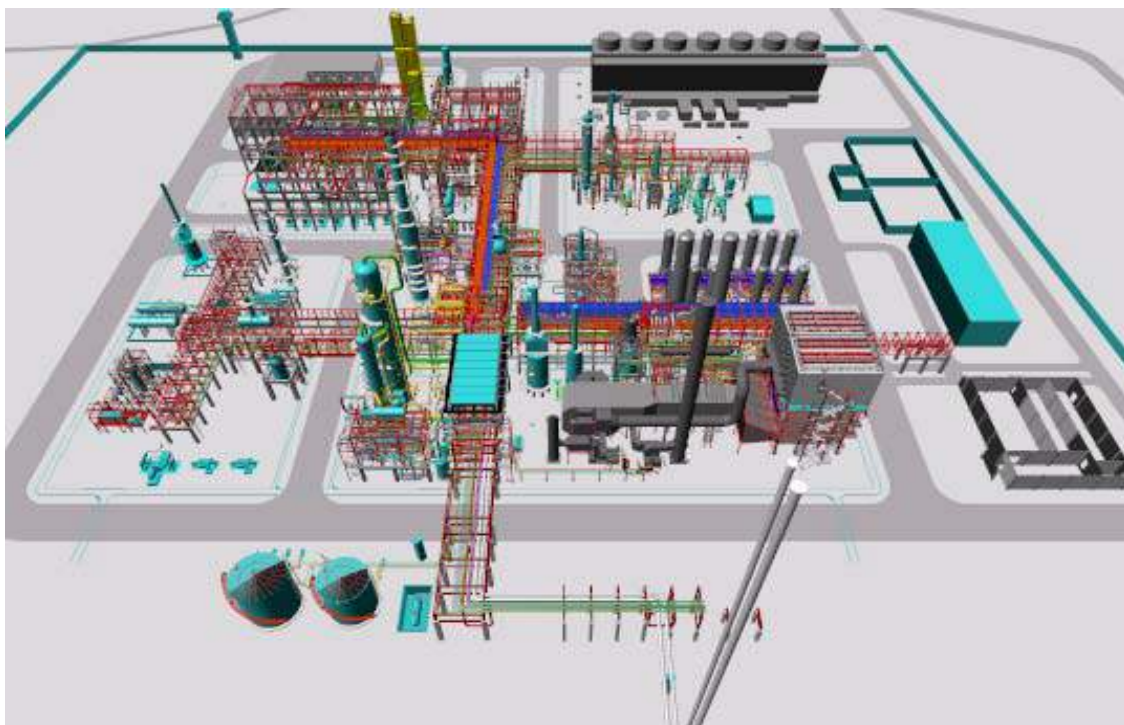
Ammonia Synthesis – 6

חנקן המטוהר מעורבב עם מימן טהור לקבלת גז אמוניה לפי הנוסחה הבאה:



תערובת הגז נדחסת בלחץ של כ-140 אטמ'. הגז מחומם ומוזן אל תוך הממיר בטמפרטורה של כ- $185^\circ C$. חום הגז העוזב את הממיר משמש לייצור קיטור. וגז האמוניה מונזל ומופרד.

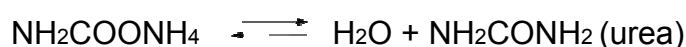
להלן תרשים המציג בצורה סכמטית מערך מפעל ייצור אמוניה בשיטת LAC:



5.4 מפעל לייצור אמוניה-אוריאה

אוריאה (NH_2CONH_2) הנה חומר דשן המכיל חנקן בעל חשיבות רבה בחקלאות. מבחינה תהליכית, התעשייה הכימית במקומות רבים הקימה מפעלים משולבים לייצור אמוניה-אוריאה, כאשר האמוניה וה- CO_2 (הנוצר במהלך ייצור האמוניה) משמשים כחומרי גלם לייצור האוריאה.

האמוניה וה- CO_2 מוזנים אל ריאקטור בלחץ וטמפרטורה גבוהים, האוריאה מיוצרת בריאקציה דו-שלבית, כדלהלן:



האוריאה מכילה תחילה שיירי אמוניה ו- CO_2 שלא הגיבו וכן אמוניום קרבמט. עם הורדת הלחץ ובאמצעות החום שהופק, האמוניום קרבמט מפורק בחזרה לאמוניה ו- CO_2 , אשר ממוחזרים לתהליך. תמיסת האוריאה המתקבלת מרוכזת לכ-99.6% משקלית לאוריאה מותכת, ואז לאוריאה גרנולרית בכדי לשמש כדשן וחומר גלם בתעשייה הכימית.

כאמור, השימוש העיקרי והחשוב ביותר של אוריאה הוא כחומר דשן בחקלאות – כ-90% מהאוריאה המיוצרת בעולם משמשת לתעשיית הדשנים. כמו-כן, משמשת אוריאה כחומר גלם בתעשייה הכימית ובתעשיית הפלסטיק (חומר גלם למוצרי מלמין ודבקים שונים (אוריאה-פורמלדהיד/אוריאה, מלמין, פורמלדהיד) ועוד. בשנים האחרונות התרחב השימוש באוריאה כחומר המקטין את זיהום האוויר, הן ממקורות נייחים (תחנות כוח וכדו') והן ממקורות נייחים (חלק מדרישות תקני יורו, וגם תקנות ישראליות, המחייבות שימוש בכלי רכב בתמיסת אוריאה של כ-32% כתוסף לרכב).

תכונות האוריאה מובאות להלן:

Odorless or slight ammonia odor

pH: 7.2 (10% water solution)

Decomposes at 270.8°F (132.7°C); decomposes into ammonia and carbon dioxide. If burned, emits small amounts of nitrogen oxides.

Solubility in water is 119g per 100g water at 77°F (25°C)

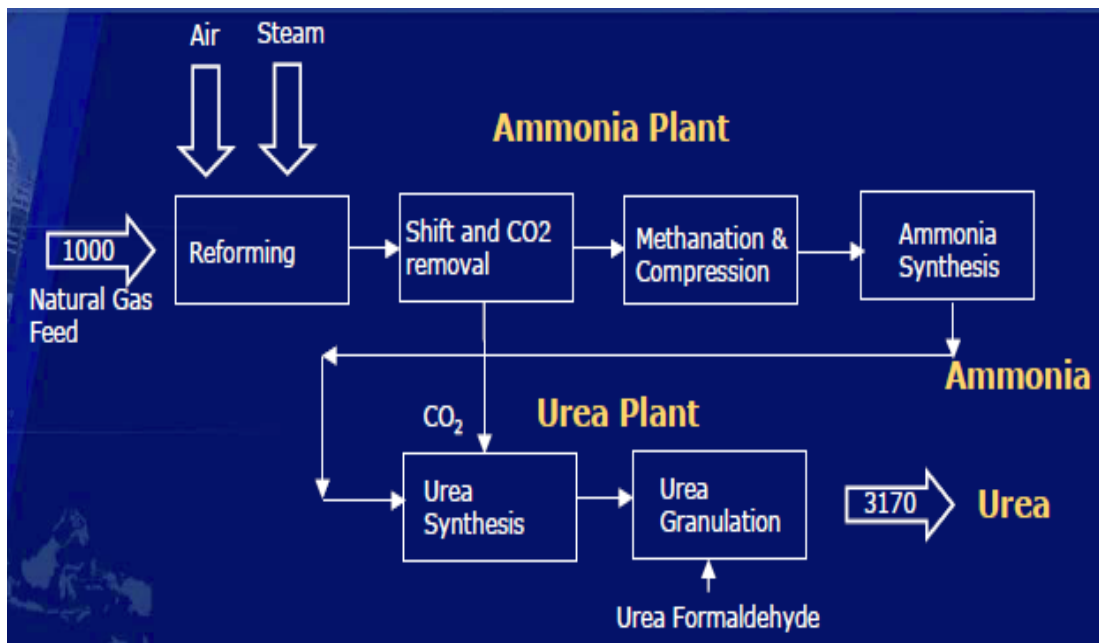
Specific gravity ($\text{H}_2\text{O}=1$): 1.34 at 68°F (20°C); heavier than water

Molecular weight: 60.06

האוריאה איננה מוגדרת כחומר מסוכן.

שוק האוריאה העולמי, בדומה לשוק האמוניה, הנו שוק של ביקושים, עם גידול שנתי בסדר גודל דומה (של כ-3% ומעלה לשנה).

מערך של מפעל משולב לייצור אמוניה/אוריאה מובא בתרשים שלהלן:



במידה ויוקם מפעל מקומי משולב לייצור אמוניה/אוריאה, למעשה הוא יוכל להחליף את היבוא עבור שני החומרים הנ"ל עליהם מבוסס המשק הישראלי כיום. כלומר, מפעל כזה יהיה בעל פוטנציאל להחליף יבוא של כ-120,000 טון אמוניה וכ-50,000 טון אוריאה. האמוניה מיובאת, כאמור, באופן בלעדי ע"י חיפה כימיקלים, מוזנת אל המיכל המרכזי במסוף הקישון, ומשם משונעת בצנרת ובמיכליות כביש לצרכנים. האוריאה מיובאת בעיקר בידי כי"ל (לא רק), ומשמשת כמרכיב מרכזי בתעשיית הדשנים.

בתמונה: אחד המפעלים הגדולים בעולם לייצור אמוניה-אוריאה ב-Bahia Blanca ארגנטינה, בעל כושר ייצור של כ-0.75 מיליון טון לשנה אמוניה, וכ-1.1 מיליון טון אוריאה.



5.5 הנחות לגיבוש הערכת מצב

- ספק אם ייצור לצורך צריכת שוק מקומי בלבד (ללא ייצוא) יהווה בסיס כלכלי לייצור אמוניה בישראל. עם-זאת, אחד היזמים המקדם הקמת מפעל לייצור בארץ טוען כי הדבר אפשרי (לא הוצג בפנינו מודל כלכלי).
- זמינות מאגרי הגז הטבעי הנוכחיים והעתידיים מהווה יתרון כלכלי להקמת מפעל לייצור אמוניה בישראל.
- במידה ויקום מפעל משולב לייצור אמוניה/אוריאה, השיקול הבטיחותי/סביבתי הנובע מהובלה, אחסון וייצוא של אוריאה אינו מתקיים, מאחר ואוריאה מוגדרת כחומר לא מסוכן. במקרה כזה לא יהיה צורך כלל לייצא אמוניה.
- מיקום הנגישות אל הספקת הגז הטבעי ושיקולים סביבתיים מצביעים על יתרון בולט במיקום תשתיות ייצור אמוניה בדרום הארץ.
- הימצאות מתקני אחסון בעקבה ומתקני פריקה מצביעים על אופציה תיאורטית לייצוא אמוניה דרך עקבה.
- כיום, לפחות 40% מצריכת אמוניה בישראל מיועדת עבור התעשייה בדרום הארץ.
- במקרה חירום, המתבטא באי-זמינות גז טבעי או היעדר יכולת ייצור תקופתית, יש צורך במיכל חירום דרכו ניתן יהיה לייבא אמוניה (שימוקם בחוף באיזור הדרום).

שיקולים עיקריים למיקום המפעל

- להקמת מפעל לייצור אמוניה בדרום הארץ מספר יתרונות:
 - קרבה לעיקר צריכת האמוניה (ואוריאה, במידה ויקום מפעל משולב).
 - קרבה למסוף הגז הטבעי המגיע ממצרים.
- יש לקחת בחשבון שקרבה בין אתר הייצור ללקוח הנה מרכיב קריטי בכל קנה מידה, המכתיבה במקרים רבים את השוק ומיקום אתרי הייצור. בכל אופן, יש לזכור כי ברמה העולמית הגלובלית רק כ-10% מהאמוניה המיוצרת משונעת למרחקים גדולים.
- סביר להניח, כי הקמת מפעל בדרום הארץ תייתר את הצורך במיכל האמוניה במפרץ חיפה, או לכל הפחות להקטנת נפח מלאי האמוניה המאוחסן.

האופציות הסבירות ביותר לקמת מפעל הייצור הן **מישור רותם** או **רמת-חובב**.

חשוב להבהיר, כי במהלך השנה האחרונה אותרו לפחות שתי התארגנויות להקמת מפעל לייצור אמוניה בישראל – התארגנות אחת לקידום יוזמה להקמת מפעל לייצור אמוניה בשיטת LAC, והתארגנות שניה להקמת מפעל משולב לייצור אמוניה/אוריאה.

5.6 כדאיות כלכלית

- o המפעלים השכיחים בעולם הם בתפוקה ממוצעת של 2000 טון ליום בקו יצור אחד.
- o מחיר האמוניה הנו 495-689 \$ לטון (מחיר כלכלי בהתחשב במחיר הדשנים בשוק בשנת 2007).
- o מחיר אמוניה על בסיס מחיר גז טבעי של 10 \$/MBTU הוא 495 \$ לטון, והוא יכול להגיע עד 689 \$ לטון כפונקציה של פרמטרים שונים.
- o השקעה במפעל בתפוקה של 2200 טון ליום נאמדת בכ-740 M\$. מתוך זה, קטע הסינתזה של אמוניה מהווה כ-1/3. זמן ההקמה של מפעל כזה נאמד בכ-3 שנים מגמר התכנון וקבלת ההיתרים.
- o השקעה במפעל של 200,000 טון לשנה (כ-550 טון ליום) מול מפעל של 800,000 טון (2200 טון ליום), דהיינו מפעל גדול פי 4, תהיה פי 2.64 קטנה יותר (740 מליון \$ לחלק ל-2.6, דהיינו 284 מליון \$).
- o במידה ויוקם מפעל משולב לייצור אמוניה/אוריאה הכדאיות הכלכלית תהיה משמעותית יותר.

לפני מספר שנים נעשתה בדיקה דומה במסגרת הטכניון. להלן עיקרי המסקנות ממחקר של פרופ' דני לוין מהטכניון שבדק כדאיות ייצור אמוניה בישראל (התפרסם כפרק בספר *Product and Process Design Principles מהדורה שלישית 2010*):

- o אין היתכנות לייצור אמוניה מקומי בהיקף שיספק את צרכי השוק המקומי בלבד, אלא-אם-כן מחירי הגז הטבעי יירדו לחצי מערכם הנוכחי (מנוגד למגמת עליית מחירי הגז).
- o מפעל שייצר בהיקף פי 2 מצרכי השוק המקומי יכול להיות כלכלי במידה והממשלה תסבסד את מחיר הגז ב-25%. בכל מקרה, יהיה צורך לייצא את עודפי האמוניה המיוצרת דרך הים, לרבות מיכל-חוף לאחסון, מה שהופך את הפתרון לבעל היתכנות נמוכה.
- o מפעל שייצר בהיקף פי 3 מצרכי השוק המקומי, דהיינו 1,000 טון ליום הוא כלכלי. במידה ויוקם בחיפה, יש להכפיל את נפח מיכל האחסון הנוכחי, מאחר ו-2/3 מהייצור יופנו לייצוא דרך הים ותשתיות הנמל, פתרון בעל היתכנות נמוכה.
- o לחלופין, מיזם משותף עם ירדן, שצריכת האמוניה שלה היא פי 2 משל ישראל, יכול להוות פתרון. צריכה משותפת של ירדן וישראל תואמת את היקף הייצור המתוכנן. מיקום מפעל הייצור המועדף בפתרון זה הוא בנגב, קרוב ככל הניתן לגבול הירדני.

כאמור, ישנן שתי התארגנויות לפחות להקמת מפעל לייצור אמוניה בדרום הארץ: התארגנות אחת לקידום יוזמה להקמת מפעל לייצור אמוניה בשיטת LAC על-בסיס הגז המצרי, והתארגנות שניה להקמת מפעל משולב לייצור אמוניה/אוריאה במישור רותם על-בסיס הגז המצרי או עתודות הגז מקידוחי

המסרים העיקריים בהקשר זה הם כדלהלן:

- מבחינה הנדסית אין בעיה להקים מפעל לייצור אמוניה בישראל, אך השיקול העיקרי הנו כלכלי.
- האם מחיר האמוניה יהיה תחרותי בהנחה שהיצור הינו לשוק המקומי בלבד ? לא בטוח. בכל קיבולת ייצור מעל 120,000 טון לשנה (בהנחה שמדובר על מעל אמוניה בלבד, ללא אוריאה) עדיין ישאר עודף אמוניה שיחייב פתרונות אחסון, לצד בניית שוק, שיתוף פעולה אזורי, או ייצוא דרך מיכל-חוף. עוד יש לזכור, כי שוק האמוניה העולמי מאופיין בעודפי היצע של מעל 10% (ראה פרק 4. לעיל).
- עפ"י המגמות של התארגנות להקמת מפעל לייצור אמוניה בישראל, מפעל לייצור אמוניה בדרום הארץ יתממש כנראה בכל מקרה, וללא קשר ישיר למה שיקרה עם המיכל בחיפה.
- מיזם כזה להקמת תשתית לייצור אמוניה (עם או בלי אוריאה) הוא אחד משורת המיזמים של פיתוח תעשייה כימית ופטרוכימית שתתבסס על הגז הטבעי הזמין בדרום, כגון ייצור מתנול כאחד מחומרי דלק עתידי המועדפים (עבורו קיים מיזם להקמת מפעל בדרום).
- היזמים צריכים להבטיח את השוק שלהם ולוודא כי כל האמוניה (ואוריאה) שתיוצר תימכר (בארץ או בחו"ל).
- מבחינת הצורך בכלי סיוע הממשלתיים, שני היזמים טוענים כי אינם זקוקים לסבסוד ממשלתי לא בגז ולא באמוניה, אך זקוקים להקלות בבירוקרטיה ל"מסלול ירוק" בהתנהלות הרשויות, מאחר ומדובר במיזם העומד לפתור בעיה לאומית.
- יחד-עם-זאת, מחיר אטרקטיבי יותר לגז טבעי כחומר גלם בתעשייה (בניגוד לשימוש כחומר דלק) הנו, לדעתנו, צעד שהממשלה יכולה לנקוט בכדי לסייע במימוש המיזם.
- ההנחה היא, כי המפעל יזכה בכל מקרה להטבות הניתנות באיזור פיתוח א' עפ"י הקריטריונים המקובלים של מרכז ההשקעות בהתאם לחוק עידוד השקעות הון.

6. הצגת החלופות הנבחרות למיכל האמוניה הקיים

להלן 7 החלופות אשר נדונות ואושרו כחלופות הנבחרות בידי הצוות המלווה של הפרויקט:

חלופה א' – הקמת מפעל ייצור ישראלי (עם אופציה לייצוא).

הקמת מפעל לייצור אמוניה בישראל בשיטה הקלאסית או בשיטה אחרת בתפוקה של מעל 120,000 טון לשנה. אתר מועדף להקמת המפעל – מישור רותם. חלופה זו מכסה את צורכי השוק המקומי ויצוא העודף המיוצר. לפיכך, חלופה זו כוללת גם הקמת מיכלים לייצוא מישראל. אתר מועדף – אשקלון.

חלופה ב' – הקמת מפעל ייצור ישראלי (ללא ייצוא).

הקמת מפעל ייצור אמוניה בישראל בתפוקה של 120,000 טון לשנה לצורכי שוק מקומי בלבד (ללא ייצוא). אתר מועדף בדרום – מישור רותם.

חלופה ג' – העברת המיכל הקיים.

העברת המיכל הקיים במפרץ חיפה למקום אחר, דהיינו בניה של מיכל חוף חדש המחייב מקשר ימי/נמל. אתר מועדף – אשקלון.

חלופה ד' – הקמת מפעל ייצור ירדני-ישראלי.

הקמת מפעל משותף לירדן וישראל בסיוע מימון בינלאומי. המפעל יכסה את צורכי השווקים בירדן ובישראל. אתר מועדף – בירדן, סמוך לעקבה. חלופה זו מניחה ייצוא מירדן, תוך הישענות על נמל עקבה לצורכי פריקה, הישענות על מיכל קיים בעקבה, וציר שינוע בכביש הערבה המזרחי (עד בית-שאן).

חלופה ה' – הקטנת כמות ופיצול (השלמה באמצעות יבוא מירדן).

הורדת כמות האמוניה במיכל הקיים ל-40% בלבד מהכמות הנוכחית, בעיקר לצורכי המפעלים במפרץ (חיפה כימיקלים ודשנים). האמוניה הנדרשת להספקה לדרום תושלם באמצעות יבוא מירדן. שינוע מירדן בכביש הערבה המזרחי.

חלופה ו' – הקטנת כמות ופיצול (השלמה באמצעות יבוא דרך מיכל-חוף נוסף).

הורדת כמות האמוניה במיכל הקיים ל-40% בלבד מהכמות הנוכחית, בעיקר לצורכי המפעלים במפרץ (חיפה כימיקלים ודשנים). האמוניה הנדרשת להספקה לדרום תושלם באמצעות יבוא דרך מיכל-חוף נוסף שייבנה. אתר מועדף – אשקלון.

חלופה ז' – המשך מצב קיים.

השארת שימור על המצב הקיים תוך הידוק פיקוח וניהול לפי הנחיות חירום (בעת הוכרז מצב חירום). התקנת שיפורי בטיחות ושיפורי מיגון, ירידה למלאי חירום ופיקוח על נפח האניות המייבאות

#סקירה כללית

7.1 הקדמה

ייצור תעשייתי בהיקפים גדולים של אמוניה בתהליכי סינטזה התחיל כמעט לפני מאה שנים בגרמניה; במהלך העשור האחרון, ייצור האמוניה ראה צמיחה שנתית משמעותית. יחידות הייצור גדלו בקיבולותיהן והיום ניתן למצוא אותן בכל רחבי העולם. האמוניה הינה חומר גלם מרכזי בתחום הדישון ובתעשיות כימיות אחרות. היא נמצאת בשימוש רחב בתחום הייצור של אוראה, אמוניום-ניטראט, אמוניום-סולפט, אמוניום-פוספט ותמיסות אמוניה. היא משמשת גם בפני עצמה כמדשן חנקני. האמוניה נסחרת ברחבי העולם כמטבע-סוחר כימי וכתוצאה מכך היא מועברת ומופצת ברחבי העולם בכמויות כמו גם בגדלי יחידות שונים. בשל כך, טיפול בטוח בחומר בעל סיכון זה בכל רמות השינוע והשימוש הינו בעל חשיבות עליונה.

האמוניה הינה חומר רעיל ומסוכן. תאונות המתוארות בהמשך זה מדגימות עד כמה הטיפול, ההבנה הנכונה של דברים וההקפדה על יישום רשמי, נסיון ומומחיות הינם מרכיבי המפתח המובילים לצמצום הסכנה לתאונות.

מאות טונות של אמוניה נוזלת מועברות על ידי ספינות, קרונות-משא ומיכליות בכבישים בחלקים רבים בעולם. בנוסף, מיליוני צילינדרים מלאים באמוניה נוזלים מסופקים לצרכנים קטנים דוגמת בתי יציקה ומפעלי קירור. תמיסות אמוניה מימיות (בריוז טיפוזי של 33-34% w/w אמוניה) גם כן משמשות כמוצרים מסחריים באופן נרחב.

7.2 סיכונים הנובעים מתכונות האמוניה

האדים קלים מן האוויר, ולכן דליפת הגז לאטמוספירה לרוב תוביל לענן או ערפילים צפים העולים לאוויר, המהווים סיכון הרעלה נמוך יחסית לאוכלוסיה המקומית והעובדים הסמוכים למיכלים.

כאמור, אמוניה נוזלת הינה בעלת טמפרטורת רתיחה של 33°C - בלחץ אטמוספרי. פריצה של אמוניה במערכות בקירור מלא ייצור בריכות נוזל קרות (הטמפרטורה יכולה לרדת עד 50°C -) ויכול לגרום לערפילים לא-צפים (עקב קירור האוויר הנגרם מאידוי האמוניה) או לערפילים צפים, בתלות בטמפרטורת בריכת האמוניה הנוזלית ובתנאים האטמוספריים. שחרור ממערכות מקוררות-למחצה או לא-מקוררות נוטה ליצור ערפילים דחוסים בשל הקירור הנובע מהבזקה וסחיפה של טיפות הנוזל. עננים או ערפילים אלו עשויים לחבוק את הקרקע ומתקשים להתרומם ממנה בכוחות עצמם. תופעה זו של היווצרות עננים וערפילים כמו גם פיזורם מתוארת ביתר פירוט בספרות המקצועית (Shah, 1997, Markham, 1986).

אמוניה גזית או נוזלית הינה מסיסה מאוד במים וחום התמיסה גבוה מאוד. כתוצאה מכך עולים הסיכונים הבאים:

גז האמוניה מתמוסס במהירות במים ויכול ליצור תנאי וואקום גבוהים, המביאים לסכנת קריסת המיכל. בשל כך, במערכות לייצור אמוניום-ניטראט, אמוניום-סולפט ו-NPK קיימת האפשרות לזיהום על ידי זרם-חוזר אם התכנון של המערכת לא שקל תנאי וואקום אלו לעומק; הערבוב המהיר של אמוניה נוזלית ומים יכול להוביל לרמות גבוהות של היווצרות אדים, דבר המוביל לתנאי עודף-לחץ במיכל ולהעמיד אותו בסכנת התבקעות.

גז האמוניה אינו פשוט להצתה; פעולה זו דורשת מקור אנרגיה עוצמתי והדליקה אינה מתרחשת באופן יציב. טווח הדליקות שלו באוויר הינו 16-25% v/v (CIA, 1997), טווח הנחשב כצר יחסית. כתוצאה מכך, הסיכון לדליקה או לפיצוץ נחשב כבעל סיכוי נמוך מאוד, במיוחד באוויר הפתוח. יחד עם זאת, במקומות בהם גז האמוניה נמצא בחללים מוקפים או כלים סגורים, סיכון זה צריך להילקח בחשבון לפני ביצוע כל עבודת תחזוקה. טמפרטורת ההצתה העצמית של האמוניה הינה 651°C .

אמוניה יכולה להוביל להשפעות רעילות חריפות בבני אדם ובבעלי חיים. היא יוצרת תמיסה בסיסית חזקה המאכלת את שטח הפנים של רקמות לחות דוגמת העיניים, קנה הנשימה והעור. רמות השפעת הרעילות תלויות בעיקר בריכוזי האמוניה באוויר הסובב ובמשך החשיפה. האמוניה הינה בעלת ריח חריף וסף הריח עומד על 5 ppm, ריכוז שהוא (למרבה המזל) הרבה מתחת לרמות הריכוז המסוכנות. עובדה זו משמשת לרוב כסימן אזהרה על מנת שניתן יהיה להימלט מהאיזור בו הריכוז גבוה.

במים, האמוניה בצורתה הלא-מיוננת – NH_3 – הינה רעילה במיוחד לחיים המימיים; לעומת זאת יון האמוניום, NH_4^+ , אשר נמצא כחלק הארי במרבית המקרים, אינו רעיל בעיקרו. הריכוזים של האמוניה הלא-מיוננת תלויים רבות בערך הגבה (pH). עבור דגים, ערכי LC50 בחשיפה של 96 שעות זמינים מתוך גיליונות הבטיחות של יצרני האמוניה, והם נעים בטווח של כ-0.1 עד 3.5 מ"ג/ליטר. אמוניה באוויר יכולה לגרום לנזק לחיות הבר ולצמחיה. האמוניה אינה נותרת כפי שהיא בסביבות מימיות, שכן בקטריה טבעית מחמצנת את יוני האמוניום המופיעים בתהליכי שיווי משקל לתוצר הניטראט. התוצר אינו מצטבר ביולוגית.

7.3 סדקי לחץ קורוזיה

חשיבות מיוחדת הנוגעת לאמינות מיכלי האמוניה (לרבות המיכלים הקטנים, הצילינדרים) היא התופעה של סדקי לחץ קורוזיה (SCC). סדקי לחץ הקורוזיה יכולים להתרחש במתכות הנחשפות לשילוב של לחצים מכאניים וסביבה מאכלת. תחת תנאים מסויימים, סביבה מאכלת יכולה לערער או להרוס חלקית את שכבת האוקסיד המגנה על המתכת מבלי לגרום לתופעת החלודה הכללית. אמוניה נוזלית בנוכחות חמצן יכולה לגרום ל-SCC במתכות פחמן ופוטנציאל זה עולה כפונקציה של עליית עוצמת המתכת המרוחקת והקשיחות המקומית של הריתוך.

מחקרים רבים נעשו על מנת להבין את מנגנון ה-SCC והגורמים הרלוונטיים לו (Nyborg et al., 1994; Lunde, 1996). המסקנות העיקריות הנוגעות ל-SCC במיכלי אמוניה משילוב עבודת מחקר זו עם הניסיון המעשי הינן:

1. קשה לגרום ל-SCC בטמפרטורה של -33°C .
2. התחלת ה-SCC דורשת הפעלת רמות לחץ מכאני שיירי עודף מעל לתפוקה העיקרית.
3. התחלת ה-SCC דורשת נוכחות של חמצן.
4. נוכחות של מים מעכבת את היווצרות והתרחבות ה-SCC.
5. כאשר נמצא SCC במיכלים בטמפרטורות נמוכות, הפגמים על פי רוב קטנים מאוד (בעומק של פחות מ-2 מ"מ). יחד עם זאת, דווח על קיומם של יוצאי דופן אחדים בעלי פגמים גדולים יותר.
6. פעולות של הטענת המיכל ובמיוחד הטענה-מחדש (על מנת, בין היתר, לכלול שלב כיבוי מערכת) יוצרים פרק זמן קריטי בהקשר היווצרות והתרחבות ה-SCC.
7. ידע ונסיון ב-SCC הובילו לשיפור תפעולי מיכלי איחסון האמוניה. בשל כך, הנסיונות האחרונים מציינים כי שיעור חריצי הקורוזיה או ההתקדמות שלהם הולכים ופוחתים, אפילו במיכלים בהם אותרו בעבר סדקים משמעותיים.

הוספת מים לנוזלי האמוניה ביחס של כ- 1,000 ppm הינה פעולה המבוצעת באופן נרחב על מנת לצמצם את שיעור סיכוני ה-SCC. מיכלים וכלים קטנים לרוב בעלי מנגנוני שחרור-לחץ תרמי, ועל כן נחשבים כחופשיים מהסיכון ל-SCC, בתנאי שהליכי תיקון ושינויים עוברים שחרור-לחץ באופן מתאים.

7.4 סיכונים מאחסון אמוניה

מיכלי אחסון מתוכננים עפ"י כללים ותקנים הנדסיים, ולרוב מנוטרים היטב במהלך השימוש. כתוצאה מכך, הסיכון לשחרור משמעותי בלתי-מבוקר נוטה להיות זניח, בתנאי שהמערכת בכללותה נחקרה היטב מבחינת הסיכונים, שצוותי העבודה ממלאים אחר ההליכים המפורטים לשימוש בה, כי קיימת קיבולת שחרור מתאימה על מנת למנוע לחץ-יתר ושאימות התכנון נשמרת על ידי בקורות תפעול טובות. דבר זה יש לוודא על ידי ביקורת תקופתית. שחרורים קטנים למשל משסתומי שחרור לחץ או שסתומי ניקוז קטנים אכן מתרחשים לעיתים.

בבריטניה (UK), מסמכי ההדרכה לתכנון ותחזוקה בטוחים של מיכלי איחסון אמוניה היו זמינים מזה שנים רבות. למשל, איגוד התעשייה הכימית הבריטי (CIA) פרסם מאמר בנוגע לאחסון בנפחים גדולים של אמוניה מקוררת (CIA, 1997). המאמר עוסק בהיבטים רלוונטיים דוגמת סוג תכן המיכל, התקנים של התכנון, התקנת המיכל, חומרי הבנייה, היסודות, סוגי התכן של האיחסון המשני והבידוד. הוא עוסק בדרישות לצידוד משני דוגמת: מדחסים, משאבות, צנרת, צידוד חשמלי ומחממים. כמו כן, הוא מפרט את דרישות הביקורות התקופתיות, התחזוקה והליכי הבטיחות הדרושים לצידוד המיכלים ופריקתם.

מדריך דומה לאיחסון בלחץ הופק על ידי מינהל הבטיחות והגיהות הבריטי (HSE) -המכונה HS(G)30 (HSE, 1986). איגוד יצרני הדשן האירופאי (EFMA) מתכנן להפיק בעתיד מדריך דומה לאיחסון בלחץ.

התכנון של קיבולת השחרור המסופקת למיכלי האיחסון חייב לקחת בחשבון מגוון כשלים אפשריים של ציוד קריטי, דוגמת מדחסי הקירור, אך עליו להתחשב גם בסטיות של התהליך אשר, למשל, יכולות לאפשר כניסה של אמוניה חמה לתוך המיכלים.

תיאור מקרה: אחת מהתאונות החמורות (אולי החמורה מכולן) הקשורות בכשלים של מיכלי אחסון אמוניה בימינו התרחשה ב-Jonava ליטא, ב-20 למרץ 1989. כ-7,000 טון של אמוניה קרה השתחררו באופן פתאומי כתוצאה מכשל במיכל, אשר נבקע ונפתח מצידו האחד בין הקיר לתחתית, דבר שהוביל לחור גדול, יחסית. המיכל הניזוק זז הצידה ועקב כך הרס קיר סכר עשוי בטון מזוין. האמוניה הנוזלית יצרה בריכה בעומק כ-70 ס"מ על פני שטח פנים רחב ואדי אמוניה נעו לאורך מרחקים ארוכים. באתר התאונה היו עובדים שנפגעו באופן חמור, בינוני וקל (7 הרוגים, 57 נפגעים חמור עד קל, מבין 5,000 עובדים שהועסקו באתר). לא היו נפגעים כלשהם בקרב האוכלוסייה שאינה מקרב העובדים באתר (העיר בת 40,000 תושבים במרחק של פחות מ-10 ק"מ). נראה כי תנאי לחץ-יתר התחוללו במיכל. ככל הנראה, עודפי אדי האמוניה נוצרו עקב יציאתו מכלל פעולה של מדחס הקירור. הזרימה הנובעת מכך של אמוניה חמה למיכל הובילה לעלייה בלחץ במידה כזו שקיבולת השחרור לא יכלה להתמודד איתה (Anderson and Lindley, 1992).

7.5 סיכונים מתפעול פעולות שינוע אמוניה

7.5.1 הטענת ופריקת ספינות משא

ספינות משא נושאות ככלל אמוניה נוזלית אל-מימית במצב קירור מלא, מכיוון שמדובר בכמויות גדולות יחסית. פעולות השינוע בין הספינה והחוף של אמוניה אל-מימית הינן בעלות פוטנציאל סיכון גבוה יותר מאשר במהלך המסע בים.

תיאור מקרה: אובדן תכולת האמוניה הינה הדאגה המרכזית בכל הנוגע לבטיחות אישית ולהשפעה על הסביבה. בעבר נרשמו מספר תאונות חמורות בעת תהליכי טעינה או פריקה ושחרור אמוניה מצינור, אטם או זרוע הטענה, כגון אירוע Landskrona, שבדיה בינואר, 1976 (הצינור נפרץ לפתע תוך שחרור ענן נוזל, רסס, ערפילים ואדי אמוניה). קברניט הספינה נהרג באירוע זה. למרבה המזל, הענן התרחק מהעיירה, כך נמנעה פגיעה נוספת בנפש. מחקירה שבוצעה לאחר האירוע, עלה כי למרות שהצינור היה איכותי ומתאים לשימוש עם פרופאן ובוטאן, הוא לא התאים לשימוש עם אמוניה (הכיל תיל נחושת בתוך כיסוי הגומי החיצוני בכדי לאפשר מוליכות חשמלית ולמנוע הצטברות חשמל סטטי, שכן השימוש השכיח שלו היה בחומרים דליקים – אולם האמוניה תוקפת את הנחושת).

יש להכין רשימת בדיקה מקיפה כחלק מהליכי ההטענה/פריקה, על מנת לוודא שכל הפעולות הנדרשות יבוצעו בהתאם וללא מחדלים (Shah and van-Balken, 2005). אמצעי הזהירות המרכזיים הנדרשים לצורך פעולות שינוע בטווח שבין הספינה לחוף יכללו לרוב: שימוש בזרועות מוצקות, דהיינו זרועות ChicksanTM, על מנת לחבר את הקווים שעל הספינה לצנרת שעל החוף. מערכת גילוי אמוניה, מערכת התראה על מנת להזהיר בכל מקרה של שחרור אמוניה, ועתודות של תרסיסי מים לשעת חירום. חיבורי כבלים בין הספינה לחוף, על מנת לסייע בסגירת שסתומי החירום. מערכות כיבוי בחירום המשלבות מגופי סגירה המופעלים-מרחוק, כראוי, אשר תקינות תפקודם צריכה להיבדק עוד טרם החיבור. שחרור הלחץ של הצנרת ברציף והזרוע הימית, וכן שחרור כל שיירי הלחצים שנותרו מהתפעול הקודם של המערכת. קירור הדרגתי של קווי אמוניה מקוררים מאיחסון אל הרציף (או ההיפך) בתור הכנה להטענה. בדיקת החיבורים לדליפות לפני ההעברה בעזרת חנקן ומי סבון. בקרה צמודה של מיקום ותנועות הספינה ביחס למעטפת הבטיחות שנוצרת על ידי טווח ההגעה של הזרועות המוצקות. סילוק שיירי אמוניה נוזלית ממערכת הצנרת של הרציף ומהזרוע בעזרת גז אמוניה. תקשורת צמודה בין קצין הספינה וטכנאי הרציף. שחרור שיירי האמוניה מקווי ההטענה למים צריך להימנע לחלוטין או להיות מצומצם לרמה מינימלית.

7.5.2 טעינה, פריקה ושינוע של מיכליות רכבת ומיכליות כביש

כמויות משמעותיות של אמוניה מופצות על ידי רכבות ומשאיות. במצבים אלו האמוניה לרוב אינה מקוררת, ולכן המיכליות מתוכננות כמיכלי לחץ. אובדן משמעותי התכולה מהווה דאגה עיקרית בכל הנוגע לסיכון לפגיעה בבני אדם, כאשר שחרורים קטנים מהווים גם הם אלמנט שיש לשקול מבחינת השפעת התקשורת כאשר הם מתרחשים במקומות ציבוריים, אפילו שהסיכון לפגיעה בבני אדם בכמויות אלו עשוי להיות זניח. שחרורים משמעותיים של אמוניה יכולים להתרחש בפעולות העברת המיכליות עקב מספר גורמים, דוגמת:

כשל בהעברת צנרת, למשל עקב היותם לא מתאימים לייעודם. מילוי-יתר של מיכלי האחסון הגורם לשסתומי (י) השחרור להיפתח ולשחרר אמוניה. כשל בקווי ההעברה או בצנרת עקב תנועת המיכלים במהלך היותם מחוברים, למשל על ידי נסיעה. זוהי אחת הדאגות המשמעותיות בכל הנוגע לגורם האנושי המעורב.

תיאור מקרה: אירוע של שפיכה של כ-14 מ"ק אמוניה נוזלית אירעה במקסיקו ביוני, 1998, כאשר נהג הטעין את המיכל על המשאית והבלמים שלה כשלו, דבר אשר הוביל את המשאית להתגלגל לתוך הבניין ועל ידי כך גרם למיכל התבקע. 66 אנשים נפגעו (Anon, 1998).

על מנת לצמצם את הסיכונים המפורטים לעיל, קווי שינוע מוצקים דוגמת זרועות Chicksan צריכים לשמש בכל מקום אפשרי. כאשר משתמשים בצנרת, חובה להתקין במקום מערכות

גדולות על מנת לוודא את תנאי ואמינות התאמתן למטרה. הנחיות התעשייה זמינות לצורך חיבור שינוע: למשל, איגוד התעשייה הכימית הבריטי (CIA) פרסם ב-1990 מדריך בנוגע לחיבורי שינוע (CIA, 1990), ואיגוד תעשיית הדישון בארה"ב פיתחה תוכנת ניהול צנרת ב-1998 (TFI, 1998). על מנת למנוע התרחשויות הנגרמות מנסיעה בחיבור, יש להתקין ולספק מערכות אמינות המבוססות על שילוב נכון בין אמצעי בקרה, כגון נהלים, מחסומים פיזיים, מנעלים, מערכת בלמים לנעילת הרכב או מעצורים במסילות רכבת. הליכי תכנון צנרת מיוחדים, המתחשבים גם בהעברה וגם בטיפול המתאים באוויר הגדוש היוצא מהמיכלית שהייתה במקורה ריקה, זמינים וצריכים להילקח בחשבון.

מיכליות רכבת ומשאיות המלאות יתר על המידה הינן מקור דאגה עיקרי במהלך השינוע. עובדה זו נכונה בעיקר כאשר הכלי אינו כולל מערכת שחרור לחצים, כך שהמיכלית יכולה להיות מלאה הידראולית עקב התרחבות של נוזלי האמוניה, הנובעת מחום הסביבה. התרחבות, עיוות צורה או אפילו ביקוע של המיכלית יכולים לנבוע מכך. על מנת לצמצם סיכון זה, יש לשלב מערכות אמינות (עדיף ממחשבות) שישמשו לזיהוי הכלי במאגר הנתונים, לביסוס משקל הנטו, לבדיקת ומציאת שיירי נוזלים לפני המילוי, מערכות מבוקרות-אוטומטית להעברת הכמות המדויקת ולבדיקת המשקלים הסופיים. למידע מפורט נוסף בנוגע לשינוע אמוניה נוזלית במיכליות רכבת, עיינו במדריך של ה-EFMA (EFMA, 2005a).

7.5.3 שינוע בעזרת מערכת צנרת

בפועל, הרבה ממפעלי האמוניה ו/או מיכלי האיחסון ממוקמים במתחמים כימיים המכילים מספר יחידות ייצור, או בסמיכות להם. במקרה אלו, האמוניה לרוב מסופקת לתהליך במורד המסלול בעזרת צנרת, אשר במקרים מסוימים יכולים להתפרש לאורך מספר קילומטרים בין אתר לאתר. ישנם גם מקרים בהם האמוניה מועברת על ידי צנרת לאורך מרחקים גדולים יותר, דהיינו מאות קילומטרים. אחזקה ושמירה על אמינות הנדסית של קווי צנרת אלו חשובה ביותר וההשפעה של האיתור המהיר של שחרור כמויות קטנות מאוד, בשל הריח הניכר, יכול להוות תכונה שימושית. כך למשל, באתר מרכזי בבריטניה, צינור האמוניה בנתיב צנרת תחת כביש מהיר פיתח חור-סיכה כתוצאה מטפטוף של צינור חומצה חנקתית סמוך, ושחרר כמויות קטנות של אמוניה לאטמוספירה. זיהוי השחרור הזה על ידי עובדי אורח גרם לאירוע חירום באתר, סגירה של הכביש הראשי הסמוך לזמן מה, וכיסוי תקשורתי מקומי.

חשוב שצנרת האמוניה תהיה מוגנת מפני נזקים הנגרמים על ידי כלי רכב במקרה של תאונות, או של פולשים. במקומות בהם הצנרת עוברת מעל פני הקרקע, התמוכות צריכות להיות מתוכננות באופן כזה שיאפשר עמידה גם בתנאי מזגי אוויר קיצוניים, למשל עומסים קיצוניים היכולים להיגרם עקב היערמות שלגים בימות החורף. היו תקריות בהן מבנה תמוכות הצינור נטו עקב הצטברות שלג, דבר שהוביל להתכופפות של קווי האמוניה. צנרת הקרובה לחוף גם כן נחשבת לפגיעה, שכן היא עומדת בתנאי סופות קיצוניים. היו גם תאונות בהן עגורנים או כלי רכב גרמו לנזקים למבני הצנרת.

7.5.4 מיכל גליל (צילינדרים)

צילינדרים נמצאים בשימוש רחב לצורך אספקת האמוניה ללקוחות המשתמשים בכמויות קטנות, דוגמת מפעלי קירור, בתי יציקה, יצרני כימיקלים קטנים ומעבדות. בשל כך, מספר גדול של צילינדרים ממולאים ומועברים ללקוחות אלו והריקים מוחזרים למילוי מחדש. הסיכונים הנובעים ממילוי-יתר הינם עניין כבד משקל, מכיוון שהצילינדר יכול להתמלא הידראולית במהלך תהליך האספקה או האחסון עקב חימום אטמוספרי, וכתוצאה מכך עשוי להתבקע. על פי רוב, אמצעי בקרה מקיפים ננקטים במפעלי המילוי למניעת מילוי-יתר. לעיתים, הצילינדרים יכולים להינזק עקב טיפול לקוי, למשל אם הם נופלים מגובה רב בעת הטעינה או הפריקה ופוגעים בצידוד אחר. נזקים שכאלה, אם לא אותרו בזמן, יכולים להוביל לחריצים אשר לאורך הזמן יביאו לביקוע של הצילינדר. ישנם בדיקות ובקורות חייב להיות חלק מכל פעולת מילוי. כמו כן, החזקת תיעוד אמין של משקל הנטו של הצילינדרים והיסטוריית התיקונים שלהם חשובה מאוד. אם הצילינדרים אינם בשימוש חובה לאחסן אותם במקומות ראויים (למשל בבניינים נפרדים).

7.5.5 מאיידים ומחממי-יתר

מרבית המפעלים משתמשי-האמוניה ממירים את האמוניה הנוזלית המסופקת להם לגז אמוניה באמצעות מאיידים, כאשר בחלק מהמפעלים מעלים את טמפרטורת הגז אף מעבר לכך בעזרת מחממי-יתר. המאידים עשויים לרוב מעטפת וצנרת מוליכי-חום המשתמשים במקורות חום מתאימים דוגמת אדים או חומר מעובה חם. היחידות כוללות שסתומי שחרור לחץ על מנת לשמור עליהן מפני העלאת הלחץ יתר על המידה. בתחילת ההפעלה של המפעל, כאשר רמה גבוהה מהרגיל של אמוניה נוזלית עשויה להיות נוכחת, יתכן שיהיה ייצור גז אמוניה בכמויות הרבה יותר גבוהות מאשר תחת פעילות רגילה, מכיוון שיותר חום עשוי להיות מועבר. הדבר עלול להוביל להעברת-יתר של האמוניה הנוזלית לתהליכים הבאים במסלול ו/או ללחצי יתר, הגורמים לפתיחת שסתומי השחרור. עובדה זו מובילה לשחרור גז אינרטי ואמוניה. אמצעים מונעים מתאימים, דוגמת מערכות בקרה מתוכננות כראוי עם מערכות שינוע בטמפרטורות נמוכות, הכוללות מיקום מתאים ובטוח של שחרורי האמוניה ממערכות השחרור המקושרות, הינם חיוניים במקרים אלו.

חובה גם להכיר בעובדה, כי בתופעת העברת-היתר של הנוזלים גלום הפוטנציאל לגרום להשלכות מהותיות בתהליכים שבמורד המסלול, כפי שמובהר מהתקרית הבאה. במפעל לחומצה חנקתית בבריטניה, כ-20 דקות לאחר הפעלת המפעל, התרחש פיצוץ בשני שלבים עוקבים באיזור מבערי האמוניה אשר גרם נזק לפני המבערים הנוכחים, לאחד משני התנורים הנמצאים במתקן וליחידת עירבול תערובת האמוניה/אוויר. הפיצוץ נגרם עקב הדלקה של תערובת אמוניה/אוויר דליקה באיזור המבערים (איור 1). ריכוזי האמוניה הגבוהים קשורים כנראה להיווצרות ערפל או רסיסי טיפות במערכת המאייד / מחמם-היתר של האמוניה. ככל הנראה, התאונה נגרמה עקב הרתחה מהירה במאדים אשר הובילה להשתרקות של אמוניה נוזלית שהועברה למחמם-היתר. התכנון של מערכת מאדה האמוניה ומחמם היתר (איור 2) לא

היה מסוגל לאתר או להתמודד עם נזלי האמוניה המועברים הלאה. מחמם-היתר של האמוניה היה ממוקם בנקודה הנמוכה ביותר במערכת (EFMA, 2000).

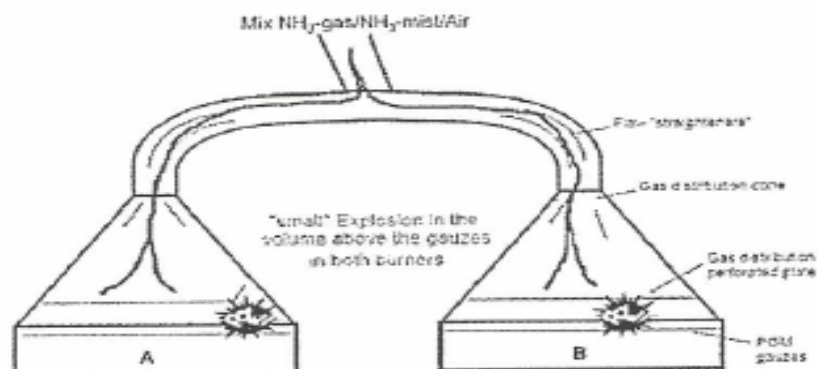
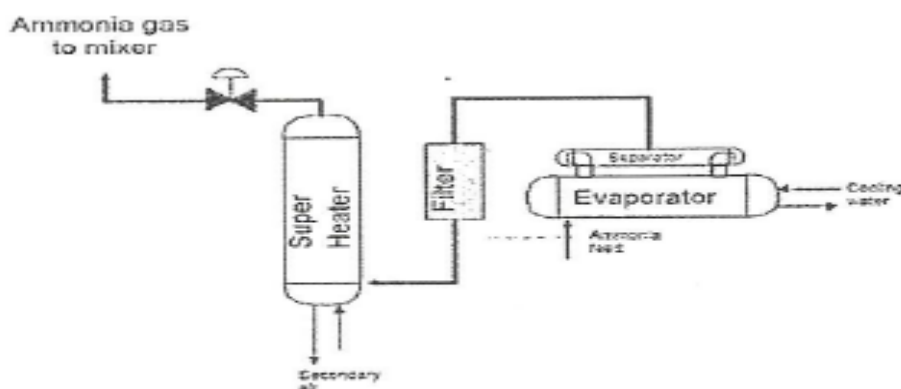


Figure 1: Explosion in the ammonia burner section.

איור 1: מאייד ומחמם-היתר של האמוניה



איור 2: מאייד ומחמם-היתר של האמוניה

7.5.6 מערכות טיהור

אספקת אמוניה נזלית לרוב מכילה כמויות קטנות של מים (בריכוז אופייני של 1000 ppm) על מנת לבקר את סכנת סדקי לחץ הקורוזיה וכן שיירי שמן מפעילויות המדחס. הטיפול להסרתם מתבצע לרוב במפעלים של צרכני האמוניה. לעיתים קרובות נעשה שימוש בכלי הפרדה קטנים, אשר מרוקנים באופן תקופתי; חשוב שכלי זה יהיה בנקודה הנמוכה ביותר של מערכת הצנרת. לעיתים נעשה שימוש בגיבוש השמן במסננים. הוצאת המים והשמן לרוב מערבת פעולות ידניות בעזרת שסתומים. שסתומי הבידוד המעורבים צריכים להישמר תחת תחזוקה קפדנית ולהיות במצב תקין על מנת להבטיח שלא ייכשלו. נוכחות של עודפי מים או שמן יכולה, פוטנציאלית, לגרום לבעיות בבקרת מידת הפעילות ולשחרור של אמוניה.

7.6 סיכונים מיישומים ושימושים באמוניה

7.6.1 יישומים ישירים כחומר דישון

במדינות מסוימות, אמוניה נוזלית מוזרקת ישירות לאדמה בתור חומר דישון. מיכלי הזנה קטנים משמשים למטרה זו. פעולה זו הולכת ויורדת עם השנים בשל מספר סיבות. הטיפול באמוניה הנוזלית במיכלים בחוות יכול בפירוש ליצור סיכונים פוטנציאליים של שחרור אמוניה, כפי שמובא בדוגמאות התקריות הבאות.

תיאור מקרה: ב-30 ליולי 2002, מיכל אמוניה נוזלית התפוצץ בחווה ליד לרוויק בנורבגיה. פתח הפיר עף ממקומו וגרם לנזק חמור לרכוש. אדם אחד נהרג מגז האמוניה ו-14 אנשים נשלחו לטיפול רפואי בבית חולים. 170 פרות נחשפו לאמוניה ומתו או נאלצו להישלח להמתה. מיכל האמוניה מולא 4 ימים קודם לכן. ההוראות הנוגעות למידת המילוי של המיכל נשמרו ובוססו על מחוון רמת המילוי המותקן על המיכל. על פי המפעיל נראה שהמכשיר פעל באופן תקין. הוא התחיל ברמה אפס והתקדם כרגיל בעת המילוי ולבסוף הצביע על רמת מילוי מיכל בגובה 86%. יחד עם זאת, החקירה חושפת כי מחוון הרמה הממשי על המיכל היה בעל תמיכה אופקית קצרה בהרבה מהמצויין בשרטוט המקורי. ייתכן כי עובדה זו עיכבה את תנועת המצוף והובילה למילוי-יתר של המיכל (EFMA, 2002a).

7.6.2 תמיסות אמוניה

תמיסות אמוניה מימית בריכוזים שונים מיוצרות בתעשייה, חלקן כמוצר המיועד למכירה, ואחרות מגיעות ממערכות השבה דוגמת מערכות משטפי אוויר (Scrubber systems) לסינון זיהום. מיכלי איחסון נמצאים תחת לחץ אטמוספרי וחלל האדים מכיל בחלקו גז אמוניה. נוכחות חלק מהחומרים הנדיפים והבלתי-יציבים הנוכחים יחד עם האמוניה המקורית בחלל האידוי, דוגמת הגזים מימן ומתאן, אינה יכולה להישלל, ולכן יש לנקוט באמצעי זהירות מתאימים, למשל טיהור בעזרת גז אינרטי ובקרת מקורות הצתה.

7.6.3 השימוש באמוניה בתהליכים שונים

אמוניה נמצאת בשימוש רחב במגוון תהליכים, דוגמת ייצור אמוניום ניטראט, חומצה חנקתית, אמוניום פוספט, אמוניום סולפט ואוראה, אשר בהם מערכות סולקנים מודרניות. לרוב משתמשות בתמיסות חומציות במקום במים פשוטים. נוכחות החומרים הנדיפים והבלתי יציבים שהוזכרו לעיל המוכלים באמוניה המקורית, דוגמת הגזים מימן ומתאן, צריכה להילקח בחשבון בעת תכנון מערכות התגובה וסילוק מזהמי האוויר. כמו-כן, יש לנקוט באמצעים המתאימים, דוגמת אלו שפורטו לעיל.

7.7 סיכונים מפעולות תחזוקה

7.7.1 בדיקת מיכלי אחסון

כפי שתואר לעיל, סדקי לחץ קורוזיה (SCC) מהווים אחת מהדאגות העיקריות בהיבט של פוטנציאל ההשפעה על אמינות המיכלים. מיכלים וכלים קטנים לאחסון אמוניה הינם לרוב בעלי מערכות שחרור-לחץ תרמיות ולכן נחשבים כחופשיים מסיכונים היווצרות SCC. אם נדרש ביצוע תיקונים או שינויים במיכל המערכים ריתוך או עבודה חמה, האיזורים המושפעים צריכים לעבור שחרור לחץ תרמי על מנת להסיר לחצים מכאניים.

כאשר האמוניה מאוחסנת בלחצים הגבוהים משמעותית מהלחץ האטמוספרי ובטמפרטורה הגבוהה משמעותית מטמפרטורה הרתיחה האטמוספרית שלה, הפוטנציאל של נזקי SCC גדל, ולאורך השנים רבים מהם סבלו מנזקי SCC והוצאו מכלל שימוש.

מיכלי צילינדר גדולים מתופעלים בסביבות ה-33°C- ונוטים הרבה פחות לסבול מנזקי SCC. יחד עם זאת, הם צריכים להיות תחת ביקורת והשגחה בתדירות המתאימה על מנת לבסס את האמינות המבנית שלהם. ה-EFMA פירסם מדריכים רלוונטים הקשורים לנושא (EFMA, 2002b).

במקרה של מיכלים גדולים המכילים אמוניה בקירור מלא, בדיקות או ביקורות שגרתיות צריכות להתבצע על מנת להבטיח כי בסיס המיכל נמצא במצב תקין. במקומות בהם מותקנים מחממים יש לבדוק אותם לצורך שמירה על המשך ביצועים תקינים.

7.7.2 השבתה

כחלק מפעולות ההשבתה של מיכל, יש צורך לטהר את המיכל, עדיף בעזרת חנקן, לפני שניתן יהיה לנתק כל מערכת הצנרת. אם הקווים צריכים להיות מנותקים מהחלק העליון לתחתון של המיכלים או הכלים שהכילו אמוניה במהלך תקופת בידוד, יש להקפיד להסיר את העיקול או השסתום העליון תחילה ואז לחסום אותו (דהיינו לאטום). לאחר מכן, יש להוציא את השסתום או הקו התחתון. אם שני העיקולים או השסתומים יוסרו יחד בהיסח הדעת, האמוניה תשתחרר מבעד לעיקול העליון עקב תופעת "ארובה" שתיווצר. דבר זה יכול להיות בעל פוטנציאל מסוכן ומזיק, שכן אוויר יכול להישאב לתוך הכלי באותו הזמן וליצור תערובת דליקה של אמוניה/אוויר אשר עלולה להידלק בהינתן מקור הצתה זמין.

בעת מילוי מיכלים במים לאחר שחרור הלחץ מהם, אולם לפני שרוקנו מהאמוניה האטמוספרית לחלוטין, יש לנקוט באמצעי זהירות על מנת לבקר את זרם המים למיכל בזירות מירבית ויש להסיר מכסה-פיר או כיסוי דומה בצידו העליון של המיכל על מנת למנוע היווצרות וואקום בתוך הכלי (עקב ספיחה של האמוניה לתוך המים). הבדיקה עצמה הינה פעולה הדורשת מיומנות רבה ומידה ניכרת של הכנה ומומחיות טכנית. חובה למצוא מדריך מתאים בעת נקיטת פעולה זו (Duisters, 2007).

7.7.3 הטענה והטענה-מחדש

פעולת ההטענה-מחדש של מיכל לאחר בדיקתו צריכה להיות מבוצעת באותה מידת הזהירות, על מנת להקטין למינימום את הסיכון של כניסת חמצן, למניעת הישנות מקרים של לחצים תרמיים ולשמור על יציבות המיכל.

תקרית חדשה של כשל במיכל גדול במהלך ההטענה-מחדש מראה כיצד רצף של אירועים יכול להיות קשה מאוד לחיזוי וכיצד התוצאות יכולות להיות כה בלתי צפויות (EFMA, 2005b).

תיאור מקרה: ב-4 בינואר, 2005, בעת הכנת מיכל אמוניה לחזרה לשירות לאחר עבודות תחזוקה על התאמת הצנרת (המיכל עצמו לא נפתח אלא רק רוקן עד לרמתו המינימלית), תגובה אלימה התחוללה בתוך המיכל. למעלה מ-100 טון של אמוניה שוחררו (25% שוחררו מיד והשאר הופרשו במשך כ-20 שעות). עקב החשיפה לאמוניה נגרם מקרה מוות אחד (מפעיל שמת לאחר 8 שבועות בבית חולים) ומפעיל נוסף נפצע. לא אירעו מקרי פגיעה בקרב הציבור. הנזק למיכל לא איפשר את תיקונו. מה השתבש שם? תהליך הצינון של המיכל מולא בהתאם להליכים המומלצים עבור הטענה-מחדש. ראשית, תמיסת אמוניה מימית הוספה למיכל. לאחר מכן, אמוניה קרה נזרחה כרסס מלמעלה, אשר באופן רגיל היה מתמוסס מיד בתמיסת האמוניה. אולם, ללא ידיעת המפעילים, שכבת שמן דקה צפה וכיסתה את חלקה העליון של תמיסת האמוניה, דבר שמנע ערבוב תקין של הטיפות. סביר להניח שפתיחת שסתום הניקוז גרמה לשבירה של אותה שכבת שמן שהובילה לערבול אלים בין האמוניה ותמיסת מי-האמוניה, אשר גרם לעלייה פתאומית בטמפרטורה של האמוניה והוביל לעלייה מהירה בלחץ. שסתומי השחרור לא תוכננו לעמוד בכך. כתוצאה מזה, המיכל התנפח ונקודות הריתוך המחברות אותו כשלו ונפרצו. אחד המפעילים נפל, שבר את רגלו ולא יכול היה לברוח מהמקום; מאוחר יותר הוא נפטר. הלקח המרכזי שנלמד היה שהליך הקירור של מיכלי האמוניה צריך להשתנות באופן כזה שייקח בחשבון את האפשרות של נוכחות שכבת שמן הקיימת במיכל.

למרות שקשה להצית את האמוניה, כאשר נדרשים תנאים קיצוניים על מנת להצליח בכך, נותרת בעיניה העובדה שקיימת סכנת התפוצצות בהינתן התנאים המתאימים. סיכון זה צריך להילקח בחשבון ויש לנקוט באמצעי הבטיחות המתאימים, במיוחד בעת ביצוע הליכים או פעולות תחזוקה המערבות עבודה בתנאי חום. אפילו מערכות עם תמיסות אמוניה אינן יכולות להיחשב כחופשיות לחלוטין מסיכון זה. מספר תאונות פיצוץ התרחשו המערבות מיכלי תמיסות אמוניה ממספר סיבות, דוגמת חימום מקומי עקב ריתוך ללא טיהור מתאים של גז האמוניה ופיצוץ עקב היווצרות חשמל סטטי.

7.7.4 בדיקת הקווים, השסתומים והציוד ההיקפי

קווי האמוניה צריכים לעבור בדיקות תקופתיות באופן קבוע, הן בבדיקה ויזואלית והן בבדיקות הנדסיות תקופתיות, כאשר יש לקחת בחשבון את הסבירות לקורוזיה המצטברת תחת שכבות

הבידוד, סדקי לחץ קורוזיה, מצב קווים אחרים במתקן, אמינות התמוכות בתנאי מזג אוויר קשים (דוגמת עומסי משקל עודפים עקב הצטברות שלג/קרח וכד').

לפני ביצוע עבודות תיקונים חמות, הקווים צריכים להיות מרוקנים לחלוטין מאמוניה. הליך זה דורש ככלל מספר צעדים. למשל, קו המספק אמוניה למפעל צרכן יידרוש בידוד בצד המספק, דבר שיימשוך את האמוניה כך שתיווצר נפילת לחץ והקו יתחיל להפגין סימני קיפאון. במקרים אלו יש לנקוט בפעולות הבאות: הפעלת כריות חימום או קיטור לצורך אידוי שיירי האמוניה הנוזלית, משיכת אדי האמוניה מהמאווררים לאורך בעזרת צנרת ושחרור האדים הללו למערכת סולקן אמוניה, לערימת הבעירה המבוקרת של האתר או למיכל המלא במים, החלקת-הכיסוי (דהיינו איטום) לאחר השלמת האיורור ולבסוף טיהור בעזרת חנקן עד שניתן להשיג רמת בטיחות תקינה הנוגעת למידת הדליקות של המערכת. יש לנקוט בזהירות בהליכי הבידוד על מנת לוודא שהאמוניה הנוזלית לא תיכלא בין שני שסתומים במערכת, מכיוון שאם אותו מקטע יהיה מלא, אפילו אם יהיה מתחת לטמפרטורת הסביבה, אותו קו יוכל לסבול מלחץ יתר. אם ישנם אי אילו שסתומי שחרור לחץ בין שני השסתומים המבודדים, אזי יש להרים את שסתומי השחרור; אם אין שסתומי שחרור שכאלו בנמצא, ייתכן שהקו יתפוצץ. בעיות יכולות לצוץ גם אם שמן מצטבר בתוך הקו, למשל בטמפרטורות נמוכות. נסיונו התפעולי והתחזוקתי של המפעל יעזור לחשוף בעיות שכאלו.

קרה וקיפאון על גבי הקווים או סביב השסתומים יכולים לרמז על פגמים בשסתומים או בידוד ירוד (או לרמז על שני הדברים גם יחד). יש להקפיד על תחזוקה טובה והפעלות מבחן, במקרה הצורך, של השסתומים. שסתומי שחרור דורשים בדיקות תקופתיות על בסיס קבוע וזו דרישה המעוגנת בחוק במדינות רבות.

כאשר הצנרת או זרועות Chicksan משמשים להעברת אמוניה נוזלית, חשוב מאוד שיבוצעו בדיקות קבועות ומבחנים מתאימים על מנת לוודא את תקינות ואמינות העבודה ההנדסית של המכשירים. להדרכה תעשייתית, ניתן לעיין במסמכים הרלוונטיים שהוצאו על ידי ה-CIA (1990) ועל ידי TFI (1998). מפרטים מתאימים של פריטי ציוד אלו, במיוחד של הצנרת, חייבים להישמר ולהיות מרועננים בהתאם להוראות.

7.8 חקיקה ותקינה

האמוניה הינה כאמור חומר רעיל, ולכן היבטי הייצור, האחסון, הטיפול והשינוע ממקום למקום נתונים למספר חוקים, תקנות, תקנים והנחיות (בעיקר של הרשויות של בריטניה, של האיחוד האירופי ושל האו"ם).

7.8.1 סיווג, אריזה ותיווי של האיחוד האירופי

בהתאם לדירקטיבה 67/548/EC בעניין סיווג ותיווי חומרים מסוכנים, האמוניה חייבת להיות מסווגת בהתאם, כאשר משפטי בטיחות ומשפטי סיכון מתאימים חייבים להיות בשימוש בהקשרה.

מספר CAS: 7664-41-7

מספר EINECS: 231-635-3

סיווג: רעיל (T), מסוכן לסביבה (N)

משפטי סיכון:

R10: דליק

R23: רעיל בשאיפה

R34: גורם לכוויות

R50: רעיל מאוד ליצורים החיים במים

משפטי בטיחות:

S9: שמור את האריזה במקום מאוורר היטב

S16: הרחק ממקור הצתה

S26: במקרה של מגע עם העניים, שטוף מיד בהרבה מים ופנה לייעוץ רפואי

S36/37/39: השתמש בביגוד מגן, כפפות מגן, ומשקפי מגן/פנים מתאימים

S45: בעת תאונה או אם אתה חש ברע, פנה מיד לייעוץ רפואי והצג את תווית האריזה

S61: מנע שחרור לסביבה; התייחס להוראות מיוחדות ולגיליון בטיחות

יש לציין כי תמיסות מימיות של אמוניה מסווגות באופן שונה, ועבורן ישנם משפטי R ו-S שונים במקצת, בתלות בריכוז האמוניה בתמיסה.

7.8.2 תקנות לבקרת סיכונים תאונות גדולים משנת 1999 ותיקונים (2005), (UK) והקהילה האירופית)

תקנות אלו של בריטניה מבוססות על דירקטיבות הקהילה האירופית (EC) 96/82/EC ו-2003/105/EC. הן מתייחסות לאמוניה כחומר רעיל בספים עליון ותחתון של 50 ו-200 טונות, בהתאמה. התקנות מציבות מספר דרישות הקשורות לבטיחות; כמה דרישות בסיסיות הנוגעות לסף התחתון וכמה דרישות מורחבות יותר בנוגע לחציית הסף העליון.

7.8.3 תקנות התכנון (חומרים מסוכנים) 1992, (UK)

התקנות של בריטניה תקפות בכל הנוגע לאמוניה (אל-מימית, או תמיסות המכילות >50% אמוניה משקלית) ברמת הסף-הכמותי המבוקר (100 טון ומעלה). התקנות דורשות יידוע גוף מבקר בנוגע לתכולת מלאי החומרים המסוכנים, וכוללות ביצוע הערכת סיכונים לצרכי תכנון.

7.8.4 הוראות לגבי שינוע

בהתאם לספר הכתום של האו"ם (UN, 2007a), פרטי הסיווג של אמוניה אל-מימית הינם כדלקמן:

מסר או"ם:

1005

סיווג:

2, קוד סיווג: 2TC

(T מייצג "רעיל", C מייצג "מאכל")

קבוצת סיכון:

2.3+8 (גז רעיל + חומר מאכל/קורוזיבי).

הוראה מיוחדת 23 מיושמת בתנאים אלו, והיא מציינת:
למרות שחומר זה בעל סיכון התלקחות, הוא מציג סיכון זה רק תחת תנאי אש קיצוניים באיזורים סגורים. חשוב לציין כי במערכת הסיווג עצמה, אין התייחסות לסיכונים התלקחות. האמוניה נמצאת ברשימת הטובין בעלי הסיכוי להשלכות מסוכנות, המופיעה בספר הכתום בשל חשש בטיחותי הנוגע לנסיבות שעלולות להתעורר עקב שימוש לא נכון בחומר. תמיסות מימיות של אמוניה מכוסות על ידי מספרי או"ם שונים (למשל 3318, 2073 ו-2672), ובחלק מהמקרים התמיסות מקבלות סיווג דומה לתמיסות אל-מימיות.

7.9 נהלי חירום

פוטנציאל הסיכון העיקרי שיש לקחת בחשבון הינו סיכון הרעילות של החומר. שחרור של אמוניה נוזלית ממקורות בעלי לחץ גבוה נוטה להביא להופעת עננים לא-צפים או כבדים-מן-האוויר המאופיינים בהיותם קרים (מגיעים ל-33°C-) ואפילו פחות מכך) וצפופים, המשבשים את הראות. לשם השוואה, שחרור ממקורות קרים שעברו קירור מלא הנוטה ליצור בריכות וענני אדי האמוניה הנוצרים, אינם כה צפופים ונוטים יותר להיות בעלי יכולת ציפה. בכל המקרים, שמירה על בטיחותם של אנשי המקצוע ועוברי אורח באזור מפני חשיפה לאמוניה הינה בעלת בחשיבות עליונה.

שפך אמוניה ואדי אמוניה הינם קשים להצתה, במיוחד באוויר הפתוח. יש לבדוד את מקור הדליפה, לנקוט באמצעי המנע המתאימים בכל הנוגע לחשיפה לאמוניה על ידי לבישת ציוד מגן אישי מתאים, דוגמת חליפת הגנה מלאה ומערכת נשימה. ניתן לעכב את שחרור האדים מהבריכות על ידי כיסוי שטח הפנים של הבריכה בקצף, וכן ניתן להפחית את ריכוז האמוניה הנסחף עם הרוח על ידי העמדת מסכי מים או רסיסים במסלולו של ענן האדים. אין להתיז מים ישירות לתוך האמוניה הנוזלית, שכן התערובת תייצר חום רב ותעלה את קצב האידוי.

הערכת סיכונים בחלופות הנבחרות

7.10 מבוא

החלופות בפרק זה מוצגות בצורה סכמטית תוך הדגשת הפרטים המרכזיים בלבד. בהתאם, גם ניתוחי הסיכונים בוחנים מספר מצומצם של תרחישים שנבחרו בתיאום עם אגף חומרים מסוכנים, ונועדו לאפשר בהמשך השוואה יחסית בין החלופות השונות במונחי עלות/תועלת. החלופות כוללות הקמה של מפעל לייצור אמוניה בישראל, הקמת מכל חוף חדש שמחליף את זה הקיים בחיפה, הקמת מפעל משותף ישראלי-ירדני בירדן מדרום לעקבה, הפחתת נפח האחסון בחיפה והשלמה באמצעות יבוא מירדן. החלופה האחרונה היא שימור המצב הקיים תוך שיפורי מיגון.

חשוב להבהיר, כי פרק זה אינו מהווה חזרה על הניתוח שבוצע בדו"חות קודמים, כגון דו"ח ועדת שפיר, ובהתאם גם אינו מנסה להעריך מספרי נפגעים באזור חיפה במקרה של תקלה. התרחישים מהווים כלי המשמש לצורך השוואה בין החלופות.

בחלק מהתרחישים שבחנו עלתה השאלה לגבי הסבירות של תהליך קטסטרופלי (BLEVE). באופן כללי ניתוח של תהליכי BLEVE מחייב מידע מפורט על מתקני האחסון, אמצעי המיגון ופרוצדורות התחזוקה. כיוון שהחלופות מוצגות באופן סכמטי, לא ניתן לנתח את הסבירות של התרחשויות BLEVE, ובהתאם זה לא נכלל בתרחישים. אנו מניחים, כי מיכלי אמוניה גדולים (דוגמת זה שבנמל חיפה) מתוכננים ומתוחזקים ברמה גבוהה, ולכן מוגנים מפני תהליכים קטסטרופליים.

עיקרי המסקנות:

הסיכון הנמוך ביותר הוא בחלופה ג', בה הייצור מתבצע בירדן דרומית לעקבה, בעיקר בזכות המטאורולוגיה (רוחות צפוניות) שמבטלת את הסיכונים ממיכלי אחסון ומתובלה ימית. חיסרון מרכזי של חלופה זו היא התלות המוחלטת של ישראל בירדן באספקת אמוניה. אם חלופה זו תיבחר, מומלץ להשקיע משאבים בשימור המיכל בחיפה ו/או במיכל חירום במקום אחר על מנת שניתן יהיה להשתמש בו בזמני משבר.

החלופה השנייה בטיבה היא חלופה א', הקמת מפעל אמוניה בדרום הארץ. יתרונה הוא בריחוק ממרכזי אוכלוסיה ובהעדר הצורך בתובלה ימית. חלופה זו מבטלת את התלות של ישראל ביבוא אמוניה.

7.11 חלופה א' – הקמת מפעל ייצור אמוניה בדרום הארץ

עקרונות:

- הקמת מפעל ייצור אמוניה בישראל בדרום הארץ
- חלופה זו מבטלת את הצורך ביבוא אמוניה
- חלופה זו מכסה את צורכי השוק המקומי. ללא עודפים. לפיכך אין צורך במיכל חוף ליצוא ואין מגבלה עקרונית למקם את המפעל בכל מקום בארץ.
- אתר מועדף בדרום – מישור רותם או רמת-חובב, עם עדיפות למישור רותם, בגלל הסמיכות למפעל חיפה כימיקלים דרום (אחד מצרכני האמוניה המרכזיים בדרום הארץ)
- שינוע במשאיות:
 - o צפון הארץ: שינוע בציר הערבה המערבי, אזור בית שאן ובהמשך לאורך כבישים 66, 71 ו-70 לכיוון חיפה. סיכון פוטנציאלי לערים כגון בית שאן, עפולה, חיפה, כמו גם לכל הקיבוצים והמושבים לאורך הנתיב
 - o דרום הארץ: מרבית הצרכנים נמצאים מדרום לבאר שבע, ולכן שינוע לא צפוי לעבור בסמיכות למרכזי אוכלוסיה.
- שינוע ברכבת
 - o היתרון המרכזי הוא באפשרות לתנועה ללא הפרעה/פקקי תנועה. לפיכך קל לבצע שינוע ברכבת בשעות היום בהם התנאים המטאורולוגיים תת-אדיאבטיים.

- o החיסרון הוא שפסי רכבת עוברים כיום רק ממערב ליהודה ושומרון ובסמיכות למרכזי אוכלוסיה גדולים. אין קו רכבת בציר הערבה המערבי.

הנחות:

- תפוקה של 130,000 טון לשנה לצורכי שוק מקומי בלבד (ללא יצוא)
- מכל תפעולי של 8,000 טון במפעל, מקורר, בלחץ אטמוספרי וטמפ' של 32.6- מעלות צלזיוס, טמון (לרבות הטמנה עילית), מוגן (לרבות מפני רעידות אדמה)
- מיכל האמוניה בנמל חיפה יבוטל
- תובלה במשאיות – 25 טון

ניתוח והערות נוספות:

הערות כלליות

- נבחנו תרחישי סיכון בשגרה ובחירום ובוצעו הערכות סיכונים בהתאם.
- מרוחק יותר ממרכזי אוכלוסיה לעומת המצב הקיים.
- קל יותר ליישום בהיבט של התנגדות תושבים

סיכונים ממילי אחסון

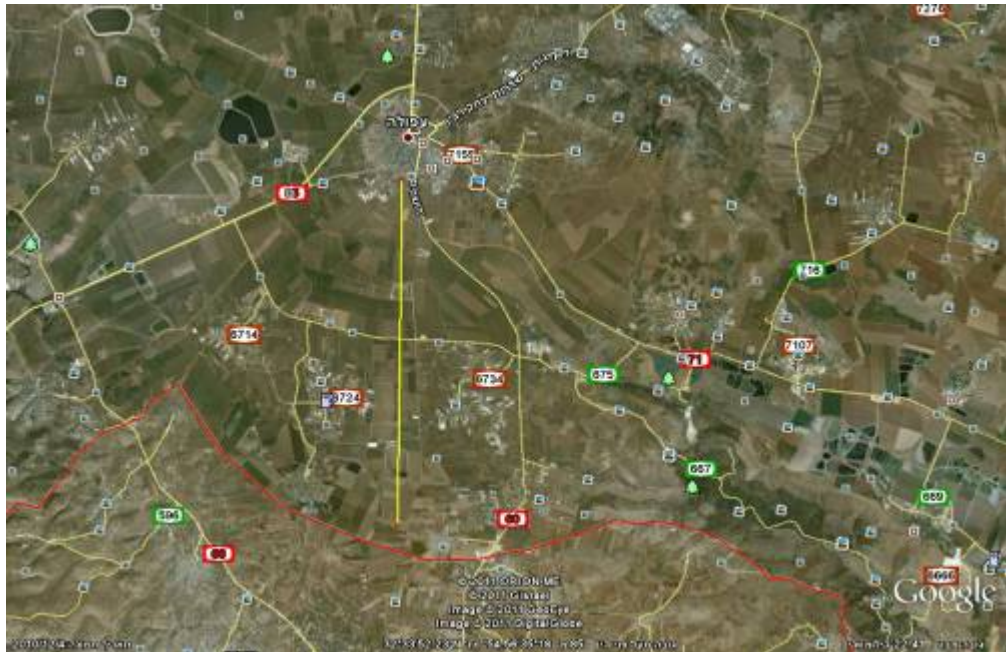
- מרחקי הסיכון המתקבלים בדרך כלל לא מגיעים למרכזי אוכלוסיה גדולים ולכן מהיבט זה חלופה זו עדיפה על המצב הקיים

סיכוני תובלה

- תובלה יבשתית: הסיכון מהובלת האמוניה פוחת משמעותית בחלופה זו לעומת המצב הקיים:

- o במצב הקיים יש 5 משאיות ביום היוצאות מחיפה לכיוון דרום. המשאיות נוסעות בצירים הראשיים (כביש 6? כבישים 2 ו-4) העוברים בסמוך למרכזי אוכלוסיה צפופים.
- o בחלופה זו יכנסו לחיפה 5-6 משאיות ביום ועוד כ-5 משאיות יגיעו ישירות למפעלים בדרום הארץ ללא מעבר בסמיכות למרכזי אוכלוסיה
- o הסיכון המקומי בחיפה לא ישתנה, אך המשאיות לחיפה יעברו בדרך בסמיכות לשתי ערים מרכזיות בלבד – בית שאן ועפולה. זאת בניגוד למצב הקיים בו המשאיות לכיוון דרום חולפות בסמיכות למרכזי אוכלוסיה גדולים באזור המרכז.
- o ניתן להפחית משמעותית את הסיכון לעפולה על ידי סלילת כביש מקביל לכביש 667 מדרום, בצמוד לקו הירוק.

באזור הבא ניתן לראות את המרחקים הגורמים להפחתת הסיכון לעפולה על ידי סלילת כביש מקביל לקו הירוק. המרחק של עפולה מהכביש יעמוד על 7.5 - 9 ק"מ. (הקו הצהוב בתצלום אורכו כ-9 ק"מ). הקו הצהוב בתצ"א מייצג מרחק של כ-9 ק"מ



• תובלה ימית

0 חלופה זו מבטלת בהגדרה את הסיכון מתובלה ימית

7.12 חלופה ב' – העתקת המיכל לאתר חלופי

עקרונות:

- העברת המיכל הקיים במפרץ חיפה למקום אחר, דהיינו בניה של מיכל חוף חדש המחייב מקשר ימי/נמל.
- חלופה זו ממשיכה את ההתבססות על יבוא אמוניה
- אתר מועדף – אשדוד או אשקלון, עם עדיפות לאשקלון, בסמיכות לתחנת הכוח רוטנברג
- הרציונל – מיכל חדש, מוגן יותר, מרוחק מאזור פעיל סיסמית, שלא בסמוך למצבור תעשיות כבד

הנחות:

- קיבולת המיכל – 12,000 טון (זהה לתכולה של המיכל הקיים במפרץ חיפה)
- מיכל האמוניה בנמל חיפה יבוטל

ניתוח והערות נוספות:

הערות כלליות

- נבחנו תרחישי סיכון בשגרה ובחירום ובוצעו הערכות סיכונים בהתאם.
- צפוי קושי ליישום בגלל התנגדות של תושבים (צפון/דרום)

- סיכון בטחוני בגלל הסמיכות לרצועת עזה – המיכל עלול להפוך מטרה מועדפת לירי טילי חמאס

סיכונים ממיכלי אחסון

- מבחינה מטאורולוגית, הקמת מיכל חוף בסמוך לתחנת הכוח רוטנברג מדרום לאשקלון זו האפשרות המועדפת. אמנם אין בידנו נתוני סטטיסטיקה מטאורולוגית לאזור, אך ניתן להעריך בביטחון שכיוון הרוח הדומיננטי הוא צפון מערבי (מחייב בדיקה נוספת), בניצב לקו החוף. לפיכך גם אם תתרחש תקלה שתוביל לפיזור חומר, רוב הסיכויים שהאזור המוכה יהיה מיושב בדלילות יחסית.
- מרחקי הסיכון דומים לאלו מהמיכל הקיים בחיפה

סיכוני תובלה

- תובלה יבשתית: חלופה זו אינה מהווה שיפור/הרעה לעומת המצב הקיים – המשאיות שהובילו אמוניה לכיוון דרום יעברו עתה בריחוק ממרכזי אוכלוסיה, אך יהיו משאיות נוספות שיובילו אמוניה לכיוון צפון, כפי הנראה דרך כבישים 2, 4 ו-6, כמו שמתבצע כיום בכיוון ההפוך.

תובלה ימית

- פריקת אוניות במסוף אשקלון עדיפה, שכן הספינה עוגנת כ-2 ק"מ מקו החוף. בחיפה העגינה היא בתוך הנמל במסוף הכימיקלים.
- משיקולים מטאורולוגיים (כיוון רוח ומרחק), במקרה תקלה הסיכוי לפגיעה באזורים צפופי אוכלוסיה נמוכים במסוף אשקלון, ביחס לנמל חיפה ונמל אשדוד.

7.13 חלופה ג' – מיזם ישראלי-ירדני להקמת מפעל אמוניה בירדן מדרום לעקבה

עקרונות:

- הקמת מפעל ייצור ישראלי-ירדני בסיוע מימון בינלאומי. המפעל יכסה את צורכי השווקים הישראלי והירדני, ולפיכך יתוכנן לייצר בתפוקה של מעל 300,000 טון לשנה.
- המפעל ימוקם דרומית לעקבה, תוך הישענות על נמל עקבה לצורכי יבוא חומרי גלם ויצוא עודפי אמוניה
- הישענות על מיכל קיים בסמוך לעקבה (מתקן האחסון ב-WADI, 15 ק"מ דרומית לנמל עקבה)
- שינוע:

- 0 ציר צפוני: שינוע בציר הערבה המזרחי, כניסה לישראל באזור בית שאן (גשר מעוז, ליד מעוז חיים) ותובלה עד לחיפה לאורך כבישים 71, 66 ו-70. סיכון פוטנציאלי לערים כגון בית שאן, עפולה, חיפה, כמו גם לכל הקיבוצים והמושבים לאורך הנתיב
- 0 ציר דרומי: שינוע בציר הערבה המזרחי, כניסה לישראל באזור ים המלח (גשר אלנבי) ותובלה עד למפעל (חיפה כימיקלים) דרום (מישור רותם). מומלץ לשקול הקמת מעבר גבול יעודי מדרום לים המלח, על מנת לקצר את ההובלה ולהימנע ממעבר בקרבת שטחים הנשלטים על ידי הרשות הפלסטינית.

הנחות:

- קיבולת אחסון בעקבה – 40,000 טון¹ בשני מכלים מוגנים (30,000, ו-10,000 טון)
- מיכל האמוניה בנמל חיפה יבוטל
- הערה – יתכן ותתחייב המשך תחזוקה של המיכל הקיים בחיפה ו/או הקמת מיכל חירום במקום אחר, למצבי משבר
- כפי שיוסבר להלן, סטטיסטיקת הרוח באזור המפעל היא כזו שאינה יוצרת סיכון במדינת ישראל. לכן תרחישי הסיכונים היחידים הרלוונטיים הם אלו הקשורים לתובלה במכליות.

ניתוח והערות נוספות:

הערות כלליות

- נבחנו תרחישי סיכון ובוצעו הערכות סיכונים בהתאם.
- חלופה זו היא המועדפת מבחינת הסיכונים בישראל.
- למרות זאת יש לזכור שחלופה זו יוצרת תלות מוחלטת של ישראל בירדן. אי יציבות פוליטית בירדן עלולה לפגוע בערוץ יבוא חשוב זה ולגרום לנזק תעשייתי למפעלים שונים. גם אם חלופה זו תרקום עור וגידים, מומלץ להמשיך ולתחזק את המיכל בנמל חיפה (או מיכל חלופי במקום אחר), על מנת שניתן יהיה להשיב אותו לפעילות בעת הצורך.

סיכונים ממיכלי אחסון

- פגיעה במכלים בירדן – סיכון פוטנציאלי באזור אילת ועקבה
- 0 תרחיש זה למעשה אינו מסכן את אזור אילת. מניתוח סטטיסטיקת כיווני הרוח באזור אילת עולה שהרוח תמיד צפונית, בממוצע בכיוון צפון-צפון מזרח.
- (http://www.windfinder.com/windstats/windstatistic_eilat.htm)
- 0 גם אילו היה קיים סיכון, יבוא מירדן לא מגביר משמעותית את הסיכון כיוון שמיכלים אלו כבר קיימים ממילא, ההבדל היחיד היא שכמות האמוניה שמאוכסנת באופן שוטף תגדל.

¹ על פי הנתונים במאמר של Haddad, כיום יש ב-JPMC בעקבה שני מכלים בקיבולת 30,000 ו-10,000 טון. אנו מניחים שלא יהיה צורך להרחיב את נפח האחסון.

סיכוני תובלה

- תובלה יבשתית: הסיכון מהובלת האמוניה פוחת משמעותית בחלופה זו לעומת המצב הקיים:
 - o במצב הקיים יש 5 משאיות ביום היוצאות מחיפה לכיוון דרום. המשאיות נוסעות בצירים הראשיים (כביש 6? כבישים 2 ו-4) העוברים בסמוך למרכזי אוכלוסיה צפופים.
 - o בחלופה זו יכנסו לחיפה כ- 5-6 משאיות ביום ועוד כ-5 משאיות יגיעו ישירות דרומה ללא מעבר בסמיכות למרכזי אוכלוסיה בישראל
 - o הסיכון המקומי באזור חיפה לא ישתנה, אך המשאיות לחיפה יעברו בדרך בסמיכות לשתי ערים מרכזיות בלבד – בית שאן ועפולה. זאת בניגוד למצב הקיים בו תעבורת המשאיות עוברת בסמיכות למרכזי האוכלוסייה של אזור המרכז.
 - o ישנו חשש לעליה מסוימת בסיכון לתקלה בהובלות, כיוון שההובלות תבוצענה על ידי משאיות ירדניות, ומידת השליטה על תקינותן ובטיחות התובלה מוגבלת יותר.
 - o ניתן להפחית משמעותית את הסיכון לעפולה על ידי סלילת כביש מקביל לכביש 667 מדרום, בצמוד לקו הירוק
- תובלה ימית
 - o בדומה לניתוח לגבי המיכלים, גם הסיכון מתובלה ימית למעשה לא קיים, כיוון שמזח הטעינה נמצא מדרום לאילת/עקבה. הרוחות הם צפוניות בכל ימות השנה.

7.14 חלופה ד'1 – הפחתת נפח האחסון המרבי במיכל במפרץ חיפה ופתיחת ערוץ יבוא

מקביל מירדן

עקרונות:

- הורדת כמות האמוניה במיכל הקיים במפרץ חיפה לכ-60% מהתכולה הנוכחית, בעיקר לצורכי המפעלים במפרץ (חיפה כימיקלים ודשנים). האמוניה למיכל במפרץ תמשיך להגיע ביבוא באמצעות תובלה ימית.
- האמוניה הנדרשת להספקה לדרום תושלם באמצעות יבוא מירדן בדגש למפעלים בדרום
- שינוע מירדן בכביש הערבה המזרחי.
- חלופה זו ממשיכה את ההתבססות על יבוא אמוניה

הנחות:

- המיכל בנמל חיפה יקבל היתר לנפח אחסון מרבי של 7,000 טון, לעומת 12,000 טון כיום
- הסיכונים ממכלי האמוניה בירדן והפעילות סביבם אינה מסכנת את מדינת ישראל בגלל סטטיסטיקת הרוח מדרום לעקבה. הסיכון היחידי ביבוא מירדן הוא בתובלה היבשתית.

ניתוח והערות נוספות:

הערות כלליות

- נבחנו תרחישי סיכון בשגרה ובחירום ובוצעו הערכות סיכונים בהתאם.
- אפשרות זו מקנה גמישות מסוימת, אם הירדנים לא יעמדו בהתחייבותם, ניתן יהיה בזמן קצר לחזור למצב הנוכחי של יבוא מלא דרך נמל חיפה
- הפחתת הסיכונים המרכזית בחלופה זו בהפחתת נפח התעבורה של מכליות אמוניה הנוסעות בסמיכות למרכזי אוכלוסיה.

סיכונים ממיכלי אחסון

- הסיכון באזור חיפה לא משתנה משמעותית לעומת המצב הקיים (הסיכון הוא מענן ראשוני ו/או נידוף מפני השטח, וזה לא משתנה מהותית)

סיכוני תובלה

- תובלה יבשתית: הסיכון מהובלת האמוניה פוחת משמעותית בחלופה זו לעומת המצב הקיים:
 - במצב הקיים יש 5 משאיות ביום היוצאות מחיפה לכיוון דרום. המשאיות נוסעות בצירים הראשיים (כביש 6? כבישים 2 ו-4) העוברים בסמוך למרכזי אוכלוסיה צפופים.
 - בחלופה זו לא יכנסו או יצאו משאיות מחיפה, ועוד כ-5 משאיות יגיעו ישירות דרומה (מירדן) ללא מעבר בסמיכות למרכזי אוכלוסיה בישראל
 - הסיכון המקומי באזור חיפה לא ישתנה ובנוסף יתייתר הצורך בתעבורת המשאיות בסמיכות למרכזי האוכלוסייה של אזור המרכז.
 - ישנו חשש לעליה מסוימת בסיכון לתקלה בהובלות, כיוון שההובלות תבוצענה על ידי משאיות ירדניות, ומידת השליטה על תקינותן ובטיחות התובלה מוגבלת יותר.

• תובלה ימית

- בדומה לניתוח לגבי המיכלים, גם הסיכון מתובלה ימית למעשה אינו שונה מהותית מהמצב הקיים.
- ישנו יתרון בהפחתה בנפח האמוניה שספינות המשא נושאות, עתה הוא יהיה מוגבל לכ-6,000 טון. ההפחתה תקצר את זמן הפריקה ולכן את פרק הזמן שבו קיים סיכון פוטנציאלי.

7.15 חלופה ד'2 – הפחתת נפח האחסון המרבי במיכל במפרץ חיפה והקמת מיכל חוף

נוסף

עקרונות:

- הורדת כמות האמוניה במיכל הקיים במפרץ חיפה לכ-60% מהתכולה הנוכחית, בעיקר לצורכי המפעלים במפרץ (חיפה כימיקלים ודשנים).
- האמוניה הנדרשת להספקה לדרום תושלם באמצעות יבוא דרך מיכל חוף נוסף שייבנה.
- אתר מועדף – אשדוד או אשקלון, עם עדיפות לאשקלון, בסמיכות לתחנת הכוח רוטנברג
- חלופה זו ממשיכה את ההתבססות על יבוא אמוניה
- הפחתת הסיכונים המרכזית בחלופה זו בהפחתת נפח התעבורה של מכליות אמוניה הנוסעות בסמיכות למרכזי אוכלוסיה.

הנחות:

- המיכל בנמל חיפה יקבל היתר לנפח אחסון מרבי של 6,000 טון לעומת 12,000 טון כיום
- מיכל נוסף של 6,000 טון יבנה באתר חוף נוסף
- קישור למפעלים בדרום בצנרת או במכליות כביש

ניתוח והערות נוספות:

הערות כלליות

- נבחנו תרחישי סיכון בשגרה ובחירום ובוצעו הערכות סיכונים בהתאם.
- הפחתת הסיכונים המרכזית בחלופה זו היא בהפחתת נפח התעבורה של מכליות אמוניה הנוסעות בסמיכות למרכזי אוכלוסיה.
- גמישות בניהול משק אחסון האמוניה
- הכפלת הסיכון באחסון בשגרה, בגלל קיומם של שתי אתרים

סיכונים ממיכלי אחסון

- מרחקי הסיכון במיכל הדרומי דומים לאלו מהמיכל הקיים בחיפה
- בחלופה זו האתר המועדף להקמת המפעל ומיכל החוף הוא בסמוך לתחנת הכוח רוטנברג מדרום לאשקלון, משיקולים מטאורולוגיים. אמנם אין בידנו נתוני סטטיסטיקה מטאורולוגית אמינה לאזור, אך ניתן להעריך בביטחון שכיוון הרוח הדומיננטי הוא צפון מערבי (מחייב בדיקה נוספת), בניצב לקו החוף. לפיכך גם אם תתרחש תקלה שתוביל לפיזור חומר, רוב הסיכויים שהאזור המוכה יהיה מיושב בדלילות יחסית.

סיכוני תובלה

- תובלה יבשתית: חלופה זו מהווה שיפור לעומת המצב הקיים – התובלה מחיפה לכיוון דרום מתייתרת, והתובלה מהמסוף הדרומי לא צפויה לעבור בקרבת מרכזי אוכלוסיה.
- תובלה ימית
 - פריקת אוניות במסוף אשקלון עדיפה, שכן הספינה עוגנת כ-2 ק"מ מקו החוף. בחיפה העגינה היא בתוך הנמל במסוף הכימיקלים.
 - משיקולים מטאורולוגיים (כיוון רוח ומרחק), במקרה תקלה הסיכוי לפגיעה באזורים צפופי אוכלוסיה נמוכים במסוף אשקלון, ביחס לנמל חיפה.

7.16 חלופה ה' – המשך המצב הקיים בשילוב שיפורי מיגון ונהלים חדשים לשע"ח

עקרונות:

- שימור על המצב הקיים תוך הידוק פיקוח וניהול לפי הנחיות חירום וירידה למלאי חירום (בעת הוכרז מצב חירום)
- התקנת שיפורי בטיחות ושיפורי מיגון (על פי המלצות ועדת שפיר)
- פיקוח על נפח האניות המייבאות

ניתוח והערות נוספות:

- חלופה זו אינה מנותחת כאן בפרוטרוט מכיוון שהמצב הקיים נותח לעומק בדו"ח ועדת שפיר
- שיפורי המיגון הישימים רלוונטיים גם לחלופות האחרות

7.17 חלופה א' – ניתוח ומסקנות

בניתוח ההשוואתי בין החלופות נתייחס בנפרד לכל תרחיש ונגסה לתת ציון איכותי לתרחיש בכל חלופה. ציון אפס יסמן שלא קיים סיכון וציון 5 יהיה הסיכון הגבוה ביותר מתוך כלל החלופות שנבחנו.

סיכון ממכלי אחסון

חלופה	ציון	נימוק
א	2	מרחקי הסיכון הנומינליים הם כמו במיכל בנמל חיפה, אך השילוב של מיקום ומטאורולוגיה מפחית מאד את הסיכון לאוכלוסיה
ב	2	מרחקי הסיכון הנומינליים הם כמו במיכל בנמל חיפה, אך השילוב של מיקום ומטאורולוגיה מפחית מאד את הסיכון לאוכלוסיה
ג	0	משיקולים מטאורולוגיים, לא קיים סיכון באזור אילת ועקבה
ד1	4	מכלי האחסון נמצאים בסמיכות למרכז חיפה, אזור בעל צפיפות אוכלוסיה גבוהה. הפחתת הנפח לא משנה משמעותית את מרחקי הסיכון.
ד2	5	מכלי האחסון נמצאים בסמיכות למרכז חיפה, אזור בעל צפיפות אוכלוסיה גבוהה. הפחתת הנפח לא משנה משמעותית את מרחקי הסיכון, ומנגד הוספת מיכל חוף מוסיפה אתר בעל סיכון דומה, אם כי באזור צפוף פחות
ה	4	מכלי האחסון נמצאים בסמיכות למרכז חיפה, אזור בעל צפיפות אוכלוסיה גבוהה

סיכון תובלה יבשתית

חלופה	ציון	נימוק
א	2	תובלה של כ-5 משאיות ביום לחיפה, בכביש הערבה המערבי, מעבר מינימלי בסמיכות למרכזי אוכלוסיה
ב	5	תובלה של כ-5 משאיות ביום לכיוון צפון, בכבישים הסמוכים למרכזי אוכלוסיה גדולים
ג	2	תובלה של כ-5 משאיות ביום לחיפה בכביש הערבה המזרחי, ו-5 משאיות נוספות לכיוון המפעלים בדרום, מעבר מינימלי בסמיכות למרכזי אוכלוסיה
ד1	1	תובלה מהמכל הדרומי למפעלים בדרום, כמעט ללא מעבר בקרבת ריכוזי אוכלוסיה
ד2	0	תובלה לדרום בלבד מירדן, ללא מעבר בסמיכות לאזורים מאכלסים
ה	5	תובלה של כ-5 משאיות ביום לכיוון דרום, בכבישים הסמוכים למרכזי אוכלוסיה גדולים

סיכון תובלה ימית

חלופה	ציון	נימוק
א	0	אין צורך בפריקה מתובלה ימית
ב	2	אוניית משא של כ-8,000-10,000 טון עוגנת ל-24-48 שעות מדי חודש. נקודת העגינה מרוחקת 2 ק"מ מהחוף והמטאורולוגיה היא של רוחות צפון מערביות, לאזורים המיושבים בדלילות
ג	0	כיוון שמזח הטעינה נמצא מדרום לאילת/עקבה, הרוחות הצפוניות גורמות לכך שהאירוע לא יגיע לאזור אילת
ד1	3	אוניית משא של כ-4,000 טון עוגנת ל-24 שעות מדי חודש בחיפה

2ד	5	שתי אוניות משא של כ-4,000 טון עוגנת ל-24 שעות מדי חודש, בכל אחד משני האתרים. הסיכון באזור חיפה לא פוחת משמעותית ומתווסף הסיכון בדרום.
ה	4	אוניית משא של כ-8,000-10,000 טון עוגנת ל-24-48 שעות מדי חודש בחיפה

ציון כולל

הציון הכולל מוגדר כסכום הציונים החלקיים של כל חלופה מוכפלים במשקל החלופה, וסך כל המשקלות הוא 1. יש להדגיש שמשקל זה אינו מייצג הסתברות להתרחשות תקלה², זו בחירה שרירותית שמייצגת להבנתנו את החשיבות היחסית של כל גורם סיכון. כל אחד משלושת היבטי הסיכון (מכלי אחסון, תובלה יבשתית ותובלה ימית) קיבל משקל שונה. ככל שהציון הכולל נמוך יותר, החלופה טובה יותר.

חלופה	ציון סיכון מכלי אחסון (משקל 0.4)	ציון סיכון תובלה יבשתית (משקל 0.2)	ציון סיכון תובלה ימית (משקל 0.4)	ציון כולל
א	0.8	0.4	0	1.2
ב	0.8	1	0.8	1.7
ג	0	0.4	0	0.4
1ד	1.6	0.2	1.2	3
2ד	2	0	2	4
ה	1.6	1	1.6	4.2

כפי שרואים מהטבלה, הסיכון המזערי ביותר הוא בחלופה ג', בה הייצור מתבצע בירדן מדרומית לעקבה, בעיקר בזכות המטאורולוגיה (רוחות צפוניות) שמבטלת את הסיכונים ממכלי אחסון ומתובלה ימית. החיסרון המרכזי של חלופה זו היא התלות המוחלטת של ישראל בירדן בהיבט זה. אם חלופה זו תיבחר, מומלץ להשקיע משאבים בשימור המיכל בחיפה או מיכל חוף אחר על מנת שניתן יהיה להשמיש אותו בזמן קצר במידת הצורך. החלופה השנייה בטיבה היא א', הקמת מפעל אמוניה בדרום הארץ. יתרונה הוא בריחוק ממרכזי אוכלוסיה ובהעדר הצורך בתובלה ימית. חלופה זו מבטלת את התלות של ישראל ביבוא אמוניה.

המלצות נוספות שנגזרו מהערכות הסיכונים:

- לגבי החלופה הנבחרת, מומלץ לבצע עבודת ניתוח סיכונים מקיפה כחלק מתהליך התכנון המפורט, על מנת למזער את הסיכוי להתרחשות תקלות
- אנו ממליצים על עבודה נפרדת ללימוד הסיכונים מתובלה ימית

² בעבודה זו לא בחנו את ההסתברות להתרחשות תקלה. ניתוחים מעין אלו מחייבים ידיעה מפורטת של תכנון המתקנים, תהליכי העבודה, ובניית עצי הסתברות. כיוון שהחלופות מוגדרות כאן באופן סכמטי בלבד, לא ניתן להעריך הסתברויות לתקלות.

- מומלץ להסדיר את נושא התעבורה היבשתית – נתיבי תובלה של חומרים מסוכנים יקבעו בתאום ובאישור המשרד להגנת הסביבה. בחירת הנתיבים תשקלל נושאים כגון עומסי תנועה, קרבה למרכזי אוכלוסיה ותנאים מטאורולוגיים.

8. שקלול החלופות ובחירת החלופה המועדפת

8.1 הקריטריונים לשקלול החלופות

להלן הקריטריונים לשקלול החלופות אשר נדונו ואושרו בידי צוות המלווה של הפרויקט:

הסיכון הפיזי:

ריחוק ממרכזי אוכלוסיה (רצפטורים ציבוריים), ניתן לסווג:

- מרחק של עד 10 ק"מ מריכוז אוכלוסיה גדול (50 אלף תושבים ומעלה), **רגישות גבוהה מאד.**
- מרחק של עד 10 ק"מ מריכוז אוכלוסיה בינוני-קטן (10-50 אלף תושבים), **רגישות גבוהה.**
- מרחק של 10 ק"מ ומעלה מריכוז אוכלוסיה גדול (50 אלף תושבים ומעלה), **רגישות בינונית.**
- מרחק של 10 ק"מ ומעלה מריכוז אוכלוסיה קטן (מתחת ל-10 אלפים תושבים), **רגישות נמוכה.**

רגישות ביטחונית בהערכה גסה ניתן לסווג:

- אתר הסמוך עד 50 ק"מ לגבול לבנון או רצועת עזה, **רגישות גבוהה.**
- אתר במרחק 50-100 ק"מ מגבול לבנון או רצועת עזה, **רגישות בינונית.**
- אתר מרוחק מעל 100 ק"מ מגבול לבנון או רצועת עזה, **רגישות נמוכה.**

רגישות סיסמית (קרבה להעתקים פעילים והעתקים חשודים, קרבה לאזורים בעלי פוטנציאל

הגברה, הצפה מצונאמי, קרבה לאזורים בעלי פוטנציאל התנזלות), ניתן לסווג:

- איזור **רגישות גבוהה** (כגון איזור מפרץ חיפה).
- איזור **רגישות בינונית** (כגון איזור מישור רותם, או לחלופין, איזור אשדוד/ אשקלון, בגלל נושא איזור סיכון להצפה מצונאמי).
- איזור **רגישות נמוכה** (כגון איזור רמת חובב).

רגישות תפעולית הסיכון המשמעותי יכול לנבוע מצירוף של מספר סיכונים מצטברים (בחלופה

בה יש מספר מוקדי סיכון, כגון מיכל חוף, מיכל מפעל, פריקה וטעינה, אוניה וכו'). ניתן לסווג:

-צירוף של שלושה סיכונים ומעלה, **רגישות גבוהה**.
-צירוף של שני סיכונים ומעלה, **רגישות בינונית**.
-סיכון אחד בלבד, **רגישות נמוכה**.

סיכוני תעבורה (מרחקי שינוע ומעבר דרך ריכוזי אוכלוסיה), עפ"י הסיווג:
-אתר המחייב שינוע למרחקים ארוכים של 100 ק"מ ומעלה, שהשינוע אליו או ממנו כרוך בתנועה בקרבת ריכוזי אוכלוסיה, **רגישות גבוהה מאוד**.
-אתר המחייב שינוע למרחקים בינוניים של 50-100 ק"מ, שהשינוע אליו או ממנו כרוך בתנועה בקרבת ריכוזי אוכלוסיה, **רגישות גבוהה**.
-אתר המחייב שינוע למרחקים בינוניים של 50-100 ק"מ, שהשינוע אליו או ממנו אינו עובר בסמוך לריכוזי אוכלוסיה, **רגישות בינונית**.
-אתר המחייב שינוע למרחקים קצרים של מתחת ל-50 ק"מ, שהשינוע אליו או ממנו אינו עובר בסמוך לריכוזי אוכלוסיה, **רגישות נמוכה**.

שיקולים סביבתיים (השלכות האתר על סביבתו, לרבות פליטות לאוויר, שפכים, חומ"ס, ומפגעים כלליים כתוצאה מייצור, אחסון, ייבוא, שינוע וכד'), ניתן לסווג:
-**רגישות נמוכה**.
-**רגישות בינונית**.
-**רגישות גבוהה**.

שימוות פתרון:

תאימות למגמות תכנון (התאמת הפתרון ליעודי ושימושי קרקע, תב"ע ופיתוח תשתיות), ניתן לסווג:

-אתר שיעודי ושימושי קרקע שלו אינם מתאימים לאתר – **מגבלה/רגישות גבוהה**.
-אתר שיש לגביו מגבלות תכנון מסוימות, כגון מגבלות הסביבה על היתכנות להקמת המיכל (סמיכות למקורות מים, פארקים ואתרי נופש וכו'), בהתאם לסוג האילוצים, דהיינו בעל **רגישות בינונית**.
-אתר שאין לגביו כל מגבלות תכנון הוא בעל יתרון מובהק, דהיינו בעל **רגישות נמוכה**.

שיקולים ציבוריים (מידת התנגדות צפויה), ניתן לסווג:
-צפי להתנגדות גבוהה, מגבלה/רגישות גבוהה.
-צפי להתנגדות בינונית, מגבלה חלקית/רגישות בינונית.
-צפי להתנגדות נמוכה, אין מגבלה/רגישות נמוכה.

זמן מימוש:

זמן הקמה משוער ממוצע (ללא ההליכים הסטטוטוריים, המגולמים תחת מגמות תכנון ושיקולים ציבוריים) למפעל ייצור הוא כ-3 שנים, ולמיכל אחסון הוא כשנתיים.
-משך הקמה/מימוש גדול מ-4 שנים, **תועלת נמוכה**.

-משך הקמה/מימוש בין שנתיים ל-4 שנים, **תועלת בינונית**.
 -משך הקמה/מימוש עד שנתיים, **תועלת גבוהה**.

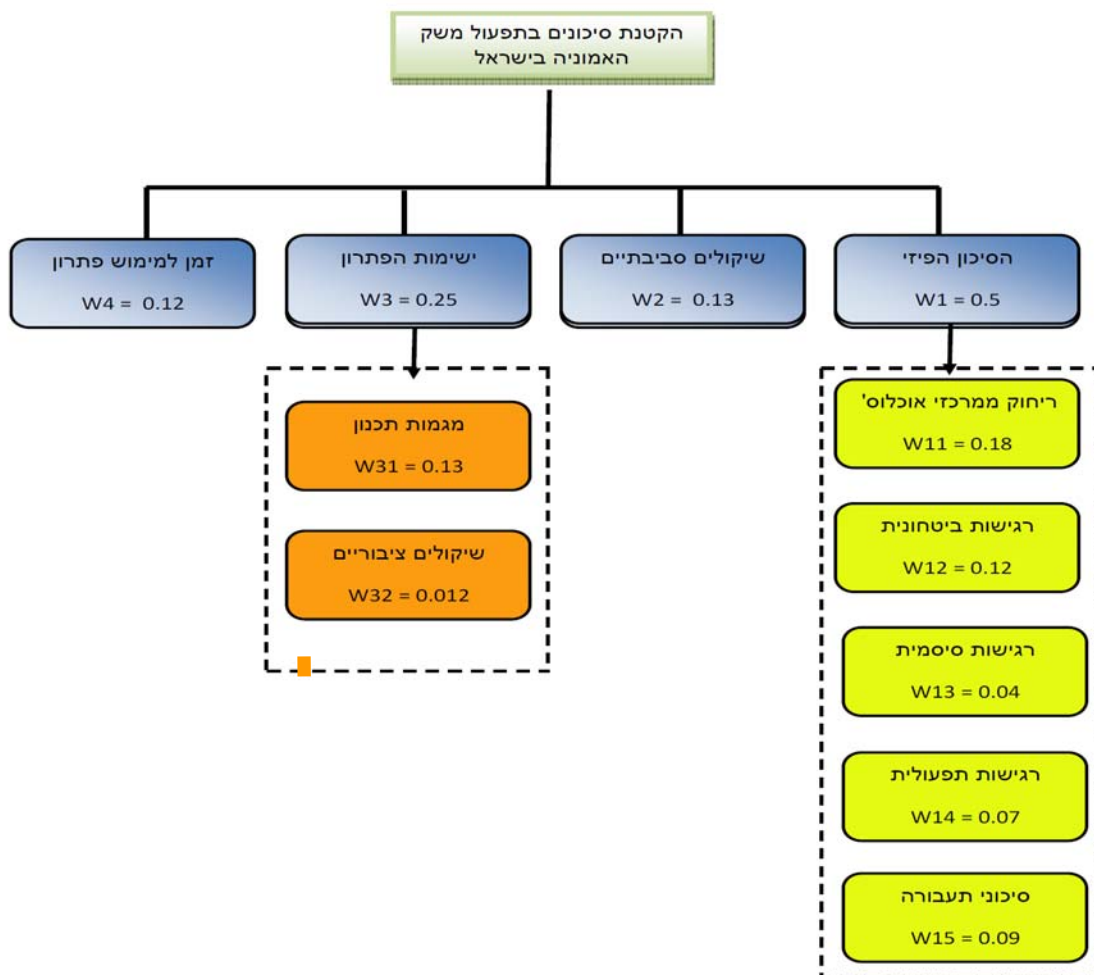
שיקול כלכלי: שיקול כלכלי, כולל תת-קריטריונים שלהלן (לא ישוקלל בשלב זה בניתוח החלופות).

-שווי אלטרנטיבי של קרקע.

-השקעה נדרשת.

-סיוע ממשלתי.

לבקשת המשרד, שיקול זה לא נכלל במסגרת השיקולים לפיהם שוקללו החלופות הנבחרות. הלן המשקל היחסי של הקריטריונים לשקלול החלופות (כפי שנקבע בצוות המלווה לפרויקט):



8.2 מתודולוגיה לשקלול החלופות

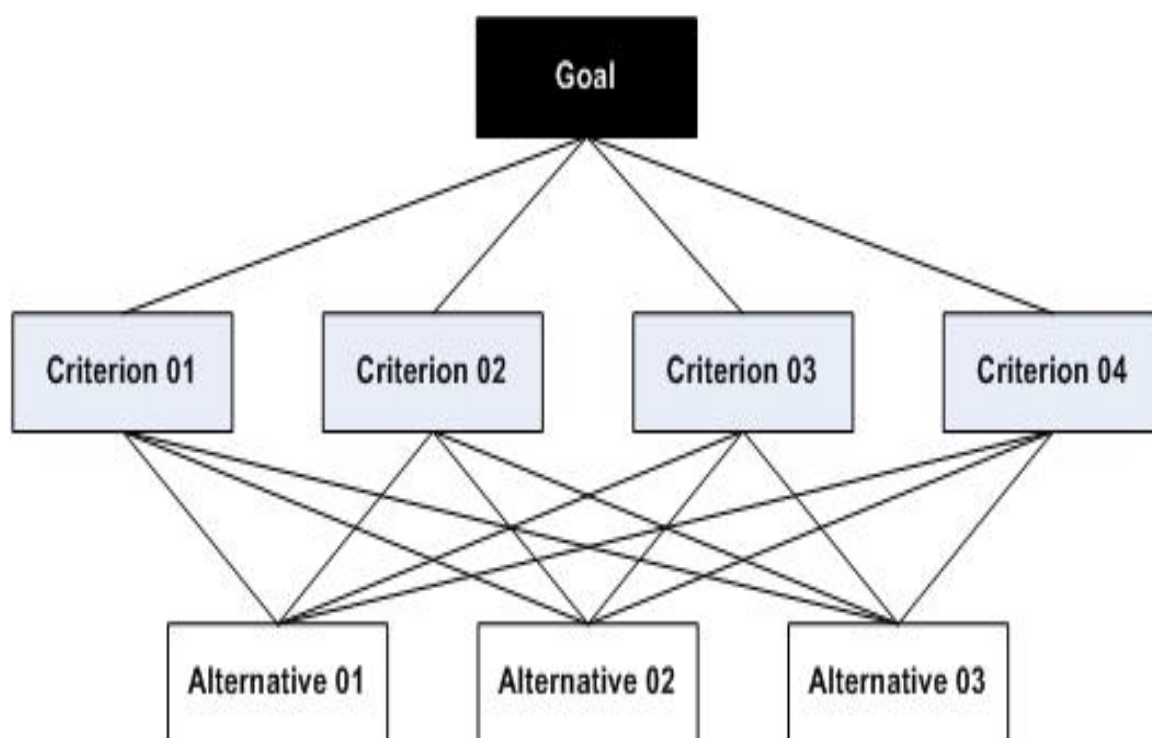
השיטה שנבחרה לדירוג החלופות קרויה AHP (Analytic Hierarchy Process), הנה השיטה הרווחת והמקובלת ביותר כיום בעולם בתהליכי קבלת החלטות. השיטה פותחה

ותוארה ע"י פרופ' תומאס סאטי (Thomas Saati) בשלהי שנות ה-70 של המאה הקודמת. השיטה נוסתה במאות פרויקטים ומערכות מורכבות, הוכיחה כשיטה האמינה ביותר, ומספקת כלים המסייעים לקביעת מדיניות.

הדירוג המתקבל של החלופות עפ"י הקריטריונים בשיטה זו הנו איכותי, לכן שקלול התוצאות אינו מבחינת מספרים אבסולוטיים, אלא יותר סולם היררכי של עדיפות החלופות השונות המתקבלת מסיכום השקלול. דירוג החלופות מתבצע באמצעות סיכום אריתמטי, אזי נקבל מדרג היררכי של חלופות בעדיפות, ונוכל להחליט על החלופה האופטימלית, שתהווה את החלופה הנבחרת.

אין הדבר גורע מהעובדה, כי כאשר תבוא החלופה הנבחרת לידי מימוש, אזי יהיה צורך לבחון את התכנית המפורטת לגביה לאור המדיניות של המשרד בהיבטים השונים, כגון מדיניות "מרחקי הפרדה" בתחום החומ"ס.

כאמור, AHP הנה מתודולוגיה שבבסיסה השוואה בין זוג אפשרויות/חלופות עפ"י סט של קריטריונים שנקבעים מראש, כאשר מוענק ניקוד לעדיפות יחסית של החלופה הנדונה אל החלופות המשוואות אליה. העקרון מוצג בתרשים כדלהלן:



להלן המתודולוגיה לשקלול החלופות (כפי הועברה כהנחיה לחברי צוות המלווה של הפרויקט):

1. השקלול מתבצע באמצעות השוואה בין זוג חלופות, כפי שיפורט להלן (תמיד משווים חלופה "אדומה" שבציר האנכי אל חלופה "כחולה" שבציר האופקי במטריצות).

2. את המשקל ("הניקוד") שקבעתם הינכם ממלאים במטריצות המובאות בסעיף 3.5 שלהלן .
 הערה: יש לשים לב לקריטריון שאליו הינכם מתייחסים בשקלול החלופות.
 3. הרציונל בהשוואה בין זוגות חלופות יאפשר לבחון את מובהקות התשובות שלכם.
 4. השאלה שאתם שואלים, היא איזה חלופה נותנת מענה טוב, הולם, עם רמת סיכון נמוכה יותר אל מול הקריטריון הנבדק.
 5. במטריצות עליכם למלא בהערכה אישית את גבי מידת היתרון של זוג חלופות מושוות – תמיד משווים את החלופה "האדומה" אל "החלופות" "הכחולות", ומתקדמים לפי הסדר (עמודת הייחוס היא הציר האנכי עם החלופות "האדומות").

סקלת הדירוג היא מ-1 עד 5 (דהיינו, יש תמיד לנקד במטריצות בספרות 1 עד 5, או 1/2 עד 1/5), כאשר:

- 1 **מבטא משקל זהה** לחלופה "אדומה" מול "כחולה" (לאף חלופה אין יתרון).
- 2 **מבטא יתרון נמוך** לחלופה "אדומה" מול "כחולה".
- 3 **מבטא יתרון בינוני** לחלופה "אדומה" מול "כחולה".
- 4 **מבטא יתרון חזק** לחלופה "אדומה" מול "כחולה".
- 5 **מבטא יתרון חזק מאד** לחלופה "אדומה" מול "כחולה".
- 1/2 **מבטא חסרון נמוך** לחלופה "אדומה" מול "כחולה".
- 1/3 **מבטא חסרון בינוני** לחלופה "אדומה" מול "כחולה".
- 1/4 **מבטא חסרון חזק** לחלופה "אדומה" מול "כחולה".
- 1/5 **מבטא חסרון חזק מאד** לחלופה "אדומה" מול "כחולה".

להלן המטריצות למילוי ניקוד / שקלול החלופות (נא לנקד מ-1 עד 5, או 1/2 עד 1/5):

1. ריחוק ממרכזי אוכלוסיה

תועלת	חלופה א	חלופה ב	חלופה ג	חלופה ד	חלופה ה	חלופה ו	חלופה ז
חלופה א	X						
חלופה ב	X	X					
חלופה ג	X	X	X				
חלופה ד	X	X	X	X			
חלופה ה	X	X	X	X	X		
חלופה ו	X	X	X	X	X	X	
חלופה ז	X	X	X	X	X	X	X

2. רגישות ביטחונית

תועלת	חלופה א	חלופה ב	חלופה ג	חלופה ד	חלופה ה	חלופה ו	חלופה ז
חלופה א	X						

חלופה ב	X	X					
חלופה ג	X	X	X				
חלופה ד	X	X	X	X			
חלופה ה	X	X	X	X	X		
חלופה ו	X	X	X	X	X	X	
חלופה ז	X	X	X	X	X	X	X

3. רגישות סיסמית

תועלת	חלופה א	חלופה ב	חלופה ג	חלופה ד	חלופה ה	חלופה ו	חלופה ז
חלופה א	X						
חלופה ב	X	X					
חלופה ג	X	X	X				
חלופה ד	X	X	X	X			
חלופה ה	X	X	X	X	X		
חלופה ו	X	X	X	X	X	X	
חלופה ז	X	X	X	X	X	X	X

4. רגישות תפעולית

תועלת	חלופה א	חלופה ב	חלופה ג	חלופה ד	חלופה ה	חלופה ו	חלופה ז
חלופה א	X						
חלופה ב	X	X					
חלופה ג	X	X	X				
חלופה ד	X	X	X	X			
חלופה ה	X	X	X	X	X		
חלופה ו	X	X	X	X	X	X	
חלופה ז	X	X	X	X	X	X	X

5. סיכוני תעבורה

תועלת	חלופה א	חלופה ב	חלופה ג	חלופה ד	חלופה ה	חלופה ו	חלופה ז
חלופה א	X						
חלופה ב	X	X					

חלופה ג	X	X	X				
חלופה ד	X	X	X	X			
חלופה ה	X	X	X	X	X		
חלופה ו	X	X	X	X	X	X	
חלופה ז	X	X	X	X	X	X	X

6. שיקולים סביבתיים

תועלת	חלופה א	חלופה ב	חלופה ג	חלופה ד	חלופה ה	חלופה ו	חלופה ז
חלופה א	X						
חלופה ב	X	X					
חלופה ג	X	X	X				
חלופה ד	X	X	X	X			
חלופה ה	X	X	X	X	X		
חלופה ו	X	X	X	X	X	X	
חלופה ז	X	X	X	X	X	X	X

7. תאימות למגמות תכנון

תועלת	חלופה א	חלופה ב	חלופה ג	חלופה ד	חלופה ה	חלופה ו	חלופה ז
חלופה א	X						
חלופה ב	X	X					
חלופה ג	X	X	X				
חלופה ד	X	X	X	X			
חלופה ה	X	X	X	X	X		
חלופה ו	X	X	X	X	X	X	
חלופה ז	X	X	X	X	X	X	X

8. שיקולים ציבוריים

תועלת	חלופה א	חלופה ב	חלופה ג	חלופה ד	חלופה ה	חלופה ו	חלופה ז
חלופה א	X						

חלופה ב	X	X					
חלופה ג	X	X	X				
חלופה ד	X	X	X	X			
חלופה ה	X	X	X	X	X		
חלופה ו	X	X	X	X	X	X	
חלופה ז	X	X	X	X	X	X	X

9. זמן מימוש

תועלת	חלופה א	חלופה ב	חלופה ג	חלופה ד	חלופה ה	חלופה ו	חלופה ז
חלופה א	X						
חלופה ב	X	X					
חלופה ג	X	X	X				
חלופה ד	X	X	X	X			
חלופה ה	X	X	X	X	X		
חלופה ו	X	X	X	X	X	X	
חלופה ז	X	X	X	X	X	X	X

להלן החלופות הנבחרות לשקלול, כולל דגשים לאפיון כל אחת מהחלופות:

חלופה א' – הקמת מפעל ייצור ישראלי (עם אופציה לייצוא).

הקמת מפעל ייצור אמוניה בישראל בשיטה הקלאסית (מעגל Haber-Bosch) או בשיטת LAC (Linde Ammonia Concept) בתפוקה של מעל 130,000 טון לשנה. אתר מועדף להקמת המפעל – מישור רותם או רמת-חובב. חלופה זו מכסה את צורכי השוק המקומי ויצוא העודף המיוצר. לפיכך, חלופה זו כוללת גם הקמת מיכלים ליצוא מישראל. אתר מועדף – אשדוד/ אשקלון.

▪ אפיון החלופה:

מרחק מאוכלוסיה - מפעל: מעל 10 ק"מ. מיכל: פחות מ-10 ק"מ. ריכוז אוכלוסיה – מפעל: פחות מ-10,000. מיכל: מעל 50,000. מרחק שינוע: מעל 100 ק"מ. צירי שינוע: קרוב לריכוזי אוכלוסיה. רגישות ביטחונית – מפעל: מעל 100 ק"מ, מיכל: פחות מ-50 ק"מ. רגישות סיסמית: לפי אזורי הקמה. רגישות תפעולית: מצרף סיכונים ממפעל ייצור, מיכל חוף, אוניה, טעינה, שינוע מ/אל המפעל, שינוע מ/אל המיכל. תאימות תכנונית: אין מגבלות תכנון מיוחדות. זמן מימוש – מפעל: כ-3 שנים, מיכל חוף: כשנתיים.

חלופה ב' – הקמת מפעל ייצור ישראלי (ללא ייצוא).

הקמת מפעל ייצור אמוניה בישראל בשיטת LAC (Linde Ammonia Concept) בתפוקה של 130,000 טון לשנה לצורכי שוק מקומי בלבד (ללא ייצוא). אתר מועדף בדרום – מישור רותם או רמת-חובב.

▪ אפיון החלופה:

מרחק מאוכלוסיה - מעל 10 ק"מ. ריכוז אוכלוסיה: פחות מ-10,000. מרחק שינוע: מעל 100 ק"מ. צירי שינוע: רחוק מריכוזי אוכלוסיה. רגישות ביטחונית: מעל 100 ק"מ. רגישות סיסמית: לפי אזור ההקמה, רגישות תפעולית: מצרף סיכונים ממפעל ייצור ושינוע מ/אל המפעל. תאימות תכנונית: אין מגבלות תכנון מיוחדות. זמן מימוש: כמפעל: 3- שנים.

חלופה ג' – העברת המיכל הקיים.

העברת המיכל הקיים במפרץ חיפה למקום אחר, דהיינו בניה של מיכל חוף חדש המחייב מקשר ימי/נמל. אתר מועדף – אשדוד/אשקלון.

▪ אפיון החלופה:

מרחק מאוכלוסיה: פחות מ-10 ק"מ. ריכוז אוכלוסיה: מעל 50,000. מרחק שינוע: מעל 100 ק"מ. צירי שינוע: קרוב לריכוזי אוכלוסיה. רגישות ביטחונית: פחות מ-50 ק"מ. רגישות סיסמית: לפי אזור ההקמה. רגישות תפעולית: מצרף סיכונים ממיכל חוף, אוניה, פריקה, שינוע מ/אל המיכל. תאימות תכנונית: אין מגבלות תכנון מיוחדות. זמן מימוש: מיכל חוף: כשנתיים.

חלופה ד' – הקמת מפעל ייצור ירדני-ישראלי.

הקמת מפעל משותף לירדן וישראל בסיוע מימון בינלאומי. המפעל יכסה את צורכי השווקים בירדן ובישראל. אתר מועדף – בירדן, סמוך לעקבה. חלופה זו מניחה יצוא

מירדן, תוך הישענות על נמל עקבה לצורכי פריקה, הישענות על מיכל קיים בעקבה, וציר שינוע בכביש הערבה המזרחי (עד בית-שאן).

▪ אפיון החלופה:

מרחק מאוכלוסיה: מעל 10 ק"מ. ריכוז אוכלוסיה: פחות מ-10,000. מרחק שינוע: מעל 100 ק"מ. צירי שינוע: בד"כ רחוק מריכוזי אוכלוסיה. רגישות ביטחונית: מעל 100 ק"מ. רגישות סיסמית: לפי אזור ההקמה. רגישות תפעולית: מצרף סיכונים ממפעל ייצור, שינוע מ/אל המפעל. תאימות תכנונית: אין מגבלות תכנון מיוחדות. זמן מימוש – מפעל: 3-4 שנים.

חלופה ה' – הקטנת כמות ופיצול (השלמה באמצעות יבוא מירדן).

הורדת כמות האמוניה במיכל הקיים ל-40% בלבד מהכמות הנוכחית, בעיקר לצורכי המפעלים במפרץ (חיפה כימיקלים ודשנים). האמוניה הנדרשת להספקה לדרום תושלם באמצעות יבוא מירדן. שינוע מירדן בכביש הערבה המזרחי.

▪ אפיון החלופה:

מרחק מאוכלוסיה : פחות מ-10 ק"מ. ריכוז אוכלוסיה : מעל 50,000. מרחק שינוע : מעל 100 ק"מ. צירי שינוע : קרוב לריכוזי אוכלוסיה. רגישות ביטחונית : 50-100 ק"מ. רגישות סיסמית : לפי אזור הקמה. רגישות תפעולית : מצרף סיכונים ממכל חוף, אוניה, פריקה, שינוע מ/אל המיכל. תאימות תכנונית : מיכל קיים. זמן מימוש : שנה.

חלופה ו' – הקטנת כמות ופיצול (השלמה באמצעות יבוא דרך מיכל-חוף נוסף).

הורדת כמות האמוניה במיכל הקיים ל-40% בלבד מהכמות הנוכחית, בעיקר לצורכי המפעלים במפרץ (חיפה כימיקלים ודשנים). האמוניה הנדרשת להספקה לדרום תושלם באמצעות יבוא דרך מיכל-חוף נוסף שייבנה. אתר מועדף – אשדוד/אשקלון.

▪ אפיון החלופה :

מרחק מאוכלוסיה - פחות מ-10 ק"מ. ריכוז אוכלוסיה : מעל 50,000. מרחק שינוע : מעל 100 ק"מ. צירי שינוע : קרוב לריכוזי אוכלוסיה. רגישות ביטחונית – מיכל : פחות מ-50 ק"מ. רגישות סיסמית – לפי מיקום מיכל ישן : גבוהה, מיכל חדש : בינונית. רגישות תפעולית : מצרף סיכונים משני מיכלי חוף, אוניה, פריקה, שינוע מ/אל המיכלים. תאימות תכנונית : מיכל קיים, מיכל חדש אפשרי להקמה, בעיקר באיזור דרום אשקלון (איזור קצא"א), שם אין מגבלות תכנון מיוחדות. זמן מימוש מיכל חדש : כשנתיים.

חלופה ז' – המשך מצב קיים.

השארת שימור על המצב הקיים תוך הידוק פיקוח וניהול לפי הנחיות חירום (בעת הוכרז מצב חירום). התקנת שיפורי בטיחות ושיפורי מיגון, ירידה למלאי חירום ופיקוח על נפח האניות המייבאות.

▪ אפיון החלופה :

מרחק מאוכלוסיה : פחות מ-10 ק"מ. ריכוז אוכלוסיה : מעל 50,000. מרחק שינוע : מעל 100 ק"מ. צירי שינוע : קרוב לריכוזי אוכלוסיה. רגישות ביטחונית : 50-100 ק"מ. רגישות סיסמית : לפי מיקום. רגישות תפעולית : מצרף סיכונים ממכל חוף, אוניה, פריקה, שינוע מ/אל המיכל. תאימות תכנונית : מיכל קיים. זמן מימוש : מיידי.

יישום השיטה בתהליך דירוג החלופות למשק האמוניה עפ"י הקריטריונים הנבחרים הוסבר במסמך "מדריך לשקלול והערכת החלופות עפ"י הקריטריונים הנבחרים", אשר הופץ לחברי הצוות המלווה לפרויקט.

8.3 בחירת החלופות הסופיות

בוצע תהליך איחוד וצמצום של כל החלופות הנבחרות (כפי ש הוצגו בפרק 6. לעיל), כדלהלן:

חלופה א' החדשה – הקמת מפעל ייצור ישראלי (עם או בלי ייצוא).

הקמת מפעל לייצור אמוניה בישראל. אתר מועדף להקמת המפעל – מישור רותם. הספקת הגז הטבעי כחומר-גלם יכולה להיות מהגז המצרי, או מגילויי הגז הימי הישראלי, כגון אתר לויתן. בחלופה זו תפוקת הייצור יכולה לכסות את צורכי השוק המקומי בלבד, או לייצא את עודף האמוניה באמצעות מיכל חוף לייצוא. במקרה כזה, אתר מועדף להקמת המיכל – אשקלון (נמל הכימיקלים החדש). קיימת אפשרות מעשית לא לייצא כלל את האמוניה העודפת, אלא להפנותה לייצור אוריאה (במידה והמפעל שיקום יהיה מפעל משולב לייצור אמוניה-אוריאה). בכל מקרה, חלופה זו מצריכה גם מיכל חוף ליבוא אמוניה למקרה חירום/אי-קבלת גז טבעי. **[חלופה זו מכילה את חלופות א' ו-ב' הישנות]**

חלופה ב' החדשה – הקמת מפעל ייצור ירדני.

הקמת מפעל משותף לירדן וישראל בסיוע מימון בינלאומי. המפעל יכסה את צורכי השווקים בירדן ובישראל. מאחר וצריכת האמוניה בשוק הירדני היא לערך פי 2 מהשוק הישראלי, תפוקת הייצור המשוערת של המפעל תהיה כ-300,000 טון לשנה לפחות. אתר מועדף להקמת המפעל – בירדן, סמוך לעקבה. הספקת הגז הטבעי מהגז המצרי בלבד (לירדן אין מקורות עצמיים או אחרים לגז טבעי). בחלופה זו מניחים הקמת מיכל במפעל, וכניסת אמוניה לישראל באמצעות שינוע במיכליות כביש לאורך ציר כביש הערבה הירדני (ללא מיכל ביניים/דיפו), וכניסה לישראל באיזור מפעלי ים המלח/סדום. משם המשך שינוע בארץ לאורך כביש 90, והמשך חלוקה לצרכנים. חלופה זו מחייבת הגדלת קיבולת אחסון האמוניה אצל הצרכנים. גם חלופה זו מצריכה גם מיכל חוף ליבוא אמוניה למקרה חירום/אי-קבלת גז טבעי. **[זהה לחלופה ד' הישנה]**

חלופה זו נפסלת בשלב זה, עקב ההיתכנות הנמוכה הנובעת מהתלות המוחלטת בגז המצרי, ועקב חשש מהיעדר ודאות לטווח ארוך באשר לנכונות ירדן לספק אמוניה לישראל.

חלופה ג' החדשה – יבוא מפוצל.

הקמת שני מיכלי חוף חדשים ליבוא מפוצל של האמוניה באמצעות אוניה. המיכלים יהיו ממוגנים, ייבנו בסטנדרט state-of-the-art, יהיו טמונים (הטמנה מלאה או עילית), ויספקו את צרכי משק האמוניה של ישראל. המיקומים המועדפים למיכלי החוף – צפון: באיזור הנמל במפרץ חיפה, דרום: באיזור נמל הכימיקלים החדש באשקלון. **[חלופה זו מהווה שילוב בין חלופות ג', ה' ו-ו' הישנות]**

חלופה ד' החדשה – המשך מצב קיים.

שימור המצב הקיים תוך הידוק פיקוח והחמרת הדרישות מהמיכל הקיים, התקנת אמצעי שיפור בטיחותיים ושיפורי מיגון, בחירום ירידה למלאי אוגר ופיקוח על נפח האניות המייבאות.

[זוהי לחלופה ז' הישנה]

על-כן, בחירת החלופה המועדפת בעקבות ניתוח עלות-תועלת מצטמצמת לבחירה בין 3 חלופות, כדלהלן:

- חלופה א' החדשה (ייצור מקומי)
- חלופה ג' החדשה (ייבוא מפוצל)
- חלופה ד' החדשה (מצב קיים)

שלושת החלופות הסופיות מוצגות על-גבי המפה שלהלן:



8.4 ניתוח עלות תועלת של החלופות הסופיות

רקע

הצורך באמצעי הערכה להשוואה בין חלופות שונות נובע מהעובדה שבפני מקבל ההחלטות עומדות לעיתים חלופות רבות, מורכבות - מרובות פרמטרים ותנאי אי ודאות, הדומות זו לזו, כאשר קיים קשי לתעדכן. ניתוח עלות-תועלת (CBA) מספק אמצעי שיטתי המשווה את הערך של התוצאות, או התועלת עם הערך של משאבים הדרושים להשגת התוצאות. התהליך מאפשר הצגת היררכיה בין חלופות שונות לבעיה נתונה. יחס תועלת-עלות מודד את היעילות הכלכלית של הטכנולוגיה בפרויקט המוצע. CBA הפך מקובל מאד בקרב ארגונים ממשלתיים רבים.

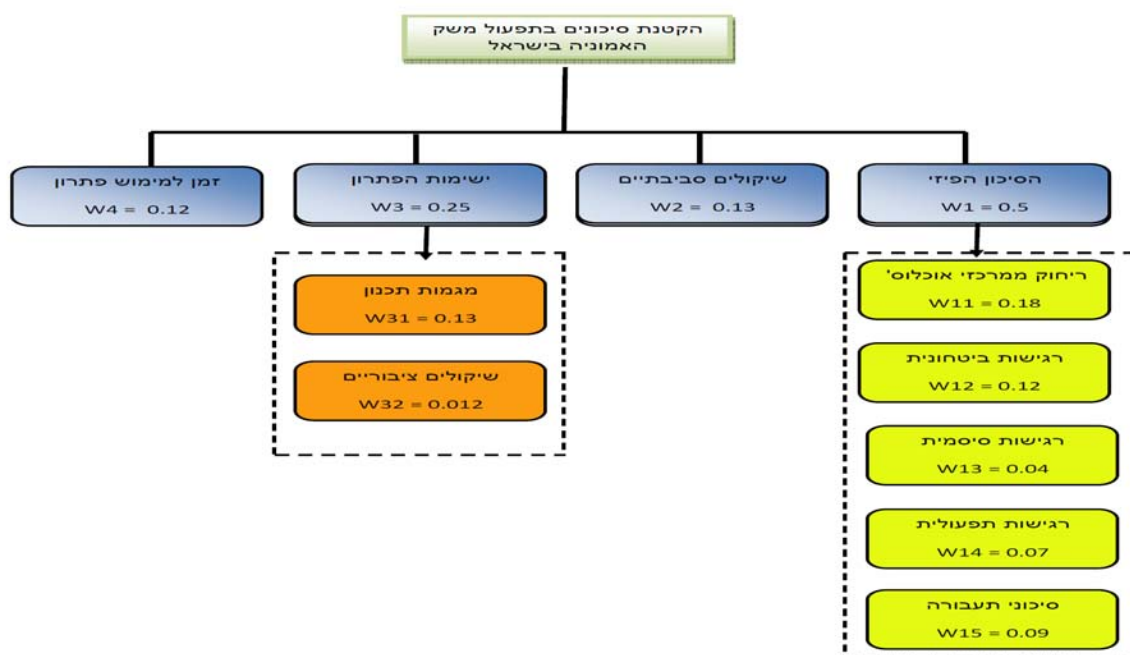
פונקצית תועלת

היעילות או התועלת הנובעת ממנה תוגדר כתרומה של חלופה הנמדדת על פני אוסף משתנים רבים. למעשה, התועלת היא צירוף תרומות של מרכיבים המאפיינים חלופה. מבחינה מתמטית ניתן לתאר את התועלת כפונקצית תרומה רב-מימדית. המודלים השונים להערכת התועלת מנצלים את כושרו של מקבל ההחלטות לבטא סדרי העדפות חד-מימדים. אחת השיטות היעילות ביותר היא שיטת עץ-הרלבנטיות. במקרה זה מבוצע פירוק הבעיה למספר רמות של שיקולים מאפיינים, כשהם כשלעצמם מתפצלים למשתני-משנה ברי השוואה. ברמה התחתונה של ה"עץ" נמצאים מרכיבים חד-מימדים אשר צירוף תרומותיהם קובע את פונקצית התועלת הכוללת של המערכת / החלופה.

פונקצית עלות

העלות מוגדרת בד"כ כמיצוע של עלויות המערכת – החלופה להשגת יעוד מוגדר.

מבנה עץ הרלוונטיות



קריטריונים אובייקטיביים – לשקלול בידי צוות הייעוץ

- * ריחוק ממרכזי אוכלוסיה
- * רגישות ביטחונית
- * רגישות סיסמית
- * סיכוני תעבורה

קריטריונים סובייקטיביים – לשקלול בידי צוות ליווי הפרויקט

- * שיקולים סביבתיים
- * ישימות הפתרון
- * זמן למימוש הפתרון

הערכת החלופות לפי תבחינים

חלופה א' החדשה – הקמת מפעל ייצור (עם או בלי ייצוא)

הערכת החלופה לפי התבחינים:

300 מ' \$	עלות הקמה כולל תשתיות
40 מ' \$	עלות תפעול
3.12 מ' \$	עלות הובלה
190 מ' \$	פוטנציאל יצוא
0	פינוי קרקע באזורי ביקוש
90 מ' \$	חיסכון ביבוא
	תעשייה ותעסוקת עובדים במישור רותם נגב, תוספת עובדים: כ-350
	אספקת חול שיתקבל מעבודות העפר של פיתוח אתר המפעל (כ-2 מליון מ"ק)
	זמן למימוש חלופה - שלוש שנים מקבלת האישורים, קבלת האישורים 5-7 שנים

חלופה ג' החדשה – ייבוא מפוצל

הערכת החלופה לפי התבחינים:

\$'מ	60	עלות הקמה
\$'מ	6	עלות תפעול
\$'מ	0.42	עלות הובלה
\$'מ	2	עלות אלטרנטיבית של קרקע
		זמן למימוש חלופה - 3-5 שנים

ישימות הפתרון: קיימת, אין פערי ידע, מיקום האתרים יעשה ע"ב קריטריוני מיגון משופרים, שינוע יבשתי יהיה מצומצם יותר

חלופה ד' החדשה – חלופת האפס (המשך מצב קיים)

הערכת החלופה לפי התבחינים:

\$'מ	2.5	עלות תפעול
\$'מ	2	עלות הובלה
\$'מ	6-8	שיפור מיגון
		זמן למימוש חלופה - שנתיים

הכרח בהקמת מיכל חדש בסוף תקופת החיים – 20 מ' \$
(בהנחת אורך חיים של כ-50 שנה והעמסה של 50% מהעלות הצפויה)

עלויות הפתרון: עלויות ריקון המיכל

טבלת השוואה של החלופות

חלופה א'-הקמת מפעל לייצור אמוניה במישור רותם

עלות הקמה גבוה	\$' מ' 330-400
עלויות התפעול	\$' מ' 45
LCC (30 שנה)	\$' מ' 1,750
פוטנציאל הכנסה וחסכון ביבוא (25 שנה)	\$' מ' 7,000
החזר השקעה	3 שנים בהפעלה מלאה

חלופה ג'-שני מיכלי חוף באזור חיפה ובאזור אשקלון

עלות הקמה	\$' מ' 70
עלות תפעול	\$' מ' 6
עלות אלטרנטיבית של קרקע	\$' מ' 2
LCC	\$' מ' 266

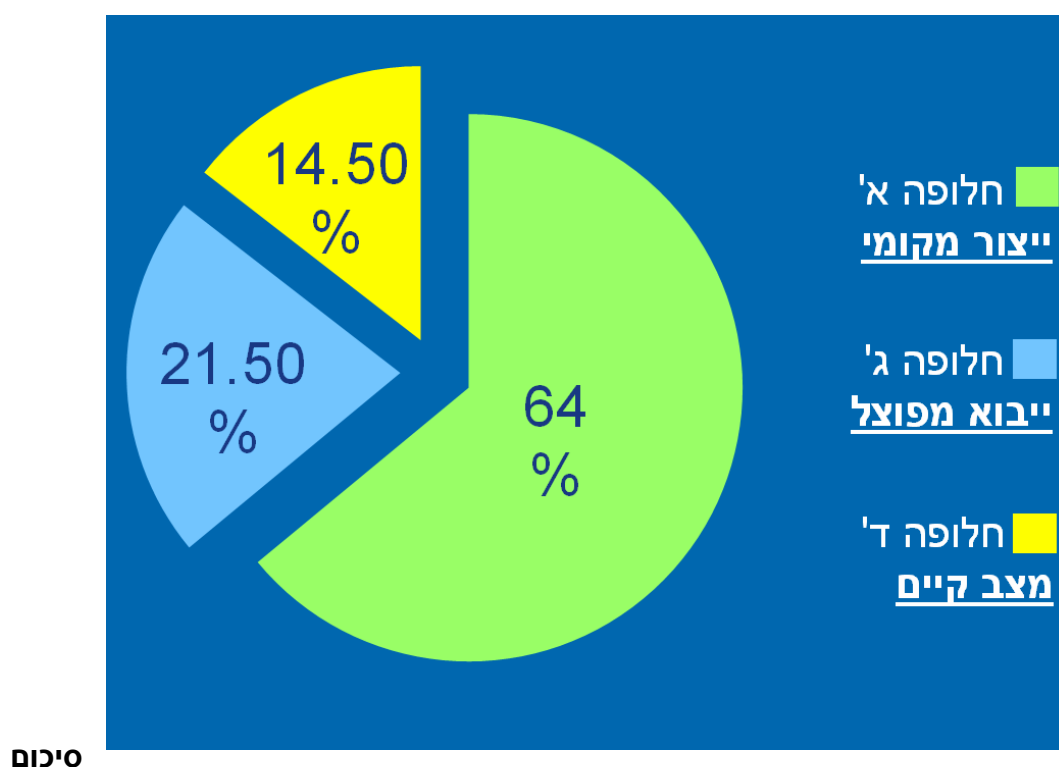
חלופה ד'-שימור על מצב הקיים

עלות מיגון	\$' מ' 6
עלות תפעול +העבלה	\$' מ' 4.5
עלות הקמה	\$' מ' 20
LCC	\$' מ' 160

חלופה א'		חלופה ג'		חלופה ד'		
מדינה	יזם	מדינה	יזם	מדינה	יזם	
עלות הקמה	*32	300-400	70		**6	

שונות	תמריצים, איזור פיתוח				
* מתייחס למיכל חוף טמון					
** מתייחס לשיפורי מיגון במיכל קיים					
סיווג השקעות (במיליוני \$)					

בתרשים שלהלן ניתן לראות את ההיררכיה של החלופות מבחינת התועלת המשוקללת -
התפלגות שלוש החלופות הסופיות במונחי עלות-תועלת



ניתוח עלות-תועלת

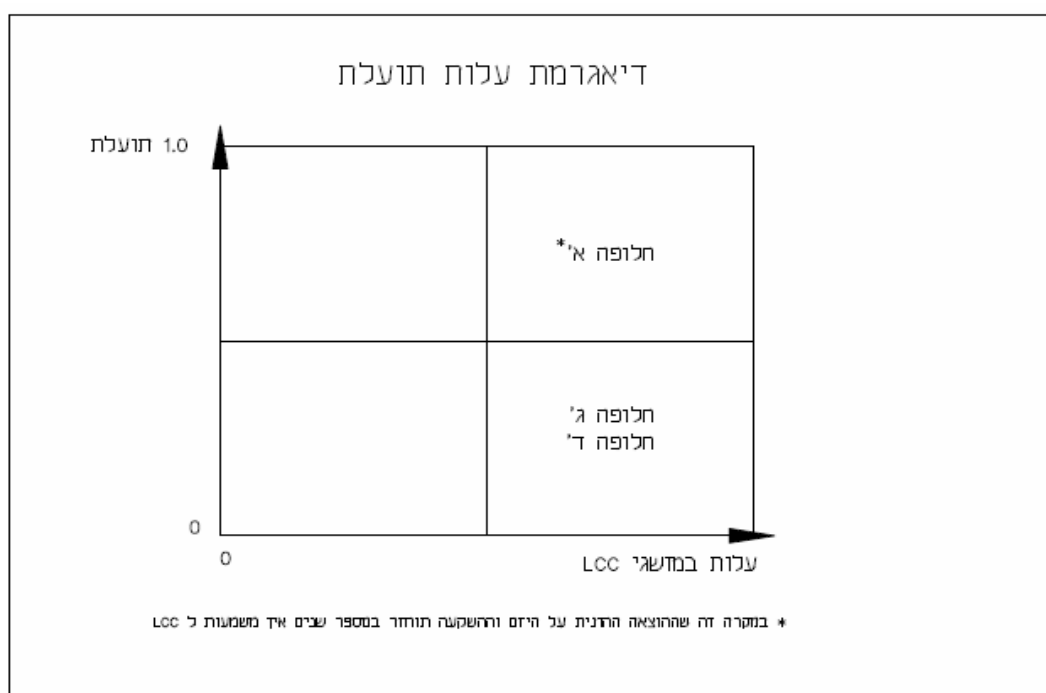
- * חלופה א' - הקמת מפעל לייצור אמוניה בדרום הנה חלופה בעלת יתרונות כלכליים מובהקים על פני חלופות אחרות.
- * היתרונות הכלכליים כוללים תחליף יבוא עם הגדלת הייצוא, בהשתלב עם החלטת הממשלה לחיזוק הנגב תוך הגדלת תעסוקה איכותית בדרום.
- * חיסרון עיקרי הינו ההשקעה הגבוהה בהקמה, אך ניתן למצוא יזם פרטי להשקעה לאור כדאיות הנראית לעין.
- * החלופות האחרות לא מהוות אתגר כלכלי של ממש, ולא פותרות את הבעיה לטווח ארוך.

* יחד עם זאת, לחלופת היבוא המפוצל (שני מיכלים חדשים) יתרון מסוים על-פני "חלופת האפס" (המצב הקיים), יתרון הנובע בעיקר מההנחה כי המיכלים החדשים יהיו טמונים לעומת המיכל הקיים ב"חלופת האפס" שאינו טמון.

* במספר קריטריונים של סיכון פיזי, כגון רגישות סיסמית ורגישות בטחונית, חלופת היבוא המפוצל עדיפה. גם בקריטריון של סיכון הנובע ממרחק מאוכלוסיה לחלופה זו יתרון על-פני המצב הקיים (חלוקת הארץ לשני אזורים מקטינה משמעותית את הצורך בשינוע צפון-דרום מדי יום). לחלופה זו יתרונות גם עפ"י הקריטריונים הסביבתי והציבורי.

* לעומת זאת, בקריטריון כגון רגישות תפעולית ל"חלופת האפס" יתרון ברור (ביבוא מפוצל מדובר בתפעול כפול, שני מעגנים, שתי אוניות, שני מתקני פריקה וכיו"ב). כמובן, כי גם בקריטריון של זמן מימוש למצב הקיים ישנו יתרון על-פני תכנון והקמה של שני מיכלים חדשים.

ניתן להציג את סיכום היתרונות של החלופות השונות בדיאגרמה שלהלן -



9. מסקנות

1. מניתוח בחינת החלופות הסופיות במונחי עלות-תועלת, כמו-גם מניתוח שקלול החלופות בידי הצוות המלווה לפרויקט, עולה כי החלופה המועדפת באופן מובהק היא חלופת **הקמת מפעל לייצור אמוניה בישראל**, ומקבלת 64% יתרון ע"פ החלופות האחרות.
2. חשוב להבהיר, כי אין במסקנה זו לקבוע את השיטה בה תיוצר האמוניה, או את תפוקת הייצור וכדו'. העיקרון המנחה בחלופה זו היא כי מפעל ייצור מקומי ייתר את הצורך ביבוא אמוניה. עם-זאת, בשעת חירום יהיה צורך לשמור את היכולת של ישראל לייבא אמוניה.

3. עוד יובהר, כי כל שיטת ייצור שתייתר את הצורך בייצוא אמוניה תהיה בעלת יתרונות בהיבטי בטיחות וסביבה. כפי שפורט בפרק 5. לעיל, ייצור אמוניה לשוק המקומי בלבד (אם ריאלי) או ייצור משולב של אמוניה/אוריאה בהחלט מגלמים יתרונות אלה.
4. למפעל משולב של אמוניה/אוריאה יש ערך כלכלי כפול, מאחר ומעבר לייצור אמוניה, הוא מייצר גם אוריאה, המהווה חומר דשן בעל שוק של ביקושים. במקרה כזה אין צורך לבחון לייצא אמוניה עודפת, שתיועד ליצור אוריאה (איננה חומר מסוכן) לשוק המקומי ולייצוא.
5. עוד נמצא, כי חלופת היבוא המפוצל עדיפה על-פני "חלופת האפס" (מאחר ומניחים שני מיכלים טמונים לעומת מיכל קיים), ומקבלת 21.5% לעומת 14.5 עבור "חלופת האפס".

10. המלצות

1. בכדי לסייע במימוש החלופה המועדפת של הקמת מפעל לייצור אמוניה בישראל, על ממשלת ישראל לקבל החלטה כי מדובר בפרויקט לאומי המחזק את הנגב, תוך קביעת צעדים בהם יש בידי ממשלת ישראל לנקוט בכדי לעודד יזמים להקים את המפעל.
2. צעדים אלה יכולים לכלול, לדוגמא, קביעת מחיר אטרקטיבי יותר לגז טבעי כחומר גלם בתעשייה (להבדיל משימוש כחומר דלק).
3. מאחר והקמת מפעל ייצור אמוניה יהווה חלופה למיכל האמוניה בקיים בחיפה, סוגיה בעלת היבטים בטיחותיים, סביבתיים וציבוריים מורכבים, אנו ממליצים לממשלת ישראל לקדם את התמריצים וכלי-הסיוע בתחום זה בנפרד, תוך מתן עדיפות מיוחדת לנושא.
4. מדובר בצעדים אופרטיביים שיגובשו ויהיו מעבר להטבות הניתנות למפעל באיזור פיתוח א' עפ"י הקריטריונים המקובלים של מרכז ההשקעות בהתאם לחוק עידוד השקעות הון. הקריטריונים לזכאות לאור הגדלה ודאית של התעסוקה בדרום, אופציה לייצוא וכדו'.
5. מעבר לתמריצים כלכליים וכלי-סיוע, לא פחות חשוב מבחינת הממשלה והרשויות הרלוונטיות לנקוט ב"מסלול ירוק" בטיפולן במיזם. המכשולים הבירוקרטיים, הסרבול והעיכובים התכופים מפחיתים מוודאות היזם, ומהווים חסם שיש לפעול להסרתו.
6. במידה ומסיבה כזו או אחרת לא תתממש חלופה זו, מומלץ לממש את החלופה שבעדיפות השנייה, קרי חלופת היבוא המפוצל, דהיינו הקמת שני מיכלי-חוף חדשים.
7. יש להימנע ככל הניתן מפריקה וטעינה של האמוניה מהאוויר, כמו-גם משינוע אמוניה במיכליות כביש, בשעות הלילה, וכך להימנע מהאפשרות כי אירוע אמוניה משמעותי יתרחש בתנאים מטאורולוגיים בעייתיים עם מהירויות רוח נמוכות במיוחד.

11. מקורות מידע

- *The Haber-Bosch Heritage: The Ammonia Production, Technology*, Max Appl, 50th Anniversary of the IFA Technical Conference September 25 – 26th 1997
<http://www.fertilizer.org/ifacontent/download/5315/83504/.../1/.../HABER.PDF>
- *Ammonia 97/98-6*, Chem systems, August 1998
<http://www.chemsystems.com/reports/search/docs/toc/97-6-toc.pdf>

- *The Production of Synthetic Ammonia*, Chempedia
<http://www.lookchem.com/Chempedia/Chemical-Technology/Inorganic-Chemical-Technology/2865.html>
- *Efficient Ammonia Production*, Jim Gosnell, KBR, October 2005 Hydrogen Conference, Argonne National Laboratory.
<http://www.docstoc.com/docs/50284233/Efficient-Ammonia-Production>
- *Fuel switch in the ammonia industry*, ClimateTechWiki.
<http://climatetechwiki.org/technology/ammonia-industry>
- *Ammonia*, Tim Eggeman, Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology, April 2010
<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/0471238961.0113131503262116.a01.pub3/full>
- *The New Abu Qir III Ammonia/Urea Complex Design and Start-Up Experiences*, Dr. D. Lippmann, Dr. S. Deutsch Krupp Uhde GmbH R. Khalil, M. Moussa Abu Qir Fertilizers & Chemical Industries Co. The 44th Annual Safety In Ammonia Plants and Related Facilities Symposium, Seattle, Washington, USA, September 1999
<http://www.diquima.upm.es/docencia/tqi/docs/abugir-3.pdf>
- *Maximize ammonia production cost-effectively, Operating company chooses to revamp the primary reformer to increase capacity of existing unit*, E. West-Toolsee, PCS Nitrogen Ltd., Trinidad, West Indies, and R. Patel , Hydrocarbon processing, April 2006,
http://www.borncanada.com/docs/ArticleAmmoniaHydroProc_Apr06.pdf
- *Preliminary Screening — Technical and Economic Assessment of Synthesis Gas to Fuels and Chemicals with Emphasis on the Potential for Biomass-Derived Syngas*, P.L. Spath and D.C. Dayton, NREL, December 2003.
<http://www.nrel.gov/docs/fy04osti/34929.pdf>
- *Initiating New Projects in the Ammonia Sector*, Andrew Prince, IFA, March 2008.
<http://mail.pdilin.com/IntranetContent/TechArticles/IFA%20Tech%202007.pdf>

- *Impact of Rising Natural Gas Prices on U.S. Ammonia Supply*, Wen-yuan Huang, USDA, August 2007.
<http://www.ers.usda.gov/publications/WRS0702/wrs0702.pdf>
- *Introduction to Ammonia Manufacture*, Syntex.
<http://www.diquima.upm.es/docencia/tqi/docs/ammonia.pdf>
- *Production of Ammonia*, Best Available Techniques for Pollution Prevention and Control in the European Fertilizer Industry, EFMA, 2000.
<http://www.diquima.upm.es/docencia/tqi/docs/amonia00.pdf>
- *Ammonia and urea production: Incidents of ammonia release from the Profertil urea and ammonia facility, Bahia Blanca, Argentina 2000*, Brigden, K. & Stringer, R. Greenpeace Research Laboratories, December 2000.
<http://www.greenpeace.to/publications/profertil%20report.pdf>
- *El Segundo Power Redevelopment Project*, Staff analysis, California Energy commission, February 2008.
<http://www.energy.ca.gov/2008publications/CEC-700-2008-006/CEC-700-2008-006.PDF>
- *Storage and Handling of Anhydrous Ammonia*, Chapter 296-24 WAC Part F-2, General Safety and Health Standards.
<http://www.lni.wa.gov/wisha/rules/generalsafety/PDFs/24-Part-f2.pdf>
- *Anhydrous Ammonia Standards*, Chapter 7-12-01, Anhydrous Ammonia Regulation.
<http://www.legis.nd.gov/information/acdata/pdf/7-12-01.pdf>
- *Storage and Handling of Anhydrous Ammonia — OSHA Standard 1910.111*, UF, Carol J. Lehtola, Charles M. Brown, and William J. Becker.
<http://edis.ifas.ufl.edu/pdffiles/OA/OA08600.pdf>
- *An Ammonia Storage Tank Study*, R.H. Squire, E. I. Du Pont de Nemours Company, Belle, WV, Plant/operations Progress (Vol. 10, No. 4) October, 1991
<http://www.mendeley.com/research/an-ammonia-storage-tank-study>

- *Overpressure Protection System for Ammonia Storage Tank*, Venkat Paltabathuli, John McGrath, and Iew McDonald, Process Safety Progress (Vol.20, No. 1, March 2001).
<http://www.mendeley.com/research/overpressure-protection-system-for-ammonia-storage-tank/>
- *Review of Ammonia Incidents 1992 – 1998*, E M Gregson, October 2003.
<http://www.hse.gov.uk/foi/internalops/hid/din/526.pdf>
- *Safety in the Global Ammonia Industry*, Venkat Pattabathula, FAI Seminar, 2009.
<http://www.faidelhi.org/FAI%20Seminar%202009/FAI-Sem-09-pres-pdf/Venkat%20Pattabathula.pdf>
- *Anhydrous Ammonia: Managing The Risks*, John Nowatzki, NDSU, August 2008.
<http://www.ag.ndsu.edu/pubs/ageng/safety/ae1149.pdf>
- *Ammonia Refrigeration Accidents*, from IchemE's Accident Database
- *Ammonia Handling and Shipping Safety*, Workshop, June 2008.
<http://www.afa.com.eg/Uploads/amoniasppng/Ammonia%20workshop%20findings.pdf>
- *Ammonia Facts*, Oregon Hazardous Substances Emergency Events Surveillance System (HSEES).
<http://library.state.or.us/repository/2008/200807300827133/index.pdf>
- *General permit to install for anhydrous ammonia storage and handling*, Michigan department of environment quality, Rebecca A. Humphries, February 1998 - March 2005
http://www.deq.state.mi.us/aps/downloads/permits/GenPmt/ammonia_REV4.pdf
- *Anhydrous ammonia safety*, Airgas, 2006 *Anhydrous ammonia safety*, Airgas, 2006
<http://www.wagner-meinert.com/Portals/0/AnhydrousAmmoniaSafety2006.pdf>

- *Hazard analysis of anhydrous ammonia truck accident*, Orlando Gasification Project EIS, January 2007
http://www.netl.doe.gov/technologies/coalpower/cctc/EIS/orlando_pdf/AppendixE%20FINAL%20revised%20011207.pdf
- *Rupture of a cryogenic ammonia tank, March 20th 1989, Jonava, Lithuania (USSR)*, Ministry in charge of the environment - DPPR / SEI / BARPI, March 2007.
http://www.aria.developpement-durable.gouv.fr/ressources/aria_717_eng.pdf
- ***Bang Kho Laem ammonia leak at a cold-storage warehouse***, 2007.
<http://teakdoor.com/thailand-and-asia-news/13459-bang-kho-laem-ammonia-leak-cold.html>
- *Corrosion by Ammonia*, Michael Davies, ASM Handbook Volume 13C, Corrosion: Environments and Industries (ASM International), 2006.
<http://www.asminternational.org/portal/site/www/AsmStore/ProductDetails/?vgnextoid=8a467e0e64e18110VgnVCM100000701e010aRCRD#details>
- *Comparative quantitative risk analysis of motor gasoline LPG, and anhydrous ammonia as an automotive fuel*, Quest Consultants Inc, June 2009.
http://www.energy.iastate.edu/renewable/ammonia/downloads/NH3_RiskAnalysisfinal.pdf
- *Pipeline Accident Brief*, National Transportation Safety Board, Washington, D.C. 20594, June 2007.
<http://www.nts.gov/doclib/reports/2010/PAB1001.pdf>
- *Summer environmental impact assessment and summary initial environment examination for Anhui environmental improvement project in people's republic of China*, June 1996. <http://www.adb.org/Documents/Environment/Prc/prc-anhui-environmental.pdf>
- *Responding to casualties of ships bearing hazardous cargoes*, National academy of sciences, 1979.
<http://books.google.co.il/books?id=wEkrAAAYAAJ&pg=PP2&lpg=PP2&dq=Responding+to+casualties+of+ships+bearing+hazardous+cargoes&source=bl>

http://www.eia.gov/oog/info/ngw/ngpf.asp&ots=q1SHqBU6NO&sig=4A41kpXbatzDaRTB4vAG7z25PA8&hl=iw&ei=vS6ATp2PM6ii0QWc7bnPCQ&sa=X&oi=book_result&ct=result&resnum=1&ved=0CBgQ6AEwAA#v=onepage&q&f=false

- *Natural Gas Weekly Update*, EIA, March 31, 2011.
<http://www.eia.gov/oog/info/ngw/ngpf.asp>
- *Baltic Chemical Terminal*, BCT brochure, AS BCT.
<http://www.bct.ee/docs/BCTbrochure.pdf>
- *AS BCT Presentation*, <http://www.bct.ee/main>
- *Baltic Chemical Terminal (BCT) trains emergency response procedures with RescueSim, PesqueSim*, October 2010.
http://www.rescuesim.com/news/detail/item/01102010_23
- *Start-up Problems of New Large Ammonia Plants and the Effect on the Ammonia Market*, Daphne Mermikides, The International Fertilizer Society.
<http://www.fertiliser-society.org/proceedings/uk/Prc117.HTM>
- *Third Edition of Product and Process Design Principles*, Warren D. Seider, J. D. Seader, Daniel R. Lewin, and Soemantri Widagdo, April 2009
- *Production, import/export, use, and disposal*, Ammonia, ATSDR
<http://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp100-c4.pdf>
- *Ammonia storage and marine loading*, A.K.Sunil, 15th AFA Int. 'I Fertilizers Forum & Exhibition, February 2009
[http://www.afa.com.eg/Uploads/ACONF15_PAPERS/23-OMIFCO%20Final%20\[Compatibility%20Mode\].pdf](http://www.afa.com.eg/Uploads/ACONF15_PAPERS/23-OMIFCO%20Final%20[Compatibility%20Mode].pdf)
- *Major Hazard Risk Assessment on Ammonia Storage at Jordan Phosphate Mines Company (JPMC) in Aqaba, Jordan*, Jehan Haddad, Salah Abu Salah, Mohammad Mosa, Royal Scientific Society, Jordan, Pablo Lerena, Swiss Institute for the Promotion of Safety and Security, Switerland, Christian Buser, University of Applied Sciences Northwestern Switzerland, Switzerland, Mohammad Hjouj, Jordan Phosphate Mines Company (JPMC), Jordan.
<http://www.aidic.it/CISAP4/webpapers/72Haddad.pdf>

- *Management Structure of Ventspils Freeport Authority*, Free Port of Ventspils Authority booklet, 2010
http://www.portofventspils.lv/files/394_ventspils_freeport_booklet_2010_en.pdf
- *Guidelines for the location of stationary bulk ammonia storage facilities*, Alberta Environment Standards and Approvals Division, Third Issue August 1982
<http://environment.gov.ab.ca/info/library/7233.pdf>
- *Ammonia storage: selection and safety issues*, G S Lele, Chemical industry digest, May 2008
<http://www.uhdeindia.com/downloads/ammoniastorage.pdf>
- *Risk-Based Assessment of a 25,000 Ton Ammonia Storage Tank*, D. Daly, Gregory J. Deis, Ronald E. Frishmuth, D. McIntyre, Doug Paneitz and Robert E. Smallwood, Process Safety Progress, December 2002
<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/prs.680210411/abstract>
- *Officials Study Blast at Unocal Ammonia Plant*, The Oil Daily, August 1999,
<http://www.highbeam.com/doc/1G1-55559073.html>
- *Ammonia Storage*, Mannvit Engineering
<http://www.mannvit.com/Industry/AmmoniaStorage>
- *Ammonia Flares - Emergency & Process*, NAO
http://www.nao.com/ammonia_flares.htm
- *Ammonia Storage Issues*, EEA
<http://www.eea-inc.com/rrdb/DGRegProject/Ammonia.html>
- *QAFCA Ammonia storage tanks*, CB&I <http://www.cbi.com/markets/project-profiles/qafco-ammonia-storage-tanks>
- *Cold Ammonia storage terminals flare emissions modeling*, Process Engineering Associates, LLC
http://www.processengr.com/case_summaries/pipeline/pipeline_nh3_support_1.html

- *Zhanjiang Liquid Ammonia Tank Farm Project*, HQC
<http://www.hqcec.com/hqcec/english/>
- *Plants: Port of Tampa Ammonia Terminal*, CF Industries
<http://www.cfindustries.com/index.html>
- *C. F. Industries, Inc. - Ammonia Terminal*, Tampa Port Authority
<http://www.tampaport.com/Port-Facilities/Bulk-Cargo-Facilities/C.-F.-Industries-Inc.-Ammonia-Terminal>
- *Transshipment Of Ammonia At Baltic Chemical Terminal Begins*, Allbusiness
<http://www.allbusiness.com/chemicals/agricultural-chemicals-industry/13709629-1.html#ixzz1Zd32Snyl>
- *Hazardous Materials*, Missouri Hazard Analysis, October 2009
- *Guidance for inspection of and leak detection in liquid ammonia pipelines*, EFMA 2008
<http://www.efma.org/PRODUCT-STEWARDSHIP-PROGRAM-10/images/29809-Pipeline%20Bkt%20HIGH%20RES.pdf>
- *Recommendation for the safe and reliable inspection of atmospheric, refrigerated ammonia storage tanks*, EFMA 2002
[http://www.efma.org/documents/file/guidance/Recommendations%20for%20the%20Safe%20and%20Reliable%20Inspections%20of%20Atmospheric.%20Refrigerated%20Ammonia%20Storage%20Tanks%20\(2002\).pdf](http://www.efma.org/documents/file/guidance/Recommendations%20for%20the%20Safe%20and%20Reliable%20Inspections%20of%20Atmospheric.%20Refrigerated%20Ammonia%20Storage%20Tanks%20(2002).pdf)
- *Guidance for inspection of atmospheric, refrigerated ammonia storage tanks*, EFMA 2008
[http://www.efma.org/documents/file/guidance/Guidance%20for%20Inspection%20of%20Atmospheric.%20Refrigerated%20Ammonia%20Storage%20Tanks%20\(2008\)%20English.pdf](http://www.efma.org/documents/file/guidance/Guidance%20for%20Inspection%20of%20Atmospheric.%20Refrigerated%20Ammonia%20Storage%20Tanks%20(2008)%20English.pdf)
- *OMIFCO Experience on Ammonia Loading*, Mr. K. Parthasarathi, 14th AFA Int. Annual Fertilizers Forum & Exhibition, February 2008
http://www.afa.com.eg/Uploads/aconf14_prcdng/S4_4%20PAPER.pdf

- *Large scale ammonia storage and handling*, Dan Webb, CF Industries
<http://www.irc.wisc.edu/file.php?id=21>
- *Energy Storage with Anhydrous Ammonia: Comparison with other Energy Storage*, Bill Leighty, The Leighty Foundation, Juneau, AK October 2008
http://www.energy.iastate.edu/Renewable/ammonia/ammonia/2008/Leighty_2008.pdf
- *Costs of Delivered Energy from Large-scale, Diverse, Stranded, Renewable Resources, Transmitted and Firmed as Electricity, Gaseous Hydrogen, and Ammonia*, Bill Leighty, The Leighty Foundation, Juneau, AK October 2006
<http://www.energy.iastate.edu/renewable/ammonia/ammonia/2006/Leighty.pdf>
- *OCI Signs Agreement to Acquire Ammonia Terminal at the Port of Rotterdam – Netherlands*, Press Release, OCI Fertilizer Group, July, 2010
<http://www.protonchemie.com/images/MicroChemieAcquisitionPressRelease.pdf>
- *A Little History and A Lot of Photos of Monolithic Dome Storages*, Monolithic
<http://www.monolithic.com/stories/history-and-photos-of-monolithic-dome-storages/photos>
- *Super-Safe Large Anhydrous Ammonia Tanks: New Designs for Ammonia Storage Safety, Prevention Design for Populated Environments*, Mackinaw Associates, 2008
http://www.energy.iastate.edu/Renewable/ammonia/ammonia/2008/Nyquist_2008.pdf
- *North Bontang, Indonesia Ammonia export terminal*, CB&I,
<http://www.cbi.com/markets/project-profiles/north-bontang-indonesia-ammonia-export-terminal/>
- *MCF Overview*
<http://www.mangalorechemicals.com/infrastructure-overview.asp?links=iov>

- *Weather effects on ammonium storage*, C. C. Hale , Process safety progress, April 1982
<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/prsb.720010201/pdf>
- *Ammonia and Urea Strategic Business Analysis*, CHEMSYSTEMS, 2009/10 Prospectus.
- http://www.chemsystems.com/reports/search/docs/prospectus/SBA09_Amonia_Urea_Prospectus.pdf
- *Brunei Ammonia/Urea Manufacturing Project*, Brunei Darussalam, Consortium Presentation Bandar Seri Begawan, 2004
http://www.bruneiresources.com/pdf/bedb_sungai_liang_2.pdf
- *Ammonia and Urea production*
<http://nzic.org.nz/ChemProcesses/production/1A.pdf>
- *The current situation of China's synthetic ammonia and urea production based on natural gas*
- www.fertilizer.org/ifacontent/download/5575/88184/.../1/.../103.pdf
- *AMMONIA-UREA AND SYNGAS-BASED PRODUCTS*
- <http://www.saipem.it/site/download.jsp?idDocument=1323&instance=2>
- *The New Abu Qir III Ammonia/Urea Complex Design and Start-Up Experiences*, Dr. D. Lippmann, Dr. S. Deutsch, Krupp Uhde GmbH
<http://www.diquima.upm.es/docencia/tqi/docs/abugir-3.pdf>

- אמוניה בתעשייה הכימית, מערך שיעור, אירנה לינקובסקי.
- חשיבות האמוניה למשק הישראלי, התאחדות התעשיינים, דב באסל, דצמבר 2006
- סקר מיכלי אמוניה, חיפה כימיקלים, עמיחי זיידר, מאי 2009