



פליטות מתאן ממגזר הנפט והגז הטבעי ושיטות מיטביות לכימות



כתיבה ועריכה: ד"ר מרים לב-און, ד"ר פרי לב-און, פרופ' אופירה אילון,

מעיין זרביב ציון

מוגש לד"ר סיניה נתניהו, מדענית ראשית, המשרד להגנת הסביבה

מאי 2016

אודות מוסד שמואל נאמן

מוסד שמואל נאמן הוקם בטכניון בשנת 1978 ביוזמת מר שמואל (סם) נאמן והוא פועל להטמעת חזונו לקידומה המדעי-טכנולוגי, כלכלי וחברתי של מדינת ישראל.

מוסד שמואל נאמן הוא מכון מחקר המתמקד בהתוויות מדיניות לאומית בנושאי מדע וטכנולוגיה, תעשייה, חינוך והשכלה גבוהה, תשתיות פיסיות, סביבה ואנרגיה ובנושאים נוספים בעלי חשיבות לחוסנה הלאומי של ישראל בהם המוסד תורם תרומה ייחודית. במוסד מבוצעים מחקרי מדיניות וסקירות, שמסקנותיהם והמלצותיהם משמשים את מקבלי החלטות במשק על רבדיו השונים. מחקרי המדיניות נעשים בידי צוותים נבחרים מהאקדמיה, מהטכניון ומוסדות אחרים ומהתעשייה. לצוותים נבחרים האנשים המתאימים, בעלי כישורים והישגים מוכרים במקצועם. במקרים רבים העבודה נעשית תוך שיתוף פעולה עם משרדים ממשלתיים ובמקרים אחרים היוזמה באה ממוסד שמואל נאמן וללא שיתוף ישיר של משרד ממשלתי. בנושאי התוויית מדיניות לאומית שעניינה מדע, טכנולוגיה והשכלה גבוהה נחשב מוסד שמואל נאמן כמוסד למחקרי מדיניות המוביל בישראל.

עד כה ביצע מוסד שמואל נאמן מאות מחקרי מדיניות וסקירות המשמשים מקבלי החלטות ואנשי מקצוע במשק ובממשל. סקירת הפרויקטים השונים שבוצעו במוסד מוצגת באתר האינטרנט של המוסד. בנוסף מסייע מוסד שמואל נאמן בפרויקטים לאומיים דוגמת המאגדים של משרד הכלכלה - מגנט בתחומים: ננוטכנולוגיות, תקשורת, אופטיקה, רפואה, כימיה, אנרגיה, איכות סביבה ופרויקטים אחרים בעלי חשיבות חברתית לאומית. מוסד שמואל נאמן מארגן גם ימי עיון מקיפים בתחומי העניין אותם הוא מוביל.

יו"ר מוסד שמואל נאמן הוא פרופ' זאב תדמור וכמנכ"ל מכהן פרופ' עמרי רנד.

* הדו"חות והפרויקטים שמבצע המוסד ניתנים להורדה [מאתר מוסד שמואל נאמן](#)

תמצית מנהלים

מסמך זה הוכן על ידי מוסד שמואל נאמן עבור המשרד להגנת הסביבה והוא מתמקד באפיון פליטות מתאן במקטעים השונים של תעשיית הנפט והגז הטבעי.

מתאן הוא המרכיב העיקרי של גז טבעי אשר השימוש הגובר בו - ברחבי העולם כמו גם בישראל - עשוי לגרום להגברת פליטתו לאטמוספירה. תהליך ייצור חשמל וחום באמצעות גז טבעי תורם להפחתה ניכרת של פליטות גזי חממה היות והוא יוצר כ-50% פחמן דו-חמצני ליחידת אנרגיה לעומת דלקים פוסיליים אחרים כגון פחם, סולר או מזוט. אולם, השימוש בגז טבעי עלול לגרום לפליטות של גזי חממה אחרים, כגון מתאן, שהינם תוצאה של נישוב מערכות או דליפות לא מוקדיות ממקורות המאפיינים את שרשרת תהליכי ההפקה, העיבוד, ההולכה והחלוקה של גז טבעי למשתמשי הקצה.

תעשיית הגז הטבעי בישראל היא עדיין בחיתוליה אבל כבר עתה ניכרת עליה בהפקה ובצריכה של גז טבעי בישראל הדורשת מידע מדויק שיאפשר את אפיון הפליטות הנלוות לפעילות בענף זה כעת ולצפי הפליטות בהתאם לתחזיות של הפעילות בעשורים הבאים.

מגזר הנפט והגז הטבעי מורכב ממערכות משולבות במקטעי פעילות שונים אשר בכל אחד מהם מקורות שמהם עלול להיפלט מתאן לאטמוספירה. מקטעי הפעילות כוללים: הפקת נפט וגז בים וביבשה, איסוף נפט וגז ממקורות הפקה שונים ודחיסה של הגז לשם העברה לעיבוד או לאגירה, עיבוד הגז לשם עמידה בתקנים הנדרשים להעברה לצרכני הקצה, הולכה של גז טבעי בלחץ גבוה ישירות לצרכנים תעשייתיים ולתחנות חלוקה שבהם מופחת הלחץ לחלוקה לסקטור המסחרי או הביתי.

המודעות הגוברת בדבר השפעת מגזר הגז הטבעי על פליטות גזי חממה הביא לארגון קואליציית האקלים ואויר נקי (Climate and Clean Air Coalition), המהווה מאמץ בינלאומי של 42 ממשלות, ביניהן ישראל, אשר מטרתו היא תמרוץ פעילות בינלאומית להפחתת זיהום אוויר הכולל פעולות למניעת שינוי אקלים בעשורים הקרובים. אחת מהיוזמות של קואליציה זו הינה תכנית וולונטרית לעידוד כימות פליטות מתאן ממגזר הנפט והגז הטבעי המלווה בהכנת תוכניות לפעולה מידית וניטור התקדמות להשגת המטרות שהוצבו.

כימות פליטות מתאן מבוצע בהתאם להנחיות הפאנל הבין-ממשלתי לשינוי אקלים (IPCC) אשר פרסם שורה של הנחיות למדינות הכוללות שיטות חישוב מיטביות ופורמט אחיד לסיכום הנתונים לשם דיווחם לאו"ם. הנחיות אלה מכירות בעובדה שזמינות המידע לעריכת מצאי פליטות שונה ממדינה למדינה וכך גם המשאבים הקיימים לאיסוף הנתונים הדרושים, ולפיכך השיטות המומלצות מדורגות בשלשה נדבכים (Tiers).

הנדבך הראשון (Tier 1) של השיטות מתבסס על מקדמי פליטה גנריים המשמשים לחישוב פליטות על בסיס מידע לאומי על הקף הפעילות במגזר כגון סך הנפט והגז המופקים, מיובאים או מיוצאים. שיטות החישוב של פליטות מתאן בנדבך השני דורשות ידיעה יותר מדויקת של מקדמי פליטה המאפיינים את הפעילות הארצית, ואילו בנדבך השלישי נדרש ידע של מקדמי פליטה ופעילות פרטניים עבור תפעול האתרים במקטעים השונים.

יישום שיטות כימות מסובכות יותר - בהתאם לנדבכים השונים - דורש יותר נתונים ותורם לאפיון מדויק יותר של פליטות המתאן אבל גם דורש הפעלת אמצעי מדיניות ומשאבים רלוונטיים.

מדינות החברות באמנת המסגרת לשינוי אקלים והמנויות בנספח 1 של האמנה (ישראל אינה נמנית בין מדינות אלה) מוסרות לאו"ם כל שנה דיווח מלא של מצאי פליטות גזי חממה, כולל מתאן, עבור כל מגזרי הכלכלה שלהן. המדינות מחשבות את הפליטות של כל גז חממה בנפרד

וכן את סך הפליטות בהתאם להנחיות האו"ם, כאשר כל מדינה מתאימה את אופני החישוב בהתאם לנתונים הזמינים לה תוך קביעת מטרות לשיפור שיטות כימות הפליטות בהתאם לנדבכים השונים של שיטות החישוב המומלצות. במשך שנים רבות דיווחי הפליטות ממגזר הנפט והגז הטבעי התרכזו על פליטות פחמן דו-חמצני (פד"ח) היות וזו מסת הפליטה הגדולה ביותר עבור המגזר, ואילו בשנים האחרונות, עם העלייה במודעות בדבר חשיבות גזי חממה שאינם פד"ח ישנה מגמה לשיפור שיטות הכימות שלהם.

המסמך מציג שלוש חלופות לאפיון פליטות מתאן ממגזר הגז הטבעי בישראל:

1. **שימוש במקדם פליטה גנרי המתבסס על כל כמות הגז המופקת** - יישום המתבסס על סקירה עולמית של הסוכנות האמריקאית להגנת הסביבה (EPA) אשר קבעה שמקדם פליטת מתאן ממגזר הגז הטבעי (כולל כל מערך ההפקה, העיבוד וההולכה) עבור מדינות OECD שאינן בנספח 1 של אמנת האקלים הוא כ-2.26% (על בסיס נפח).

2. **שימוש במקדמי פליטה גנריים עבור המקטעים השונים בהתאם להנחיות IPCC** – יישום המתבסס על שיטות נדבך 1 בהנחיות ה-IPCC תוך התאמת מקדמי הפליטה המובאים בהנחיות להרכב הגז הטבעי המופק באסדות וכן להרכב הגז המעובד המגיע למשק בישראל.

3. **איסוף נתוני פעילות תקופתיים ממגזר הגז הטבעי לשם כימות פליטות** – יישום המבוסס על התהליך של מנהל משאבי אנרגיה בים (BOEM) שבמשרד הפנים האמריקאי העורך סקירות מקיפות (כל שלוש שנים) לאיסוף מידע המאפשר כימות פליטות ישירות מפעילות ההפקה בים והולכת התוצרים לחוף, וכולל גם פליטות מציד העזר הנדרש לפעילות בים (כלי שיט, מסוקים וכדומה).

המלצת חוקרי מוסד שמואל נאמן היא לאמץ – בשלב הראשון - את חלופה מספר 2 היות והיא מבוססת על הנחיות נדבך 1 של ה-IPCC, והיא תהיה קבילה עבור מצאי פליטות לאומיים דו-שנתיים שישראל תצטרך להעביר למזכירות אמנת האקלים. מומלץ גם לבחון במקביל את חלופה מספר 3 ליישום סקירה תקופתית (אחת ל-3-5 שנים) בטווח ארוך יותר.

אודות המסמך

המסמך מורכב מחמישה פרקים:

פרק א - הערכות גלובליות של פליטות מתאן וחיבותן - תיאור חשיבות גז המתאן באטמוספירה, מגמות פליטות מתאן, התפלגות הפליטות ומקורן, וחישוב הפליטות.

פרק ב - מקורות ופליטות מתאן במקטעי תעשיית הנפט והגז הטבעי - התמקדות בפליטות לאורך שרשרת ההפקה והעיבוד בתעשיית הנפט והגז הטבעי, כולל הנחיות ודוגמאות לחישוב הפליטות.

פרק ג - הנחיות IPCC לשיטות מיטביות לכימות פליטות מתאן (הכולל נדבכים 1,2,3).

פרק ד - סקירת מתודולוגיות לאומיות להערכת פליטות מתאן במגזר הנפט והגז הטבעי - בחינת פליטות מתאן וגזי חממה בארה"ב, ופליטות גזי חממה באוסטרליה, בריטניה ואזרבייג'ן.

פרק ה - רקע על הפקה, צריכה ותשתיות גז טבעי בישראל לרבות המלצות ליישום מתודולוגיות לכימות פליטות מתאן.

תוכן עניינים

8.....	מילון מונחים.....
10.....	קיצורים.....
12.....	פרק א' הערכות גלובליות של פליטות מתאן וחשיבותן.....
12.....	חשיבות המתאן באטמוספירה.....
14.....	סקירת פליטות גלובליות של מתאן.....
18.....	פליטות גלובליות ממגזר הנפט והגז הטבעי.....
21.....	פרק ב' מקורות ופליטות מתאן במקטעי תעשיית הנפט והגז הטבעי.....
21.....	אפיון מגזר הגז הטבעי הגלובלי.....
27.....	פרק ג' הנחיות IPCC לשיטות מיטביות לכימות פליטות מתאן.....
27.....	הנחיות לחישוב ראשוני של פליטות מתאן במצאי פליטות לאומי.....
36.....	פרק ד' סקירת מתודולוגיות לאומיות להערכת פליטות מתאן ממגזר הנפט והגז הטבעי.....
37.....	פליטות מתאן במצאי הפליטות של ארה"ב.....
41.....	פליטות מתאן מהפקת נפט וגז טבעי במפרץ מקסיקו בארה"ב.....
44.....	פליטות גזי חממה ממגזר הנפט והגז הטבעי באוסטרליה.....
46.....	פליטות גזי חממה ממגזר הנפט והגז הטבעי בבריטניה.....
47.....	פליטות גזי חממה ממגזר הנפט והגז הטבעי באזרבייג'ן.....
48.....	פרק ה' יישום מתודולוגיות בישראל, לרבות, המלצות לאימוץ מתודולוגיות.....
48.....	רקע על הפקה וצריכה של גז טבעי בישראל.....
50.....	תשתיות לאספקת גז טבעי.....
52.....	הערכת פליטות מתאן ממגזר הגז הטבעי בישראל.....
57.....	סיכום והמלצות.....
58.....	מקורות.....
60.....	נספח- טבלת המרת יחידות.....

רשימת טבלאות

- טבלה 1 - מקדמי התחממות גלובלית עבור CH_4 בהתאם להערכות ה-IPCC..... 13
- טבלה 2 - התפלגות גלובלית של פליטות CH_4 עבור שלושת הקטגוריות העיקריות של מקורות הפליטה, ביחידות של מיליון טון שווה ערך פד"ח (MtCO_2e)..... 17
- טבלה 3 - תרחיש למגמה הגלובלית של פליטות CH_4 ממגזר הנפט והגז עד לשנת 2030 (MtCO_2e)..... 19
- טבלה 4 - הערכת פליטות גלובליות של CH_4 בשנת 2010 ממקורות במגזר הנפט והגז טבעי... 25
- טבלה 5- רשימת מקדמי הפליטה הגנריים לחישובי פליטות מתאן במגזר מערכות נפט וגז טבעי בהתאם למתודולוגיה של נדבך 1 כפי שמופיע בהנחיות האו"ם..... 28
- טבלה 6 - הערכת פליטות CH_4 עבור מדינות נבחרות עבור שנת 2010..... 29
- טבלה 7 - מקדמי פליטה ספציפיים למקטעי תעשיית הגז עבור פליטת CH_4 כתוצאה מתהליך דה-הידרציה של הגז באמצעות גליקולים..... 32
- טבלה 8 - מקדמים לכימות פליטות לא מוקדיות מרכיבים "דולפים" או "לא דולפים" עבור סוגי מתקנים שונים..... 33
- טבלה 9-מקדמי המרה גנריים לתכולת CH_4 במקטעי תעשיית הנפט והגז הטבעי..... 34
- טבלה 10 -נתוני פעילות טיפוסיים הנדרשים ליישום מתודולוגיות חישוב פליטות לא מוקדיות של מתאן ממגזר הנפט והגז הטבעי בהתאם לנדבכי החישוב השונים..... 35
- טבלה 11- מקדמי פליטת CH_4 עבור מקטעי הפקת נפט וגז טבעי במצאי הפליטות הלאומי של ארה"ב עבור שנת 2013..... 39
- טבלה 12 - מקדמי פליטת CH_4 עבור מקטעי עיבוד גז טבעי במצאי הפליטות הלאומי של ארה"ב עבור שנת 2013..... 40
- טבלה 13 - מקדמי פליטת CH_4 עבור מקטעי הולכת גז טבעי במצאי הפליטות הלאומי של ארה"ב עבור שנת 2013..... 40
- טבלה 14 - ממצאי סקר GOADS 2011 עבור פליטות גזי חממה מאסדות ההפקה..... 43
- טבלה 15 - פירוט פליטות גזי חממה מצידוד המופעל על אסדות ההפקה וצידוד העזר להפקה בים... 43
- טבלה 16 - מקדמים לפליטות לא מוקדיות (מבוטאות כסך התרכובות האורגניות) עבור סוגים שונים של רכיבים בצנרת הפקת נפט וגז טבעי..... 45
- טבלה 17 -הקבצה של מקדמי פליטה עבור CH_4 מצידוד ותהליכים במגזר הנפט והגז הטבעי..... 45
- טבלה 18 - מקדמים לפליטות לא מוקדיות של מתאן מפעולות במגזר הנפט והגז בבריטניה..... 46
- טבלה 19 - פליטות מתאן מאסדות הפקה ועיבוד של גז טבעי כולל צידוד עזר להפקה במפרץ מקסיקו, ארה"ב..... 56

רשימת איורים

- 12..... 1- מקורות CH_4 וחמצונו באטמוספירה
- 14..... 2- מגמת פליטות CH_4 מכל המקורות ומפליטות לא מוקדיות
- 15..... 3- התפלגות פליטות CH_4 גלובליות ממקורות אנטרופוגניים לשנת 2010
- 18.... 4- מגמת פליטות גלובליות של גזי חממה שאינם CO_2 עד לשנת 2030 בסקטור האנרגיה
- איור 5- מגמת עצימות פליטת CH_4 של חברות הנפט והגז הרב-לאומיות המדווחת באמצעות ה-
20..... IOGP
- 21..... 6- תחזית לעליה גלובלית בהפקת גז טבעי לפי הקבצות של מדינות (EIA 2013)
- 22..... 7- התפלגות רזרבות גז טבעי הניתנות טכנית להפקה בהתאם לסוג המאגר
- 23..... 8 - עתודות מוכחות של גז טבעי במדינות המזרח התיכון (מעודכן לסוף 2014)
- 24..... 9- מקורות פליטת CH_4 לאורך שרשרת האספקה של גז טבעי
- איור 10 - השוואת פליטות לא מוקדיות של מתאן מדלקים לפי הנתונים שנמסרו לאו"ם
36..... (UNFCCC, 2015)
- איור 11- התפלגות פליטות CH_4 במקטעים של מגזר הנפט והגז הטבעי במצאי הפליטות הלאומי של
37..... ארה"ב ב-2013
- 38..... 12- התפלגות פליטות CH_4 ממקטע הפקת נפט וגז טבעי בארה"ב לפי מקורות
- 41..... 13- תיאור סכמטי של מקורות פליטה לאטמוספירה והזרמה לים מהפקה בים
- 42..... 14- סכימה של מקורות פליטת CH_4 באסדת הפקה בים
- 44..... 15- מגמה רב שנתית של הפקה וצריכה של גז טבעי באוסטרליה
- איור 16 - מגמת ההפקה והצריכה של גז טבעי בבריטניה..... **Error! Bookmark not defined.**
- 47..... 17- הפקה וצריכה של גז טבעי באזרבייג'ן
- 48..... 18 -הפקה וצריכה של גז טבעי בישראל בשנים 2010 - 2015
- 49..... 19 -תחזית צריכת גז טבעי בישראל בין השנים 2016 - 2032
- איור 20 - מפת פריסת תשתיות הגז הטבעי בישראל הכוללת קווים שעדיין בהקמה
51.....

- אילוץ קרינתי (Radiative forcing) - מדד המבטא את ההשפעה היחסית של גורמים שונים על האיזון בין קרינת השמש הנכנסת לתוך האטמוספירה, לבין קרינת החום הנפלטת ממנה החוצה, ומבוטא ביחידות הספק לשטח (ואט למטר רבוע). גזי חממה יוצרים אילוץ קרינתי חיובי, מכיוון שהם לוכדים באטמוספירה קרינה אינפורה אדומה הנפלטת מהיבשות והימים וגורמים לעלייה בטמפרטורה הממוצעת של כדור הארץ.
- גז חממה (Greenhouse Gas) - גז באטמוספירה הבולע או מחזיר קרינה תת-אדומה הנפלטת מכדור הארץ (או כוכב לכת אחר), ובכך תורם לאפקט החממה. בעיקרון כל גז אטמוספירי הוא במידה מסוימת גז חממה, אבל הגזים שונים זה מזה בקיבול החום ובספקטרום הבליעה שלהם. לרוב קיבול החום של גז תלוי במבנה המולקולה ובמסה המולקולרית שלה. אדי מים הם גז החממה היעיל ביותר באטמוספירת כדור הארץ. גזי חממה נוספים: פחמן דו-חמצני, חנקן תת-חמצני, מתאן, אוזון, גפרית שש-פלואורית, פחמנים הידרופלואורים, פחמנים רב-פלואורים וגזים אחרים.
- גז טבעי מעובה- תעבית (condensate) - פחמימנים שנמצאים במצב צבירה גזי בגז הטבעי הגולמי המופק מהמאגר. הם עוברים תהליך עיבוי כאשר הטמפרטורה יורדת מתחת לנקודה שבה תרכובות אל מתחילים להתעבות. הגז עשוי להתעבות במהלך זרימתו מהבאר או במתקני הפרדה בין נוזל לגז כחלק מעיבוד הגז.
- גז טבעי נוזלי (גט"ן) (Liquefied natural gas- LNG) - גז טבעי שעבר תהליך עיבוי בטמפרטורה של 161- מעלות צלסיוס בלחץ אטמוספירי. התהליך מוריד את נפח הגז פי 600 לערך ויוצר חומר קל להובלה, אחסון וגיזוז ובכך מאפשר הסעה של גז למרחקים ארוכים וללא צנרת.
- גז מלווה (Associated Gas) - גז טבעי מלווה הוא גז שמצוי במאגרי נפט כגז חופשי (מלווה) או כגז בתמיסה עם נפט (גז מומס).
- הולכת גז טבעי (Natural Gas Transmission) - העברה של גז טבעי בלחץ גבוה מנקודת האספקה באמצעות צנרת עילית או תת-קרקעית ומדחסים בפריסה ארצית.
- זיהוי אופטי של פליטות מתאן (optical gas imaging) - למתאן כושר בליעה גבוה של קרינה אינפורה אדומה (infrared) ולכן ניתן לאתר פליטות מתאן על ידי חישה אופטית באמצעות מצלמות באורך גל אינפורה אדום.
- חלוקת גז טבעי (Natural Gas Distribution) - העברה של גז טבעי בלחץ נמוך בקווי צנרת ומתקני הגז הקשורים אליהם - ממערכת ההולכה עד למונה, לרבות המונה עצמו, כאשר החלוקה כוללת לקוחות גדולים, מסחריים ובתי התושבים.
- מונו אתילן גליקול/טרי אתילן גליקול (MEG/TEG) - מונע הצטברות הידרט בצינורות סגורים ונעשה בו שימוש נרחב בקווים לאיסוף גז ממתקני הפקה של קידוח נפט וגז.

- מקורות אנתרופוגניים (anthropogenic sources) - מעשי יד אדם, בהקשר של מקורות פליטת מתאן כגון: תהליכי ניצול של דלקים פוסיליים, בעלי חיים מעלי גירה, עיבוד אורז, טיפול בפסולת ושריפת ביומסה.
- ניקוי ותחזוקה של צנרת (pigging) - שליחת Pig (סוג של רובוט) בתוך הצנרת המשמש לניקוי ותחזוקה של הצנרת ללא הפסקת הזרימה הרגילה.
- נישוב (Venting) - שחרור של גז מתאן בצורה פאסיבית ומכוונת לאטמוספירה כחלק מתכנון הנדסי של התהליך או כאמצעי בטיחות במתקני קידוח של גז ונפט.
- עיבוד גז טבעי (Natural Gas Processing) - תהליך של ניקוי גז טבעי גולמי על ידי הוצאת תרכובות מזהמות (Hg , CO_2 , H_2S) והפרדת פחמימנים שאינם מתאן ומים בכדי לייצר גז טבעי יבש באיכות הנדרשת להולכה לצרכני הקצה.
- עתודות של גז ונפט (Oil & Gas Reserves) - מלאי נפט ו/או גז שניתן יהיה להפיק בעתיד. המונח מתייחס בד"כ להיקף הפחמימנים שניתן יהיה להפיקם מבחינה טכנית ומסחרית (בניגוד להיקף הכולל של הפחמימנים במאגר שיייתכן כי הפקתם לא תתאפשר עקב מגבלות השוק ו/או הטכנולוגיה הנוכחית). באופן כללי, ניתן לחלק את העתודות לשתי קבוצות עיקריות- עתודות מוכחות ועתודות מסיווגים אחרים.
- פוטנציאל ההתחממות הגלובלית (Global Warming Potential) - מדד המייצג את האפקט המשולב של הזמן שבו גזי חממה מתקיימים באטמוספירה עם היעילות היחסית שלהם בקליטת קרינת חום אינפרה-אדומה יוצאת. מדד זה מייצג את השפעתם של גזי החממה על ההתחממות הגלובלית יחסית לפחמן דו-חמצני (פוטנציאל ההתחממות הגלובלית של פחמן דו-חמצני מוגדר כ-1).
- פחמימנים (Hydrocarbons) - תרכובות של מימן ופחמן בהרכבים שונים שקיימים במוצרי נפט וגז טבעי.
- פליטות לא מוקדיות (Fugitive emissions) - דליפות גז בלתי מכוונות שמקורן בעיבוד, הולכה ו/או שינוע במתקני קידוח של נפט וגז. מדובר על הפסדי אנרגיה ממושכים בשיעור נמוך ממרכיבי המערכת.
- שריפה מבוקרת בלפיד (flaring) - תהליך שריפת אדי גז דליקים שנפלטים ממתקני קידוח נפט וגז כאמצעי לסילוק עודפים או כאמצעי בטיחות למיתון לחץ במערכת.
- תרכובות אורגניות נדיפות ללא מתאן (VOC) - שם כולל לקבוצה של חומרים אורגניים בעלי טמפרטורת רתיחה נמוכה, המתנדפים בטמפרטורת החדר. נוצרים בשריפה של דלק פחמימני, בהתאיידות של נפט, גז מעובה, דלק נוזלי או חומרים ממיסים. חומרים אורגניים נדיפים אלו הינם מזהמי סביבה ומסוכנים לבריאות האדם.

קיצורים

- API - American Petroleum Institute מכון הנפט האמריקאי
- BCM – Billion cubic meters מיליארד מטרים מעוקבים
- BOEM - Bureau of Ocean Energy Management מנהל משאבי אנרגיה בים
- CAIT - Climate Data Explorer מאגר נתוני אקלים
- CATF - Clean Air Task Force פורום אוויר נקי
- CCAC - Climate and Clean Air Coalition קואליציה לאקלים ואוויר נקי
- CO₂ - פחמן דו חמצני (פד"ח)
- CH₄ - מתאן
- EFDB - Emission Factor Database מאגר מידע של מקדמי פליטה של IPCC
- EIA - Energy Information Administration מנהל המידע של מחלקת האנרגיה בארה"ב
- EPA - US Environmental Protection Agency המשרד להגנת הסביבה בארה"ב
- GWP - Global Warming Potential מקדם התחממות גלובלית
- IEA – International Energy Agency סוכנות האנרגיה העולמית
- IOGP - International Association of Oil & Gas Producers פורום עולמי של יצרני הנפט והגז הטבעי
- IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change הפנל הבין-ממשלתי לשינוי האקלים
- IPIECA – The Global Oil Industry Association for Environmental and Social Issues איגוד בינלאומי של תעשיית הנפט והגז לנושאי סביבה וחברה
- MCM – Million cubic meters מיליון מטרים מעוקבים
- MtCO₂e - Million metric tons of carbon dioxide equivalent טון שווה ערך פד"ח
- OECD - Organization for Economic Co-operation and Development ארגון לשיתוף פעולה כלכלי ופיתוח
- ppm - parts per million חלקים למיליון
- PRMS – Pressure Reduction & Metering System מתקני הפחתת לחצים ומדידה
- SCF - standard cubic feet (רגל מעוקב סטנדרטי הנמדד ב- 60 מעלות פרנהייט ובלחץ אטמוספירי בגובה פני הים)

-TCF trillion cubic feet טריליון רגל מעוקב

-TCM trillion cubic meters מטרים מעוקבים

-TOC Total organic carbon כלל התרכובות האורגניות

-UNFCCC United Nations Framework Convention on Climate Change אמנת

המסגרת של האומות המאוחדות לשינוי האקלים

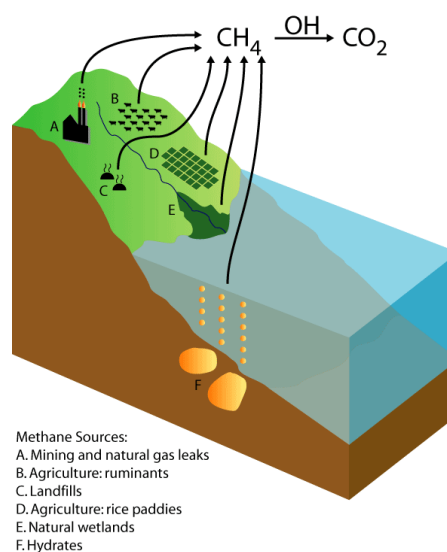
פרק א' הערכות גלובליות של פליטות מתאן וחשיבותן

חשיבות המתאן באטמוספירה

מתאן (CH_4) נפלט לאטמוספירה ממגוון מקורות טבעיים כגון: ביצות, אוקיינוסים, טרמיטים, וממקורות אנתרופוגניים כמו: תהליכי ניצול של דלקים פוסיליים, בעלי חיים מעלי גירה, עיבוד אורז, הטמנת פסולת ועיכול אנארובי של ביומסה. המרכיב העיקרי של גז טבעי – אשר השימוש בו גובר ברחבי העולם - הוא מתאן. תהליך ייצור חשמל וחום באמצעות שריפת גז טבעי יוצר כ-50% פחמן דו חמצני (CO_2) ליחידת אנרגיה לעומת דלקים פוסיליים אחרים. יש גם לבחון את ההשפעה על סך פליטות גזי החממה עקב העלייה האפשרית של דליפות ופליטות מתאן ממקורות המאפיינים את שרשרת תהליכי ההפקה, העיבוד, ההולכה והחלוקה של הגז הטבעי למשתמשי הקצה.

זמן החיים של מתאן באטמוספירה הוא רק כ-12 שנים והוא בהחלט קצר יותר מזה של פד"ח, שהינו עשרות ואולי מאות שנים. ההשפעה של עליית ריכוזי המתאן באטמוספירה היא כפולה, מצד אחד ישנה השפעה ישירה על התחממות כדור הארץ בגלל כושר הבליעה הגבוה יותר של קרינה אינפרא אדומה על ידי מתאן ההופכת לחום הנאגר קרוב לפני הקרקע. כמו כן לעליית ריכוז מתאן ישנה גם השפעה עקיפה על ההתחממות הנובעת מפעילות כימית באטמוספירה, כולל שרשרת תהליכי חמצון פוטוכימי התורמים ליצירת אוזון באטמוספירה התחתונה (טרופוספירה) ויצירת פד"ח ומים בסוף תהליך השרשרת (איור 1).

איור 1- מקורות CH_4 וחמצונו באטמוספירה



Source: [Rough schematic of methane sources and sinks](#). (Image: NASA GISS)

לצורך השוואת השפעתם של גזי חממה שונים על אגירת חום באטמוספירה שמעל כדור הארץ ניתן מקדם ייחוס שערכו 1.0 ליחידת מסה של פד"ח. עבור גזים אחרים מחשבים מקדמים יחסיים המאפיינים את ההשפעה של יחידת מסה של גז חממה אחר לאורך תקופת זמן מוגדרת. ההשפעה היחסית של מתאן מובאת בטבלה 1 עבור זמני ייחוס שונים. הטבלה מציגה מקדמים עבור ההשפעה הישירה של קליטת קרינת חום על ידי מתאן באטמוספירה, או השפעה מורחבת הכוללת גם את ההשפעות העקיפות הנובעות מבליעת קרינת חום על ידי תוצרי החמצון של מתאן (מים ואוזון). מקדם ההתחממות הגלובלית משמש כפקטור שבו מכפילים את מסת הפליטה של מתאן בכדי לחשב פליטה ביחידות של שווה ערך פחמן דו-חמצני (שווה-ערך פד"ח) אשר מאפשר סכימה משוקללת של סך פליטות גזי חממה ממקור או פעילות מסוימים.

היות ויש מספר מקדמי התחממות גלובלית עבור מתאן (טבלה 1) חשוב לציין בכל מסמך מהו המקדם שבו משתמשים לשקלול הסכימה. עבור מצאי פליטה המדווחים לארגונים בינלאומיים המקדם המקובל כעת הוא 25 (GWP100 מה-AR4), בהתאם להנחיות האו"ם למדינות מפותחות. זהו גם המקדם שבשימוש במערך הדיווח הוולונטרי של ישראל¹.

טבלה 1 -

מקדמי	*AR4		**AR5	
	GWP20***	GWP100***	GWP20	GWP100
Impact Considered				
Direct Effect	72	25	84	28
Total with Indirect Effects	72	25	86	34

התחממות גלובלית עבור CH₄ בהתאם להערכות ה-IPCC

* Sources: IPCC 2007, Fourth Assessment Report (AR4);

** Source: IPCC 2013: Fifth assessment report (AR5);

*** GWP20 and GWP100 – Global Warming Potential over a 20 years and 100 years' time horizons, respectively

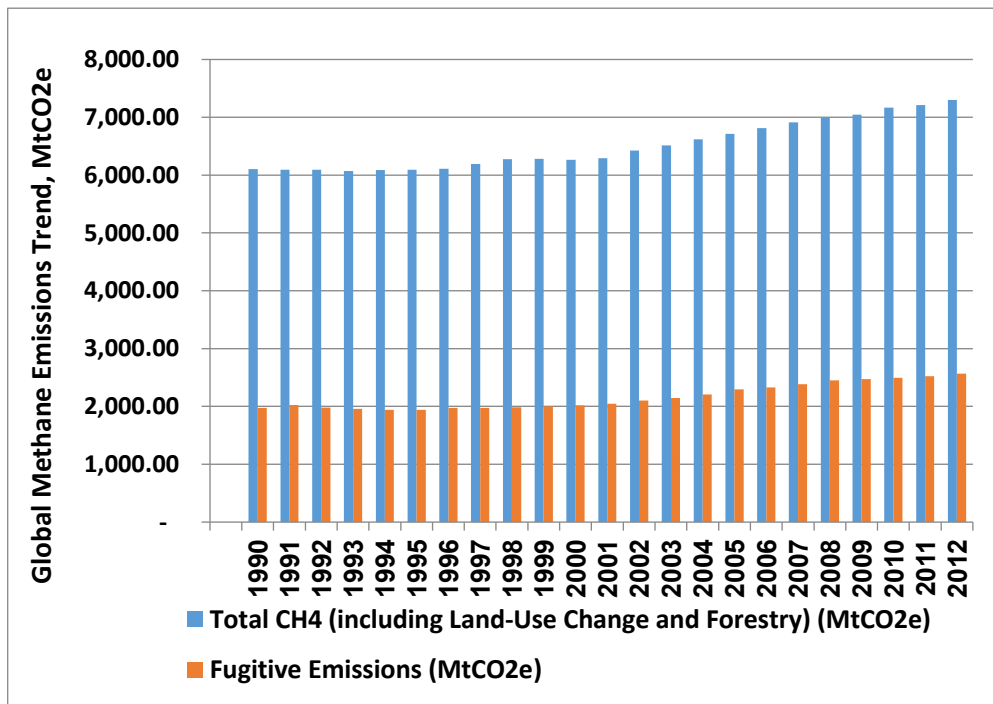
¹ היות וישראל אינה נמנית בין המדינות המפותחות בנספח 1 של אמנת האקלים, מצאי הפליטות הלאומי המחושב ע"י הלמ"ס משתמש במקדם התחממות גלובלית של 21 לשקלול פליטות מתאן.

סקירת פליטות גלובליות של מתאן

מסמך זה אינו מתייחס לכלל הפליטות של מתאן בעולם - הכוללות פליטות ממקורות טבעיים - אלא רק לפליטות אתרופוגניות הניתנות לניהול על ידי יישום של אמצעי מדיניות מתאימים. למרות שרוב פליטות גזי החממה ממקורות אנתרופוגניים לאטמוספירה הן פליטות של פד"ח, הפליטות של גזי חממה שאינם פד"ח תורמות למעלה מ-28% של האילוץ הקרינתי² של כלל גזי החממה עקב יעילותם בלכידת אנרגית החום. גז המתאן כשלעצמו מהווה כ-24% מכלל האילוץ הקרינתי הגלובלי (IPCC 2007).

איור 2- מגמת פליטות CH₄ מכל המקורות ומפליטות לא מוקדיות

³ מראה שסך פליטות מתאן (WRI) מאגר המידע של המכון לחקר משאבי טבע עולמיים (הכולל את מקורות הפליטה האנתרופוגניים וגם השפעות של שינוי ייעודי קרקע ויערנות) גדל בין השנים 1990 ל-2005 בקרוב ל-10% ובין השנים 1990 ל-2012 בקרוב ל-20%. עבור אותן תקופות זמן הפליטות הלא מוקדיות של מתאן (הקשורות יותר לפעולות חציבה, הפקת נפט וגז והטמנת פסולת) גדלו ב-16% ו-30% בהתאמה (איור 2).



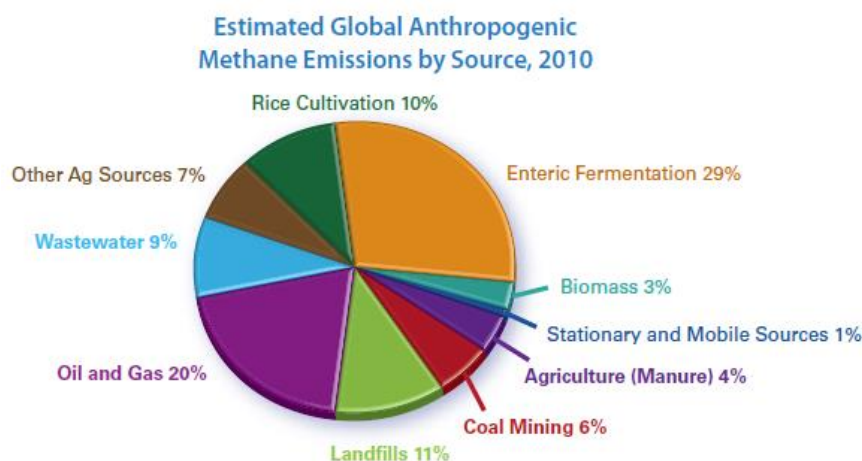
Source: CAIT Climate Data Explorer. 2015. Washington, DC: World Resources Institute.

² אילוץ קרינתי הוא השינוי בשיווי המשקל שבין הקרינה המגיעה לזו העוזבת את האטמוספירה.

³ WRI CAIT Climate Data Explorer

הסוכנות האמריקאית להגנת הסביבה בצעה הערכה מפורטת של השינוי בפליטות אנתרופוגניות של כל אחד מגזי החממה שאינם פד"ח מאז 1990 כולל תחזית ל-2030 (EPA) 2012 מתוך תוצאות הערכה זו ניתן להסיק שבין השנים 1990 ו-2005, הפליטות האנתרופוגניות הגלובליות של גזי חממה שאינם פד"ח גדלו בסביבות 10% מ-9,800 ל-10,800 מיליון טון שווה ערך פד"ח (MtCO_{2e}), כאשר פליטות אנתרופוגניות של מתאן בלבד גדלו ב-9% מקרוב ל-6,300 ועד ל-6,800 MtCO_{2e} (כאשר נתונים אלה לא כוללים פליטות הקשורות לשינוי ייעודי קרקע ויערנות). הערכה זו צופה שבתרחיש של "עסקים כרגיל" פליטות של כל גזי החממה שאינם פד"ח צפויות לגדול ב-43% משנת 2005 לשנת 2030.

איור 3- התפלגות פליטות CH₄ גלובליות ממקורות אנתרופוגניים לשנת 2010
 איור 3 מציג את ההתפלגות של פליטות אנתרופוגניות גלובליות של מתאן במגזרים השונים לשנת 2010 לפי הערכות הסוכנות האמריקאית להגנת הסביבה (EPA 2012).



Source: EPA 2012

התפלגות הפליטות לפי מגזרים מבוססת על הערכה שסך פליטות גלובליות של מתאן ממקורות אנתרופוגניים בשנת 2010 היו 6,875 מיליון טון שווה ערך פד"ח.

מכלל גזי החממה שאינם פד"ח פליטות מתאן נובעות בעיקר משלוש קטגוריות עיקריות של מקורות פליטה: אנרגיה, חקלאות ופסולת, כמוצג בטבלה 2. מקדם ההתחממות הגלובלית עבור מתאן בחישובים אלה (EPA 2012) הוא 21.

להלן הסבר קצר על מקורות פליטת המתאן עבור המגזרים והמקטעים המצוינים בטבלה 2:

• **מקורות פליטת מתאן במגזר האנרגיה**

Natural Gas and Oil Systems – פליטות מתאן הנובעות בעיקר מדליפות של רכיבי ציוד במתקנים ונישוב גזים (venting) מכוון או במצב חירום, כפי שיתואר ביתר הרחבה בהמשך המסמך.

Coal Mining Activities - מתאן מאוחסן במרבצי פחם ובתוך שכבות הסלע, ומשחרר כאשר הלחץ מעל או סביב מצע הפחם יורד כתוצאה משחיקה טבעית או כרייה.

Stationary and Mobile Combustion - שריפת דלקים במתקנים נייחים (בוילרים, תנורים, טורבינות וכדו') או מתקנים ניידים (כלי רכב) גורמת לפליטות מתאן (זניחות יחסית) כאשר הקף הפליטה תלוי בהרכב הדלק ויעילות השריפה.

Biomass Combustion - מתאן הנפלט כתוצאה משריפה לא מושלמת של ביומסה כגון: דלק, עץ, פחם, שאריות חקלאיות, פסולת חקלאית ופסולת מוצקה אחרת.

Other Energy Sources – מתאן הנפלט ממקורות שונים כגון שריפת פסולות במגזר האנרגיה, או פליטות לא מוקדיות מדלקים מוצקים.

• מקורות פליטת מתאן במגזר החקלאות

Enteric fermentation - בתהליך העיכול של בעלי חיים כמו: בקר, כבשים, עיזים וגמלים נוצר מתאן, כאשר החיידקים במערכת העיכול של בעלי החיים גורמים לתסיסה של המזון וכתוצאה מכך לייצור של מתאן כתוצר לוואי הנפלט בנשיפה.

Rice Cultivation - כאשר שדות האורז מוצפים, פירוק אירובי של חומר אורגני מכלה בהדרגה את החמצן באדמה ובמים, וגורם להתפתחות של תנאים אנאירוביים באדמה. כאשר הסביבה הופכת לאנאירובית, חיידקים מתאנוגניים מפרקים את החומר האורגני בקרקע ומייצרים מתאן.

Manure management – גז מתאן נוצר בתהליך התסיסה האנאירובית של פרש של בעלי חיים. מירב פליטות המתאן מקורן באיסוף, אכסון ועיבוד הפרש.

Other agricultural sources – פליטות ממקורות חקלאיים נוספים כמו: קרקעות חקלאיות, הבערת שאריות חקלאיות בשדות, שריפות של סוואנות, שריפות פתוחות ביערות.

• מקורות פליטת מתאן במגזר הפסולת

Landfilling of Solid Waste - מתאן מופק ונפלט מפירוק אנאירובי של חומר אורגני במזבלות. הגורמים העיקריים לפליטות הינם: כמות החומר האורגני במזבלות, מידת הפירוק האנאירובי, העובי והתכונות הפיזיקליות והכימיות של חומרי כיסוי ההטמנה, התנודתיות העונתית בשיעור חמצון המתאן ורמת איסוף המתאן במזבלה.

Wastewater - מתאן נפלט בעת נישוב מכוון ומפליטות לא מוקדיות במהלך הטיפול בשפכים ביתיים ותעשייתיים. החומר האורגני בשפכים מתפרק בתנאים אנאירוביים למתאן. במדינות מפותחות הטיפול בשפכים ברובו אירובי ובכך מפחיתות את פליטות המתאן, אולם במדינות מתפתחות ישנן תעלות ביוב פתוחות, לגונות וטיפול אנאירובי בשפכים שמגביר את פליטות המתאן.

Other Waste Sources – מתאן הנפלט ממקורות משניים הקשורים לאיסוף ותהליכי טיפול בפסולות.

טבלה 2 - התפלגות גלובלית של פליטות CH₄ עבור שלושת הקטגוריות העיקריות של מקורות הפליטה, ביחידות של מיליון טון שווה ערך פד"ח (MtCO₂e)*

**Source Category	Sector	1990	2005	2030
Energy	Natural Gas and Oil Systems	1,278.3	1,542.7	2,112.9
	Coal Mining Activities	529.8	521.6	784.3
	Stationary and Mobile Combustion	221.3	224.3	362.9
	Biomass Combustion	176.3	198.0	230.4
	Other Energy Sources	0.5	0.5	0.5
Subtotal		2,206.2	2,487.1	3,491.0
Agriculture	Enteric Fermentation	1,763.9	1,894.3	2,320.5
	Rice Cultivation	480.0	500.9	510.4
	Manure Management	232.7	219.2	252.7
	Other Agricultural Sources	506.6	421.0	421.0
Subtotal		2,983.2	3,035.4	3,504.6
Waste	Landfilling of Solid Waste	706.1	794.0	959.4
	Wastewater	351.9	476.7	608.8
	Other Waste Sources	13.4	15.2	15.5
Subtotal		1,071.4	1,285.9	1,583.7
TOTAL (Three Sectors)		6,260.8	6,808.4	8,579.3

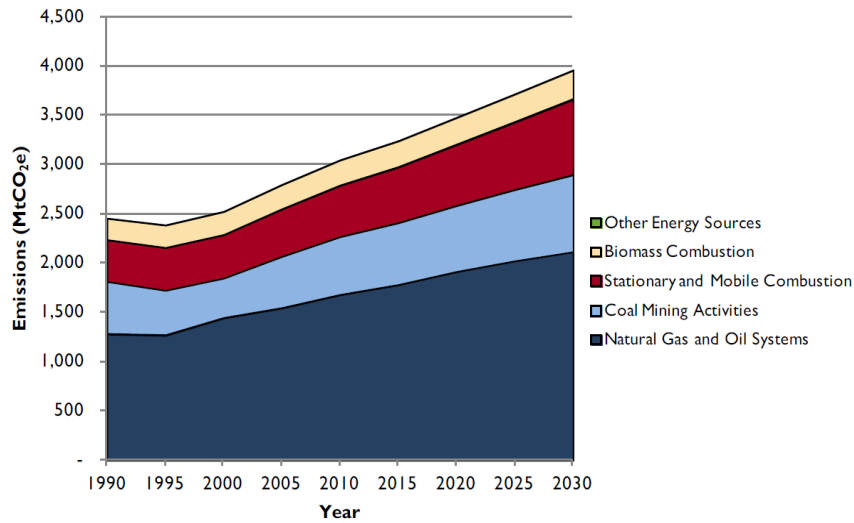
* Source: Adaptation from EPA 2012, table

הנתונים בטבלה 2 מראים שמגזר הנפט והגז (על מערכותיו השונות) הוא השני בגודלו מבחינת היקף פליטות אנתרופוגניות של מתאן והוא נמוך רק מפליטות במגזר החקלאות שהן תוצאה של תסיסה מעית של בעלי חיים.

הערכות הפליטות האנתרופוגניות הגלובליות של מתאן מהנתונים המוצגים באיור 3 ובטבלה 2 תואמות את תוצאות ההערכה שבוצעה באמצעות המודל האירופאי Høglund⁴ GAINS (Isaksson 2010). בהתאם למודל זה פליטות גלובליות בשנת 2005 היו 323 מיליון טון מתאן שהינם 6,783 MtCO₂e (GWP=21) אשר זהים כמעט להערכות של ה-EPA עבור שנת 2010 (6,875 טון שווה ערך פד"ח כפי שמוצג באיור 2). המודל האירופאי צופה שללא אמצעי מדיניות למזעור הפליטות הן עשויות לגדול ב-28% ולהגיע ב-2030 לכדי 414 מיליון טון מתאן שהינם 8,694 MtCO₂e, והקף פליטות זה קרוב להערכה המובאת בטבלה 2 עבור שנת 2030 המצביעה על פליטות מתאן של 8,579 טון שווה ערך פד"ח עבור שלושת המגזרים העיקריים. סקטור האנרגיה הינו השני בגודלו בפליטות של גזי חממה שאינם פד"ח והיווה 26% מפליטות אלה בשנת 2005, כאשר פליטות מסקטור זה צפויות לגדול ל-42% בשנת 2030 (איור 4). הנתונים בטבלה 2 גם מצביעים על כך שפליטות לא מוקדיות ממתקני נפט וגז טבעי (כולל דליפות, נישוב ומבערי לפיד) הן המקור הגדול ביותר של פליטות גזי חממה שאינם פד"ח והיוו 55% מהפליטות בסקטור האנרגיה בשנת 2005.

⁴ Greenhouse Gas and Air pollution Interaction and Synergies (GAINS) model

איור 4- מגמת פליטות גלובליות של גזי חממה שאינם CO₂ עד לשנת 2030 בסקטור האנרגיה



Source: EPA 2012, exhibit 3-3

הסוכנות הבינלאומית לאנרגיה IEA מעריכה שהפחתת מתאן במגזר הנפט והגז יכולה לתרום 15% מכלל ההפחתה הנדרשת עד לשנת 2020 על מנת להישאר בטווח היעד לעצירת התחממות כדור הארץ בלא יותר מ- 2 °C (IEA 2015). ההערכה היא שהפחתה גלובלית של 75% בפליטות מתאן תביא לחסכון מצטבר של 164 מיליון טון מתאן שהינם למעלה מ- 3,400 MtCO₂e (GWP=21).

פליטות גלובליות ממגזר הנפט והגז הטבעי

המרכיב עיקרי של הגז הטבעי הינו מתאן והוא מצוי בריכוז של 95% או יותר בגז טבעי מעובד הנצרך על ידי צרכני הקצה. עיקר פליטות מתאן הינם ממקורות המאפיינים את תהליך ההפקה, העיבוד, ההולכה והחלוקה של הגז. הפקת נפט ועיבודו לפני הגעתו לבתי הזיקוק גם הוא יכול לגרום לפליטת מתאן במיוחד לאור העובדה שבמאגרי הנפט יש שילוב של גז עם הנפט (associated gas) והוא מופק בזמנית מבארות הנפט. עיקר הפליטות נובע מדליפות בציד מערכות הגז, מקלקולים במערכת ומשחרור מבוקר או שריפת גז באופן מכוון לשחרור לחצים במערכת. ישנן גם פליטות מתאן ממתקני העיבוד, מצינורות ההולכה, תחנות מדחס, קווי חלוקת גז ומתקני האחסון של הגז.

פליטות גלובליות של מתאן ממגזר הנפט והגז הטבעי עלו ב-21% בין 1990 ל-2005 כתוצאה מהצמיחה בהפקת נפט וגז ברחבי העולם. הערכה המבוססת על תרחיש עסקים כרגיל (EPA 2012) צופה ש-2005 ועד ל-2030 פליטות אלה צפויות לעלות בעוד כ-31% (טבלה 3), כאשר הפליטות במדינות הארגון לשיתוף פעולה כלכלי ולפיתוח (OECD) צפויות לגדול

פחות מאשר במדינות שהן non-OECD, למרות שהגברת הצריכה של גז טבעי במדינות ה-OECD תורמת אף היא לעליית הפליטות כתוצאה מדליפות שונות בשרשרת האספקה.

טבלה 3 - תרחיש למגמה הגלובלית של פליטות CH₄ ממגזר הנפט והגז עד לשנת 2030 (MtCO_{2e})*

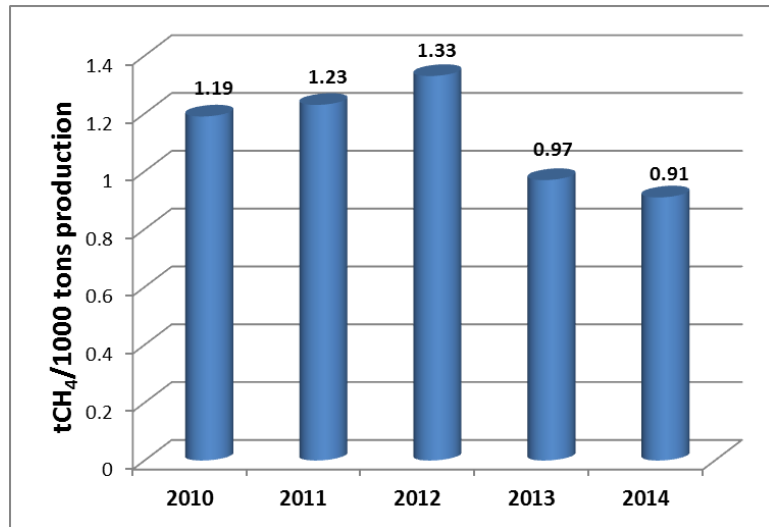
Region	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2025	2030
Africa	106.5	118.6	154.7	220.1	274.5	292.2	291.1	302.9	315.1
Central & South America	41.2	53.3	60.9	59.6	56.3	57.8	65.8	73.6	81.8
Middle East	210.4	213.8	305.9	303.7	331.1	354.1	392.4	416.5	441.0
OECD	333.0	354.6	372.0	356.6	381.2	393.9	420.0	453.9	470.2
Non-OECD Asia	78.2	94.9	105.3	108.1	114.4	125.9	133.5	139.9	147.7
Non-OECD Europe & Eurasia	509.0	430.5	442.6	494.7	519.9	554.3	608.9	633.9	657.1
EU	59.7	51.9	45.4	42.7	38.9	37.7	37.1	37.4	38.5
OPEC	296.4	305.1	413.7	453.7	523.8	556.2	601.4	634.6	674.3
World Total CH ₄	1,278	1,266	1,441	1,543	1,677	1,778	1,912	2,021	2,113

*Source: EPA 2012, table B-2, GWP = 21

פליטות מתאן המובאות בטבלה 3 מציגות את השונות במגמות בין האזורים השונים בעולם, כולל השפעת הפעילות במגזר ואמצעי מדיניות שכבר ננקטו על ידי מדינות שונות להפחתת פליטות.

חברות רב-לאומיות השייכות לפורום העולמי של יצרני הנפט והגז הטבעי (IOGP) מדווחות שנתיית על ביצועיהן הסביבתיים בהתאם למדדים הכוללים פליטות לאטמוספירה, הזרמה לגופי מים וטיפול בפסולת. בשנת 2014 נמסרו נתונים על ידי 43 חברות בינלאומיות על פעילותן ב-86 מדינות (IOGP, 2015) והמפיקות כ-30% מכלל התפוקה העולמית של נפט וגז טבעי. עבור 2014 סך הפליטות המדווחות הוא 1.8 מיליון טון מתאן שהינם 37.8 MtCO_{2e}. הפליטה הסגולית של מתאן ליחידת תפוקה מוצגת באיור 5. שינוי המדרגה בעצימות בין 2012 ל-2013 מקורו בשינוי משמעותי במספר החברות האוסטרליות המדווחות וכן ביישום גובר של טכנולוגיות למזעור פליטות בארה"ב ובמדינות אירופאיות שונות.

איור 5- מגמת עצימות פליטת CH₄ של חברות הנפט והגז הרב-לאומיות המדווחות באמצעות ה-IOGP



Source: based on IOGP 2015 data

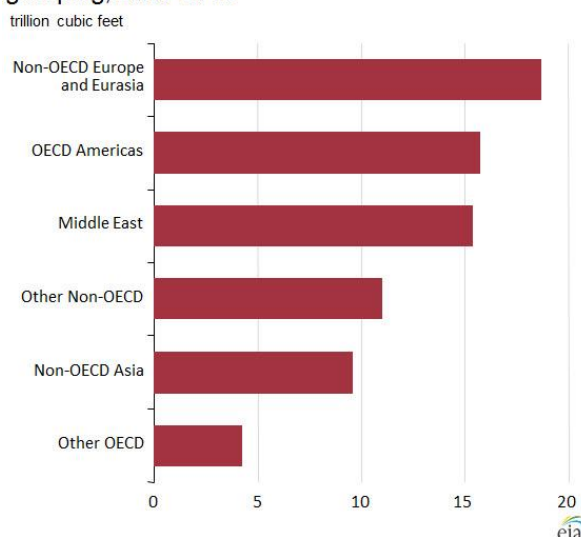
- מתוך נתוני החברות המדווחות ניתן לראות שההתפלגות של פליטות מתאן היא:
- פליטות מתהליכים (כולל מהפקה, העברת נוזלים, ונישוב מיכלי איחסון) – 44%
 - ווסתים פנאומטיים המונעים בגז, ודליפות משסתומים ואטמים בצנרת – 25%
 - שריפה בלפיד בעת הפקה או לשם שחרור לחצים – 25%
 - ייצור אנרגיה והתנעה של מכשור – 6%

אפיון מגזר הגז הטבעי הגלובלי

איור 6- תחזית לעליה גלובלית בהפקת גז טבעי לפי הקבצות של מדינות (EIA 2013)

תחזית מקורות האנרגיה הבינלאומיים שפותחה על ידי מנהל מידע האנרגיה (EIA) במשרד האנרגיה האמריקאי (EIA 2013) צופה – בתרחיש הבסיסי - שגז טבעי יהיה הדלק הפוסילי שתפוקתו תגדל במהירות הרבה ביותר בעשורים הקרובים וצריכתו עשויה לגדול מ-113 טריליון רגל מעוקב (TCF) ב-2010 ל-185 TCF ב-2040. רוב הצמיחה בתפוקה, צפויה להתרכז במדינות שאינן משתייכות ל-OECD והעליה בביקוש היא בעיקרה כדלק פוסילי דל פחמן עבור ייצור חשמל. בין השנים 2010 - 2040 תפוקת הגז הטבעי צפויה לגדול ב-18.9 TCF באיזור אירו-אסיה, 15.9 TCF בצפון אמריקה, ו-15.6 TCF במזרח התיכון (איור 6).

Figure 41. World increase in natural gas production by country grouping, 2010-2040

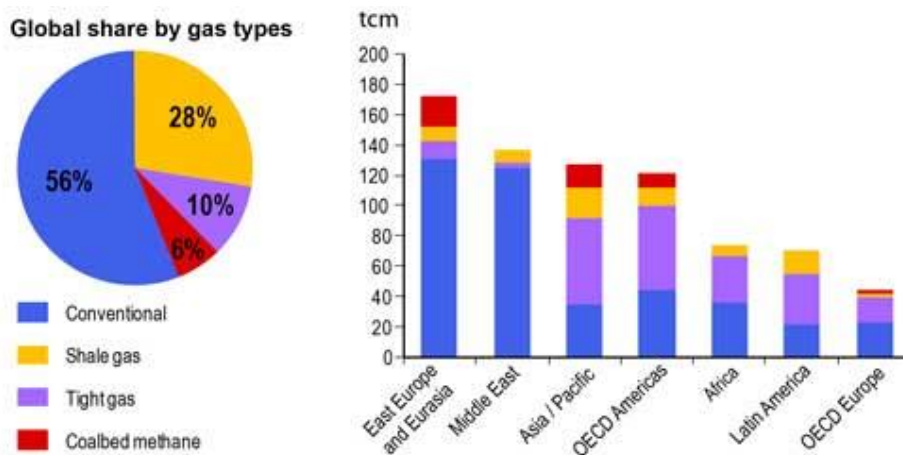


Source: International Energy Outlook, 2013

היות ופליטות מתאן הן לרוב פונקציה של כמות הגז (גז טבעי וגז משולב עם נפט) המופקת, מעובדת ומשווקת הרי שעליה בתפוקה גוררת אחריה גם עליה בפליטות מתאן. פליטות מתאן תלויות גם במאפייני המאגר ובשיטות הקידוח וההפקה. בעשור האחרון ישנה עליה חדה – במיוחד בארה"ב - בהפקת גז טבעי ממאגרים לא קונבנציונליים כגון: גז מפצלים (shale gas), גז ממאגרי חול הדוק בעלי חדירות נמוכה (tight gas), וגז ממרבצי פחם עמוקים שאינם ניתנים לכריה (coalbed methane).

איור 7 מציג את הערכות סוכנות האנרגיה העולמית (IEA 2012) של הרזרבות העולמיות של גז טבעי הניתן להפקה מכל אחד מסוגי המרבצים ביחידות של טריליון מטרים מעוקבים (TCM)⁵.

איור 7- התפלגות רזרבות גז טבעי הניתנות טכנית להפקה בהתאם לסוג המאגר

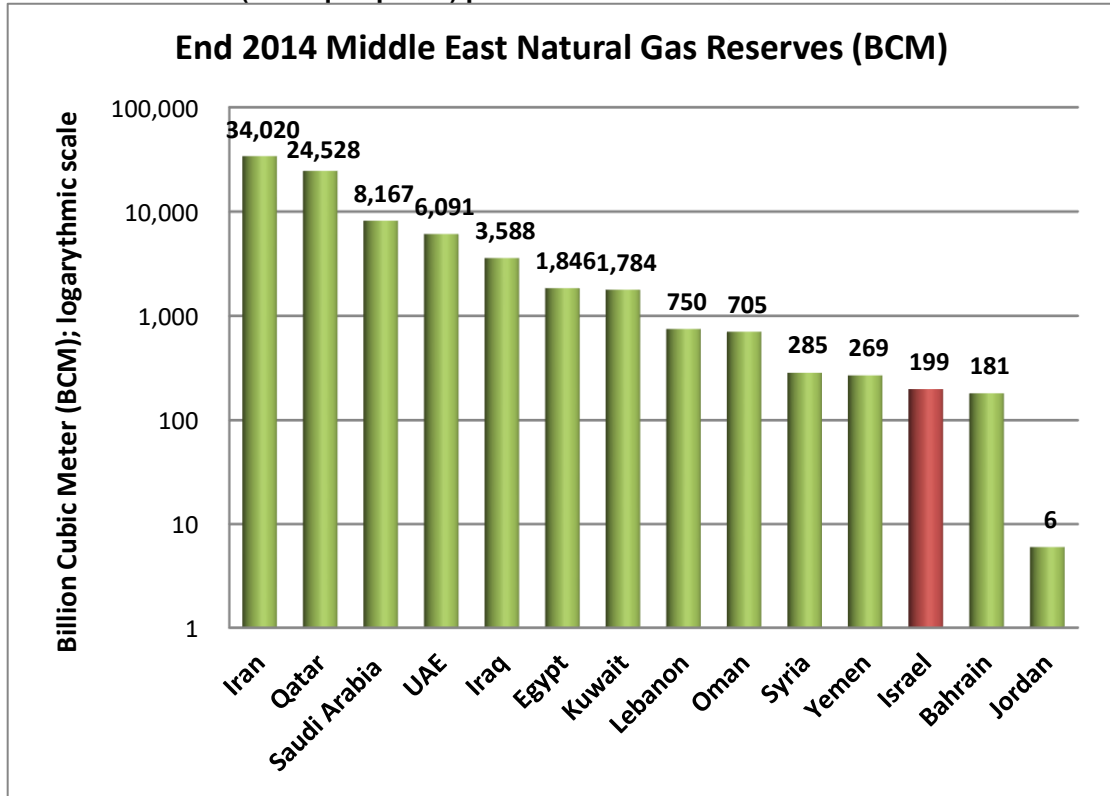


Data source: [IEA \(2012\); graph by UNEP/GRID-Geneva.](#)

כפי שניתן לראות באיור 7, במזרח התיכון מעל 90% מהרזרבות המוכחות הינם מאגרי גז קונבנציונאליים.

עתודות (רזרבות) מוכחות של גז טבעי במזרח התיכון מפולגות בין מדינות ערב המפיקות גז שבחלקו מלווה נפט (associated gas) שכן מדינות אלה הן מפיקות נפט גדולות, ומדינות שלחופי מזרח הים התיכון – כמו ישראל – המפיקות בעיקר גז טבעי. הרזרבות המוכחות לסוף 2014 מוצגות באיור 8. יש לשים לב שהנתונים מופיעים בסקאלה לוגריתמית בכדי לאפשר נראות גם למדינות שלהן רזרבות קטנות יותר.

⁵ 1 TCM = 35.3 TCF



Source: extracted from BP Statistical Review of World Energy (2015)

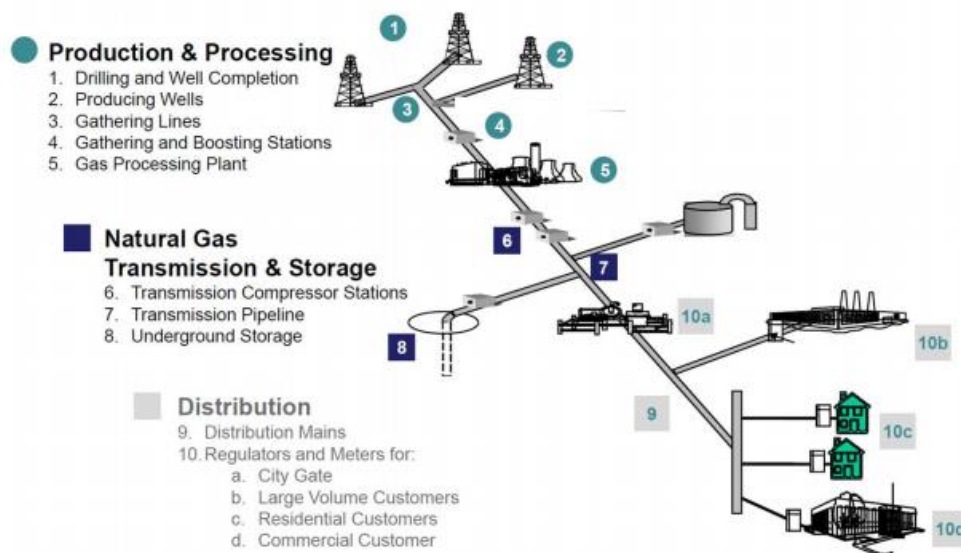
הנתונים המובאים כאן עבור ישראל מייצגים הערכה נמוכה המבוססת על דיווחי עתודות מוכחות של החברות. המנהל הסטטיסטי של משרד האנרגיה האמריקאי (EIA 2013) מעריך שהעתודות המוכחות בישראל הן במגמת עליה ומגיעות קרוב ל-10 TCF שהינם כ-270 BCM. שיטות ההפקה השונות הנהוגות במרבצי נפט וגז מלווה או גז טבעי בלבד, והקף הציוד הנדרש לביצוע קידוחים ולהפקה, תורמים לכמות הפליטות מכל אחד מהמקורות המאפיינים את מגזר הנפט והגז הטבעי.

מקורות הפליטה העיקריים של מתאן ממגזר הנפט והגז הטבעי מגזר תעשיית הנפט והגז הטבעי מורכב ממערכות משולבות במקטעים הבאים:

- הפקת נפט וגז בים וביבשה: מתמקד בהוצאת גז טבעי גולמי ממאגרים במעמקי הים או היבשה.
- איסוף ודחיסה של גז טבעי: מתמקד באיסוף הגז ממקורות הפקה שונים ודחיסתו לשם העברה לעיבוד או לאגירה.

- עיבוד גז טבעי: מתמקד בהסרת זיהומים ופרקציות נוזליות מגז טבעי בכדי שהגז יעמוד בתקן הנדרש להעברה לצרכני קצה.
 - הולכה של גז טבעי: מתמקד בהעברת הגז הטבעי ברשת של צנרת בלחץ גבוה ישירות לצרכן בתעשייה או לתחנת חלוקה שבה מופחת הלחץ לחלוקה בסקטור הביתי או המסחרי.
 - אחסון תת-קרקעי של גז טבעי: מתמקד באחסון הגז הטבעי במאגרים תת-קרקעיים ריקים.
 - הנזלה והובלה של גז טבעי מעובה- תעבית (condensate) וגז טבעי מנוזל (LNG): מתמקד בתהליכי המיצוי של תרכובות פחמימניות שאינן מתאן והנזלה של הגז הטבעי והסעתו לשימוש ביעדים מרוחקים.
- מקורות אלה מתוארים על יד הסוכנות האמריקאית להגנת הסביבה בסכימה שבאיור 9.

איור 9- מקורות פליטת CH₄ לאורך שרשרת האספקה של גז טבעי



Source: [EPA, 2014](#)

הערכות לפליטות מתאן גלובאליות

ה-Clean Air Task Force (CATF) פיתח הערכה של פליטות מתאן ממקורות שונים במקטעי תעשיית הנפט והגז בכדי לתרום לשיח העולמי בדבר תיעודף של מקורות הפליטה במגזר הזה לשם מזעור פליטות מתאן לאטמוספירה. טבלה 4 מציגה הערכה גלובלית של פליטות מתאן בהתאם למקטעי הפעילות במגזר ומקורות הפליטה הספציפיים (CATF 2013).

בשנת 2010 ממקורות במגזר הנפט והגז טבעי*4CH₄ – הערכת פליטות גלובליות של טבלה

Category	Source	Methane Emissions (MtCO _{2e})	
		By source	Category Subtotal
Natural Gas Production	Pneumatic devices	260.4	688.8
	Dehydrators	75.5	
	Offshore	75.3	
	Gas Engines	59.7	
	Well blowdown	43.6	
	Flaring	0.36	
	Other (unspecified sources)	174.0	
Oil Production	Pneumatic devices	6.41	35.9
	Oil tanks	2.08	
	Gas Engines	1.1	
	Chemical injector pumps	0.76	
	Oil wellheads	0.35	
	Offshore	12.6	
	Flaring	0.08	
	Associated gas venting	2.34	
	Other (unspecified sources)	10.2	
Oil Transportation		0.98	0.98
Oil Refining		1.75	1.75
Natural Gas Processing	Reciprocating compressors	32.2	66.4
	Gas Engines	13.6	
	Centrifugal compressors	9.83	
	Plant venting	3.86	
	Equipment leaks	2.74	
	Flaring	0.08	
	Other (unspecified sources)	4.21	
Natural Gas Transmission/ Storage	Reciprocating compressors (transmissions)	55.9	194.7
	Pneumatic devices (transmission)	16.0	
	Gas Engines (transmission)	15.9	
	Other transmission fugitives	27.2	
	Pipeline venting (transmission)	34.3	
	Maintenance venting	28.0	
	Reciprocating compressors (storage)	7.84	
	Other (unspecified sources) storage	9.5	
Natural gas Distribution	metering & regulating stations	147.8	365.9
	pipeline mains	115.7	
	Pipeline services	61.1	
	Other (unspecified sources)	41.3	
TOTAL			1,354.5

*Source: CATF 2013, Appendix 3

כפי שניתן לראות מטבלה 4 לעיל, עיקר פליטות המתאן הן בשלב ההפקה ולאחריו מקטע החלוקה לצרכנים בלחץ נמוך. במקום השלישי בהיקף הפליטות הוא מקטע הולכת הגז בלחצים גבוהים.

מיקוד ותעדוף מקורות הפליטה של מתאן ממגזר הנפט והגז הטבעי קואליציית האקלים ואויר נקי (Climate and Clean Air Coalition) אשר התארגנה לראשונה ב-2013 מייצגת מאמץ בינלאומי של 42 ממשלות, ומגזרי התעשייה והחברה האזרחית המחויבים לשיפור איכות החיים ופעולה למניעת שינוי אקלים בעשורים הקרובים, כאשר הדגש הוא על הפחתת פליטת מזהמים שהינם גזי חממה ואשר להם זמן חיים קצר באטמוספירה (CCAC 2014). אחת מהיזמות של הקואליציה הינה תכנית וולונטרית לעידוד חברות לנטר וליישם תכניות מידיות למזעור פליטות מתאן מפעולות במגזר הנפט והגז הטבעי.

חברת נפט וגז טבעי המצטרפת באופן וולונטרי ליוזמה זו מתחייבת לפעולות הבאות:

- לערוך סקירת פליטות מתשעת מקורות הפליטה האחראיים למירב פליטות מתאן
- לבצע הערכה של עלות-תועלת ליישום טכנולוגיות מדף למזעור הפליטות
- לדווח בשקיפות נתונים בדבר ביצוע סקירות, התקדמות ביישום אמצעים טכנולוגיים ותיעוד תוצאות

כפי שמראים הנתונים בטבלה 4, והתוצאות של הערכות אחרות שהוזכרו לעיל, תשעת המקורות העיקריים הפולטים מתאן ואשר עליהם מומלץ להתרכז במתקני נפט וגז טבעי הם:

1. מערכות ומשאבות פניאומטיות המונעות על ידי גז טבעי
 2. מדחסים צנטריפוגליים עם אטמי שמן
 3. מערכות לייבוש גז באמצעות גליקול
 4. שחרור מבוקר בעת פריקת נוזלים מבארות גז טבעי
 5. שחרור גז בעת נישוב בראש צינור הדיפון
 6. פליטות לא מוקדיות מצידוד ודליפות בתהליך
 7. מוט האיטום של מדחסי בוכנה
 8. מיכלי אחסון לפחמימנים נוזליים
 9. נישוב מבוקר או בלפיד במהלך השלמת קידוח באר גז/נפט לא קונבנציונלי (כאשר ההפקה כוללת פיצוח הידראולי של המאגר)
- מקורות פליטה אלה של המתאן במתקני ההפקה, העיבוד, ההולכה והחלוקה הם בעלי החשיבות הגבוהה ביותר לטיפול ולמניעת פליטות.

הנחיות לחישוב ראשוני של פליטות מתאן במצאי פליטות לאומי

הפאנל הבין-ממשלתי לשינוי אקלים (IPCC) משמש כגוף מדעי מיעץ למדינות החברות באמנת המסגרת לשינוי אקלים (UNFCCC). פאנל זה פרסם שורה של הנחיות למדינות עם מתודולוגיה להערכת פליטות גזי חממה ולסיכום הנתונים בפורמט מוסכם לשם דיווח לאו"ם (IPCC 2006). הנחיות אלה מכירות בעובדה שזמינות המידע לעריכת מצאי פליטות שונה ממדינה למדינה וכך גם המשאבים הקיימים לאיסוף הנתונים הדרושים. השיטות המומלצות מדורגות בשלשה נדבכים (Tiers).

הנדבך הראשון (Tier 1) מתבסס על מקדמי פליטה גנריים המשמשים לחישוב פליטות על בסיס מידע לאומי על הקף הפעילות במגזר כגון סך הנפט והגז המופקים, מיובאים או מיוצאים. מקדמי פליטה אלה מצויים בספרות ובמאגרי מידע ומובאים בהנחיות ה-IPCC למדינות (2006) כפי שמוצג בטבלה 5. בהתאם להנחיות ה-IPCC ההגדרה של פליטות לא מוקדיות היא רחבה מאוד וכוללת את כל המקורות שמהם נפלט גז לאטמוספירה פרט לפליטות שהן תוצאה של שריפת דלקים במקורות נייחים וניידים. פליטות אלה כוללות נישוב שהינו שחרור מבוקר של גז ממערכת הצינורות הנגרם בעת שיבוש בתהליכים, בהולכת הגז או כאשר מתעורר חשד שאיכות הגז לא עומדת בתקן המאושר.

בנוסף פליטות לא מוקדיות כוללות גם את המתאן הנפלט מלפידים (Flares) המשמשים לשריפה מבוקרת של גז אשר אינו נאגר לצריכה (כאמצעי לסילוק עודפים) או כאמצעי בטיחות למיתון לחץ במתקנים. פרק ב' להלן מציג שיטות חישוב מפורטות יותר הכוללות גם את נדבכים 2 ו-3.

טבלה 5- רשימת מקדמי הפליטה הגנריים לחישובי פליטות מתאן במגזר מערכות נפט וגז טבעי בהתאם למתודולוגיה של נדבך 1 כפי שמופיע בהנחיות האו"ם*

Category	Subcategory	Emission Source	IPCC Code	Emission Factor	Uncertainty (% of Value)	Units of Measure
Well drilling	All	Flaring & Venting	1.B.2.a.ii or 1.B.2.b.ii	3.3.E-05	± 100%	Gg per 10 ⁶ m ³ gas production
Well testing	All	Flaring & Venting	1.B.2.a.ii or 1.B.2.b.ii	5.1E-05	± 50%	Gg per 10 ⁶ m ³ gas production
Well Servicing	All	Flaring & Venting	1.B.2a.ii or 1.B.2.b.ii	1.1E-04	± 50%	Gg per 10 ⁶ m ³ gas production
Gas Production	All	Fugitives	1.B.2.b.iii.2	3.8E-04 to 2.3E-03	±100%	Gg per 10 ⁶ m ³ gas production
		Flaring	1.B.2.b.ii	7.60E-07	±25%	Gg per 10 ⁶ m ³ gas production
Gas Processing	Sweet Gas Plants	Fugitives	1.B.2.b.iii.3	4.8E04 to 10.3E-04	± 100%	Gg per 10 ⁶ m ³ raw gas feed
		Flaring	1.B.2.b.ii	1.2E-06	± 25%	Gg per 10 ⁶ m ³ raw gas feed
	Sour Gas Plant	Fugitives	1.B.2.b.iii.3	9.7E-05	± 100%	Gg per 10 ⁶ m ³ raw gas feed
		Flaring	1.B.2.b.ii	2.4E-06	± 25%	Gg per 10 ⁶ m ³ raw gas feed
	Deep Cut Extraction Plant	Fugitives	1.B.2.b.iii.3	1.1E-05	± 100%	Gg per 10 ⁶ m ³ raw gas feed
		flaring	1.B.2.b.ii	7.2E-08	± 25%	Gg per 10 ⁶ m ³ raw gas feed
	Default Weighted Total	Fugitives	1.B.2.b.iii.3	1.5E-04 to 10.3E-04	± 100%	Gg per 10 ⁶ m ³ gas production
		Flaring	1.B.2.b.ii	2.0E-06	± 25%	Gg per 10 ⁶ m ³ gas production
Gas Transmission & Storage	Transmission	Fugitives	1.B.2.b.iii.4	6.6E-05 to 4.8E-04	± 100%	Gg per 10 ⁶ m ³ of marketable
		Venting	1.B.2.b.i	4.4E-05 to 3.2E-04	± 75%	Gg per 10 ⁶ m ³ of marketable
	Storage	All	1.B.2.b.iii.4	2.5E-05	-20 to +500%	Gg per 10 ⁶ m ³ of marketable
Gas Distribution	All	All	1.B.2.b.iii.5	1.1E-03	-20 to +500%	Gg per 10 ⁶ m ³ of utility intake
Natural Gas Liquids Transport	Condensate	All	1.B.2.b.iii.5	1.1E-04	± 100%	Gg per 10 ⁶ m ³ of condensate and Pentanes plus

*Source: Extracted from IPCC 2006 National Guidelines: Table 4.2.4 of Tier 1 Fugitive Emission Factors from Oil and Gas Operations in Developed Countries

כפי שניתן לראות בטבלה 5, מקדמי הפליטה המוצגים הינם ממוצעים גנריים הכוללים אי ודאות גדולה מאוד ולכן לא מייצגים בהכרח נתונים ספציפיים למדינה, מאגר, או לפרויקט מסוים.

המקדמים ניתנו ע"י ה IPCC כברירת מחדל למקרה שלא קיימים מקדמים מדויקים. שימוש במקדמים אלה עדיין מחייב מידע לגבי תפוקות/ כמות הגז בכל שלב.

הערכת מפורטת יותר של פליטות מתאן עבור מגזר הנפט והגז הטבעי הינה מסובכת יותר בגלל כמות הנתונים הדרושה לאפיון הפעילות במגזר ובגלל המחזוריות המשתנה של פעילות הגוררת פליטת יתר במשך פרק הזמן (שנה, למשל) שעבורו מאופיין מצאי הפליטות.

טבלה 6 מביאה, כדוגמא, הערכה של פליטות מתאן ממקטעים שונים של מערכות הנפט והגז הטבעי עבור מספר מדינות (CATF 2013). לנתונים יש אחוזי אי-ודאות גבוהים אבל הם מצביעים על כך שהפליטות העיקריות נובעות משלב הפקת הגז ומשלב ההולכה.

טבלה 6 - הערכת פליטות CH₄ עבור מדינות נבחרות עבור שנת 2010*

Country	Total MMTCO ₂ e	Oil Production	Oil Tanks	Gas Production	Gas Venting	Gas Flaring	Gas Processing	Gas Transmission	Gas Distribution
Russia	327.5	0	8.4	131.3	0	8.5	0.5	153.9	24.9
United States	300.3	36.8	4.4	172.7	0	0	15.8	40.6	29.9
Uzbekistan	83.4	0	0	34.8	0	0	0	40.9	7.6
Canada	56.4	0.8	0	23.9	2.3	0.8	5.7	10.6	12.2
Turkmenistan	35.2	0	0	15.7	0	0	0	18.5	1.1
Venezuela	30.6	0.3	0	13.2	9.1	3.2	3.5	0.4	0.9
India	23.1	0.5	0	2.6	5.2	1.8	10.5	0	2.5
Ukraine	21.8	0	0	6.5	0	0	0	7.6	7.7
Argentina	11.1	0.1	0	1.3	2.6	0.9	2.3	2.9	1.1
Thailand	3.7	0	0	0.4	0.8	0.3	1.7	0	0.5
Colombia	3.1	0.6	0	0.4	0	0	1.7	0	0.5
China	2.6	0.2	0	0.3	0.6	0.2	0	1.1	0.2

*Source: CATF 2013

כפי שצוין לעיל, לנתוני פליטה אלה יש אחוזי אי-ודאות גבוהים אבל הם מצביעים על כך שהפליטות העיקריות נובעות ממקטעי הפקת הגז וההולכה. הפליטות ממקטע החלוקה תלויה בהיקף חלוקת הגז ובאם הוא מגיע עד לצרכנים ביתיים.

הערכת פליטות מתאן לאטמוספירה ממערכות נפט וגז טבעי הן לעתים קשות לכימות מדויק. זה נובע במידה רבה מהרבגוניות של תשתיות המכשור הנמצאות בשימוש במקטעים השונים של המגזר ומהמספר הגדול של מקורות פליטה אפשריים. יש גם הבדלים ניכרים ברחבי העולם בשיטות הבקרה והפיקוח על תפעול המערכות וחקיקה מקומית (כולל אכיפה) של יישום אמצעים טכנולוגיים למזעור הפליטות. במקומות רבים ברחבי העולם אין נגישות למידע מדויק ועדכני על היקפי הפעילות השוטפת ולא ניתן לאפיין בשיטות חישוב הנדסיות תהליכים שהם מאוד דינאמיים ושבהם שינויים עם מחזוריות לא סדירה.

הבעיות העיקריות בהערכת פליטות מתאן ממגזר הנפט והגז הטבעי הן:

- השימוש במקדמי פליטה המסתמכים על סך התפוקה הם בעלי אי-ודאות גבוהה,
- יישום שיטות מפורטות יותר (bottom-up) מצריך ידע מקצועי מעמיק ונתוני תפעול ופליטה שאינם זמינים או שדורשים אמצעים יקרים לשם השגתם,
- תכניות למדידת פליטות דורשות זמן רב והן יקרות לביצוע.

מקורות הפליטה הקשורים לנישוב מערכות הינם המסובכים ביותר לכימות מדויק. פליטות אלה עשויות להיגרם על ידי העיצוב ההנדסי של התהליך המצריך פריקה של תוצרי לוואי או פסולת גזית מהמערכות ושחרור לחצים בעתות חרום. הגזים הנפלטים עשויים להיות בזרם רציף או לסירוגין וכן יתכן שהשחרור הוא ישירות לאטמוספירה או דרך לפיד ההופך מתאן לפד"ח ביעילות של 70-98%. פליטות אלה כוללות:

- שימוש בגז טבעי דחוס במקום אוויר דחוס להתנעת ווסתים פנאומטיים (למשל, עבור משאבות הזרקה לתוספים כימיים, התנעת מנועי מדחסים, וצנרת בקרת מכשירים)
- הקטנת לחצים ופריקה של תוצרים שאינם עומדים במפרט האיכות בעת שיבוש בתהליך
- טיהור צנרת ושחרור כל הגזים לפני עבודות תחזוקה או התחברות למערכת,
- פריקת גזי לוואי מתהליכי עיבוד הגז (זיקוק, ייבוש באמצעות גליקולים, ופתחים של טיפולים באמולסיות ומייצבים)
- שחרור גז כתוצאה מקידוחים, בדיקות זרימת הבאר להפקה, וניקוי צנרת (pigging),
- פליטות ממיכלי אחסון של גזים מומסים (condensate) והתאיידות מפסולות של התהליכים
- שחרור של פד"ח ומתאן לאטמוספירה כתוצאה מתהליכי הפרדת גזים חומציים מהגז הטבעי הגולמי

הברירה באם לשחרר גז ישירות לאטמוספירה או דרך שריפה בלפיד תלויה בתנאי המקום, ברגולציה המקומית ובזמינות של תשתיות מתאימות.

השיטות לכימות פליטות בהתאם לנדבך 2 (Tier 2) של הנחיות ה-IPCC מתבססות על מידע יותר מפורט של מקדמי פליטה עבור מקורות הפליטה המנויים בטבלה 4 לעיל. המשוואות הרלוונטיות הן:

$$E_{gas, source} = A_{source} \times EF_{gas, source}$$

$$E_{gas} = \sum E_{gas, source}$$

כאשר:

$$E_{gas, source} = \text{פליטה שנתית (Gg שהם מיליון טון)}$$

$$EF_{gas, source} = \text{מקדם פליטה עבור הגז הנתון ומקור הפליטה (מיליון טון ליחידת פעילות)}$$

$$A_{source} = \text{מדד פעילות (ביחידות מתאימות)}$$

$$E_{gas} = \text{סך הפליטות השנתיות עבור הגז הנתון}$$

משוואות אלה דומות בצורתן הכללית לאלו שבשיטת החישוב בנדבך 1, אלא שבשיטת החישוב בנדבך 2 מקדמי הפליטה הישימים הם כאלה המאפיינים התקנים ופעילות מקומית, במקום המקדמים הגלובליים שהוצגו בטבלה 5.

מלבד אי הוודאות הגדולה הנלווית לחישובים המבוצעים בהתאם לשיטות נדבך 1, השימוש בחישובים מסוג זה לא מאפשר למדינות להראות שינויים בעצימות הפליטות כפונקציה של כמות הנפט ו/או הגז הטבעי המופקת, ולכן לא ניתן לתעד התקדמות למזעור פליטות עם הזמן. חישובים בשיטות של נדבך 2 (או 3) נחוצים בכדי לתעד שינויים אמיתיים שחלים בפליטות לאורך שנים היות ואז ניתן להראות שגם כאשר כמות הנפט ו/או הגז הטבעי המופקים עולה, הפליטה ליחידת תפוקה יורדת בגלל יישום טכנולוגיות מתקדמות. שיטות כימות מנדבך 3 מחייבות איסוף מידע מאוד מדויק על היקף הפעילות במקטעים השונים, מלאי הציוד בשימוש, אופני השימוש והפליטה הספציפית ליחידת ציוד ונוהלי הפעלה.

ההנחיות של ה-IPCC אינן מציגות טבלאות של מקדמי פליטה לשימוש בנדבכים 2 או 3 אלא ממליצות על שלושה מקורות עיקריים למקדמים אלה עבור מגזר הנפט והגז הטבעי:

- **EFDB** – מאגר מידע של מקדמי פליטה עבור גזי חממה ומגזרים שונים (IGES 2015)
- **API Compendium** – הקבצה של מתודולוגיה ומקדמי פליטה לכימות פליטות גזי חממה ממגזר הנפט והגז הטבעי ברחבי העולם (API 2009)
- **IPIECA** – הנחיות של איגוד חברות הנפט והגז העולמי בדבר דיווחי קיימות הכוללות מתודולוגיה לדיווח על פליטות גזי חממה (IPIECA 2015)

בבחירת מקדמי פליטה יש לוודא שהמקדמים תקפים עבור היישומים המיועדים ושהם מבטאים את הפליטות ליחידת פעילות באותן יחידות מידה שבהן מצוינים נתוני הפעילות. בעת הכנת מצאי פליטות יתכן וצריך יהיה לשנות את יחידות המידה של מקדמי הפליטה בהתאם להנחיות מקומיות ולעדכנם לתנאים סביבתיים שונים של לחץ אטמוספרי וטמפרטורה. שינויים אלה עשויים לכלול:

- פרופיל ריכוזי המרכיבים השונים בגזים המופקים משדות נפט וגז ספציפיים
- מספר שעות הפעלה במשך שנה בכדי לכלול רק את אותן שעות שבהם המקור פועל ועלול לפלוט
- יעילות הפחתת פליטות של אמצעי הבקרה המיושמים

שיקולים נוספים בבחירת מקדמי הפליטה כוללים את ישימות המקדמים עבור מקורות פליטה דומים באזורים אחרים שבהם נוהלי התפעול של מערכות הנפט והגז הטבעי דומים. כאשר רוצים לפתח מקדם פליטה חדש יש להקפיד על שיטות מדידה מדויקות הכוללות נהלים לבקרת ואבטחת איכות המדידה. כמו כן יש לוודא שהמקורות שנבחרו למדידה הם יציגים סטטיסטית, וממצאי המדידות צריכים לכלול מידע על הממוצע שנמדד והמרווח הסטטיסטי עבור 95% ודאות.

דוגמת חישוב פליטת מתאן בתהליך דה-הידרציה

לשם הדגמת הפירוט הנדרש בשיטות חישוב מנדבך 2 ומעלה מוצגים בטבלה 7 מקדמי פליטה המקובלים בתעשיית הנפט והגז (API 2009) עבור תהליך דה-הידרציה (הסרת מים) מזרם הגז באמצעות גליקול כאשר פליטת מתאן הינה לא מבוקרת. הטבלה מציגה את הנחת היסוד של הריכוז הממוצע של מתאן בכל אחד מהמקטעים ומקדמי הפליטה האלה ניתנים לעדכון עבור ריכוזי גזים שונים כגון מתאן ו/או פד"ח במאגרים מסוימים או בממוצע ארצי. מקדמים אלה הם עבור פליטות מתהליך הרגנרציה של הגליקול עצמו ואינם כוללים את הפליטות מהמשאבות שמווסתות את קצב הזרימה של הגליקול בתהליך.

טבלה 7 - מקדמי פליטה ספציפיים למקטעי תעשיית הגז עבור פליטת CH₄ כתוצאה מתהליך דה-הידרציה של הגז באמצעות גליקולים

Industry Segment	CH ₄ Emission Factor, Original Units (scf/ 10 ⁶ scf gas processed)	CH ₄ Emission Factor (tonnes/ 10 ⁶ scf gas processed)	CH ₄ Emission Factor (tonnes/ 10 ⁶ m ³ gas processed)	CH ₄ Content Basis for Industry Segment (mole %)	Precision (+/- %)
Production	275.57	0.0052859	0.18667	78.8	191
Gas processing	121.55	0.0023315	0.082338	87	249
Gas transmission	93.72	0.0017980	0.06349	93.4	257
Gas storage	117.18	0.0022477	0.079377	93.4	197

*Source: API 2009, Table 5.2

קיימת חשיבות להתאים את מקדמי הפליטה המוצגים בטבלה 7 לתנאים האופייניים למאגרי הגז המקומיים, כך לדוגמא, בשלב ההפקה של הגז מתמר הריכוז המולארי של מתאן הוא מעל 90% בהשוואה לממוצע של 78.8% בגז הטבעי המופק ביבשה בארה"ב. גם במקרה כזה, כאשר המקדמים מחושבים על סמך סימולציה הנדסית מדויקת יותר, טווח האי-ודאות של פליטות מתאן עשוי להיות **+200%**.

אפיון פליטות לא מוקדיות

אפיון מדויק יותר של פליטות לא מוקדיות מהצידוד והצנרת המשמשים בתהליכים מצריכה מדידה של הפליטות מהרכיבים. בהתאם לפרוטוקול של הסוכנות האמריקאית להגנת הסביבה המדידה של פליטות לא מוקדיות היא ביחידות של כלל התרכובות האורגניות (EPA (TOC (1995).

המרכיב מסומן כ"דולף" או "לא דולף" כאשר ריכוז ה-TOC בממשק עם האטמוספירה הוא מעל, או שווה, ל-10,000 יחידות למיליון (ppm) או פחות מ-10,000 ppm, בהתאמה. מקדמי הפליטה עבור כל אחד מסוגי המרכיבים ניתנים ביחידות של (TOC) - כמוצג בטבלה 8 - והם ניתנים להמרה למתאן בהתאם לריכוזו בנפט או בגז הטבעי.

טבלה 8 - מקדמים לכימות פליטות לא מוקדיות מרכיבים "דולפים" או "לא דולפים" עבור סוגי מתקנים שונים*

Component – Facility Type	Emission Factor, lb TOC/day/comp.		Emission Factor, tonne TOC/component-hr	
	<10,000 ppmv	>=10,000 ppmv	<10,000 pmv	>=10,000 pmv
Valves – All Facility Types	NA	3.381	NA	6.4E-05
Valves – Gas Production	1.63E-03	3.381	3.1E-08	6.4E-05
Valves – Light Crude Production	1.11E-03	3.381	2.1E-08	6.4E-05
Valves – Heavy Crude Production	6.95E-04	3.381	1.3E-08	6.4E-05
Valves – Offshore Production	8.5E-04	3.381	1.61E-08	6.4E-05
Valves – Gas Processing	1.81E-03	3.381	3.42E-08	6.4E-05
Connectors – All Facility Types	NA	1.497	NA	2.8E-05
Connectors – Gas Production	6.33E-04	1.497	1.2E-08	2.8E-05
Connectors – Light Crude Prod.	5.25E-04	1.497	9.9E-09	2.8E-05
Connectors – Heavy Crude Prod.	4.41E-04	1.497	8.3E-09	2.8E-05
Connectors – Offshore Production	5.11E-04	1.497	9.66E-09	2.8E-05
Connectors – Gas Processing	5.76E-04	1.497	1.09E-08	2.8E-05
Flanges – All Facility Types	NA	4.490	NA	8.5E-05
Flanges – Gas Production	1.30E-03	4.490	2.5E-08	8.5E-05
Flanges – Light Crude Production	1.24E-03	4.490	2.3E-08	8.5E-05
Flanges – Heavy Crude Production	1.19E-03	4.490	2.2E-08	8.5E-05
Flanges – Offshore Production	1.33E-03	4.490	2.51E-08	8.5E-05
Flanges – Gas Processing	1.44E-03	4.490	2.72E-08	8.5E-05
Open-ended Lines – All Facilities	NA	1.600	NA	3.0E-05
Open-ended Lines – Gas Production	1.26E-03	1.600	2.4E-08	3.0E-05
Open-ended Lines – Light Crude Production ²	1.50E-03	1.600	2.8E-08	3.0E-05
Open-ended Lines – Heavy Crude Production ³	8.86E-04	1.600	1.7E-08	3.0E-05
Open-ended Lines – Offshore Production	9.4E-04	1.600	1.78E-08	3.0E-05
Open-ended Lines – Gas Processing	1.62E-03	1.600	3.06E-08	3.0E-05
Pump Seals – All Facilities	NA ¹	3.905	NA ¹	7.4E-05
Pump Seals – Gas Production	1.03E-02	3.905	1.9E-07	7.4E-05
Pump Seals – Heavy Crude Prod. ³	No data	3.905	No data	7.4E-05
Pump Seals – Light Crude Prod. ²	1.68E-02	3.905	3.2E-07	7.4E-05
Pump Seals – Offshore Production	1.03E-02	3.905	1.95E-07	7.4E-05
Pump Seals – Gas Processing	4.3E-02	3.905	8.13E-07	7.4E-05
Others – All Facilities	NA	3.846	NA	7.3E-05
Others – Gas Production	7.92E-03	3.846	1.5E-07	7.3E-05
Others – Heavy Crude Production ³	3.67E-03	3.846	6.9E-08	7.3E-05
Others – Light Crude Production ²	9.01E-03	3.846	1.7E-07	7.3E-05
Others – Offshore Production	3.76E-03	3.846	7.11E-08	7.3E-05
Others – Gas Processing	9.09E-03	3.846	1.72E-07	7.3E-05

* [Source: API 2009, Appendix C, Table C-2](#)

כפי שצוין לעיל, חישוב סופי של פליטות לא מוקדיות עבור מתאן מצריך המרה של הפליטה המחושבת ביחידות של TOC. המרה זו מבוצעת באמצעות פקטורים המבטאים את ההרכב של הנזל או הגז המופק. טבלה 9 מביאה מקבץ של מקדמי המרה גנריים המומלצים על ידי API.

טבלה 9 -מקדמי המרה גנריים לתכולת CH4 במקטעי תעשיית הנפט והגז הטבעי*

Compound	Onshore Operations				Offshore Oil and Gas
	Light Crude	Heavy Crude	Gas Production	Gas Plant	
	Wt. Fraction	Wt. Fraction	Wt. Fraction	Wt. Fraction	Wt. Fraction
Methane	0.613	0.942	0.920	0.564	0.791
NMHC	0.387	0.058	0.080	0.436	0.210
VOC	0.292	0.030	0.035	0.253	0.110
C6+	0.02430	0.00752	0.00338	0.00923	0.00673
Benzene	0.00027	0.00935	0.00023	0.00123	0.00133
Toluene	0.00075	0.00344	0.00039	0.00032	0.00089
Ethylbenzene	0.00017	0.00051	0.00002	0.00001	0.00016
Xylenes	0.00036	0.00372	0.00010	0.00004	0.00027

* [Source: API 2009, Appendix C, Table C-6](#)

הנחיות IPCC עבור מקדמי פעילות לכימות פליטות לא מוקדיות

מזכירות ועידת המסגרת לשנוי אקלים יזמה סדנה בינלאומית לדון במתודולוגיות לכימות פליטות מתאן (UNFCCC 2006). טבלה 10 מציגה את הנחיות ה-IPCC עבור מקדמי הפעילות הדרושים לשם כימות פליטות לא מוקדיות של מתאן ממגזר הנפט והגז הטבעי עבור כל אחד משלושת נדבכי החישוב שתוארו לעיל. נתוני הפעילות הדרושים בכדי לאפיין את הפליטות הלא מוקדיות מהמקטעים השונים של מגזר הנפט והגז הטבעי כוללים מידע על היקף ההפקה של נפט וגז, סוג התשתיות בשימוש, פליטות אפשריות כתוצאה מאידוי ממאגרים פתוחים, הזרמת נוזלים פחמימניים נדיפים, ותקריות הפעלה אחרות.

טבלה 10 - נתוני פעילות טיפוסיים הנדרשים ליישום מתודולוגיות חישוב פליטות לא מוקדיות של מתאן ממגזר הנפט והגז הטבעי בהתאם לנדבכי החישוב השונים*

Assessment Tier	Primary Source Category	Minimum Required Activity Data
3	Process Venting/Flaring	Reported Volumes Gas Compositions Proration Factors for Splitting Venting from Flaring
	Storage Losses	Solution Gas Factors Liquid Throughputs Tank Sizes Vapor Compositions
	Equipment Leaks	Facility/Installation Counts by Type Processes Used at Each Facility Equipment Component Schedules by Type of Process Unit Gas/Vapor Compositions
	Gas-Operated Devices	Schedule of Gas-operated Devices by Type of Process Unit Gas Consumption Factors Type of Supply Medium Gas Composition
	Accidental Releases & Third-Party Damages	Incident Reports/Summaries
	Gas Migration to the Surface & Surface Casing Vent Blows	Average Emission Factors & Numbers of Wells
	Drilling	Number of Wells Drilled Reported Vented/Flared Volumes from Drill Stem Tests Typical Emissions from Mud Tanks
	Well Servicing	Tally of Servicing Events by Types
	Pipeline Leaks	Type of Piping Material Length of Pipeline
	Exposed Oils Sands/Oil Shale	Exposed Surface Area Average Emission Factors
2	Venting and Flaring from Oil and/or Gas Production	Gas to Oil Ratios Flared and Vented Volumes Conserved Gas Volumes Re-injected Gas Volumes Utilized Gas Volumes Gas Compositions
	All Others	Oil and Gas Throughputs
1	All	Oil and Gas Throughputs

* Source: [IPCC 2006, Volume 2, Table 4.2.6](#)

על מנת לכמת את פליטות המתאן בנדבך 3 או אפילו בנדבך 2, יש צורך במידע מפורט על הפעילות בכל אחד מהמקטעים במגזר הנפט והגז הטבעי.

סקירת מתודולוגיות לאומיות להערכת פליטות מתאן ממגזר הנפט והגז הטבעי

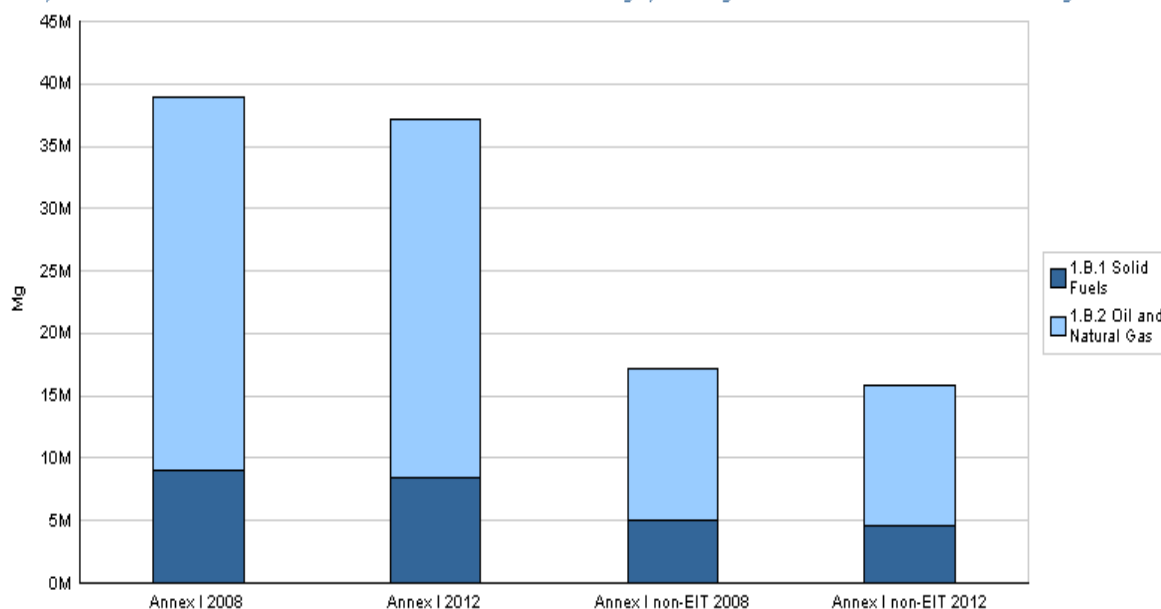
מדינות החברות באמנת המסגרת לשינוי אקלים (UNFCCC) והמנויות בנספח 1 של האמנה מוסרות לאו"ם כל שנה דיווח מלא של מצאי פליטות גזי חממה עבור כל מגזרי הכלכלה שלהן. המדינות מחשבות את הפליטות של כל גז חממה בנפרד וכן את סך הפליטות בהתאם להנחיות האו"ם, כאשר כל מדינה מתאימה את אופני החישוב בהתאם לנתונים הזמינים לה. במשך שנים רבות דיווחי הפליטות ממגזר הנפט והגז הטבעי התרכזו על פליטות פד"ח היות וזו מסת הפליטה הגדולה ביותר עבור המגזר.

איור 10 מציג מקבץ של נתוני פליטות לא מוקדיות של מתאן מהפקת דלקים מכלל מדינות נספח I (Annex I) בהשוואה לאותן פליטות ממדינות נספח I כאשר לא כוללים את 14 מדינות מזרח אירופה וברית המועצות לשעבר (Annex I non-EIT). הנתונים משווים בין דיווחי פליטות גז המתאן בשנים 2008 ל-2012 וכן את ההתפלגות בין הפקת דלקים מוצקים, כגון מחצבי פחם, לבין נפט וגז טבעי (UNFCCC 2015). ההבדלים בין גושי המדינות המוצגות ממחישים את ההבדל הגדול בפליטות לא מוקדיות של מתאן ממדינות ברית המועצות לשעבר שלהן הפקה נרחבת של נפט וגז טבעי.

איור 10 - השוואת פליטות לא מוקדיות של מתאן מדלקים לפי הנתונים שנמסרו לאו"ם (UNFCCC, 2015)

Annual greenhouse gas (GHG) emissions, by category

Query results for Parties: Annex I and Annex I non-EIT - Years: 2008 and 2012 - Category: 1.B - Fugitive Emissions from Fuels - Gas: CH4 - Unit: Mg



Source: UNFCCC Data Interface, Thursday, 24 March 2016 11:13:10 CET

[מקור](#)

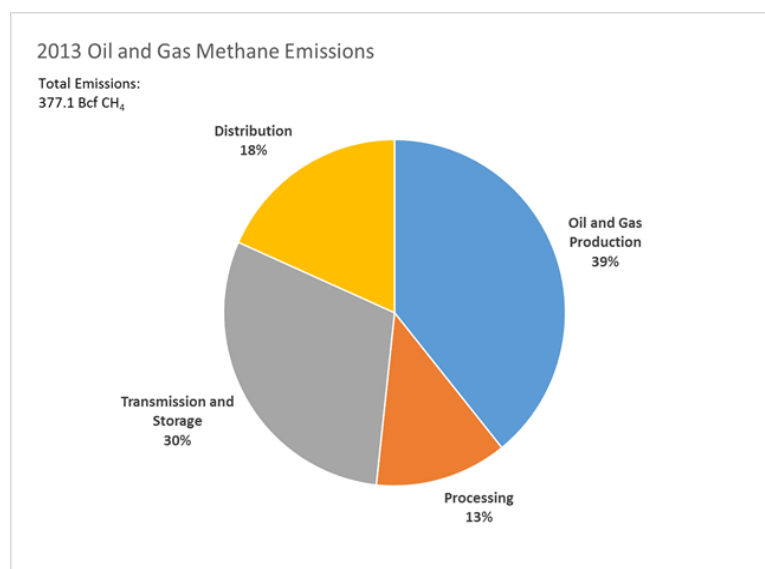
המשך פרק זה מציג סקירה של מתודולוגיות המאומצות ע"י מדינות שונות כולל ארה"ב, אוסטרליה, בריטניה ואזרבייג'ן.

פליטות מתאן במצאי הפליטות של ארה"ב

מצאי הפליטות הלאומי מדווח לאו"ם כשנתיים אחרי תום שנת הדיווח ולפיכך מצאי פליטות גזי החממה העדכני של ארה"ב הוא עבור שנת 2013 (EPA 2015). בשנת 2013 פליטות מתאן ממגזר הנפט והגז הטבעי בארה"ב הסתכמו ב-377.1 BCF (שהם כ-7.2 מיליון טון מתאן). התפלגות הפליטות לפי מקטעים מוצגת באיור 11. מצאי הפליטות הינו חלק מדו"ח מקיף על אפיון מקורות הפליטה, שיטות הכימות הרלוונטיות, שיפורים מתודולוגיים בשנה האחרונה, אי הוודאות בכימות והתקדמות בבקרה ומזעור הפליטות. כמוצג באיור 11 מקטע ההפקה של נפט וגז טבעי תורם 39% מכלל פליטות מתאן מהמגזר.

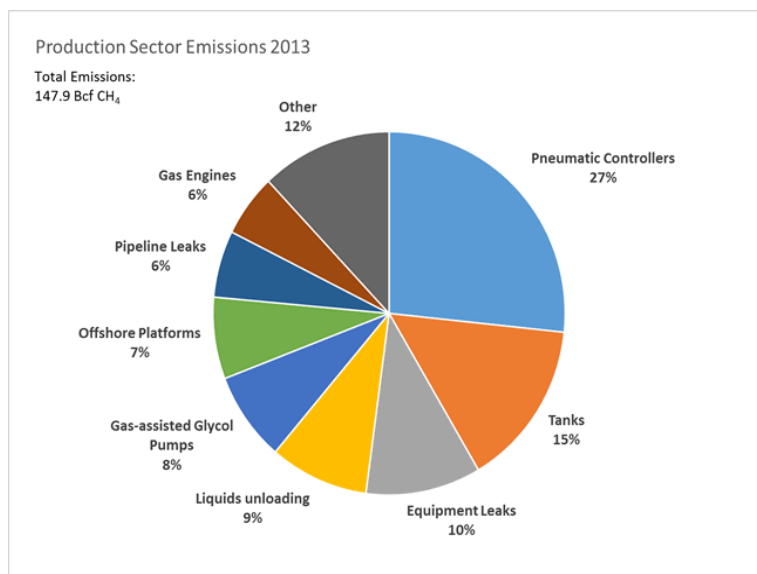
איור 11- התפלגות פליטות CH₄ במקטעים של מגזר הנפט והגז הטבעי במצאי הפליטות הלאומי של ארה"ב ב-2013

בבחינת מקורות הפליטה במקטע ההפקה רואים שווסתים פניאומטיים המונעים בגז טבעי הינם מקור הפליטה הגדול ביותר והם תורמים 27% מהפליטות של מקטע זה כשלאחריהם פליטות ממיכלי אחסון ודליפות מרכיבי מכשור התורמים 15% ו-10% בהתאמה. רוב הפליטות הן כתוצאה של הפקה ביבשה בעוד שאסדות ההפקה בים תורמות רק 7% מכלל פליטות מתאן ממקטע זה (איור 12).



[Source](#)

איור 12- התפלגות פליטות CH₄ ממקטע הפקת נפט וגז טבעי בארה"ב לפי מקורות



[Source](#)

הפליטות ממקטעי עיבוד הגז והולכתו תורמים 13% ו-30% בהתאמה מכלל פליטות מתאן במגזר הנפט והגז הטבעי בארה"ב. בשני מקטעים אלה מקורות הפליטה החשובים הם דליפות מרכיבי מערכת ופליטה מאטמי מדחסים.

מצאי הפליטות של מקטע הנפט והגז בארה"ב עבר מספר שינויים מתודולוגיים בשנים האחרונות. רוב השינויים כוללים נתונים מעודכנים עבור מקדמי פליטה וגם מידע מפורט יותר על הפעילות במגזר, כשרובם עבור פעילות ביבשה ולא זו שבים.

טבלאות 11, 12, 13 מציגות את נתוני מקדמי הפליטה ששמשו לחישוב מצאי הפליטות של 2013 עבור מקטעי ההפקה, העיבוד וההולכה, בהתאמה.

טבלה 11- מקדמי פליטת CH₄ עבור מקטע הפקת נפט וגז טבעי במצאי הפליטות הלאומי של ארה"ב
עבור שנת 2013*

	2013 CH ₄ Emission Factors	Emission Factors Units
Vented Sources		
Gas Well Completions (conventional)	0.015	tons/completion
Gas Well Workovers (conventional)	0.050	tons/workovers
Oil Well Completion Venting	0.013	tons/completion
Oil Well Workovers	0.002	tons/workover
Stripper Well Venting	0.045	tons/well
Liquids unloading with plunger lifts	5.00	tons/venting wells
Liquids unloading without plunger lifts	3.96	tons/venting wells
Well Drilling	0.052	tons/well
Pneumatic Device Vents	1.110	tons/controller
Chemical Injection Pumps	1.722	tons/pump
Dehydrator Vents (includes Kimray pumps)	0.022	tons/MMscf
Oil and Condensate Tanks Flashing Losses	232	tons/MMbbl
Vessel Blowdowns	1.55E-03	tons/vessel
Pipeline Blowdowns	6.27E-03	tons/mile (gathering)
Compressor Blowdowns	0.0760	tons/compressor
Compressor Starts	0.157	tons/compressor
Pressure Relief Valve Vents	6.86E-04	tons/valve
Mishaps (pipeline dig-ins)	0.014	tons/mile
Oil Well Blowouts	47	tons/blowout
Fugitive Sources		
Gas Well fugitive emissions	0.117	tons/well
Oil Well fugitive emissions	0.108	tons/well
Small Reciprocating Compressors	2	tons/compressor
Large Reciprocating Compressors	113	tons/compressor
Large Recip Stations	0.39	tons/mile
Separators	0.29	tons/separator
Dehydrators	0.50	tons/dehydrator
Heaters	0.23	tons/heater
Headers	0.06	tons/header
Floating Roof Tanks	6.67	tons/tank
Meters/Piping	0.27	tons/meter
Pipeline Leaks	0.39	tons/mile
Sales Areas	7.94E-04	tons/loading
Battery Pumps	1.54E-03	tons/pump
Offshore Platforms		
Shallow water gas platforms (GOM and Pacific)	0.17	tons/day/platform
Deepwater gas platforms (GOM and Pacific)	1.8	tons/day/platform
Combustion Sources		
Gas Engines	2.75	tons/MMhp-hr
Heaters	10.04	tons/MMbbl
Well Drilling	0.045	tons/well drilled
Other Flaring	2.75E-04	tons/Mcf

* Source: [adaptation from EPA 2015, Table A-133](#)

טבלה 12 - מקדמי פליטת CH₄ עבור מקטע עיבוד גז טבעי במצאי הפליטות הלאומי של ארה"ב עבור שנת 2013*

	2013 CH ₄ Emission Factors	Emission Factors Units
Vented Sources		
Acid Gas Removal (AGR) Vents	42.82	tons/AGR unit
Dehydrator Vents (includes Kimray vents)	3.42E-03	tons/MMscf
Pneumatic Devices	4.03E-04	tons/MMscf
Blowdowns/Venting	3.17	tons/plant
Fugitive Sources		
Plants	55.58	tons/plant
Reciprocating Compressors	78.69	tons/compressor
Recip. - Rod packing, standby-mode	included in the factor above	
Centrifugal Compressors - wet seals	361.22	tons/compressor
Centrifugal Compressors - dry seals	177.16	tons/compressor
Combustion Sources		
Gas Engines	4.47	tons/MMhp-hr
Gas Turbines	0.11	tons/MMhp-hr

* Source: [adaptation from EPA 2015, Table A-136](#)

טבלה 13 - מקדמי פליטת CH₄ עבור מקטע הולכת גז טבעי במצאי הפליטות הלאומי של ארה"ב עבור שנת 2013*

	2013 CH ₄ Emission Factors	Emission Factor Units
Vented Sources		
Dehydrator Vents	1.81E-03	tons/MMscf
Pneumatic Devices	2.92	tons/device
Pipeline Venting	0.41	tons/mile
Station Venting	83.94	tons/comp. station
Fugitive Sources		
Pipeline Leaks	0.01	tons/mile
Station Leaks	61.69	tons/station
Reciprocating Compressors	106.76	tons/compressor
Centrifugal Compressors - wet seals	352.82	tons/compressor
Centrifugal Compressors - dry seals	227.45	tons/compressor
M&R Station Leaks	1.12	tons/station
Combustion Sources		
Engines	4.62	tons/MMhp-hr
Turbines	0.19	tons/MMhp-hr

* Source: [adaptation from EPA 2015, Table A-137](#)

פליטות מתאן מהפקת נפט וגז טבעי במפרץ מקסיקו בארה"ב

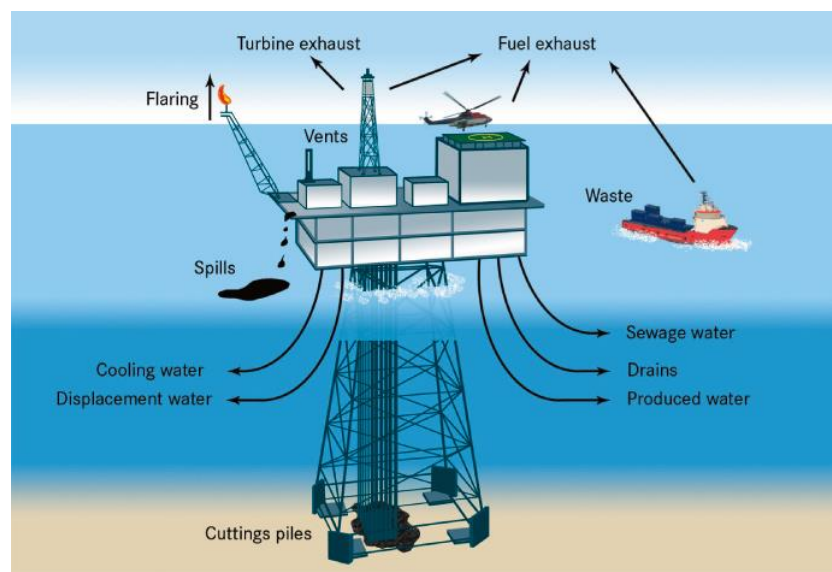
מנהל משאבי אנרגיה בים (BOEM) שבמשרד הפנים האמריקאי אחראי להערכת ההשפעות האפשריות של פליטת מזהמי אויר, כולל גזי חממה, בעת פיתוח והפקה של נפט וגז טבעי מעבר למדף היבשת במפרץ מקסיקו בארה"ב. פליטות אלה כוללות פליטות ישירות מפעילות ההפקה והולכת התוצרים לחוף וכן פליטות שמקורן הוא בצידוד העזר הנדרש לפעילות בים הכוללים כלי שיט למיניהם ומסוקים שנוחתים ישירות על האסדות.

BOEM שם לו למטרה לערוך סקירות מקיפות כל שלוש שנים לאיסוף נתונים כדלהלן:

- תרומה ישירה של פליטת המזהמים השונים לזיהום אויר סביבתי באזורי החוף
- תרומה עקיפה של פליטות התורמות להיווצרות של ערפל פוטוכימי
- פליטות גזי חממה מהאסדות וצידוד העזר הנחוץ לפעילות בים

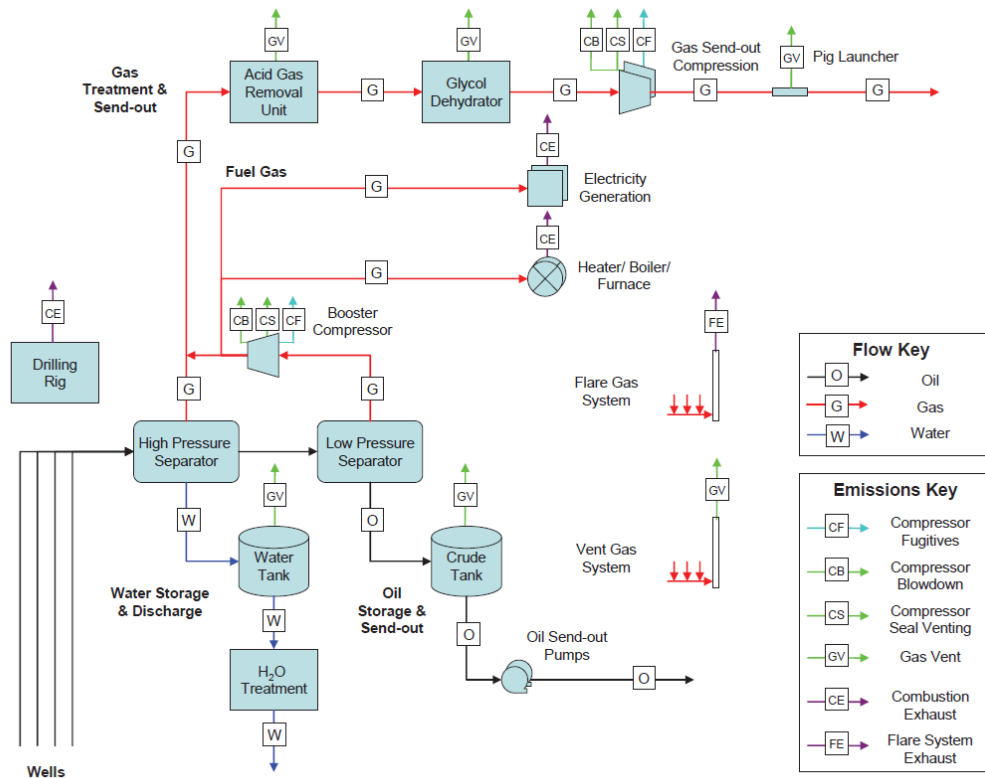
הסקירה כוללת איסוף חומר מפורט על הקף הפעילות החודשית בשנת היעד עבור כל מקורות הפליטה האפשריים (GOADS 2011). מידע זה מומר אחר כך לנתוני פליטות באמצעות מקדמי הפליטה של EPA (AP-42) תוך שימוש בנתוני הפעילות שנתקבלו מהחברות הפועלות במפרץ מקסיקו. לשם המחשה, איור 13 מציג סכימה של מקורות הפליטה לאטמוספירה וההזרמה לים מאסדות הפקה של נפט וגז (כולל צידוד עזר) (OSPAR 2010). איור 14 מציג סכימה מפורטת יותר של מקורות פליטת מתאן מתפעול אסדת הפקה בים (Bylin 2010).

איור 13- תיאור סכמתי של מקורות פליטה לאטמוספירה והזרמה לים מהפקה בים



Source: [OSPAR: \(Protection of the Marine Environment of the North-East Atlantic\) 2010](#)

איור 14- סכימה של מקורות פליטת CH₄ באסדת הפקה בים



Source: [Bylin 2010](#)

בסקר עבור שנת 2011, BOEM אסף נתונים חודשיים מ- 2,544 אסדות המפיקות נפט וגז טבעי במפרץ מקסיקו. הנתונים שהתקבלו כוללים:

- שריפת דלקים
- מסוקים וכלי שיט ימיים
- מיחזור בוצי קידוח ונישוב בארות
- התאיידות ונישוב של מיכלי אחסון ומסופי העברת תוצרים
- פליטות לא מוקדיות מרכיבים וצנרת

סך הפליטות של גזי חממה מהאסדות וציווד העזר לפעולות ההפקה מוצג בטבלה 14 בהתאם לממצאים של GOADS (2011). פירוט נרחב של כל מקדמי הפליטה שבהם השתמשו לכימות המקורות והגזים השונים ניתן בדו"ח GOADS (2011).

הנתונים בטבלה 14 מראים שפליטות פד"ח מהאסדות וכלי השיט הנלווים הן גבוהות מאוד מבחינה כמותית. כאשר בוחנים את הפליטות מהאסדות עצמן ברור שבהמרת פליטות מתאן ליחידות של שווה ערך פחמן דו חמצני (CO₂e), פליטות מתאן מאסדות ההפקה מקבלות יתר משמעות.

Equipment Types	CO ₂ Emissions (tons/year)	CH ₄ Emissions (tons/year)	N ₂ O Emissions (tons/year)	CO ₂ e Emissions (tons/year)
Amine Units	0	2	0	45
Boilers/heaters/burners	891,652	17	16	896,992
Diesel Engines	407,575	13	N/Ab	407,851
Drilling Equipment	76,961	1.5	N/A	76,993
Combustion Flares	604,002	366	11	615,029
Fugitive Sources	0	61,232	0	1,285,862
Glycol Dehydrators	N/A	7,859	N/A	165,048
Losses From Flashing	330	14,231	0	299,175
Minor Sources	0	476	0	9,987
Mud Degassing	2	505	0	10,615
Natural Gas Engines	2,567,943	12,619	N/A	2,832,942
Natural Gas, Diesel, and Dual-fuel Turbines	7,329,476	400	140	7,381,165
Pneumatic Pumps	401	21,155	0	444,666
Pressure/level Controllers	871	16,739	0	352,384
Storage Tanks	0	877	0	18,414
Cold Vents	2,815	134,863	0	2,834,938
Total Emissions	11,882,029	271,355	167	17,632,106

טבלה 14 - ממצאי סקר GOADS 2011 עבור פליטות גזי חממה מאסדות ההפקה*

* GWP = 21 (for CH₄) and 310 (for N₂O)

Source: [Adapted from GOADS 11, Table 7-3](#)

כאשר בוחנים את התוצאות המפורטות עבור מקורות הפליטה מציוד המשמש לתפעול האסדות מגיעים למסקנה שהמקורות התורמים את מירב גזי החממה הם מנועי גז טבעי וטורבינות המונעות בגז טבעי - הפולטים בעיקר פד"ח. לעומת זאת המקורות העיקריים של פליטת מתאן הם דליפות לא מוקדיות מאטמים ורכיבי מכשור וצנרת כאשר אחריהם בכמות הפליטה הם משאבות ווסתי לחץ וטמפרטורה פניאומטיים המונעים בגז. פירוט הנתונים מובא בטבלה 15, כאשר הנתונים מציגים את הפליטה השנתית עבור כל אחד מגזי החממה וגם את סיכומם ביחידות של שווה ערך פחמן דו-חמצני.

טבלה 15 - פירוט פליטות גזי חממה מציוד המופעל על אסדות ההפקה וציוד העזר להפקה ביים*

Equipment/ Source Category	CO ₂ Emissions (tons/year)	CH ₄ Emissions (tons/year)	N ₂ O Emissions (tons/year)	CO ₂ e Emissions (tons/year)*
Total Platforms Emissions	11,882,029	271,355	167	17,632,106
Drilling Rigs	2,748,279	21	110	2,782,820
Pipe laying Operations	609,535	5	18	615,220
Support Helicopters	160,752	10	11	164,373
Support Vessels	13,002,103	75	386	13,123,338
Survey Vessels	504,714	3	15	509,427
Total OCS Oil/Gas Production Source Emissions	28,907,412	271,469	707	34,827,284

*GWP = 21 (for CH₄) and 310 (for N₂O)

Source: [Adapted from GOADS 2011 Table 7-9](#)

הסוכנות האמריקאית להגנת הסביבה השתמשה בנתוני הדיווח של האסדות במפרץ מקסיקו (GOADS 2011) יחד עם שאר הדיווחים מאסדות נוספות המפיקות בים בארה"ב לחישוב מקדם פליטה מאוגם עבור פליטות מתאן מאסדות הפקה במים עמוקים (מעל ל-200 מטר עומק) ליישום במצאי הפליטות הלאומי של ארה"ב (EPA 2015a). מקדמים אלה הינם:

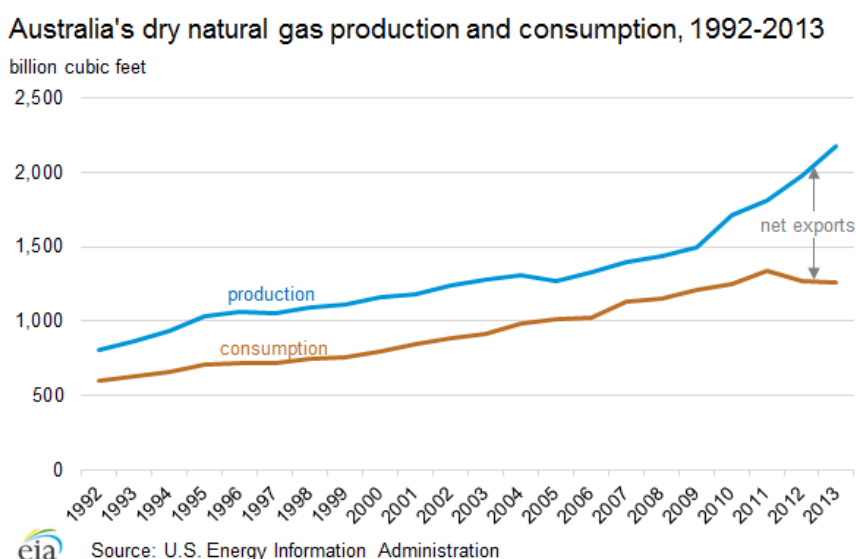
- 79,452 (SCF/day) שהם בסביבות 2,250 מ"ק מתאן ליום עבור אסדות המפיקות גז טבעי

- 260,274 (SCF/day) שהם בסביבות 7,370 מ"ק מתאן ליום עבור אסדות המפיקות נפט.

פליטות גזי חממה ממגזר הנפט והגז הטבעי באוסטרליה

מגזר הנפט והגז הטבעי באוסטרליה מפותח מאוד, והיא אחת ממדינות היצוא העיקריות של נפט וגז טבעי מנוזל לדרום מזרח אסיה. נתוני ההפקה של גז טבעי באוסטרליה מראים שבעשור שבין 2003 ו-2013 עלתה כמות הגז המופקת פי 2 כאשר הצריכה הפנימית התמתנה או אפילו ירדה כך שהיצוא נטו גדל, במיוחד מאז 2010 (איור 15).

איור 15- מגמה רב שנתית של הפקה וצריכה של גז טבעי באוסטרליה



[Source](#)

בהתאם להערכה העולמית של הסוכנות האמריקאית להגנת הסביבה (EPA 2011) פליטות מתאן באוסטרליה בשנת 2010 היו במקום ה-13 בדירוג עולמי, עם פליטות של 5.3 MtCO₂e.

אוסטרליה אוספת נתונים מחברות הנפט והגז עבור מצאי הפליטות הלאומי ומדווחת לאו"ם בהתאם להתחייבותה באמנת שינוי האקלים. בהנחיות לעריכת מצאי הפליטות הלאומי

(Australia 2013) הממשלה האוסטרלית אמצה שיטות כימות המבוססות על הנחיות אמריקאיות, כולל הנחיות של הסוכנות האמריקאית להגנת הסביבה (EPA 1995) ומכון הנפט האמריקאי (API 1996, API 2009).

טבלה 16 מציגה מקדמים לכימות פליטות לא מוקדיות, שהינן תוצאה מדליפות מרכיבים, בהתאם להנחיות ממשלת אוסטרליה. מקדמי פליטה אלה ניתנים ביחידות של סך התרכובות האורגניות (TOC) הנפלטות והם מייצגים ערכים ממוצעים עבור כל סוג רכיב והרכב הזרימה בצנרת (נוזל או גז). מקדמים אלה, בניגוד לאלה שהובאו לעיל בטבלה 8, ניתנים ליישום ללא ביצוע מדידה לאפיון רכיבים "דולפים" או "לא דולפים" ודורשים רק מידע על מספר הרכיבים מכל סוג. כימות הפליטות במקדמים אלה נוטה להערכת יתר ואינו מאפשר תיעוד הפחתות כתוצאה מהתייעלות, תחזוקה, ושדרוג מערכות.

טבלה 16 - מקדמים לפליטות לא מוקדיות (מבוטאות כסך התרכובות האורגניות) עבור סוגים שונים של רכיבים בצנרת הפקת נפט וגז טבעי*

Equipment Type	Emission Factors TOC (kg/hr/source)			
	Gas	Heavy Oil	Light Oil	Water/Oil
Valves	0.0045	0.0000084	0.0025	0.000098
Pump Seals	0.0024	NA	0.013	0.000024
Others	0.0088	0.000032	0.0075	0.014
Connectors	0.00020	0.0000075	0.00021	0.00011
Flanges	0.00039	0.00000039	0.00011	0.0000029
Open-ended Lines	0.0020	0.00014	0.0014	0.00025
Drains (onshore)	0.032	0.032	0.032	0.032

*Source: [Australia 2013, table 5](#)

ממשלת אוסטרליה עדכנה את מקדמי הפליטה של גזי החממה עבור המצאי הלאומי כולל מקדמים נוספים לכימות פליטות מתאן (Australia 2015). המקדמים הרלוונטיים מקובצים בטבלה 17.

טבלה 17 - הקבצה של מקדמי פליטה עבור CH₄ מצידוד ותהליכים במגזר הנפט והגז הטבעי*

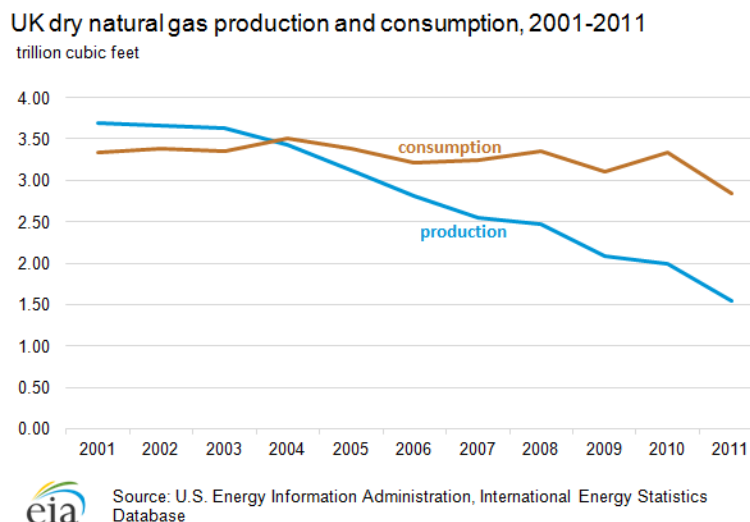
Segment	Equipment or Process	CH ₄ Emission Factor	Emission Factor units
Exploration	Flare (gas)	0.8	tCO ₂ e/ton flared
	Flare (liquid)	0.0088	tCO ₂ e/ton flared
Production and Processing	Flare (gas)	0.1	tCO ₂ e/ton flared
	Internal floating tank	0.000001	tCO ₂ e/ton throughput
	Fixed roof tank	0.000005	tCO ₂ e/ton throughput
	Floating tank	0.0000038	tCO ₂ e/ton throughput
Natural Gas Transmission		810.4	tCO ₂ e/km pipeline length

* Source: [adaptation from Australia 2015, tables 8, 14, 15, and 17](#)

פליטות גזי חממה ממגזר הנפט והגז הטבעי בבריטניה

לעומת עליית ההפקה של גז טבעי באוסטרליה, נתונים במאגר המידע הסטטיסטי הבינלאומי מצביעים על כך שהתפוקה בבריטניה ירדה בלמעלה מ-50% בעשור שבין 2001 ו-2011 (איור 16), בשנת 2011 הקף ההפקה היה כמעט זהה בשתי המדינות ומאז באוסטרליה ההפקה היא בעליה לעומת הירידה בבריטניה.

איור 16 - מגמת ההפקה והצריכה של גז טבעי בבריטניה



מקור

בהתאם להערכות הסוכנות האמריקאית להגנת הסביבה (EPA 2011), פליטות מתאן של בריטניה היו כ-4.1 MtCO_{2e} בשנת 2010. בריטניה מדווחת שנתיית לאו"ם כנדרש באמנת המסגרת לשינוי האקלים (UK 2015) כאשר מקדמי הפליטה מובאים ב-Annex 3 של הדו"ח. טבלה 18 מציגה מקדמים לפליטה לא מוקדית של מתאן כפי שתועדו על ידי ממשלת בריטניה.

טבלה 18 - מקדמים לפליטות לא מוקדיות של מתאן מפעולות במגזר הנפט והגז בבריטניה*

Segment	Equipment or Process	CH ₄ Emission Factor	Emission Factor units
Offshore Gas Exploration	Flare (gas)	0.045	tCH ₄ /ton flared
Offshore Gas Production	Flare (gas)	0.007	tCH ₄ /ton flared
Natural Gas Transmission		0.0008	tCH ₄ /100 MMBtu fuel consumed
Natural Gas Leakage (at point)		0.00000018	tCH ₄ /100 MMBtu fuel consumed

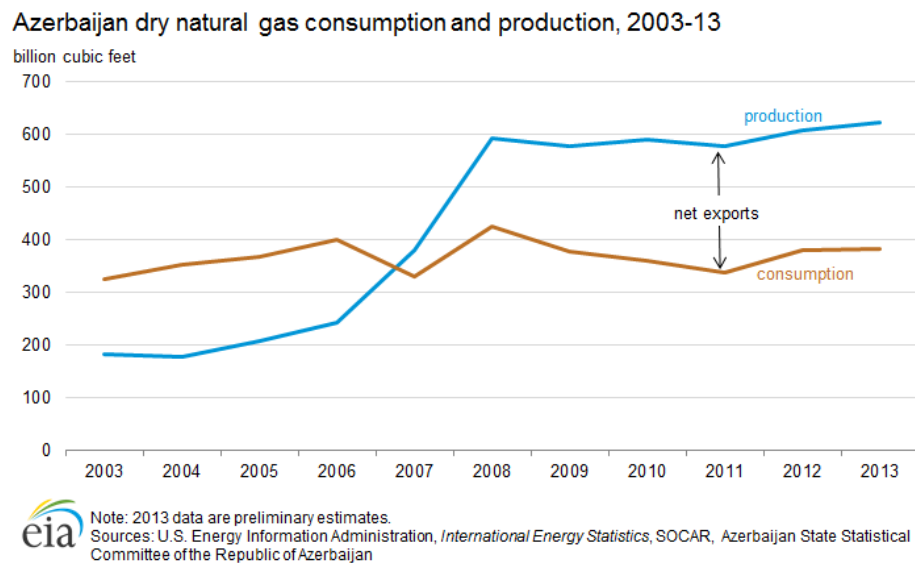
*Source; [UK 2015, Annex 3, Table A 3.1.2 \(Sector 1B\)](#)

פליטות גזי חממה ממגזר הנפט והגז הטבעי באזרבייג'ן

אזרבייג'ן המצויה באגן הים הכספי מפיקה נפט מזה שנים רבות ולאחרונה גם הגבירה את הפקת הגז הטבעי במיוחד ממאגרים שלחופי הים הכספי. בשנת 2012 צריכת האנרגיה באזרבייג'ן היתה 67% גז טבעי וכ-30% נפט (EIA 2014). הגז הטבעי הוא חיוני לכלכלת אזרבייג'ן והיא גם יצואנית של נפט וגז טבעי. כ-80% מכלל ייצור החשמל במדינה נעשה באמצעות גז טבעי.

בהתחייבותה לאו"ם לפני ועידת פריז ב-2015 אזרבייג'ן התחייבה להפחתת פליטות גזי חממה ב-35% לעומת שנת הבסיס של 1990 והיא צופה הפחתה של $24.66 \text{ tCO}_2\text{e}$ בשנת 2030 לעומת שנת הבסיס (INDC 2015). המתודולוגיה לחישוב מצאי הפליטות בשנת הבסיס וההפחתה בשנת 2030 מבוססים על ההנחיות של ה-IPCC (IPCC 1996) בצרוף הנחיות מיוחדות עבור מדינות שאינן מופיעות בנספח 1 של אמנת האקלים (UNFCCC 2003).

איור 17- הפקה וצריכה של גז טבעי באזרבייג'ן



[מקור](#)

סיכום ביניים

בעשור האחרון גברה ההכרה שחשוב לאפיין פליטות של גזי חממה נוספים מלבד פד"ח, במיוחד כאלה שלהם זמן חיים קצר באטמוספירה. בנוסף, תנופת העלייה בהפקת גז טבעי ברחבי העולם הגבירה את החשיבות של כימות מדויק יותר של פליטות ממגזר הנפט והגז הטבעי תוך הדגשת אפיון מדויק יותר של פליטות מתאן. בד בבד עם חישובי הפליטות עבור הדיווחים השנתיים לאו"ם המדינות אמורות גם לדווח על שיפורים צפויים במתודולוגיה של חישוב מצאי הפליטות ואמצעי מדיניות שונים שיביאו להפחתות הרצויות בפליטות מתאן.

פרק ה'

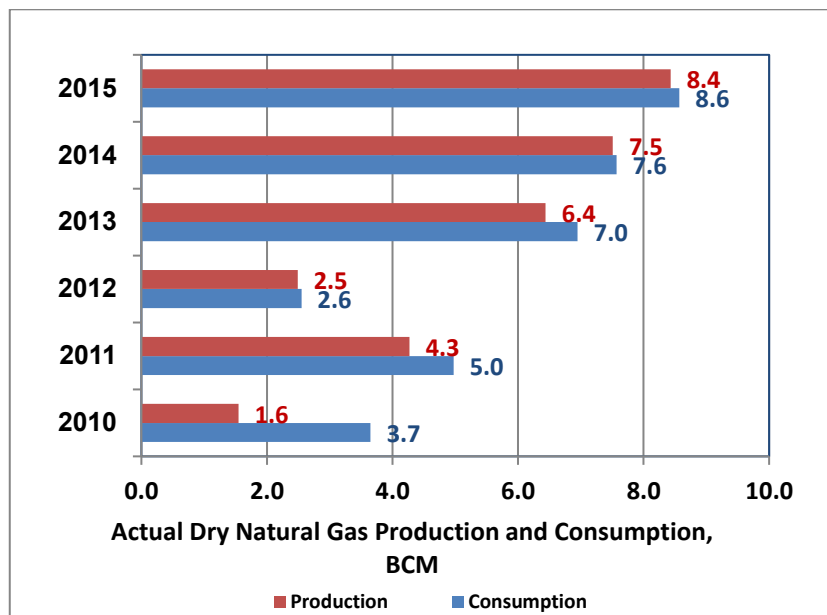
יישום מתודולוגיות בישראל, לרבות, המלצות לאימוץ מתודולוגיות

כפי שתואר בפרק א' לעיל, פליטות המתאן ממגזר הנפט והגז מקורן בעיקר מתהליכי ההפקה, העיבוד, ההולכה והחלוקה של הגז הטבעי. מסמך זה מציג נתוני רקע על הפקה וצריכה של גז טבעי בישראל, כולל תחזיות לעשרים השנים הבאות, וכן את היקף התשתיות הקיימות וכאלה הנמצאות בשלבי הקמה. המסמך גם מציג כיצד ניתן להעריך את פליטות המתאן ממגזר הגז הטבעי בישראל בהתאם להנחיות בינלאומיות קיימות המתבססות על מאגרי נתוני פעילות קיימים או על סקרי מדדי פעילות המומלצים ליישום בעתיד.

רקע על הפקה וצריכה של גז טבעי בישראל

טביעת הרגל של פליטות המתאן בישראל היתה תמיד נמוכה יותר מזו של תעשיות הנפט והגז במדינות אחרות בעולם וזאת בעיקר בשל הנפח הנמוך יחסית של הפקת הגז הטבעי בישראל וצריכתו עד לפני כחמש שנים. בשנת 2010 הפקת הגז הטבעי בישראל עמדה על 1.55 BCM (מיליארד מטרים מעוקבים) כאשר צריכת הגז הטבעי היתה 3.7 BCM⁶. איור 18 מציג פירוט של היקפי ההפקה והצריכה של גז טבעי בישראל בשנים 2010 – 2015.⁷

איור 18 הפקה וצריכה של גז טבעי בישראל בשנים 2010 - 2015



[מקור](#)

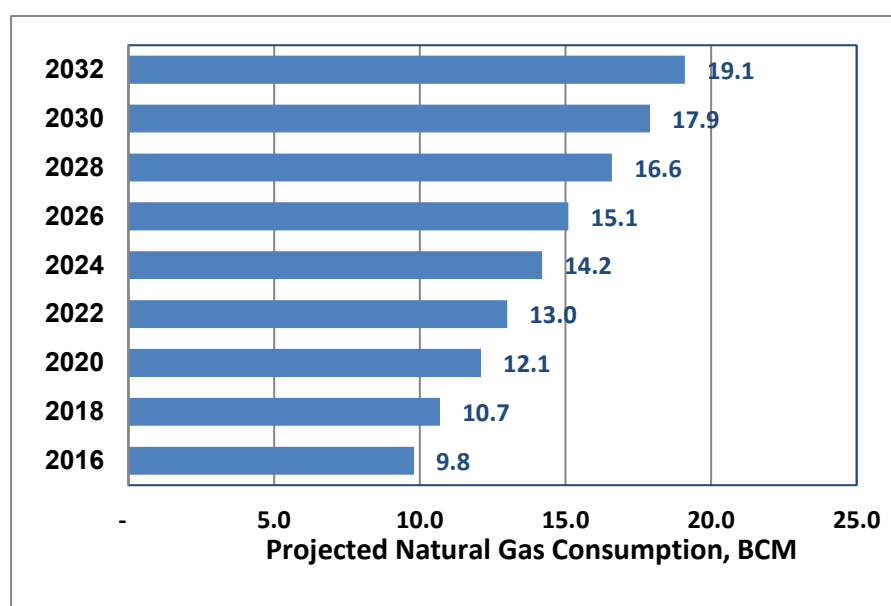
⁶ [EIA International Energy Statistics](#);

⁷ EIA and Israel Ministry of Energy and Infrastructure Data. Production data for 2015 is estimated not actual.

הפקת הגז הטבעי בישראל החלה עם פיתוח מאגרי נועה ומרי B מול חופי אשקלון. מאגרים אלה ידועים יחדיו כ"ים תטיס" והיו בעלי תכולה כללית של 32 BCM (Shaffer 2011). מאגרים אלה – אשר התרוקנו כבר לפני 2013 - אפשרו לישראל להתחיל לייצר חשמל באמצעות גז טבעי. במשך השנים צריכת הגז הטבעי בישראל עלתה ובשנים 2008-2012 סיפקה מצרים גז טבעי לישראל. אספקה זו פחתה באופן משמעותי מתחילת שנת 2011 בגלל המצב הביטחוני במצרים, עד אשר הופסקה כליל באפריל 2012.

מאגר הגז תמר שהתגלה בשנת 2009 הינו בעל רזרבה מוכחת של כ- 270 BCM והוא החל להזרים גז טבעי לתצרוכת ישראלית פנימית באפריל 2013. על פי נתונים מרשות הגז, האספקה הרציפה של גז טבעי בשנת 2014 - בעיקר ממאגר תמר – הסתכמה ב-7.6 BCM, עליה של כ-9% בהשוואה לאספקת 2013 (Natural Gas Authority 2015). ההערכה האחרונה שפרסמה רשות הגז הטבעי במהלך 2015 חזתה כי סך הצריכה בשנה זו תגיע לכדי 8.57 BCM, מתוכם 8.43 BCM ממאגר תמר והיתרה, 0.14 BCM מהמקשר הימי (Bouy). כבר בתחילת 2015 נרשמה עליה משמעותית בצריכה בשיעור של 29% בינואר ו-24% בפברואר ביחס לצריכה בחודשים המקבילים בשנת 2014. במהלך חודש ינואר 2015 נרשם שיא צריכה יומי של 30,779 אלפי מ"ק, ובמהלך חודש פברואר 2015 נרשם שיא צריכה שעתי של 1,710 אלפי מ"ק. איור 19 מציג את התחזית לצריכת גז טבעי בישראל בין השנים 2016 – 2032 בהתאם לנתונים מאתר נתיבי הגז הטבעי לישראל. הנתונים מראים שב-15 השנים הקרובות צפויה הכפלה של צריכת גז טבעי במשק הישראלי.

איור 19 תחזית צריכת גז טבעי בישראל בין השנים 2016 - 2032



Source: Israel Natural Gas Lines

תשתיות לאספקת גז טבעי

איור 20 מציג את מפת מערך אסדות ההפקה, העיבוד והצנרת המשמשים את מגזר הגז הטבעי בישראל. הבנה של תשתית תפעולית זו הינה עקרונית להבנת מקורות אפשריים לפליטות מתאן. בפרק להלן מתוארים הנתונים החשובים לכימות פליטות אלה.

1. מאגר תמר

מקור האספקה העיקרי של גז טבעי למשק הישראלי בעשור הקרוב צפוי להיות מאגר תמר. במהלך שנת 2014 ההפקה השעתית המקסימלית ממאגר תמר נאמדה ב-1.33 מיליון מטרים מעוקבים (MCM/hr). הגדילה בנתוני הצריכה שנרשמה מתחילת שנת 2015 מצביעה על הצורך בהגדלת התפוקה ממאגר תמר בשילוב עם השימוש במאגר הצף של גז מנוזל (LNG). במהלך 2015 צפוי היה להשלים את הקמת מערך המדחסים שמטרתו הינה הגדלת התפוקה השעתית המקסימלית ממאגר תמר, אשר אמורה היתה להגיע לכדי 1.47 MCM/hr.

2. המקשר הימי

המקשר הימי שהוקם בתחילת 2013 מול חופי חדרה משמש כגיבוי למאגר תמר, ואילו ניתן לקשור אנייה מגזזת שבה יש מטען גז טבעי נוזלי (LNG). במהלך השנים 2013, 2014 ו-2015, סופקו דרך המקשר הימי 0.51, 0.06 ו-0.14 BCM של גז טבעי, בהתאמה.

מערכת המקשר הימי מורכבת ממצוף השקוע בדרך קבע בעומק עשרים וחמישה מטרים מתחת לפני הים אשר מועלה ומתחבר לפתח מיוחד בתחתית מיכלית המאגר הצף לשם אספקת גז טבעי מנוזל. לאחר סיום החיבור מבוצע במיכלית תהליך גיזוז אשר במהלכו מחומם ה-LNG שעל סיפונה והופכו ממצב צבירה נוזלי לגז. עם השלמת התהליך, מוזרם הגז דרך המצוף אל הצינור הגמיש ומערכת ההולכה הארצית. על מנת לקשר בין המצוף למערכת ההולכה הארצית לגז טבעי, הונחה צנרת ימית, בקוטר עשרים אינצ'ים ובאורך שמונה קילומטרים, הפרוסה מן המצוף ועד למקטע הימי של מערכת ההולכה שבין אשדוד לחוף דור.

3. מערכת ההולכה הארצית

נקודות המוצא של מערכת ההולכה הארצית להזרמת הגז הטבעי במדינה הן תחנות קבלת הגז מן הספקים. מהתחנות זורם גז טבעי דרך צינורות רחבי קוטר בלחץ גבוה ל"צמתים מרכזיים". באותם צמתים נקלט הגז במתקני Pressure Reduction and Metering (System) PRMS להפחתת לחץ הזרימה מלחץ גבוה ללחץ נמוך ומשם הוא מוזרם לצרכני הקצה.

איור 20 - מפת פריסת תשתיות הגז הטבעי בישראל הכוללת קווים שעדיין בהקמה



מקור: אתר נתיבי הגז הטבעי לישראל

כפי שנראה במפה באיור 20 מערכת ההולכה במדינת ישראל כוללת כיום ארבעה מקטעים עיקריים: מקטע ימי, מקטע מרכזי, מקטע דרומי ומקטע צפוני. מתקני המערכת מורכבים מתחנות קבלה, צנרת להולכת גז טבעי, תחנות הגפה הממוקמות לאורכה של המערכת ותחנות PRMS.

הצנרת התת-קרקעית להולכת גז טבעי שנפרסה עד היום בכל רחבי הארץ היא באורך כולל של כ-430 ק"מ. במסגרת תכניות הפיתוח הקיימות, מערכת ההולכה הארצית לגז טבעי תהיה מסוגלת להוליך, מנקודות הקבלה של המערכת אל לקוחות הגז הטבעי, בין 5 ל-15 BCM של גז טבעי מידי שנה וכ-2 MCM/hr.³

הערכת פליטות מתאן ממגזר הגז הטבעי בישראל

במרשם הפליטות וההעברות לסביבה (מפל"ס, PRTR) לשנת 2014 דיווחה חברת נובל אנרג'י כי מאסדת תמר נפלטו בשנת 2014 2,116 טון מתאן⁸

כפי שפורט בפרק א', הפאנל הבין-ממשלתי לשינוי אקלים (IPCC) פרסם הנחיות למדינות עם מתודולוגיה להערכת פליטות גזי חממה ולסיכום הנתונים בפורמט מוסכם עבור הדיווחים הנדרשים בהסכמי אמנת האקלים (IPCC 2006) הנחיות אלה מכירות בעובדה שזמינות המידע לעריכת מצאי פליטות שונה ממדינה למדינה וכך גם המשאבים הקיימים לאיסוף הנתונים הדרושים. השיטות המומלצות מדורגות בשלשה נדבכים (Tiers) ומצריכות מידע מפורט על אופני הפעילות והיקפי ההפקה, העיבוד וההולכה של גז טבעי.

להלן מוצגות שלוש חלופות לאפיון פליטות מתאן ממגזר הגז הטבעי בישראל:

1. שימוש במקדם פליטה גנרי המתבסס על כל כמות הגז המופקת

יישום זה מתבסס על סקירה מקיפה שערכה הסוכנות האמריקאית להגנת הסביבה (EPA) עבור פליטות של גזי חממה שאינם פחמן דו-חמצני ממקורות אנתרופוגניים עבור כל המדינות החברות באמנת האקלים – כולל תחזית של פליטות עד לשנת 2030 (EPA 2012). לשם סקירה זו הם בחנו נתוני פליטה ממדינות נספח 1 המדווחות מדי שנה למזכירות אמנת האקלים. מחישוביהם עולה שמקדם פליטת מתאן ממגזר הגז הטבעי (כולל כל מערך ההפקה, העיבוד וההולכה) עבור מדינות OECD שאינן בנספח 1 של האמנה הוא כ-2.26% (על בסיס נפח) שהינו ערך גבוה מאוד העשוי להעיד על אובדני גז טבעי ששווים מאות מיליוני שקלים. זהו מקדם פליטה קונסרבטיבי הדומה בסדר הגודל שלו לפליטות ממדינות אחרות החברות ב-OECD. לפיכך, ב-2010 כאשר סך כל ההפקה של גז טבעי בישראל היה 1.55 BCM, אובדן הגז הטבעי בגלל פליטות לא מוקדיות היה בהיקף של 0.035 BCM. בהנחה שאחוזי הדליפה

⁸ [המשרד להגנת הסביבה](#)

והאוורור של הגז הטבעי לא השתנו בחמש השנים האחרונות אזי ב-2015 כאשר ההפקה המשוערת מתמר עומדת על כ-8.4 BCM, כמות הגז שנפלטה לאטמוספירה נאמדת ב-0.19 BCM. נתוני הפליטה המוצגים ביחידות נפח של גז טבעי ניתנים להמרה לטון מתאן על פי מידע בדבר אחוז המתאן בגז וצפיפות המסה של הגז הטבעי המופק⁹.

2. שימוש במקדמי פליטה גנריים עבור המקטעים השונים בהתאם להנחיות IPCC

הנדבך הראשון (Tier 1) של הערכת פליטות מתאן ממקורות לא מוקדדים מתבסס על מקדמי פליטה גנריים שהוצגו בטבלה 5 המופיעה בפרק ג'. בהתאם להנחיות ה-IPCC ההגדרה של פליטות לא מוקדדות היא רחבה מאוד וכוללת את כל המקורות שמהם נפלט גז לאטמוספירה פרט לפליטות שהן כתוצאה משריפת דלקים במקורות נייחים וניידים. חשוב לציין שפליטות לא מוקדדות כוללות גם את המתאן הנפלט מלפידים (Flares) המשמשים לשריפה מבוקרת של גז אשר אינו נאגר לצריכה כאמצעי לסילוק עודפים או כאמצעי בטיחות למיתון לחץ במתקנים. מקדמי הפליטה המוצגים בטבלה 5 לעיל מבוססים על ההנחות הבאות בדבר הרכב הגז הטבעי:

(א) הגז הטבעי הגולמי שמגיע מאסדת ההפקה לאסדת העיבוד מכיל 91.8% מתאן, 0.58% פחמן דו חמצני, 0.68% חנקן, ו-6.84% פחמימנים שאינם מתאן - באחוזי נפח,

(ב) הגז המועבר במערכת ההולכה והחלוקה לאחר העיבוד מכיל 97.3% מתאן, 0.26% פחמן דו חמצני, 1.7% חנקן, ו-0.74% פחמימנים שאינם מתאן - באחוזי נפח.

ניתן להתאים את מקדמי הפליטה של ה-IPCC לגז הטבעי המופק במדינת ישראל באמצעות נתוני מעבדה המאפיינים את התרכובות השונות המצויות בגז המופק והמסופק לצרכנים בישראל. המרות אלה צריכות לקחת בחשבון את הרכב הגז הטבעי המופק באסדת ההפקה לעומת הנתונים הגנריים המופיעים בסעיף (א) לעיל, וכן את הרכב הגז המעובד המגיע לטרמינל באשדוד להולכה יבשתית לעומת הנתונים הגנריים בסעיף (ב) בהתאמה.

בנוסף למקדמי הפליטה נדרש מידע על הקף הפעילות בכל אחד מהמקטעים הרלוונטיים בהתאם למאפייני תעשיית הנפט והגז במדינה:

- **קידוח בארות:** כמות הגז הטבעי המופק ביחידות של מיליון מטרים מעוקבים והמרה

התואמת את הרכב הגז בעת קידוח הבאר

- **בדיקות קידוח:** כמות הגז הטבעי המופק ביחידות של מיליון מטרים מעוקבים והמרה

התואמת את הרכב הגז המופק בעת בדיקות הקידוח

⁹ For Example: natural gas containing 96.5% methane has a mass density of 0.712 Kg/m³ at a pressure of 1 atmosphere and 15°C.

- תחזוקת בארות: כמות הגז הטבעי המופק ביחידות של מיליון מטרים מעוקבים והמרה התואמת את הרכב הגז בעת תחזוקת הבאר
 - הפקת גז טבעי: כמות הגז הטבעי המופק ביחידות של מיליון מטרים מעוקבים והמרה התואמת את הרכב הגז באסדת ההפקה
 - עיבוד גז טבעי: כמות הגז הטבעי המוזרם למתקני העיבוד ביחידות של מיליון מטרים מעוקבים והמרה התואמת את הרכב הגז הטבעי בפתח מתקן העיבוד
 - הולכה ואגירה של גז מעובד: כמות הגז הטבעי המגיע לתחנת ההולכה (או האגירה) ביחידות של מיליון מטרים מעוקבים של גז יבש (לא כולל פחמימנים נוזליים) והמרה התואמת את הרכב הגז הטבעי היבש המוכן להולכה לצרכנים
 - חלוקת גז: כמות הגז הטבעי המועבר לצרכני הקצה ביחידות של מיליון מטרים מעוקבים והמרה התואמת את הרכב הגז הטבעי המועבר לצרכנים
 - הובלת נוזלי גז טבעי: כמות התעבית המועברת ביחידות של מיליון מטרים מעוקבים של גז טבעי מעובה (קונדנסט) ופנטאנים והמרה התואמת את הרכב התעבית
- שיטת החישוב של פליטות מתאן בהתאם לנדבך זה מתבססת על המשוואות שלהלן⁴:

TIER 1: ESTIMATING FUGITIVE EMISSIONS FROM AN INDUSTRY SEGMENT

$$E_{gas, industry segment} = AF_{industry segment}(x) EF_{gas, industry segment}$$

TIER 1: TOTAL FUGITIVE EMISSIONS FROM ALL RELEVANT INDUSTRY SEGMENTS

$$E_{gas} = \sum E_{gas, industry segment}$$

כאשר:

- E_{gas} = סך פליטות שנתיות של גז ספציפי (מתאן) מכלל המקטעים הרלוונטיים
- $E_{gas, industry segment}$ - פליטה שנתית ביחידות של מיליון טון גז מתאן
- $EF_{gas, industry segment}$ - מקדם פליטה ביחידות של מיליון טון גז מתאן ליחידת נפח¹⁰
- $AF_{industry segment}$ - מקדם הפעילות המאפיין מקטע מסוים

¹⁰ Natural gas volumes specified under standard industry conditions: 15°C and a pressure of 1 atmosphere.

3. איסוף נתוני פעילות תקופתיים ממגזר הגז הטבעי לשם כימות פליטות

כפי שתואר בפרק ד' לעיל, מנהל משאבי אנרגיה בים (BOEM) שבמשרד הפנים האמריקאי עורך סקירות מקיפות כל שלוש שנים שמטרתן היא איסוף מידע מקיף המאפשר כימות פליטות ישירות מפעילות ההפקה בים והולכת התוצרים לחוף וכן פליטות שמקורן הוא בציוד העזר הנדרש לפעילות בים (כולל כלי שיט למיניהם ומסוקים שנוחתים ישירות על האסדות). תקופתית נערך גם איסוף נתונים נפרד עבור כלי שיט צבאיים ופעילות אזרחית אחרת שאינה קשורה למגזר הנפט והגז.

לשם איסוף הנתונים מהחברות הפעילות במפרץ מקסיקו BOEM מפתח טפסים אינטרנטיים לשם מסירה אלקטרונית של הנתונים. BOEM גם מפרסם הנחיות מפורטות כיצד יש למלא את הטפסים ועורך ימי עיון בכדי להנחות את המדווחים. בסקר של שנת 2011, התקבלו נתונים חודשיים מ- 2,544 אסדות המפיקות נפט וגז טבעי במפרץ מקסיקו. המידע שנאסף כולל נתונים על כמות הדלקים אשר שמשו למתקני שריפה נייחים, וכן עבור מסוקים וכלי שיט ימיים. פליטות ממיחזור בוץ הקידוח, פליטות מאוורור בארות, התאיידות ואוורור של מיכלי אחסון ומסופי העברת מוצרים, וכן פליטות לא מוקדיות מרכיבי ציוד וצנרת כגון שסתומים, ברזים, מגופים, אטמים ועוד.

סך הפליטות של גזי החממה מהאסדות וציוד העזר לפעולות ההפקה מוצג בטבלה 15 בפרק ד' לעיל (GOADS 2011). פירוט נרחב של כל מקדמי הפליטה שבהם השתמשו לכימות המקורות עבור פליטת גזי חממה שונים ניתנים בדו"ח GOADS (2011). ניתן גם לקחת בחשבון את מקדם הפליטה עבור מתאן מאסדות הפקה במים עמוקים (מעל ל-200 מטרים) אשר חושב עבור מצאי הפליטות של ארה"ב כמוזכר בפרק ד' לעיל. מקדמי פליטה ממוצעים אלו הינם: כ-2,250 ו-7,370 מ"ק גז מתאן ליום עבור אסדות המפיקות גז טבעי או נפט בהתאמה (EPA 2015a).

נתוני 2011 עבור פליטות ישירות מאסדות ההפקה, עיבוד הגז בים והולכתו ליבשה מסוכמים בטבלה 19 להלן. הטבלה מציגה גם נתוני פליטת מתאן מכלי עזר שונים המאפשרים הפקה בים. סדר רישום מקורות הפליטה בטבלה הוא בהתאם לדירוגם לפי כמות הפליטה ולפי האחוז שהם מהווים מכלל פליטות המתאן מפעילות נפט וגז במפרץ מקסיקו בשנת 2011.

טבלה 19 - פליטות מתאן מאסדות הפקה ועיבוד של גז טבעי כולל ציוד עזר להפקה במפרץ מקסיקו, ארה"ב

Equipment/Source Category	CH ₄ Emission (tons per year)	% of total
Cold Vents	134,863	49.3%
Fugitives	61,232	22.4%
Losses From Flashing	14,231	5.21%
Pneumatic Pumps	21,155	7.74%
Pressure/level Controllers	16,739	6.12%
Natural Gas Engines	12,619	4.62%
Glycol Dehydrators	7,859	2.87%
Biogenic and Geogenic Sources	1,876	0.69%
Storage Tanks	877	0.32%
Mud Degassing	505	0.18%
Minor Sources	476	0.17%
Natural Gas, Diesel, and Dual-fuel Turbines	400	0.15%
Combustion Flares	366	0.13%
Support Vessels	75	0.027%
Drilling Rigs	21	0.008%
Boilers/heaters/burners	17	0.006%
Diesel Engines	13	0.005%
Support Helicopters	10	0.004%
Pipelaying Operations	5	0.002%
Survey Vessels	3	0.001%
Amine Units	2	0.001%
Drilling Equipment	1.5	0.001%
Total Emissions (tpy)	273,384	

(GOADS 2011)

בהתאם לנתונים בטבלה 19 לעיל מעל ל-98% מפליטות המתאן נובעות משבעת המקורות המופיעים בראש הטבלה. המסקנה מסקירות נרחבות כגון אלה עבור מפרץ מקסיקו בארה"ב הוא שהתמקדות במספר קטן יחסית של מקורות מהותיים עשויה להיות בעלת עלות תועלת גבוהה שתאפשר יישום של שיטות כימות מדויקות יותר עבור פליטות מתאן בשלבי שרשרת האספקה.

בכדי לאסוף את הנתונים המתאימים עבור מקורות הפליטה העיקריים האלה יש להגדירם באופן מפורט היות ובחלקם הם תוצאה של פליטות הנגרמות כתוצאה מהנדסת התהליך, מהשלכת תוצרי לוואי לא רצויים, או מטיפול ותחזוקה של המערכת.

סיכום והמלצות

הנתונים המובאים במסמך זה מצביעים על כך שהפקת וצריכת גז טבעי בישראל תוכפל עד לשנת 2030. השינויים בפעילות במגזר, וזמינות הגז הטבעי במשק, צפויים להשפיע בשני אופנים הפוכים. מחד צפויה עליה בפליטות ישירות של מתאן – שהוא גז חממה בעל אילוף קרינתי גבוה – ומאידך השימוש בגז טבעי במקום דלקים פוסיליים המזהמים יותר יגרום להפחתת פליטות גזי חממה.

לאור השינויים המוסכמים באמנת האקלים (UNFCCC 2015a) ישראל צריכה לשדרג את מצאי הפליטות הלאומי ולהרחיבו בכדי לכלול פליטות גזי חממה מכל מגזרי המשק כולל פליטות לא מוקדיות של מתאן ממגזר הנפט והגז הטבעי על מקטעיו השונים.

מסמך זה מציג שלוש חלופות לכימות פליטות לא מוקדיות של מתאן ממגזר הנפט והגז הטבעי. השיטה המובאת בחלופה הראשונה היא בעלת אי וודאות גדולה מדי ואינה מומלצת.

אנו מציעים לאמץ – בשלב הראשון - את חלופה מספר 2 המובאת לעיל היות והיא מבוססת על הנחיות של ה-IPCC (נדבך 1) והיא תהיה קבילה עבור מצאי פליטות לאומיים דו-שנתיים שישראל תצטרך להעביר למזכירות אמנת האקלים. היתרון של שיטת כימות זו הוא שהינה קלה יחסית ליישום, בעוד שהחיסרון העיקרי שלה הוא שלא ניתן לתעד התייעלות או הפחתת עצימות היות והיא בנויה סביב מקדמי פליטה ומקדמי פעילות שיביאו בחישוב עליה בפליטות עם כל עליה בהיקף הפעילות. באם בוחרים בחלופה מספר 2 יש לבסס את הערכת הפליטות על נתונים אמיתיים של הרכב הגז הטבעי בשדה תמר (או שדות אחרים שיחלו להפיק גז טבעי) והרכבו של הגז היבש המעובד המועבר להולכה בחוף.

ניתן לבחון במקביל את חלופה מספר 3 לשם יישומה בטווח ארוך יותר. מומלץ לבדוק את האפשרות של יישום חלופה זו המתבססת על סקירה תקופתית (אחת ל-3-5 שנים) שבה אוספים מהחברות נתוני פעילות מפורטים עבור כל מקטעי המגזר ונתוני הרכב הגז הטבעי והתעבית בכל שלבי הייצור העיבוד וההובלה ומחשבים באמצעות נתונים אלה את פליטות המתאן במקטעים השונים בהתאמה. היתרון של שיטה זו הינו האפשרות של כימות מדויק יותר של פליטות מתאן כולל מעקב אחרי מגמות ותייעוד הפחתות עתידיות הצפויות להיות חלק מדיווחים שידרשו החל משנת 2020 כתוצאה מהסכמי פריז (2015) לאמנת האקלים. החיסרון בשיטה זו נעוץ בכך שהיא מצריכה השקעת משאבים בפיתוח טפסים מקוונים, מערכת לאיסוף וקטלוג של כל המידע וכן מערך הדרכה והנחיות למשתמש.

Anifowose, B., Odubela, M., (2015). Methane emissions from oil and gas transport facilities e exploring innovative ways to mitigate environmental consequences. *Journal of Cleaner Production*. 92,121-133.

API (2009). *API Compendium of Greenhouse Gas Emissions Estimation Methodologies for the Oil and Gas Industry*, 3rd edition, August 2009, American Petroleum Institute, Washington DC

API (1996). *Calculation Workbook for Oil and Gas Production Equipment Fugitive Emissions*, Publication 4638, American Petroleum Institute, Washington DC

[Australia \(2013\). Department of Environment, National Pollutant Inventory \(NPI\) Oil and Gas Extraction and Production, Version 2.0, July 2013;](#)

Australia (2015). Department of Environment, Australian National Greenhouse Accounts, National Greenhouse Accounts Factors, August 2015

Bylin, C., et al. (2010). *Designing the Ideal Offshore Platform Methane Mitigation Strategy*. SPE. 126964

BP Statistical Review of World Energy (2015), Natural Gas Reserves;
<http://www.bp.com/en/global/corporate/energy-economics/statistical-review-of-world-energy/natural-gas-review-by-energy-type/natural-gas-reserves.html>

CATF (2013). *Methane Emissions from the Oil and Gas Sector Barriers to abatement and technologies for emission reductions*. Clean Air Task Force, March 2013, Boston.

[CCAC \(2015\). Climate and Clean Air Coalition, Oil and Gas Methane Partnership, Fact Sheet, December 2015;](#)

EIA (2013). *Overview of oil and natural gas in the Eastern Mediterranean region, U.S, Energy Information Administration, Updated August 15, 2013*

EPA (1995). *Protocol for Equipment Leaks Emission Estimates*, EPA 453/R-95-017, November 1995

EPA (2011). *Global Methane Initiative, Oil and Gas Systems Methane: Reducing Emissions Advancing Recovery and Use*, Fact Sheet, September 2011

[EPA \(2012\). Global Anthropogenic Non-CO2 Global Greenhouse Gas Emissions: 1990 to 2030, EPA-430-R-12-006, December 2012, Washington DC \(accessed February 7, 2016\)](#)

EPA (2015). *Inventory of U.S. Greenhouse Gas Emissions and Sinks: 1990-2013*. U.S. Environmental Protection Agency, April 2015, Washington, DC

EPA (2015a). *Inventory of U.S. Greenhouse Gas Emissions and Sinks 1990-2013: Revision to Offshore Platform Emissions Estimate; Expert Review Memo*, April 2015, Washington, DC

GOADS (2011). *Year 2011 Gulfwide Emission Inventory Study*, OCS Study BOEM 2014-666, November 2014

Hoglund-Isaksson (2010). L. Höglund-Isaksson, W. Winiwarter, F. Wagner, Z. Klimont and M. Amann: *Potentials and costs for mitigation of non-CO2 greenhouse gases in the European*

[Union until 2030—Results, Report to DG Climate Action, International Institute for Applied Systems Analysis \(IIASA\), Laxenburg, May 2010.](#)

[IGES \(2015\). IPCC NGGIP Emission Factors Data Base \(EDFB\);](#)

[IGU \(2003\). Inventory of methane emissions from gas industry- the problem solved or still opened? World Gas Congress \(WGC\)](#)

IOGP (2015). Environmental performance indicators – 2014 data. International Association of Oil & Gas Producers, November 2015, London.

IPIECA (2015). Climate Change Reporting Framework: A Pilot Guidance Document for the Oil & Gas Industry, December 2015, London

[IPCC \(1996\). Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories; IPCC \(2006\). Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Volume 2 – Energy, Chapter 4 – Fugitive Emissions](#)

[IPCC \(2006\). Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Volume 2 – Energy, Chapter 4 – Fugitive Emissions \(with correct chapters as of November 2008\); \(accessed February 7, 2016\)](#)

[IPCC \(2007\). Fourth Assessment Report \(AR4\);](#)

[IPCC \(2013\). Fifth Assessment Report \(AR5\)](#)

[Israel Natural Gas Lines, \(accessed February 3, 2016\)](#)

Nara, H., et al. (2014). Emissions of methane from offshore oil and gas platforms in Southeast Asia. *Scientific Reports*. 4: 6503

[Natural Gas Authority, Ministry of Energy and National Infrastructure, Overview of Developments in the Natural Gas Market during 2014-2015; \(accessed February 4, 2016\)](#)

Shaffer, B. (2011). Israel—New natural gas producer in the Mediterranean, *Energy Policy* 39, 5379–5387 (2011)

[OSPAR \(2010\). Quality Status Report, OSPAR Commission;](#)

UK (2015). UK Greenhouse Gas Inventory and Annexes, 1990-2013, September 2015

UNFCCC (2003). UNFCCC Resource Guide for Preparing National Communications for Non-Annex I Parties; Module 3: National Greenhouse Gas Inventories.

UNFCCC (2006). Guidelines for Choosing Methane Emission Factors, Working Group on

[UNFCCC \(2015\). Adoption of the Paris Agreement, December 12, 2015 \(FCCC/CP/2015/L.9/Rev.1\). \(accessed February 10, 2016\)](#)

[UNFCCC \(2015a\). Greenhouse Gas Inventory Data - Comparisons By Category;](#)

Energy Equivalent Conversions

	Million Btu (British thermal units)	Giga (10⁹) Joules	TOE (Metric Tons of Oil Equivalent)	TCE (Metric Tons of Coal Equivalent)
Million Btu	1.00000	0.94782	39.68320	27.77824
Giga Joules	1.05506	1.00000	41.86800	29.30760
TOE	0.02520	0.02388	1.00000	0.70000
TCE	0.03600	0.03412	1.42857	1.00000

Mass Equivalent Conversions

	Short Tons	Kilograms	Metric Tons	Long Tons	Pounds
Short Tons	1.00000	0.00110	1.10231	1.12000	0.00050
Kilograms	907.18470	1.00000	1000.00000	1016.04700	0.45359
Metric Tons	0.90718	0.00100	1.00000	1.01605	0.00045
Long Tons	0.89286	0.00098	0.98421	1.00000	0.00045
Pounds	2000.00000	2.20462	2204.62272	2240.00030	1.00000

Volume Equivalent Conversions

	Barrels	U.S. Gallons	Liters	Cubic Feet	Cubic Meters
Barrels	1.00000	0.02381	0.00629	0.17811	6.28981
U.S. Gallons	42.00000	1.00000	0.26417	7.48049	264.17200
Liters	158.98730	3.78541	1.00000	28.31676	1000.00000
Cubic Feet	5.61460	0.13368	0.03531	1.00000	35.31478
Cubic Meters	0.15899	0.00379	0.00100	0.02832	1.00000

Scale Conversions

Prefix	Kilo-	Mega-	Giga-	Tera-	Peta-
Numerical Equivalent	Thousand (10 ³)	Million (10 ⁶)	Billion (10 ⁹)	Trillion (10 ¹²)	Quadrillion (10 ¹⁵)
Also Referred to As			Million Kilo-, Thousand Mega-	Billion Kilo-	

[Source](#)