



מדידת דליפות המָתָאן לאוויר משלושה אזורי הפקת גז טבעי גדולים

Jeff Peischl^{1,2*}

¹המכון הקואופרטיבי למחקר במדעי הסביבה, אוניברסיטת קולורדו, בולדר, קולורדו, ארצות הברית
²מחלקת מדעי הכימיה, מעבדת חקר מערכות כדור הארץ (ESRL) של מִנְהֵל האוקיינוסים והאטמוספירה הלאומי (NOAA), בולדר, קולורדו, ארצות הברית

סוקרים צעירים

ECOLE
MOSER
GENÈVE
גיל: 14-15



עָרְפִיחַ (Smog)

זיהום אוויר אביך שאינו בריא לנשימה. הָלָחַם של המילים "ערפל" ו"פיח".

גז חממה

(Greenhouse gas)

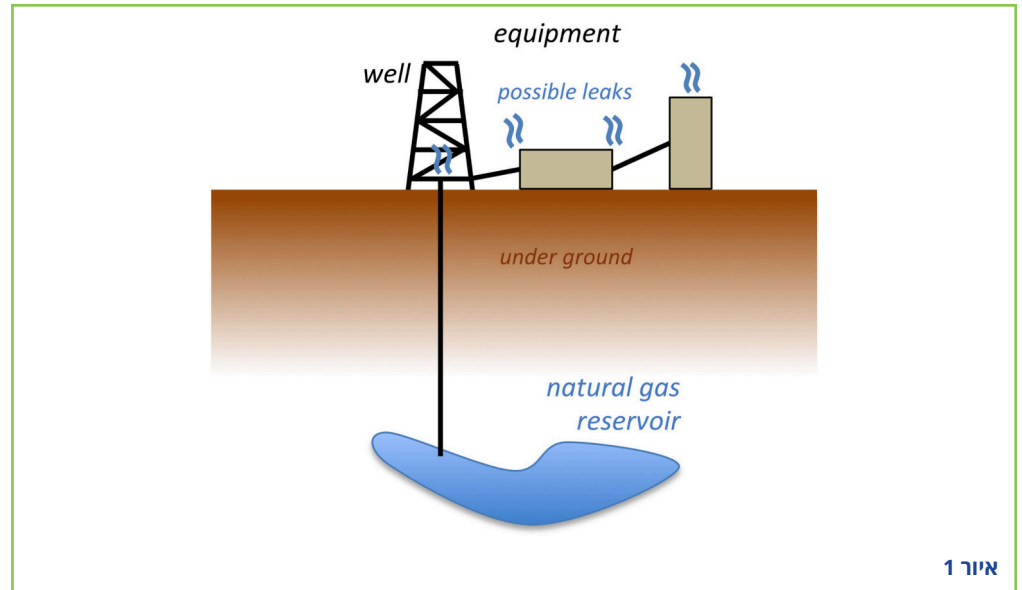
גז באוויר המאפשר לאור הנראה של השמש לעבור דרכו, אבל בולע חום ואינו מאפשר לו להשתחרר חזרה לחלל.

בשנים הבאות בני האדם יצטרכו לבחור את מקור הדלק שמספק אנרגיה להדלקת אור לראייה בלילה, להפעלת תנורים להכנת ארוחות חמות, לחימום המים למקלחות חמות ואפילו למכוניות שלנו. בחירות אלה ישפיעו על האוויר שאנו נושמים: לעיתים קרובות שִׁרְפַת חומרי דלק גורמת לזיהום, כמו הערפיח הקיים בערים, וכמעט תמיד גורמת להימצאותם של יותר גזי חממה באוויר. **עָרְפִיחַ** וגזי חממה משפיעים על האופן שבו כדור הארץ מתקרר. בחירה אחת שעומדת בפנינו כיום היא באיזה חומר דלק עלינו להשתמש בתחנות הכוח, פחם או גז טבעי? במחקר שפורסם לאחרונה, העמיתים שלי ואני מדדנו את פליטת גזי החממה משלושת שדות הגז הגדולים ביותר בארצות הברית. מצאנו כי שימוש בגז טבעי לתדלוק תחנות הכוח בִּמְקוֹם שימוש בפחם עשוי להוביל להפחתת כמות גזי החממה באוויר.

זה יותר ממאה שנים בני האדם שורפים פחם כדי לייצר חשמל. פחם מורכב בעיקר מהיסוד פחמן. כאשר פחם נשרף כחומר דלק לייצור חשמל, פחמן זה משתחרר לאוויר כפחמן דו-חמצני. פחמן דו-חמצני הוא **גז חממה**, כלומר: ככל שהוא מצטבר באטמוספירה הוא מאפשר לאור הנראה של השמש להיכנס ולהגיע לשטח פני כדור הארץ, אבל הוא לוכד את החום שכדור הארץ פולט. לכן, שינוי כמות הפחמן הדו-חמצני באוויר משֶׁנָּה את האופן שבו כדור הארץ מתקרר, ועלול לגרום לשינויי אקלים.

איור 1

תרשים של באר גז טבעי, הנקדחת לתוך מאגר עמוק מתחת לפני שטח הקרקע. ברגע שהגז הטבעי נמצא מעל הקרקע יש מקומות רבים שמהם הוא עלול לדלוף לאוויר.
 ציוד = Equipment
 באר = Well
 דליפות = Possible leaks אפשריות
 = Under ground תת־קרקעי
 = Natural gas reservoir מאגר גז טבעי



גז טבעי (Natural gas)

תערובת המכילה בעיקר מתאן עם גזים אחרים, כגון אתאן (ethane) ופרופאן (propane), המשמשת כחומר דלק בבתיים לתנורי חימום ובישול, כמו גם בתחנות כוח לייצור חשמל.

גז טבעי, אשר נוצר במאגרים תת־קרקעיים ומורכב בעיקר מגז הנקרא מתאן (Methane), יכול לשמש אף הוא כחומר דלק לייצור חשמל. יתרון אחד של גז טבעי הוא שהוא משחרר פחות פחמן דו-חמצני יחסית לפחם, כאשר עושים בו שימוש לייצור חשמל. אולם, גם מתאן הוא גז חממה, ולמעשה הוא הרבה יותר יעיל בלכידת חום כדור הארץ מאשר פחמן דו-חמצני. כתוצאה מכך, כאשר מפיקים גז טבעי מהמאגרים התת־קרקעיים, כל מתאן ש"בורח" או דולף לאוויר יגרום לביטול חלק מהיתרונות של השימוש בו כחומר דלק. לכן, אם נברר את כמות המתאן שדולפת מהמאגרים התת־קרקעיים לפני שגפּתו כחומר דלק, הדבר יעזור לנו להחליט איזה חומר דלק עדיף לאקלים כדור הארץ: גז טבעי או פחם.

גז טבעי מופק מאזורים רבים בארצות הברית תוך שימוש בּגָארות שנקדחו לעומק האדמה (איור 1). בשדה גז טבעי יכולים להיות אלפי בארות, וכל באר יכולה להכיל עשרות נקודות שמהן עלול לדלוף גז טבעי. איך אפשר לדעת כמה מתאן בורח לאוויר משדה הגז הטבעי כולו?

דרך אחת שבה מדענים כמוני עונים על שאלה כזו היא על-ידי מדידת כמות המתאן שנמצא באוויר בעזרת מכשיר מדעי מיוחד, תוך כדי טיסה במטוס מחקר. אני מרכיב את מכשיר מד המתאן שלי במטוס (איור 2), אחר כך נועץ צינור חלול קטן מחוץ למטוס, ובאופן רציף מושך אוויר חיצוני דרך הצינור החלול ולתוך המכשיר (איור 3). באופן תקין יש כשתי מולקולות של מתאן לכל מיליון מולקולות של אוויר, כך שהמכשיר צריך להיות רגיש במיוחד! ברגע שהאוויר נמצא בתוך מכשיר מד המתאן הוא נכנס לחריר מיוחד שבו מצויות מראות משקפות. קרן **לייזר** נשלחת לחריר ומקפצת הלוך ושוב בין המראות (איור 3). המתאן שבאוויר בולע את האור מקרן הלייזר. ככל שיש יותר מתאן, נבלע יותר אור מהלייזר. כך שבעת מדידת עוצמת קרן הלייזר שבחריה, אני יכול לומר בדיוק כמה מתאן יש באוויר.

בשנת 2013 הכנסתי את המכשיר הזה למטוס מחקר NOAA P-3 (איור 2), שמפורסם בכך שהוא סס לתוך הוֹרִיקָנים. למרבה המזל לא הייתי צריך לטוס להוריקן כלשהו (!), אבל הקולגות

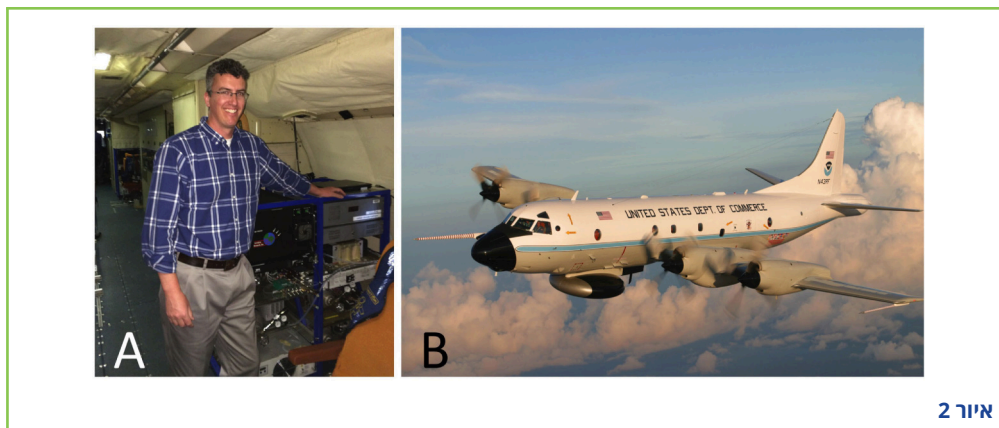
לייזר (Laser)

מכשיר הפולט אור באורך גל מסוים מאוד.

איור 2

A. זוהי תמונה שלי, עומד ליד המכשיר שלי במטוס המחקר NOAA P-3. לקולגות שלי ולי אורך כחודש להתקין את כל המכשירים המדעיים שלנו על המטוס. **B.** מטוס המחקר NOAA P-3 התמונה נלקחה מ.

http://www.aoml.noaa.gov/hrd/pix/template/NOAA_P3_flight.jpg



איור 2

איור 3

תרשים של מכשיר מד המתאן שלי. אוויר שמחוץ למטוס נכנס דרך צינור חלול. אוויר זה נכנס לחריץ, שם קרן לייזר מקפצת בין שתי מראות. המתאן שבאוויר בולע את האור מקרן הלייזר. על-ידי מדידת עוצמת האור בחריץ אנו יודעים כמה מתאן יש באוויר.

Tube = צינור חלול

Air = אוויר

Outside air = אוויר חיצוני

Inside airplane = פנים

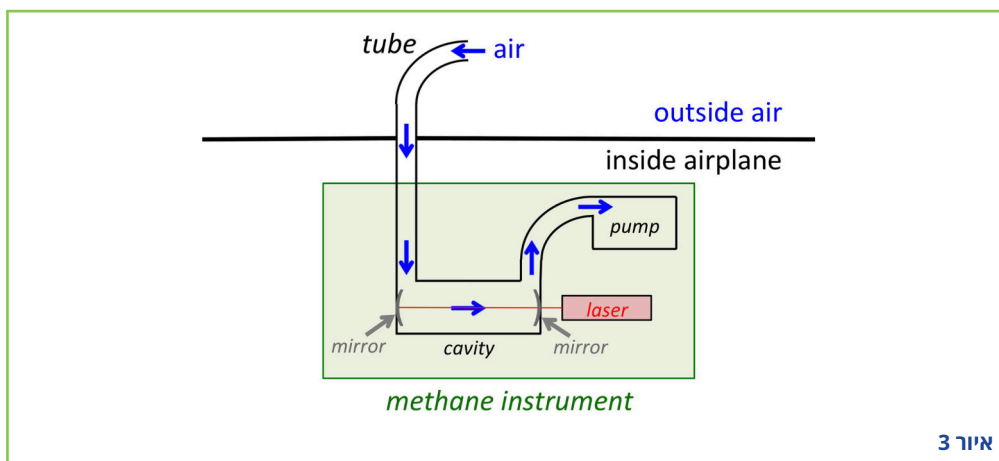
המטוס

Laser = לייזר

Mirror = מראה

Cavity = חריץ

Methane Instrument = מכשיר מד המתאן.



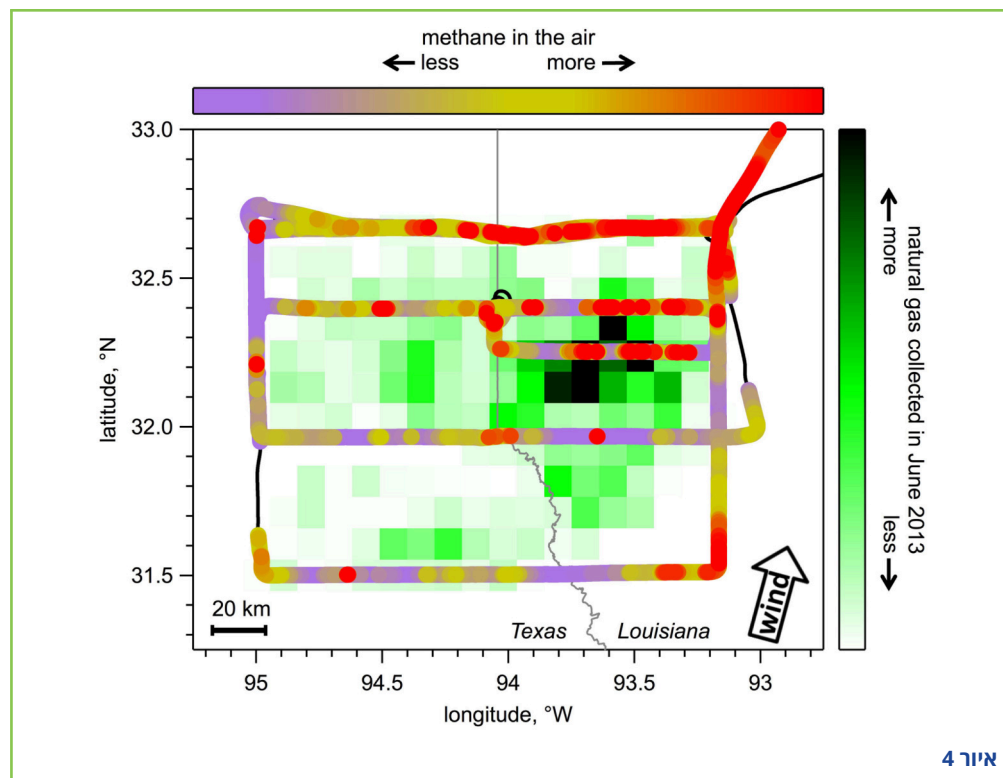
איור 3

שלי ואני טסנו מעל שלושה שדות הגז הטבעי הגדולים ביותר בארצות הברית, כדי למדוד כמה מתאן דולף מכל אחד מהם. איור 4 מראה דוגמה של טיסה אחת לשדה גז טבעי הממוקם בגבול שבין טקסס ללואיזיאנה. בעזרת מטוס המחקר מדדתי את כמות המתאן מכל אחד משדות הגז הטבעי, עם כיוון הרוח ונגד כיוון הרוח, וקבעתי כמה מתאן הגיע מכל שדה. איך עשיתי זאת? דמיינו שאתם לוקחים החוצה עוגה שנאפתה זה עתה ביום שבו נושבת רוח. אתם יכולים להריח את העוגה טוב יותר כאשר הרוח בכיוונכם מאשר כשאתם נמצאים בניגוד לכיוון הרוח. הדבר נובע מכך שהריח הטוב שהעוגה מדיפה נע עם הרוח. במקרה זה העוגה היא המקור לריח הנעים, והאף שלכם מגלה יותר מהריח הנעים כאשר הרוח בכיוונכם. באופן דומה, מכשיר מד המתאן שלי (האף שלכם) מגלה יותר מתאן (ריח עוגה נעים) באוויר כשכיוון הרוח הוא מאזורי הפקת הגז הטבעי (העוגה).

באיור 4, אזורי הפקת הגז הטבעי מוצגים בריבועים שחורים וירוקים, ומסלול המטוס מוצג בקו שחור שרובו מכוסה בצבעים שונים המסמלים את כמות המתאן שהתגלתה. רוב המתאן באוויר נמדד עם כיוון הרוח מאזורים אלה, כפי שמוצג בחלקים האדומים של מסלול המטוס. אחר כך הכנסתי את הנתונים למשוואה מתמטית, שבעיקרה היא הפרש כמות המתאן שבאוויר בין המדידות שנעשו עם כיוון הרוח לאלה שנעשו בניגוד לכיוון הרוח, כפול מהירות הרוח, כפול גודל האטמוספירה התחתונה. במקרים אלה, האטמוספירה התחתונה היא גדולה: רוחבה עשרות קילומטרים, בגובה 1-2 ק"מ. משוואה זו מגלה לי כמה מתאן נפלט משדה הגז הטבעי.

איור 4

מפה זו מראה את מסלול הטיסה של מטוס המחקר NOAA P-3 (קו שחור עבה) שנצבע לפי כמות המתאן שמדדנו באוויר במהלך הטיסה. אפשר לראות למעלה את הסולם - הצבעים החמים יותר, צהוב ואדום, מעידים על כמות רבה יותר של מתאן; סגול מעיד על רמות רקע של מתאן - באוויר תקין תמיד קיימת כמות מעטה של מתאן. במפה מוצג גם ייצור הגז הטבעי באזור שמעליו טסנו - המלבנים הירוקים והשחורים כהים מראים את האזורים שבהם מופק רוב הגז הטבעי מהמאגרים התת-קרקעיים. Methane in the air מתאן באוויר Natural gas collected in June 2013 = גז טבעי שהופק ביוני 2013 Less = פחות More = יותר Wind = רוח



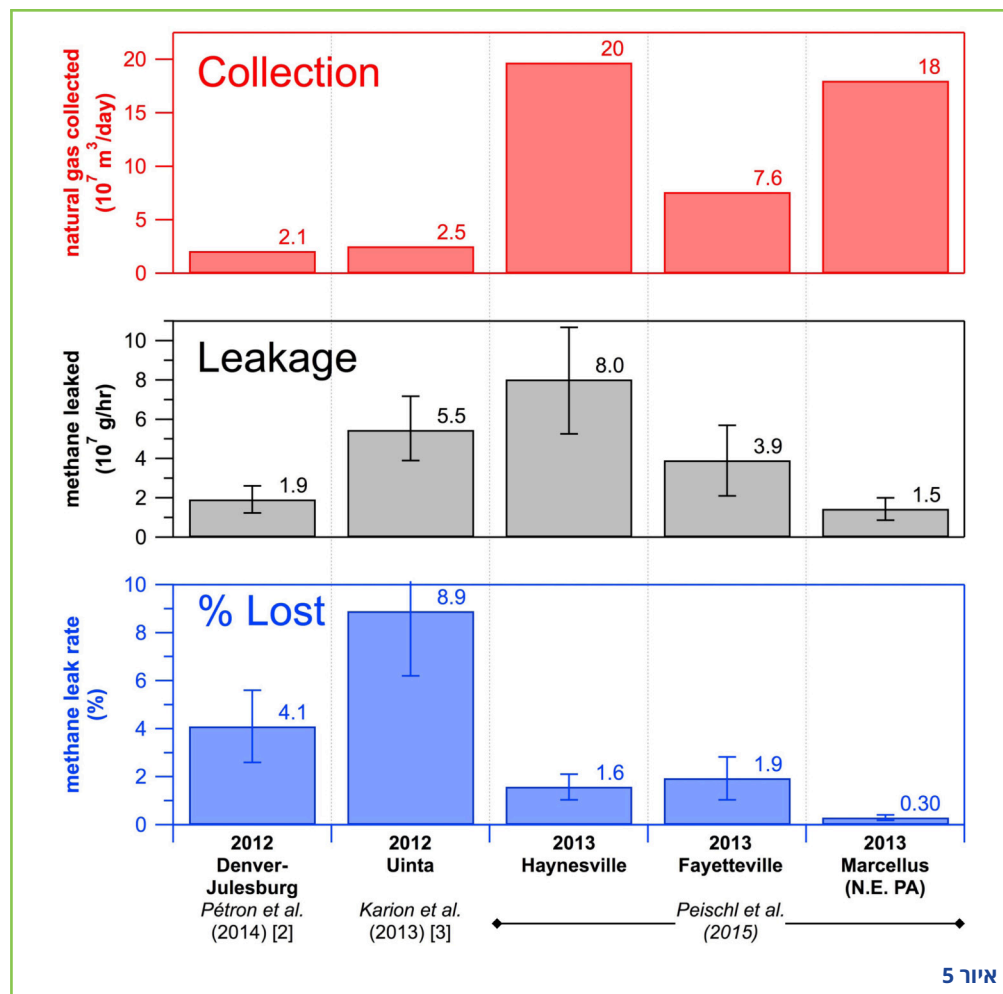
איור 4

איך אנו יודעים שהמתאן מגיע משדות הגז הטבעי, ולא ממקור אחר, כגון עדרי בקר גדולים שידוע כי מייצרים הרבה מתאן? נוסף על מדידת המתאן מהמטוס, הקולגות שלי ואני מדדנו חומרים כימיים אחרים, כולל אֶתַנִּי וְאֶתַאן (Ethane). פרות משחררות לאוויר מתאן יחד עם אמוניה, אבל ללא אתאן. לעומת זאת גז טבעי מכיל גם מתאן וגם אתאן, אבל לא אמוניה. כלומר, אנו יכולים לומר שמקור המתאן תלוי בחומר הנוסף שנבדק, שיש יותר ממנו באוויר - אמוניה או אתאן. בכל אחד משלושת שדות הגז הטבעי שחקרנו העלייה בכמות המתאן שנמדדה באוויר עם כיוון הרוח תאמה לעלייה בכמות האתאן, ולא בכמות האמוניה. מכאן הסקנו שפעולות קידוח הגז הטבעי הן המקור העיקרי למתאן שנמצא באטמוספירה.

לבסוף, השווינו את כמות המתאן שדלף משדות הגז הטבעי לכמות הגז הטבעי שהופק מהקרקע (איור 5). איור 5 מציג את התוצאות עבור כל המחקרים עד כה שבהם השתמשו במכשיר מד המתאן ובמטוס למדידת דליפות המתאן משדות הגז הטבעי. שתי העמודות השמאליות שבאיור 5 מראות את תוצאות המחקרים מקולורדו ומיֶסָה, שנערכו לפני המחקר הנוכחי. שלוש העמודות הימניות מראות את תוצאות המחקר הנוכחי. החלק העליון באיור 5 מראה את נפח הגז הטבעי שהופק מהמאגרים התת-קרקעיים בחמשת שדות הגז הטבעי. אפשר לראות שלוש השדות במחקר שלי אחראים להפקה של הרבה מאוד גז טבעי! החלק האמצעי מראָה כמה מתאן דלף לאוויר מהשדות האלה. החלק התחתון, שיעור ההפסד, הוא היחס בין מה שדלף ובין מה שהופק. למשל, 1.6% מהגז הטבעי שהופק בשדה Haynesville דלף והופסד לאטמוספירה. מדענים אחרים [1] קבעו כי תחנות כוח ששורפות גז טבעי מייצרות פחות גזי חממה מאשר תחנות כוח ששורפות פחם, רק אם שיעור ההפסד יהיה פחות מ-3.2% בערך. החדשות הטובות הן שכמות המתאן שדלף לאוויר בכל אחד משדות הגז הטבעי הגדולים האלה, הייתה נמוכה מ-3.2%, לפי המדידות שלי. כמות המתאן שדלף הייתה גם נמוכה ממה

איור 5

סיכום של הפקת הגז הטבעי, פליטות המתאן ושיעורי הפסד המתאן מחמישה אזורים להפקת גז טבעי, שנחקרו תוך שימוש במטוס מחקר שהותקן עליו מכשיר מד המתאן. שלושת השדות שבהם דנו במאמר זה מוצגים מימין. אלה הם שדה Haynesville בטקסס ובלואיזיאנה, שדה Fayetteville בארקנסו ושדה Marcellus בפנסילבניה. שלושת השדות האלה מייצרים כמות רבה יותר של גז טבעי (החלק העליון בתרשים) ביחס לשדה Denver-Julesburg בקולורדו ולשדה Uinta ביוטה המוצגים בצד השמאלי. נתונים אלה נלקחו ממחקר אחר שלא אנו ביצענו. = Natural gas collected גז טבעי שהופק = Collection הפקה = Methane leaked מתאן שדלף = Leakage דליפה = Methane leak rate שיעור דליפת המתאן = Lost הפסד



שנמצא במחקרים קודמים אשר בדקו אזורים שדות גז טבעי אחרים בקולורדו וביוטה, עובדה שלא ידענו עד שחקרנו את ההפקה בשדות הגז הגדולים יותר.

עדיין נותרה לנו עבודה רבה במטרה להבין אם שיעור דליפה נמוך זה נכון גם לאזורים אחרים שבהם מפיקים גז טבעי בארצות הברית. אנו משתמשים ב-P-3 ובמטוסי מחקר אחרים לביצוע מדידות של מתאן במקומות רבים, כדי לוודא שאנו באמת מבינים מה חוזר לאוויר שלנו. מידע זה נחוץ כדי לבחור נכון את חומר הדלק מבין החומרים השונים, במטרה להקטין את ההשפעות השליליות על אקלים כדור הארץ.

מאמר המקור

Peischl, J., Ryerson, T. B., Aikin, K. C., de Gouw, J. A., Gilman, J. B., Holloway, J. S., et al. 2015. Quantifying atmospheric methane emissions from the Haynesville, Fayetteville, and northeastern Marcellus shale gas production regions. *J. Geophys. Res. Atmos.* 120:2119-2139. doi: 10.1002/2014JD022697

מקורות

1. Alvarez, R. A., Pacala, S.W., Winebrake, J. J., Chameides, W. L., and Hamburg, S. P. 2012. Greater focus needed on methane leakage from natural gas infrastructure. Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A. 109:6435–40. doi: 10.1073/pnas.1202407109
2. Pétron, G., Karion, A., Sweeney, C., Miller, B. R., Montzka, S. A., Frost, G., et al. 2014. A new look at methane and nonmethane hydrocarbon emissions from oil and natural gas operations in the Colorado Denver-Julesburg Basin. J. Geophys. Res. Atmos. 119:6836–52. doi: 10.1002/2013JD021272
3. Karion, A., Sweeney, C., Pétron, G., Frost, G., Hardesty, R. M., Kofler, J., et al. 2013. Methane emissions estimate from airborne measurements over a western United States natural gas field. Geophys. Res. Lett. 40:4393–7. doi: 10.1002/grl.50811

פורסם אונליין: 25 בינואר 2019

נערך על ידי: Berend Smit, University of California, Berkeley, USA

ציטוט: Peischl J (2019) מדידת דליפות המתאן לאוויר משלושה אזורי הפקת גז טבעי גדולים. Front. Young Minds. doi: 10.3389/frym.2016.00009-he

תורגם והותאם:

Peischl J (2016) Measuring the Methane Leaks to the Air from Three Large Natural Gas Production Regions. Front. Young Minds 4:9. doi: 10.3389/frym.2016.00009

הצהרת ניגוד אינטרסים: המחברים מצהירים כי המחקר נערך בהעדר כל קשר מסחרי או פיננסי שיכול להתפרש כניגוד אינטרסים פוטנציאלי.

COPYRIGHT © Peischl 2016. זהו מאמר בגישה פתוחה שמופץ תחת תנאי רישיון Creative Commons Attribution License (CC BY). השימוש, ההפצה או ההעתקה מותרים לשימוש בפורומים אחרים ובלבד שיינתן קרדיט למחברים (המקוריים ולבעל זכויות היוצרים, ושהפרסום המקורי בעיתון זה מצוטט בהתאם למקובל באקדמיה). השימוש, ההפצה או ההעתקה אינם מותרים אם הם אינם עומדים בתנאים אלה.

סוקרים צעירים

ECOLE MOSER GENÈVE, גיל: 14-15

אנו בכיתה י'א, בכיתה ביוכימיה, והמורה שלנו הוא מר Bustamante. האווירה בכיתה שלנו טובה, בדרך כלל, וכולנו עובדים ממש קשה (טוב, רוב הזמן!). בחרנו בלימודי ביוכימיה כי אנו חושבים שזה מעניין, דבר שמעלה לנו את המוטיבציה. סקירת המאמר נתנה לנו הזדמנות לגלות היבט נוסף במדע. במהלך סקירת המאמר הופתענו לגלות את התהליך שעל מאמר לעבור לפני פרסומו, וזה היה מעניין. גם היינו גאים מאוד שבטחו בנו במשימה חשובה כזו. בסך הכול, זו הייתה חוויה נהדרת עבור הכיתה כולה.



הכותב

JEFF PEISCHL

אני מדען אטמוספירה מקולורדו. אחרי הקולג' למדתי בפקולטה למשפטים, וכשנתיים עבדתי כעורך דין; אבל אז שיניתי קריירה ונהייתי מדען! עכשיו אני מודד גזי חממה באוויר, וחוקר מהיכן הם מגיעים וכמה מהם נפלטים לאוויר. בזמני הפנוי אני נהנה לצעוד בהרים ולנגן בפסנתר. *jeff.peischl@noaa.gov



Hebrew version
provided by

מזיאון המדע ע"ש בלומפילד ירושלים (ער.)
متحف العلوم على اسم بلومفيلد القدس
Bloomfield Science Museum Jerusalem

