



מבוך מיתולוגי ברכבים מונע דליפת דלק

Joel Gutiérrez-Martínez* | Nguyen Esmeralda López-Lozano

המחלקה למדעי הסביבה, מכון פוטוסינו למחקר מדעי וטכנולוגי (IPICYT), סן לואיז פוטוסי, מקסיקו

סוקרים צעירים

ELILL

גיל: 15



SASYAK

גיל: 13



YUHENDRA

גיל: 11



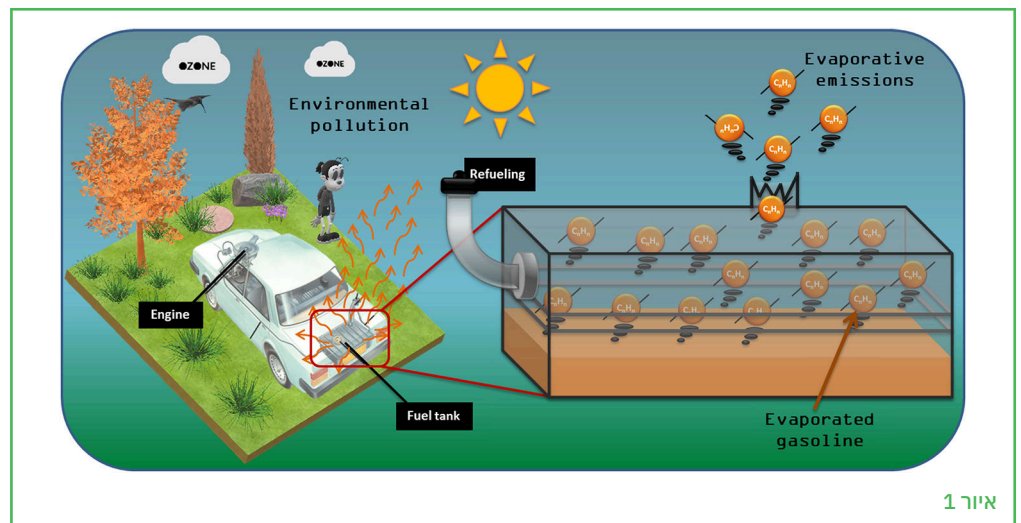
קשה להאמין כי הרכבים המשמשים אותנו כיום מסוגלים לזהם את הסביבה אפילו כשאננם פועלים. הסיבה לכך היא דליפת דלק (בנזין) שמתאדה ממכל הדלק של הרכב אל האטמוספירה. כדי להימנע מדליפה כזו, בנזין שהתאדה מוזרם אל מְכָל (קְנִיֶסְטֶר) מלא חלקיקי פחם הנקראים פחמן פעיל. בתוך הפחמן הפעיל ישנם חללים עמוקים, דמויי-תעלה, שבהם מולקולות הבנזין נאגרות. סְפִיחָה היא תהליך שבו מולקולות של גז או נוזל נדבקות לפני השטח של משהו מוצק. דרך ספיחה ניתן להסיר מגוון מזהמים מאוויר וממים. לצורך הַבְנַת מנגנון הספיחה על ידי פחמן פעיל, דְמִיֶנו חומר זה בתור מבוך שכולא חלקיקי דלק, ואינו מאפשר להם לברוח. במסגרת המאמר נפרט גם לגבי ניסיונות עכשוויים לפתח חומרי ספיחה חדשים מתוצרי פסולת של תעשייה אחרת, במטרה לשפר את הפחמן הפעיל אשר משמש כיום ברכבים.

מדוע בנזין מנסה 'לברוח' מרכבים?

אנו יודעים כי רכבים מזהמים כשמונעיהם פועלים. זיהום זה הוא תוצר של גזי חממה הנפלטים דרך צינור הפליטה של הרכב. ברכבים ישנים יותר, פליטות אלה לעיתים קרובות

נראות כמו ערפל שחור. אך האם ידעתם כי רכבים מסוגלים לזהם אפילו כשאנחנו פועלים? הסיבה לכך היא שהבנזין המאוחסן במכל הדלק יכול 'לברוח' מהרכב ישירות לסביבה, ולזהם את האטמוספירה.

ביום חם, שכיח למדי להריח ריח דלק ליד רכב חונה. הסיבה לכך היא שהבנזין הוא נדיף, כלומר מצב הצבירה שלו יכול להשתנות מנוזל לגז אפילו כשאנחנו בטמפרטורת הרתחה שלו, ולכן ביכולתו לעבור לאוויר. כאשר טמפרטורת הסביבה עולה, תנועת מולקולות בנזין במכל הדלק של מכונית מתגברת במהרה בכל הכיוונים, ומגדילה את נפחה. אם מספיק חם, המולקולות הנדיפות יכולות לרכוש די אנרגיה שתאפשר להם לברוח דרך אטמי מכל הדלק אל הסביבה [1]. בנזין שהתאדה ומצליח לברוח ידוע בתור **פליטות אידיי (איור 1)**.



איור 1

בנזין הוא תערובת של מולקולות נדיפות במגוון גדלים וצורות, בעיקר תרכובות של אטומי פחמן (C) ומימן (H). המולקולות הנדיפות ביותר כוללות בנזין (C₄H₁₀) ופנטאן (C₅H₁₂). נפוץ למצוא בבנזין גם מולקולות בנזן (C₆H₆) וטולואן (C₇H₈) [2]. כל המולקולות האלה נקראות **תרכובות אורגניות נדיפות (VOCs)**, והן מזיקות לבריאות האנושית ותורמות לשינויי אקלים [3]. בפועל, פליטות אידיי של תרכובות אורגניות נדיפות אחראיות למחצית זיהום האטמוספירה עקב פליטות מסוג זה ברחבי העולם.

כדי להימנע מדליפה של מולקולות בנזין נדיפות מהרכב לסביבה, מכל הדלק מחובר להקטקן המוכר בשם קניסטר, אשר ממוקם בין מכל הדלק למנוע (איור 2). הקניסטר תופס את מולקולות הבנזין במבוך של מולקולות פחמן. כדי להסביר כיצד המבוך הזה מונע ממולקולות בנזין לברוח לסביבה, נפנה לאגדה היוונית המפורסמת של המינוטאור במבוך, המתארת דבר דומה.

כיצד קניסטר דומה למינוטאור במבוך?

מבוכים הם מבנים מורכבים המעוצבים כך שאנשים אינם יכולים לברוח מהם. אחד המבוכים האגדתיים ביותר הוא המבוך המיתולוגי של המינוטאור. מבוך זה היה מבנה ענקי ומרשים שהוקם על ידי הארכיטקט המפורסם ידולוס על האי קרתים שביוון, במרכז הים

פליטות אידיי (Evaporative emissions)

הבנזין שמתאדה ובורח ממכל הדלק, והוא מקור חשוב לזיהום סביבתי על ידי תרכובות אורגניות נדיפות.

איור 1

הסכנות שבאידיי בנזין. אפילו כאשר רכב אינו נוסע, בנזין שמתאדה (Evaporated gasoline) יכול לברוח ממכל הדלק (Fuel tank) אל הסביבה. פליטות אידיי (Evaporative emissions) אלה מכלות מולקולות שנקראות תרכובות אורגניות נדיפות, אשר עלולות לפגוע בסביבה (Environmental pollution).

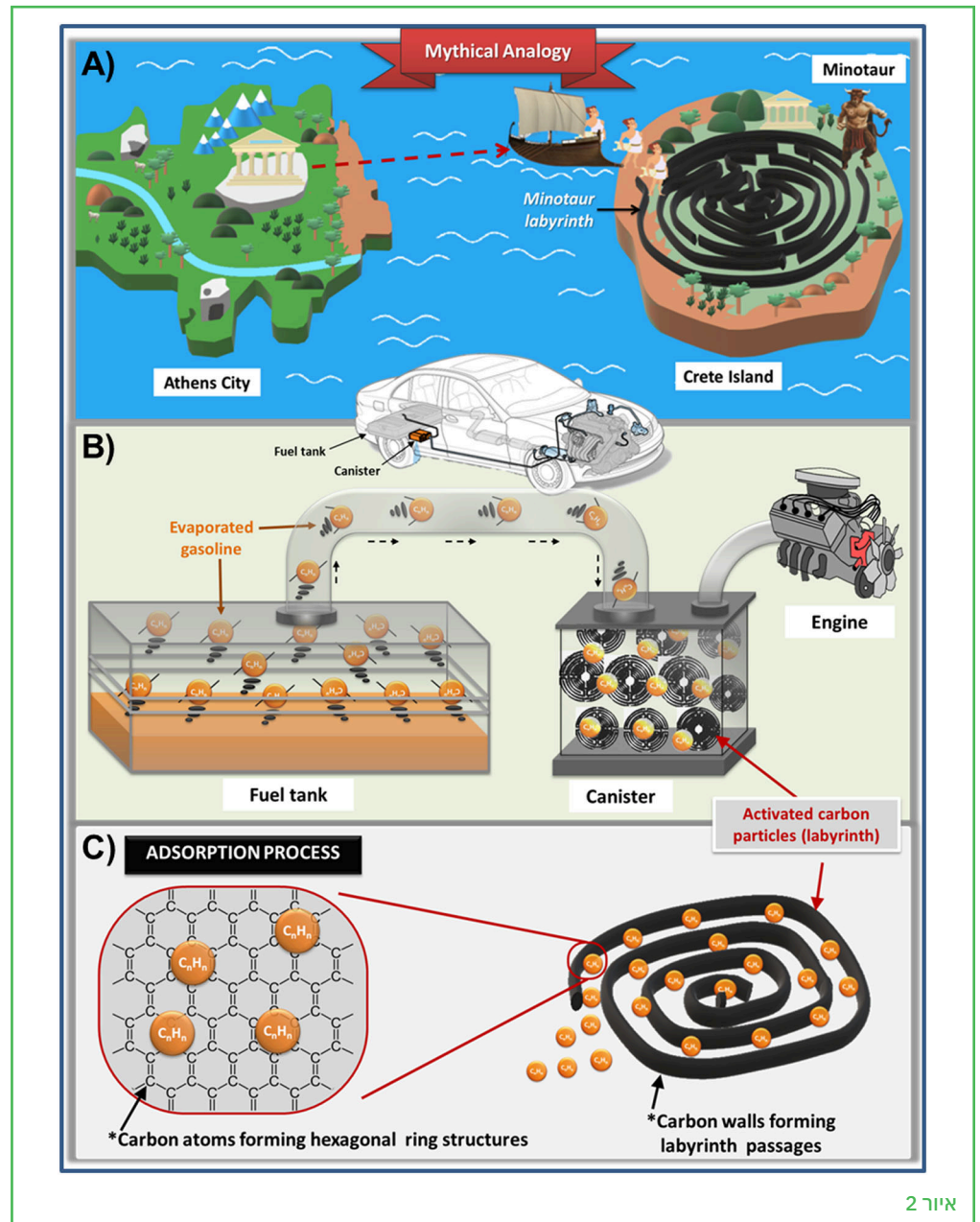
תרכובות אורגניות נדיפות (VOCs-Volatile organic compounds)

מולקולות שמשתנות בקלות מנוזל לגז בטמפרטורת החדר. תרכובות אלה משמשות בייצור צבעים, תרופות, חומרי ניקוי ומוצרים אחרים.

הַאֲגָיָה. לפי האגדה המיתולוגית, דדלוס יצר את המבוך כדי להחביא את המינוטאור – יצור שחציו אדם חציו שור. בכל שבע שנים, הפליגה ספינה שחורה עם יוונים צעירים שניסו לברוח מאתונה לכרתים. כאשר הספינה הגיעה לאי כרתים, היוונים הצעירים הובלו למבוך, שם הם נאבדו במעבריו. לפתע, המינוטאור היה מגיח מהמעברים כדי לרדוף אחרי הצעירים ולהרוות את צימאונו לדם (איור 2A). מוזר ככל שזה נשמע, האגדה הזו היא אנלוגיה מתאימה להמחשת אופן פעולתו של קניסטר המלא פחמן פעיל.

איור 2

ניתן להשוות את הספיחה של בנזין שהתאדה על פחמן פעיל למבוך של המינוטאור. (A) היוונים הגיעו לכרתים כדי לעבור דרך המבוך, עד שנאכלו על ידי המינוטאור (מפלצת ידועה במיתולוגיה היוונית בעלת גוף אדם וראש ציפור). (B) בנזין שהתאדה (C_nH_n) מוזרם לקניסטר (Canister) שבו המולקולות "נאבדות" ועוברות ספיחה, ואז משוחררות כאשר הרכב פועל, כדי להישרף במנוע. (C) ספיחה של מולקולות בנזין מתרחשת על דפנות מעבר שעשויות פחמן פעיל, אשר מורכב מאטומי פחמן המחברים זה לזה ליצירת ריעות של גרפן.



איור 2

הסוכנות האמריקאית להגנה על הסביבה (EPA) דורשת כי רכבים מודרניים יהיו מצוידים בקניסטר שעוצר פליטות אידי (איור 2B). הקניסטר מלא חלקיקי פחמן פעיל. זהו חומר פחמי שנמצא בשימוש נרחב בטיהור מי שתייה וגז טבעי, או בטיהור המים במכל דגים. פחמן פעיל משמש בקניסטרים אלה בשל עלותו הנמוכה, ומאחר שהוא יכול לכלוא מולקולות

גרפן (Graphene)

צורה גבישית של פחמן, שהאטומים שלה מסודרים במבנה הקסגוני (בעל שש צלעות). גרפן שכיח בעפרונות ובחומרי סיכה, והוא מוליך טוב של חום וחשמל.

ספיחה (Adsorption)

תהליך הידבקות מולקולות של נזל או גז לפני השטח של חומר מוצק.

שחרור (Desorption)

תהליך הפוך לספיחה, שבו מולקולות משוחררות מפני השטח.

נדיפות רבות. ברמה המולקולרית, פחמן פעיל הוא חומר מוצק שמורכב מאטומי פחמן המחברים יחד ליצירת מבנים בצורת טבעת הקסגוֹנִלית (בעלת שש צלעות). אלה מרכיבים יריעות רבות שנקראות שכבות גֶרְפֵן [4]. אם נתבונן פנימה בפחמן פעיל, נוכל לראות תעלות פנימיות, שנקראות נקבוביות, אשר דומות למעברים של המבוך. הדפנות של הנקבוביות האלה בנויות שכבות גרפן שמונחות זו על גבי זו (איור 2C). במקרה של רכבים, מזהמים, כמו למשל פליטות בנזין, ייכנסו למבוך הפחמן הפעיל דרך הנקבוביות הללו, ויישאר תקועים על שכבות הגרפן.

רכבים מורכבים כך שהתרכובות האורגניות הנדיפות שמתאדות מהבנזין במכל הדלק מנותבות דרך צינור בקניסטר. תרכובות אלה, כמו היוונים הצעירים, מוזגות לעבר המבוך המולקולות שנכנסות למבוך נאבדות בהדרגה בתוך מעבריו. כאשר מולקולות בנזין נכנסות עמוק יותר למבוך, המעברים נעשים צרים יותר. התרכובות האורגניות הנדיפות אשר משוטטות במבוך נתקעות במהרה בדפנותיו, בתהליך שנקרא סְפִיחָה. פחמן פעיל ותרכובות אורגניות נדיפות נמשכים זה לזה כמו מגנטים. תהליך הספיחה מתרחש אפילו כאשר הרכב אינו פועל.

בהמשך לאנלוגיה הזו, מעברי המבוך צריכים להיות מנוקים כך שיוכלו לספוח תרכובות אורגניות נדיפות חדשות למוחרת. מסיבה זו, מנוע הרכב פועל כמו מינוטאור, על ידי כך שהוא ניזון מתרכובות אורגניות נדיפות. בפעם הבאה שהרכב מונע, אוויר מוזרם דרך הקניסטר במטרה להפריד תרכובות אורגניות נדיפות מדפנות מעברי הפחמן הפעיל. תהליך זה נקרא שחרור, כלומר ניתוק המולקולות שנאספו על המעברים. לאחר מכן, המולקולות המשוחררות האלה נשרפות במנוע. בשלב זה, מעברי הפחמן הפעיל נוקו והקניסטר מוכן שוב לספוג תרכובות אורגניות נדיפות. הספיחה והשימוש החוזר בבנזין שהתאדה לא רק מסייעים לִמְנַע מתרכובות אורגניות נדיפות לחדור לסביבה, אלא גם מסייעים לרכבים להשתמש בדלק באופן יעיל יותר, ואגב כך לחסוך כסף.

האם ניתן לשפר את ביצועי המבוך?

לפי האגדה היוונית, דדלוס זיהה בעיה במבוך. חלק מהיוונים שנכלאו במבוך הצליחו לברוח בשעת בין ערביים. עקב כך, דדלוס שיפר את המבוך במטרה לכלוא את היוונים באופן יעיל יותר. המבוך החדש אֶפְשָׁר למינוטאור למצוא את הצעירים הכלואים בקלות רבה יותר. לפחמן פעיל יש חיסרון דומה, למרות יכולתו הגבוהה לספוח תרכובות אורגניות נדיפות. במעברים הצרים מאוד של פחמן פעיל, תרכובות אלה עוברות ספיחה בעוצמה לשכבות הגרפן. אפילו אם הן מצליחות להשתחרר מהמעברים הצרים ביותר כאשר הרכב מונע, חלק מהתרכובות האורגניות הנדיפות לא יצליחו לברוח מהמבוך. בהמשך, תרכובות אלה עשויות לברוח בהדרגה לסביבה, כאשר הרכב אינו פועל. אף על פי שרק תרכובות אורגניות נדיפות מעטות מצליחות לברוח, זו עדיין בעיה סביבתית. מסיבה זו, מדענים מתמקדים בשיפור הביצועים של הקניסטר על ידי שילוב מבוכים חדשים המורכבים מפחמן.

הפיתוח שאותו מקדמת קבוצת המחקר שלנו

כיום, קבוצת המחקר שלנו עוסקת בפיתוח מבוכי פחמן חדשים. במטרה לִמְנַע פליטות אידוי, המעברים של המבוך החדש נדרשים להיות רחבים מספיק כדי לספוח מולקולות בנזין

Agave bagasse

הפסולת המוצקה העיקרית שמיוצרת על ידי תעשיית הטקילה במקסיקו. פסולת זו מדאיגה מההיבט הסביבתי כיוון שהיא מיוצרת בכמויות גדולות מאוד – 377,000 טונות בשנת 2016 בלבד!

ביו-פחם (Biochar)

חומר מבוסס פחם שמיוצר מחימום (בין 250 ל-600 מעלות צלזיוס) של פסולת ביו-מקסה או פסולת אורגנית תעשייתית.

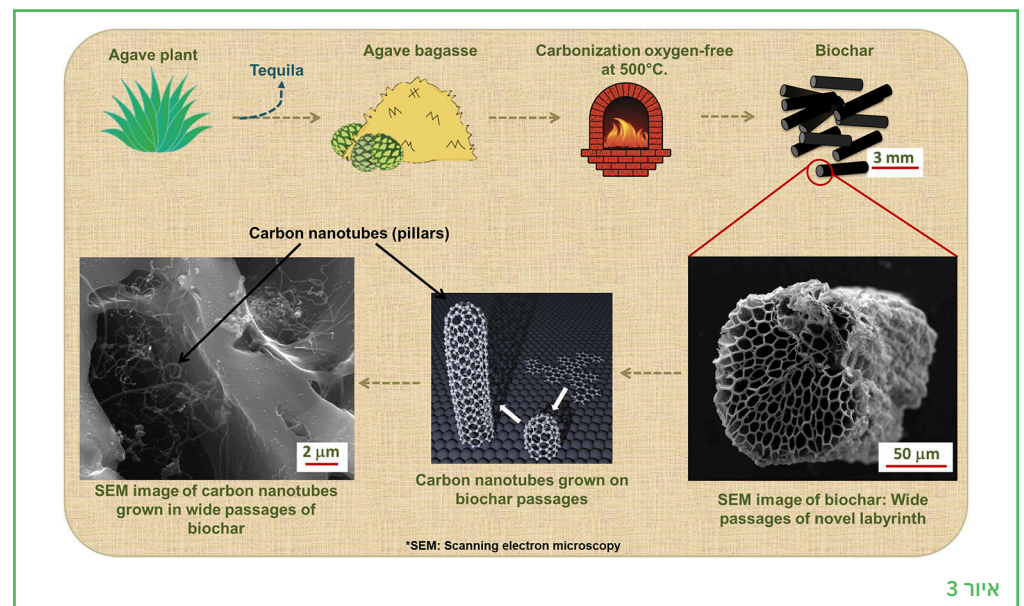
איור 3

סיתתה של חומר ספיחה חדשני מתוצר פסולת.

תעשיית הטקילה מייצרת כמויות גדולות של תוצר agave bagasse. פסולת זה יכול להישרף בטמפרטורות גבוהות ליצירת ביו-פחם, אשר דומה לפחמן פעיל אך בעל מעברים רחבים יותר. כדי לשפר את יכולתו של הביו-פחם לספוח תרכובות אורגניות נדיפות, אפשר לגדל ננו-צינוריות פחמן על גבי המעברים הרחבים שלו. ניתן לראותן באמצעות מיקרוסקופ עוצמתי שנקרא מיקרוסקופ אלקטרוני סורק (SEM).

במהרה. המולקולות צריכות להיות משוחררות לגמרי כאשר המכונת פועלת, כדי לנקות את המעברים. נוסף על כך נבחנת יכולתנו לעשות שימוש מחדש בתוצרי פסולת מתעשיית אחרת לייצור המבוכים הללו. תעשיית הטקילה (משקה אלכוהולי) במקסיקו, מייצרת אלפי טונות של פסולת מדי שנה. טקילה מיוצרת על ידי זיקוק של חומר מצמח האַגָּבָה. שאר הצמח הופך לפסולת שנקראת **Agave bagasse**. זריקת כמויות גדולות כל כך של צמח זה, מהווה בעיה סביבתית.

במחקרנו, עיבדנו agave bagasse במטרה לפתח מבוך חדש, על ידי חימום הצמח לטמפרטורה של 500 מעלות צלזיוס. בתהליך זה נוצר חומר חדש המוכר בשם **ביו-פחם** מאחר שהוא מבוסס פחמן כמו פחם (פחמן פעיל). במבוך החדש נקבוביות רחבות ומעברים גדולים דרך החומר (איור 3). מאחר שהן דומות לפחמן פעיל, תרכובות אורגניות נדיפות מבנזין עוברות ספיחה בחוזקה, כאשר הנקבוביות הרחבות והמעברים הגדולים מיטביים לשחרור מוחלט. זה מסייע למנוע מתרכובות אורגניות נדיפות לברוח לסביבה כאשר הרכב לא מונע [5].



איור 3

ניתן לשפר עוד יותר את יכולת הספיחה של המבוך החדש הזה! האסטרטגיה היא לבנות מבנים דמויי עמוד, כמו טורים, דרך המעברים הגדולים של המבוך. במונחים מדעיים, עמודים אלה מוכרים בתור **ננו-צינוריות פחמן**. אלה הם מבנים גליליים זעירים שמורכבים בעיקר מאטומי פחמן (איור 3). התוספת של ננו-צינוריות פחמן למעברי הביו-פחם מגדילה את יכולתו של הביו-פחם לספוח תרכובות אורגניות נדיפות.

ייצור מבוכי פחמן מ-agave bagasse מראה כיצד תוצר פסולת עשוי להיות מעניין ושימושי לתעשיית הרכב, וייתכן שגם עבור תעשיית אחרות. יתרונותיו העיקריים של ה-agave bagasse הם שזהו חומר חינומי, ועיבודו ידידותי לסביבה. נוסף על כך מבנים כמו ננו-צינוריות פחמן מאפשרים שיפור ביצועי המבוכים האלה. אולם, לא כל המזהמים בבנזין יכולים להיספח על ידי אותו החומר. לכן, כל מזהם עשוי לדרוש מבוך מסוים בעל מאפיינים שונים. למרבה המזל, הקהילה המדעית מרכזת את מאמציה בפיתוח מבוכים

ננו-צינוריות פחמן (Carbon nanotubes)

צינוריות זעירות עשויות פחמן, בקוטר של ננומטרים (1 ננומטר = 0.0000001 סנטימטרים). כיום מגלים בהן עניין רב עבור מעגלים חשמליים; אגירת אנרגיה וספיחת מזהמים.

חדשים שיכולים לחסל מזהמים מסוימים. התקווה היא כי קניסטר שבנוי ממבוכים כאלה יהיה אפילו טוב יותר בהגנה על הסביבה מפני תרכובות אורגניות נדיפות.

מבוכי פחמן מסייעים לסביבה

לבסוף, חשוב להדגיש כי תהליך הספיחה משמש למגוון יישומים לרבות הקרת תרכובות אורגניות נדיפות מארובות תעשייתיות. ספיחה יכולה גם להסיר מזהמים כמו למשל אַרְסֵנִיק ופּוֹלֵאוֹרִיד ממי שתייה במדינות שבהן מזהמים אלה מהווים בעיה. כמו כן ספיחה יכולה לשמש לאחר אירוע אסוני של דליפת שמן, כמו זה שהתרחש במפרץ מקסיקו בשנת 2010, במטרה להסיר את רכיבי השמן המסוכנים שעשויים להימס במים. תהליך הספיחה משמש גם להקרת פחמן דו-חמצני מהאוויר, עבור שימוש מאוחר יותר בחממות. יישום זה מעורר עניין גובר, מאחר שכמות הפחמן הדו-חמצני העולה באטמוספירה היא גורם מרכזי בשינויי אקלים.

סיכום

תוכלו לראות שישנם שימושים חשובים רבים לחומרים דמויי-מבוכי! מוצקים שמסוגלים לספוח מזהמים סביבתיים מהמים או מהאוויר הם תוספת מצוינת לאוסף המשאבים שלנו. בסיועם יהיה באפשרותנו להגן על כדור הארץ מפני הנזק שנגרם לו על ידי פעילויות אנושיות רבות.

מקורות

1. Mirzaei, A., Leonardi, S. G., and Neri, G. 2016. Detection of hazardous volatile organic compounds (VOCs) by metal oxide nanostructures-based gas sensors: a review. *Ceram. Int.* 42:15119–41. doi: 10.1016/j.ceramint.2016.06.145
2. Jia, L., Yu, W., Long, C., and Li, A. 2014. Adsorption equilibrium and dynamics of gasoline vapors onto polymeric adsorbents. *Environ. Sci. Pollut. Res.* 21:3756–63. doi: 10.1007/s11356-013-2328-z
3. Li, B., Sai, S., Ho, H., Xue, Y., Huang, Y., and Wang, L. 2017. Characterizations of volatile organic compounds (VOCs) from vehicular emissions at roadside environment: the first comprehensive study in Northwestern China. *Atmos. Environ.* 161:1–12. doi: 10.1016/j.atmosenv.2017.04.029
4. Goyal, M., and Bansal, R. C. 2005. *Activated Carbon Adsorption*. Boca Raton, FL: Taylor & Francis Group.
5. Nieto-Delgado, C., and Rangel-Mendez, J. R. 2011. Production of activated carbon from organic by-products from the alcoholic beverage industry: surface area and hardness optimization by using the response surface methodology. *Ind. Crops Prod.* 34:1528–37. doi: 10.1016/j.indcrop.2011.05.014

פורסם אונליין: 22 בפברואר 2024

נערך על ידי: Noemie Ott

מנחים מדעיים: Suhas Kumar | Ramesh T. Subramaniam

ציטוט: Gutiérrez-Martínez J | López-Lozano NE (2024) מבוך מיתולוגי ברכיכם מונע דליפת דלק. Front. Young Minds. doi: 10.3389/frym.2021.563843-he

תורגם והותאם מ: Gutiérrez-Martínez J and López-Lozano NE (2021) A Mythic Labyrinth Inside Your Vehicle Prevents Gasoline Leakage. Front. Young Minds 9:563843. doi: 10.3389/frym.2021.563843

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

זכויות יוצרים © 2021 © 2024 Gutiérrez-Martínez | López-Lozano. זהו מאמר בגישה פתוחה שמופץ תחת תנאי רישיון [Creative Commons Attribution License \(CC BY\)](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/). 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

ELILL, גיל: 15

היי! קוראים לי אֵליל ואני בן 15. אוהב לקרוא ספרי עיון, ללמוד ולבלות זמן עם משפחתי. המקצועות האהובים עליי בבית הספר הם מדע, היסטוריה ומתמטיקה.

SASYAK, גיל: 13

סָסֶיק הוא תלמיד בן 13 מהודו. קורא נלהב של כמה סוגות ספרותיות. הוא משתתף נלהב בתחרויות חידונים ובאולימפיאדות, ואלוף בתחרות איות. סָסֶיק משתתף באימוני כדורגל, ונהנה לרכוב על אופניים.

YUHENDRA, גיל: 11

היי! זה נפלא להיות סוקר. אני בן 11, אוהב מדע ומתמטיקה. אלה המקצועות האהובים עליי בבית הספר. בזמני הפנוי אני בונה בלגו, קורא ספרים ומבלה זמן עם משפחתי. אני גם אוהב לשחק במשחקי וידאו.

הכותבים

JOEL GUTIÉRREZ-MARTÍNEZ

אני מהנדס ביוכימיה מהאוניברסיטה האוטונומית של אגואסקליינטס. למדתי לתואר שני במכון פוטוסינו למחקר מדעי וטכנולוגי (IPICYT), במקסיקו. כיום, אני לומד לדוקטורט במחלקה למדעי הסביבה ב-IPICYT. במסגרת מחקרי אני מתמקד בחומרים פחמניים ובתהליכי ספיחה. יש לי ניסיון בייצור חומרים מבוססי-פחמן כמו למשל פחמנים פעילים ונונו-צינוריות פחמן. הייתי מעורב בפרויקטי ספיחה שמטרתם



להסיר מזהמים ממי תהום באמצעות פחמן פעיל. כיום, אני מעורב בשימוש בתהליכי ספיחה המיועדים להסרת מזהמים מהאוויר. נוסף על כישורי המחקר שלי, אני מתעניין בקריאה על היסטוריה ומיתולוגיה, במיוחד של יוון העתיקה. *joel.gutierrez@ipicyt.edu.mx

NGUYEN ESMERALDA LÓPEZ-LOZANO

אני ביולוגית, בעלת תואר שני במדעי הביוכימיה ודוקטורט במדעי הביו-רפואה. כיום, אני עובדת כחוקרת במחלקה למדעי הסביבה ב-IPICYT. תחום המחקר שלי עוסק בקשרים בין מיקרואורגניזמים לבין עצמם ובינם לבין הסביבה, במיוחד בתנאי מחסור במים. אני גם מעריצה של ישוג מדע.



מוזיאון המדע ע"ש בלומפילד ירושלים
متحف العلوم على اسم بلومفيلد القدس
Bloomfield Science Museum Jerusalem



הוצאת פרונטירז מדע לצעירים ישראל
Hebrew version provided by



THE SAGOL NETWORK