

1821 – אמריקה

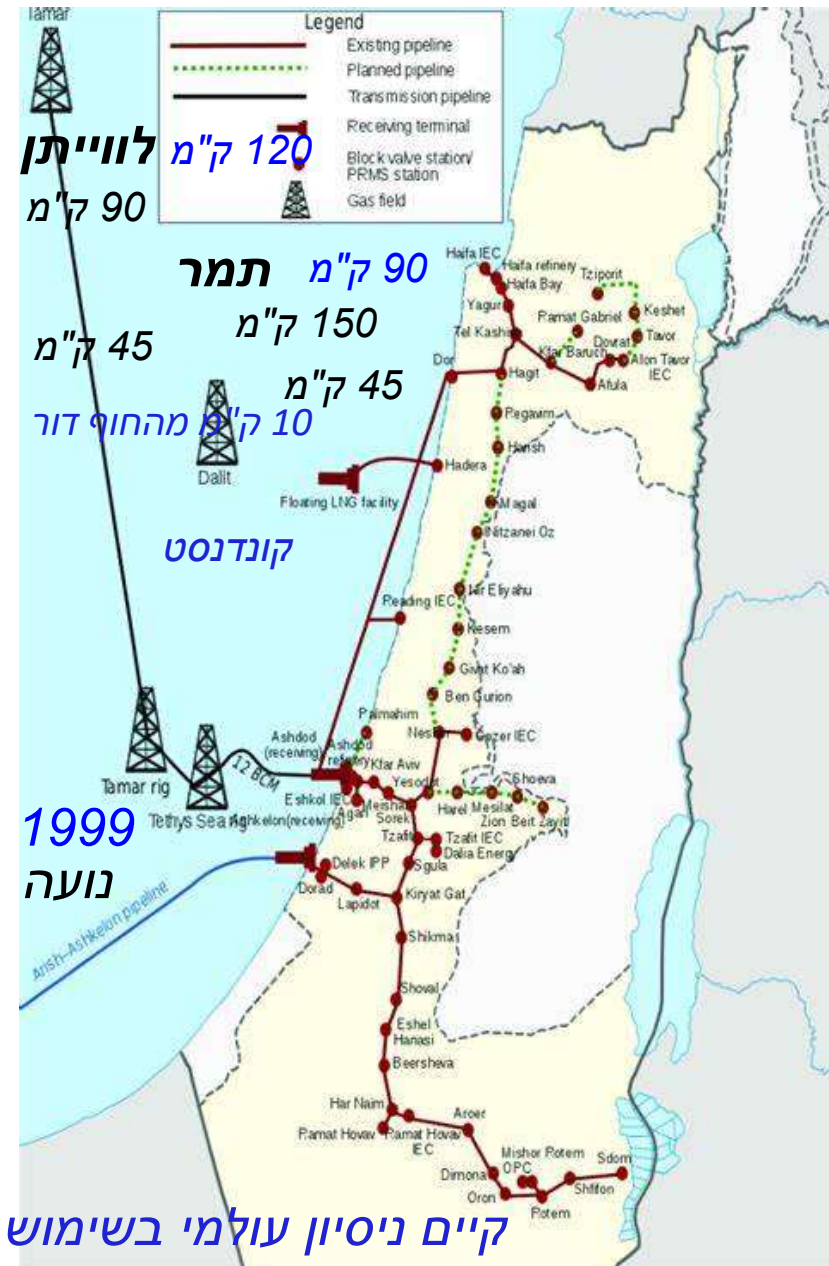
1999 – גילוי גז טבעי בישראל

2011 – תוכנית אנרגיה, טכניון

# מיתוסים ואמת על קורוזיבות של גז טבעי



2009  
2013



## אליק גרויסמן

Website: [www.groysmanalec.com](http://www.groysmanalec.com)

Email: [alecgroysman@gmail.com](mailto:alecgroysman@gmail.com)

יום עיון "קורוזיה במערכות גז טבעי"

תל אביב, לשכת המהנדסים

14 מרץ 2024

קיים ניסיון עולמי בשימוש בקווי גז משנות 1920

אנרגיה ?

מחסור בעתיד הקרוב:

מים ?

מומחים בעלי ידע מיומן!



קורוזיוניסטים

?



מזון ?

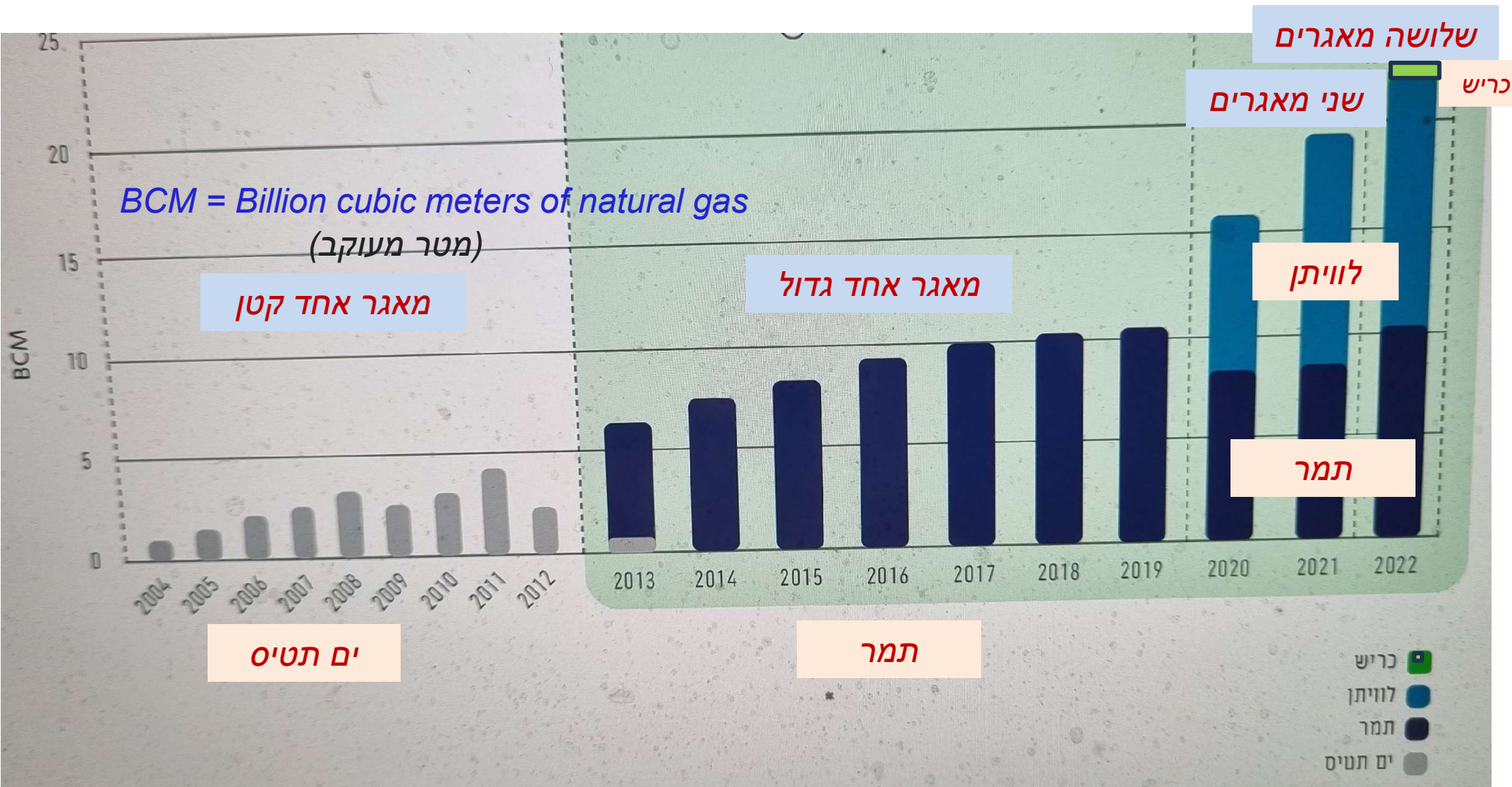
דלק ?

**החינוך ומסירת ידע לוקחים תפקיד עיקרי !**



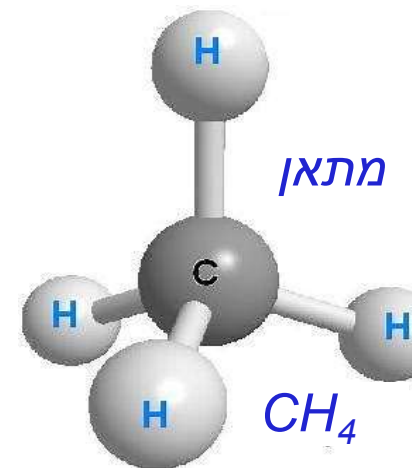
# ממאגר קטן אחד לשלושה מאגרים גדולים

בעשור החולף הפקת הגז הטבעי בישראל גדלה פי חמישה



קורוזיה במערכות גז טבעי  
הרכב כימי של גז טבעי וקורוזיביותו

מתאן	$CH_4$	70-99%
אתאן	$C_2H_6$	0 - 20%
פרופאן	$C_3H_8$	
בוטאן	$C_4H_{10}$	
<b>פחמן דו-חמצני</b>	<b><math>CO_2</math></b>	<b>0-8%</b>
<b>חמצן</b>	<b><math>O_2</math></b>	<b>0-0.2%</b>
חנקן	$N_2$	0-5%
<b>מימן גופרי</b>	<b><math>H_2S</math></b>	<b>0-5%</b>
גזים אצילים	He, Ne, Ar, Xe	עקבות



גז "מתוק" ( $CO_2$ )  
קורוזיה "מתוקה"

בעיות קורוזיה מתחילות  
[ $O_2$ ] > 50 ppmv

קורוזיה "חמוצה"  
[ $H_2S$ ] > 4 ppmv

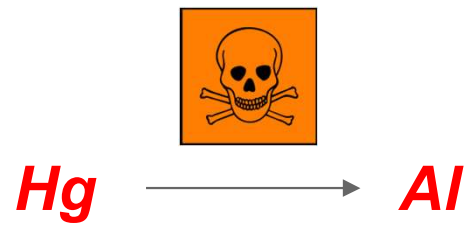


$H_2O$

Benzene, toluene, ethylbenzene,  
and xylene (BTEX)



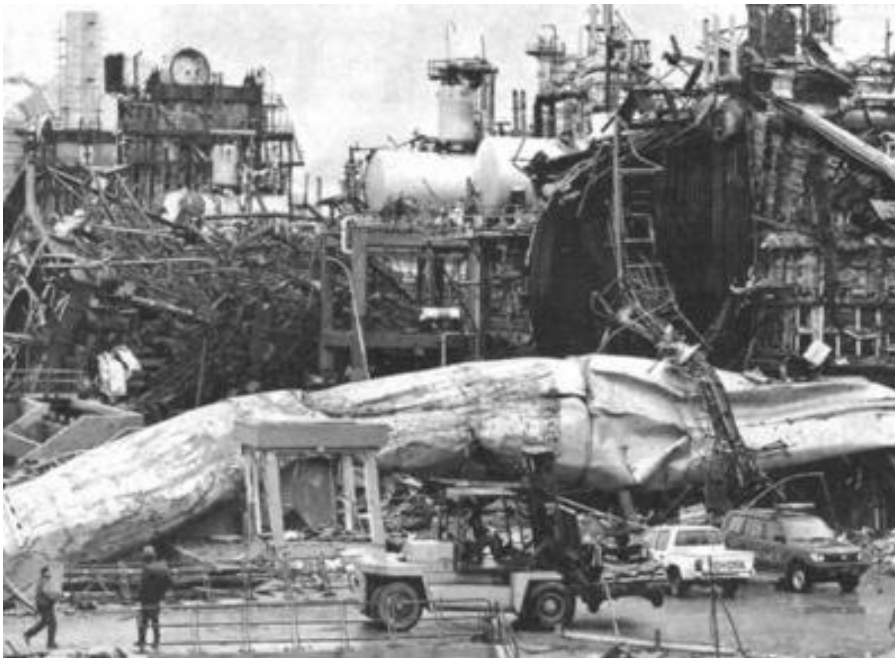
חומרים פולימרים



$$\leq 0.01 \mu\text{g}/\text{m}^3$$

**Al** - פריכות מתכת נוזלית - סוג של סידוק קורוזיית מאמצים

מפעל גז טבעי נוזלי (LNG) – **27 נהרגו**



שריפה ופיצוץ בסקיקדה (Skikda)  
שבאלג'יריה, 2004



שריפה במומבה (Moomba), אוסטרליה, 2004

Alec Groysman

# תאונות צנרת עם גז טבעי

1959 - 2014

7058 הרוגים; יותר מ-3000 פצועים

כשלי בציוד

סיבות:

טעות אנוש! (65-95%)

כשלי קורוזיה: דליפות או קרעים; אובדן מוצר, זיהום הסביבה, שריפות ופיצוצים.

דליפות מקו **נוזל** מזהמות את הקרקע, מי תהום או פני השטח.

דליפות מצינורות **גז** בורחות לאטמוספירה.

קרעים בצינור גז עלולים לגרום לשריפה ולפיצוץ, ולגרום ליותר הרוגים ופצועים.



כשלים מתרחשים ב-10%-1 מאורך הצינור.

ישראל – קווי גז "חדשים" = "צעירים"

35,000-350,000 ק"מ

3.5 מיליון ק"מ ברחבי העולם

נתיבי גז, קצא"א, תש"ן, בזן

# 11<sup>th</sup> Report of the European Gas Pipeline Incident Data Group (period 1970 – 2019)

**קורוזיה**

הפרעות חיצוניות

ליקויי בנייה

תנועת קרקע

**27%**

27%

16%

16%

European Gas Pipeline Incident Data Group:

ENAGAS, S.A. (Spain)

**1,411 תקריות בצנרת נרשמו בשנים 1970-2019**

**20 תקריות בשנה!**



אורכה הכולל של מערכת צינורות הולכת הגז האירופית גדל פי 5 במהלך

1970 - 2022: מ-30,000 ל-145,000 ק"מ.

# קורוזיה

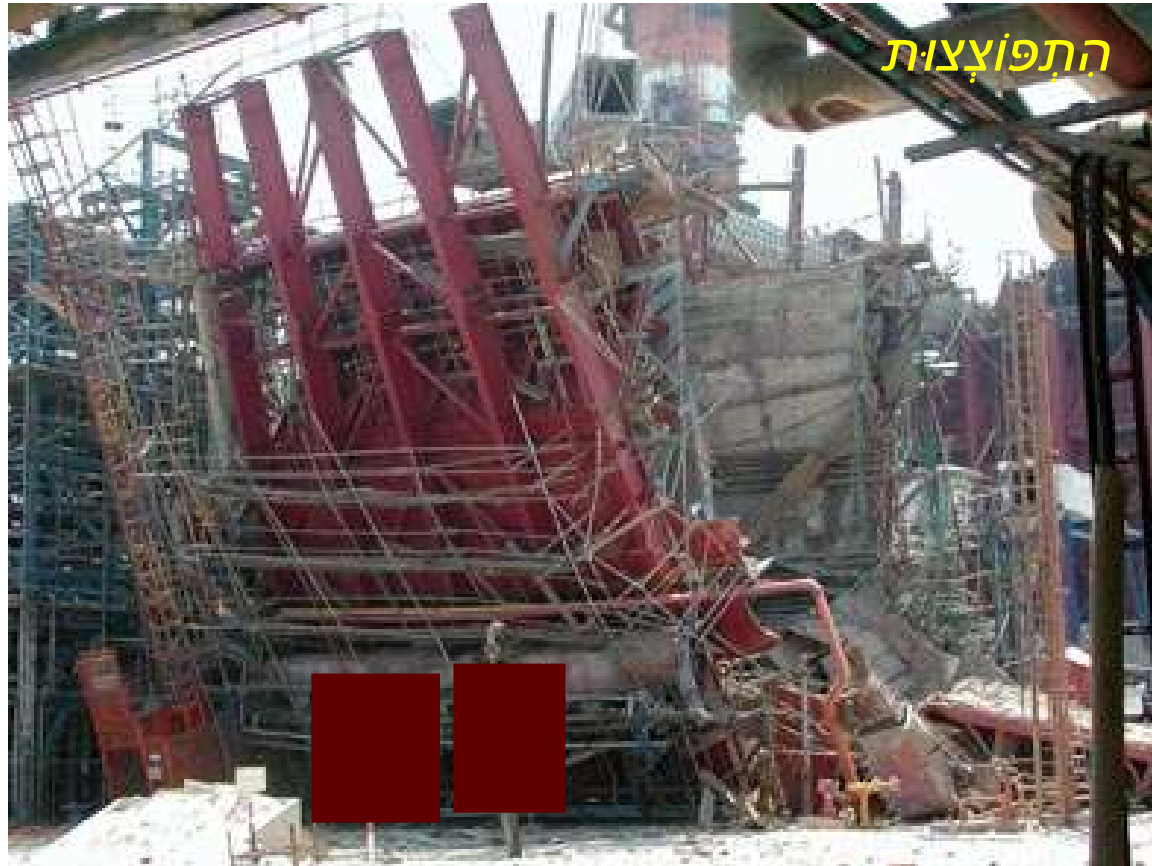


אש,  
שריפות

Baumgarten compressor station in Austria, 2017



דליפת כימיקלים  
(רעילים, מזיקים)



התפוצצות

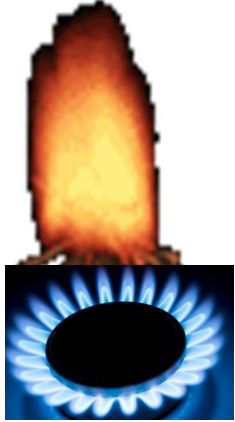
תהליכים

Business

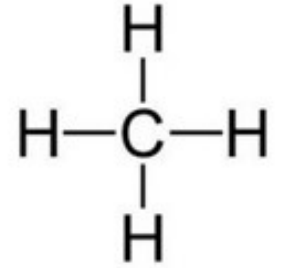
בטיחות

עִסְקָה





# שימוש בגז טבעי



מתאן

שריפה

חומר גלם

ייצור  
חשמל

דלקים לרכבים  
(200 אוטובוסים  
בישראל)



משה רבינו

שירותים:

אספקת ערים (חימום)  
תעשיות עתירות אנרגיה

תחליף לפחם, מזוט וסולר

(פועלים בעולם למעלה מ-  
28.5 מיליון כלי  
רכב המונעים על ידי גז  
טבעי דחוס, בדגש על  
תחבורה ציבורית).

תעשייה כימית:  
מתנול, אמוניה, מימן,  
תרכובות אורגניות,  
פולימרים, דלקים וכו'.

# גורמים סביבתיים עבור צינורות

## אטמוספירה



חוק הגז בישראל לא  
מאפשר צנרת עילית!  
רק קרקעית!

בקנדה, ארה"ב  
וברוסיה - עילית

## קרקע



## מים



## סביבה תהליכית



Alec Groysman

# קורוזיה בצינורות הולכת גז

מהחוף - 97% בשל  
קורוזיה פנימית

בתוך הים - מחוץ לחוף



ביבשה - 77% בשל  
קורוזיה חיצונית

על החוף



קורוזיה חיצונית: מים, אדמה, אטמוספירה

# קורוזיה פנימית בקווי צנרת

מהווה בעיה משמעותית במערכות הולכת גז.

מערכות נפט, הן פחות קורוזיביות מאשר מערכות גז טבעי הנושאות אדי מים בפאזה גזית.

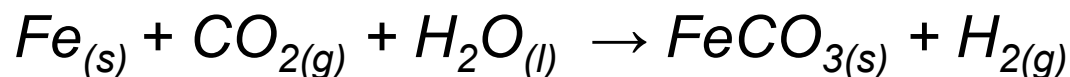
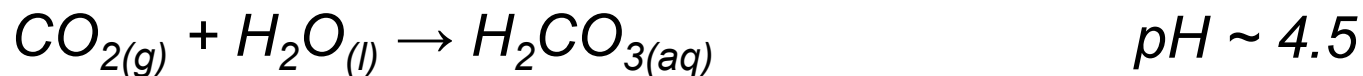


צינורות הולכת גז נושאים גז תת-רווי המעובד על ידי יחידות התייבשות במעלה הזרם.

צינורות אלו מופעלים בדרך כלל ללא הגנה או אינהיביטורים ומסתמכים על הביצועים של יחידות התייבשות לעיבוד גז יבש בסטנדרטים מקובלים.

# קורוזיה על ידי $\text{CO}_2$

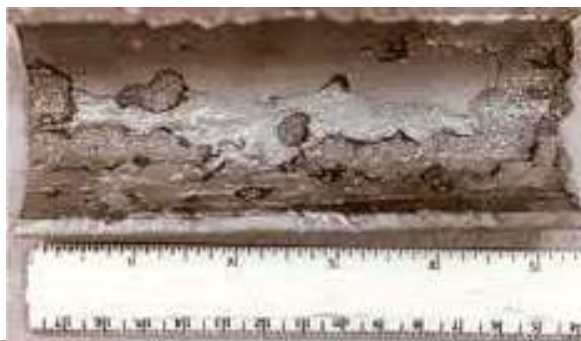
גז  $\text{CO}_2$  אינו קורוזיבי בתנאי שהוא נשאר יבש.



*CaCO<sub>3</sub> and FeCO<sub>3</sub> עשויות להיות מגנות!*

*Mesa corrosion*

*"Sweet" corrosion*

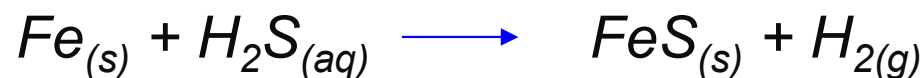


*Mesa corrosion looks like the United States` Mesa Mountains, California*

## קורוזיה על ידי $H_2S$

גז המכיל תרכובות גופרית מכונה גז חמוץ, והצורה הכי נפוצה של גופרית היא  $H_2S$ .

$H_2S$  הוא רעיל מאוד!  
שחרורו עלול לגרום למוות תוך שניות!



$H_2S$  תוקף גם  $Cu$ ,  $Zn$ ,  $Ni$  וסגסוגותיהם; מלט, פולימרים.

$FeS$

$CuS$

$NiS$



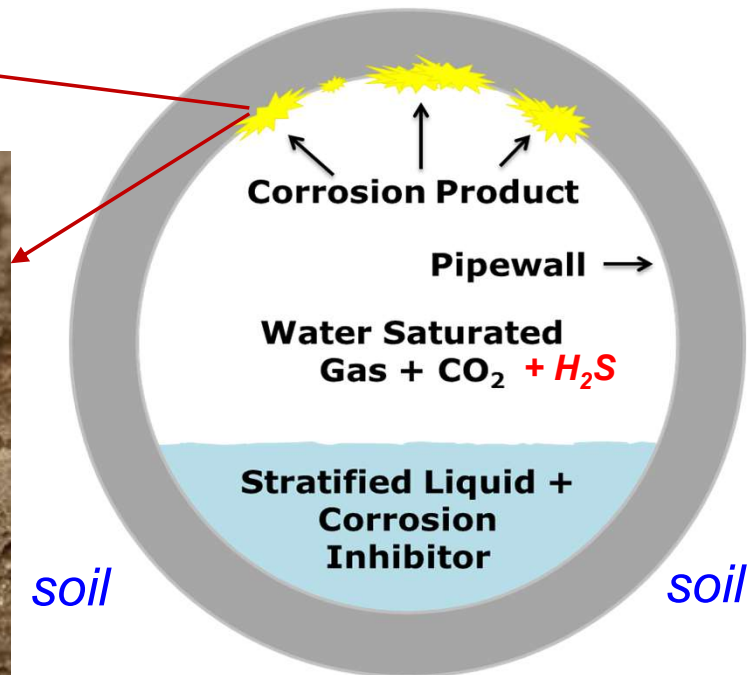
חומצות יחסית חלשות -  $HCOOH$ ,  $CH_3COOH$

נוכחותן מסוכנות ביותר בלחצים גבוהים בקונדנסט גז.

חומצה אצטית עשויה להמיס שכבה  $FeCO_3$  המגנה ולהאיץ קורוזיה.

חומצה אצטית היא חומצה חלשה, אך חזקה מחומצה פחמתית ( $H_2CO_3$ ) ומשתתפת בהתרחשות של *Top-of-Line corrosion*.

עיבוי מתרחש בחלק עליון של הקו

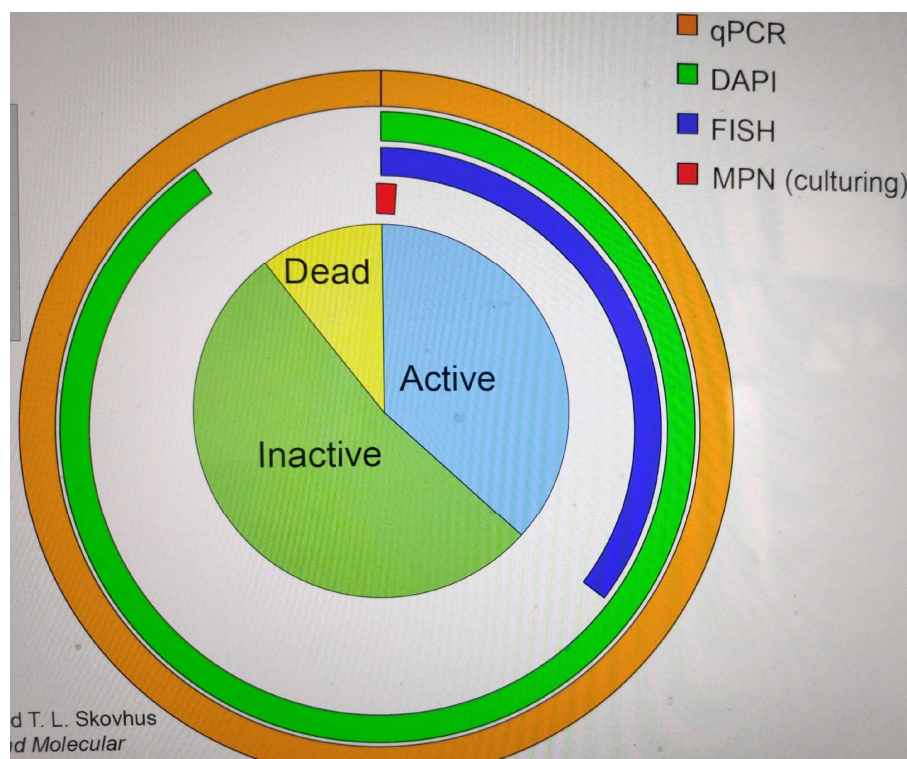


# קורוזיה מיקרוביאלית במערכות גז טבעי

- קורוזיה תחת משקעים
- ארוזיה-קורוזיה
- שיתוך גומות
- שיתוך נקיקים
- סידוק קורוזיית מאמצים



ספירת מיקרואורגניזמים - מה כלול?



בדיקת נוזל – קורלציה חלשה עם סיכון ל- MIC  
בדיקת משקע – קורלציה גבוהה עם סיכון ל- MIC

NACE-TM0212-2018

Detection, Testing, And Evaluation Of  
Microbiologically Influenced Corrosion On  
Internal Surfaces Of Pipelines – 56 p.

סוג הדגימות:

- מים
- מוצקים
- קופונים



## קרום (אבנית) ומשקעים

מוצקים בהפקת נפט וגז:

חול, מלחים קשי-תמס, תוצרי קורוזיה, מיקרואורגניזמים.

מוצקים אלו יכולים להופיע בשתי דרכים:

- נשיאה יחד עם זרם של גז טבעי.
- היווצרות בתהליכים פיזיקוכימיים (למשל, קורוזיה).

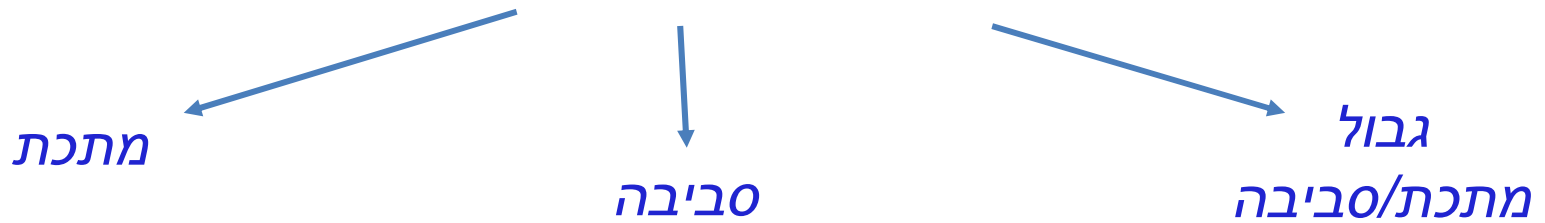


הצטברות משקעים מקטינה ביעילות את קוטר הצינור ואת קצב הזרימה

צינורות, מכלים, משאבות, מדחסים, מסננים, עלולים להינזק ממשקעים.

מעכבי היווצרות משקעים הם כימיקלים שמתווספים למערכות הפקת גז ונפט כדי להפחית ו/או למנוע שיקועם.

## בקרת קורוזיה (שיטות מניעה)



### - **תכנון הנדסי:**

שימוש בתקנים, מפרטים, נהלים; מניעת חדירת אוויר, רגליים "מתות".

### - **בחירת חומרים:**

- צינורות ראשונים היו מעץ.

- פלדת פחמן - עד שנות ה-1980.

- סגסוגות עמידות מפני שיתוך. *Corrosion Resistant Alloys*

### - **ציפויים:**

- שנות ה-1930-1950: זפת פחם.

- שנות ה-1960-1980: אפוקסי.

- שנות 1990: פוליאורתני, אפוקסי – פוליאורתני.

- שנות 1990 – 2025: *Fusion Bonding Epoxy – FBE*

(ציפוי אפוקסי מלוכד היתוך)

## בקרת קורוזיה (שיטות מניעה) - המשך

- **הגנה קתודית** - מאז שנות ה-1920. תכנון ל-50 שנה – אנודות הקרבה - צמידים!  
(בחוף – חול אינרטי)

- **טיפול בסביבה:**

סילוק  $H_2O$  (ייבוש גז), מרכיבים אגרסיביים, אינהיביטורים.

- **שיטות טכנולוגיות:**

שמירה על תנאי התהליך (טמפרטורה, לחץ, קצב ומשטר זרימה).

## ניטור קורוזיה

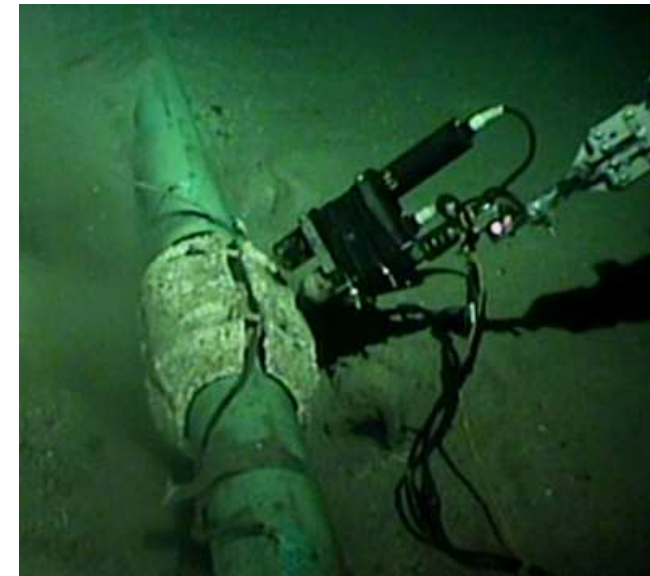
- מעקב אחר מצב קורוזיה של ציוד מתכתי
- אגרסיביות של הסביבה
- יעילות אמצעי בקרת קורוזיה



ניטור קורוזיה: מקוון, תקופתי, תחזוקה מתוכננת ובדיקה

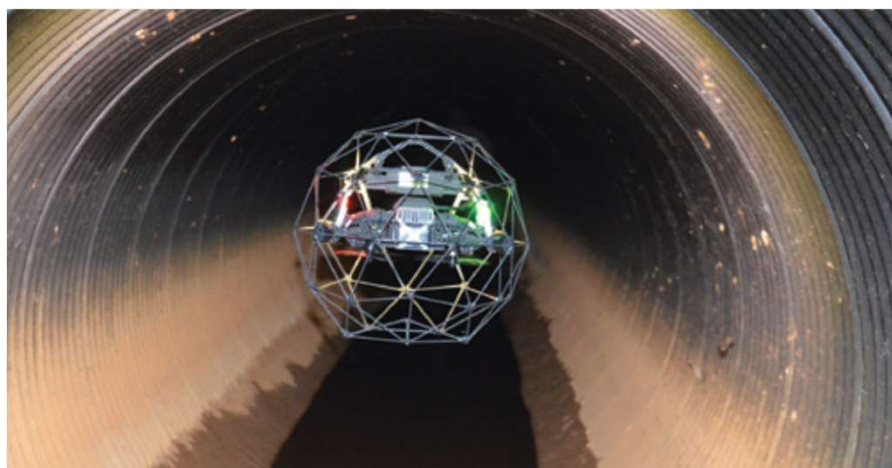


רחפנים (Drone)

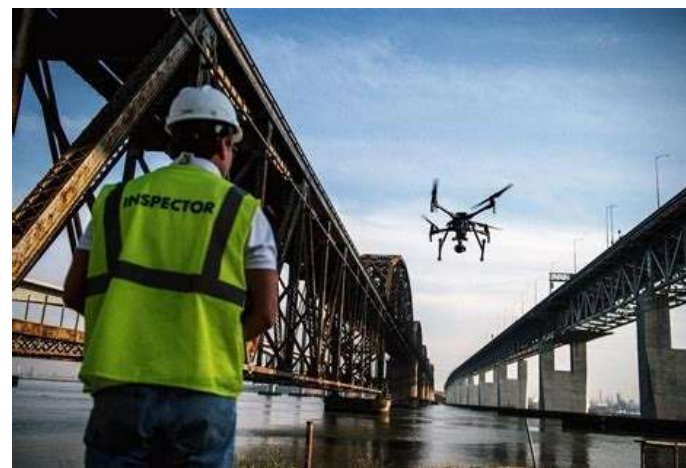


מערכת סקר תת-ימית בזמן אמת

# פיקוח ומעקב בעזרת רחפנים



בתוך קווים ארוכים



מעברים עיליים



אסדות נפט וגז

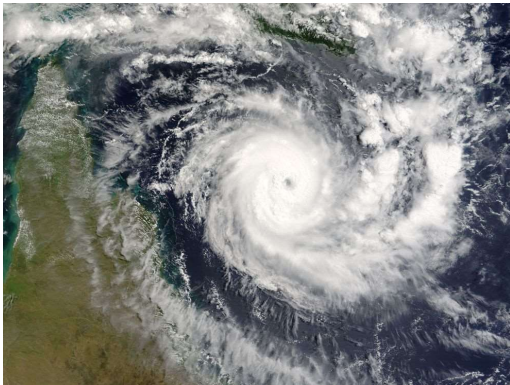


מכלים וארובות

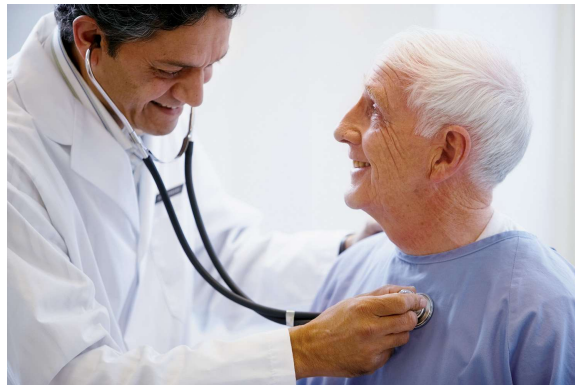
ד"ר אליק גרויסמן

# מבט לעתיד

1. פיתוח מודלים של תחזית קורוזיה. **בינה מלאכותית!**



מזג אוויר - מצב האטמוספירה  
משתנה כל הזמן



תחזית אורך חיים של בני אדם  
מצב בריאותי משתנה כל הזמן



קורוזיה - מצב של מערכת  
מתכת/סביבה משתנה כל הזמן

2. חקיקת "ניהול קורוזיה" במדינת ישראל.

3. פעילות חברות גז (כולל שברון) בתחום קורוזיה  
צריכה להיות פתוחה לקהל הרחב.



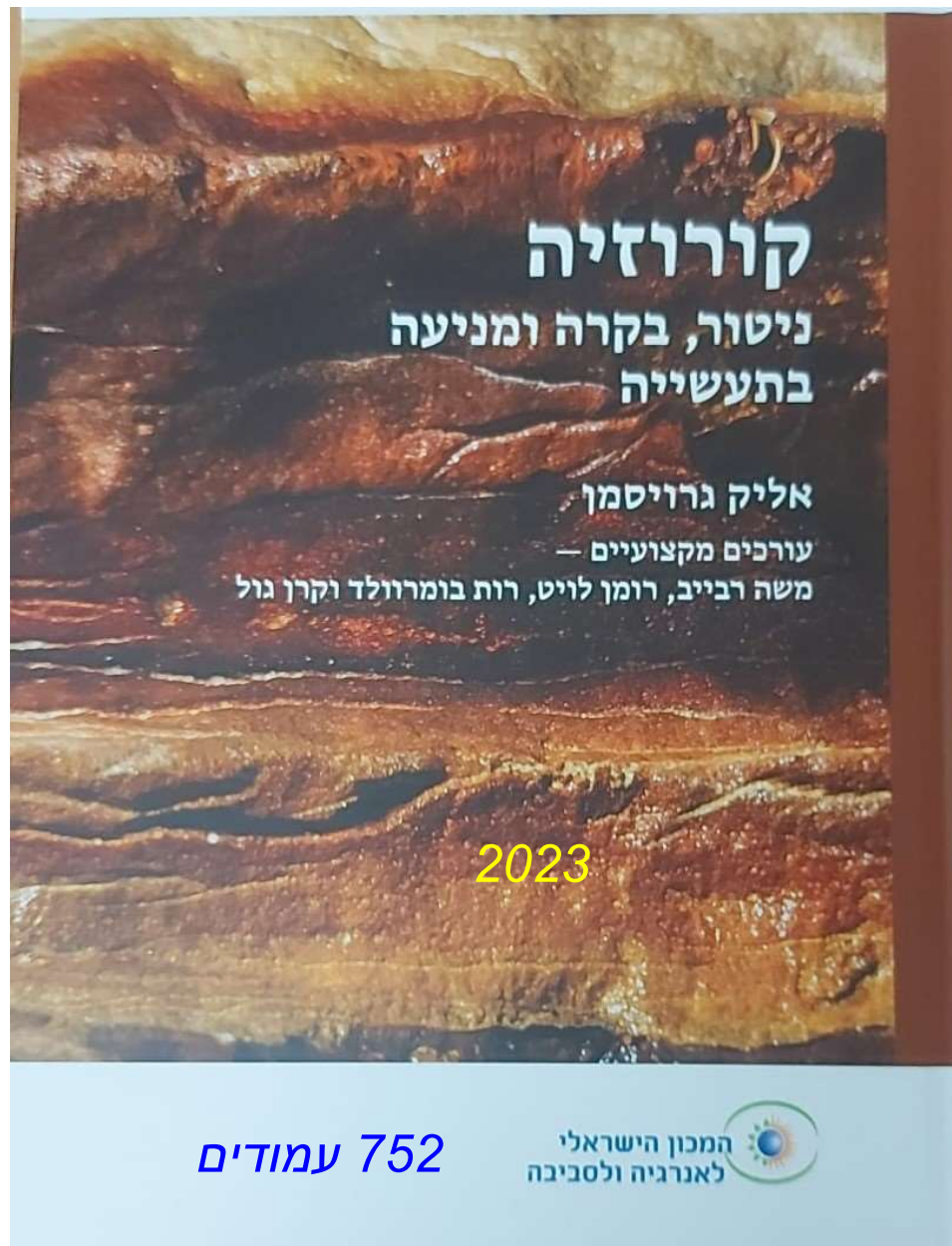
ניהול קורוזיה

ציפויים: אורגניים  
ואנאורגניים

שינויי סביבה:

אינהיביטורים; סילוק  
חמצן

סילוק מימן גופרי



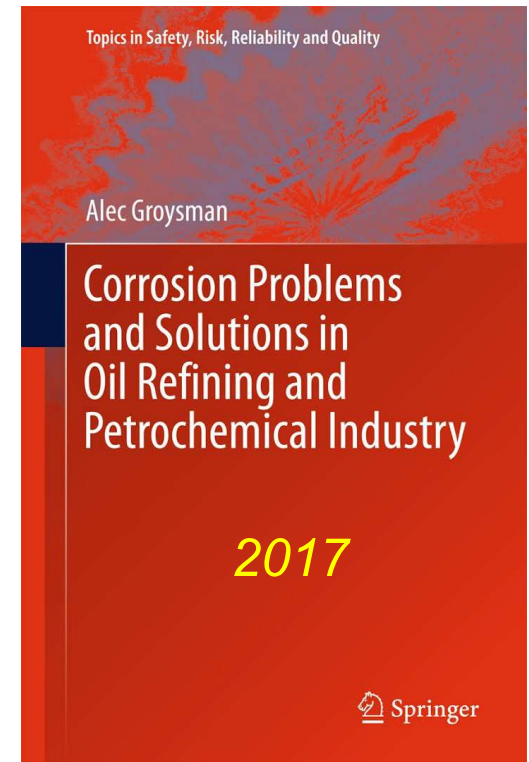
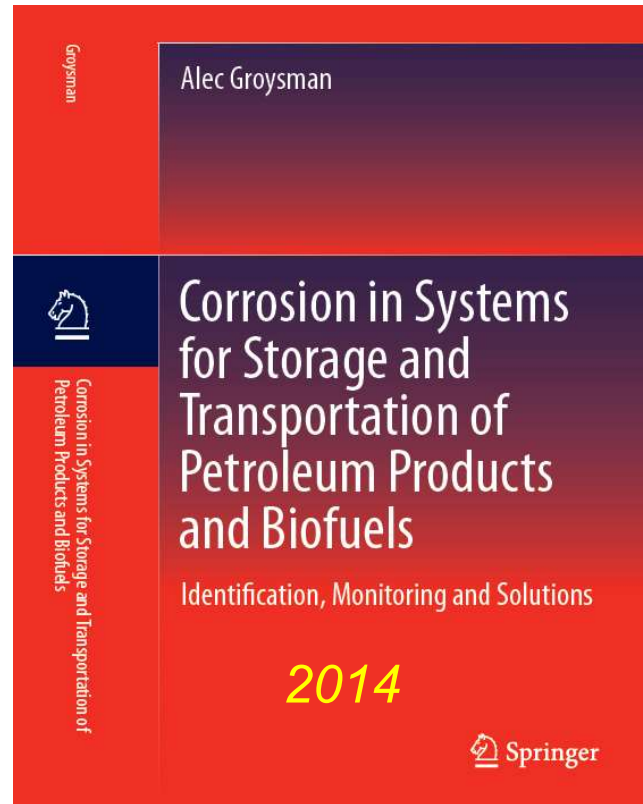
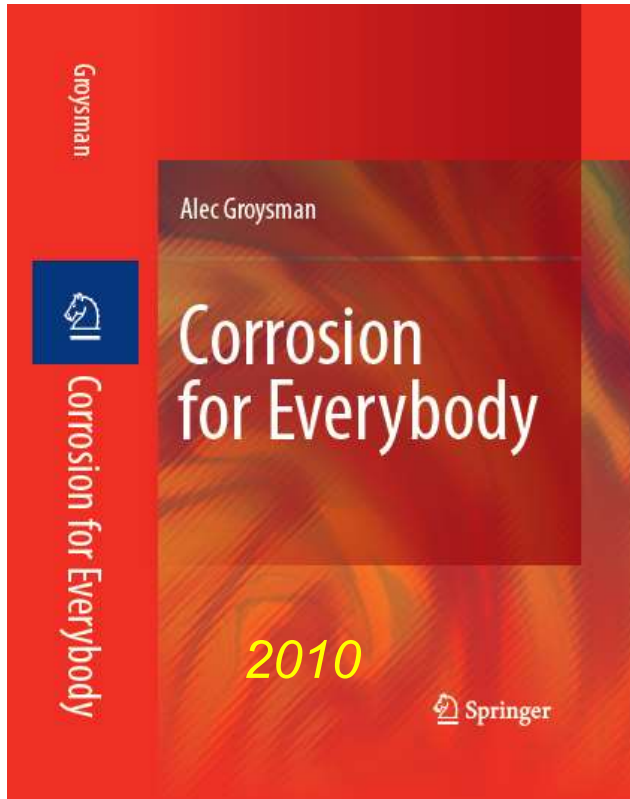
חיזוי קורוזיה -  
בטיחות תהליך

שיטות אלקטרוכימית

חומרים: פלב"מ  
ואלומיניום

טיפול פני שטח

## מניעה טובה וזולה יותר מתרופה!



חינוך לוקח תפקיד עיקרי!

קורוזיה - זה יותר מעבודה. זו תשוקה, השראה.