



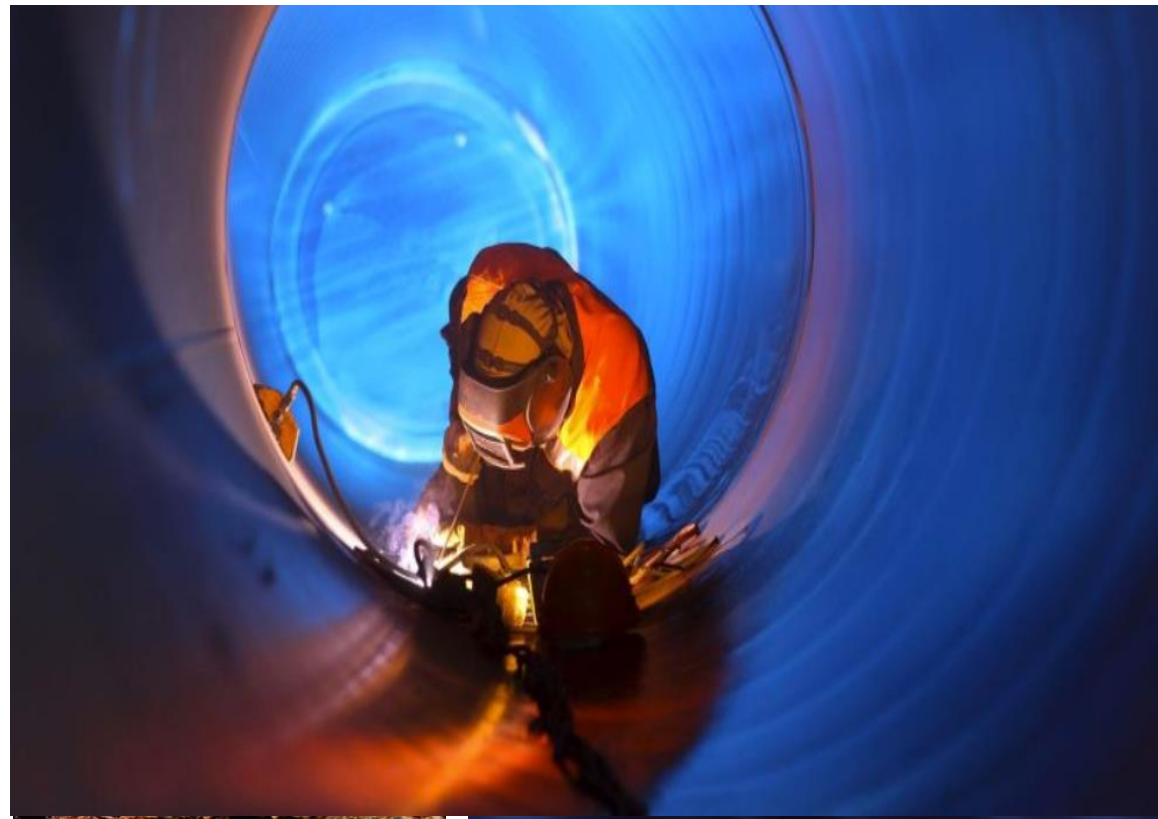
הוספת "גזים ירוקים" לרשת הולכה וחלוקה של גז טבעי – סיכוני שלמות צנרת, שיקולים תפעוליים

יום עיון קורוזיה במערכות גז טבעי

צביקה רובינצ'יק B.Sc, MBA

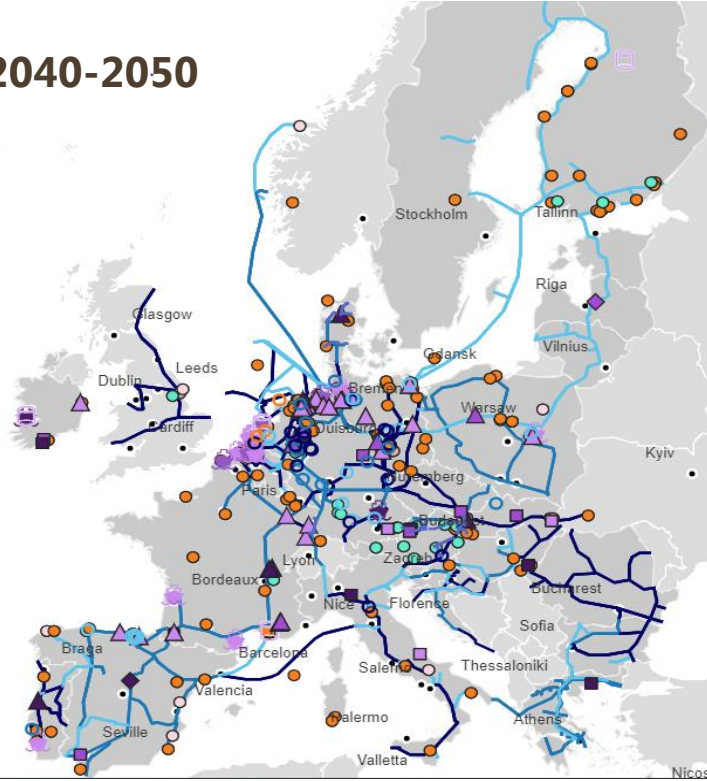
14/03/2024

לשכת המהנדסים
האדריכלים והאקדמאים
במקצועות הטכנולוגיים
בישראל

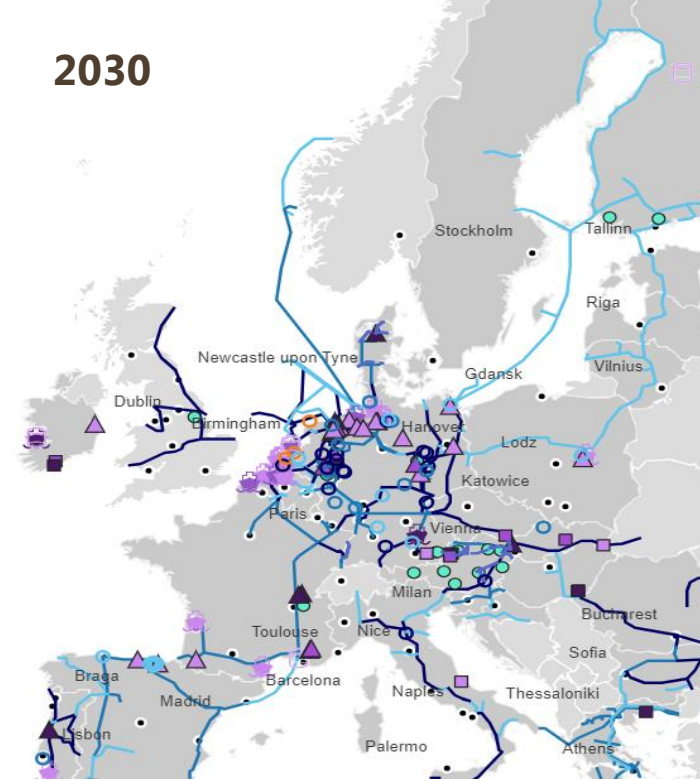


מפת תשתיות צנרת אספקת גז טבעי עם תכולת מימן וגזים ירוקים, באירופה.

2040-2050



2030



הסבת צנרת גז טבעי תשרת דרישה של כ 15% מצריכת האנרגיה העולמית עד 2050.

עלות הסבת צנרת למימן היא 10% - 35% מהקמת צנרת מימן חדשה.

לכן, כ 50% מצנרת מימן בעולם תהיה צנרת מוסבת, כאמור.

Transmission

- New
- New and conversion
- Conversion of existing infrastructure

Distribution

- New
- New and conversion
- Conversion of existing infrastructure
- Completed
- - - High pressure distribution

Terminals and ports

- New
- New and conversion
- Conversion of existing infrastructure

Demand

- Demand

Production

- Electrolyser
- Methane Reforming (SMR/ATR)
- Other/no data available

Storage

- ◆ New and converted aquifer
- ◆ Conversion of existing aquifer
- New depleted field
- New and converted depleted field
- Conversion of existing depleted field
- ▲ New salt cavern
- ▲ New and converted salt cavern
- ▲ Conversion of existing salt cavern
- New surface storage

> 120

Hydrogen transmission projects

> 50

Hydrogen distribution projects

> 60

Hydrogen storage projects

> 20

Hydrogen terminals & ports projects

> 20

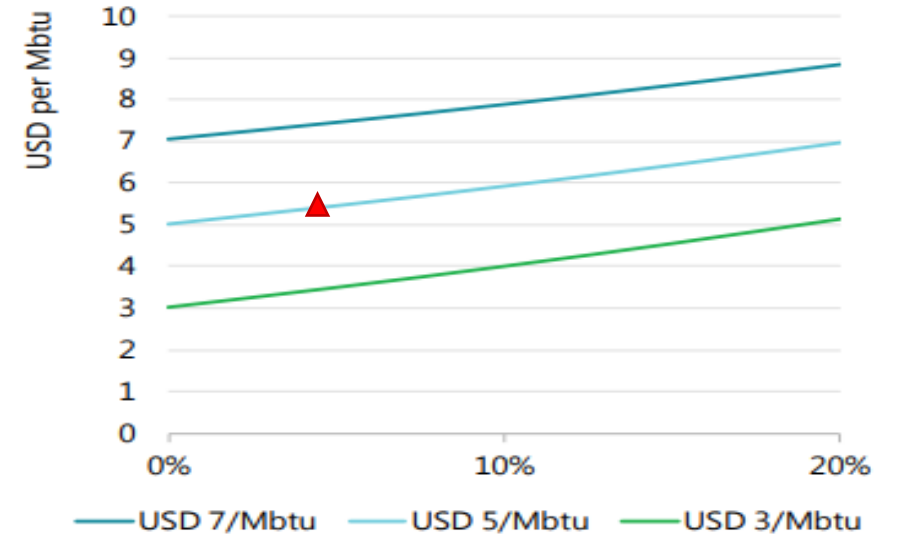
Hydrogen demand projects

> 160

Hydrogen production projects

עלויות הולכת תערובות מימן בצנרת גז טבעי

הערכת עלות הולכת תערובת מימן /גז טבעי

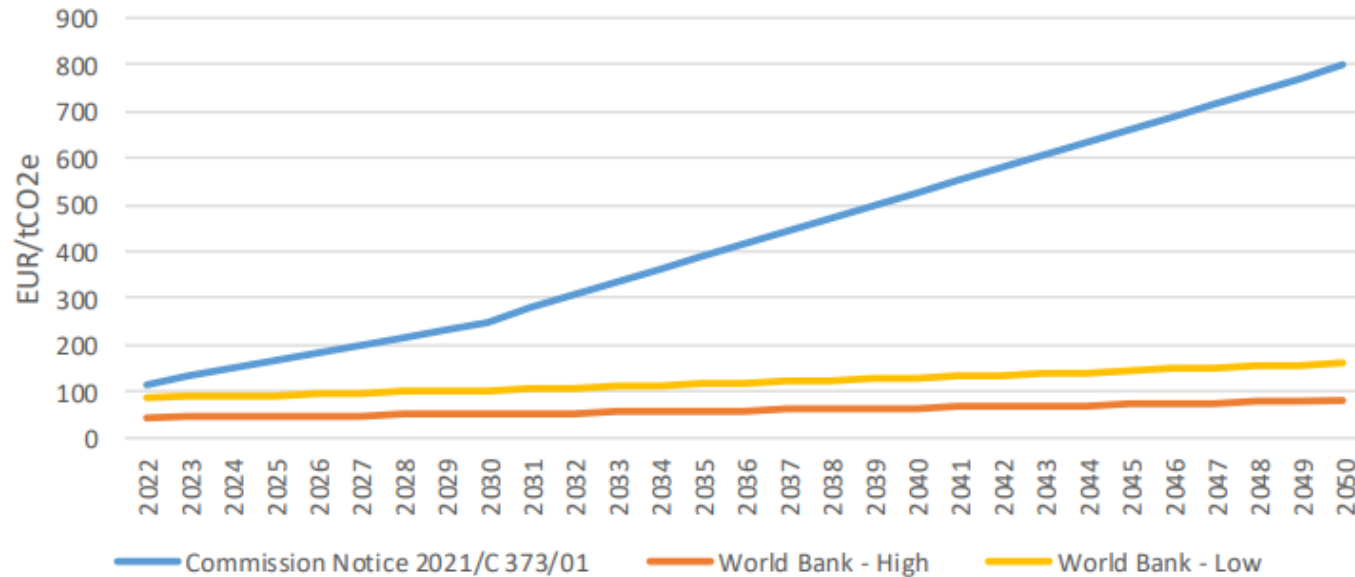


אם גז טבעי עולה 5 USD/MBTU, ו H2 עולה 4 USD/MBTU, תערובת 5% H2, תעלה את עלות ההולכה בכ 8%.

אם השימוש הסופי בגז לא יוצר פליטות פחמן נוספות, ייווצר קיזוז של כ 2% בפליטות הפחמן.

משתמעת עלות הולכה תחרותית של 0.11 - 0.22 יורו / ק"ג / 1,000 ק"מ.

תחזית מחיר פליטות פחמן



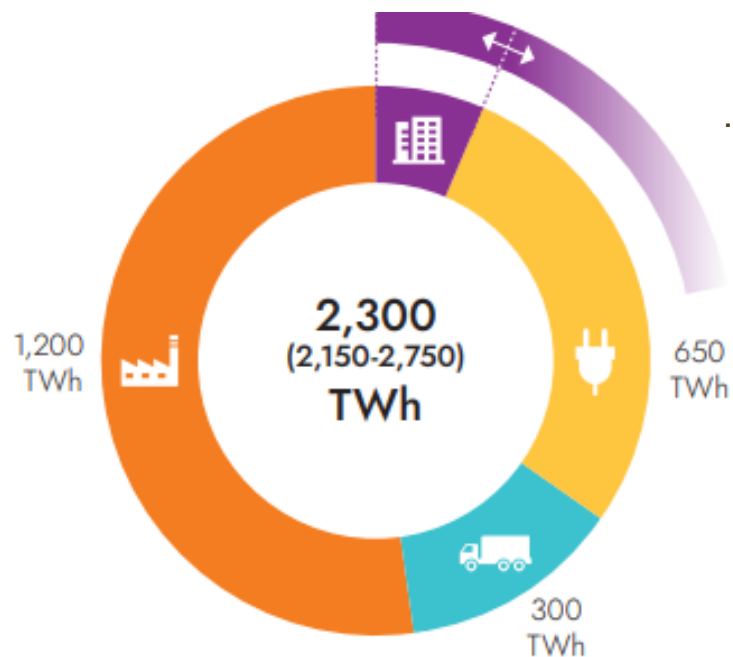
מטרת הרגולטורים, להכפיל את מחיר פליטות הפחמן.

עלות התפעול תגדל ולא תאפשר לתפעל מערכות גז "קלאסיות"

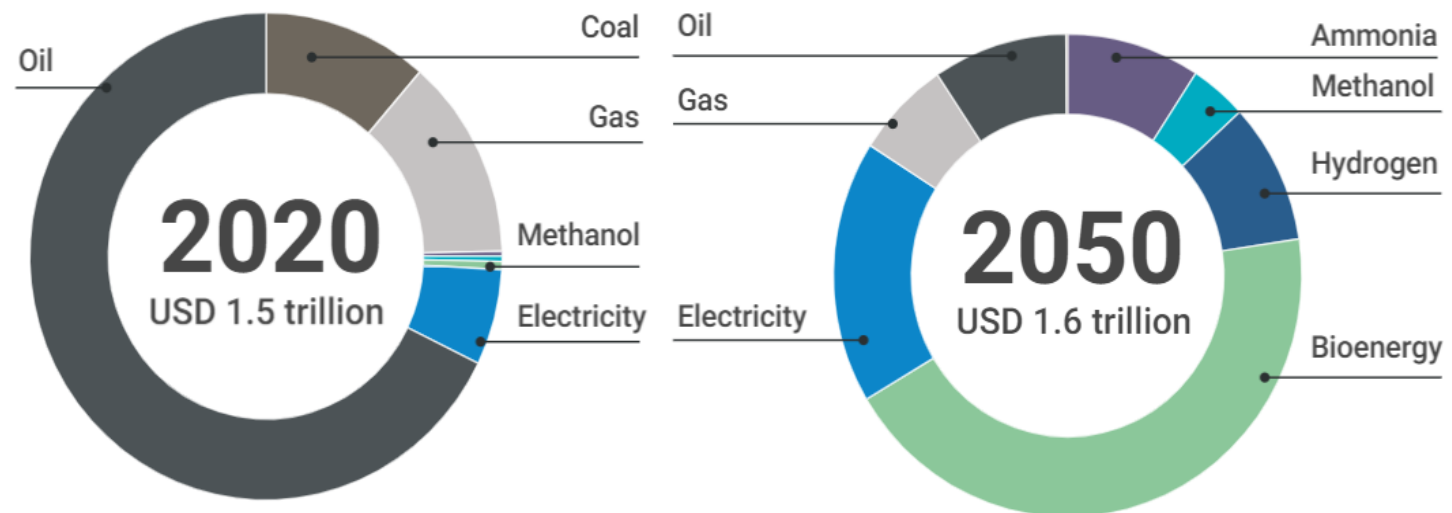
המעבר לשימוש בנשאי אנרגיה "ירוקים" משתמעת.

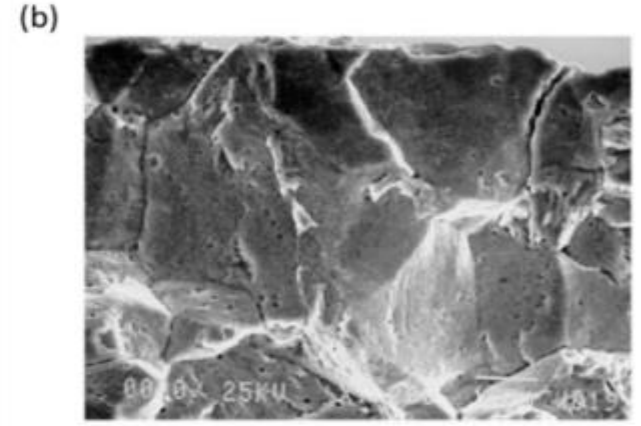
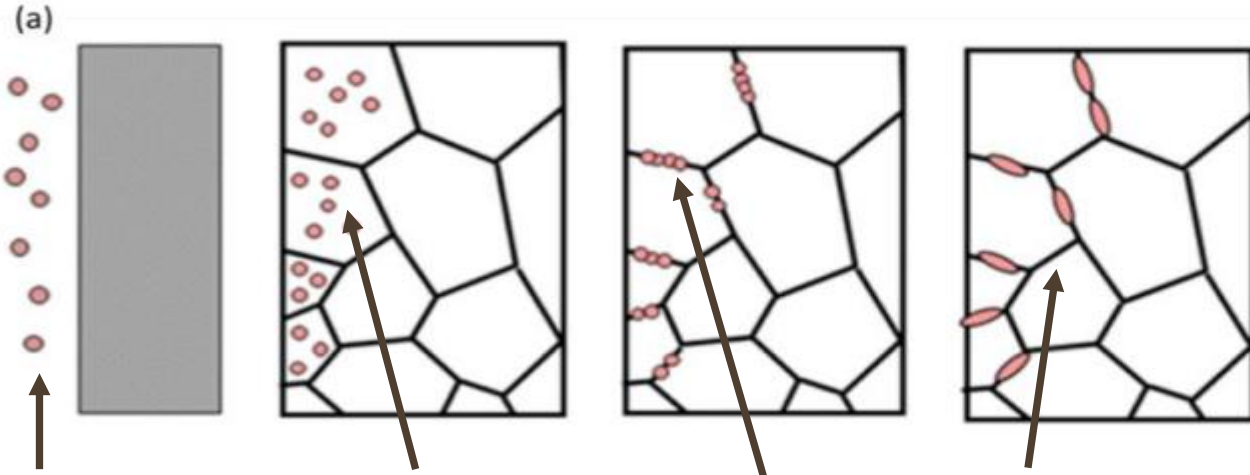
עד 2050 הדרישה למימן באירופה תעמוד על כ 2,300 TWh

אספקת מימן ירוק ממתקני אלקטרוליזה יעילים הניזונים מחשמל ירוק, תהיה 450 TWh ב 2030 ו 4,000 TWh ב 2050.



שינויים בתוכן המסחר בסחורות אנרגיה:





H2 מתפרק על הדופן באזורים מוחלשים כמו תפר ריתוך

H+ מפעפע לסריג פי 4 מהר יותר מגז טבעי

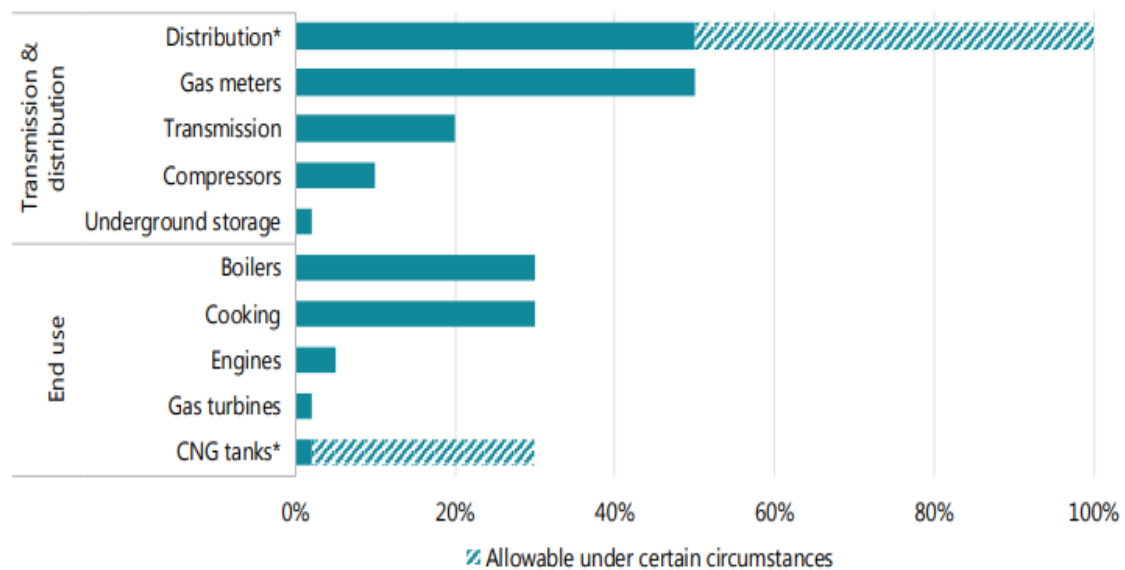
נוצרים צברי בועות במעטפת מיקרו סדקים שיוצרים מאמצי גזירה שמוגברים ע"י פרופיל הלחצים בצנרת.

"פריכות" מימן, הוא מנגנון הקורוזיה המסוכן ביותר בהסבת צנרת גז למימן. המתכת מאבדת גמישות, וחוזק המתיחה יורד (החומר נעשה פריך).

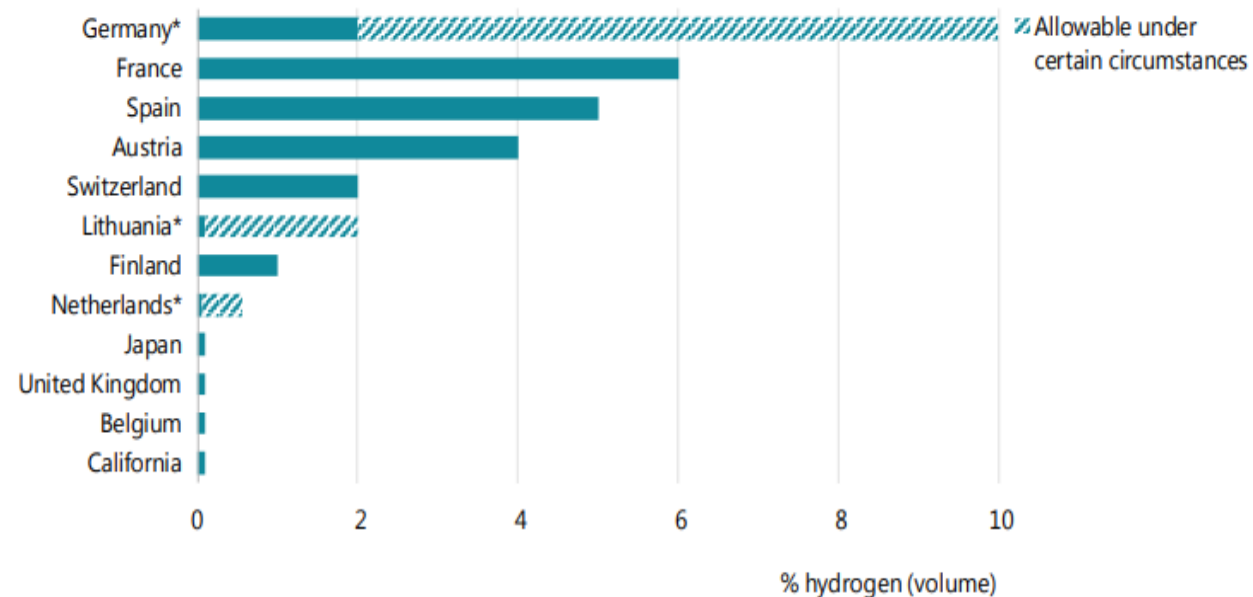
מפרט צנרת של X52 או פחות, רגיש פחות לתופעה זו, אך משמעותו תפעול הצנרת בלחץ נמוך יותר או הגדלת עובי דופן, מה שמייקר את ההתקנה.

תפרי ריתוך בקשיחות גבוהה, רגישים מאוד לתופעה. לכן פרקטיקות ריתוך ותחזוקה מונעת מתאימים, הם מפתח לתפעול והסבה נכונים של צנרת מימן.

מגבלות מוערכות לערבוב גז מימן בגז טבעי בצנרת הובלה וחלוקה



מגבלות נוכחיות לערבוב גז מימן בגז טבעי בצנרת הובלה וחלוקה

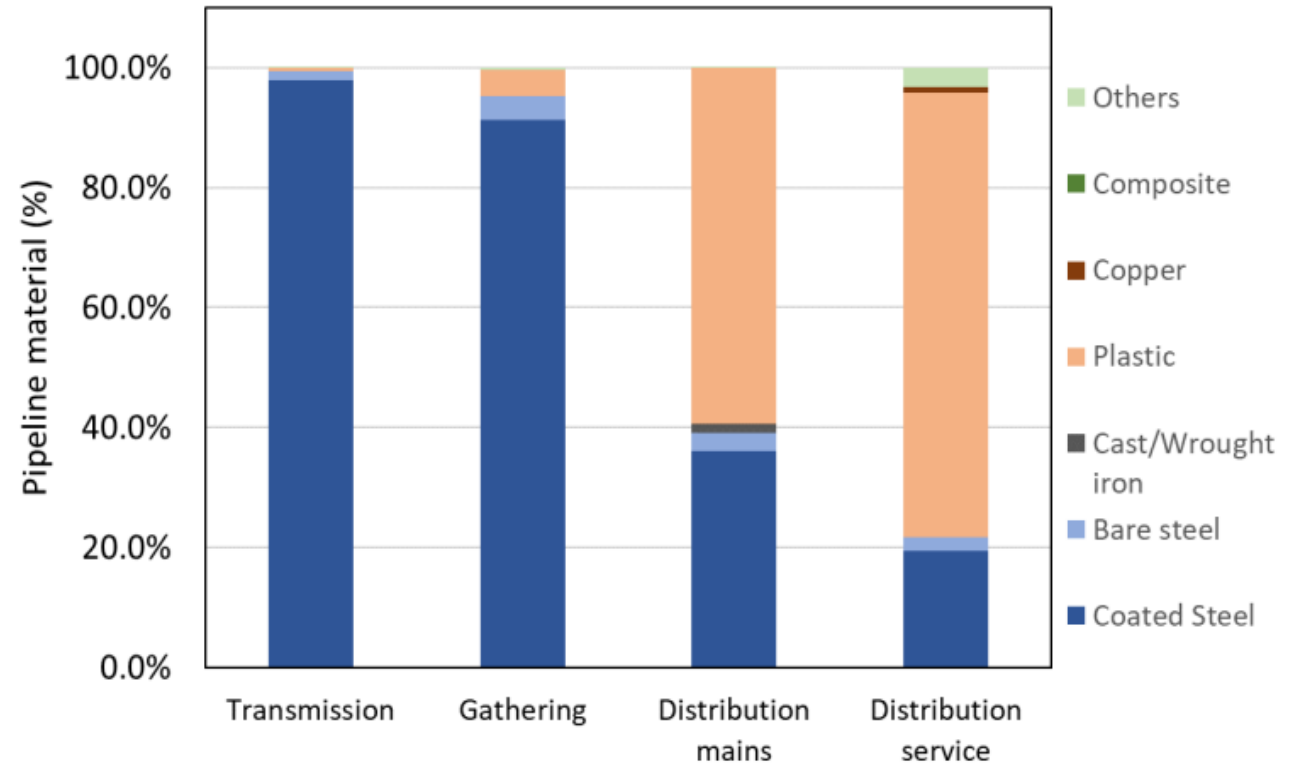


חסרונות ויתרונות של גישות הגנת צנרת הסבת צנרת גז טבעי למימן

Table 1 - Strengths and weaknesses of pipeline reassignment alternatives.

Reassignment alternative	Strengths	Weaknesses
Pipelines without modifications	Few modifications are required Limited material fracturing under static load [17]	Increased material degradation [10]
Coating	Specific protection layer against H ₂ embrittlement [19] Developed industrial processes on metal surfaces [25, 26]	No known on-site coating procedures Excavation of pipelines probably required
Inhibitors (O ₂ , CO, SO ₂)	Limited modifications are required Protection layer undermining hydrogen permeation [19, 27, 36]	Toxicity and security risks [19] Purity requirements of hydrogen processing and fuel cells [29-32]
Pipe-in-pipe	Combined benefits from inner and outer pipeline [20, 33]	Required additional material [33-35] Excavation of pipelines probably required

חומרי מבנה צנרת גז, כ % מאורך צנרת הולכה וחלוקה בארה"ב



תקנים מובילים לתכנון צנרת גז

EXISTING CODE (ONSHORE TRANSMISSION PIPELINES)	NATIONALITY	HYDROGEN ALLOWED FLUID?	MATERIALS REQUIREMENTS DEFINED?
BSI PD 8010-1 Pipeline systems - Part 1 Code of Practice, Steel pipelines on land	United Kingdom	Yes	No
ASME B31.8 Gas transmission and distribution piping systems	United States	No	No
ASME B31.12 Hydrogen piping and pipelines	United States	Yes, 10-100% hydrogen	Yes
EN 14164 Petroleum and natural gas industries pipeline transportation systems	European Committee for Standardization (CEN)	Yes	No
NEN 3650/51	The Netherlands	Yes	No
ISO 13623 Petroleum and natural gas industries - pipeline transportation systems	International Organization for Standardization	Yes	No
IGEM/TD/1 Edition 6 steel pipelines for high pressure gas transmission	United Kingdom	No	No
IGEM/TD/1 Edition 6 steel pipelines for high pressure gas transmission supplement 2	United Kingdom	Yes	Yes
AS/NZS 2885.1 Pipelines gas and liquid petroleum, Part 1: Design and construction	Australia and New Zealand	No	No
Z662 Oil and gas pipeline systems	Canada	No	No
DVGW G 409, 2020 Conversion of high-pressure gas steel pipelines for a design pressure of more than 16 bar for transportation of hydrogen	Germany	Yes	Yes

התקן המקובל לתכן צנרת גז המכילה מימן הוא : **ASME B31.12**

הבעיה עם תקן זה: מבוסס על דרישות לצנרת גז תהליכית שמכילה חומצה גופרתית H₂S.

דבר זה מוביל **לדרישות מחמירות**, למשל לקשיות תפרי ריתוך, תנאי קשה לביצוע בצנרת הולכה וחלוקה של גז טבעי.

ASME B31.12 **לא כולל הסתברות למנגנוני פריכות** בגלל מימן.

מימן H₂ כשלעצמו לא חודר למתכת. יש צורך בחום גבוה, קשת חשמלית, או המצאות אנרגיה גבוהה בצנרת. נדיר בצנרת הולכה.

חשוב לקבוע את **הסתברות הפירוק של מימן** והשפעתו על כשלים במחצית הדופן וקוטר הצנרת, בתנאים התפעוליים הקיימים.

ASME B31.12 **לא מטפל באמפליטודות לחץ נמוכות**, בנוכחות מימן, התקן לא מייצג בצורה מלאה את התנאים התפעוליים בצנרת הולכת מימן (מבוסס PED CONSTANT DISPLACEMENT).

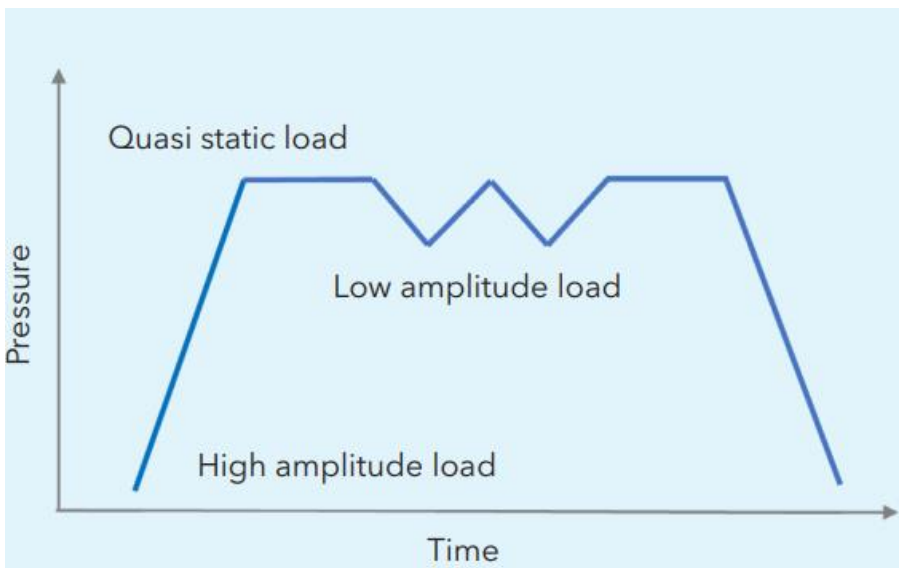
תקן זה **מתאים לתערובות גז 10%** ויותר, ברוב השימושים באירופה ה % נמוך יותר.

פרויקטים להסבה למימן, מבוססים על סקרים הנדסיים מקדימים, וממליצים על שיטות וולידציה מתאימות.

RED: no requirements and hydrogen is not allowed

YELLOW: no requirements but hydrogen is allowed

GREEN: hydrogen is allowed, and requirements are provided



הצנרת, בדרך כלל, נתונה לעומסי קריעה באמפליטודה נמוכה ומספר אמפליטודות גבוהות של שינויים גדולים בלחץ התפעולי.

התפעול מתבצע במעטפת הבאה:

מחזורים רבים בהם יחס **R-RATIO** גבוה / ΔK נמוך
 מחזורים מעטים בהם יחס **R-RATIO** נמוך / ΔK גבוה

ΔK מייצג את השינוי בעומס הגזירה בקצה הסדק

R-RATIO הוא היחס בין מינימום למקסימום לחץ בעת התעייפות החומר (**FATIGUE LOADING**).

כדי להעריך את היכולת לשמור שלמות צנרת, יש להבין את עייפות חומר המבנה על פני טווח רחב של אמפליטודות.

בנוסף, הצנרת נתונה ללחצים ממוצעים גבוהים (**QUASI STATIC LOAD**), מה שמגביר את חשיבות אפיון קשיחות הסדק (**FRACTURE TOUGHNESS**) של חומר מבנה הצנרת.

אפיון תנאים תפעוליים ובחירת חומרי מבנה צנרת מכילת מימן

CHARACTERISTIC	ASME B31.12 OPTION A	ASME B31.12 OPTION B
Charpy test	≤0°C or min. operating/pressure testing temperature, 27J full size (average)	Same as option A
Charpy base metal absorbed energy	$CVN = 0.008 \cdot (R \cdot T)^{0.39} \cdot \sigma_{hoop}^2$	Same as option A
Fracture shear %	At least 80% (average) for full size Charpy At least 40% (average) for drop weight test (DWTT)	Same as option A
Fracture toughness & stress intensity K_{IA} and K_{IH}	Not addressed	$K_{IH} \geq 55 \text{ Mpa} \sqrt{\text{m}}$
Ultimate tensile strength (UTS)	Max. 689 N/mm ²	Max. 758 N/mm ²
Yield strength (YS)	Max. 482 N/mm ²	Max. 551 N/mm ²
Steel composition and processing	Not addressed	Max. P 0.015% Must be inclusion shape control
Thickness	Not addressed	Repair and other activities may not reduce wall thickness to less than 87.5%
Design pressure limits	Not addressed	$P \leq 85\%$ of mill test pressure or field hydrotest pressure. Cold worked pipe $P \leq 75\%$ of the design pressure.
Weld hardness	Max. 235 HV10	Same as option A

לפי תקן ASME 31B.12, קובעים את הלחץ התפעולי המקסימלי MAOP, לפי:

ביצועים נדרשים (אופציה B),
או לפי פירוט (PRESCRIPTIVE) (אופציה A).

מכל אופציה, משתמעות תכונות חומרי מבנה שונות:

בצנרת חדשה, האפיון מתבצע לפי הגישה המועדפת.

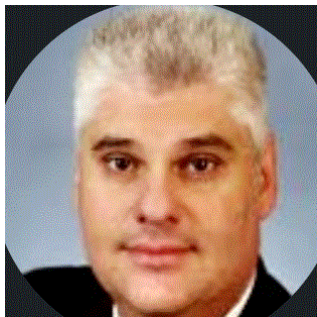
צנרת קיימת לא עומדת בדרך כלל בדרישות אופציה B.

באירופה, רוב צנרת ההולכה המוסבת היא בלחץ גבוה barg 66-94, ובמפרט מעל X65.

לכן שימוש באופציה A + סקר הנדסי לקביעת פרמטרים נותרים, מקובל.

For further questions, please contact:

Kind regards,



Zvika Rubinchik, MBA, B.Sc.

Cell: ++972 (0) 54 2841218

Email: sia.rubikon@gmail.com 

IMPORTANT: The content of this presentation is intended for the participants of the event. In case of need to forward this presentation, please receive the approval of the Author and the intended recipient of this presentation.

צביקה רובינצ'יק הוא מהנדס תהליך עם ניסיון ביישומים סביבתיים, ובעל תואר שני במנה"עס.

במהלך קריירה מגוונת ומשמעותית, צביקה עסק בהנדסת תהליך וניהול פרויקטים. מאוחר יותר, צביקה שימש כראש תחום אנרגיה ותשתיות ב KPMG במרכז ומזרח אירופה, שם ייעץ לחברות תשתית ויזמים בנושאי מימון, היתכנות, מיזוגים ורכישות, רגולציה כלכלית, מחקרי שוק בתחומי האנרגיה המתחדשת, הסביבה והתשתיות המסורתיות.

ב 10 השנים האחרונות, צביקה מתמקד בתחום הסביבה והמחזור. במהלך תקופה זו, שירת במספר מועצות מנהלים של חברות לשירותי סביבה בארץ ובאירופה, שם רכש ידע מפורט ברגולציה, טכנולוגיה, כלכלה ופרקטיקות מובילות בתחום.